

RISICO-INSCHATTING EMISSIE LACHGAS VANUIT NEDERLANDSE RIOOLWATERZUIVERINGEN



RAPPORT

2019
05



RISICO-INSCHATTING EMISSIE LACHGAS VANUIT
NEDERLANDSE RIOOLWATERZUIVERINGEN
RESULTATEN MEETONDERZOEK VOOR VERIFICATIE
EENVOUDIGE RISICO-INSCHATTING

RAPPORT

2019

05

ISBN 978.90.5773.842.5



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Eline van der Knaap, Royal HaskoningDHV
Mario Pronk, Royal HaskoningDHV
Jose Porro, Cobalt Water
Ellen van Voorthuizen, Royal HaskoningDHV

PROJECTONDERSTEUNING

Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden, rwzi Nieuwegein
Waterschap de Dommel, rwzi Soerendonk
Waternet, rwzi Amsterdam West

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Sybren Gerbens, Wetterskip Fryslân
Alex Sengers, Hoogheemraadschap van Schieland en de Krimpenerwaard
Alexandra Deeke, Waterschap de Dommel
Marcel Zandvoort, Waternet
Otto Kluiving/John Koop, Waterschap Hunze en Aa's
Cora Uijterlinde, STOWA

FOTO'S OMSLAG

Bron: Royal HaskoningDHV/betrokken waterschappen

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2019-05
ISBN 978.90.5773.842.5

Copyright Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.
Disclaimer Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

AAN DE SLAG MET LACHGAS!

Lachgas levert een relatief grote bijdrage aan de CO₂-voetafdruk van rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's). De ammonium- en nitrietconcentraties in het effluent zijn een goede basis om het risico op de aanwezigheid van lachgas in te schatten. Waterschappen kunnen zo bepalen bij welke rwzi ze aan de slag moeten om emissies beter te meten.

De waterschappen hebben als overheidsorganisaties duurzaamheid hoog in het vaandel staan. Zij zijn voortdurend bezig met het duurzaam inrichten van de afvalwater- en slibketen. Hiervoor hebben de waterschappen in de afgelopen jaren onder andere de Lokale Klimaatagenda en het SER Energieakkoord ondertekend, en zijn zij actief betrokken geweest bij de klimaattafels.

Bij het (transporteren en) zuiveren van afvalwater komen de broeikasgassen methaan en lachgas vrij. Eerdere STOWA onderzoeken hebben aangetoond dat deze twee broeikasgassen een relatief grote bijdrage (>15%) kunnen leveren aan de CO₂ voetafdruk van een zuiveringsinstallatie. Methaan (CH₄) is een veel sterker broeikasgas dan CO₂. In 2016 is voor methaan een onderzoek (STOWA 2016-09) gepubliceerd met daarin concrete maatregelen om de emissie van methaan te reduceren.

De emissie van lachgas is in tegenstelling tot methaan meer complex om te meten en te reduceren. In onderhavige studie is een risico-inschatting opgesteld en geverifieerd om het risico op de vorming en emissie van lachgas te kunnen inschatten. Aangetoond is dat de ammonium-, en vooral de nitrietconcentraties in het effluent een goede basis vormen om het risico op lachgas in te schatten. Het is daarmee mogelijk om op basis van deze componenten binnen een waterschap een selectie te maken in zuiveringen met een laag, gemiddeld of hoog risico op lachgasvorming. De voor de metingen gebruikte sensor, die lachgas meet in de waterfase geeft een goed inzicht in de ordegrootte van de lachgasemissies. Een protocol voor het meten van lachgas op een zuivering is opgenomen in deze rapportage.

Samenvattend geeft voorliggende studie handvatten om aan de slag te gaan met lachgas. Het is mogelijk om te inventariseren welke zuiveringen mogelijk de hoogste bijdrage kunnen leveren aan de CO₂ voetafdruk en hoe de emissie van lachgas in de praktijk is te kwantificeren.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

AANLEIDING

De emissie van lachgas én methaan kan een significante bijdrage leveren aan de CO₂ voetafdruk van een zuivering. Uit eerder STOWA-onderzoek¹ is gebleken dat 60% van de vermeden CO₂ door eigen elektriciteitsopwekking teniet kan worden gedaan door de emissie van methaan ná de gisting. Voor lachgas geldt dat de bijdrage aan de totale CO₂ voetafdruk van een zuivering 75% kan bedragen¹. Tegelijkertijd is vastgesteld dat de emissie van lachgas sterk varieert in de tijd én tussen zuiveringen. Dit maakt het onmogelijk om voor alle zuiveringen met één emissiefactor te werken en er zullen altijd metingen nodig zijn om de emissie vast te stellen. Om een selectie te kunnen aanbrengen in waar metingen het beste kunnen worden uitgevoerd is een eenvoudige risico-inschatting opgesteld. Hierbij wordt aan de hand van jaargemiddelde effluentdata van ammonium en nitriet het risico op lachgasvorming- en emissie ingeschat.

DOELSTELLING

De hoofddoelstelling was om te verifiëren of op basis van gemiddelde effluentwaardes voor ammonium én nitriet tot een betrouwbare inschatting is te komen van het risico op lachgasvorming- en emissie en of de nitrietconcentratie in het effluent hiervoor (alleen) een goede indicator is.

De verificatie van de risicoschatting op basis van effluentwaardes ammonium en nitriet is uitgevoerd met een sensor die het lachgas meet in de vloeistoffase. Het secundaire doel was om de betrouwbaarheid van deze sensor te verifiëren.

OPZET ONDERZOEK

Voor de verificatie van de eenvoudige risico-inschatting zijn twee zuiveringen geselecteerd. Soerendonk met één met een laag risico op lachgasvorming- en emissie en Nieuwegein met een hoog risico. De risico inschatting is gebaseerd op de aanwezigheid en hoogte van de nitriet- en ammoniumconcentratie in het effluent. De metingen zijn op beide zuiveringen uitgevoerd met twee sensoren die de lachgasconcentratie meten in de vloeistoffase. Eén sensor is aan het eind van de anoxische zone geplaatst en één aan het begin van het belangrijkste beluchtingsveld (meest in bedrijf zijnde). Aan de hand van procesdata en systeemkenmerken is de gemeten lachgasconcentratie omgerekend naar een emissie van lachgas. De metingen hebben plaatsgevonden in het voorjaar van 2017. Hierbij zijn ook de ammonium- en nitrietconcentraties in het effluent gemeten.

Voor de verificatie van de betrouwbaarheid van de sensor is een meting uitgevoerd op de zuivering Amsterdam – West. Op deze afgedekte zuivering is een off-gas meting beschikbaar die continu de concentratie lachgas meet in de afgezogen lucht van de beluchtingstank. De emissie die op deze manier kon worden berekend is vergeleken met de berekende emissiewaarde op basis van de vloeistofmeting. De metingen in Amsterdam zijn uitgevoerd in het voorjaar van 2018.

1 STOWA, 2012, Emissie broeikasgassen vanuit RWZI's

VERIFICATIE RISICO-INSCHATTING

Een risico-inschatting op basis van jaargemiddelde effluentwaardes van ammonium en met name nitriet leiden tot een betrouwbare inschatting van het risico op lachgasvorming- en emissie. Uit het onderzoek is gebleken dat nitriet een sterke indicator is voor het risico op lachgasvorming, ammonium is dat in mindere mate. De metingen van nitriet in de aeratie-tank lieten een sterke relatie zien met lachgasconcentratie in de waterfase. Deze relatie was minder sterk met de nitrietconcentraties in het effluent. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat tussen de beluchtingstank en het effluent nitriet nog wordt omgezet/ geconsumeerd waardoor de directe relatie die wel in de beluchtingstank is te zien wegvalt. Om die reden kan de hoogte van de emissie niet direct worden ingeschat uit de hoogte van de nitrietconcentraties in het effluent.

Op basis van de risico-inschatting kan binnen een beheersgebied van een waterschap een selectie worden gemaakt tussen zuiveringen met een hoog, gemiddeld en een laag risico. Voor zuiveringen met een hoog risico kunnen vervolgens metingen worden uitgevoerd om de daadwerkelijke emissie vast te stellen. Bij deze risico-indeling kan de volgende **ruwe inschatting** (zie Tabel 1) gemaakt worden van de mogelijke mate van emissie van lachgas. Deze ruwe inschatting dient altijd in de praktijk geverifieerd te worden vóórdat enige besluitvorming plaats vindt over maatregelen óf de bijdrage aan de CO₂ voetafdruk kan worden vastgesteld.

TABEL 1

INDICATIE VOOR HOOGTE EMISSIEFACTOR VAN LACHGAS BIJ LAAG, GEMIDDELD OF HOOG RISICO OP LACHGASVORMING. LET WEL DIT IS EEN RUWE INDICATIE EN DIEN ALTijd IN DE PRAKTIJK GEVERIFIEERD TE WORDEN. VOOR TOELICHTING SCORES ZIE PARAGRAAF 2.1.1.

Risico op lachgas	Indicatie emissiefactor (% van totaal N _{in})
Laag (score: < 4)	0,05 (0,01 – 0,1)
Gemiddeld (score: 5)	0,5 (0,1 – 1)
Hoog (score > 6)	3 (1 – 5)

Na de selectie van zuiveringen met een verhoogd risico op lachgasvorming kunnen metingen worden uitgevoerd om de werkelijke emissie van lachgas te bepalen. De voorwaarden voor een dergelijke meetcampagne zijn:

- een langere periode meten waarin in ieder geval metingen worden uitgevoerd over de gehele spreiding die in temperatuur kan worden verwacht; voor Nederland betekent dit een periode van een jaar;
- de uit te voeren metingen kunnen als steekmonster of als online meting worden uitgevoerd zolang deze maar zoveel mogelijk over het gehele jaar worden uitgespreid (beter data verzamelen in meerdere periodes dan dezelfde hoeveelheid data verzamelen in één periode). Het meenemen van de periode van de winter tot en met het begin van het voorjaar is in ieder geval van belang voor een goed inzicht in de emissie van lachgas.

VERIFICATIE SENSOR

De metingen in Amsterdam hebben aangetoond dat metingen van lachgas in de vloeistoffase goed inzicht geven in de orde grootte van de lachgasemissies op een zuivering. De meting in de vloeistoffase leidde tot een emissie van lachgas die circa 20% lager lag dan de emissie gemeten met de off-gas meting.

Met metingen in de afgezogen lucht van een zuivering kan worden gekomen tot de beste inschatting van de lachgasemissie, maar aangezien het merendeel van de zuiveringen in Nederland niet is afgedekt zal de emissie gemeten dienen te worden aan de hand van een lachgasmeting in de vloeistoffase. Het is dan wel noodzakelijk dat de hoeveelheid ingebrachte lucht nauwkeurig is te bepalen.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

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

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

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

RISICO-INSCHATTING EMISSIE LACHGAS VANUIT NEDERLANDSE RIOOLWATERZUIVERINGEN

RESULTATEN MEETONDERZOEK VOOR VERIFICATIE EENVOUDIGE RISICO- INSCHATTING

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Aanleiding	1
	1.2 Doelstelling en afbakening	2
	1.3 Aanpak en leeswijzer	2
2	OPZET ONDERZOEK	3
	2.1 Verificatie eenvoudige risico-inventarisatie	3
	2.1.1 Selectie zuiveringen	3
	2.1.2 Omschrijving zuiveringen	4
	2.1.3 Meting en berekening emissie	5
	2.1.4 Meetperiode	6
	2.1.5 Locatie sensoren	6
	2.1.6 Aanvullende metingen	7
	2.2 Verificatie sensor	7
	2.2.1 Amsterdam West	7
	2.2.2 Metingen	7
	2.2.3 Meetperiode	8

3	RESULTATEN	9
3.1	Verificatie eenvoudige risico-inschatting	9
3.1.1	Emissie lachgas	9
3.1.2	Nitriet als indicator	10
3.1.3	Betrouwbaarheid van de metingen	12
3.1.4	Samenvatting	14
3.2	Verificatie sensor	15
3.2.1	Functioneren zuivering Amsterdam West	15
3.2.2	Lachgasmetingen	16
3.2.3	Samenvatting	17
3.3	Kansen voor reductie lachgasemissie	18
4	PROTOCOL INSCHATTING EN METING LACHGAS	19
4.1	Inschatting risico	19
4.2	Meetprotocol	19
4.2.1	Randvoorwaarden	19
4.2.2	Meetmethoden	20
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	24
5.1	Verificatie eenvoudige risico-inventarisatie	24
5.2	Verificatie sensor	25
BIJLAGE 1	Resultaten risico-inventarisatie	26
BIJLAGE 2	Lachgas en nitrietmetingen Kralingseveer en Nieuwegein	30
BIJLAGE 3	Analyse lachgasmetingen	31
BIJLAGE 4	Risico-inschatting lachgas	34
BIJLAGE 5	Berekening emissie sensor	36

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

In 2010 heeft de Unie van Waterschappen namens alle waterschappen het klimaatakkoord getekend, met daarin de ambities van de waterschappen ten aanzien van onder andere energieverbruik en -opwekking en de reductie van de broeikasgassen methaan en lachgas. De voortgang van het klimaatakkoord wordt periodiek (om de twee jaar) vastgelegd in een klimaatmonitor. Bij de evaluatie van de klimaatmonitor in 2012 is besloten om de emissie van methaan en lachgas niet meer te rapporteren. De emissies zijn niet op een betrouwbare wijze te berekenen en het is ook niet duidelijk welke maatregelen kunnen worden genomen om de uitstoot te reduceren. In de laatste klimaatmonitor (2016) is echter door de Expertgroep Klimaatmonitor de aanbeveling gedaan om methaan en lachgas weer op te nemen. Er is dus nog steeds inzicht gewenst in de emissie van methaan en lachgas vanuit communale zuiveringen en de mogelijkheden om deze te reduceren. In dit rapport ligt de focus op het vinden van een werkwijze waarop de emissie van lachgas kan worden bepaald.

Eerder STOWA-onderzoek² heeft uitgewezen dat de emissie van lachgas zeer variabel is. Zo varieert de emissie over de dag en door het jaar heen en varieert de emissie tussen verschillende zuiveringen. Om tot een goede inschatting van de emissie van lachgas te komen is het noodzakelijk deze voor een langere periode te meten om daarmee ook het temperatuureffect op de emissie te kunnen ondervangen. Dit vraagt om intensief en kostbaar onderzoek³. Dit vormde de aanleiding om te zoeken naar een werkwijze waarop op een eenvoudige manier het risico op de vorming (en emissie) van lachgas kan worden ingeschat. Op deze manier kunnen dan in een beheersgebied van een waterschap eerst de meest risicovolle zuiveringen worden geselecteerd, om daar vervolgens metingen uit te voeren.

Om tot een eenvoudige werkwijze te komen voor het inschatten van het risico op lachgas vanuit een zuivering is allereerst gekeken welke procesparameters een belangrijke rol spelen bij de vorming van lachgas. Ten tweede is gekeken welke van deze procesparameters direct beschikbaar zijn bij waterschappen en leiden tot een betrouwbare risico-inschatting. Uit het eerdere STOWA-onderzoek is gebleken dat de ammonium- en nitrietconcentratie samen met de zuurstofconcentratie de belangrijkste parameters zijn bij de vorming van lachgas⁴. De concentratie van deze parameters in de anoxische en aerobe tanks van een zuivering leiden in theorie tot de beste risico-inschatting voor lachgasvorming. Echter, de locaties waar deze parameters gemeten worden op een zuivering zijn verschillend. Dit maakt dat

- 2 STOWA, 2012, Emissie broeikasgassen vanuit RWZI's en STOWA 2012-20, Emissies van broeikasgassen vanuit RWZI's 2010-08.
- 3 Dit heeft er mee te maken dat voor een goede meting, meerdere metingen gedurende het jaar nodig zijn dat de inzet van personeel vergt of dat een continu meting wordt aangeschaft. In beide gevallen vraagt ook de verwerking van de data de nodige inzet.
- 4 Deze waarnemingen worden ondersteund door: Ni, B-J., Peng, L., Law, Y., Guo, J., Yuan, Z., 2014, Modelling of Nitrous Oxide Production by Autotrophic Ammonium Oxidizing Bacteria with Multiple Production Pathways, Environmental Science & Technology, 48, p. 3916 – 3924 en Peng, L., Ni, B-J., Erler, D., Ye, L., Yuan, Z., 2014, The effect of dissolved oxygen on N₂O production by ammonium-oxidizing bacteria in an enriched nitrifying sludge, Water Research, 66, p. 12 – 21

de risico-inschatting tussen verschillende zuiveringen niet vergelijkbaar is en er naar een andere locatie dient te worden gekeken die onderlinge vergelijking tussen zuiveringen mogelijk maakt. Om tot een vergelijkbare risico-inschatting te komen is daarom een inschatting gemaakt op basis van ammonium- en nitrietwaarden in het effluent. De betrouwbaarheid van deze risico-inschatting is in het hier beschreven onderzoek geverifieerd door middel van lachgasmetingen in de vloeistoffase.

1.2 DOELSTELLING EN AFBAKENING

De hoofddoelstelling was om te verifiëren of op basis van gemiddelde effluentwaardes voor ammonium én nitriet tot een betrouwbare inschatting is te komen van het risico op lachgasvorming- en emissie en of de nitrietconcentratie in het effluent hiervoor (alleen) een goede indicator is.

De verificatie van de risicoschatting op basis van effluentwaardes ammonium en nitriet is uitgevoerd met een sensor die het lachgas meet in de vloeistoffase. Het secundaire doel was om de betrouwbaarheid van deze sensor te verifiëren.

De risico-inschatting die hier is gemaakt zegt dus iets over de mate van risico op de vorming en emissie van lachgas. Met deze risico-inschatting kan geen absoluut getal gegeven worden over de hoogte van de emissie, wel kan een inschatting gemaakt worden over de relatieve hoogte van de emissies door zuiveringen in te delen risicocategorieën (laag, gemiddeld en hoog).

1.3 AANPAK EN LEESWIJZER

Om de hoofddoelstelling te bereiken zijn aan de hand van een risico-inschatting op basis van ammonium- en nitrietwaarden twee zuiveringen geselecteerd waar de emissie van lachgas is bepaald. De meting is uitgevoerd met een sensor die lachgas meet in de vloeistoffase. De wijze waarop de selectie van de twee zuiveringen tot stand is gekomen en een beschrijving van de gehele meetopzet is opgenomen in hoofdstuk twee. In dit hoofdstuk is ook de opzet voor de sensorverificatie opgenomen. De resultaten van de verificatie van de risico-inschatting en de sensor zijn opgenomen in hoofdstuk drie. In hoofdstuk vier is beschreven hoe de zuiveringen met het hoogste risico op lachgasemissie kan worden geselecteerd. Na deze selectie kan de daadwerkelijke emissie op één of meerdere zuiveringen worden gemeten. De randvoorwaarden voor een dergelijke meting en de beschikbare meetmethoden zijn ook beschreven in hoofdstuk vier. De conclusies zijn opgenomen in hoofdstuk vijf.

2

OPZET ONDERZOEK

2.1 VERIFICATIE EENVOUDIGE RISICO-INVENTARISATIE

2.1.1 SELECTIE ZUIVERINGEN

Om tot een selectie van zuiveringen te komen waarmee de risico-inschatting op basis van effluentwaarden kan worden geverifieerd zijn alle waterschappen benaderd om effluentwaarden van ammonium en nitriet op te sturen. Van 142 zuiveringen zijn deze gegevens verstrekt. Om tot een risico-inschatting te komen, waarbij onderscheid is gemaakt in hoog – gemiddeld – laag, zijn scores toegekend aan de verschillende meetwaarden. Bij de toekenning van deze score is er rekening mee gehouden dat nitriet zwaarder meeweegt in het risico op lachgasvorming. Een hoge ammoniumconcentratie kan immers ook het gevolg zijn van het niet om kunnen zetten van ammonium (door verschillende oorzaken). In bijlage 4 is nader toegelicht hoe tot de risico-inschatting is gekomen. Belangrijkste uitgangspunt hierbij is dat de risico-inschatting laag alleen mag voorkomen als de nitrietconcentratie laag is. De opzet van de risico-inventarisatie is opgenomen in Tabel 2.

TABEL 2 OPZET RISICO-INVENTARISATIE OP BASIS VAN EFFLUENT AMMONIUM EN NITRIET. EFFLUENTWAARDES OP BASIS VAN GEWOGEN JAARGEMIDDELDE

Parameter	Eenheid	Risico - hoog		Risico – gemiddeld		Risico - laag	
		Waarde	Score	Waarde	Score	Waarde	Score
Ammonium	mg N/l	> 2	3	1 – 2	2	< 1	1
Nitriet	mg N/l	> 0,5	6	0,2 – 0,5	4	< 0,2	2

De indeling naar mate van risico, hoog – gemiddeld – laag, is gemaakt door de score voor ammonium en nitriet te sommeren. Bij een zuivering met een risico-inschatting hoog bedroeg de som ≥ 6 , bij 4 - 5 is deze gemiddeld en bij een score < 4 is deze laag.

Bij de risico-inschatting is uitgegaan van jaargemiddelde effluentwaarden. Het is aannemelijk dat de concentraties ammonium en nitriet in de beluchtingstank hoger liggen (verschil niet direct bekend), maar dit geldt voor alle zuiveringen waardoor een onderlinge vergelijking op effluentwaarden wel mogelijk is. Verder dient men er zich van bewust te zijn dat de concentraties door het jaar heen (sterk) kunnen variëren. Een variatie die niet altijd is terug te zien in de jaargemiddelde effluentconcentratie. De mate van variatie is in deze risico-inschatting niet meegenomen, omdat deze data niet beschikbaar waren. Het verdient de aanbeveling om bij de uitvoering van de risico-inventarisatie de variatie wel mee te nemen in de beoordeling. Een zuivering met een laag risico op basis van de jaargemiddelde effluentwaarden kan hoger ingeschaald worden als de variatie in ammonium en/of nitriet hoog is.

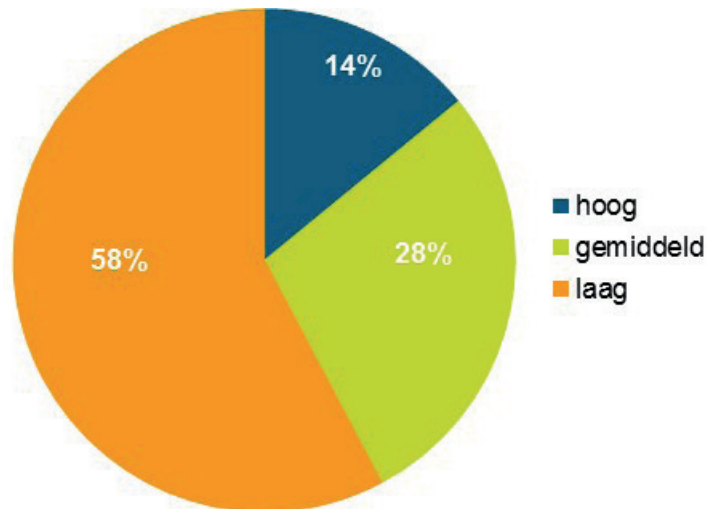
Voor het verifiëren van de risico-inschatting is één zuivering met een schatting laag en één zuivering met een schatting hoog geselecteerd. Deze selectie is gemaakt door de volgende criteria toe te passen:

- aanwezigheid bellenbeluchting⁵;
- beschikbare procesdata ter ondersteuning metingen;
- volledige menging (dus geen propstroom).

Met deze selectiecriteria is als zuivering met een risico-inschatting hoog Nieuwegein geselecteerd en Soerendonk als zuivering met een risico-inschatting laag. De volledige lijst is opgenomen in bijlage 1.

Aan de hand van deze lijst kon onder andere worden vastgesteld dat meer dan de helft van de 142 zuiveringen een laag risico kent voor de vorming van lachgas zoals is te zien in Figuur 1.

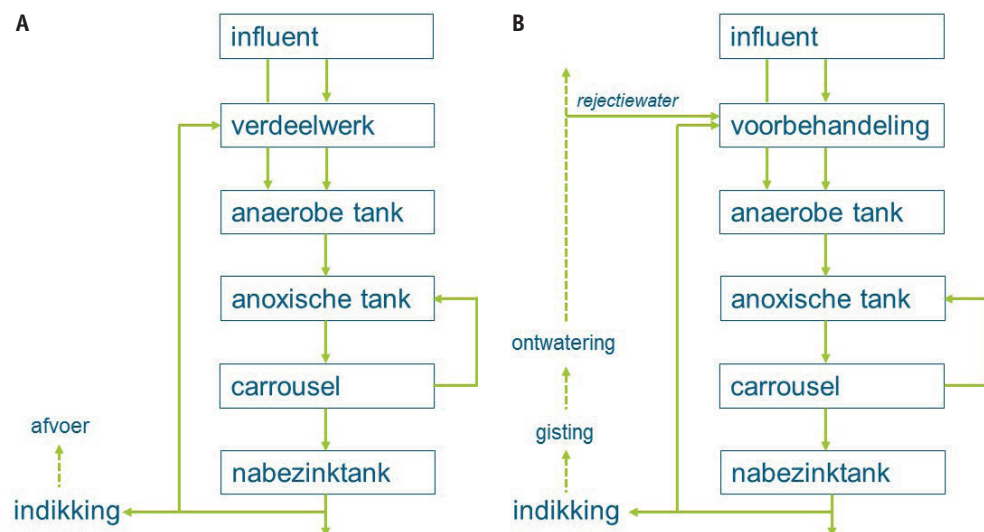
FIGUUR 1 VERDELING VAN DE 142 ZUIVERING NAAR MATE VAN RISICOSCHATTING VOOR DE VORMING VAN LACHGAS (GEBASEERD OP AANTALLEN)



2.1.2 OMSCHRIJVING ZUIVERINGEN

Een eenvoudig stroomschema van Soerendonk en Nieuwegein is weergegeven in Figuur 2. De configuratie van beide zuiveringen is nagenoeg gelijk, zo wordt op beide zuiveringen fosfaat biologisch verwijderd. Belangrijk verschil is dat in Nieuwegein gisting en ontwatering aanwezig zijn en dus ook een rejectiewaterstroom die ook in de zuivering wordt behandeld.

FIGUUR 2 EENVOUDIG STROOMSCHEMA VAN A) SOERENDONK EN B) NIEUWEGEIN. NIET DOORGETROKKEN PIJLEN GEVEN SLIBLIJN WEER



5 In verband met toegepaste meetmethode. Dit betreft een sensor in de vloeistoffase, waarbij in de omrekening naar emissie alleen rekenregels beschikbaar zijn voor installaties met bellenbeluchting.

Een vergelijking van de influentkarakteristieken is opgenomen in Tabel 3.

TABEL 3 INFLUENTKARAKTERISTIEKEN SOERENDONK EN NIEUWEGEIN

Parameter	Eenheid	Soerendonk*	Nieuwegein**
Ontwerpbelasting	i.e. à 150 g TZV	38.170	144.000
Dagdebiet	m ³ /d	6.580	23.256
CZV	mg/l	604	596
BZV	mg/l	318	266
NKj	mg/l	46	58
P-tot	mg/l	6,2	7,3
Zwevende stof	mg/l	238	269
Stikstofbelasting	kg N.kg ds ⁻¹ .d ⁻¹	0,009	0,02***
CZV-belasting	kg CZV.kg ds ⁻¹ .d ⁻¹	0,13	0,14***

* data van 10 februari 2017 – 10 mei 2017 ** data van 1 december 2016 – 30 juni 2017 *** slibgehalte van 4,1 g/l uit 2015, data 2017 niet beschikbaar.

2.1.3 METING EN BEREKENING EMISSIE

Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van een sensor die lachgas in de vloeistoffase meet⁶. De gemeten concentratie wordt uitgedrukt in mg N₂O-N/l. Het signaal van de sensor wordt opgeslagen in een 'control box' en er is een omrekening naar de emissie van lachgas mogelijk. Voor dit laatste is het vereist dat

de 'control box' wordt aangesloten op SCADA en hierin de juiste data worden geprogrammeerd. In het onderzoek is deze laatste stap niet gemaakt⁷ en is de omrekening handmatig gemaakt door de volgende gegevens nog te verzamelen:

- luchtdebiet blowers;
- temperatuur in aeratietank;
- waterhoogte boven elementen;
- geïnstalleerd oppervlakte aan elementen;
- volume (beluchte/anoxische) ruimte.

De omrekening van concentraties in de vloeistoffase naar een emissie naar de lucht is gebaseerd op een formule die is beschreven in het artikel van Schultess en Gujer uit 1996⁸. Een belangrijke parameter daarin is de overdrachtscoëfficiënt $k_L a$ van lachgas. Deze parameter is afhankelijk van de geometrie van de tank, de bubbelgrootte, temperatuur en de mate van menging en turbulentie. Voor de genoemde omrekening wordt een $k_L a$ berekend op basis van een empirische formule. Deze formule is door Foley et al. in 2010⁹ vastgesteld op basis van laboratorium- en veldproeven, waarbij de $k_L a$ gemeten op laboratoriumschaal wordt gecorrigeerd voor de diepte van de reactor. Op deze manier wordt dus aan de hand van de diepte van de tank voor iedere zuivering een $k_L a$ berekend. De gebruikte formules zijn door Unisense verstrekt voor het uitvoeren van de berekeningen (zie bijlage 5). De berekeningen zijn alleen geldig voor zuiveringen waar bellenbeluchting aanwezig is. Voor zuiveringen met puntbeluchting is dit niet mogelijk en zal de emissie op een andere wijze bepaald dienen te worden.

6 Leverancier is Unisense (Denemarken)

7 Gezien de relatief korte meetperiode vergde dit te veel inspanning op de betrokken rwzi's om deze aansluiting te maken of was deze aansluiting niet mogelijk.

8 Schultess, R., Gujer, W., 1996, Release of nitrous oxide (N₂O) from denitrifying activated sludge: Verification and application of a mathematical model, Water Res.30, p. 521 – 530.

9 Foley, J., de Haas, D., Yuan, Z, Lant, P., 2010, Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment plants, Water Res. 44, p. 831 - 844

2.1.4 MEETPERIODE

Uitgangspunt bij de selectie van de beste meetperiode is dat de kans op de aanwezigheid van lachgas het grootst is. Deze selectie is gemaakt door een analyse te maken van de meetdata van Kralingseveer (lachgas en nitriet)^{2,10} en de nitrietwaarden in het effluent van de zuivering Nieuwegein. Uit deze analyse kwam naar voren dat (zie bijlage 2 voor details):

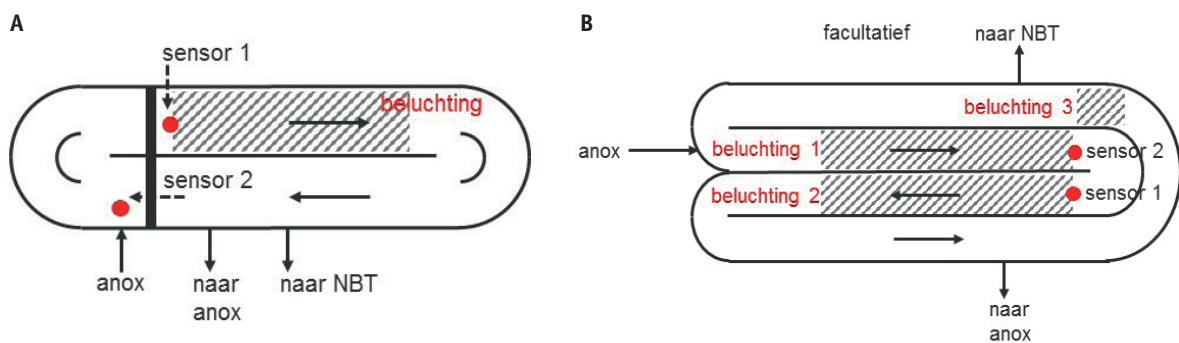
- de hoogste nitrietconcentraties op beide zuiveringen werd waargenomen in de periode januari – maart;
- de hoogste lachgasemissies op Kralingseveer werd waargenomen in de periode februari – mei.

Op basis van deze analyse is gekozen voor een meetperiode vanaf half februari tot half mei. De metingen in Soerendonk hebben uiteindelijk gelopen van 21 februari 2017 tot en met 17 mei 2017. In Nieuwegein zijn de metingen rond dezelfde periode gestart, maar daar bleek eind maart nog een kalibratie nodig te zijn, waardoor betrouwbare meetdata zijn verzameld in de periode 23 maart 2017 – 16 juni 2017.

2.1.5 LOCATIE SENSOREN

Uitgangspunt bij de bepaling van de juiste meetlocatie is dat het gevormde lachgas wordt geëmitteerd in de beluchte zone van de zuivering en daar voornamelijk ook gevormd wordt. Dit laatste is echter nog onzeker, vandaar dat op beide zuiveringen twee sensoren zijn geplaatst. Dit draagt ook bij om inzicht te krijgen in de representativiteit van de meting. Eén sensor is aan het eind van de anoxische tank en één sensor is aan het begin van het belangrijkste beluchtingsveld¹¹ geplaatst. In Figuur 3 zijn de locaties van de twee sensoren op elk van de zuiveringen weergegeven. Een andere onzekerheid was nog of de lachgasconcentratie over de gehele beluchtingszone gelijk is. Om die reden is op elk van de locaties een profiel van de lachgasconcentratie over het beluchtingsveld vastgesteld.

FIGUUR 3 LOCATIE VAN TWEE SENSOREN VOOR METING LACHGASCONCENTRATIE BIJ A: SOERENDONK EN B: NIEUWEGEIN. PIJLEN GEVEN DE STROOMRICHTING AAN



10 Daelman, M.R.J., van Voorthuizen, E.M., van Dongen, U.G.J.M., Volcke, E.I.P., van Loosdrecht, M.C.M., 2015, Seasonal and diurnal variability of N₂O emissions from a full-scale municipal wastewater treatment plant, *Science of the Total Environment* 536, p. 1 – 11.

11 Is het beluchtingsveld dat in principe altijd in bedrijf is en niet of nauwelijks wordt uitgeschakeld.

De twee zuiveringen zullen net als de meeste zuiveringen nagenoeg volledig gemengde systemen¹² zijn, waardoor de variaties in concentraties, dus ook die van lachgas laag zullen zijn. Dit maakt dat hier wellicht sprake is van een 'best case' en de meting met één sensor uitgevoerd had kunnen worden.

2.1.6 AANVULLENDE METINGEN

De aanvullende metingen hadden als doel om enerzijds vast te stellen of nitriet een goede indicator is om het risico op lachgasvorming en -emissie in te schatten. Anderzijds hadden de aanvullende metingen als doel om een verklaring te kunnen vinden voor het gevonden profiel in lachgasconcentratie.

Hiermee kon indirect vastgesteld worden of de gemeten concentraties betrouwbaar zijn (eerste verificatie van de sensor). De aanvullende metingen betroffen de volgende online data: zuurstof-, ammonium-, -nitraat en fosfaatconcentratie, als ook de toegevoerde luchtdebieten. In paragraaf 3.1.3 en bijlage 3 zijn met deze data verklaringen gezocht voor het verloop van de lachgasemissie.

Voor de nitrietmetingen zijn naast de reguliere metingen in het effluent op Nieuwegein een aantal aanvullende metingen uitgevoerd (de resultaten daarvan zijn in paragraaf 3.1.3 besproken). Zo is op twee dagen het verloop in nitriet gemeten door de concentratie elk uur te bepalen (met behulp van Hach Lange kits). Dit tijdsinterval wordt voldoende representatief geacht om inzicht te krijgen in het verloop van nitrietconcentratie over de dag en deze te vergelijken met het verloop van de lachgasconcentratie die wel continu is gemeten. Aanvullend daarop zijn op beide zuiveringen tegelijk met de metingen in de aeratietank ook metingen uitgevoerd op het effluent. Dit om vast te stellen of de effluentwaarden niet te veel afwijken van de concentraties in de aeratietank om een goede risico-inschatting te kunnen maken.

2.2 VERIFICATIE SENSOR

2.2.1 AMSTERDAM WEST

De verificatie van de sensor is uitgevoerd op de rwzi Amsterdam West van Waternet. Dit is een volledig afgedekte zuivering, waar het afvalwater in zeven straten wordt behandeld. Elke straat bestaat uit een mUCT reactor en bijbehorende nabezinktanks. Op deze zuivering is sinds twee jaar een off-gas analyse aanwezig die de lachgasconcentratie meet in de afgezogen lucht van AT-6. Dit maakte deze zuivering geschikt om de sensor te verifiëren, omdat de berekende emissie op basis van de gemeten lachgasconcentratie in de vloeistoffase kan worden vergeleken met de al aanwezige off-gas meting.

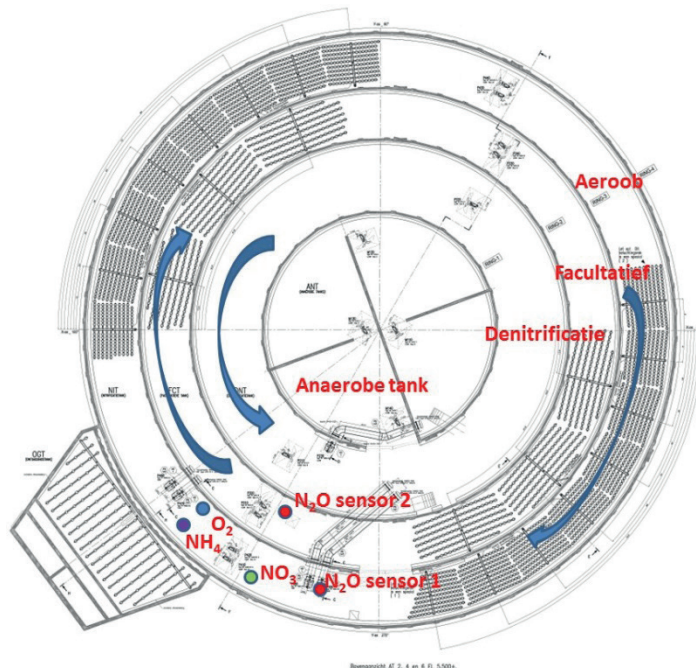
2.2.2 METINGEN

Meting lachgas in vloeistoffase

De meting van de lachgasconcentratie is uitgevoerd met dezelfde sensor als is gebruikt in Soerendonk en Nieuwegein. Voor de omrekening naar een emissie zijn de gegevens opgevraagd en verzameld zoals in paragraaf 2.1.3 is beschreven. De sensoren voor de lachgasmeting zijn geplaatst aan het eind van de aerobe zone en aan het begin van de facultatieve zone zoals in Figuur 4 is weergegeven.

¹² Om bezinking van slib te voorkomen wordt in veel zuiveringen een omloopsnelheid van minimaal 25 cm/s. Tegelijkertijd bedraagt de hydraulische verblijftijd het grootste gedeelte van de tijd (DWA) circa 24 uur. Dit maakt dat er op de meeste zuiveringen sprake is van een hoge mengfactor, waardoor ze nagenoeg volledig gemengd zullen zijn.

FIGUUR 4 LOCATIE SENSOREN VOOR LACHGASMETING IN VLOEISTOFFASE OP DE ZUIVERING AMSTERDAM-WEST. DE BLAUWE PIJLEN GEVEN DE STROOMRICHTING VAN SLIB-WATERMENGSEL AAN



Meting lachgas in afgezogen lucht

Voor de bepaling van de lachgasconcentratie in de afgezogen lucht van AT-6 is een online analyser (Emerson/Rosemount) aanwezig. Het debiet van de afgezogen lucht is continu gemeten voor de twee lavafilters die de lucht behandelen van AT-6. De concentratie lachgas wordt gemeten in parts per million (ppm). De omrekening naar geëmitteerde vrachten is als volgt:

$$\text{N}_2\text{O emissie (kg N}_2\text{O-N/d)} = \text{N}_2\text{O ppm} / 10^6 \times Q_{\text{lucht}} \times (0,028/0,0224),$$

waarin Q_{lucht} het luchtdebiet is in m^3/d , 0,028 is hoeveelheid stikstof (N) per mol N_2O (kg $\text{N}_2\text{O-N/mol}$) en 0,0224 is het molaire volume in m^3/mol .

Aanvullende metingen

Om de metingen te kunnen verklaren/duiden zijn de online gegevens van zuurstof, ammonium, nitraat en slibgehalte in AT-6 verzameld.

2.2.3 MEETPERIODE

Vanaf 8 juni 2018 zijn gegevens verzameld voor het vergelijken van de twee meetmethoden. In deze periode ontving de zuivering alleen maar DWA. Tot 9 juli waren zes van de zeven straten effectief in bedrijf waardoor de belasting op AT-6 hoger was dan normaal.

3

RESULTATEN

3.1 VERIFICATIE EENVOUDIGE RISICO-INSCHATTING

3.1.1 EMISSIE LACHGAS

Ter verificatie van de risico-inschatting zijn de effluent,- en de lachgasdata van Soerendonk en Nieuwegein met elkaar vergeleken. Een samenvatting van deze data is opgenomen in Tabel 4. Voor de data uit 2017 geldt dat dit de gemiddelde waarden uit de meetperiode zijn.

TABEL 4 SAMENVATTING EFFLUENTDATA AMMONIUM EN NITRIET EN IN DIT ONDERZOEK GEMETEN LACHGASCONCENTRATIE- EN EMISSIES “-” BETEKENT DAT ER GEEN DATA BESCHIKBAAR ZIJN.

Parameter	Eenheid	Soerendonk		Nieuwegein	
		2013 ¹⁾	2017	2013 ¹⁾	2017
NKj influent ²⁾	mg/l	-	46	-	58
NH ₄ -N effluent ²⁾	mg/l	0,92 (+/-0,65)	2,0 (+/-1,6)	4,3 (+/- 3,6) ⁴⁾	5,2 (+/- 3,1) ⁴⁾
NO ₂ -N effluent ²⁾	mg/l	0,04 (+/- 0,03)	0,08 (+/-0,05)	0,28 (+/- 0,6)	0,34 (+/- 0,22)
Risico-inschatting	som	4 = laag	5 = gemiddeld	7 = hoog	7 = hoog
Concentratie N ₂ O-N ³⁾	mg/l	-	0,03	-	0,86
Emissiefactor N ₂ O-N ³⁾	%	-	0,6	-	8,5%

1) gemiddelde over **geheel** 2013;

2) Soerendonk: gemiddelde van periode 10 februari – 10 mei 2017; Nieuwegein: 1 december 2016 – 30 juni 2017; tussen haakjes de standaard deviatie.

3) gemiddelde concentratie/emissiefactor bij sensor 1 op beide locaties (aan het begin van het beluchtingsveld); emissiefactor op basis van gemiddelde stikstofvracht in meetperiode

4) is NKj, ammoniumdata niet beschikbaar.

De gemeten lachgasconcentratie en emissiefactor in Soerendonk liggen duidelijk lager dan de waarden in Nieuwegein. Dit is in overeenstemming met de risico-inschatting die op basis van de data in 2013 is gemaakt. Ten opzichte van 2013 scoort alleen Soerendonk nu een gemiddeld risico in plaats van een laag risico, wat wordt veroorzaakt door een hogere ammoniumconcentratie in het effluent. Belangrijk hierbij is wel dat de risico-inschatting in 2013 is gebaseerd op jaargemiddelde concentraties, waar dat in 2017 maar over een deel van het jaar was. En deze periode betrof tegelijkertijd de winter/voorjaar periode waar de stikstofconcentraties normaliter hoger liggen dan in de zomer/najaar. De risico-inschatting op basis van jaargemiddelde effluentconcentraties geven in dit geval een goede indicatie voor het risico op lachgasvorming- en emissie.

Naast de hier verzamelde meetdata is nog gekeken naar data uit eerdere STOWA onderzoeken. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van de data voor Papendrecht en Kralingseveer, waar respectievelijk in 2008 en 2010 lachgasmetingen zijn uitgevoerd.

De hoeveelheid data die in Papendrecht kon worden verzameld is zeer beperkt, waardoor de bruikbaarheid voor de toetsing hier ook beperkt is. Met dit in het achterhoofd is nog wel te zien dat het risico op lachgasvorming in Papendrecht laag zou worden ingeschat, overeenko-

mend met ook de lage berekende emissiefactor in de meetperiode. Ter ondersteuning van de lage effluentconcentraties in Papendrecht kan nog wel genoemd worden dat uit de bedrijfsvergelijking 2009, 2012 en 2015 blijkt dat in Papendrecht de gemiddelde N-totaal concentratie in het effluent 4 mg N/l bedraagt. De waargenomen concentraties in Papendrecht in het lachgasonderzoek lijkt daarmee representatief voor de zuivering.

TABEL 5 VERIFICATIE EENVOUDIGE RISICO – INSCHATTING VOOR PAPENDRECHT EN KRALINGSEVEER

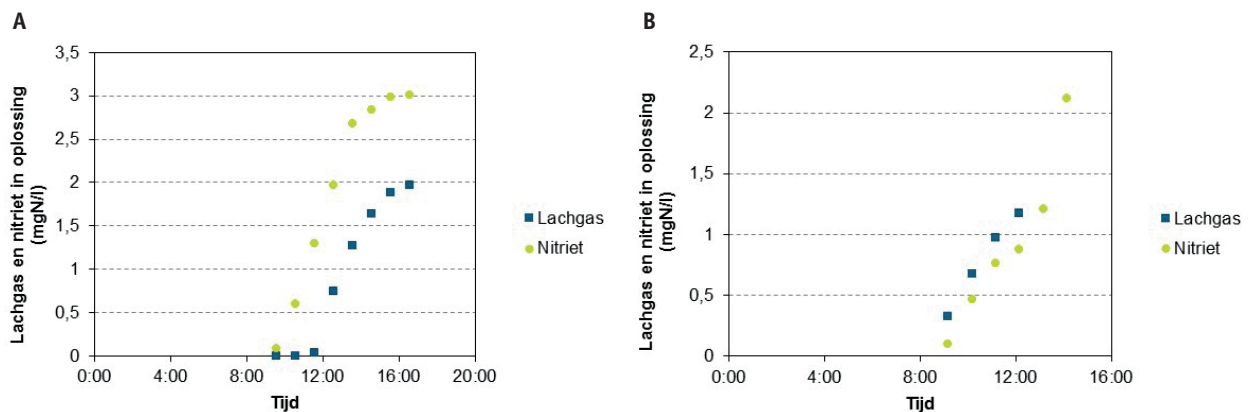
Parameter	Eenheid	Papendrecht	Kralingseveer
Meetperiode	-	19 – 26 september 2008	September 2010 – september 2011
NH ₄ -N effluent	mg N/l	0,25 (slechts 1 meetpunt)	1,3 (+/- 1,1)
NO ₂ -N effluent	mg N/l	0,02 (slechts 1 meetpunt)	0,35 (+/- 0,51)
Risico-inschatting	Som	3 = laag	6 = hoog
Emissiefactor	%	0,04 ((slechts 1 meetpunt)	3

Voor Kralingseveer waren data van een heel jaar beschikbaar. Op basis van deze data wordt het risico op lachgasvorming hoog ingeschat, overeenkomend met de hoge emissiefactor. De data uit Kralingseveer en Papendrecht lijken dus de resultaten van Soerendonk en Nieuwegein te ondersteunen en bevestigen de conclusie dat op basis van jaargemiddelde effluentconcentraties tot een goede risico-inschatting kan worden gekomen. In het overzicht zijn geen data van Kortenoord opgenomen omdat data van nitriet in het effluent ontbreken. De emissiefactor in Kortenoord was vergelijkbaar met die van Papendrecht en werd vastgesteld in de periode mei – juni 2009.

3.1.2 NITRIET ALS INDICATOR

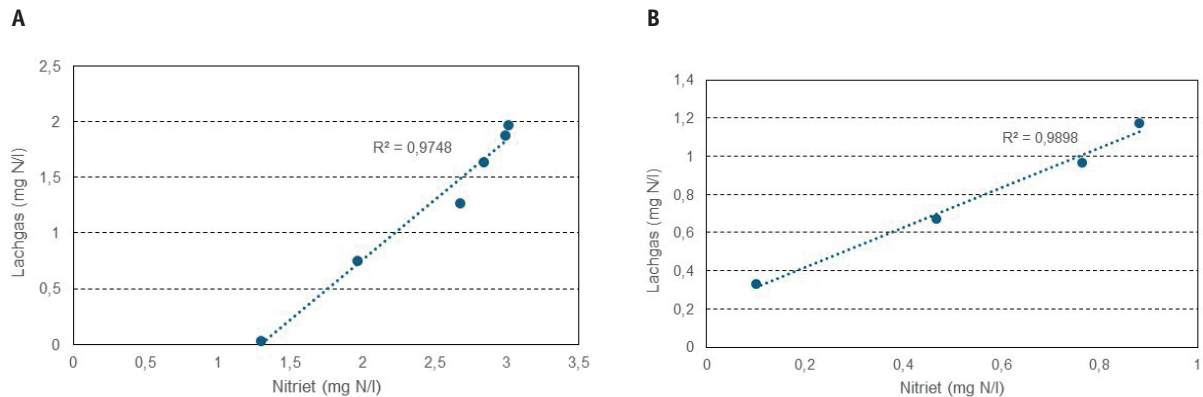
Om inzicht te krijgen of nitriet een goede indicator is voor de mate van risico op lachgasvorming is vooral gebruik gemaakt van de data uit Nieuwegein. Op twee dagen is in Nieuwegein de nitrietconcentratie in de tijd gemeten. In Figuur 5 zijn de resultaten hiervan samen met de gemeten lachgasconcentratie weergegeven.

FIGUUR 5 NITRIET- EN LACHGASCONCENTRATIES IN DE VLOEISTOFFASE AAN HET BEGIN VAN HET BELUCHTINGSVELD (SENSOR 1) IN NIEUWEGEIN; A: 28 APRIL 2017, B: 3 MEI 2017. NITRIETCONCENTRATIES ZIJN VERKREGEN MET STEEKMONSTERS



Uit Figuur 5 blijkt dat er een duidelijke relatie is tussen de nitrietconcentratie en de vorming van lachgas. Deze relatie wordt helemaal duidelijk wanneer de lachgasconcentratie en de nitrietconcentratie in de beluchtingstank tegen elkaar worden uitgezet zoals is te zien in Figuur 5.

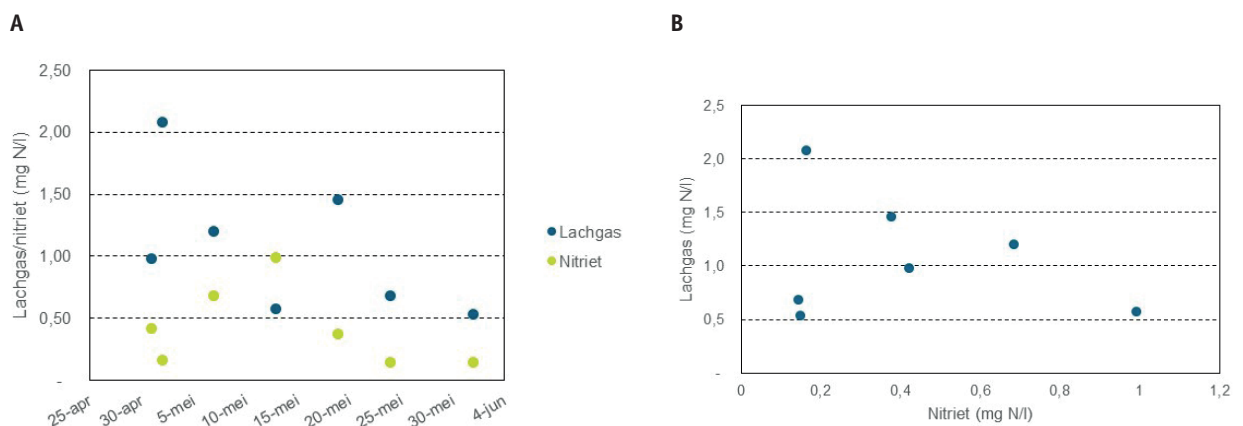
FIGUUR 6 RELATIE NITRIET EN LACHGAS IN DE VLOEISTOFFASE WAARBIJ DE LACHGASCONCENTRATIE AAN HET BEGIN VAN HET BELUCHTINGSVELD IS GEMETEN (SENSOR 1); MEETDATA UIT NIEUWEGEIN; A: 28 APRIL 2017, B: 3 MEI 2017. NITRIETCONCENTRATIES ZIJN VERKREGEN MET STEEKMONSTERS



Op basis van de nitrietconcentraties in het effluent is er een minder duidelijke relatie met de lachgasconcentratie zoals is te zien in Figuur 7. Een mogelijke verklaring hiervoor is dat tussen de beluchtingstank en het effluent nitriet nog wordt omgezet/geconsumeerd waardoor de directe relatie die wel in de beluchtingstank is te zien wegvalt. Nitriet is dus wel een goede indicator voor de mate van risico op de vorming van lachgas, alleen kan op basis van de nitrietconcentratie in het effluent geen directe relatie worden gelegd met de hoogte van de lachgasvorming- en emissie.

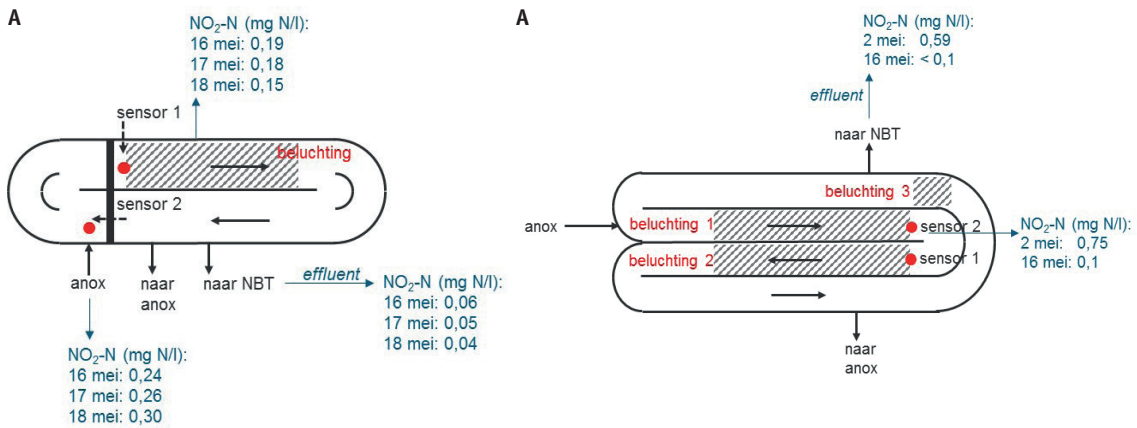
In het onderzoek dat in 2010/2011 in Kralingseveer werd uitgevoerd bleek ook dat er een beperkte relatie was tussen nitriet in het effluent en de lachgasemissie uit de beluchtingstank. De relatie in de beluchtingstank was in dit geval minder sterk dan hier op een enkele dag in Nieuwegein werd waargenomen.

FIGUUR 7 A: VERLOOP LACHGAS- EN NITRIETCONCENTRATIE IN DE BELUCHTINGSTANK IN NIEUWEGEIN (SENSOR 1 AAN HET BEGIN VAN HET BELUCHTINGSVELD) EN DE NITRIETCONCENTRATIE EN B: DE RELATIE TUSSEN DE NITRIETCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT EN DE LACHGASCONCENTRATIE IN DE BELUCHTINGSTANK. NITRIETCONCENTRATIES ZIJN VERKREGEN MET STEEKMONSTERS



Aanvullend op deze metingen zijn ook de nitrietconcentraties in het effluent en de beluchtingstank gemeten om vast te stellen of de waarde in het effluent leidt tot een betrouwbare risico-inschatting. De resultaten hiervan zijn weergegeven Figuur 8.

FIGUUR 8 VERGELIJKING NITRIETCONCENTRATIE (STEEMONSTERS) IN ANOXISCHE/BELUCHTINGSTANK EN EFFLUENT VOOR A: SOERENDONK EN B: NIEUWEGEIN. DATA ZIJN VERKREGEN IN 2017



De metingen in Soerendonk en Nieuwegein bevestigen de eerdere resultaten dat in het effluent lagere concentraties nitriet worden aangetroffen dan in de beluchtingstank. Hierdoor wordt het risico op lachgasvorming wellicht onderschat, maar dit geldt wel voor alle zuiveringen waardoor onderlinge vergelijking mogelijk blijft.

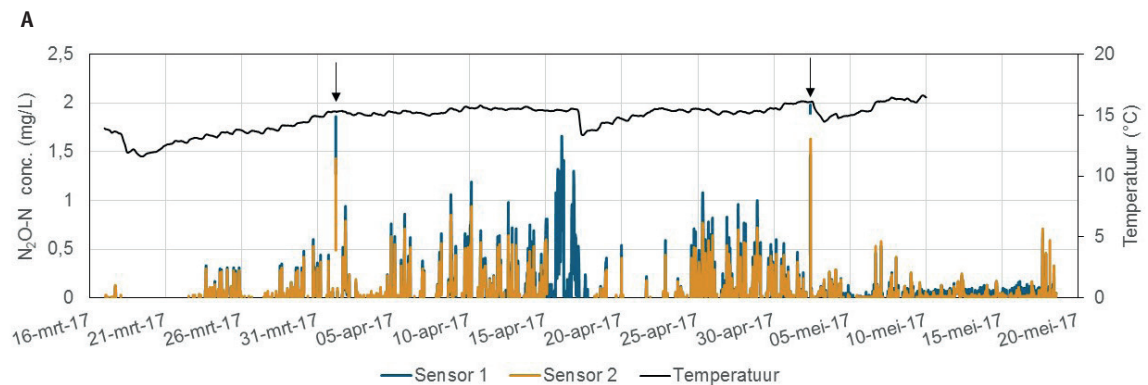
3.1.3 BETROUWBAARHEID VAN DE METINGEN

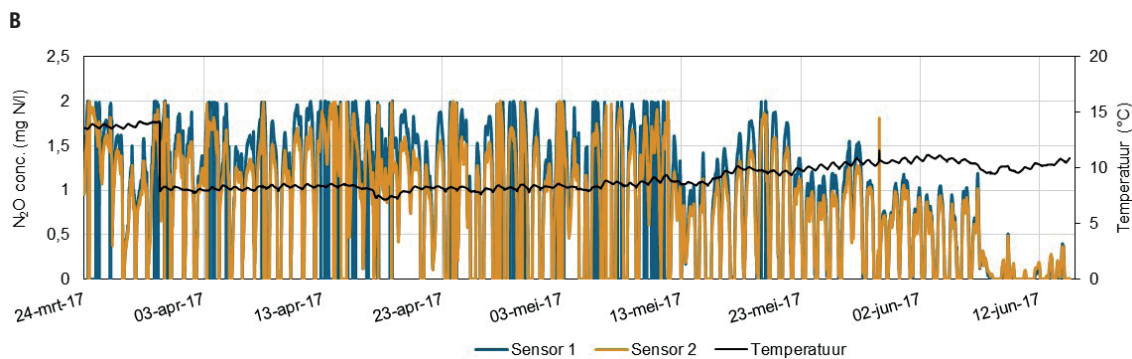
Om de betrouwbaarheid van de metingen te toetsen is gekeken of de juiste meetperiode is gekozen en de sensoren op de juiste locaties zijn geplaatst. Tot slot zijn de lachgasconcentraties ook vergeleken met andere procesdata om een mogelijke verklaring te vinden voor het waargenomen verloop in de concentratie.

Meetperiode

Het verloop van de lachgasconcentratie voor Soerendonk en Nieuwegein is weergegeven in Figuur 9.

FIGUUR 9 VERLOOP LACHGASCONCENTRATIE (BLAUW EN ORANJE) EN TEMPERatuur (ZWARTE CURVE) IN CARROUSEL VOOR A: SOERENDONK EN B: NIEUWEGEIN. WAARDES IN NIEUWEGEIN GAAN SOMS OVER DE MEETGREN VAN 2 MG/L), WAARBIJ DE VERWACHTING IS DAT DE CONCENTRATIE HOGER MOET ZIJN GEWEEST. DE TWEE PIEKEN BIJ SOERENDONK ZIJN DE TWEE MOMENTEN DAT DE SENSOREN NOG ZIJN GEKALIBREERD (ZIE PIJLEN). IN BEIDE SITUATIES WAS SENSOR 1 AAN HET BEGIN VAN (BELANGRIJKSTE) BELUCHTINGSZONE GEPLAATST EN SENSOR 2 AAN HET EIND VAN DE ANOXISCHE ZONE





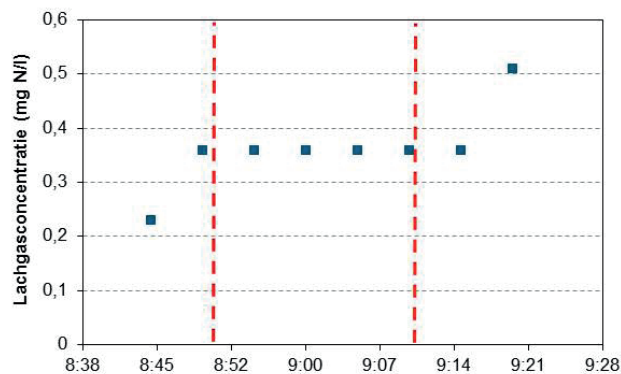
Voor beide locaties is te zien dat de concentratie lachgas significant gemeten kon worden en de gekozen meetperiode geschikt is geweest om de zuiveringen onderling te kunnen vergelijken.

Meetlocatie sensoren

Uit Figuur 8 is ook op te maken dat de gemeten lachgasconcentraties voor beide sensoren in Nieuwegein en Soerendonk het grootste gedeelte van de tijd vergelijkbaar zijn. Dit betekent dat op deze zuiveringen de concentraties aan het eind van de anoxische zone en aan het begin van de beluchte zone vergelijkbaar zijn geweest. Een waarschijnlijke verklaring hiervoor is dat beide systemen nagenoeg als volledig gemengde systemen kunnen worden gezien. Doordat de menging nagenoeg volledig is in de geselecteerde systemen is het echter lastig om de plaats van N₂O vorming te achterhalen. Vanuit het oogpunt van emissie zijn alleen de beluchte delen en overstort plaatsen waar lachgas zich uit de vloeistoffase kan onttrekken. Gezien de hoge oplosbaarheid van lachgas (1,2 g/l bij 25 °C) is het onwaarschijnlijk dat er significante hoeveelheden ontsnappen naar de atmosfeer zonder enige vorm van strippen (beluchten, overstorten etc.). Dit impliceert dat voor het vaststellen van de emissie van lachgas met één sensor kan worden volstaan die op het grensvlak van de anoxische zone en aan het begin van het beluchtingsveld wordt geplaatst.

De vraag is dan nog wel of er sprake is van een concentratieprofiel van lachgas over de beluchte zone. Om deze vraag te beantwoorden is in het onderzoek op beide locaties een profiel over de beluchte zone vastgesteld. In Nieuwegein is op 16 juni 2017 de sensor tussen 8:51 en 9:10 vier keer verplaatst. De gemeten lachgasconcentratie in deze periode is weergegeven in Figuur 10.

FIGUUR 10 CONCENTRATIEPROFIEL LACHGAS IN BELUCHTE ZONE OP DE ZUIVERING NIEUWEGEIN, GEMETEN OP 17 JUNI 2017. TUSSEN DE RODE STIPPELLIJNEN DE PERIODE WAARIN DE SENSOR VIER KEER IS VERPLAATST



De resultaten tonen aan dat de concentratie over de beluchte zone gelijk blijft. Eenzelfde beeld werd in Soerendonk waargenomen, waar het profiel op drie verschillende dagen is gemeten. Het is wel goed om rekening te houden met de omloopsnelheid, zodat dat niet steeds hetzelfde 'volume' (pakketje) wordt gemeten. Gezien de hoge mate van menging in de meeste zuiveringen in Nederland is de verwachting dat er sprake is van een gelijkmatig lachgasprofiel over de beluchte zone. Het verdient echter de aanbeveling om dit bij een langdurige meting van lachgas enkele malen te controleren. Vooralsnog is de verwachting dat één sensor voor de beluchte zone volstaat.

Verklaringen voor waargenomen concentratieverloop

In bijlage 3 is per sensor en per locatie een analyse gemaakt van het concentratieverloop van lachgas in combinatie met een aantal procesparameters zoals ammonium, zuurstof- en nitraatconcentratie. De hoge mate van menging die in systemen als in Soerendonk aanwezig is maken het moeilijk om onderscheid te maken in de vorming en/of het strippen van lachgas. De mogelijke verklaringen voor het verloop in lachgas zijn daardoor hypothetisch. Deze worden wel als voldoende beschouwd om te toetsen of het gevonden verloop een mogelijk logische verklaring kent en de meting dus als betrouwbaar kan worden beschouwd.

Voor Soerendonk lijken de pieken in lachgas het gevolg te zijn van het langer beluchten dan noodzakelijk waardoor, of ammonium bij een hogere snelheid wordt omgezet met als gevolg een hogere lachgasproductie, of het gevormde lachgas meer wordt gestript. Uit deze waarneming is af te leiden dat met het voorkomen van 'overbeluchten' de emissie van lachgas kan worden gereduceerd. De aanwezigheid van nitriet is in Soerendonk waarschijnlijk de verklaring voor het gevonden verloop in de lachgasconcentratie tijdens de denitrificatie.

Voor Nieuwegein is de verwachting dat door de hogere ammoniumconcentraties in de beluchtingstank (mogelijk als gevolg van hogere aanvoer en de aanwezigheid van rejectiewater, zie Tabel 3) hogere ammoniumoxidatiesnelheden en meer ophoping van nitriet heeft plaats gevonden dan in Soerendonk. Dit vormt mogelijk ook de verklaring voor het waargenomen verschil in de mate van lachgasvorming tussen beide zuiveringen.

Voor beide locaties kunnen bekende vormingsmechanismen van lachgas het verloop in de lachgasconcentratie verklaren. Dit is een goede indicatie dat de metingen betrouwbaar zijn geweest.

3.1.4 SAMENVATTING

De metingen in Soerendonk en Nieuwegein hebben aangetoond dat een risico-inschatting op basis van jaargemiddelde ammonium- en nitrietconcentraties in het effluent een goede inschatting kunnen geven van het risico op de vorming en emissie van lachgas. Dit wordt ondersteund door de data die in eerdere STOWA onderzoeken zijn verzameld in Papendrecht en Kralingseveer. Hiermee kan binnen een beheersgebied van een waterschap een selectie worden gemaakt tussen zuiveringen met een hoog, gemiddeld en een laag risico. Voor zuiveringen met een hoog risico kunnen vervolgens metingen worden uitgevoerd om de daadwerkelijke emissie vast te stellen.

Bij deze conclusie dient nog wel rekening te worden gehouden met het feit dat:

- de nitriet- en ammoniumconcentraties in het effluent lager zullen liggen dan in de aera-tietank, waardoor het risico wellicht wordt onderschat, maar dat dit wel voor alle zuive-ringen geldt en onderlinge vergelijking mogelijk blijft;
- ammonium een minder sterke indicator is dan nitriet, omdat hogere ammoniumconcen-

traties ook het gevolg kunnen zijn van het niet kunnen omzetten van ammonium (door verschillende oorzaken), en er dan dus ook geen lachgasvorming kan zijn opgetreden;

- nitriet is een goede indicator voor het risico op lachgasvorming, alleen kan op basis van de nitrietconcentratie in het effluent geen directe relatie worden gelegd met de hoogte van de lachgasvorming en -emissie;
- effluentconcentraties kunnen variëren gedurende het jaar. Het wordt daarom aanbevolen om de variatie mee te nemen in de emissierisicobeoordeling. Een zuivering met een laag risico op basis van de jaargemiddelde effluentwaarden kan hoger ingeschaald worden als de variatie in ammonium en/of nitriet hoog is.

De risico-inschatting op basis van jaargemiddelde effluentwaardes van ammonium en nitriet leidt tot een indeling in laag, gemiddeld en hoog risico (zie paragraaf 4.1 voor werkwijze). Op basis van expert judgement is aan deze risico-indeling een mogelijke emissiefactor verbonden. Ofwel het percentage van de inkomende stikstofvracht die wordt omgezet naar lachgas, het resultaat hiervan is weergegeven in Tabel 6. Let wel dit is een **ruwe indicatie** én dient dus altijd in de praktijk geverifieerd te worden (door langdurige metingen) voordat besluitvorming plaats vindt over maatregelen óf de bijdrage aan de CO₂ voetafdruk kan worden vastgesteld.

TABEL 6 INDICATIE VOOR DE HOOGTE VAN DE EMISSIEFACTOR VAN LACHGAS BIJ EEN LAAG, GEMIDDELD OF HOOG RISICO OP LACHGASFORMING. DIT IS EEN **RUWE INDICATIE** EN DIENT **ALTIJD** IN DE PRAKTIJK GEVERIFIEERD TE WORDEN. VOOR TOELICHTING SCORES ZIE PARAGRAAF 2.1.1

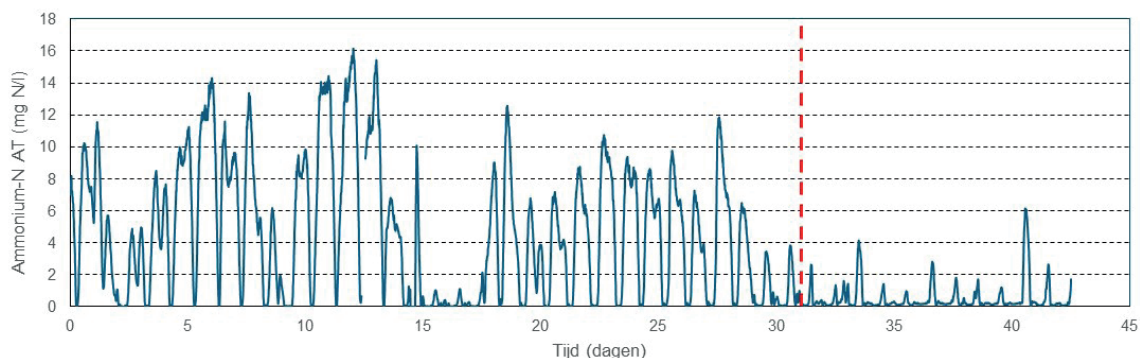
Risico op lachgas	Indicatie emissiefactor (% van Nin)
Laag (score: < 4)	0,05 (0,01 – 0,1)
Gemiddeld (score: 5)	0,5 (0,1 – 1)
Hoog (score > 6)	3 (1 – 5)

3.2 VERIFICATIE SENSOR

3.2.1 FUNCTIONEREN ZUIVERING AMSTERDAM WEST

In de meetperiode waren effectief zes van de zeven straten op de zuivering Amsterdam West in bedrijf. Dit betekende een hogere belasting van AT-6 waardoor mogelijk de ammoniumconcentraties in de AT hoog waren zoals is te zien in Figuur 11. In een eerdere vergelijkbare situatie liepen de ammoniumconcentraties in AT-6 niet zo hoog op. De oorzaak van de nu hogere concentraties is (nog) niet bekend, al waren er naast de relatief hoge belasting ook problemen met de luchtinbreng.

FIGUUR 11 VERLOOP AMMONIUM-N CONCENTRATIE IN AT-6 VAN DE ZUIVERING AMSTERDAM-WEST; DAG 0 IS 8 JUNI 2018, DE RODE GESTIPPTELDE LIJN MARKEERT HET MOMENT DAT ALLE ZEVEN STRATEN OP DE ZUIVERING WEER IN BEDRIJF WAREN, DAARVOOR WAREN DAT ER EFFECTIEF ZES VAN DE ZEVEN

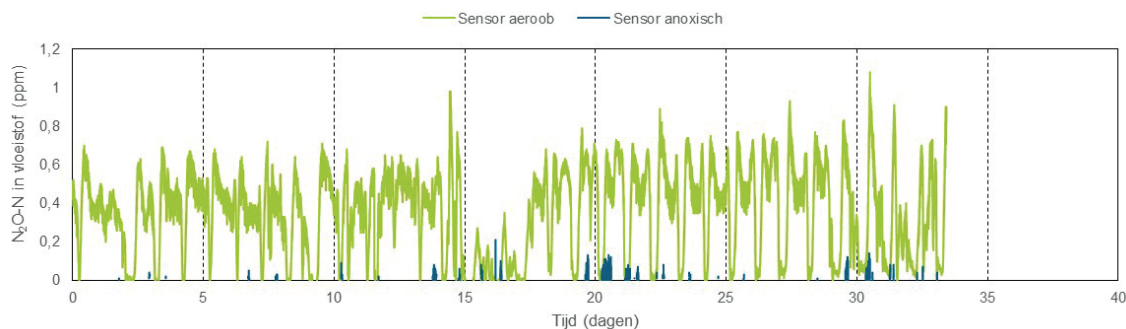


Vanaf 9 juli waren alle zeven straten weer in bedrijf en nam de ammoniumconcentratie in AT-6 weer af. Rond dag 15 nam de belasting van AT-6 tijdelijk even af naar 50%, wat de dip in de ammoniumconcentratie op dat moment verklaart.

3.2.2 LACHGASMETINGEN

Het verloop van de lachgasconcentratie in de vloeistoffase zoals deze is gemeten op de twee locaties in AT-6 is weergegeven in Figuur 12.

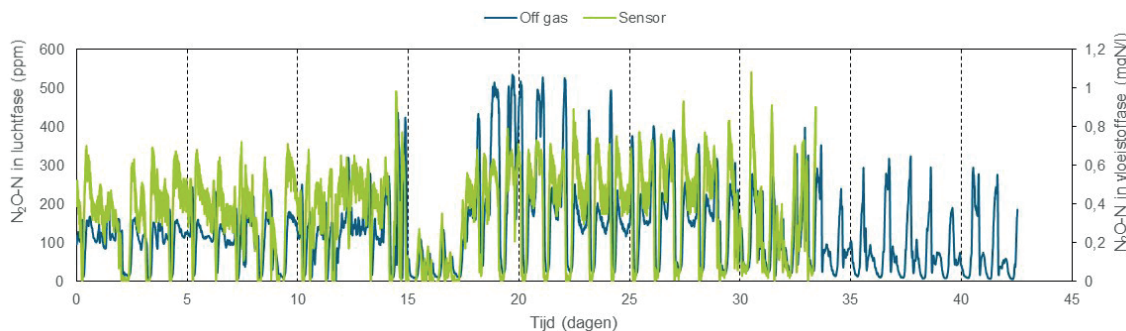
FIGUUR 12 VERLOOP LACHGASCONCENTRATIE IN DE VLOEISTOFFASE VOOR DE SENSOR DIE GEPLAATST WAS IN DE AEROBE TANK EN DE SENSOR IN DE FACULTATIEVE TANK



Uit de metingen blijkt dat lachgasvorming- en emissie vooral plaatsvond in de aerobe zone, de gemeten lachgasconcentraties in de facultatieve zone zijn verwaarloosbaar. Deze waarneming wijkt af van de waarneming in Nieuwegein en Soerendonk waar na de anoxische zone wel lachgas werd gemeten. Een duidelijke verklaring voor dit verschil valt hiervoor op dit moment niet te geven.

Het verloop in de lachgasconcentraties is voor beide metingen (vloeistof- resp. gasfase) vergelijkbaar zoals is waar te nemen in Figuur 13 al treden er op sommige momenten wel verschillen op zoals rond dag 20.

FIGUUR 13 VERLOOP IN LACHGASCONCENTRATIE IN AFGEZOGEN LUCHT AT-6 EN DE VLOEISTOFFASE VAN AT-6



Uit het verloop van de meting in de afgezogen lucht is duidelijk te zien dat de emissie na dag 31 afneemt als alle zeven straten van Amsterdam West weer in bedrijf zijn. De afname in lachgas loopt gelijk met de afname in de ammoniumconcentratie (Figuur 10).

De berekende emissie van lachgas volgens de twee meetmethoden is samengevat Tabel 7. Voor de berekeningen zijn de formules uit bijlage 5 gebruikt.

TABEL 7

RESULTAAT VERGELIJKING EMISSIE LACHGAS VOLGENS METING IN VLOEISTOFFASE EN OFF-GAS METING IN AT-6 VAN DE ZUIVERING AMSTERDAM-WEST. GEMIDDELDE OVER PERIODE VAN 8 JULI 2018 – 11 JULI 2018

Methode	Gemiddelde emissie (kg N ₂ O-N/d)
Sensor in vloeistoffase AT-6	65
Meting in afgezogen lucht AT-6	53

De emissie zoals die nu is berekend op basis van de metingen in de vloeistoffase is 22% hoger dan de emissie berekend op basis van de metingen in de afgezogen lucht. De hier gemeten emissie is vooralsnog niet te vergelijken met de emissie in Soerendonk en Nieuwegein, omdat enerzijds de inkomende stikstofvracht van alleen AT-6 niet bekend is en anderzijds rekening dient te worden gehouden met verschillen in systeemconfiguratie, regelingen en de periode waarin gemeten is.

Bij de emissieberekeningen voor de metingen in de vloeistoffase is ervan uit gegaan dat de concentratie gemeten bij sensor 1 in de aerobe tank geldt voor de gehele aerobe tank. Door de hoge recirculatiefactor(en) die in het m-UCT systeem worden toegepast mag er vanuit worden gegaan dat de aerobe tank nagenoeg volledig gemengd is en het concentratieprofiel over de gehele tank gelijk is geweest. De profielmeting die is uitgevoerd lijkt dit te bevestigen. Echter de meting is uitgevoerd aan het begin van de dag waar de concentratie van lachgas opliep en lastig was vast te stellen of de concentratie over het beluchtingsveld gelijk bleef.

Het luchtdebiet van de blowers zoals deze wordt geregistreerd geldt voor de gehele straat, inclusief de beluchtingsvelden in de facultatieve tank. Deze beluchtingsvelden zijn gedurende de metingen niet continu, maar wel vaak in bedrijf geweest. Het geregistreerde debiet is daardoor soms geldig geweest voor alleen de aerobe tank en dan zijn de berekeningen correct. In de situaties dat de beluchtingsvelden in de facultatieve zone wel zijn aan geweest is voor de emissie uit de aerobe tank gerekend met een te hoog luchtdebiet, waardoor de emissie op die momenten is overschat. Dit kan waarschijnlijk voor een klein deel het waargenomen verschil met de off-gas metingen verklaren. Tegelijkertijd is het goed om rekening te houden in de meetnauwkeurigheid van zowel het debiet van de afgezogen lucht als die van de blowers (al zijn deze wel constant geweest).

Met inachtneming van deze onzekerheden in de nauwkeurigheid van de diverse metingen en de uitgangspunten van de berekeningen lijkt met de sensor en bijbehorende omrekening tot een goed inzicht te kunnen worden gekomen voor de orde grootte van de emissie. Belangrijke voorwaarde hiervoor is wel een betrouwbare meting van het luchtdebiet van de blowers.

3.2.3 SAMENVATTING

De metingen in Amsterdam hebben aangetoond dat metingen van lachgas in de vloeistoffase goed inzicht geven in de orde grootte van de lachgasemissies op een zuivering. Met metingen in de afgezogen lucht van een zuivering kan worden gekomen tot de beste inschatting van de lachgasemissie, maar aangezien het merendeel van de zuiveringen in Nederland niet is afgedekt zal de emissie gemeten dienen te worden aan de hand van een lachgasmeting in de vloeistoffase. Met deze meting is het mogelijk om meer inzicht te krijgen in de oorzaken van lachgasvorming en kan het effect van reductiemaatregelen worden gemonitord.

De metingen in Amsterdam West lieten in tegenstelling tot de metingen in Soerendonk en Nieuwegein een duidelijk verschil zien tussen de lachgasconcentraties in de anoxische zone en de aerobe zone. Waar deze in Nieuwegein en Soerendonk gelijk waren, was de lachgasconcentratie in de facultatieve zone in Amsterdam West nagenoeg verwaarloosbaar. Een verkla-

ring voor dit verschil kon hier niet worden gevonden.

Op basis van de waarnemingen in Nieuwegein, Soerendonk en Amsterdam West verdient het vooralsnog de aanbeveling om bij het toepassen van de meting in de vloeistoffase twee sensoren aan te schaffen. Met één sensor op het grensvlak van een anoxische zone en de start van het (belangrijkste) beluchtingsveld zal voor de meeste zuiveringen een goed inzicht kunnen worden verkregen in de orde grootte van de emissies. Met de tweede sensor kan enkele malen geverifieerd worden of er geen concentratieprofiel aanwezig is over de beluchte zone. In de tussenliggende periodes kan deze in de anoxische zone worden geplaatst om waar te nemen of er verschillen in lachgasconcentraties zijn tussen de anoxische zone en de beluchte zones. Met de formules van Unisense uit bijlage 5 kan de emissie worden berekend op basis van de twee meetwaarden.

Voor een goede omrekening van de gemeten concentratie naar een geëmitteerde vracht is een betrouwbare meting van het ingevoerde luchtdebiet noodzakelijk.

3.3 KANSEN VOOR REDUCTIE LACHGASEMISSIE

De resultaten in dit onderzoek bevestigen de bevindingen uit eerdere STOWA onderzoeken en de bevindingen uit de literatuur dat de parameters ammonium, en nitriet een belangrijke rol spelen bij de vorming van lachgas. Op basis van deze bevindingen is een mogelijke hypothese dat tijdens de nitrificatie ophoping van nitriet kan plaatsvinden, doordat bij hogere ammonium- en zuurstofconcentraties de ammoniumoxideerders een voordeel hebben ten opzichte van de nitrietoxideerders en nitriet zich kan ophopen. Bij terugvoer van nitriet naar denitrificatietanks kan ook daar lachgasvorming optreden. Het voorkomen van nitrietophoping door een goede beluchtingsregeling lijkt daarmee een goede reductiemaatregel. Dit betekent een voldoende hoge zuurstofconcentratie voor de nitrietoxideerders, maar een niet te hoge zuurstofconcentratie waardoor de ammoniumoxideerders een te groot voordeel krijgen ten opzichte van de nitrietoxideerders. Het voorkomen van hoge ammoniumconcentraties is een andere mogelijke reductiemogelijkheid. Dit betekent bijvoorbeeld het afvlakken van pieken in de aanvoer, en het behandelen van rejectiewater (of effluent van deelstroom) bij een lage aanvoer in de nacht. In algemene zin lijken systemen die in staat zijn (ammonium)pieken goed op kunnen vangen een voordeel te hebben bij het voorkomen van hogere (piek)lachgasemissies.

4

PROTOCOL INSCHATTING EN METING LACHGAS

4.1 INSCHATTING RISICO

Het meetonderzoek heeft aangetoond dat een risico-inschatting voor lachgasvorming op basis van gemiddelde effluentwaarden ammonium en nitriet leidt tot een betrouwbare inschatting van het risico. Hiermee kan worden ingeschat op welke zuivering het risico op lachgasvorming (en emissie) het grootst is. Om deze risico-inschatting te maken zijn de volgende stappen nodig:

- verzamelen jaargemiddelde effluentdata voor ammonium en nitriet;
- score toekennen aan effluentwaarden conform Tabel 8 en totaalscore per zuivering bepalen.

TABEL 8 OPZET RISICO-INVENTARISATIE OP BASIS VAN EFFLUENTGEHALTE AMMONIUM EN NITRIET. EFFLUENTGEHALTES OP BASIS VAN GEWOGEN JAARGEMIDDELDE

Parameter	Eenheid	Risiko - hoog		Risiko – gemiddeld		Risiko - laag	
		Waarde	Score	Waarde	Score	Waarde	Score
Ammonium	mg N/l	> 2	3	1 – 2	2	< 1	1
Nitriet	mg N/l	> 0,5	6	0,2 – 0,5	4	< 0,2	2

Bij die zuivering(en) met de hoogste score en dus de hoogste risico-inschatting kan vervolgens de daadwerkelijke emissie worden bepaald. In de volgende paragraaf wordt hiervoor het protocol beschreven. Bij de beoordeling van de risico verdient het de aanbeveling om de omvang van de zuivering mee te nemen en de mate van variatie in de effluentwaarden ammonium en nitriet. Een kleine zuivering met een hoog risico kan een laag aandeel in de CO₂ voetafdruk van een waterschap hebben, terwijl het aandeel van een grote zuivering met een gemiddeld risico hoger kan zijn. Een hoge mate van variatie in ammonium en nitrietwaarden in het effluent kan aanleiding zijn om ondanks een laag risico score toch een meting uit te gaan voeren.

4.2 MEETPROTOCOL

4.2.1 RANDVOORWAARDEN

Van september 2010 tot en met januari 2012 zijn er online lachgasmetingen uitgevoerd op de RWZI Kralingseveer. De resultaten van deze metingen zijn opgenomen in een STOWA rapport¹. De belangrijkste bevindingen ten aanzien van de variatie in de emissie waren:

- de emissie varieert op de lange termijn over de seizoenen, en loopt ongeveer 2 maanden achter op de watertemperatuur¹³;

13 In Amsterdam West wordt dit zo waargenomen.

- de emissie varieert over de dag; deze variatie wordt grotendeels veroorzaakt door de variatie in aanvoerdebit en dus stikstofvracht; de herkomst van de emissie door het jaar heen verschilt¹⁴.

In een later stadium zijn de meetgegevens nader geanalyseerd door de TUD om inzicht te krijgen in het effect van de meetstrategie op de uiteindelijke inschatting van de lachgasemissie vanuit een RWZI¹⁵.

Dit is gedaan door met vier verschillende meetstrategieën de lachgasemissie van Kralingseveer te berekenen op basis van de gehele dataset die is verzameld en de uitkomst van de berekening te vergelijken met de uitkomst van de meetgegevens. De vier meetstrategieën die zijn getoetst zijn:

- online meting gedurende 24 uur;
- online meting gedurende 7 dagen;
- steekmonsters die gedurende een langere periode (> 1 jaar) elke week 1x worden genomen;
- één enkel steekmonster.

Op deze manier kon inzicht worden gekregen welke voorwaarden er gelden voor een meetcampagne qua duur en frequentie van de metingen om een betrouwbare inschatting te krijgen van de lachgasemissie. De gevonden voorwaarden voor een meetcampagne zijn:

- een lange meetperiode waarin in ieder geval metingen worden uitgevoerd over de gehele temperatuurspreiding; voor Nederland betekent dat een periode van een jaar;
- de uit te voeren metingen kunnen als steekmonster of als online meting worden uitgevoerd zolang deze zoveel mogelijk over het gehele jaar worden uitgespreid (dus beter data verzamelen in meerdere periodes dan dezelfde hoeveelheid data verzamelen in één periode). Het meenemen van de periode vanaf de winter tot begin voorjaar is in ieder geval van belang voor een goed inzicht in de emissie van lachgas.

Voor inzicht in de oorzaken van lachgasvorming en emissie zijn online metingen onontbeerlijk omdat deze ook inzicht geven in de dagelijkse variatie. Dat is met alleen steekmonsters niet mogelijk.

4.2.2 MEETMETHODEN

Voor het bepalen van de mate waarin lachgas wordt geëmitteerd vanuit een zuivering en de factoren die daar invloed op hebben, is het nodig om de uitgestoten vracht aan lachgas te meten en deze te relateren aan de inkomende stikstofvracht. Voor het bepalen van de mate waarin lachgas wordt geëmitteerd zijn dus de volgende meetgegevens nodig: influentdebit, concentratie NKj (of ammonium) in influent ten tijde van de meting, lachgasconcentratie en gasdebit.

Gegevens over het influentdebit en de concentratie NKj (of ammonium) zijn vaak bij het waterschap al aanwezig. Voor het meten van de lachgasconcentratie en bijbehorende gasdebit zijn verschillende methoden beschikbaar die verschillen in onzekerheid, eenvoud/complexiteit en mate waarin inzicht wordt verkregen in de totale lachgasemissie. Een overzicht van beschikbare technieken is weergegeven in Tabel 9.

14 De zuivering Kralingseveer bestaat uit een propstroomreactor (AT) en twee carrousels (BT1 en 2), waar waargenomen werd dat in de zomer de emissie vooral uit de AT kwam en in de winter vooral uit de BT.

15 Daelman, M.R.J., De Baets, B., van Loosdrecht, M.C.M., Volcke, E.I.P., 2013, Influence of sampling strategies on the estimated nitrous oxide emission from wastewater treatment plants, Water Research, 47, p. 3120 – 3130.

TABEL 9 OVERZICHT BESCHIKBARE MEETMETHODEN OM EMISSIE LACHGAS TE BEPALEN

Meting N ₂ O	Gasdebiet via	Onzekerheid	Complexiteit	Mate van inzicht in totale emissie
Online (via bijvoorbeeld Rosemount Analyser)	metingen in afgezogen lucht van afgedekte zuiveringen	± 10% (meetfout) Nauwkeurigheid meting is 1%	hoog	goed
Boxmeting	inbrengen 'tracer' gas en/of 'sweep' gas (bij anoxische zone)	onbekend	hoog	beperkt
Luchtmeting pluimmeting	windsnelheid/richting	20 – 30% (+tracer) 50 – 100% (- tracer)	complex in uitvoering en uitwerking	beperkt
mast drones	windsnelheid/richting onbekend	20% onbekend	idem onbekend	beperkt onbekend
Gaszakken/bloedbuisjes	luchtdebiet blower(s) of puntbeluchter(s)	onbekend	laag	beperkt
Vloeistofmonsters	niet van toepassing	onbekend	hoog	gelijkwaardig aan sensor maar lagere temporele resolutie
Sensor (bijvoorbeeld via Unisense)	niet van toepassing	+/- 10% (opgave Unisense)*	gemiddeld	goed

* In werkelijkheid kan deze hoger liggen afhankelijk van de configuratie/geometrie van de installatie en in hoeverre deze aansluit bij de door Unisense gehanteerde formules.

Online gas-analyser

Een online gas-analyser kan worden aangesloten op een drijvende box (bij niet afgedekte zuiveringen) of worden ingeprikt in de afzuigleidingen van een afgedekte zuivering. Voordeel bij het laatste is dat gelijk de mogelijke ruimtelijke variatie in emissie wordt meegenomen, terwijl dit bij een boxmeting niet direct mogelijk is en de box waarschijnlijk enkele keren dient te worden verplaatst. Bij toepassing van deze methode op de RWZI Aarle Rixtel werd nauwelijks ruimtelijke variatie waargenomen in de lachgasemissie¹⁶, doordat deze zuivering een hoge mate van menging kent. Dit zal niet voor elke zuivering gelden en het is aan te bevelen om bij het gebruik van de box deze toch een aantal keer te verplaatsen om vast te stellen of er sprake is van variatie in de ruimte. De boxmeting kan in combinatie met lokaal gemeten stikstof- en zuurstofconcentraties mogelijk wel meer inzicht geven in de vormingsprocessen van lachgas. Dit is met de meting in de totale afgezogen lucht van een zuivering niet goed mogelijk, omdat een ruimtelijk gemiddelde van de emissie wordt gemeten, terwijl stikstof- en zuurstofconcentraties lokaal gemeten worden.

Luchtmetingen (boven oppervlak zuivering)

De methoden om in de lucht (ruim) boven het wateroppervlak, de lucht te analyseren geven wel inzicht in of lachgas wordt geëmitteerd, maar zijn er aanvullende metingen aan windsnelheid- en richting nodig om enig inzicht te krijgen in de mate van emissie (via complexe berekeningen).

Gaszak of bloedbuisjes

De meest eenvoudige methode om de emissie van lachgas te meten is het vullen van een gaszak of bloedbuisje (gas daarin in te brengen door vlak boven wateroppervlak spuit te vullen met lucht) en de inhoud hiervan via een gaschromatograaf (GC) de concentratie aan lachgas te bepalen.

Door daarnaast tegelijkertijd gegevens te verzamelen over het ingebrachte luchtdebiet kan een inschatting worden gemaakt van de lachgasemissie. Gezien de verwachte onnauwkeurigheid in de data zal de mate waarin inzicht wordt verkregen in de totale emissie van de zuivering vrij beperkt zijn, maar deze methode lijkt wel geschikt om een (snelle) selectie te maken tussen verschillende zuiveringen.

Vloeistofmonsters

Bij deze methode wordt aan de vloeistof, het monster een hoge concentratie zout toegevoegd zodat biologische omzetting niet meer mogelijk is en de gassen uit de vloeistof worden verdreven. Van het ontstane gas kan een monster worden genomen die op een GC kan worden geanalyseerd. Om vanuit deze metingen een inschatting te maken van de geëmitteerde hoeveelheid lachgas dient er een stofoverdrachtcoëfficiënt (vloeistof – gas) te worden bepaald voor de desbetreffende zuivering. Deze stofoverdrachtcoëfficiënt zal per zuivering dienen te worden vastgesteld, omdat deze onder andere afhankelijk is van de mate van menging en beluchting. Bepaling van de lachgasemissie via vloeistofmonsters zijn daarmee complex te noemen.

Metten in vloeistoffase

Via Unisense zijn sensoren te verkrijgen die de concentratie lachgas in de vloeistoffase meten. Een deel van de sensor moet gezien worden als een ‘consumable’ die eens in de zoveel tijd vervangen dient te worden. Unisense geeft een garantie voor tenminste vier maanden. Om de gemeten concentraties om te rekenen naar emissiegetallen is de aanschaf van een controle box met software via Unisense nodig of kan achteraf met de berekening uit bijlage 5 de emissie worden berekend. Benodigde informatie betreft in beide gevallen: luchtdebietdata (continu) en de karakteristieken van de beluchting (geïnstalleerd oppervlak en waterhoogte boven elementen; eenmalig).

Aandachtspunten van de sensor zijn:

- de gevoeligheid van de sensor voor beschadiging bij vooral het verplaatsen van de sensor;
- een goede kalibratie:
 - aandacht voor de temperatuur tijdens de kalibratie en de temperatuur van de beluchtingstank. Bij de registratie van het meetsignaal wordt voor een dergelijk temperatuurverschil gecompenseerd¹⁷;
 - bij temperatuurverschillen van 3°C of om de 2 maanden dient er een kalibratie uitgevoerd te worden;
 - bij gebruik van twee sensoren de sensoren in dezelfde kalibratievloeistof te hangen.
- de sensor kan alleen gebruikt worden om de emissie te berekenen bij zuiveringen met bellenbeluchting; bij andere zuiveringen kan de sensor wel gebruikt worden om trends te analyseren.

Samenvatting

Met een online gas analyzer kan de emissie van lachgas het beste worden bepaald. Voorwaarde hiervoor is wel dat de zuivering volledig is afgedekt. Helaas geldt dit niet voor veel zuiveringen in Nederland. Voor deze zuiveringen leidt het gebruik van de vloeistofsensoren tot een goed inzicht in de ordegrrootte van de lachgasemissie op een zuivering. Bij het gebruik van een dergelijke sensor wordt tegelijkertijd een beter inzicht verkregen in de oorzaak van lachgasvorming en kan het effect van reductiemaatregelen worden gemonitord. Een betrouwbare luchtdebietmeting is vereist om een juiste emissie te kunnen berekenen.

17 Baresel, C., Andersson, S., Yang, J., Andersen, M.H.; 2016; Comparison of nitrous oxide (N₂O) emissions calculations at a Swedish wastewater treatment plant based on water concentrations versus off-gas concentrations, *Advances in Climate Change Research* 7, p. 185 – 191.

De kosten voor de aanschaf van beide type analyzers zijn vergelijkbaar. De aanschafkosten voor de online gas analyzer met alleen een lachgasmeting bedragen circa 20.000 euro (excl. BTW). Voor de sensor die de lachgasconcentratie in de vloeistof meet geldt een vergelijkbare aanschafprijs van circa 17.000 euro (excl. BTW). Echter de sensor is een 'consumable' met een garantietermijn van vier maanden. De kosten van alleen de sensor bedragen circa 1.000 euro. De prijzen van de sensor in de vloeistoffase zijn gebaseerd op de offertes van Unisense die in het kader van dit project zijn opgevraagd. Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat door Unisense een commerciële keuze is gemaakt (in de vorm van een korting) in de afgegeven prijs. Voor beide analyzers geldt dat de genoemde kosten exclusief de kosten zijn van de aansluiting van de analyzer op de zuivering, en kosten voor de personele inzet voor de opzet, begeleiding en uitvoering van de metingen en voor de analyse van de data.

Nitrietmeting

De aanwezigheid van nitriet is een belangrijke risicofactor voor de vorming van lachgas. Een dergelijke meting kan daarom ook al inzicht opleveren in de mate van risico (aan de hand van de grenswaarden in Tabel 10). De concentratie van nitriet kan online worden gemeten, maar van de beschikbare probes is bekend dat deze onbetrouwbaar zijn bij de lage nitrietconcentraties die vaak in zuiveringen worden gemeten (< 0,5 – 1 mg/l). Vooralsnog blijven dan de offline metingen over om inzicht te krijgen in de nitrietconcentraties in de aeratietank.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

De hoofddoelstelling was om na te gaan of een risico-inschatting op basis van gemiddelde effluentwaardes voor ammonium én nitriet betrouwbaar is om inzicht te krijgen in de hoogte van het risico op de vorming en emissie van lachgas en of de nitrietconcentratie in het effluent hiervoor (alleen) een goede indicator is.

Het subdoel was om de betrouwbaarheid van de sensor die de lachgasconcentratie meet in de vloeistoffase te verifiëren.

5.1 VERIFICATIE EENVOUDIGE RISICO-INVENTARISATIE

De metingen in Soerendonk en Nieuwegein hebben aangetoond dat een risico-inschatting op basis van jaargemiddelde ammonium- en nitrietconcentraties in het effluent een goede inschatting kunnen geven van het risico op de vorming en emissie van lachgas. Dit wordt ondersteund door de data die in eerdere STOWA onderzoeken zijn verzameld in Papendrecht en Kralingseveer. Hiermee kan binnen een beheersgebied van een waterschap een selectie worden gemaakt tussen zuiveringen met een hoog, gemiddeld en een laag risico. Voor zuiveringen met een hoog risico kunnen vervolgens metingen worden uitgevoerd om de daadwerkelijke emissie vast te stellen.

Op basis van de risico-inschatting kan binnen een beheersgebied van een waterschap een selectie worden gemaakt tussen zuiveringen met een hoog, gemiddeld en een laag risico. Voor zuiveringen met een hoog risico kunnen vervolgens metingen worden uitgevoerd om de daadwerkelijke emissie vast te stellen. Bij deze risico-indeling kan de volgende **ruwe inschatting** (zie Tabel 10) gemaakt worden van de mogelijke mate van emissie van lachgas. Deze ruwe inschatting dient altijd in de praktijk geverifieerd te worden vóórdat enige besluitvorming plaats vindt over maatregelen óf de bijdrage aan de CO₂ voetafdruk kan worden vastgesteld.

TABEL 10 INDICATIE VOOR HOOGTE EMISSIEFACTOR VAN LACHGAS BIJ LAAG, GEMIDDELD OF HOOG RISICO OP LACHGASVORMING. LET WEL DIT IS EEN **RUWE INDICATIE** EN DIENT **ALTIJD** IN DE PRAKTIJK GEVERIFIEERD TE WORDEN. VOOR TOELICHTING SCORES ZIE PARAGRAAF 2.1.1

Risico op lachgas	Indicatie emissiefactor (% van Nin)
Laag (score: < 4)	0,05 (0,01 – 0,1)
Gemiddeld (score: 5)	0,5 (0,1 – 1)
Hoog (score > 6)	3 (1 – 5)

Na de selectie van zuiveringen met een verhoogd risico op lachgasvorming kunnen metingen worden uitgevoerd om de werkelijke emissie van lachgas te bepalen. De voorwaarden voor een dergelijke meetcampagne zijn:

- een langere periode meten waarin in ieder geval metingen worden uitgevoerd over de gehele spreiding die in temperatuur kan worden verwacht; voor Nederland betekent dit een periode van een jaar;

- de uit te voeren metingen kunnen als steekmonster of als online meting worden uitgevoerd zolang deze dus maar zoveel mogelijk over het gehele jaar worden uitgespreid (dus beter data verzamelen in meerdere periodes dan dezelfde hoeveelheid data verzamelen in één periode). Het meenemen van de periode van de winter tot aan het begin van het voorjaar is in ieder geval van belang voor een goed inzicht in de emissie van lachgas.

Aan de hand van de aangeleverde gegevens van 142 zuiveringen is geconstateerd dat meer dan de helft van deze 142 zuiveringen een lage risicoschatting heeft voor de vorming van lachgas, circa 15% kent een hoge risicoschatting.

5.2 VERIFICATIE SENSOR

De metingen in Amsterdam hebben aangetoond dat metingen van lachgas in de vloeistoffase goed inzicht geven in de ordegrrootte van de lachgasemissies op een zuivering. Met metingen in de afgezogen lucht van een zuivering kan worden gekomen tot de beste inschatting van de lachgasemissie, maar aangezien het merendeel van de zuiveringen in Nederland niet is afgedekt zal de emissie gemeten dienen te worden aan de hand van een lachgasmeting in de vloeistoffase.

De sensoren hebben gedurende alle metingen goed gefunctioneerd, er dient wel aandacht te zijn voor de gevoeligheid van de sensor voor beschadiging en is een regelmatige kalibratie vereist (bij temperatuurverschillen van 3°C of om de 2 maanden). De hier gebruikte sensor is een 'consumable' die eens in de zoveel tijd vervangen dient te worden. De leverancier Unisense garandeert de werking van de sensor voor vier maanden.

Vooralsnog verdient het de aanbeveling om bij het toepassen van de meting in de vloeistoffase twee sensoren aan te schaffen. Met één sensor op het grensvlak van een anoxische zone en de start van het (belangrijkste) beluchtingsveld zal voor de meeste zuiveringen een goed inzicht kunnen worden verkregen in de ordegrrootte van de emissies. Met de tweede sensor kan enkele malen geverifieerd worden of er geen concentratieprofiel aanwezig is over de beluchte zone. In de tussenliggende periode kan deze in de anoxische zone worden geplaatst om waar te nemen of er verschillen in lachgasconcentraties zijn tussen de anoxische zone en de beluchte zones. Met de formules van Unisense uit bijlage 5 kan de emissie worden berekend op basis van de twee meetwaarden.

Voor een goede omrekening van de gemeten concentratie naar een geëmitteerde vracht is het noodzakelijk te beschikken over een betrouwbare meting van het ingevoerde luchtdebiet.

BIJLAGE 1

RESULTATEN RISICO-INVENTARISATIE

Waterschap	Zuivering	Jaar data	Ammonium effluent			Nitriet effluent			NH ₄ -N (risico)	NO ₂ -N (risico)	Score*	Risico
			Gemiddeld	min	max	Gemiddeld	min	max				
Wetterskip	Akkrum	2014	2			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Ameland	2014	0,7			0			1	1	3	laag
Wetterskip	St. Annaparochie	2014	2,7			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Birdaard	2014	2,7			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Bolsward	2014	2,5			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Burgum	2014	1,4			0			2	1	4	laag
Wetterskip	Damwoude	2014	0,9			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Dokkum	2014	1,7			0,1			2	1	4	laag
Wetterskip	Drachten	2014	0,8			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Franeker	2014	4,6	0,1	20	0,3	0,02	3,1	3	2	7	hoog
Wetterskip	Gorredijk	2014	1,3			0,2			2	1	4	laag
Wetterskip	Grou	2014	3,1			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Harlingen	2014	1			0			1	1	3	laag
Wetterskip	Heerenveen	2014	2,9	0,1	13	0,1	0,02	0,17	3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Joure	2014	0,7			0			1	1	3	laag
Wetterskip	Kootsterille	2014	1,5			0			2	1	4	laag
Wetterskip	Leeuwarden	2014	0,8			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Lemmer	2014	0,9			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Oosterwolde	2014	2,8	0,1	6,8	0,1	0,02	0,25	3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Schiermonnikoog	2014	1,4	0,2	8,2	0	0,02	0,1	2	1	4	laag
Wetterskip	Sloten	2014	1,5			0,1			2	1	4	laag
Wetterskip	Sneek	2014	0,6			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Terschelling	2014	0,4			0,1			1	1	3	laag
Wetterskip	Vlieland	2014	2			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Warns	2014	1,9			0,1			2	1	4	laag
Wetterskip	Wolvega	2014	2,7			0,1			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Workum	2014	2,1			0,2			3	1	5	gemiddeld
Wetterskip	Wijnjewoude	2014	4,6			0,1			3	1	5	gemiddeld
H&A	Bellingwolde	2014	2	0,9	5,9	0,1	0	0,2	3	1	5	gemiddeld
H&A	Scheve Klap	2014	1,6	0,6	3,1	0,1	0	0,4	2	1	4	laag
H&A	Hoogezand	2014	1,8	0,2	6,8	0,1	0	0,1	2	1	4	laag
H&A	Scheemda	2014	2	5,6	0,4	0,2	0,1	1,1	3	1	5	gemiddeld
H&A	Stadskanaal	2014	3,2	1,5	9,2	0,1	0	0,4	3	1	5	gemiddeld
H&A	Oude Pekela	2014	2,2	0,6	4,2	0,2	0	1,7	3	1	5	gemiddeld
H&A	Ter Apel	2014	2	1	7,8	0,1	0	0,1	3	1	5	gemiddeld
H&A	Veendam	2014	2,3	0,1	5,6	0	0	0,1	3	1	5	gemiddeld
H&A	Vriescheloo	2014	1,5	0,5	5,5	0,2	0	0,6	2	1	4	laag
H&A	Tweede Exploermond	2014	3,8	1,2	11,2	0,1	0	0,2	3	1	5	gemiddeld
H&A	Gieten	2014	2,1	0,3	5	0,1	0,1	0,4	3	1	5	gemiddeld
H&A	Assen	2014	2	0,5	4	0,1	0	0,2	3	1	5	gemiddeld

Waterschap	Zuivering	Jaar data	Ammonium effluent			Nitriet effluent			NH ₄ -N (risico)	NO ₂ -N (risico)	Score*	Risico
			Gemiddeld	min	max	Gemiddeld	min	max				
H&A	Foxhol	2014	2,5	0,2	9	0,1	0	0,6	3	1	5	gemiddeld
Waternet	Amstelveen	2012	2,7			0,5		2,9	3	3	9	hoog
Waternet	Amsterdam West	2012	1,7			0,2		0,99	2	1	4	laag
Waternet	Blaricum	2012	0,4			0,1		0,23	1	1	3	laag
Waternet	Horstermeer	2012	0,8			0,1		0,47	1	1	3	laag
Waternet	Huizen	2012	0,5			0,1			1	1	3	laag
Waternet	Loenen	2012	4,4			0,1			3	1	5	gemiddeld
Waternet	Maarsse	2012	1,6			0,1		0,47	2	1	4	laag
Waternet	Ronde Venen	2012	1,4			0,3		0,85	2	2	6	hoog
Waternet	Uithoorn	2012	0,8			0,3			1	2	5	gemiddeld
Waternet	Westpoort	2012	0,3			0,1			1	1	3	laag
De Dommel	Biest-Houtakker	2013	0,53	0,03	3,2	0,04	0	0,2	1	1	3	laag
De Dommel	Boxtel	2013	1,44	0,12	10	0,14	0,02	0,56	2	1	4	laag
De Dommel	Eindhoven	2013	1,15	0,31	4,9	0,12	0,04	0,5	2	1	4	laag
De Dommel	Haaren	2013	1,8	0,17	12	0,1	0,01	0,33	2	1	4	laag
De Dommel	Hapert	2013	0,46	0,06	2,5	0,07	0,01	0,3	1	1	3	laag
De Dommel	Sint-Oedenrode	2013	1,04	0,05	3	0,06	0,02	0,23	2	1	4	laag
De Dommel	Soerendonk	2013	0,92	0,11	2,7	0,04	0,01	0,12	1	1	3	laag
De Dommel	Tilburg	2013	0,67	0,08	3,6	0,11	0,04	0,23	1	1	3	laag
HHNK	Beemster	2014	3,96	0,4	17	0,18	0,06	0,36	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Katwoude	2014	7,21	4,6	9,1	0,14	0,06	0,41	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Oosthuizen	2014	6,15	0,9	3,96	0,33	0,05	0,73	3	2	7	hoog
HHNK	Zaandam Oost	2014	3,16	1	20	0,31	0,1	0,82	3	2	7	hoog
HHNK	Alkmaar	2014	1,27	0,06	5,3	0,2	0,02	0,72	2	1	4	laag
HHNK	Beverwijk	2014	3,82	1,9	13	0,14	0,06	0,33	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Beverwijk	2014	5,45	2,7	19	0,24	0,04	0,51	3	2	7	hoog
HHNK	Heiloo	2014	1,58	0,03	8,3	0,038	0,01	0,15	2	1	4	laag
HHNK	Den Helder	2014	5,11	0,92	13	0,3	0,11	0,57	3	2	7	hoog
HHNK	Eversteekoo	2014	1,57	0,06	7	0,12	0,01	0,3	2	1	4	laag
HHNK	Stolpen	2014	3,44	0,16	12	0,14	0,06	0,62	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Wieringen	2014	3,11	0,09	6,8	0,11	0,03	0,24	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Wieringermeer	2014	5,19	0,31	19	0,13	0,06	0,29	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Geestmerambacht	2014	5,95	2,5	12	0,11	0,02	0,24	3	1	5	gemiddeld
HHNK	Ursem	2014	3,82	1,2	11	0,26	0,06	0,74	3	2	7	hoog
HHNK	Wervershoof	2014	2,69	0,73	5,9	0,18	0,04	0,46	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Breskens	2014	0,5	0,1	3	0,14	0,024	0,26	1	1	3	laag
Scheldestromen	Mastgat	2014	3,2	0,21	12,0	0,1	0,03	0,76	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Westerschouwen	2014	1,3	0,10	18,0	0,2	0,01	1,20	2	2	6	hoog
Scheldestromen	Groede	2014	0,8	0,10	8,2	0,1	0,01	0,28	1	1	3	laag
Scheldestromen	Hulst	2014	0,7	0,10	1,8	0,1	0,02	0,16	1	1	3	laag
Scheldestromen	Camperlandpolder	2014	2,0	0,10	5,3	0,2	0,06	0,60	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Willem Annapolder	2014	3,1	0,10	15,0	0,2	0,01	0,65	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	De Verseput	2014	2,3	0,14	7,0	0,1	0,03	0,19	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Kloosterzande	2014	1,7	0,17	16,0	0,2	0,03	0,86	2	2	6	hoog
Scheldestromen	Oostburg	2014	4,6	0,39	17,0	0,2	0,07	0,42	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Retranchement	2014	0,8	0,10	5,0	0,1	0,01	0,17	1	1	3	laag
Scheldestromen	Walcheren	2014	3,6	0,27	11,0	0,26	0,04	1,20	3	2	7	hoog
Scheldestromen	Sint Maartensdijk	2014	1,3	0,10	16,0	0,2	0,02	0,60	2	1	4	laag

Waterschap	Zuivering	Jaar data	Ammonium effluent			Nitriet effluent			NH ₄ -N (risico)	NO ₂ -N (risico)	Score*	Risico
			Gemiddeld	min	max	Gemiddeld	min	max				
Scheldestromen	Terneuzen	2014	3,4	0,20	12,0	0,3	0,06	1,50	3	2	7	hoog
Scheldestromen	Tholen	2014	3,2	0,14	7,8	0,1	0,05	0,31	3	1	5	gemiddeld
Scheldestromen	Waarde	2014	1,4	0,12	6,7	0,1	0,02	0,42	2	1	4	laag
Vechtstromen	Almelo-Vissendijk	2013	0,7	0,1	6,1	0,0	0,0	0,2	1	1	3	laag
Vechtstromen	Almelo-Sumpel	2013	1,3	0,1	8,4	0,2	0,0	1,2	2	1	4	laag
Vechtstromen	Den Ham	2013	1,4	0,1	9,9	0,1	0,0	1,0	2	1	4	laag
Vechtstromen	Denekamp	2013	0,6	0,1	2,9	0,0	0,0	0,1	1	1	3	laag
Vechtstromen	Enschede-West	2013	0,8	0,1	6,8	0,1	0,0	0,4	1	1	3	laag
Vechtstromen	Glanerbrug	2013	0,6	0,1	4,1	0,1	0,0	0,4	1	1	3	laag
Vechtstromen	Goor	2013	0,7	0,1	3,7	0,1	0,0	0,3	1	1	3	laag
Vechtstromen	Haaksbergen	2013	0,6	0,1	1,2	0,1	0,0	0,2	1	1	3	laag
Vechtstromen	Hengelo	2013	0,8	0,1	4,7	0,1	0,0	0,7	1	1	3	laag
Vechtstromen	Losser	2013	1,9	0,1	7,6	0,1	0,0	0,3	2	1	4	laag
Vechtstromen	Nijverdal	2013	0,3	0,0	1,1	0,0	0,0	0,3	1	1	3	laag
Vechtstromen	Oldenzaal	2013	1,3	0,1	7,3	0,1	0,0	0,4	2	1	4	laag
Vechtstromen	Ootmarsum	2013	0,9	0,1	5,1	0,0	0,0	0,1	1	1	3	laag
Vechtstromen	Rijssen	2013	0,8	0,1	4,3	0,1	0,0	0,2	1	1	3	laag
Vechtstromen	Tubbergen	2013	1,4	0,1	11,0	0,1	0,0	0,4	2	1	4	laag
Vechtstromen	Vriezenveen	2013	3,7	0,4	12,0	0,4	0,1	1,4	3	2	7	hoog
Vechtstromen	Vroomshoop	2013	1,9	0,1	14,0	0,1	0,0	0,7	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Baarle-Nassau	2013-2014	1,6	0,4	3,3	0,2	0,033	0,48	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Bath	2013-2014	1	0,06	7,4	0,13	0,01	0,58	1	1	3	laag
Brabantse Delta	Chaaam	2013-2014	1,8	0,72	3,4	0,17	0,035	0,86	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Dinteloord	2013-2014	0,8	0,17	1,7	0,1	0,032	0,6	1	1	3	laag
Brabantse Delta	Dongermond	2013-2014	1,2	0,06	4,4	0,08	0,01	0,35	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Halsteren	2013-2014	3,5	0,83	16	0,16	0,07	1,26	3	1	5	gemiddeld
Brabantse Delta	Kaatsheuvel	2013-2014	0,4	0,06	1,7	0,04	0,01	0,22	1	1	3	laag
Brabantse Delta	Lage Zwaluwe	2013-2014	0,8	0,066	4,1	0,09	0,017	0,17	1	1	3	laag
Brabantse Delta	Nieuwveer	2013-2014	1,2	0,1	4,8	0,28	0,01	0,87	2	2	6	hoog
Brabantse Delta	Nieuw-Vossemeer	2013-2014	4	0,48	10	0,18	0,05	0,38	3	1	5	gemiddeld
Brabantse Delta	Ossendrecht	2013-2014	3	0,12	18	0,55	0,01	2,6	3	3	9	hoog
Brabantse Delta	Putte	2013-2014	2,4	0,06	8	0,28	0,01	1,5	3	2	7	hoog
Brabantse Delta	Riel	2013-2014	1,4	0,22	3,4	0,1	0,019	0,35	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Rijen	2013-2014	1,9	0,23	6,6	0,1	0,047	0,19	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Waalwijk	2013-2014	1,5	0,062	5	0,09	0,01	0,51	2	1	4	laag
Brabantse Delta	Waspik	2013-2014	0,5	0,06	4,7	0,08	0,01	0,61	1	1	3	laag
Brabantse Delta	Willemstad	2013-2014	0,9	0,073	2,9	0,09	0,01	0,19	1	1	3	laag
HDSR	Nieuwegein	2013-2014	4,3	0,6	11	0,28	0,01	3,6	3	2	7	hoog
HDSR	Lopik	2013-2014	1,8	0,2	11	0,05	0,02	0,3	2	1	4	laag
HDSR	Oudewater	2013-2014	1,8	0,2	4,3	0,1	0,01	0,34	2	1	4	laag
HDSR	Montfoort	2013-2014	2,1	1	4,4	0,2	0,02	1,3	3	1	5	gemiddeld
HDSR	De Meern	2013-2014	4,6	1,1	12	0,24	0,01	0,8	3	2	7	hoog
HDSR	Woerden	2013-2014	5,1	1,6	15	0,2	0,03	1,7	3	1	5	gemiddeld
HDSR	Breukelen	2013-2014	4,0	1,3	15	0,18	0,01	0,57	3	1	5	gemiddeld
HDSR	Maarssenbroek	2013-2014	2,6	0,7	7,5	0,03	0,01	0,12	3	1	5	gemiddeld
HDSR	Leidsche Rijn	2013-2014	5,2	1,4	17	0,2	0,02	0,53	3	1	5	gemiddeld
HDSR	De Bilt	2013-2014	1,7	0,4	4,1	0,05	0,01	0,19	2	1	4	laag
HDSR	Houten	2013-2014	1,6	0,7	5,3	0,06	0,01	0,58	2	1	4	laag
HDSR	Bunnik	2013-2014	2,5	1,1	4,6	0,18	0,01	0,7	3	1	5	gemiddeld

Waterschap	Zuivering	Jaar data	Ammonium effluent			Nitriet effluent			NH ₄ -N (risico)	NO ₂ -N (risico)	Score*	Risico
			Gemiddeld	min	max	Gemiddeld	min	max				
HDSR	Zeist	2013-2014	3,3	1,2	11	0,21	0,02	5,6	3	2	7	hoog
HDSR	Driebergen	2013-2014	1,6	0,8	3,7	0,05	0,01	0,2	2	1	4	laag
HDSR	Wijk bij Duurstede	2013-2014	4,6	1,3	19	0,26	0,03	1,6	3	2	7	hoog
HDSR	Rhenen	2013-2014	3,1	1,1	8,5	0,07	0,01	0,3	3	1	5	gemiddeld
HDSR	Utrecht	2013-2014	4,9	1,6	22	0,4	0,02	8	3	2	7	hoog

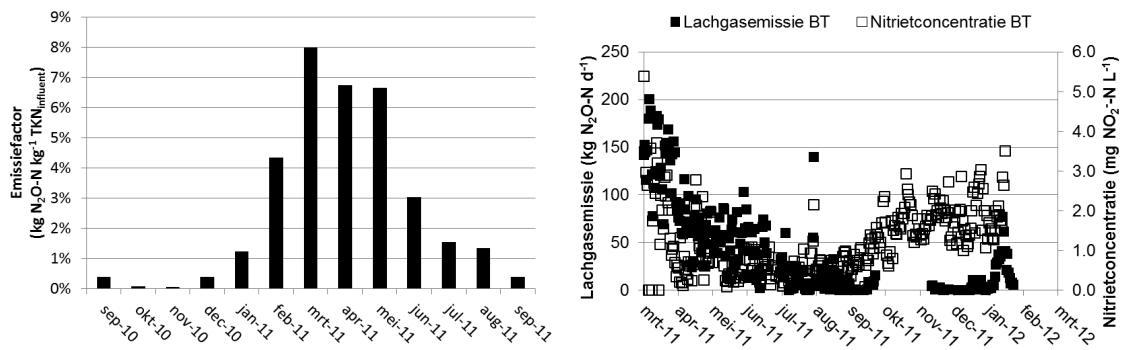
* Bij het vaststellen van de totaalscore is de score voor nitriet dubbel geteld.

BIJLAGE 2

LACHGAS EN NITRIETMETINGEN KRALINGSEVEER EN NIEUWEGEIN

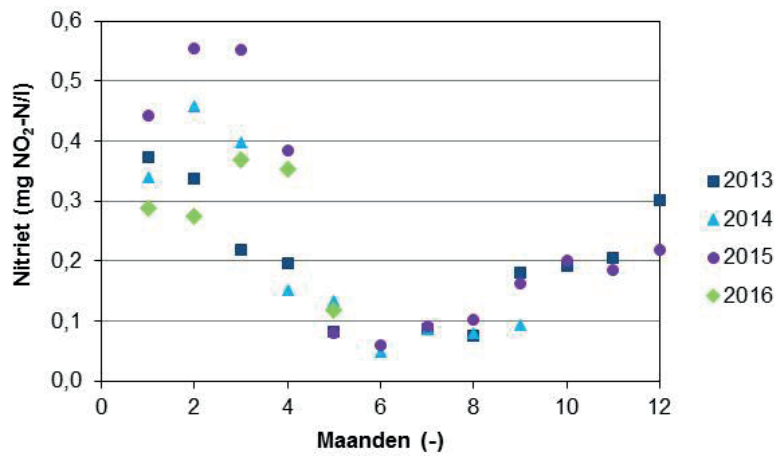
FIGUUR 14 LINKS: EMISSIEFACTOR LACHGAS ZUIVERING KRALINGSEVEER; RECHTS: NITRIETCONCENTRATIE IN EN LACHGASEMISSIE UIT ÉÉN VAN DE BELUCHTINGSTANKS VAN KRALINGSEVEER^{2,10}

LACHGAS- EN NITRIETDATA VAN KRALINGSEVEER:



FIGUUR 15 VERLOOP NITRIETCONCENTRATIE IN HET EFFLUENT VAN DE ZUIVERING NIEUWEGEIN. DE MAANDEN KOMEN OVEREEN MET ÉÉN JAAR

NITRIETDATA NIEUWEGEIN:



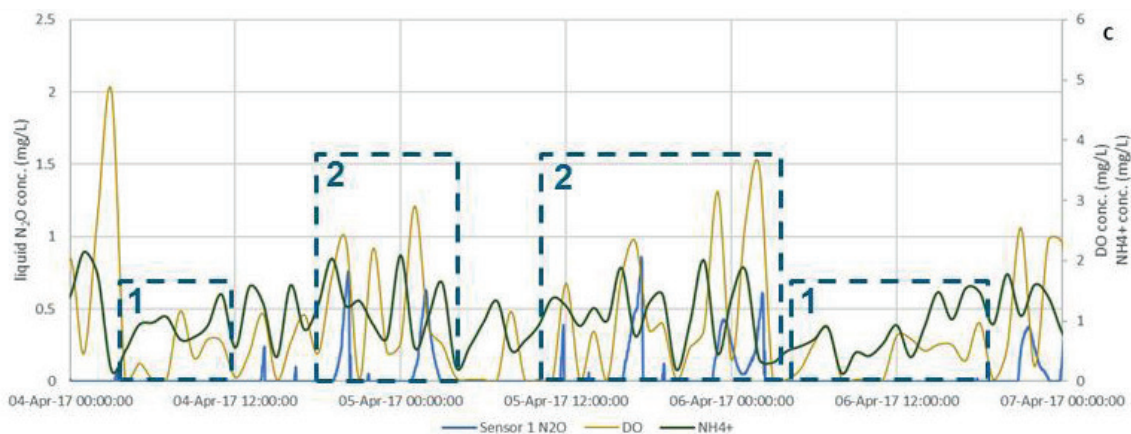
BIJLAGE 3

ANALYSE LACHGASMETINGEN

SOERENDONK SENSOR 1: AAN BEGIN VAN DE BELUCHTE ZONE

In Figuur 16 is een typisch gevonden patroon in de lachgasconcentratie aan het begin van de beluchte zone weergegeven samen met de concentraties ammonium en zuurstof.

FIGUUR 16 VERLOOP IN LACHGASCONCENTRATIE TUSSEN 4 APRIL EN 7 APRIL AAN HET BEGIN VAN DE BELUCHTE ZONE (SENSOR 1) OP SOERENDONK



Vanwege de hoge mate van menging die in een systeem als in Soerendonk wordt toegepast is het moeilijk om onderscheid te maken tussen de vorming en het strippen van lachgas. Om dit onderscheid te kunnen maken zou de omzetting van ammonium en/of de omzettingssnelheid in de tijd uitgezet dienen te worden naast de lachgasconcentratie. Aangezien het verkrijgen van inzicht in de vormingsmechanismes geen doel was in deze studie zijn dit type berekeningen niet uitgevoerd. De mogelijke verklaringen voor het verloop in lachgas zijn daardoor hypothetisch. Deze worden wel als voldoende beschouwd om te toetsen of het gevonden verloop een mogelijk logische verklaring kent en de meting dus als betrouwbaar kan worden beschouwd.

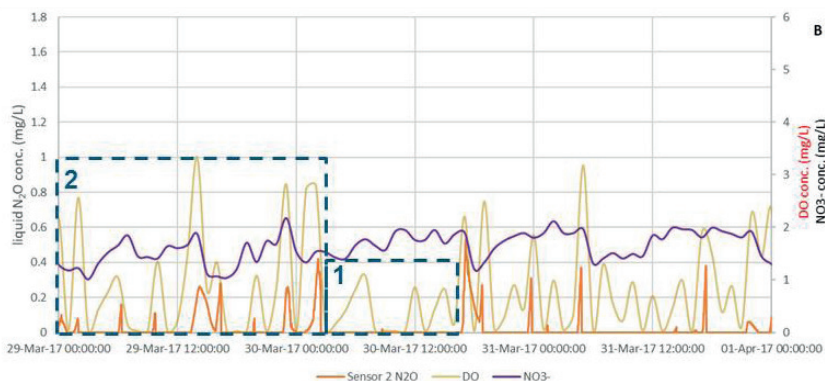
In het patroon in Figuur 16 zijn twee situaties te onderscheiden, periodes waarin de concentratie lachgas nul is (1) en periodes waarin pieken lachgas zijn waar te nemen (2). In de periodes dat de lachgasconcentratie nul is zijn de ammonium-en zuurstofconcentraties laag, waardoor de ammoniumoxidatiesnelheid mogelijk laag is geweest en geldt ditzelfde voor de lachgasproductie. Op het moment dat de ammoniumconcentraties boven een bepaalde concentratie komt is waar te nemen dat de zuurstofconcentraties toenemen en er pieken in lachgas zijn waar te nemen. Het valt op dat deze pieken in de meeste gevallen te zien zijn ná de piek in ammonium. Dit geldt ook voor de zuurstofconcentratie, deze piekt na de ammoniumpieken. Dit duidt erop dat er op dat moment langer wordt belucht dan nodig is, waardoor de zuurstofconcentratie toeneemt. Bij deze hoge concentraties kan het ammonium op een hogere snelheid omgezet zijn, waardoor mogelijk meer lachgas is gevormd. De relatie tussen de ammoniumoxidatiesnelheid en de mate van lachgasvorming is waargenomen in eerder STOWA onderzoek². Een andere verklaring kan zijn dat door het 'overbeluchten' het strippen van lachgas is bevorderd. Het gevonden patroon in lachgasconcentratie lijkt

dus verklaard te kunnen worden door bekende vormingsmechanismen van lachgas tijdens de nitrificatie.

In Figuur 17 is een typisch gevonden patroon in de lachgasconcentratie aan het eind van de anoxische zone weergegeven samen met de concentraties nitraat en zuurstof.

FIGUUR 17

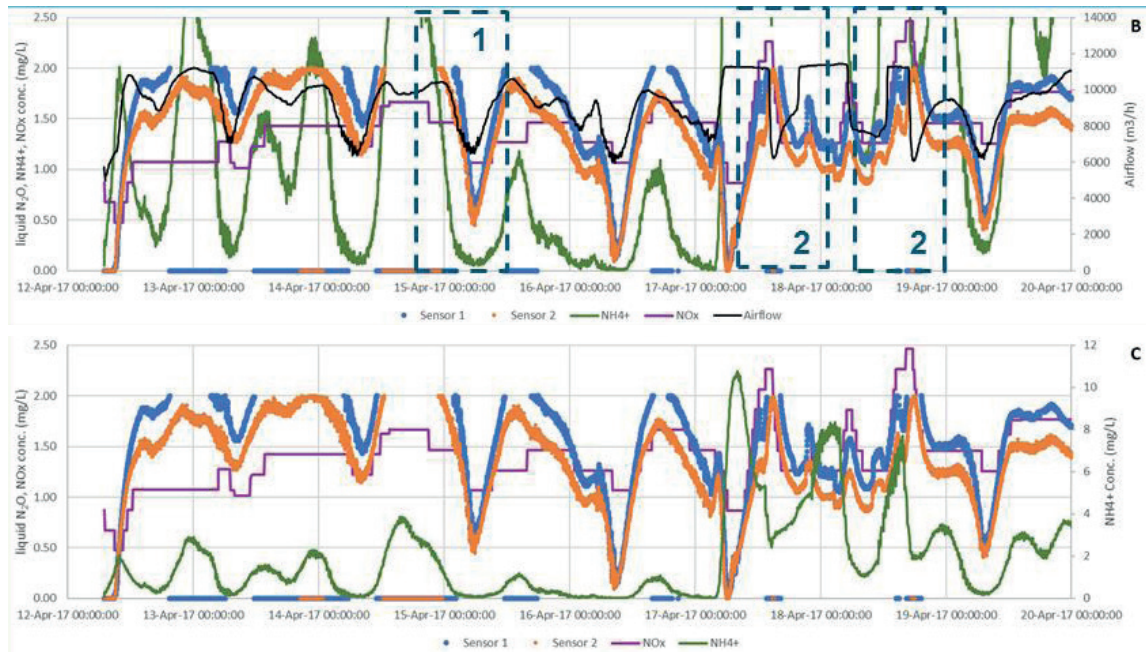
VERLOOP IN LACHGASCONCENTRATIE TUSSEN 4 APRIL EN 7 APRIL AAN HET EIND VAN DE ANOXISCHE ZONE (SENSOR 2) OP SOERENDONK



De weergegeven zuurstofconcentratie is de concentratie zoals gemeten in de beluchte zone. Bij pieken in de zuurstofconcentratie in de beluchte zone bestaat het risico dat deze via de recirculatie in de anoxische zone terecht komen. In de aanwezigheid van zuurstof vindt er echter nauwelijks tot geen denitrificatie plaats en wordt er ook geen lachgas gevormd. Dit is in vorig STOWA onderzoek op laboratoriumschaal aangetoond¹. Een mogelijke verklaring voor de vorming van lachgas tijdens de denitrificatie is de aanwezigheid van nitriet in de recirculatiestroom uit de aeratietank. Bij hogere ammonium- en zuurstofconcentraties is het mogelijk dat de AOB een licht voordeel hebben gehad ten opzichte van de NOB en nitriet zich kon ophopen. De enkele meetwaarden van nitriet op basis van steekmonsters bevestigen de aanwezigheid van nitriet in de beluchte zone (zie Figuur 8). Door de hogere zuurstofconcentraties vindt er in de ruimte na het beluchtingsveld tot aan het punt van recirculatie (zie Figuur 3) geen of beperkte denitrificatie plaats en komt het nitriet in de voordennitrificatietank terecht. Dit duidt er op dat lachgas is gevormd als gevolg van de aanwezigheid van nitriet uit de beluchte zone. Het verloop in de lachgasconcentratie kan dus verklaard worden uit een bekend vormingsmechanisme van lachgas tijdens de denitrificatie.

In Figuur 18 is een typisch gevonden patroon in de lachgasconcentratie voor beide sensoren in Nieuwegein weergegeven samen met de concentraties ammonium en NO_x (in aeratietank) en het luchtdebiet.

FIGUUR 18 VERLOOP IN LACHGASCONCENTRATIE TUSSEN 12 APRIL EN 20 APRIL VOOR SENSOR 1 EN 2 OP DE ZUIVERING NIEUWEGEIN



De verklaringen voor het verloop in de lachgasconcentratie zijn dezelfde als benoemd bij Soerendonk. Bij hogere ammoniumconcentraties (en waarschijnlijk ook hogere zuurstofconcentraties kijkend naar luchtdebiet) heeft de ammoniumoxidatiesnelheid mogelijk hoger gelegen en heeft dit mogelijk ook tot een hogere productie van lachgas geleid (zie patroon in box 1). Door de hogere ammoniumconcentraties in Nieuwegein is het de verwachting dat er ook meer ophoping van nitriet heeft plaats gevonden, waardoor deze zowel tijdens de nitrificatie als de denitrificatie heeft geleid tot de vorming van lachgas (zie NO_x waarden in box 2). Het waargenomen verloop in de lachgasconcentratie kan dus verklaard worden uit bekende vormingsmechanismen van lachgas tijdens de nitrificatie en denitrificatie.

BIJLAGE 4

RISICO-INSCHATTING LACHGAS

OPZET RISICO INSCHATTING EMISSIE LACHGAS

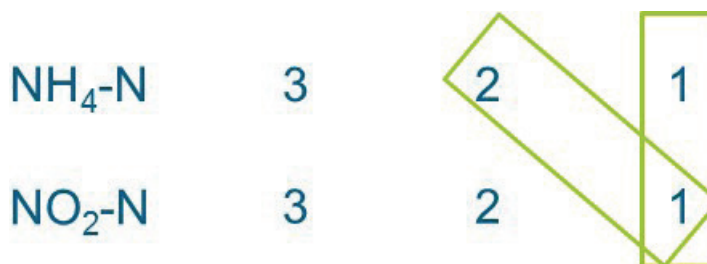
De ammonium- en nitrietconcentraties in het effluent zijn direct beschikbaar bij waterschappen om het risico op de vorming en emissie van lachgas in te schatten. Om het risico in te kunnen schatten is een score toegekend aan de concentratie van ammonium of nitriet. De opzet is geïllustreerd in Tabel 11.

TABEL 11 OPZET RISICO-INVENTARISATIE OP BASIS VAN EFFLUENT AMMONIUM EN NITRIET

Parameter	Eenheid	Risiko - hoog		Risiko - gemiddeld		Risiko - laag	
		Waarde	Score	Waarde	Score	Waarde	Score
Ammonium	mg N/l	> 2	3	> 1 – 2	2	< 1	1
Nitriet	mg N/l	> 0,5	3	0,2 – 0,5	2	< 0,2	1

Om het risico op de vorming van lachgas op basis van deze twee parameters in te schatten is het nog van belang rekening te houden met de impact van elk van deze twee parameters op de vorming van lachgas. Voor ammonium geldt dat een hoge ammoniumconcentratie het gevolg kan zijn van géén omzetting (door diverse oorzaken). Als er geen omzetting plaats vindt zal er ook geen lachgasvorming optreden tijdens de nitrificatie. Tegelijkertijd leidt nitriet bij lage concentraties al tot lachgasvorming. Hieruit volgt dat het risico op lachgasvorming alleen laag kan zijn als de nitrietconcentratie laag is. Dit betekent dat alleen een totaal score van 3 leidt tot een risico-inschatting laag. Echter een score van 3 is ook mogelijk als de nitrietconcentratie gemiddeld scoort en ammonium laag. Dit is geïllustreerd in Figuur 19.

FIGUUR 19 ILLUSTRATIE RISICO-INSCHATTING OP FORMING LACHGAS ZONDER EXTRA WEEGFACTOR VOOR NITRIET



Om te voorkomen dat een gemiddelde nitrietconcentratie leidt tot een risico-inschatting laag is het nodig om de score van nitriet zwaarder mee te laten tellen. Het effect hiervan is geïllustreerd in Figuur 20.

FIGUUR 20 ILLUSTRATIE RISICO-INSCHATTING OP FORMING LACHGAS MET EXTRA WEEGFACTOR VOOR NITRIET



Bij een score van 4 of kleiner wordt dan het risico op lachgasvorming laag ingeschat. Dit risico wordt op gemiddeld ingeschat als de score 5 is. Deze score kan alleen optreden als nitriet laag is in combinatie met een hoge score voor ammonium en als de nitrietconcentratie gemiddeld scoort in combinatie met een laag ammonium. Is totaalscore hoger dan 5 dan wordt het risico op lachgasvorming hoog ingeschat.

BIJLAGE 5

BEREKENING EMISSIE SENSOR

N₂O Mass Transfer Coefficient Calculation from Aeration Field Size and Air Flow

In the aerated reactor the size of the total aeration field (m²) and the total air flow Q_A (NOTE the unit! m³s⁻¹) for the aerated reactor is known. The superficial gas velocity of the aerated reactor is calculated by dividing the total air flow with the aeration field size:

$$v_g \cong \frac{Q_A}{\text{Aeration field size}} \quad (1.1)$$

From the superficial gas velocity of the aerated reactor the N₂O mass transfer coefficient k_La_{N₂O} can be calculated using the empirical formula 3.2 based on laboratory experiments at 20°C in mixed WWTP liquorⁱ:

$$k_L a_{N_2O \ 20^\circ C} = \left\{ \frac{D_R}{D_L} \right\}^{-0.49} \times 34500 \times (v_g)^{0.86} \quad (1.2)$$

$$k_L a_{N_2O \ 20^\circ C} = \left\{ \frac{D_R}{0.815 \text{ m}} \right\}^{-0.49} \times 34500 \times (v_g)^{0.86} \quad (1.3)$$

v_g: Superficial gas velocity of the reactor (m³m⁻²s⁻¹) **D_L**: Depth of the laboratory reactor (0.815 m)
D_R: Depth over the diffuser of the reactor (m) **k_La_{N₂O}**: N₂O mass transfer coefficient (d⁻¹)

Finally the k_La_{N₂O} calculated above is temperature corrected to the process temperature T_{Process}:

$$k_L a_{N_2O \ T_{Process}} = k_L a_{N_2O \ 20^\circ C} \times (1.024)^{(T_{Process} - 20^\circ C)} \quad (1.4)$$

N₂O Emission Formula

The dissolved N₂O concentration and mixed liquor temperature are measured with the N₂O Wastewater System and values used to calculate the temperature compensated N₂O concentration in the aerated reactor (g-N/m³). From the input of the air flow Q_A in the aerated reactor the temperature compensated N₂O mass transfer coefficient k_La_{N₂O} is calculated using equations 1.1- 1.4.

With the values k_La_{N₂O} and Q_A known the N₂O emission rate per reactor volume can be calculated using the formula belowⁱⁱ:

$$\text{Aerated zones:} \quad r_{N_2O, T_{Process}} = H_{N_2O, T_{Process}} \times S_{N_2O} \left[1 - e^{-\frac{k_L a_{N_2O} \cdot V_R}{H_{N_2O} \cdot Q_A}} \right] \times \frac{Q_A}{V_R} \quad (2)$$

$$\text{Non - aerated zones:} \quad r_{N_2O, T_{Process}} = k_L a_{N_2O, T_{Process}}^{Non-aerated} \times \left[S_{N_2O} - \frac{C_{N_2O, air}}{H_{N_2O, T_{Process}}} \right] \quad (3)$$

r_{N₂O, T_{Process}}: N₂O emission rate (g-N N₂O m⁻³ d⁻¹)

H_{N₂O, T_{Process}}: Henrys constant (dimensionless)

S_{N₂O}: N₂O concentration (g-N N₂O m⁻³)

Q_A: Total air flow through reactor per day (m³d⁻¹)

V_R: Volume of aerated part of reactor (m³)

k_La_{N₂O}: N₂O mass transfer coefficient (d⁻¹)

C_{N₂O, air}: N₂O concentration in air equilibrium (g-N/m³)

The dimensionless Henrys constant $H_{N_2O, T_{Process}}$ is like the N_2O Wastewater sensor signal dependent on the process temperature and the temperature correction is calculated using equations 4.1- 4.2.

$$H_{N_2O, T_{Process}} = \frac{1}{k_H \cdot R \cdot (T_{Process} + 273.15) \cdot 10^3 \frac{L}{m^3}} \quad (4.1)$$

$$k_H = k_H^\theta \times e^{\left(\frac{-\Delta solnH}{R} \left(\frac{1}{T_{Process} + 273.15} - \frac{1}{T^\theta + 273.15}\right)\right)} \quad (4.2)$$

k_H^θ : Henrys constant at the std. temp. ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$) $T_{Process}$: Mixed liquor temperature ($^\circ\text{C}$)

T^θ : Standard temperature = 25°C

$-\Delta solnH/R$: The enthalpy of the solution (K)

From literature the N_2O mean values for k_H^θ , $-\Delta solnH/R$ and supporting constant numbers are given in the below table:

k_H^θ ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{bar}^{-1}$)	$\frac{-\Delta solnH}{R}$ (K)	$C_{N_2O, air}$ ($\text{g} \cdot \text{N} / \text{m}^3$)	R ($\text{m}^3 \cdot \text{bar} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	$k_L a_{N_2O, T_{Process}}^{Non-aerated}$ (d^{-1})
0.0247	2675	0.0003	8.314×10^{-5}	2 – 4

ⁱ Foley, J., de Haas, D., Yuan, Z.; Lant, P. (2010) Nitrous oxide generation in full-scale biological nutrient removal wastewater treatment, plants. Water Res. 44, 831-844.

ⁱⁱ Schulthess, R. & Gujer W. (1996) Release of nitrous oxide (N_2O) from denitrifying activated sludge: Verification and application of a mathematical model, Water Res. 30, 521-530.