

RAPPORT

Duurzaamheid van productie van biogas op rwzi's

De duurzaamheid van de productie van en de energieopwekking uit biogas van slibgistingsinstallaties op rwzi's

Klant: Unie van Waterschappen

Referentie: WATWW_BH4245_R001_F3.0

Status: Definitief/F2.0

Datum: 15 februari 2021

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Postbus 1132
3800 BC Amersfoort
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Duurzaamheid van productie van biogas op rwzi's

Ondertitel: Duurzaamheid biogas
Referentie: WATWW_BH4245_R001_F3.0
Status: F2.0/Definitief
Datum: 15 februari 2021

Projectnaam: Duurzaamheid productie biogas uit slib
Projectnummer: BH4245
Auteur(s): Wim Wiegant, Saskia Moll, Thomas Beffers

Opgesteld door: Wim Wiegant, Saskia Moll, Thomas
Beffers

Gecontroleerd door: Ellen van Voorthuizen

Datum: 15 februari 2021

Goedgekeurd door: Ellen van Voorthuizen

Datum: 15 februari 2021 

Classificatie

Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden veelevoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever. Let op: dit document bevat persoonsgegevens van medewerkers van HaskoningDHV Nederland B.V. en dient voor publicatie of anderszins openbaar maken te worden geanonimiseerd.

Inhoud

Verklarende woordenlijst	3
1 Inleiding	4
1.1 Aanleiding	4
1.2 Doelstelling en afbakening	4
1.3 Dit rapport	5
1.4 Organisatie	5
2 Slibgisting in een breder perspectief	6
2.1 Beleidskader	6
2.1.1 Klimaatakkoord Unie en Rijk (2010) en onderzoeken (2012 en 2016)	6
2.1.2 Green Deals (2011 en 2016) en MJA3 (2016)	6
2.1.3 SER Energieakkoord (2013) en Klimaatakkoord (2019)	7
2.1.4 EU-Richtlijn energie uit hernieuwbare bronnen (2018)	7
2.1.5 IPCC Refinement (2019) en klimaatmonitor (2019)	8
2.1.6 Subsidieregeling duurzame energieproductie (SDE++, 2020)	9
2.1.7 Kabinetsaanpak klimaatbeleid / routekaart groen gas (2020)	9
2.1.8 SER advies duurzaamheidskader biograndstoffen en routekaart biograndstoffen	10
2.1.9 EU – Methane strategy	10
2.1.10 Samenvatting	11
2.2 Slibgisting buiten Nederland	12
3 Duurzaamheid van productie biogas uit communaal slib	13
3.1 Configuratie rwzi's en bronnen van CO ₂	13
3.2 Koolzuurgas	15
3.2.1 Toelichting	15
3.2.2 Uitgangspunten berekening	15
3.3 Methaan	16
3.3.1 Toelichting	16
3.3.2 Methaanvorming vóór de gisting	16
3.3.3 Methaanvorming tijdens en na de gisting	17
3.3.4 Methaanemissie verwerking van biogas	18
3.4 Lachgas	18
3.4.1 Toelichting	18
3.4.2 Uitgangspunten berekening	18
3.5 Elektriciteit, chemicaliën en fossiele brandstof	19
3.5.1 Toelichting	19
3.5.2 Uitgangspunten berekeningen	19
3.6 Emissies bij slibeindverwerking	21
3.7 Uitkomsten	21

3.7.1	Alle benoemde posten	21
3.7.2	Posten die (vrijwel) niet onderscheidend zijn voor de vergelijking	23
3.7.3	Posten die relevant zijn voor de vergelijking	23
3.7.4	Vergelijking tussen wel of niet slib vergisten	24
3.8	Evaluatie	29
4	Beschikbare reductiemaatregelen en inventarisatie toegepaste maatregelen	30
4.1	Beschikbare reductiemaatregelen	30
4.1.1	Reductie methaanemissie en huidige omvang methaanemissie	30
4.1.2	Reductie methaanemissie door toepassing meertrapsgisting	31
4.1.3	Overige reductiemaatregelen	32
4.2	Uitkomsten inventarisatie	32
5	Conclusies en advies	34
5.1	Conclusies	34
5.2	Advies	35

Bijlagen

- Bijlage 1: Uitgangspunten voor berekeningen
- Bijlage 2: Berekening van methaanemissies
- Bijlage 3: Enquête klimaatmonitor broeikasgasemissies
- Bijlage 4: Analyse van de modelberekeningen
- Bijlage 5: Vergelijking inzet biogas

Verklarende woordenlijst

Anaeroob	Zonder zuurstof of andere oxidanten, zoals nitraat
Zuiveringsslib	Slib (deels biomassa) dat ontstaat bij de biologische zuivering van communaal afvalwater
Slibgisting	Installatie waarin zuiveringsslib onder anaerobe omstandigheden gedeeltelijk wordt afgebroken en methaan (energiebron) wordt geproduceerd.
Slibeindverwerking	De laatste verwerkingsstap van ontwaterd (uitgegist) slib.
Oxidatie	Verbranding van organisch materiaal in een biologische zuivering
Groene stroom/elektriciteit	In deze studie gedefinieerd als de mix van stroom die anno 2019 door alle waterschappen werd ingekocht.
Grijze stroom/elektriciteit	Stroom/elektriciteit die met fossiele brandstoffen wordt opgewekt
Groen gas	Gas dat uit biogas wordt gemaakt en als vervanger van aardgas kan worden ingezet
CO ₂ -eq	De uitstoot van één kg CO ₂ -equivalent (eq) staat gelijk aan de broeikasgaswerking van 1 kilogram CO ₂ . De bijdrage van verschillende componenten wordt omgerekend naar de mate waarin een component bijdraagt aan het broeikasgaseffect. De componenten die in deze studie zijn beschouwd zijn: methaan, lachgas, grijze stroom, aardgas, diesel, polyelektrolyt (PE) en ijzerzouten. Wanneer in het rapport wordt gesproken over de CO ₂ -voetafdruk, CO ₂ emissie, CO ₂ uitstoot dan wordt bedoeld dat deze is uitgedrukt in CO ₂ -eq tenzij anders vermeld.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Met het verschijnen van het Klimaatakkoord is de focus van het klimaatbeleid in Nederland verschoven en verbreed van productie van hernieuwbare energie naar de reductie van de uitstoot van CO₂-eq en andere broeikasgassen. Bij de uitwerking van het Klimaatakkoord speelt de productie van groen gas een essentiële rol voor de energievoorziening voor Nederland in 2050. In de beleidsbrief van 20 maart jl. over de Routekaart Groen Gas wordt aangekondigd dat, om deze rol in te kunnen vullen, een opschaling en stimulering nodig is van de productie van groen gas. Eisen aan duurzaamheid worden daarbij ook genoemd. Onderzoek naar de locaties van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) waar de productie van groen gas kan worden opgeschaald wordt ook in de brief aangekondigd.

De Unie van Waterschappen wil graag een bijdrage leveren aan die gewenste opschaling van de groen gasproductie. Zij heeft daarbij het voornemen om met de achterban een strategie op te stellen over de productie en toepassing van biogas, groen gas en waterstof. Met de verbreding van het klimaatbeleid naar de reductie van de CO₂-uitstoot is de vraag aan de orde gekomen hoe duurzaam de productie van biogas en groen gas nu werkelijk is. Tegelijkertijd is ook de vraag in welke mate de emissie van broeikasgassen rond de productie van biogas uit slib op rwzi's nu al wordt gereduceerd. Dit in aansluiting op STOWA onderzoek dat in de periode 2012 – 2016 is uitgevoerd. Uit dit onderzoek is gebleken dat op één locatie 60% van de vermeden CO₂ uitstoot door eigen elektriciteitsopwekking teniet werd gedaan door de emissie van methaan ná de gisting¹. Later is uit onderzoek gebleken dat enkele maatregelen technisch en financieel haalbaar zijn om de emissie van methaan te reduceren².

1.2 Doelstelling en afbakening

Deze rapportage kent twee doelstellingen:

- Het verkrijgen van inzicht in de duurzaamheid (uitgedrukt in CO₂-equivalenten), van het produceren van biogas uit communaal zuiveringsslib, waarbij enerzijds elektriciteit (en warmte) uit biogas wordt geproduceerd of anderzijds groengas wordt geproduceerd uit biogas.
- Inzicht in de mate waarin nu al maatregelen worden getroffen om de emissie van broeikasgassen die rond de vergisting van slib vrijkomen te reduceren.

Bij het invullen van de eerste doelstelling is een vergelijking gemaakt tussen een zuivering met gisting en een zuivering zonder gisting. De focus ligt daarbij op een zo zuiver mogelijke vergelijking en alleen die bronnen van broeikasgassen mee te nemen die onderscheidend zijn om het gewenste inzicht te krijgen. In het rapport is er tegelijkertijd wel naar gestreefd om voor beide zuiveringen de CO₂-voetafdruk zo volledig mogelijk in beeld te brengen, maar is dit niet uitputtend en geeft het een beeld voor een bepaalde inrichting van een zuivering. In de praktijk zal dit beeld verschillend zijn, omdat zuiveringen divers zijn ingericht en verschillend worden bedreven. Dit is ook de reden dat de resultaten van de hier 'theoretisch' gedefinieerde rwzi's niet geëxtrapoleerd kunnen worden naar een landelijk beeld.

1 STOWA 2012. Emissie broeikasgassen vanuit rwzi's, STOWA, Amersfoort, rapport 2012-20.

2 STOWA 2016. Reductie van de methaanemissie in de afvalwater- en slibketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2016-09.

1.3 Dit rapport

De uitwerking van de eerste doelstelling is opgenomen in hoofdstuk drie. In dit hoofdstuk is eerst beschreven van welke configuratie voor de twee zuiveringen is uitgegaan en welke onderdelen en 'CO₂-bronnen' in de vergelijking zijn opgenomen. In het vervolg zijn kort de uitgangspunten voor de berekeningen opgenomen, gevolgd door de uitkomsten.

De uitwerking van de tweede doelstelling is opgenomen in hoofdstuk vier. Aan de hand van de ingevulde vragenlijst voor de klimaatmonitor over 2018³ is geïnventariseerd in welke mate maatregelen voor de reductie van methaan rond de slibgisting al worden toegepast of zijn gepland. Voorafgaand daarin is een overzicht opgenomen van mogelijke maatregelen om de CO₂-voetafdruk te reduceren. Tevens is een eerste (ruwe) inschatting gemaakt van de omvang van de methaanemissie ná gisting voor alle gistinglocaties voor communaal slib in Nederland.

Voorafgaand aan hoofdstuk drie en vier is in hoofdstuk twee de vergisting van communaal slib in Nederland in perspectief geplaatst door eerst te kijken naar het geldend (inter)nationale beleidskader, gevolgd door een overzicht van hoe met slib wordt omgegaan buiten Nederland.

1.4 Organisatie

Dit rapport is opgesteld in opdracht van de Unie van Waterschappen (Rafael Lazaroms). De totstandkoming van het rapport is begeleid en gecontroleerd door:

- Ina Elema Unie van Waterschappen
- Sybren Gerbens Wetterskip Fryslân
- Sara Giorgi Waternet
- Oscar Helsen Hoogheemraadschap van Delfland
- Enna Klaversma Waternet
- Ruud Peeters Waterschap De Dommel
- Coert Petri Waterschap Vallei en Veluwe
- Cora Uijterlinde STOWA

3 Unie van Waterschappen 2019. Klimaatmonitor Waterschappen – Verslagjaar 2018, gereviseerde versie.

2 Slibgisting in een breder perspectief

2.1 Beleidskader

De waterschappen willen graag een bijdrage leveren aan de door het kabinet gewenste opschaling van de groen gasproductie als voorgenomen in het Klimaatakkoord. De Unie van Waterschappen (Unie) heeft daartoe het voornemen om met de achterban een strategie op te stellen over de productie en toepassing van biogas, groen gas en waterstof. Binnen het klimaatbeleid is de vraag aan de orde gekomen hoe de duurzaamheid van de productie van biogas (en groen gas) moet worden beoordeeld. Deze paragraaf gaat in op de beleidsontwikkelingen op het gebied van duurzaamheid van biogasproductie uit slibgisting op rwzi's. De volgende beleidsdocumenten zijn daarbij van belang en zijn hierna in historische volgorde behandeld:

- Klimaatakkoord Unie en Rijk (2010) en onderzoeken (2012 en 2016).
- Green Deals (2011 en 2016) en MJA3 (2016).
- SER Energieakkoord (2013) en Klimaatakkoord (2019).
- EU-Richtlijn energie uit hernieuwbare bronnen (2018).
- IPCC *Refinement* (2019) en klimaatmonitor (2019).
- Subsidieregeling duurzame energieproductie (SDE++, 2020).
- Kabinetsaanpak klimaatbeleid / routekaart groen gas (2020).
- SER advies duurzaamheidskader biograndstoffen (2020).
 - Routekaart nationale biograndstoffen (2020).
 - Duurzaamheidskader biograndstoffen (2020).
- EU Methane Strategy (2020).

2.1.1 Klimaatakkoord Unie en Rijk (2010) en onderzoeken (2012 en 2016)

In 2010, lang voor het landelijke klimaatakkoord uit 2019, hebben de UvW en het Rijk reeds een klimaatakkoord gesloten. In het thema energiebesparing en beperking uitstoot broeikasgassen wordt gesteld dat in de periode 2010 en 2011 onderzoek wordt verricht naar:

- de feitelijke uitstoot van lachgas en methaangas in de Nederlandse afvalwaterzuivering (de afvalwater- en slibketen);
- de juistheid van de huidige berekeningsmethoden van lachgas;
- de feitelijke mogelijkheden voor reductie van de uitstoot van lachgas en methaangas.

Aan de hand van metingen en berekeningen aan rwzi Kralingseveer is vastgesteld dat de vermeden CO₂-eq door opwekking van eigen elektriciteit (bij een WKK) voor bijna 60% teniet wordt gedaan door de emissie van methaan na de gisting. De opslagtanks (buffer en slibsilo) leveren hierbij de grootste bijdrage. Met technisch-economisch haalbare maatregelen is het mogelijk om de methaanemissies te reduceren en tegelijkertijd de opbrengst van biogas te verhogen.

2.1.2 Green Deals (2011 en 2016) en MJA3 (2016)

In 2011 heeft de UvW met de Rijksoverheid een Green Deal gesloten voor verdere ontwikkeling van het concept 'Energiefabriek' waarbij een rwzi meer duurzame energie oplevert dan deze nodig heeft voor eigen gebruik.

In 2016 is als vervolg hierop een Green Deal “energie” gesloten met nadruk op een verbreding naar andere vormen van duurzame energieopwekking binnen zowel de afvalwaterketen als het watersysteem. Eén van de doelen hierbij is dat de partijen streven naar verdere uitbouw van het aantal energiefabrieken en zich daarbij richten op toename in de productie van biogas uit rioolwater en -slib.

De zuiveringstak van de waterschapssector neemt sinds 2008 deel aan het convenant Meerjarenaafspraken energie-efficiëntie (MJA3). In dit vrijwillige convenant is de afspraak gemaakt met de overheid om de energie-efficiency te verbeteren en het gebruik van fossiele brandstoffen terug te dringen, met als doelstelling een energie-efficiencyverbetering van 30% in de periode 2005-2020. Deze doelstelling is ruimschoots behaald en één van de belangrijkste subdoelen betreft de productie van duurzame energie die grotendeels is behaald met de productie van biogas³. Sinds 2017 is de MJA3 verbreed van afvalwaterzuiveringsbeheer naar het gehele waterschap.

2.1.3 SER Energieakkoord (2013) en Klimaatakkoord (2019)

In september 2013 werd het SER Energieakkoord voor duurzame groei gepubliceerd. Hierin stond onder meer het streven dat waterschappen in 2020 minstens 40% (4 PJ) van hun eigen energieverbruik duurzaam produceren (op dat moment circa 25%). Met name de productie van biogas bij de afvalwaterzuivering zou hieraan bijdragen. Verder wordt benoemd dat de Routekaart afvalwaterketen 2030 van VNG en Unie van Waterschappen een belangrijke inspiratiebron is voor het benutten van kansen voor lokale productie van duurzame energie in de afvalwaterketen.

De waterschappen hebben in 2017 in het kader van het Interbestuurlijk Programma met de investeringsagenda “Naar een duurzaam Nederland” het aanbod gedaan om in 2025 energieneutraal te zijn: Waterschappen hebben de ambitie in 2020 minimaal 40% van het eigen energieverbruik zelf te produceren en in 2025 energieneutraal te zijn. Zij zetten daarvoor de eigen terreinen en assets maximaal in voor het opwekken van hernieuwbare energie.

Op 28 juni 2019 verscheen het Klimaatakkoord. Onder de kop “beschikbaarheid van duurzame biomassa” staat dat er op dit moment nog een onbenut potentieel is van onder meer zuiveringsslib. Er wordt niet ingegaan op (methaanemissies bij) rwzi's. Daarnaast is in het Klimaatakkoord de ambitie van de ‘Groen gassector’ vastgelegd om 70 PJ te realiseren in 2030. Het Rijk verplicht zich tot invulling van allerlei randvoorwaarden op het vlak van innovatie en financiering (SDE). De Rijksoverheid kondigt aan om in 2019 samen met de sector met een routekaart groen gas te komen om innovatie, productie en gebruik van groen gas te bevorderen.

De SER schrijft op 28 november 2019 in een brief aan minister Wiebes (Economische Zaken en Klimaat (EZK) dat het Energieakkoord wordt overgedragen naar het Klimaatakkoord. De SER-Borgingscommissie voor de uitvoering en borging van het Energieakkoord is per 1 januari 2020 opgeheven.

Met het klimaatakkoord 2019 verschuift de focus van energie-efficiency, duurzame energieopwekking naar het reduceren van de CO₂-eq emissie waarbij naast energie ook aandacht is voor reductie van andere broeikasgassen zoals methaan en lachgas.

2.1.4 EU-Richtlijn energie uit hernieuwbare bronnen (2018)

In de EU-richtlijn 2018/2001 'energie uit hernieuwbare bronnen' staan criteria die kwantificering van broeikasgassen mogelijk maken.

Artikel 2 lid 1 van de EU-richtlijn noemt als definitie van “energie uit hernieuwbare bronnen of “hernieuwbare energie” onder andere gas van rioolzuiveringsinstallaties en biogas.

Dit gas valt weer onder de definitie van biomassabrandstof (i.t.t. biobrandstof waarmee uit biomassa geproduceerde vloeibare brandstof voor vervoer wordt bedoeld).

Artikel 29 benoemt duurzaamheids- en broeikasgasemissiereductiecriteria voor onder andere biomassabrandstoffen. In lid 1 staat dat biomassabrandstoffen voldoen aan bepaalde duurzaamheids- en broeikasgasemissiereductiecriteria indien zij worden gebruikt in installaties voor de productie van elektriciteit, verwarming en koeling of brandstoffen, met een totaal nominaal thermisch ingangsvermogen van 2 MW of meer in het geval van gasvormige biomassabrandstoffen. De lidstaten kunnen de duurzaamheids- en broeikasgasemissiereductiecriteria toepassen op installaties met een lager totaal nominaal thermisch ingangsvermogen.

Artikel 31 geeft regels voor het berekenen van het effect van onder andere biomassabrandstoffen en hun fossiele referentiebrandstoffen op de broeikasgasemissie. Hierbij wordt verwezen naar Bijlage VI (de rekenregels voor biobrandstoffen en vloeibare biomassa staan in Bijlage V, maar vallen dus buiten de genoemde definities).

In onderdeel A (typische en standaardwaarden van broeikasgasemissiereducties voor biomassabrandstoffen die geproduceerd zijn zonder netto koolstofemissies door veranderingen in landgebruik) van Bijlage VI wordt bij de tabel "biogas voor elektriciteit" bij open opslag van digestaat opgemerkt dat dit leidt tot bijkomende emissies van CH₄ en N₂O en dat de omvang van deze emissies afhankelijk is van omgevingsomstandigheden, substraattypes en de efficiëntie van de vergisting. De bijbehorende getallen voor broeikasgasemissiereducties hebben echter alleen betrekking op natte mest, volledige maïsplant en bioafval (gescheiden ingezamelde (vaste) fractie van huishoudens). Methaan van rwzi's en opwerking naar groen gas worden niet benoemd. In onderdeel B (methode), lid 4, staan de broeikasgassen die in aanmerking worden genomen en hun CO₂-equivalentie: CO₂ (1), N₂O (298) en CH₄ (25).

2.1.5 IPCC Refinement (2019) en klimaatmonitor (2019)

In mei 2019 heeft het *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) een omvangrijke "*Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*" vastgesteld⁴. De wijzigingen die betrekking hebben op de verwerking van afvalwater en slib zijn⁵:

- De emissiefactor voor emissie van methaan uit de waterlijn wijzigt van 8,75 g CH₄/kg CZV naar 7,50 g CH₄/kg CZV.
- De emissie van methaan uit de sliblijn: De berekening was gebaseerd op basis van hoeveelheid opgevangen biogas: 29,636 g CH₄ per m³ opgevangen biogas. Dit wordt nu een berekening op basis van de hoeveelheid aangevoerde drogestof: 2,0 g CH₄ per kg drogestof.
- De emissie van lachgas werd berekend op basis van de belasting van de rwzi: 3,2 g N₂O per i.e.¹⁵⁰. Dit wordt: 0,016 kg N₂O-N/kg N (ofwel 1,6% van de binnenkomende stikstofvracht).
- De omrekening naar CO₂-equivalenten is voor methaan aangepast van 25 naar 28 kg CO₂/kg CH₄ en voor lachgas van 298 naar 265 kg CO₂/kg N₂O.

Door de bovengenoemde wijzigingen daalt de berekende emissie van methaan bij de behandeling van afvalwater en de verwerking van slib met respectievelijk 14 en 20%. De emissie van lachgas stijgt met meer dan 95% door de veel hogere emissiefactor die wordt toegepast.

⁴ IPCC 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IPCC 2019.

⁵ Arcadis, 22 april 2020, Impact van de IPCC refinement 2019, Veranderingen in IPCC model voor het vaststellen van de emissie methaan en lachgas bij de rwzi's.

Op basis van deze “refinement” zou de bijdrage van lachgas en methaan 756.637 ton CO₂-eq per jaar bedragen (op basis van data 2018). Dit betekent een aanzienlijke stijging van de totale CO₂ voetafdruk die in 2018 347.760 ton CO₂-eq per jaar bedroeg voor de waterschappen⁶.

2.1.6 Subsidieregeling duurzame energieproductie (SDE++, 2020)

De Stimuleringsregeling Duurzame Energieproductie (SDE, later SDE+, vanaf 2020 SDE++) is een Ministeriële regeling om de productie van schone en duurzame energie te stimuleren. Jaarlijks geeft het PBL via een beleidsstudie een eindadvies over de hoogte van de subsidie per categorie.

Volgens het eindadvies van 11 februari 2020 heeft primair rwzi-slib geen subsidie nodig, omdat het onderdeel is van het waterzuiverings- en slibreductieproces. De analyse is daarom gericht op technologieën die leiden tot meer biogasproductie, zoals thermofiele gisting van secundair slib, thermische-drukhydrolyse, warmtebehandeling en meertrapsgisting.

Na overleg met de UvW en het ministerie van EZK is een techniek-neutrale categorie opengesteld voor de productie van extra biogas uit zuiveringsslib. Projecten moeten bij de aanvraag aantonen dat ze de bestaande biogasproductie met minimaal 25% kunnen verhogen. De installatiedelen die verantwoordelijk zijn voor de meerproductie van biogas moeten nieuw zijn.

De referentietechnologie voor de berekening van het basisbedrag is nieuwe thermofiele vergisting. Dit is de meest kosteneffectieve technologie om meer biogas te produceren uit dezelfde hoeveelheid slib. Er is subsidie voor de volgende categorieën:

- Verbeterde slibgisting bij rwzi's:
 - hernieuwbaar gas;
 - gecombineerde opwekking;
 - warmte.
- Bestaande slibgisting bij rwzi's, hernieuwbaar gas.

Op 5 mei 2020 hebben IPO, VNG en UvW een *position paper* opgesteld naar aanleiding van de routekaart groen gas (zie hierna). Uitgangspunt 4 luidt hierbij: “*Stimuleer innovatieve vergassingstechniek, maar zet ook in op vergistingstechniek (SDE ++)*”. *Op dit moment is de stimuleringsregeling SDE++ onvoldoende om de productie [van biogas] op te schalen. De productie van biogas en groen gas (in feite opgewaardeerd biogas) is vergeleken met wind en zon relatief kostbaar, waardoor de SDE++-gelden eerder voor wind en zon worden ingezet. Een aanpassing van de SDE is in elk geval nodig om het potentieel van het zuiveringsslib en GFT beter te kunnen benutten.*

2.1.7 Kabinetsaanpak klimaatbeleid / routekaart groen gas (2020)

In een brief van de minister van EZK aan de Tweede Kamer van 30 maart 2020 wordt gesteld dat voor de energievoorziening in 2050 de opschaling van de productie van groen gas en duurzame waterstof van groot belang is. Op dezelfde dag heeft de minister een brief “Routekaart Groen Gas” gestuurd. Daarin staat dat rwzi's potentie kennen als productielocatie voor groen gas. Op deze locaties zou, naast de reeds bestaande en significante vergistingsactiviteiten van de waterschappen, aanvullende ruimte gecreëerd kunnen worden voor groengasproductie door de waterschappen zelf en eventueel door derde partijen.

⁶ Arcadis, Unie van Waterschappen, 22 april 2020, Impact van de IPCC refinement 2019; Veranderingen in het IPCC model voor het vaststellen van de emissie van methaan en lachgas bij de rwzi's.

Ook wordt benoemd dat de waterschappen in 2018 circa 2,4 PJ biogas produceerden, dat grotendeels is omgezet in warmte en elektriciteit via biogas-WKK en dat de UvW streeft naar verdere verhoging en optimale benutting van het potentieel uit zuiverings-slib.

Naar aanleiding van de routekaart zijn Kamervragen gesteld en antwoorden geformuleerd op 8 juni 2020. Vraag 41 luidt als volgt: *Welke mogelijkheden ziet u voor het omzetten van vergisters die elektriciteit produceren naar een productie van groen gas? In hoeverre is dit mogelijk, welke obstakels zijn er hierbij en wat zijn de voor- en nadelen?*

En het antwoord: *Technisch is het mogelijk een vergister om te bouwen van elektriciteits-productie naar groen gas productie. De belangrijkste verandering die hiervoor doorgevoerd dient te worden is het installeren van een opwaardeerinstallatie om het biogas om te kunnen zetten in groen gas. In de SDE++ wordt aan SDE-projecten die elektriciteit produceren de mogelijkheid geboden om in aanmerking te komen voor verlengde levensduur na afloop van hun SDE-beschikking als zij hun installatie ombouwen naar groen gas. In de Routekaart Groen Gas heb ik een beleidsagenda opgenomen met concrete acties waar ik inzet op zal plegen om de productie van groen gas in Nederland te vergroten.*

2.1.8 SER advies duurzaamheidskader biograndstoffen en routekaart biograndstoffen

In het advies van de SER is opgenomen dat de inzet van biograndstoffen dient bij te dragen aan drie duurzaamheidstransities. De eerste is een bijdrage aan het drastisch verminderen van de CO₂-eq uitstoot door het gebruik van fossiele brandstoffen. Voor energetische toepassingen wordt op de langere termijn door de SER een beperkte rol gezien, omdat daar steeds meer alternatieven voor komen. Ten tweede wordt daarom een belangrijke rol voor biograndstoffen gezien in de transitie naar de circulaire economie waar zij de potentie hebben om de klimaatimpact van sectoren als de chemie en de bouw fors te reduceren. Dit door bijvoorbeeld vastlegging van koolstof in materialen. Tot slot ziet de SER als derde een rol van biobrandstoffen in de transitie naar een kringlooplandbouw. In een aan de Tweede Kamer gestuurde brief (Duurzaamheidskader biograndstoffen, 16 oktober 2020) stelt het kabinet groen gas als een wenselijk eindbeeld voor toepassingen en functies waar alternatieve bronnen onvoldoende beschikbaar zijn en groen gas daarmee geen transitiebrandstof is. Vanuit hier richt het kabinet zich op de opschaling van de groen gasproductie in lijn met de beleidsagenda van de Routekaart Groen Gas.

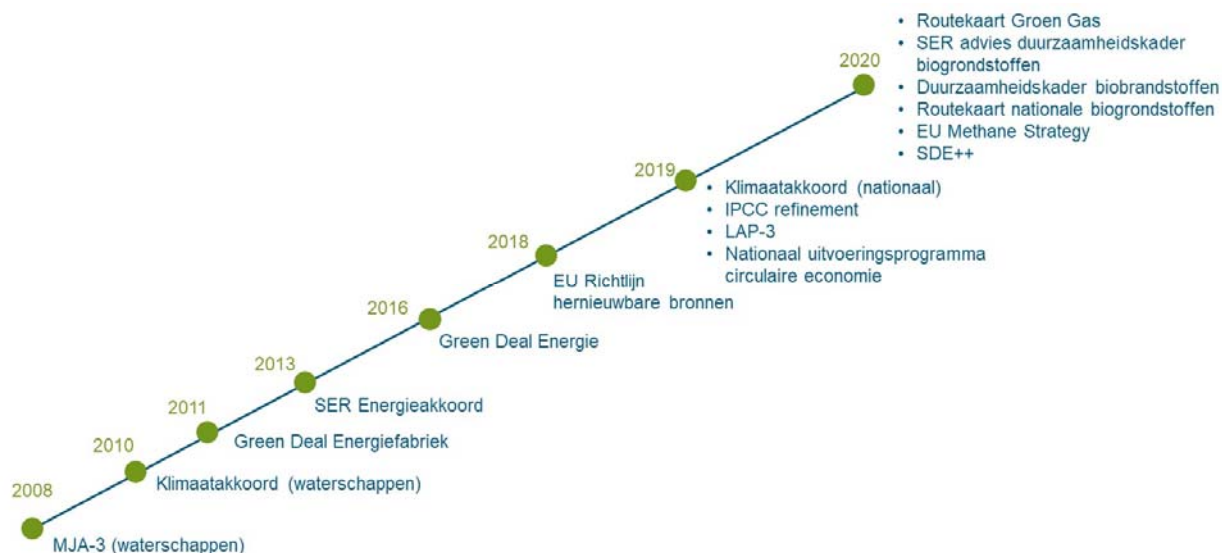
In de Routekaart Nationale biograndstoffen is de uitwerking van het SER advies terug te zien doordat kansen worden gezien voor de inzet van biograndstoffen voor productie/terugwinning van: eiwitten, koolhydraten, vezels, organische stof en vetten.

2.1.9 EU – Methane strategy

In oktober 2020 heeft de Europese Unie een methaanstrategie uitgebracht. Recent is de doelstelling om de CO₂-eq emissie te reduceren in 2030 (ten opzichte van 1990) verhoogd naar 55%. In de strategie is aangegeven dat het daarom noodzakelijk is om de doelstelling voor methaanemissiereductie te verhogen van 29% in 2030 naar 35 – 37% in 2030 (ten opzichte van 2005). Voor de behandeling van stedelijk afvalwater en communaal zuiverings-slib gelden regels die al bijna 30 jaar of langer van toepassing zijn. De richtlijn Stedelijk Afvalwater wordt op dit moment herzien. In aanvulling daarop wordt ook een evaluatie uitgevoerd voor de Richtlijn Communaal Zuiverings-slib. Tot slot zal ook een onderzoek uitgevoerd worden naar de 'scope' voor het nemen van verdere acties rondom de emissie van broeikasgassen, inclusief de emissie van methaan bij de behandeling van communaal zuiverings-slib. Gebaseerd op de herziening van de richtlijn Stedelijk Afvalwater, de evaluatie van de richtlijn behandeling communaal zuiverings-slib en de uitkomsten van de genoemde aanvullende onderzoeken overweegt de commissie om maatregelen te nemen om de emissie van methaan bij de behandeling van communaal zuiverings-slib te limiteren.

2.1.10 Samenvatting

Vanaf 2008 heeft zich bij de waterschappen en op nationaal niveau een ontwikkeling voorgedaan van een focus op duurzame energie naar reductie van CO₂-eq. Daarnaast is er steeds meer aandacht voor de nuttige inzet van grondstoffen voor de circulaire economie. Dit is schematisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Schematische weergave ontwikkeling in focus op energie – klimaat – circulaire economie.

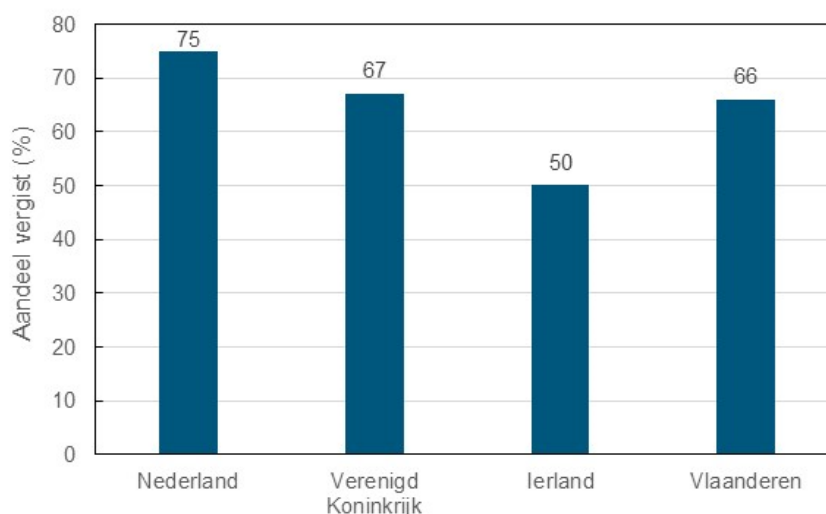
In 2008 zijn de waterschappen gestart met de ambitie om in 15 jaar de energie-efficiency met 30% te verbeteren. In 2013 kwam daar de doelstelling bij om in 2020 40% zelfvoorzienend te zijn. Beide doelen zijn inmiddels bereikt zoals blijkt uit de klimaatmonitor van 2019³. Eén van de belangrijkste speerpunten om deze doelstelling te realiseren is de opwek van duurzame energie, waarvan het grootste deel door de productie van biogas. Met de brief van 16 oktober 2020 over het duurzaamheidskader van biobrandstoffen is ook duidelijkheid gegeven dat groen gas geen transitiebrandstof is maar een belangrijk onderdeel is van de duurzaamheidsstrategie.

Vanuit de waterschappen was er in 2010 al aandacht voor de reductie van de emissie van broeikasgassen zoals lachgas en methaan bij die vrijkomen bij de behandeling van afvalwater en slib. Vanaf deze periode is in STOWA verband al uitgebreid onderzoek gedaan naar de omvang van lachgas- en methaanemissies, gevolgd door onderzoek om deze emissies te kwantificeren en te reduceren. Vanaf 2018 komt daar vanuit de EU aandacht voor de reductie van broeikasgassen bij de productie van energie uit hernieuwbare bronnen en is er een methaanstrategie opgesteld. In 2019 wordt het klimaatakkoord getekend waarin de focus verschuift van energie naar CO₂-eq reductie. Tegelijkertijd komt er ook steeds meer aandacht voor de circulaire economie die nog weer een veel bredere scope heeft dan alleen CO₂-eq reductie, maar ook kijkt naar duurzame inzet van materialen en hergebruik van grondstoffen. Dit laatste valt verder buiten de scope van deze rapportage.

Nu de doelstellingen rondom energie-efficiency en duurzame energieproductie behaald zijn, verschuift de aandacht naar het bovenliggende doel daarvan: reductie van CO₂-eq. Met dit rapport wordt beoogd om inzichtelijk te maken hoe duurzaam de opwekking van biogas is en welke mogelijkheden er zijn om dit verder te verbeteren.

2.2 Slibgisting buiten Nederland

Vergisting van slib kent in Nederland al een lange historie. De eerste slibgistingstanks voor de verwerking van zuiveringsslib werd in 1932 in Winterswijk gerealiseerd⁷. Voor een lange tijd werd slibgisting vooral ingezet om de hoeveelheid slib te reduceren en te stabiliseren en daarmee de verdere verwerkingskosten te reduceren. Later zijn daar de invulling van de duurzaamheidsambities bijgekomen. Anno 2020 wordt afgerond 75% van het communale slib in 71 slibgistingsinstallaties vergist⁸. Een vergelijking met de mate van vergisting met een aantal andere landen is opgenomen in Figuur 2.



Figuur 2. Mate van vergisting in Nederland (data 2018, het Verenigd Koninkrijk, Ierland (beide data 2015) en Vlaanderen (data 2018).

Buiten Nederland wordt slibgisting met uitzondering van Duitsland, veelal toegepast om de hoeveelheid slib te reduceren en de daarmee samenhangende kosten voor slibafvoer/eindverwerking. Vergisting (met eventueel thermische slibvoorbehandeling) van slib in het Verenigd Koninkrijk wordt vaak toegepast vanuit het oogpunt van slibhygiënisatie om het slib dan naar de landbouw te kunnen afzetten. In Noord-Amerika is de productie van biogas geen primaire driver, maar wel in bijvoorbeeld het Verenigd Koninkrijk en Duitsland. In het Verenigd Koninkrijk wordt twee-derde van het zuiveringsslib vergist, in Ierland lag dit in 2014 op 50%. De mate van vergisting in Noord-Amerika ligt veel lager dan 50%, het exacte percentage is niet bekend. Wel is bekend dat in Canada op circa 30% van de zuiveringsinstallaties slib wordt vergist, in de Verenigde Staten ligt dit aandeel maar op 8%. Uit een rapport uit 2014 blijkt dat Duitsland de koploper is op het gebied van duurzame energieproductie uit slib⁹. De mate van slibvergisting is daarbij voor Duitsland niet vermeld, maar ligt naar verwachting tenminste op het niveau van Nederland of hoger. In landen waar de kosten voor energie heel laag zijn, zoals bijvoorbeeld in Canada en de Verenigde Staten wordt nuttige biogasbenutting nog maar beperkt toegepast.

⁷ Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, 2006, Afvalwaterzuivering in Nederland; Van beerput tot oxidatiesloot, RWS RIZA rapport 2006.011.

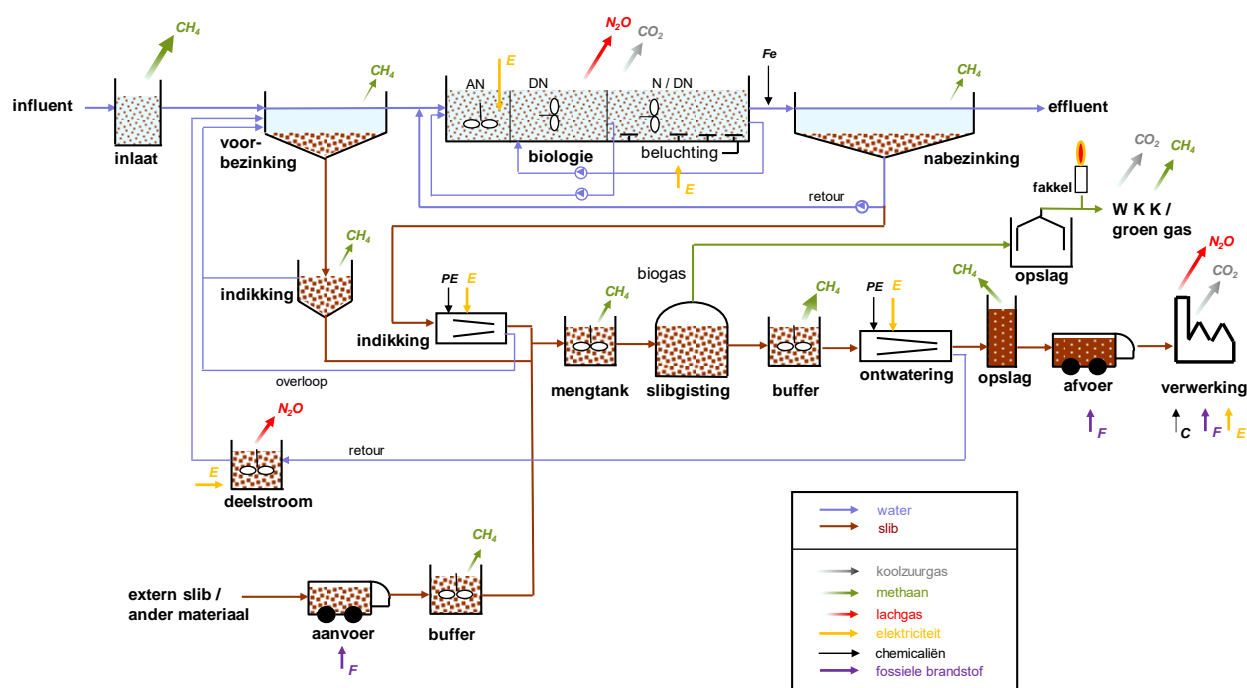
⁸ Unie van waterschappen, 2019, Bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2018.

⁹ IEA Energy Technology Network, IEA Bioenergy, 2014, Task 37 Biogas Country Overview (Country reports).

3 Duurzaamheid van productie biogas uit communaal slib

3.1 Configuratie rwzi's en bronnen van CO₂

De duurzaamheid van de productie van biogas uit communaal slib is bepaald door een vergelijking te maken tussen een zuivering met gisting en een zuivering zonder gisting. Duurzaamheid is daarbij gedefinieerd als de hoeveelheid CO₂-equivalenten die bij de verwerking van het afvalwater en het slib op de twee genoemde type zuiveringen vrijkomt. Bij de zuivering met slibgisting is daarbij nog gekeken naar de invloed van de wijze waarop het biogas wordt benut op de CO₂-voetafdruk. Het gaat daarbij om de toepassing van biogas in een WKK of voor de productie van groen gas. In Figuur 3 wordt een beeld gegeven van de elementen van de rwzi die invloed hebben op de emissie van CO₂-equivalenten.



Figuur 3. Overzicht van de elementen van de rwzi die een bijdrage kunnen leveren aan de emissie van CO₂-equivalenten. Alleen de grootste energieverbruikers zijn aangegeven.

De inrichting van de twee zuiveringen is opgenomen in Tabel 1.

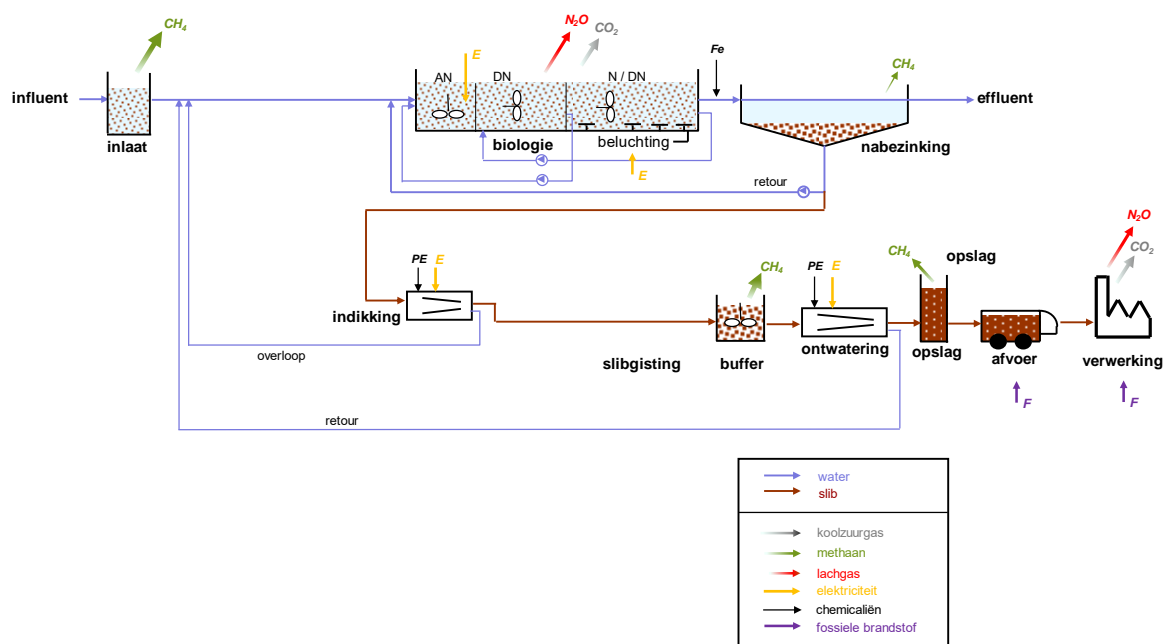
Tabel 1 Configuratie van de rwzi zonder slibgisting en met slibgisting

Procesonderdeel	RWZI zonder slibgisting	RWZI met slibgisting
inlaatwerk	X	X
voorbezinktank	-	X
biologische P verwijdering	X	X
N-verwijdering hoofdstream	X	X
nabezinktank	X	X
indikking primair slib (gravitair)	-	X
indikking secundair slib (mechanisch)	X	X
mengtank voor gisting	-	X
slibgisting	-	X

Procesonderdeel	RWZI zonder slibgisting	RWZI met slibgisting
buffer uitgegist slib	-	X
ontwatering (centrifuge)*	X	X
opslag ontwaterd slib	X	X
afvoer ontwaterd slib	X	X
eindverwerking (monoverbranding)	X	X

*: er is aangenomen dat ontwatering van het slib op de rwzi zelf plaatsvindt.

Een rwzi zonder voorbezinking en slibgisting ziet er dus veel eenvoudiger uit dan aangegeven in het schema van Figuur 3, zie Figuur 4 ter vergelijking.



Figuur 4. Schematisch overzicht van een rwzi zonder voorbezinking en slibgisting.

Voor de berekeningen aan de rwzi is uitgegaan van een rwzi met een vuilvracht van 150.000 i.e. In bijlage 1 zijn de uitgangspunten voor de berekeningen, zoals vuilvrachten, rendement van de voorbezinking, slibleeftijd, temperatuur en verblijftijd van de slibgisting, en dergelijke, samengevat.

In dit rapport gaat het om de vraag of slibgisting eigenlijk wel duurzaam kan worden geacht, in termen van de emissie van CO₂-equivalenten. Het is daarom het meest redelijk (en minst complex) om een vergelijking te maken op het niveau van een rwzi en de vergisting van extern slib buiten beschouwing te laten. In paragraaf 3.7.4 is de invloed van vergisting van extern slib op de CO₂-voetafdruk nog wel kort beschouwd.

Per procesonderdeel kunnen verschillende bronnen een bijdrage leveren aan de CO₂-voetafdruk. Dit zijn:

- CO₂ (dat ontstaat na oxidatie of verbranding van organische stof)
- methaan (CH₄)
- lachgas (N₂O)
- elektriciteit
- chemicaliën
- fossiele brandstof

Deze bronnen zijn in de volgende paragrafen toegelicht, waarbij ook de berekeningswijze voor de bijdrage aan de CO₂-voetafdruk is weergegeven. Bij de bespreking van de resultaten in paragraaf 3.7 is eerst een volledig beeld gegeven van de CO₂-voetafdruk van een zuivering met gisting. Vervolgens is per bron aangegeven of deze onderscheidend is voor het beantwoorden van de vraag in welke mate het toepassen van slibgisting duurzamer is dan het niet toepassen van slibgisting.

3.2 Koolzuurgas

3.2.1 Toelichting

Emissie van koolzuurgas (CO₂) treedt op bij:

- de oxidatie van organische componenten (CZV, chemisch zuurstofverbruik) in het afvalwater;
- de anaerobe omzetting van slib in biogas;
- de verbranding van methaan uit het biogas;
- de verbranding van organische droge stof bij de slibeindverwerking.

Uiteindelijk wordt alle CZV die op de rwzi aankomt omgezet in CO₂, behalve de CZV die zich in het effluent bevindt, en de CZV die wordt geëmitteerd als methaan. In de huidige opzet van de klimaatmonitoring en de IPCC rapporten wordt deze CO₂ als kort-cyclisch opgevat en wordt ervan uitgegaan dat deze geen bijdrage levert aan het broeikasgaseffect (want het wordt weer opgenomen in gewassen).

3.2.2 Uitgangspunten berekening

De CO₂ die vrijkomt bij de aerobe behandeling van het afvalwater is berekend aan de hand van de verwijderde hoeveelheid CZV en de berekende slibproductie. Voor de verwijdering van CZV is uitgegaan van een verwijderingsrendement van 95%. De productie van secundair slib is gedaan op basis van de afvalwatersamenstelling en de toegepaste slibleeftijd, op basis van de HSA-berekening. Deze berekeningswijze is te vinden in meerdere rapporten^{10,11,12}. Voor de CZV-waarde van slib is uitgegaan van 1,4 kg CZV/kg ODS.

De hoeveelheid geproduceerd CO₂ in het biogas is berekend als het verschil tussen de berekende biogas- en methaanproductie, waarbij is uitgegaan van een methaangehalte van 60%. De CO₂ die vrijkomt bij de verbranding van biogas volgt uit de berekende methaanproductie na gisting.

CO₂ die vrijkomt bij de eindverwerking door de oxidatie van de organische stof in het slib is apart opgenomen. Verder is voor de eindverwerking alleen de totale emissie in CO₂-equivalenten opgenomen.

10 Commissie Integraal Waterbeheer 1999. Financiering Zuiveringsbeheer –Voorstel voor een nieuwe heffingsmaatstaf en bouwsteen in de discussie rond de financiering van het waterbeheer. CIW, Den Haag, 1999.

11 STOWA 1998. Beoordelingssystematiek voor rwzi's. Beoordeling van de bedrijfsvoering – wetenschappelijke verantwoording. STOWA, Utrecht, 1998, rapport 98-21.

12 STOWA 2005. Slibketenstudie - Onderzoek naar de energie- en kostenaspecten in de water- en slibketen. STOWA, Utrecht, rapport 2005-26.

3.3 Methaan

3.3.1 Toelichting

Methaan (CH₄) wordt uitsluitend gevormd door methaanbacteriën. Deze kunnen alleen groeien onder zuurstofloze omstandigheden. Groei van deze bacteriën vindt al plaats in anaerobe biofilms aan de wanden van transportleidingen, en daarom vindt significante emissie van methaan plaats in het aanvoerwerk. Op de rwzi zelf vindt er (mogelijk) enige, verwaarloosbare, methaanemissie plaats tijdens de voorbezinking, en enige emissie vanuit plaatsen waar actief slib niet van zuurstof wordt voorzien in anaerobe tanks, denitrificatieruimte en nitrificatieruimte^{13,14}. Significante emissie treedt op vanuit plaatsen waar het slib wordt opgeslagen, vooral na vergisting van het slib. De vergisting zelf levert natuurlijk het meeste methaan, maar dit wordt vrijwel volledig omgezet in CO₂ tijdens het gebruik van biogas. De slibgisting zelf is gasdicht, en levert dus geen methaanemissie. Wel vindt er “methaanslip” (lekkage van methaan) plaats bij opslag en gebruik van het tijdens de slibgisting gevormde biogas (een mengsel van voornamelijk methaan en CO₂) in een warmte-kracht koppelingsinstallatie (WKK) of bij de productie van groen gas.

3.3.2 Methaanvorming vóór de gisting

Aanvoer

Emissie van methaan uit het aangevoerde afvalwater is beschreven in het STOWA-rapport dat in 2016 is gepubliceerd². De emissie is gerelateerd aan het wandoppervlak in een transportsysteem voor de aanvoer van het afvalwater naar de rwzi en de methanogene activiteit in de biofilm aan het wandoppervlak. De op deze wijze berekende methaanproductie geldt voor aanvoer van afvalwater via persleidingen. Aanvoer via vrijvervalleidingen zal naar verwachting tot een lagere methaanproductie leiden, omdat ook deels aerobe omstandigheden heersen in de leiding en de leiding vaak niet volledig gevuld is. De bijdrage van methaan uit de riolering in beheer van de gemeenten is niet meegenomen, maar kan een bron zijn, die wel heel lastig in beeld te brengen zal zijn.

Slib

Met het aangevoerde afvalwater worden methaanvormende bacteriën aangevoerd. Op plaatsen waar bezinkend of bezonken slib anaeroob wordt, in de voorbezinking en tijdens de indikking van primair slib, kunnen deze bacteriën zich vermeerderen en kan methaanemissie optreden. Ook in actief slib bevinden zich methaanbacteriën, bijvoorbeeld in het binnenste deel van de slibvlokken. Alleen slib dat wordt belucht met zuivere zuurstof is geen methaanvorming aangetoond. Data om mogelijke methaanvorming in de voorbezinktank en in de actiefslibtank te berekenen ontbreken vooralsnog of zijn onvoldoende nauwkeurig². Om die reden is de bijdrage van methaan uit deze twee tanks hier niet meegenomen in de beschouwingen. Schattingen voor de emissie van methaan door opgeslagen primair en secundair slib kunnen worden ontleend aan metingen¹, en aan een schatting¹⁵.

Voor de omrekening van gevormd methaan naar CO₂-equivalenten is uitgegaan van 28 kg CO₂ per kg CH₄ ofwel 20 kg CO₂ per Nm³ CH₄.

13 Akoobakar A, M Jones, P Vale, E Cartnell & G Dotro 2013. Methane emissions from aerated zones in a full-scale nitrifying activated sludge treatment plant. *Water, Air & Soil Pollution* 225: 1814 <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1814-8>

14 Lens P N, M-P De Poorter, C C Cronenberg & W H Verstraete 1995. Sulfate reducing and methane producing bacteria in aerobic wastewater treatment systems. *Water Research* 29 (3): 871-880.

15 STOWA 2007. Risicomodel explosieveilgheid. STOWA, Amersfoort, rapport 2007-16.

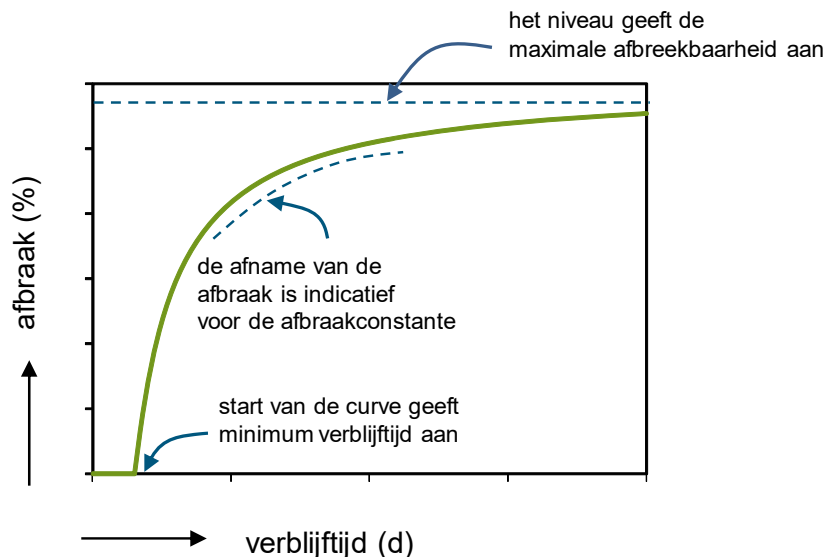
3.3.3 Methaanvorming tijdens en na de gisting

Tijdens de vergisting

De methaanvorming tijdens de vergisting kan met redelijke precisie worden geschat aan de hand van de zogenaamde Contois' kinetiek^{16,17}. In zijn simpelste vorm kan de kinetiek worden weergegeven als:

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

met E is de efficiëntie van de afbraak van organische stof (-), Θ is de dimensieloze verblijftijd (het quotiënt van verblijftijd en minimale verblijftijd) en K is een dimensieloze parameter, die de beschikbaarheid voor afbraak van het substraat aangeeft. In Figuur 5 is één en ander schematisch weergegeven. De temperatuur komt niet expliciet in de vergelijking voor, maar is wel degelijk van belang: deze beïnvloedt de minimale verblijftijd, en dus de parameter Θ . Uitgegaan is van een temperatuur van 35 °C. De wijze waarop het slib op deze temperatuur gebracht kan worden hangt samen met de wijze waarop biogas wordt ingezet: in een WKK of in een groengasinstallatie. In paragraaf 3.7.4 is dit uitgewerkt.



Figuur 5. Schematische weergave van de kinetiek van de afbraak van organische stof tijdens de slibgisting.

Na de vergisting

Als het slib nu na de vergisting wordt overgebracht naar een indikker of een opslagtank, gaat het vergistingsproces gewoon door. Buffering en opslag kunnen dan als aparte vergistingsreactoren worden opgevat, met een korte verblijftijd. Daarvoor is geschikte theorie voorhanden¹⁸. Hier wordt een vereenvoudigde methode toegepast, die uitgaat van de voortzetting van het gistingproces. Over de schatting op basis van de methaanemissie ná de slibgisting is eerder gepubliceerd¹⁹. De berekeningswijze, die in de publicatie niet nader is toegelicht, wordt uiteengezet in bijlage 2.

16 Chen Y R & A G Hashimoto 1980. Substrate utilization model for biological treatment systems. *Biotechnology & Bioengineering* **22**: 2081-2095.

17 Wiegant W 2011. Voorspelling van de biogasproductie en de slibafbraak tijdens slibgisting. *Afvalwaterwetenschap* **11** (5): 126-135

18 Nelson M I, & A Holder 2001. A fundamental analysis of continuous flow bioreactor models governed by Contois kinetics. II. Reactor cascades. *Chemical Engineering Journal* **149**: 406-416.

19 Wiegant W M, E van Voorhuizen, A Sengers & M Zandvoort 2016. Energiefabriek, vergeet de slibopslag ná de gisting niet. *H2O - Water Matters* **2016** (2): 12-15.

Een belangrijk punt van aandacht hierbij is nog wel het mogelijk optreden van kortsluitstromen. Bij het optreden van kortsluitstroming komt er nog niet vergist slib in de opslag ná de gisting terecht. Dit zal leiden tot een verhoogde emissie van methaan na de gisting. De wijze waarop dit kan worden berekend is weergegeven in bijlage 2. Bij de uiteindelijke weergave van de emissie van methaan ná de gisting is het optreden van 2 % kortsluiting aangehouden.

3.3.4 Methaanemissie verwerking van biogas

Voor de lekkage van methaan bij de verwerking van biogas (“methaanslip”) zijn de getallen aangehouden zoals gepubliceerd in eerdergenoemd STOWA-rapport². Er is uitgegaan van een slip van 1 % van de methaanproductie voor zowel de inzet van biogas in een WKK als bij de opwerking naar groen gas.

3.4 Lachgas

3.4.1 Toelichting

De vorming van lachgas treedt uitsluitend op in biologische ruimten waar stikstof wordt omgezet, in de biologie, in geringe mate tijdens de slibgisting, en in de biologische deelstroombehandeling voor stikstof. Emissie van lachgas is altijd gerelateerd aan stikstof-omzettende biologische processen, zowel nitrificatie als denitrificatie. De emissie van lachgas kan ook bij andere elementen optreden, zoals bijvoorbeeld de nabezinktanks, maar die is dan het gevolg van het uittreden van het gas dat eerder is gevormd. Hier is ervan uitgegaan dat lachgasemissie alleen op plaatsen optreedt waar het ook is gevormd.

3.4.2 Uitgangspunten berekening

Schattingen van de emissie van lachgas zijn ontleend aan recente rapporten over lachgasemissie op rwzi's²⁰. Hierbij is een indeling gemaakt in rwzi met een laag, middelhoog of hoog risico op lachgasemissie. Er is uitgegaan van het “gewogen gemiddelde” per i.e. van de 140 onderzochte rwzi's. Op basis hiervan is geschat dat 1,0 % van de N als lachgas wordt geëmitteerd, en daar is hiervan uitgegaan. Dat levert een lagere emissie dan de waarde van 1,6% die het IPCC hanteert en vanaf volgend jaar ook in de klimaatmonitor zal worden toegepast. Deze emissiefactor is afgeleid uit metingen op diverse zuiveringen, waarbij een correlatie wordt gevonden tussen de stikstofvracht en de lachgasemissie. De indruk bestaat dat deze factor een overschatting geeft van de lachgasemissie, omdat wellicht zuiveringen met een verwachte hoge emissie als eerste zijn meegenomen in de metingen. In Denemarken laten metingen bij 10 rwzi's zien dat het gewogen gemiddelde op 0,8% N_2O-N/N_{tot} ligt²¹. Aan de andere kant laat een overzicht van lachgasmetingen aan deelstroombehandelingen zien dat de gemiddelde emissiefactor rond de 1,5% ligt²², vergelijkbaar met de nieuwe IPCC factor terwijl toch de verwachting is dat emissie van lachgas in deelstroomreactoren (door de hoge ammonium- en nitrietconcentraties) hoger ligt dan in actiefslibsystemen. Voor de emissie van lachgas uit deelstroombehandelingen is in deze studie de emissiefactor van 1,5% N_2O-N/N_{tot} opgenomen.

Voor de omrekening van gevormd lachgas naar CO₂-equivalenten is uitgegaan van 265 kg CO₂ per kg N₂O.

20 STOWA, 2019, Risico-inschatting emissie lachgas vanuit Nederlandse rioolwaterzuiveringen, rapportnummer 2019-05.

21 Mikkel Holmen Andersen, 15 april 2020, presentatie Unisense in CoP lachgas.

22 Mampaey K E, M de Kreuk, U G J M van Dongen, M C M van Loosdrecht & E I P Volcke 2016. Identifying N₂O formation and emissions from a full-scale partial nitrification reactor. Water Research **88**: 575-585.

3.5 Elektriciteit, chemicaliën en fossiele brandstof

3.5.1 Toelichting

De voornaamste elektriciteitsverbruikers op de rwzi zijn:

- de beluchting en menging in de biologische ruimten;
- de mechanische indikking van secundair slib (indien toegepast);
- de slibontwatering;
- de beluchting in de deelstroombehandeling.

Andere verbruikers zijn pompen, mixers en slibruimtes; deze zijn niet in Figuur 3 aangegeven, maar wel opgenomen.

Chemicaliën worden verbruikt voor de verwijdering van fosfaat; bij biologische P-verwijdering is de dosering lager omdat alleen aanvullend wordt gedoseerd. Dosering van polyelektrolyt (PE) is noodzakelijk bij de indikking en ontwatering van het slib.

Fossiele brandstof wordt voornamelijk gebruikt voor het transport van extern slib naar de rwzi en van ontwaterd slib naar de eindverwerker. Deze laatste is alleen meegenomen. De verwerking van extern slib wordt alleen kort even beschouwd.

Met de verwerking van biogas in een WKK of in een groengasinstallatie wordt inkoop van elektriciteit of aardgas vermeden. Deze vermeden inkoop is als negatieve CO₂-waarde meegenomen in de CO₂-voetafdruk.

3.5.2 Uitgangspunten berekeningen

Verbruik van chemicaliën en brandstof

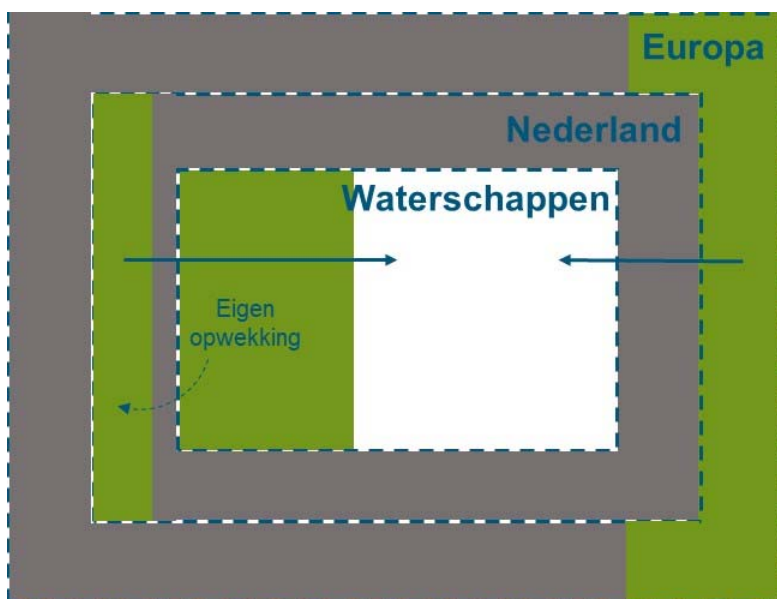
Voor het berekenen van de verbruiken en emissies is zoveel als mogelijk gebruikt gemaakt van eerder gepubliceerde gegevens. De productie van CO₂-equivalenten bij de verbruiken van chemicaliën en fossiele brandstof zijn ontleend aan de klimaatmonitor en voor een deel aan een rapport over GER-waarden van hulpstoffen²³.

Verbruik en vermeden verbruik van elektriciteit

Op dit moment bevinden we ons in een transitie waarin het streven is om uiteindelijk alle elektriciteit duurzaam op te wekken, maar waarbij tegelijkertijd ook altijd aan de stroomvraag dient te worden voldaan. Het is daarom een uitdaging om eenduidig vast te leggen welke CO₂-factoren dienen te worden toegepast voor verbruik of vermeden verbruik van elektriciteit. Aan de hand van Figuur 6 wordt een aanpak gepresenteerd die in dit onderzoek is toegepast.

In de huidige situatie wordt zowel in Nederland als (gemiddeld) in Europa nog maar een beperkt deel van de stroom duurzaam opgewekt. De waterschappen dragen voor de Nederlandse productie bij via opwekking via een WKK of via zonnepanelen of windmolens. De elektriciteit die de waterschappen inkopen is nagenoeg volledig groen. Volgens de klimaatmonitor verslagjaar 2019 bestaat 98,6% van de ingekochte stroom uit groene stroom. Deze groene stroom was voor 73% afkomstig uit Europa, 23% uit Nederland en 4% uit Scandinavië.

²³ STOWA 2012. GER-waarden en milieu-impactscores productie van hulpstoffen in de waterketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2012-06.



Figuur 6. Beeld anno 2018-2019 van het aandeel grijs- en groen opgewekte stroom in Nederland en Europa en de plaats daarin van de waterschappen. Het oppervlak van groen en grijs in de figuur is evenredig met de aandelen van groene en grijze stroom.

Voor het **verbruik van elektriciteit** is uitgegaan van de mix die in 2019 is ingekocht door alle waterschappen. Op basis van die mix is een “gewogen waarde” waarde van 30 g CO₂/kWh berekend²⁴. Waar in de rapportage gesproken wordt over ‘groene stroom’ dan is met deze waarde gerekend, tenzij anders vermeld.

Voor de toe te passen CO₂-factor voor **vermeden elektriciteit** bestaan verschillende zienswijzen. De eerste is dat de vermeden zelf opgewekte stroom gezien wordt als niet in te hoeven kopen groene stroom, waarbij een emissiefactor van 30 g CO₂/kWh (of 0 als volledig groen wordt ingekocht) kan worden aangehouden. De tweede zienswijze gaat ervan uit dat –conform het beeld in Figuur 6– de inkoop en productie van stroom in Nederland nog niet volledig ‘groen’ is. Vanuit dit oogpunt kan worden betoogd dat door de eigen opwekking van elektriciteit minder groene stroom hoeft te worden ingekocht waardoor meer groene stroom beschikbaar is voor andere verbruikers waarmee de inkoop van grijze stroom wordt vermeden. De daarvoor gehanteerde emissiefactor is 556 g CO₂/kWh. Voor de berekeningen is deze laatste zienswijze als uitgangspunt gebruikt. De reden hiervoor is dat dit het meest aansluit bij de actuele situatie in Nederland, waarin nog niet alle stroom groen wordt opgewekt en extra verbruik de opgave van vergroening alleen maar groter maakt. Het effect op de CO₂-berekening van de eerste zienswijze is bij de bespreking van de resultaten wel in beeld gebracht.

Productie van groen gas

Bij de berekening van de productie van groen gas is rekening gehouden met het feit dat een deel van het biogas direct wordt verbrand om de temperatuur van de slibgisting (33-37 °C) op peil te houden. Dit aandeel is afhankelijk van de concentratie van het ingevoerde slib en bedraagt 15 - 30%²⁵.

²⁴ In de klimaatmonitor wordt aangegeven dat in 2019 1,4% van de elektriciteit grijs is ingekocht (emissiefactor 556 kg CO₂/kWh); 4% als Scandinavische stroom is ingekocht ((emissiefactor 556 kg CO₂/kWh, jaar 2018, bron CBS) en 94,6% als groene stroom is ingekocht (emissiefactor 0 kg CO₂/kWh).

²⁵ Dit percentage is afhankelijk van de concentratie van het ingaande slib en de verhouding primair/secundair slib. In deze studie is voor primair slib uitgegaan van 4% na gravitaire indikking en 6% voor secundair slib na mechanische indikking. Aandeel

Een alternatief is om met een warmtepomp warmte uit het effluent te winnen die kan worden ingezet voor de opwarming van slib. Op deze manier is meer biogas beschikbaar voor groengasopwekking en wordt meer aardgasinkoop vermeden. Het groen gas kan ook ingezet worden als autobrandstof met een potentieel hogere CO₂ winst. Deze optie is in deze studie verder niet doorgerekend.

Bij zowel de inzet van biogas in een WKK als bij in een groengasinstallatie is ervan uitgegaan dat beide een beschikbaarheid kennen van 95% en dus 5% van het geproduceerde biogas niet kan worden ingezet voor elektriciteit- of groengasproductie. Het is mogelijk dat sommige groengasinstallaties een hogere beschikbaarheid kennen van bijvoorbeeld 98%.

3.6 Emissies bij slibeindverwerking

De emissie bij de slibeindverwerking is ontleend aan het jaarverslag 2019 van SNB²⁶. De emissie is alleen berekend in CO₂-equivalenten, en is niet verdeeld over de verschillende bronnen. Bij SNB wordt CO₂ terug geleverd aan de naast gelegen kalkproducent. Dit is een mooie unieke omstandigheid die niet karakteristiek is voor de technologie van monoverbranding. In deze studie wordt daarom de levering van CO₂ niet meegenomen in de CO₂-voetafdruk. Op basis van de aangeleverde hoeveelheid droge stof bij SNB en de in het jaarverslag opgenomen CO₂-voetafdruk is berekend dat de CO₂-emissie 0,42 ton CO₂ per ton drogestof bedraagt. Deze hoeveelheid CO₂-eq per ton droge stof komt overeen met de CO₂-voetafdruk die voor de monoverbrander van HVC is opgesteld²⁷. Beide berekende waarden komen globaal ook overeen met de getallen die kunnen berekend worden aan de hand van de STOWA-slibketenstudie-II²⁸. Naast monoverbranding bestaan er in Nederland ook andere technologieën om het slib te verwerken zoals biologische en thermisch droging gevolgd door een verbrandingsstap. De CO₂ voetafdruk van dit soort routes is niet bekend en verder buiten beschouwing gelaten.

3.7 Uitkomsten

3.7.1 Alle benoemde posten

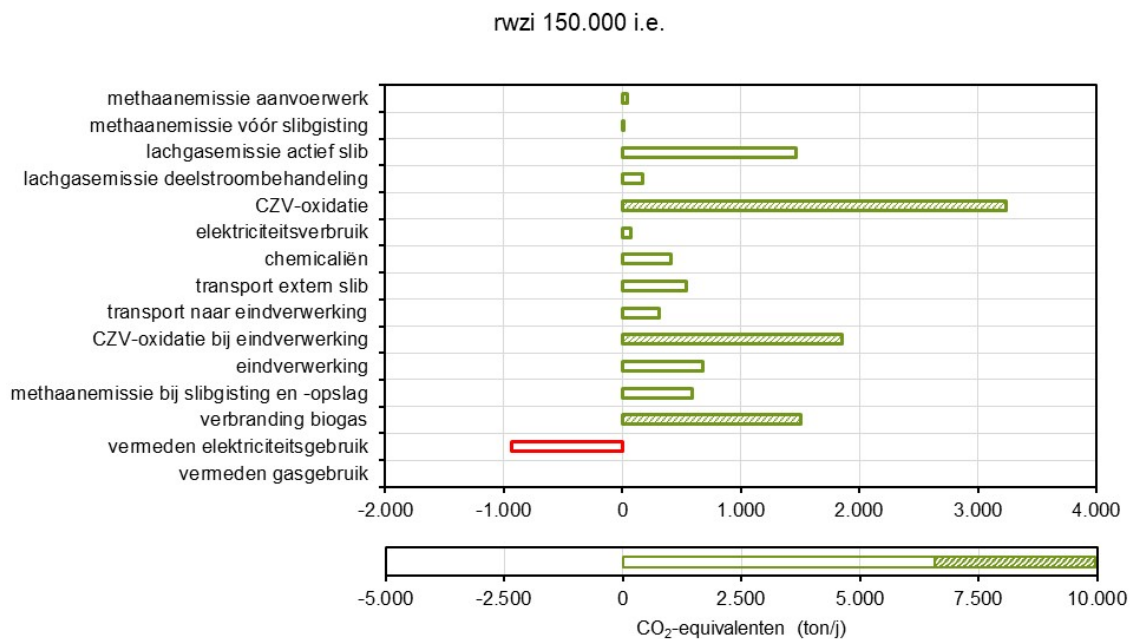
In Figuur 7 is de uitkomst van de berekening van de emissie gegeven voor een installatie met slibgisting en biologische P-verwijdering, waarbij het geproduceerde biogas is ingezet in een WKK.

primair/secundair slib is 50:50 op basis van vrachten droge stof. Warmteterugwinning uit slib is hierin niet meegenomen.

26 N.V. Slibverwerking Noord-Brabant 2019. Jaarverslag 2019.

27 Bakker P 2019. Reductie van broeikasgasemissies bij afval- en energiebedrijf HVC - Waar liggen kansen voor HVC om broeikasgasemissie te reduceren? Scriptie, van Hall Larenstein 2019.

28 STOWA 2010. Slibketen II - Nieuwe technieken in de slibketen. STOWA, Amersfoort, rapport 2010-33.



Figuur 7. Emissie van CO₂-equivalenten bij een rwzi met voorbezinking, biologische P verwijdering en slibgisting (inzet biogas in WKK). De schaal waarop het totaal is afgebeeld is groter dan die van de elementen (zie verschillende X-assen). De gearceerde balken geven de CO₂ weer die vrijkomt bij de oxidatie van CZV (kort cyclische CO₂), de open balken geven de bijdrage van lang cyclisch CO₂-eq weer.

In Figuur 7 zijn alle benoemde posten opgenomen. Hieruit wordt duidelijk dat feitelijk verreweg het grootste aandeel in de CO₂-emissie afkomstig is van de biologische omzetting van organische vervuiling (CZV) in CO₂ (en water). Het aandeel van deze CO₂-emissie aan de totale CO₂-emissie bedraagt bijna tweederde²⁹ van de totale CO₂-eq die vrijkomt op de zuivering. De bijdrage van lachgas uit de waterlijn is aanzienlijk; hiervoor is uitgegaan van een emissiefactor van 1,0 kg N₂O-N/kg N_{tot}. Dat is het "gewogen gemiddelde" van de schatting van de emissie van 140 Nederlandse rwzi's²⁰. Bij deze emissiefactor bedraagt de emissie 1.464 ton CO₂-eq/j. Op het totaal, inclusief de CO₂ uit CZV oxidatie is dit een aandeel van 15%²⁹. De bijdrage bedraagt meer dan 50%²⁹ als de CO₂ uit CZV oxidatie niet wordt meegeteld. In de huidige rapportages van de CO₂ voetafdruk van zuiveringen (en landen etc.) wordt de CO₂ die vrijkomt bij biologische omzetting van organische stof of verbranding van biogas niet meegeteld, omdat deze CO₂ als kort cyclisch wordt beschouwd en daarbij rekentechnisch niet bijdraagt aan het broeikasgaseffect³⁰.

Om vanuit dit totaalbeeld te komen tot de beantwoording van de vraag in hoeverre het toepassen van slibgisting duurzamer is dan het niet toepassen daarvan is het vervolg gekeken welke bronnen onderscheidend zijn om deze vraag te beantwoorden.

²⁹ Berekend als: kort cyclisch = 6.589 ton CO₂ van totaal 9.949 ton CO₂; Berekend aandeel lachgas inclusief biogeen = 1.464/9.949 = 15%; Berekend lachgas exclusief biogeen = 1.464/(1.296+1.464) = 53%

³⁰ In de systematiek van de CO₂ prestatieladder wordt de CO₂ (kort cyclisch) die vrijkomt bij de verbranding van biogas wel meegeteld bij de CO₂ voetafdruk van de organisatie

3.7.2 Posten die (vrijwel) niet onderscheidend zijn voor de vergelijking

Oxidatie van CZV en methaan

De CO₂-emissie die gepaard gaat met de oxidatie van CZV is verreweg de grootste bron van CO₂. Deze emissie, net als de emissie die gepaard gaat met het verbranden van biogas én die van de verbranding van het slib in een verbrandingsinstallatie, wordt opgevat als “kortcyclische CO₂” en blijft daarom in deze studie buiten beschouwing.

Methaan vóór de gisting

De methaanemissies vanuit het aangevoerde afvalwater zijn zeer locatie-specifiek, afhankelijk van het type leidingen en de lengte en diameter daarvan, en zijn daarmee niet onderscheidend voor een vergelijking van installaties mét en zonder slibgisting.

De emissie van methaan uit de biologie van de waterlijn kan geacht worden verwaarloosbaar te zijn. Bovendien is deze emissie nagenoeg of helemaal gelijk voor systemen met of zonder voorbezinking. De emissie die vrijkomt bij de opslag en/of indikking van primair- en secundair slib is weliswaar onderscheidend, maar de bijdrage is zeer beperkt (zie Figuur 7). Om die reden is deze bijdrage niet opgenomen in de vergelijking.

Lachgas

De emissie van lachgas vanuit het actiefslibstelsysteem kan in termen van CO₂-equivalenten substantieel zijn. Deze is echter niet onderscheidend tussen systemen met en zonder voorbezinking en slibgisting. Dit omdat de emissie van lachgas niet alleen beïnvloed wordt door de stikstofbelasting, maar ook sterk wordt beïnvloed door de wijze waarop de bedrijfsvoering (bijvoorbeeld de beluchtingsregeling) is ingericht.

3.7.3 Posten die relevant zijn voor de vergelijking

Methaanemissies ná de slibgisting

De emissies van methaan tijdens slibopslag na de gisting en tijdens het gebruik of de verwerking van biogas zijn vanzelfsprekend meegenomen.

Lachgas

Bij een zuivering met slibgisting is uitgegaan van de aanwezigheid van een deelstroombehandeling voor de verwijdering van stikstof. De lachgasemissie die daarbij vrijkomt is onderscheidend, omdat bij een rwzi zonder gisting geen deelstroombehandeling aanwezig is.

Elektriciteitsverbruik

Het elektriciteitsverbruik van de waterlijn is meegenomen in de vergelijking. Er is enig verschil tussen rwzi's met en zonder voorbezinking en slibgisting in hun elektriciteitsverbruik. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt door de geringere slibleeftijd in de waterlijn bij rwzi's zonder slibgisting. Tevens daalt ook de zuurstofvraag doordat de verminderde CZV vracht na de voorbezinktank.

Verbruik van chemicaliën

Het verbruik van chemicaliën kan verschillen vertonen door verschillen in slibproducties tussen zuiveringen zonder en met slibgisting, en dient daarmee te worden meegenomen in de vergelijking. Hierbij is de bijdrage van het voor indikking en ontwatering gebruikte poly-elektrolyt (PE) substantieel.

Fossiele brandstof

Fossiele brandstof wordt bijna uitsluitend gebruikt voor het transport van slib naar de slibeindverwerking.

Aangezien het primaire doel van slibgisting de reductie van de hoeveelheid slib is, en de slibproductie met en zonder voorbezinking en slibgisting dus aanzienlijk verschilt, is er reden dit energieverbruik mee te nemen in de vergelijking.

Vermeden verbruik van elektriciteit en productie van groengas

De productie van elektriciteit of groengas is onderscheidend voor een zuivering met slibgisting en wordt daarom meegenomen in de vergelijking.

Emissie bij de eindverwerking

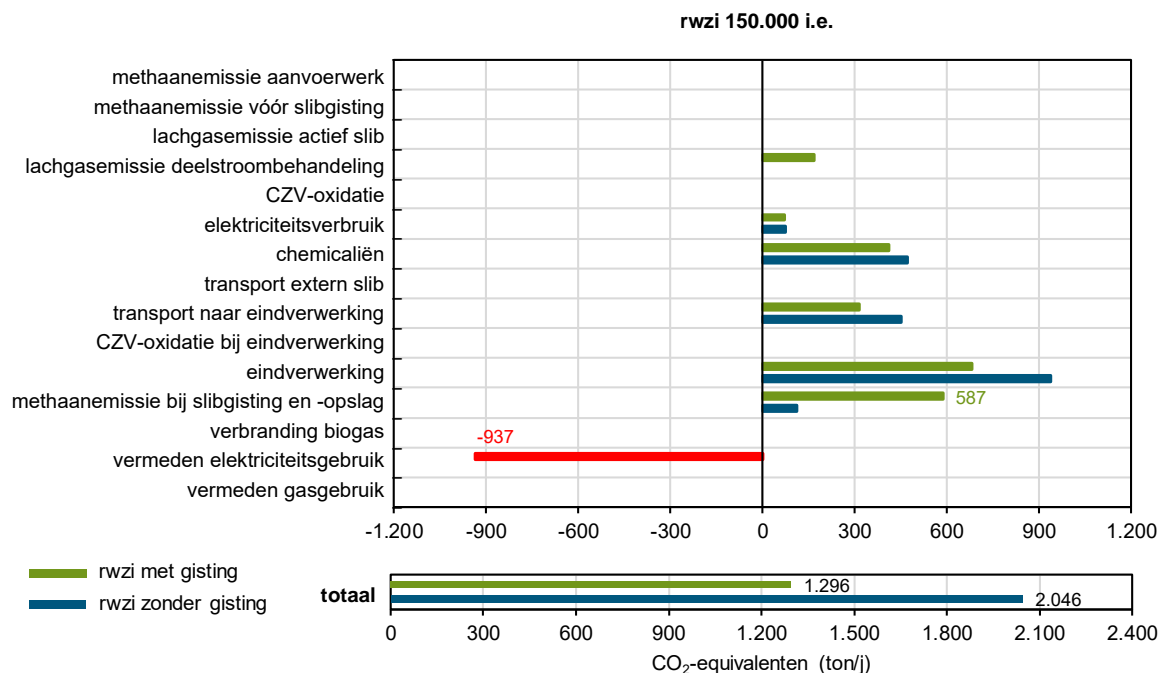
De CO₂-eq emissies bij de eindverwerking hangen enigszins af van de wijze van verwerken en de eigenschappen van de verwerking. Omdat de emissies samenhangen met de hoeveelheid slib die wordt verwerkt, en de hoeveelheden slib afhankelijk zijn van het toepassen van slibgisting, is de emissie bij de eindverwerking meegenomen in de vergelijking. De bronnen die bijdragen aan die emissie zijn: lachgas, verbruik fossiele brandstoffen en hulpstoffen.

3.7.4 Vergelijking tussen wel of niet slib vergisten

Vergelijking

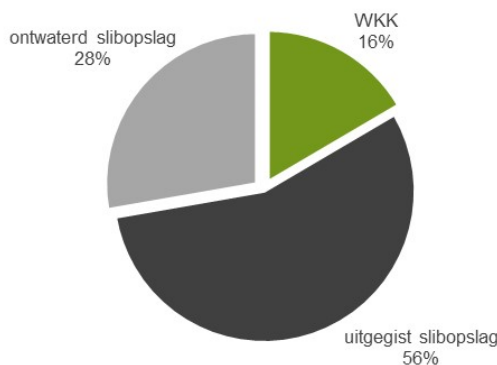
De belangrijkste verschillen bij het vergelijken van rwzi's met en zonder voorbezinking en slibgisting zijn, afgezien van de biogasproductie, de emissies na de slibgisting en het verschil in de uiteindelijke slibproductie, en het verschil in emissie die dat laatste verschil weer met zich meebrengt.

In Figuur 8 wordt de productie van CO₂-equivalenten weergegeven voor een configuratie van de rwzi met en zonder voorbezinking en slibgisting (+WKK). Voor de vermeden elektriciteit is in deze figuur uitgegaan van een emissiefactor van 556 g CO₂/kWh. De impact van het toepassen van andere emissiefactoren wordt later in deze paragraaf besproken.



Figuur 8. Vergelijking tussen een rwzi met voorbezinking en slibgisting en een zonder. De negatieve post voor "met gisting" is rood aangegeven (hier een WKK). De schaal waarop het totaal is afgebeeld is anders dan die van de elementen (zie verschillende X-assen). De onderste schaal geeft de totale CO₂ voetafdruk weer, de bovenste X- as geeft de schaal weer voor de individuele onderdelen.

Het vergisten van slib en het geproduceerde biogas omzetten naar elektriciteit leidt duidelijk tot een verschil met niet vergisten: de uitstoot van CO₂ is 37 % minder bij het wel vergisten van slib dan bij het niet vergisten ervan³¹. Een (95%)-betrouwbaarheidsinterval voor deze waarde kan worden geschat op 28 – 49 %. De verblijftijd en de temperatuur in de gisting, en de mate van kortsluiting zijn de parameters die het meeste effect hebben op de uitkomsten (zie Bijlage 4 voor uitgebreide toelichting). De lagere CO₂-voetafdruk bij vergisten is het gevolg van het feit dat minder slib overblijft, hetgeen leidt tot een lagere CO₂-uitstoot voor het transport van ontwaterd slib en bij de slibeindverwerking. Tegelijkertijd wordt bij het toepassen een grote CO₂-winst bereikt door de opwekking van duurzame energie in de vorm van elektriciteit (of groen gas). Deze winst kan nog worden verhoogd door de emissie van methaan ná de gisting te reduceren. Deze emissie komt overeen met 587 ton CO₂-eq/j, ofwel 63% van de CO₂-eq die wordt vermeden met de opwekking van elektriciteit (937 ton CO₂-eq/j). Dit percentage sluit aan bij de metingen die in STOWA verband op de rwzi Kralingseveer zijn uitgevoerd waar 60% van de vermeden CO₂-eq te niet werd gedaan door de emissie van methaan ná de gisting¹. In Figuur 9 zijn de bronnen van de methaanemissie ná de gisting nader gespecificeerd.



Figuur 9. Specificatie bronnen methaanemissie ná de gisting.

De belangrijkste bron van methaanemissie in deze berekeningen is de slibopslag ná de gisting (en voor de ontwatering). In de praktijk kan de opslag van ontwaterd slib een belangrijkere bron zijn als bijvoorbeeld de verblijftijd in de uitgegist slibopslag kort is (kleiner dan 1 dag). De bijdrage van de WKK betreft de hoeveelheid methaanslip van de installatie, in dit geval 1% van de hoeveelheid methaan die in de WKK wordt verwerkt. Voor de verwerking van biogas in een groengasinstallatie ontstaat eenzelfde beeld. Er zijn hier echter wel ontwikkelingen waardoor de methaanslip van de groengasinstallatie lager is dan de hier nu aangenomen 1%.

Op het moment dat de methaanemissie van 587 ton CO₂-eq per jaar volledig kan worden gereduceerd dan stijgt het verschil met niet vergisten van 37% tot bijna 65%. Bij een reductie van de helft van de methaanemissie ná gisting stijgt het verschil met niet vergisten van 37% naar 50%. In hoofdstuk vier is ingegaan op welke wijze de methaanemissie ná de gisting kan worden gereduceerd en in hoeverre dit in de praktijk al wordt toegepast.

Bij de inzet van biogas in een WKK ontstaat ook warmte die nu al nuttig wordt ingezet voor het opwarmen van het slib en het op temperatuur houden van de gisting. Uitgaande van een gemiddelde warmtevraag wordt de geproduceerde warmte voor circa de helft nuttig gebruikt. In de winter kan dit oplopen tot een bijna volledige nuttige inzet terwijl in de zomer het overschot aan warmte nog wat groter kan zijn.

³¹ Dit is berekend als: $(2.046 - 1.296)/2.046$, zie data in Figuur 8, onderste X-as.

Volledigheidshalve zijn in Tabel 2 conform de uitwerking in de klimaatmonitor de hoeveelheid nuttig en afgefakkeld biogas als memo-items opgenomen.

Tabel 2 Overzicht CO₂ emissies uit biogas (memo-items).

	Nm ³ /j	ton CO ₂ /j
Biogas nuttig ingezet	771.142	1.513
Biogas afgefakkeld	40.586	80

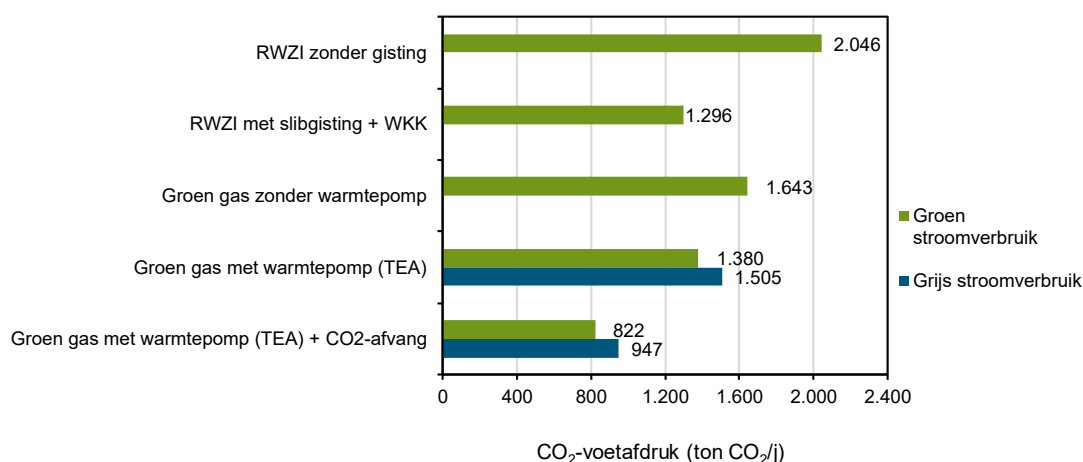
De duurzaamheidswinst bij het vergisten van slib is duidelijk. Deze kan op verschillende wijzen nog worden beïnvloed:

- Inzet van biogas voor de productie van groen gas en het daarbij wel of niet toepassen van een warmtepomp (TEA) voor het opwarmen van het slib.
- Reductie CO₂ bij slibeindverwerking.

De mogelijke CO₂-winst van deze twee opties is hieronder verder uitgewerkt.

Inzet biogas voor groen gasproductie

Nu er ook steeds meer vraag komt naar duurzame alternatieven voor aardgas is de productie van groen gas uit biogas ook steeds aantrekkelijker en maatschappelijk relevant. Bij de productie van groen gas is er geen warmte uit een WKK beschikbaar om het slib op te warmen. In dit geval kan dat via verbranding van een deel van het biogas in een CV-ketel of via warmte die met een warmtepomp uit het effluent kan worden teruggewonnen (TEA). In dit laatste geval is er meer biogas over om groen gas mee te produceren, maar is er extra elektriciteit nodig voor de warmtepomp. Een alternatief is nog de 'restwarmte' die overblijft bij toepassing van een Thermische Druk Hydrolyse (TDH), deze optie is hier verder niet uitgewerkt. De CO₂-voetafdruk van een zuivering met de diverse opties voor groen gas is weergegeven in Figuur 10. Deze opties zijn vergeleken met de WKK-optie. Bij de productie van groen gas bestaat de mogelijkheid om het CO₂ uit het biogas af te vangen en elders nuttig in te zetten. Dit is als laatste optie in Figuur 10 opgenomen.



Figuur 10. Vergelijking CO₂-voetafdruk van zuivering zonder gisting met een zuivering met gisting waarbij biogas wordt verwerkt in WKK (en 'grijze' stroom wordt vermeden) of waar biogas wordt omgezet naar groen gas (en aardgas wordt vermeden) zonder en met de inzet van een warmtepomp en afvang van CO₂. Extra verbruik elektriciteit voor warmtepomp weergegeven als 'groene stroom' en 'grijze stroom'.

Met de productie van groen gas uit biogas wordt ook een CO₂-winst geboekt ten opzichte van niet vergisten. Deze winst kan vergroot worden door de benodigde warmte voor het opwarmen van het slib te leveren via een warmtepomp waardoor het biogas maximaal kan worden benut voor groengasproductie. In deze situatie is de CO₂-winst vergelijkbaar met een zuivering met gisting waar het biogas wordt verwerkt in een WKK. De CO₂-winst bij inzet van een WKK is nog gevoelig voor de CO₂-factor die voor grijze stroom geldt. Er zijn ontwikkelingen (zoals verbeteringen in productieproces of meer aardgas dan kolen) waardoor de productie van deze stroom efficiënter en schoner wordt met een lagere CO₂-factor als waar nu hier mee is gerekend (557 kg CO₂/kWh). In dit geval zal de productie van groen gas steeds eerder een hogere CO₂-eq-winst opleveren. De hoogste CO₂-winst kan worden behaald als het CO₂ dat bij de productie van groen gas wordt afgevangen nuttig kan worden ingezet of kan worden opgeslagen. In de praktijk wordt nu op een aantal locaties een warmtepomp gepland of gerealiseerd voor opwarming van het slib.

De winst ten opzichte van niet vergisten is voor alle in Figuur 10 genoemde opties samengevat in Tabel 3. De onderbouwing van de weergegeven waarden is opgenomen in bijlage 5.

Tabel 3 Vergelijking CO₂ voetafdruk van rwzi (150.000 i.e.) zonder gisting met rwzi's met gisting met WKK of met Groengasopwekking +/- TEA en +/- CO₂ afvang. Extra elektriciteitsverbruik bij warmtepomp is hier als 'groen' gekwalificeerd met een emissiefactor van 30 kg CO₂/kWh.

Zuivering + inzet biogas	Eenheid	Waarde	Reductie t.o.v. <u>niet gisten</u>	
			%	ton CO ₂ -eq/j
RWZI zonder gisting	ton CO ₂ -eq/j	2.046	-	
RWZI met gisting + WKK	ton CO ₂ -eq/j	1.296	37%	750
RWZI met gisting + Groen gas	ton CO ₂ -eq/j	1.643	20%	403
RWZI met gisting + Groen gas + TEA	ton CO ₂ -eq/j	1.380	33%	666
RWZI met gisting + Groen gas + TEA + CO ₂ afvang	ton CO ₂ -eq/j	822	60%	1.224

Invloed toepassing emissiefactoren elektriciteit

Voor het extra elektriciteitsverbruik van de warmtepomp kan worden uitgegaan van de zienswijze dat deze als extra groene stroom met een lage (of geen) CO₂-factor kan worden ingekocht of dat deze zelf duurzaam wordt opgewekt, dan is de CO₂-winst het hoogst. Betoogd kan ook worden dat dit extra verbruik ten koste gaat van de in Nederland nog maar beperkt beschikbare groene stroom (met CO₂-factor 0 g CO₂/kWh) en dat het extra verbruik dient te worden gecompenseerd door een hogere productie van 'grijze stroom'. Te zien is dat het extra elektriciteitsverbruik voor de warmtepomp ongeacht de CO₂-waarde van stroom altijd leidt tot een hogere CO₂-winst. Vergelijk groen gas zonder warmtepomp (1.643 ton CO₂-eq/j) met groen gas met warmtepomp en grijs stroomverbruik (1.505 ton CO₂-eq/j). Of deze winst in de praktijk ook altijd mogelijk is hangt mede af van de hoeveelheid biogas die nodig is voor opwarming van de gisting. Deze hoeveelheid biogas is weer afhankelijk van de concentratie van de ingaande slibstromen en de verhouding primair/secundair slib²⁵. In deze studie is berekend dat 30% van het biogas nodig is voor opwarming van het slib bij een primair/secundair slibratio van 50/50.

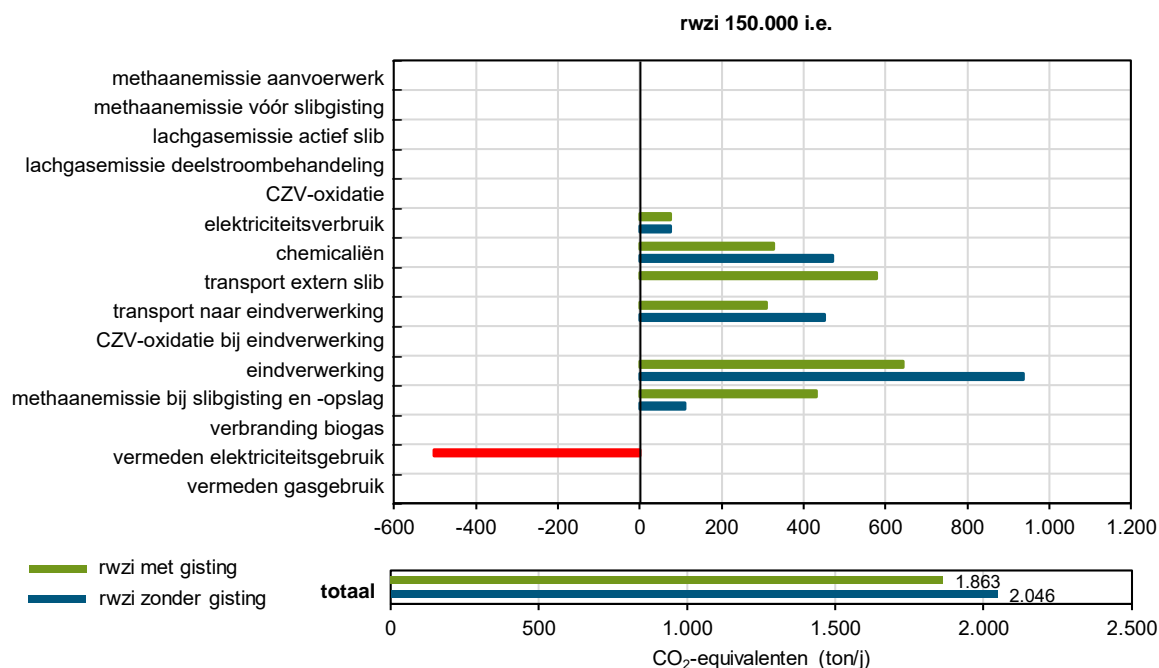
De CO₂-winst met vergisten is potentieel nog te verhogen door het geproduceerde groen gas in te zetten als vervanger van autobrandstof. Welke CO₂-winst wordt behaald is mede afhankelijk van de keuze voor type subsidie (SDE = aardgas; HBE = autobrandstof).

Reductie CO₂ bij slibeindverwerking

In de berekeningen is uitgegaan van de CO₂-voetafdruk zoals die in het jaarverslag van SNB 2018 is opgenomen. In eerste instantie is bij de berekeningen uitgegaan van de CO₂-voetafdruk zonder de levering van CO₂ aan een kalkproducent omdat dit locatie specifiek is en los staat van de toegepaste technologie: monoverbranding. In de situatie dat deze levering³² wel meegerekend wordt daalt de CO₂ voetafdruk voor alle hier onderzochte zuiveringen (met en zonder gisting) met ruim 600 ton CO₂/j. Bij de zuiveringen met slibgisting leidt dit tot een reductie van de CO₂-voetafdruk van circa 40 - 50%³³. Dit voorbeeld laat zien dat bij de eindverwerking van slib ook nog winst is te behalen in het reduceren van de CO₂-voetafdruk. In hoofdstuk vier wordt hier verder op in gegaan.

Extern slib

De duurzaamheid van de vergisting van extern slib, dat wil zeggen, het slib van andere rwzi's dan de "eigen" rwzi, is moeilijk te beoordelen. De baten van de productie van meer biogas of groen gas, en minder emissie van CO₂-equivalenten tijdens de eindverwerking dienen op te wegen tegen de emissies die gepaard gaan met het transport van het slib (bovenop het transport dat nodig was naar een ontwateringslocatie). In feite dient dit voor iedere locatie te worden gecontroleerd. Het komt neer op het vergelijken van een rwzi met en zonder slibgisting, maar dan met slibgisting op een andere locatie, en in beide gevallen géén voorbezinking (het meeste externe slib komt van kleinere rwzi's zonder voorbezinking). Het enige verschil met de huidige vergelijking zou de extra emissie tijdens het transport zijn. In Figuur 11 is een voorbeeld gegeven voor extern slib van een totaal van 150.000 i.e..



Figuur 11. Vergelijking van rwzi's zonder voorbezinking, met en zonder slibgisting voorafgegaan door transport van het slib over 30 km.

Uit Figuur 11 wordt duidelijk dat vergisting van extern slib ook als duurzaam is te kenschetsen. De mate waarin is uiteindelijk afhankelijk van de benodigde transportkilometers.

³² Deze levering is in de zomer van 2020 met 3 jaar verlengd.

³³ Slibgisting + WKK: Reductie = $1 - (1.296 - 600)/1.296 = \sim 50\%$ Slibgisting + Groengas: Reductie = $1 - (1.643 - 600)/1.634 = \sim 40\%$.

3.8 Evaluatie

Op een rwzi worden CO₂-equivalenten geproduceerd bij de oxidatie van CZV, de emissie van methaan en lachgas, het verbruik van elektriciteit, chemicaliën en fossiele brandstof bij het transport van het slib, en bij de eindverwerking van het slib.

Om de duurzaamheid van slibgisting te kunnen beoordelen, dienen vooral de emissies die samenhangen met de slibgisting in kaart te zijn gebracht. Dat zijn de emissies van methaan bij opslag van slib en gebruik van biogas, die van lachgas bij de deelstroombehandeling voor stikstof, het verbruik van energie en chemicaliën, en de emissies bij de eindverwerking. Vergelijking van die emissies leert dat slibgisting, met gebruik van biogas in een WKK of groengasinstallatie, als duurzaam kan worden beoordeeld: de reductie van de emissie van CO₂-equivalenten is 37% ten opzichte van niet vergisten. Ook de vergisting van extern slib kan als duurzaam worden beoordeeld. Met het halveren of volledig reduceren van de methaanemissie kan de winst in CO₂ equivalenten ten opzichte van niet vergisten verhoogd worden naar respectievelijk 50 tot 65% (bij inzet van biogas in een WKK).

De productie van groen gas uit biogas kan tot de hoogste CO₂-winst leiden áls de afgevangen CO₂ nuttig kan worden ingezet of kan worden opgeslagen. Zonder deze nuttige inzet is de CO₂-winst bij toepassing van een WKK of groengasinstallatie ongeveer vergelijkbaar waarbij deze nog wel gevoelig is voor de te hanteren emissiefactoren voor verbruikte en/of vermeden elektriciteit. Bij de productie van groen gas loont het om in te zetten op maximale biogasbenutting en voor de opwarming van slib een warmtepomp in te zetten op het effluent (TEA).

4 Beschikbare reductiemaatregelen en inventarisatie toegepaste maatregelen

4.1 Beschikbare reductiemaatregelen

4.1.1 Reductie methaanemissie en huidige omvang methaanemissie

Reductie methaanemissie

Om invulling te geven aan het klimaatakkoord en de emissie van methaan te reduceren kan gebruik worden gemaakt van eerder door STOWA uitgevoerd onderzoek naar maatregelen die de emissie van methaan kunnen reduceren². De meest kansrijke zijn:

- ventilatielucht met methaan te gebruiken als verbrandingslucht voor de WKK;
- de buffer voor uitgegist slib ombouwen naar nagisting;
- het buffervolume ná de gisting te vergroten zodat hier het grootste gedeelte van de methaanemissie kan worden opgevangen en nuttig kan worden ingezet met één van bovengenoemde twee maatregelen;
- de ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting;
- serie schakeling van gistingstanks (als de gistingsinstallatie bestaat uit meer dan 1 tank):
 - in de volgende paragraaf is deze optie nog verder toegelicht.

In het STOWA rapport uit 2016² zijn de eerste twee maatregelen in een business case uitgewerkt. Voor de eerste maatregel is dit gedaan aan de hand van uitgegist slibbuffer in Kralingseveer (zie Figuur 12). Aan de hand van de uitgegist slibbuffer in Amsterdam West is de tweede maatregel uitgewerkt in een business case (zie Figuur 12). De uitwerking destijds liet zien dat beide maatregelen tot een positieve business case leiden met een terugverdientijd van rond de 10 jaar of kleiner. De schaalgrootte van de gistingsinstallatie is bepalend voor de business case omdat de investeringen niet evenredig afnemen met een kleinere schaal, terwijl de potentiële besparing wel bij benadering evenredig zal afnemen met de schaal.



Figuur 12 Links: uitgegist slibbuffer Kralingseveer; Rechts uitgegist slibbuffer Amsterdam West (foto's Royal HaskoningDHV).

Naast bovengenoemde maatregelen werd aangegeven dat een goede bedrijfsvoering van de slibgisting leidt tot een lagere emissie van methaan na de gisting². Hieronder vallen bijvoorbeeld het handhaven van een voldoende lange verblijftijd (minimaal 20 dagen voor een 1-trapsproces) en zorg te dragen voor een constante aanvoer van slib naar de gisting.

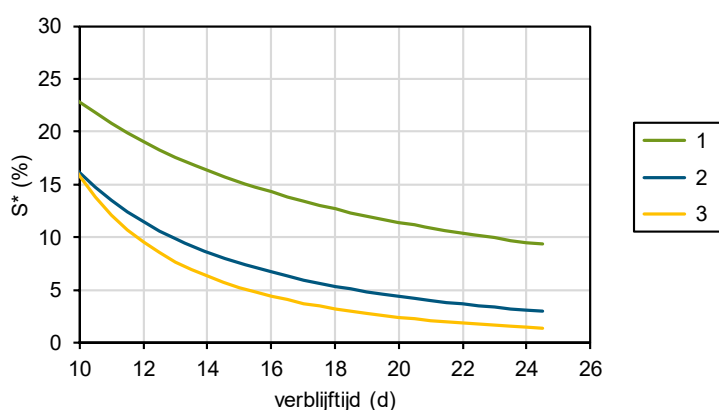
Inschatting omvang huidige methaanemissie ná gisting

Om een inschatting te maken van de huidige omvang van de methaanemissie in Nederland is gebruik gemaakt van de gegevens die rond de verblijftijd in de uitgegist slibbuffer, slibsilos en slibgisting in de klimaatmonitor 2020 (verslagjaar 2019) zijn opgegeven. In dezelfde uitvraag is ook het methaangehalte van het biogas opgevraagd. Uit deze gegevens bleek dat de gemiddelde verblijftijd in de buffer en silo 2 dagen bedraagt, voor de gisting ligt dit op 23 dagen. Deze gegevens zijn in het rekenmodel gezet om te berekenen hoeveel procent van de methaanproductie uit de gisting na de gisting wordt geëmitteerd. Uit de berekening volgt een percentage van 3%. De totale biogasproductie in Nederland bedroeg in 2019 132,5 miljoen Nm³/j, met een gemiddeld methaangehalte van 60% komt dit neer op 79,8 miljoen Nm³/j methaan. Van deze methaanproductie wordt dan circa 3% geëmitteerd als methaan, overeenkomend met 2,4 miljoen Nm³ methaan per jaar, overeenkomend met 47.916 ton CO₂-eq/j. De totale CO₂-voetafdruk van de waterschappen die in 2019 werd gerapporteerd bedroeg 194.717 ton CO₂-eq/j.

De mate van methaanemissie is sterk afhankelijk van de verblijftijd in de gisting en in de verblijftijden in de opslagtanks ná de gisting. Bij een langere verblijftijd in de gisting daalt het percentage methaan dat na de gisting kan worden geëmitteerd. Bij een percentage van 2% daalt de methaanemissie naar 31.944 ton CO₂-eq per jaar, bij 1% bedraagt de emissie dan nog maar 15.972 ton CO₂-eq/j. Om een beter beeld van de totale methaanemissie ná gisting te krijgen is het advies om deze op rwzi niveau in te schatten en/of te meten.

4.1.2 Reductie methaanemissie door toepassing meertrapsgisting

Vergisting van het slib in twee of meer trappen levert een verbeterde afbraak op. Dit is al heel lang bekend³⁴. In Figuur 13 wordt een voorbeeld gegeven voor de afbraak tijdens de vergisting volgens de hier gebruikte theorie van de anaerobe afbraak van slib volgens de Contois kinetiek, in twee en drie reactoren.



Figuur 13. Aandeel van de organische stof dat nog kan worden afgebroken na slibgisting in 1, 2 of 3 reactoren in serie, met telkens gelijk volume, als functie van de totale verblijftijd in de reactoren, bij 35 °C. Er is uitgegaan van een mengsel van 50% primair en 50% secundair slib.

³⁴ Buswell A M & W D Hatfield 1930. Studies on two-stage sludge digestion. State of Illinois Department of Registration and Education Bulletin No. 29.

Uit Figuur 13 wordt duidelijk dat het resterende deel van de afbreekbare organische stof aanzienlijk geringer is bij vergisting in meerdere trappen. In werkelijkheid is de afbraak in meertrapsreactoren meestal nog wat beter dan de theorie voorspelt, doordat de verschillende reactoren ieder hun eigen optimale condities kunnen hebben, en omdat terugvoer kan worden toegepast.

Ook de kortsluitstroming die vrijwel altijd in meerdere of mindere mate optreedt in slibgistingsreactoren, wordt bij toepassing van meertrapsvergisting aanzienlijk geringer. Dat is eenvoudig in te zien: als de kortsluiting over één reactor circa 10% bedraagt, dan zal de kortsluiting van onvergist materiaal over de tweede reactor nog maar $10\% \times 10\% = 1\%$ bedragen. Deze beide factoren dragen ertoe bij dat de methaanemissie tijdens de opslag en verwerking van het slib na de vergisting aanzienlijk geringer zal zijn bij meertrapsvergisting ten opzichte van eentrapsvergisting.

4.1.3 Overige reductiemaatregelen

Elektriciteit zal in de nabije toekomst volledig groen (met CO₂ factor 0 g CO₂/kWh) worden ingekocht door waterschappen waardoor een grote bron van CO₂-eq wordt gereduceerd. Dit sluit aan bij de afspraak die in het Klimaatakkoord is opgenomen dat decentrale overheden zich inspannen om voor 2030 'groen' in te kopen van Nederlandse bodem. Naast methaan blijven dan lachgas en het verbruik van chemicaliën nog over als een belangrijke bron van CO₂-eq. Voor de reductie van lachgas zijn nog geen duidelijke maatregelen inzetbaar, al wordt daar al wel steeds meer onderzoek naar gedaan bij een aantal waterschappen en lijkt bijvoorbeeld de beluchttingsregeling een belangrijke regelknop. Voor de vervanging van chemicaliën wordt voor polymeren (PE) onderzoek gedaan naar de inzet van 'groene' polymeren.

Naast de CO₂-eq uit fossiele brandstoffen wordt in het zuiveringsproces en bij de verwerking van slib en biogas ook CO₂ gevormd dat nu wordt aangemerkt als kort-cyclische CO₂ (conform huidige protocol). Het voorbeeld van SNB laat zien dat een afzet van CO₂ dat wordt gevormd bij de verbranding van het slib nuttig kan worden ingezet. Een andere mogelijkheid om de CO₂-voetafdruk via slibeindverwerking te verlagen is de energetisch waarde van het te verwerken slib beter (en meer) te benutten voor de omgeving. Dit is bijvoorbeeld mogelijk om bij een nieuwe generatie slibverbranders te kijken naar de mogelijkheden deze meer te voeden met gedroogd slib. De warmte die dan bij de verbranding daarvan vrijkomt kan dan als vervanger van aardgas worden ingezet voor de omgeving. Droging van slib kan biologisch (tot 65% droge stof) of thermisch (tot 90% droge stof) met restwarmte. Een andere optie is om het thermisch gedroogde slib te vergassen, waarbij het geproduceerde syngas ingezet kan worden voor de productie van waterstof, methanol of ammonia³⁵.

In de uitwerking van het Planbureau voor de Leefomgeving (Joulebak 2050) om de opgave om in 2050 de Nederlandse CO₂-emissie vergaand te reduceren spelen productie van groen gas uit biomassa en CO₂-afvang en opslag (CCS = carbon capture and storage) een belangrijke rol. Deze laatste mogelijkheid geldt ook voor de nieuwste generatie groengasinstallaties, waar de verwijderde CO₂ kan worden afgevangen en mogelijk worden opgeslagen of nuttig worden ingezet.

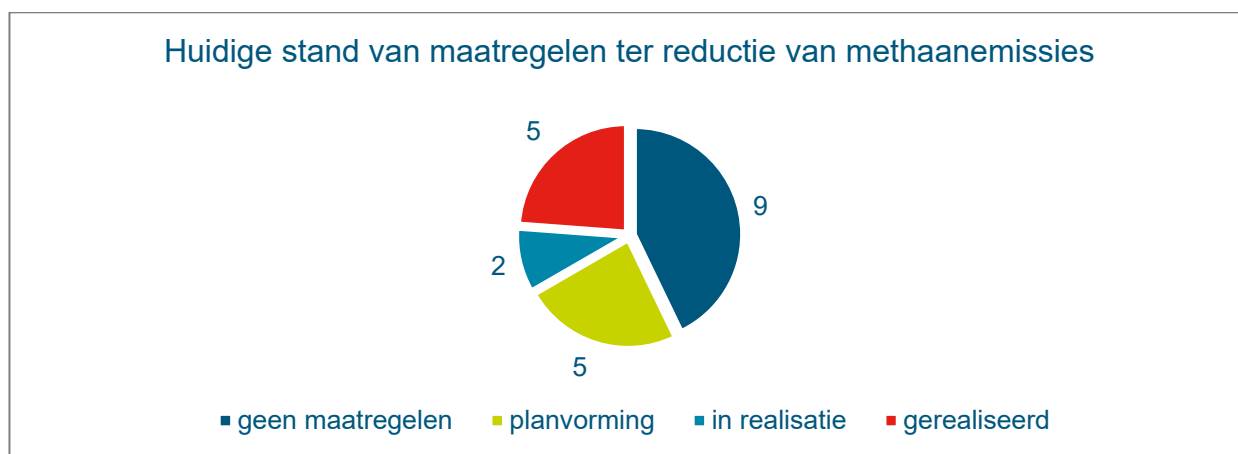
4.2 Uitkomsten inventarisatie

Naast het verkrijgen van inzicht in de duurzaamheid van het produceren van biogas uit communaal zuiveringsslib, is ook de vraag in welke mate de emissie van broeikasgassen nu al wordt gereduceerd. Als onderdeel van de klimaatmonitor Waterschappen over het verslagjaar 2019³ is een uitvraag gedaan waarin de waterschappen ook informatie hebben aangeleverd wat betreft maatregelen die genomen zijn om emissies te reduceren. Deze informatie is gebruikt om een overzicht te maken van de huidige maatregelen en de status van deze maatregelen. De exacte vraagstelling is opgenomen in bijlage 3.

³⁵ Enkele initiatieven lopen er op dit vlak: H₂-productie (RWE), methanol/ethanol (Nouryon).

Wat betreft de metingen aan emissies is er één waterschap dat in de waterlijn continu emissies meet: op twee van de zeven AT's van de rwzi Amsterdam West is de methaanemissie een keer bepaald. Er zijn twee andere waterbeheerders die aangeven emissies rond de gisting te meten, in verband met veiligheid, gasopwaardering of bijmenging.

Er zijn veertien waterschappen actief bezig met reductiemaatregelen voor methaanemissies. Er kan een onderscheid gemaakt worden wat betreft de fase waarin deze maatregelen zich bevinden, zoals weergegeven in Figuur 14.



Figuur 14. Overzicht aantal waterschappen en de huidige stand van maatregelen ter reductie van methaanemissies.

- Er zijn vijf waterschappen waar maatregelen in de planvormingsfase zijn. Zo wordt er voor diverse locaties onderzocht of het haalbaar is om uitgestikt slibbuffers om te bouwen tot nagisting,
- Op één rwzi wordt op dit moment de voorbereidingen getroffen om de uitgestikt slibbuffer te bedienen als nagisting, en deze aan te sluiten op de gaslijn. Daarnaast is er op dit moment één rwzi waar een meertrapsgisting gerealiseerd wordt, waarbij de bestaande gisting als navergister worden gebruikt, dit zal de emissies reduceren.
- Bij vijf waterschappen wordt de methaanemissie gereduceerd. Er zijn drie waterschappen waar op dit moment een nagisting gebruikt wordt. Daarnaast is er één waterschap die de gisting omgebouwd heeft naar thermofiele gisting. Verder is er één waterschap dat aangeeft door de bedrijfsvoering emissies te beperken: bij onderhoud aan de installatie wordt de biogasproductie gereduceerd, waarmee eventuele spui wordt voorkomen en de verblijftijd van uitgestikt slib wordt zo laag mogelijk gehouden.
- Er zijn in totaal negen waterschappen die niet actief bezig zijn met maatregelen. Er zijn diverse locaties waarbij slibbuffers afgedekt zijn. De huidige luchtbehandelingsfilters die nu op zuiveringen worden toegepast verwijderen geen broeikasgassen en is wat betreft methaanemissies dus geen reductiemaatregel.

In totaal zijn er drie rwzi's met een nagisting, één thermofiele gisting, één rwzi waar de bedrijfsvoering geoptimaliseerd is, er is één rwzi waar de uitgestikt slibbuffer omgebouwd wordt tot navergister en er is één meertrapsgisting met navergister in uitvoering. Van de 71 locaties waar biogas wordt geproduceerd zijn er zeven locaties zijn waar maatregelen zijn getroffen of in uitvoering zijn.

5 Conclusies en advies

5.1 Conclusies

Deze rapportage kent **twee doelstellingen**:

- 1 Het verkrijgen van inzicht in de duurzaamheid (uitgedrukt in CO₂-equivalenten), van het produceren van biogas uit communaal zuiverings-slib, waarbij enerzijds elektriciteit uit biogas wordt geproduceerd of anderzijds groengas wordt geproduceerd uit biogas.
- 2 Inzicht in de mate waarin nu al maatregelen worden getroffen om de emissie van broeikasgassen die rond de vergisting van slib vrijkomen te reduceren.

Ten aanzien van de **eerste doelstelling** kan worden geconcludeerd worden dat:

- Het vergisten van slib duurzamer is dan het niet vergisten van slib.
 - Dit wordt vooral veroorzaakt doordat de hoeveelheid slib wordt gereduceerd wat leidt tot lagere CO₂-eq-emissies bij het transport en de eindverwerking van het slib. Tegelijkertijd wordt duurzame energie geproduceerd in de vorm van elektriciteit of groen gas.
- Met de inzet van biogas in een WKK voor de productie van elektriciteit de winst 37% bedraagt ten opzichte van niet vergisten.
- De inzet van biogas voor de productie van groen gas (met toegevoegde maatschappelijke waarde) een winst oplevert ten opzichte van niet vergisten van:
 - 20% als een deel van het biogas ook wordt gebruikt voor opwarming van het slib;
 - 33% als voor de opwarming van het slib warmte uit het effluent (TEA) wordt gebruikt en biogas dus maximaal benut kan worden voor groengasproductie;
 - 60% als naast toepassing van TEA voor opwarming slib het afgevangen CO₂ uit het biogas nuttig wordt ingezet of opgeslagen.
- De winst in CO₂-eq die hier voor zowel de inzet van biogas in een WKK als voor inzet van biogas in een groengasinstallatie wordt berekend is gevoelig voor de keuze van de CO₂ factor voor vermeden en extra in te zetten elektriciteit (zoals bij warmtepomp).
 - Door een efficiëntere en schonere productie van 'grijze stroom' zal in de loop van de tijd de productie van groen gas in vergelijking met de toepassing van een WKK (een steeds grotere) winst opleveren, omdat de CO₂ factor voor vermeden en extra in te kopen elektriciteit dan daalt.
- De emissie van methaan ná de gisting een groot deel (>50%) van de vermeden CO₂-eq door elektriciteits- of groengasopwekking tenietdoet.
 - De grootste bijdrage (>80% van die 50%) wordt daarbij geleverd door de buffer voor uitgegist slib en de opslag voor ontwaterd uitgegist slib.

Ten aanzien van de **tweede doelstelling** kan worden geconcludeerd worden dat:

- Op circa 10% van de gistingslocaties in Nederland maatregelen getroffen worden of zijn om de emissie van methaan ná de gisting te reduceren.
- Voor de reductie van de methaanemissie ná de gisting potentieel maatregelen beschikbaar. Dit zijn:
 - ventilatielucht met methaan te gebruiken als verbrandingslucht voor de WKK;
 - de buffer voor uitgegist slib ombouwen naar nagisting;

- het buffervolume ná de gisting te vergroten zodat hier het grootste gedeelte van de methaanemissie kan worden opgevangen en nuttig kan worden ingezet met één van bovengenoemde twee maatregelen;
- de ombouw van mesofiele naar thermofiele gisting;
- serie-schakeling van gistingstanks (als de gistingsinstallatie bestaat uit meer dan 1 tank).
- De totale methaanemissie ná gisting in Nederland op basis van een ruwe inschatting circa 2,4 miljoen m³ per jaar bedraagt, overeenkomend met 47.916 ton CO₂-eq.
 - De mate van methaanemissie wordt sterk beïnvloed door de verblijftijd in de gisting, de mate van kortsluitstroming die in de gisting plaatsvindt en de verblijftijd in de opslag van het uitgegiste slib.

5.2 Advies

Geconcludeerd is dat het vergisten van slib duurzamer is dan het niet vergisten van slib. Om de klimaatvoetafdruk van het waterschap te verlagen is het advies om:

- Het aandeel vergist slib te verhogen of het bestaande gistingsproces te verbeteren of te optimaliseren.
 - Dit kan tegelijkertijd een kans zijn om de biogasproductie te verhogen in het kader van de Routekaart Groen Gas en het Klimaatakkoord.
- Bij de inzet van biogas in een groengasinstallatie de afgevangen CO₂ uit het biogas nuttig in te gaan zetten of op te vangen.
- Bij de opwaardering van biogas naar groen gas de duurzaamheid verder te verhogen door de extra benodigde elektriciteit (voor installatie en eventueel warmtepomp; op eigen terrein duurzaam) op te wekken.
- Per gistingslocatie de technische en financiële haalbaarheid van beschikbare maatregelen voor de reductie van de methaanemissie ná gisting in beeld te brengen en uit te gaan voeren.
 - voor de reductie van methaan zijn maatregelen beschikbaar waarvan voor enkele de technische en financiële haalbaarheid al in kaart zijn gebracht².

Buiten het bestek van dit onderzoek liggen er binnen de afvalwater- en slibketen kansen voor verdere verduurzaming:

- Bij de eindverwerking van slib (waar nog energie in zit na vergisting) te kijken naar de mogelijkheden om (biologisch of thermisch) gedroogd slib te verbranden waardoor de vrijgekomen warmte nuttig voor de omgeving kan worden ingezet (als vervanger van aardgas). Een andere mogelijkheid is het thermisch gedroogde slib te vergassen waarbij het geproduceerde syngas ingezet kan worden voor productie van waterstof, methanol/ethanol of ammonia.
- Bij de eindverwerking slib te kijken naar de mogelijkheden om het vrijgekomen CO₂ nuttig in te zetten.
- Onderzoek te doen naar innovatieve zuiveringstechnieken die de kortcyclische CO₂-uitstoot kunnen verlagen.

Bijlage 1

Uitgangspunten voor berekeningen

De belangrijkste uitgangspunten voor de uitgevoerde technologische berekeningen zijn:

- Influent en rendement voorbezinktank

□ CZV	550	mg/l	Rendement VBT	25%
□ BZV	220	mg/l		25%
□ NKj	55	mg/l		2%
□ P-tot	6	mg/l		2%
□ Zwevendestof	250	mg/l		50%
- Slibleeftijd zonder gisting: 12 dagen, met slibgisting 17 dagen
- Elektriciteitsverbruik
 - beluchting 3,5 kWh/kg O₂
 - overig rwzi 16 kWh.i.e.⁻¹.j⁻¹
- Drogestofgehalte primair slib na gravitaire indikking 4%, drogestofgehalte secundair slib na mechanische indikking 6%
- Slibgisting:
 - verblijftijd: 20 dagen
 - temperatuur 35°C
 - methaangehalte biogas 65%
- WKK:
 - rendement elektriciteit: 35%
 - rendement warmte: 50%
- Groengasinstallatie
 - elektriciteitsverbruik: 0,22 kWh/Nm³ biogas
- Opslag na gisting
 - buffer uitgegist slib: 2 dagen verblijftijd
 - slibsilo uitgegist ontwaterd slib: 5 dagen verblijftijd
- Ontwatering:
 - drogestofgehalte ontwatering uitgegist slib: 24%
 - drogestofgehalte ontwatering onvergist slib: 23%
 - PE verbruik: 10 g PE_{actief}/kg DS
 - elektriciteitsverbruik: 100 kWh/ton DS
- Deelstroombehandeling
 - elektriciteitsverbruik: 2 kWh/kg N_{in}

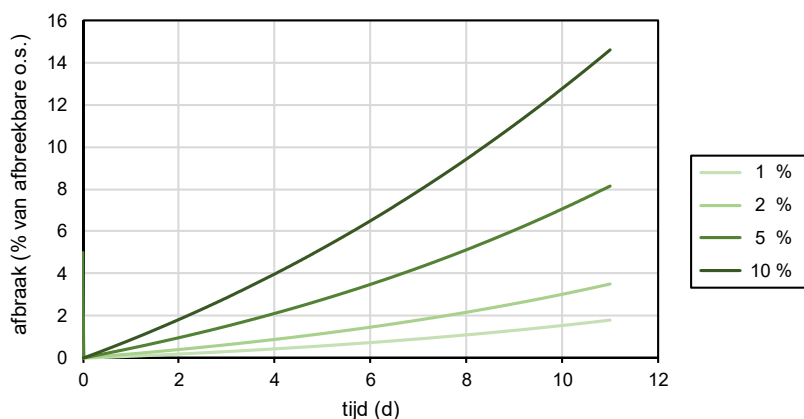
Bijlage 2

Methaanemissies

Methaanemissies

Methaanvorming vóór de gisting

De methaanvormende activiteit in normaal actief slib is heel laag¹⁴. Bij anaerobe opslag kunnen de methaanbacteriën zich vermeerderen. Bij een substantiële duur van de opslag zal de emissie duidelijk toenemen als gevolg van de groei van de methaanbacteriën, zie Figuur 15. Omdat de bacteriën heel langzaam groeien zal de emissie beperkt zijn.



Figuur 15. Afbraak van slib bij opslag vóór de vergisting, als functie van de tijd, bij verschillende hoeveelheden entmateriaal (uitgedrukt als percentage van de methaanvormende activiteit van vergisting van hetzelfde materiaal). De afbraak is vrijwel recht evenredig met de hoeveelheid entmateriaal.

Dit kan wijzigen als de buffer waarin het slib wordt opgeslagen niet geheel wordt leeggemaakt. Het achterblijvend e slib kan worden opgevat als het entmateriaal voor weer een nieuwe “batch” met opgeslagen slib. Hoe meer er slib er achterblijft, hoe zwaarder de beënting zal zijn, en des te meer emissie van methaan zal er optreden.

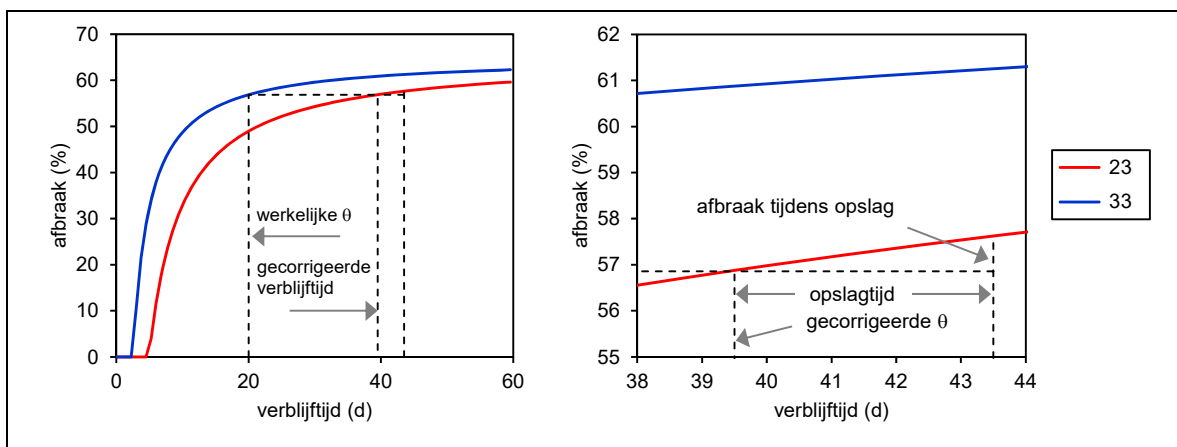
Methaanvorming na de gisting

Als het vergiste slib na de vergisting wordt overgebracht naar een indikker of een opslagtank, gaat het vergistingsproces gewoon door! Buffering en opslag kunnen dan als aparte vergistingsreactoren worden opgevat, met een korte verblijftijd. Daarvoor is geschikte theorie voorhanden¹⁸. Hier wordt een vereenvoudigde methode toegepast, die uitgaat van de voortzetting van het gistingsproces. Over de schatting op basis van de methaanemissie ná de slibgisting is eerder gepubliceerd¹⁹. De berekeningswijze, die in de publicatie niet nader is toegelicht, wordt hieronder uiteengezet. Het bij de afbraak gevormde methaan kan eenvoudig worden berekend uit de CZV van het slib en de wetenschap dat 1 kg CZV overeenkomt met 0,35 Nm³ methaan.

Na de vergisting wordt het uitgediste slib ingedikt in indickers, en eventueel opgeslagen om daarna te worden getransporteerd naar de ontwatering, waar het slib wordt ontwaterd (meestal met behulp van centrifuges). Na de ontwatering wordt het slib weer opgeslagen.

De afbraak van het organische materiaal en de bijbehorende biogasproductie ín de slibgisting is met de formules uit paragraaf 3.3.3 betrekkelijk goed te voorspellen.

Voor de berekening van de afbraak tijdens de buffering en opslag van het slib moet een kunstgreep worden toegepast, omdat de temperatuur tijdens deze bewerkingen lager is dan tijdens de vergisting. De beschrijving van de afbraak is heel eenvoudig, en daarom kan de beschrijving van de afbraak tijdens de slibgisting worden aangepast alsof deze bij dezelfde temperatuur als van de opslag heeft plaatsgevonden. Daartoe dient de dimensieloze verblijftijd Θ voor de vergisting te worden aangepast aan die tijdens de opslag. Het proces van de berekening van de extra afbraak tijdens de opslag is schematisch weergegeven in Figuur 16. Natuurlijk zijn buffering en opslag niet volledig anaeroob, maar omdat de afbraak na de eerste slibgisting vooral wordt bepaald door de langzame hydrolyse van het slib, en er meer dan voldoende strikt anaerobe methaanbacteriën voorhanden zijn, wordt de waarheid hiermee maar zeer beperkt geweld aangedaan.



Figuur 16. Schematische weergave van de berekening van de extra afbraak tijdens opslag. De rechterfiguur is een uitvergroting van de linkerfiguur. Uit de afbraak kan eenvoudig de methaanproductie worden berekend. In de legenda zijn de temperaturen van vergisting en opslag gegeven.

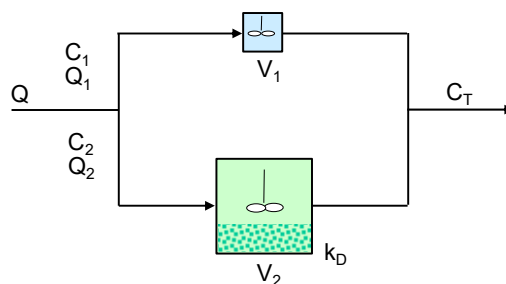
Kortsluitstroming in de gisting

De methaanemissies kunnen hiermee redelijk goed worden voorspeld. Toch is er nog een belangrijk aandachtspunt, en dat is de rol van kortsluitstromen. Kortsluitstromen zijn stromen die bijna direct van ingang naar uitgang van een reactor gaan. Een deel van het aangevoerde materiaal wordt dan niet of nauwelijks aan het afbraakproces onderworpen. De vragen zijn:

- is er sprake van kortsluitstromen en zo ja, om hoeveel kortsluiting gaat het?
- welk effect heeft het toevoegen van (bijna) onvergist slib op de methaanemissie tijdens de opslag?

In een praktijkreactor kan, afhankelijk van de configuratie van invoer en uitvoer, enige *kortsluitstroming* optreden. Dat betekent dat een deel van de toegevoegde tracer direct, of in zeer korte tijd, wordt uitgespoeld, alsof het direct na toevoeging wordt afgevoerd.

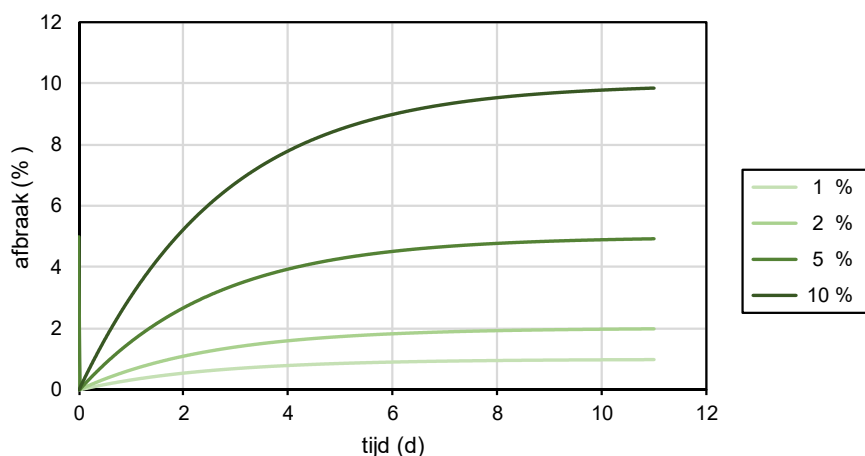
Kortsluiting kan worden voorgesteld als een deel van de aanvoer dat via een reactor met een korte verblijftijd wordt afgevoerd. Een illustratie van het concept van kortsluiting is weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17. Concept van een reactor met kortsluitstroom

Uit tracermetingen op de slibgisting van rwzi Tilburg is gebleken dat kortsluiting slechts op geringe schaal optreedt. Het is niet bekend hoe dit bij andere gistingsinstallaties in Nederland is; in slibgistingen in de Verenigde Staten bleken substantiële kortsluitstromen eerder regel dan uitzondering te zijn³⁶. Als kortsluitstromen substantieel zijn, dan komt een aanzienlijk deel van de te vergisten massa onvergist of vrijwel onvergist in de opslag na de vergisting en de ontwatering terecht. Daar vindt dus nog verdere vergisting plaats.

In de opslag na vergisting vindt bij het optreden van kortsluiting vergisting van vers slib met een zeer hoog aandeel entmateriaal plaats. Een illustratie is gegeven in Figuur 18.



Figuur 18. Verloop van de afbraak van kortgesloten slib. Door de zware beënting wordt de maximaal haalbare afbraak (uitgedrukt in het percentage van de kortgesloten organische stof) snel benaderd.

Met een schatting voor de afbraak die het gevolg is van kortsluiting kan nu een goede indruk worden verkregen worden van de methaanproductie tijdens de opslag van vergist slib, als er tenminste een indicatie is van de mate van kortsluitstroming die er optreedt. De aldus berekende extra methaanproductie dient opgeteld te worden bij de methaanemissie zoals al eerder kon worden berekend. De methaanemissie is nu aanzienlijk groter geworden.

36 Monteith H D & J P Stephenson 1981. Mixing efficiencies in full-scale anaerobic digesters by tracer methods. Journal Water Pollution Control Federation **53** (1): 78-84.

Bijlage 3 Uitvraag klimaatmonitor

De vragen die rond de emissie van methaan zijn gesteld in de laatste klimaatmonitor zijn:

- Worden methaanemissies gemeten? Zo ja, kunt u kort omschrijven of er sprake is van incidentele meetsessies of continu monitoring, wat de aanleiding was om deze metingen uit te gaan voeren. Wilt u daarnaast aangeven op welke locaties (procesonderdelen) u deze metingen heeft uitgevoerd?
- Is uw waterschap actief bezig met reductiemaatregelen voor methaanemissies, is er bijvoorbeeld een beleid voor afdekken van slibbakken. Zo ja, kunt u aangeven welke maatregelen?
- Wordt de optie overwogen om de uitgegist slibbuffer te gebruiken als nagisting?
- Wordt de lucht van de uitgegist slibbuffer en/of silo als verbrandingslucht in een ketel of WKK gebruikt?

Bijlage 4

Analyse van de modelberekeningen

Analyse van de modelberekeningen

Vrijheidsgraden

In de berekeningen zoals ze zijn uitgevoerd is er een groot aantal parameters dat invloed heeft op de uitkomsten, en waarvan de exacte waarden kunnen variëren per installatie, en per situatie.

In Tabel 4 wordt een overzicht gegeven van deze parameters.

Tabel 4. *Vrijheidsgraden, of vrij te kiezen parameters, die bepalend zijn voor de uitkomsten van de berekening. De minimum- en maximumwaarden die per parameter zijn aangegeven zijn gebruikt in de Monte Carlo-simulatie.*

#	vrijheidsgraden	totaal	vergelijk	waarde	min	max
1	afstand transport afvalwater en diameter	1	0	12	6	18
2	rendement voorbezinking voor ZS	1	1	50	45	55
3	energie-efficiëntie beluchting	1	0	3,5	2,5	4,5
4	lachgasemissie beluchting	1	0	1,0	0,5	1,5
5	verblijftijd buffer voor indikking	1	1	1,0	0,5	1,5
6	verblijftijd homogenisatie	1	1	1,0	0,5	1,5
7	verblijftijd slibgisting	1	1	20	18	25
8	temperatuur slibgisting	1	1	35	33	37
9	aandeel kortsluiting	1	1	2,0	1,0	3,0
10	aandeel methaan in biogas\	1	1	60,0	55	65
11	afgefakkeld biogas	1	1	5,0	3,0	7,0
12	methaanslip WKK / groen gas	1	1	1,0	0,5	1,5
13	verblijftijd uitgegist slibbuffer	1	1	2,0	1,0	3,0
14	drogestofgehalte na ontwatering	1	1	23	21	25
15	verblijftijd slibopslag	1	1	5,0	3,0	7,0
16	afstand naar eindverwerking	1	1	100	80	120
17	lachgasemissie deelstroombehandeling	1	1	1,5	1,0	2,0
		17	14			

Van de parameters in Tabel 4 zijn twee zaken onderzocht:

- Wat zijn de parameters die het meeste effect hebben op de uitkomsten?
- Wat is nu het effect van variatie van de parameters binnen bepaald grenzen? Met ander woorden, wat is een redelijk *betrouwbaarheidsinterval* voor het verschil in emissie van CO₂-equivalenten bij variatie van de verschillende parameters.

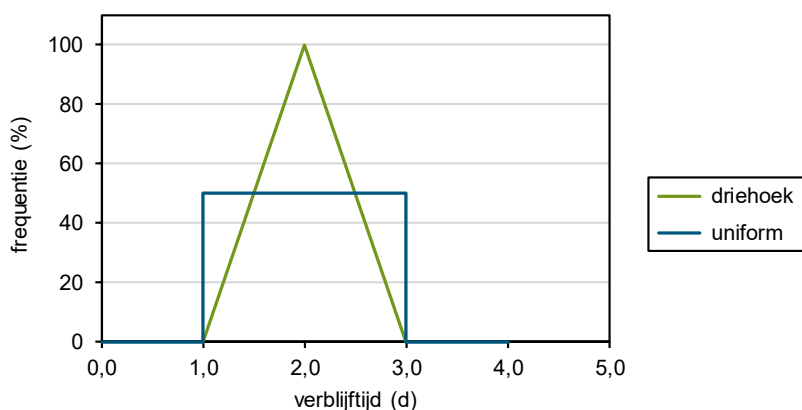
Welke parameters hebben het meest effect?

Van alle parameters die zijn weergegeven in Tabel 4 is bestudeerd wat het effect op het onderzochte verschil in emissie van CO₂-equivalenten is. Er is geen moeite gedaan om dit in detail weer te geven. Van alle parameters is berekend, wat het effect is van een variatie van 10% van de in de berekeningen gebruikt waarde op het verschil in CO₂-emissie in de twee onderzochte configuraties. Kort gezegd: er is dus bekeken welke de parameters zijn die het meeste effect hebben op de duurzaamheid van slibgisting, uitgedrukt in de vermindering van de emissie van CO₂-equivalenten.

Van de onderzochte parameters heeft de verblijftijd in de slibgisting het meeste effect. Een hogere verblijftijd leidt tot minder emissie. Dat geldt zeker voor meertrapsgisting. Het een-na-sterkste effect heeft de temperatuur van de slibgisting. Het effect is echter omgekeerd. Bij een hogere temperatuur wordt het verschil geringer! Dat wordt veroorzaakt doordat bij een hogere temperatuur van de gisting, ook de temperatuur van de opslag hoger is. Een hogere temperatuur van de gisting leidt dus tot meer afbraak, maar vooral tot meer nagisting in de opslag ná de gisting. Daarna is de optredende kortsluiting het belangrijkste effect. Het emissie van lachgas in de deelstroombehandeling is het volgende sterkste effect. Variatie van andere parameters heeft veel minder effect.

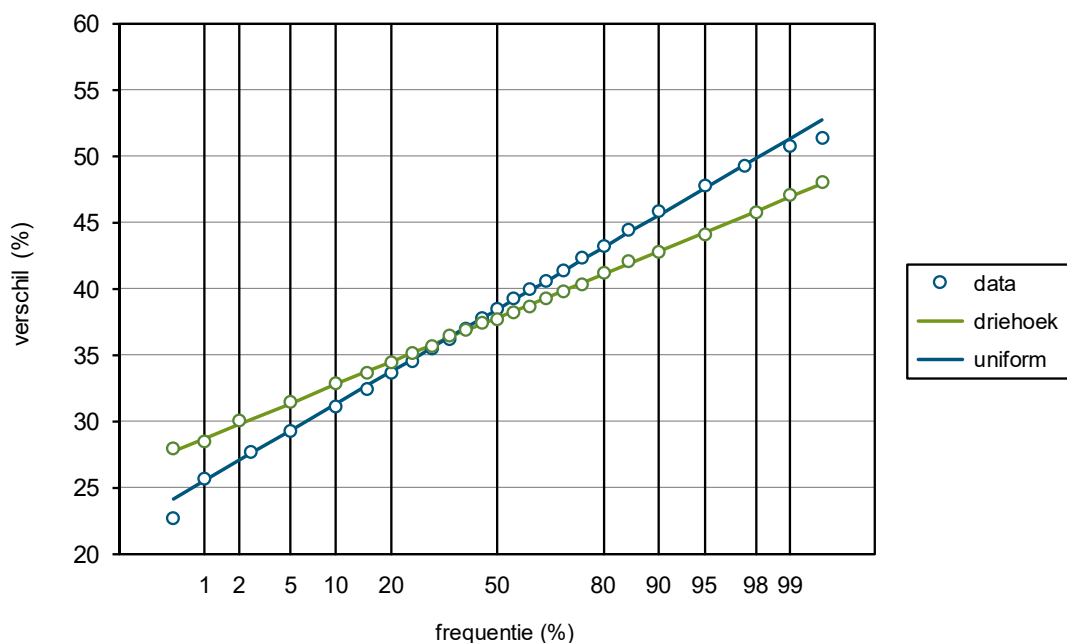
Betrouwbaarheidsinterval van het verschil tussen wel en niet vergisten van slib

Het is nu interessant om te weten wat nu een redelijk interval voor de winst in CO₂-equivalenten van het vergisten van slib. Om dit te onderzoeken zijn de parameters die zijn gegeven in Tabel 4 gevarieerd binnen de intervallen die zijn gegeven onder “min” en “max” in Tabel 4. Het is op twee manieren gedaan: met een driehoekige kansverdeling, gedefinieerd door een minimumwaarde, een middelste waarde en een maximumwaarde. Dat is een verdeling die de normale verdeling benadert. De tweede manier is de toepassing van een uniforme verdeling, waarbij de kans op het optreden van een bepaalde waarde binnen een gegeven interval (tussen “min” en “max”) altijd even groot is. De twee verdelingen zijn voor één van de parameters gegeven in Figuur 19.



Figuur 19. Twee kansverdelingen voor de waarde van de parameters. Hier is de verblijftijd in de buffer voor het uitgegiste slib weergegeven.

Nu zijn met een zogenaamde “Monte Carlo simulatie” de uitkomsten van de berekening van de winst in emissie van CO₂-equivalenten een aantal malen opnieuw berekend, door van elk van de parameters de waarde te loten uit de een driehoeksverdeling of een uniforme verdeling, zoals geïllustreerd in Figuur 19. In dit geval zijn voor beide verdelingen de uitkomsten met de binnen de opgegeven grenzen gelote waarden de uitkomsten 2.500 x berekend. In Figuur 20 is de frequentieverdeling van de uitkomsten gegeven.



Figuur 20. Frequentieverdeling van de uitkomsten van een Monte Carlo-simulatie van het verschil in de emissie van CO₂-equivalenten tussen voorbezinking en slibgisting en het niet toepassen ervan. De X-as heeft een “normale” schaal, waarbij een normale verdeling door een rechte lijn wordt weergegeven.

Beide simulaties zijn zo goed als perfect normaal verdeeld (zie de overeenkomst tussen punten en lijnen in Figuur 20).

De conclusie van de berekeningen kan luiden dat –als de ‘veilige’ uniforme verdeling wordt aangehouden– de winst in reductie van CO₂-equivalenten met een betrouwbaarheid van 95% geschat kan worden tussen 28 en 49 %, afhankelijk van de waarde van de parameters die in Tabel 4 zijn weergegeven.

Bijlage 5

Vergelijking inzet biogas

Bron	Eenheid	RWZI min gisting	RWZI + gisting + WKK	RWZI + gisting + Groen gas		
				zonder TEA	met TEA	met TEA + CO2 afvang
methaanemissie aanvoerwerk	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
methaanemissie vóór slibgisting	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
lachgasemissie actief slib	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
lachgasemissie deelstroombehandeling	ton CO ₂ /j	-	168	168	168	168
CZV-oxidatie	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
elektriciteitsverbruik	ton CO ₂ /j	75	71	74	81	81
chemicaliën	ton CO ₂ /j	471	410	410	410	410
transport extern slib	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
transport naar eindverwerking	ton CO ₂ /j	452	315	315	315	315
CZV-oxidatie bij eindverwerking	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
eindverwerking	ton CO ₂ /j	938	682	682	682	682
methaanemissie bij slibgisting en -opslag	ton CO ₂ /j	110	587	587	587	587
verbranding biogas	ton CO ₂ /j	-	-	-	-	-
vermeden elektriciteitsgebruik	ton CO ₂ /j	-	-937	-	-	-
vermeden gasgebruik	ton CO ₂ /j	-	-	-594	-864	-864
afgevangen CO2	ton CO ₂ /j					-558
Totaal	ton CO ₂ /j	2.046	1.296	1.643	1.380	822