

HANDBOEK MONITORING LACHGAS COMMUNALE AFVALWATERZUIVERINGS- INSTALLATIES



RAPPORT

2025
22

HANDBOEK MONITORING LACHGAS COMMUNALE
AFVALWATERZUIVERINGSINSTALLATIES

RAPPORT

2025

22

ISBN 978.94.6479.108.2



COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

AUTEURS Ellen van Voorthuizen (Haskoning)

VORMGEVING Buro Vormvast

STOWA STOWA 2025-22

ISBN 978.94.6479.108.2

De inhoud van deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden in de publicatie, of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud ervan.

STOWA spant zich in de rechthebbenden van in de uitgave gebruikte afbeeldingen te respecteren conform het auteursrecht. Indien u desondanks van mening bent dat uw rechten in het geding zijn, dan verzoeken wij u contact met ons op te nemen.

TEN GELEIDE

Tien jaar na de eerste studie over lachgasemissies van Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) werd in 2019 een Community of Practise (CoP) Lachgas opgericht. De CoP heeft aanzienlijk bijgedragen aan het versnellen van lachgasonderzoek in Nederland. Met de start van het Lachgas Versnellingsprogramma in 2024 heeft het onderzoek naar lachgasemissies nog meer momentum gekregen. De Nederlandse waterschappen hebben de ambitie om in 2030 klimaatneutraal te zijn

Tegen het einde van 2025 wordt verwacht dat er continue lachgasmetingen zullen worden uitgevoerd bij ongeveer 60 zuiveringsinstallaties in Nederland, en dit zal doorgaan tot het einde van 2027! Dit levert nu en in de toekomst een schat aan informatie op. De lessen over het opzetten van een goede monitoringcampagne voor het meten van lachgasemissies om een betrouwbare en uniforme emissiefactor te bereiken, worden in dit rapport gedeeld. We doen dit vanuit een Nederlands perspectief, maar de geleerde lessen zijn waardevol voor iedereen. Met de ervaring uit Nederland kunnen de geleerde lessen direct worden toegepast en bijdragen aan het versnellen van lachgasonderzoek dat nu wereldwijd wordt opgezet en gestart.

De doelen van het versnellingsprogramma in Nederland zijn:

- Het zo nauwkeurig mogelijk bepalen van de werkelijke lachgasemissies per afvalwaterzuiveringsinstallatie, om uiteindelijk emissiefactoren voor Nederland vast te stellen die internationaal erkend zijn.
- Het bepalen van een gevalideerde set van mitigatiemaatregelen, die inzicht geven in het effect van mitigatiemaatregelen op de lachgasemissies.

Om deze doelen te bereiken, is er in Nederland de afgelopen twee jaar veel werk verzet om een monitoringsprotocol op te stellen dat zorgt voor een uniforme methode voor het meten en berekenen van emissiefactoren. De ervaringen en kennis die in dit handboek worden beschreven, komen van alle 21 waterschappen die deelnemen aan het versnellingsprogramma in Nederland. In dit handboek komt het volgende aan de orde:

- Het bepalen van de juiste stikstofbelasting die in de zuiveringsinstallatie wordt behandeld. Dit is essentieel voor het berekenen van een emissiefactor.
- Het bepalen van het aantal sensoren dat moet worden geplaatst en waar ze moeten worden geplaatst, en hoe een locatiebepaling dient te worden uitgevoerd. De volgende stap is de aanschaf en installatie van de sensoren.
- Het kalibreren en vervangen van de sensorkoppen op het juiste moment is essentieel om een betrouwbaar en zo compleet mogelijk dataset te verkrijgen! Om dit te bereiken, is het ook cruciaal om afwijkingen op tijd te detecteren en onmiddellijk de juiste acties te ondernemen.
- Het berekenen van lachgasemissies en het presenteren van de gegevens die hiervoor beschikbaar moeten zijn.
- Presentatie van welke procesparameters waardevol zijn om te meten en te verzamelen om maximale kennis te verkrijgen over het niveau van emissies en hoe deze te verminderen!

Mark van der Werf
Directeur STOWA

STOWA IN HET KORT

HOE WE WERKEN

STOWA is het kennis- en innovatiecentrum voor regionale waterbeheerders in Nederland; de waterschappen en provincies. We helpen ze met het verkrijgen van nieuwe kennis en inzichten die nodig zijn om de opgaven van de regionale waterbeheerders beter te kunnen uitvoeren. Dat doen we door kennisvragen te formuleren en te selecteren in programmacommissies. We zetten ons onderzoek uit bij een keur aan experts, adviesbureaus, instituten en universiteiten, die we begeleiden tijdens hun werk. We zorgen voor de beschikbaarstelling en verspreiding van de kennis, inzichten en antwoorden aan de gezamenlijke waterbeheerders. We stimuleren de uitwisseling van kennis en ervaringen, via bijeenkomsten, werkgroepen, excursies, conferenties en communities of practice. We werken samen met onder andere ministeries, Rijkswaterstaat, gemeenten, drinkwaterbedrijven.

WAT WE ONDERZOEKEN

Inhoudelijk richt STOWA zich op alle onderdelen van waterbeheer, van waterkering en stedelijk waterbeheer tot waterzuivering en watersystemen. Belangrijke thema's daarbij zijn klimaatadaptatie, waterveiligheid, waterkwaliteit en ecologie, energietransitie en circulaire economie.

De kennisvragen die STOWA beantwoordt liggen meestal op technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied. Onze kennis is altijd gericht op de praktijk van regionale waterbeheerders. Dat is waar we voor staan, als Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer.

WIE WE ZIJN

STOWA is als kennisorganisatie onafhankelijk, onpartijdig en transparant. De afnemers van onze kennis moeten erop kunnen vertrouwen dat de inhoud van onze rapporten objectief en representatief is. Alleen zo kan onze kennis worden ingezet voor beter waterbeheer en innovaties die antwoord geven op de uitdagingen van vandaag en morgen. Het is aan regionale waterbeheerders zelf te bepalen hoe ze de kennis van STOWA in de praktijk gebruiken. STOWA kan daarbij een rol spelen als adviseur, maar is geen uitvoerder of regisseur.

STOWA is een stichting die de richtlijnen volgt voor organisaties zonder winstoogmerk (RJ-640). In ons jaarverslag is daarom naast de cijfermatige jaarrekening onder meer ook een directieverslag over de stichting, haar activiteiten en kentallen opgenomen.

HANDBOEK MONITORING LACHGAS COMMUNALE AFVALWATERZUIVERINGSINSTALLATIES

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
1.1	Aanleiding	1
1.1.1	Achtergrond Versnellingsprogramma Nederland	1
1.1.2	Opzet Nationaal Onderzoeksprogramma Nederland	2
1.2	Doelstelling en afbakening	3
2	EMISSIEFACTOREN EN EISEN AAN MEETCAMPAGNE	4
2.1	Verleden, heden en toekomst van emissiefactoren	4
2.2	Doel van meetcampagne	5
2.3	Leeswijzer	6
3	BEPALING STIKSTOFVRACHT	7
3.1	Focus op alleen emissiefactor	7
3.2	Focus op emissiefactor én reductie	7
3.2.1	Ammonium analyzer	8
3.2.2	UV/Vis meting N-tot	8

4	BEPALING LACHGASEMISSIE	9
4.1	Ontwerp meetcampagne	9
4.1.1	Aantal en locatie van sensoren	9
4.1.2	Locatie bij puntbeluchting	10
4.1.3	Locatiebepaling bij bellenbeluchting	12
4.2	Aanschaf en installatie	13
4.2.1	Aanschaf	13
4.2.2	Installatie	15
4.3	Beheer en onderhoud	16
4.3.1	Werkingsprincipe sensor	16
4.3.2	Kalibratie en vervangen van de sensorkop	16
4.3.3	Signaleer op tijd afwijkingen	18
4.4	Dataverwerking en validatie	22
4.5	Berekening lachgasemissie	22
4.5.1	Bij beschikbaarheid luchtdebietmetingen - bellenbeluchting	22
4.5.2	Bij afwezigheid van luchtdebietmetingen	23
4.5.3	Bij puntbeluchting	23
4.5.4	Bij intermitterende beluchting	24
4.6	Berekening emissiefactor	24
5	AANVULLENDE METINGEN	25
5.1	Focus op alleen emissiefactor	25
5.2	Focus op emissiefactor én reductie	26
BIJLAGE 1	ZUIVERINGSCONFIGURATIES	27
BIJLAGE 2	BEREKENINGEN LACHGASEMISSIE MET BELLEN- EN PUNTBELUCHTING	30

1

INLEIDING

1.1 AANLEIDING

1.1.1 ACHTERGROND VERSNELLINGSPROGRAMMA NEDERLAND

De Nederlandse waterschappen hebben de ambitie om in 2035 klimaatneutraal te zijn. Inzicht krijgen in de omvang van de emissie van lachgas en de reductie van die emissie vormt bij het behalen van die ambitie een belangrijk onderdeel. In de afgelopen 15 jaar is al veel inzicht gekregen in de mogelijke omvang van die emissie, waar deze door wordt beïnvloed en hoe deze mogelijk kan worden gereduceerd. De belangrijkste waarnemingen uit 15 jaar lachgasonderzoek in Nederland en daarbuiten zijn:

- de internationaal vastgestelde IPCC emissiefactor (EF) voor lachgas ($1,6 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N-tot}_{\text{influent}}$) is onvoldoende representatief voor de Nederlandse situatie.
- de procesparameters die de emissie van lachgas veroorzaken voldoende bekend zijn, maar dat nog onduidelijk is hoe deze te controleren zijn, ofwel wat zijn concrete maatregelen, wat is de effectiviteit van maatregelen en hoe beïnvloeden maatregelen de effluentkwaliteit en bijvoorbeeld het elektriciteits- en chemicaliënverbruik?

Om de ambitie van klimaatneutraal in 2035 te halen is er vanuit de waterschappen de behoefte om de kennis rondom het inschatten en reduceren van de emissie van lachgas te versnellen. Een versnellingsprogramma dat in 2023 is opgesteld en bestuurlijk is vastgesteld geeft invulling aan de gewenste versnelling. De belangrijkste twee doelen van het programma zijn:

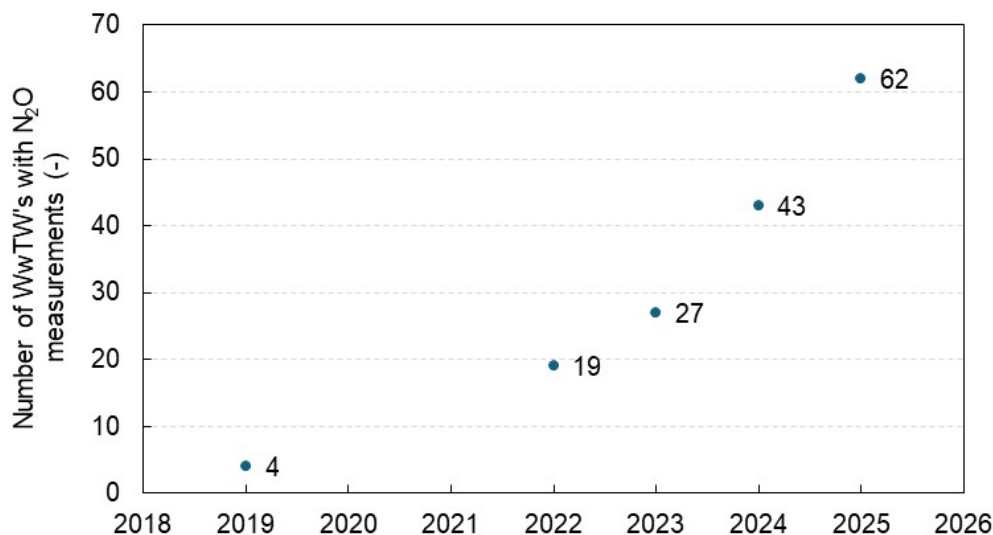
1. Het zo goed mogelijk bepalen van de omvang van de werkelijke lachgasuitstoot per rwzi, om daarmee uiteindelijk emissiefactoren voor Nederland vast te kunnen stellen die internationaal erkend worden.
2. Te komen tot een gevalideerde set van reductiemaatregelen, die inzicht geven in de mogelijkheden voor reductie van lachgas.

Voor het behalen van de doelen van het versnellingsprogramma is de belangrijkste output het bepalen van één of meerdere emissiefactoren voor lachgas uitgedrukt in $\text{kg N}_2\text{O-N}$ per kg stikstof in het influent. Gezien het belang van het versnellingsprogramma en de tijd, energie en kosten die erin gestopt gaan worden is het belangrijk dat de uitgevoerde metingen en bijbehorende resultaten betrouwbaar en onderling vergelijkbaar zijn. Het is daarom noodzakelijk dat de metingen en berekeningen binnen het versnellingsprogramma op consistente en betrouwbare wijze worden uitgevoerd. Om dit te bereiken is een monitoringsprotocol opgesteld waarin voorgeschreven staat hoe een goede meetcampagne op te zetten om de vastgestelde doelen te behalen. Dit monitoringsprotocol is tot stand gekomen op basis van de kennis en ervaringen opgedaan door alle deelnemende waterschappen en de leveranciers van de lachgassensoren.

1.1.2 OPZET NATIONAAL ONDERZOEKSPROGRAMMA NEDERLAND

Het versnellingsprogramma bouwt voort op het lachgasonderzoek dat in 2019 of eerder al is gestart bij enkele waterschappen. Vanaf dit moment is ook de Community of Practice (CoP) lachgas opgericht. Dit heeft tot de start van het versnellingsprogramma al geleid tot een versnelling in het aantal zuiveringen waar gemeten wordt. Dit is inzichtelijk gemaakt in Figuur 1.

FIGUUR 1 AANTAL ZUIVERINGEN IN NEDERLAND WAAR LACHGAS WORDT GEMETEN VANAF 2019 (START COP)



Op het moment dat het programma werd opgesteld en vastgesteld (2023) werd al op 27 zuiveringen gemeten, waar dat er in 2019 nog maar vier waren. In 2024 is het programma officieel van start gegaan en aan het eind van dat jaar betrof het aantal zuiveringen met lachgasmetingen 43. Aan het eind van 2025 zal dit aantal zijn uitgebreid naar 62. Dit is het aantal zuiveringen dat voor de rest van de duur van het programma tot en met eind 2027 gemonitord zal worden.

De procesdata (zowel online-, als laboratoriumdata) worden voor bijna alle zuiveringen centraal verzameld in een nationale database waaraan het programma “Z-info” is gekoppeld. In de database worden de procesdata van de zuiveringen en gemalen van 19 waterschappen opgeslagen. Deze database wordt ingezet om alle ruwe data die nodig zijn voor het berekenen van de lachgasemissie en emissiefactor te verzamelen. Voor het versnellingsprogramma is er een speciale rekenmodule gebouwd waarmee de lachgasemissies berekend kunnen worden met de data uit de database, en vanuit daar gerapporteerd naar bijvoorbeeld een trend. Dit werk wordt in 2025 uitgevoerd en leidt ertoe dat voor alle deelnemende zuiveringen de emissiefactor op een uniforme wijze berekend wordt en daarmee ook onderling vergelijkbaar zijn. De wijze waarop de validatie van de data (dus voor de berekeningen) wordt opgezet en uitgevoerd wordt nog nader bepaald.

Het vier jaar durende onderzoek wordt gefinancierd vanuit de 21 waterschappen met een bijdrage vanuit het ministerie van Klimaat en Groene Groei.

1.2 DOELSTELLING EN AFBAKENING

Het doel van dit handboek is om met de in Nederland opgedane kennis en ervaring, een handleiding te bieden om vanuit Nederlands perspectief een goede monitoringscampagne voor de emissie van lachgas op te zetten en uit te voeren. Hiermee heeft het handboek ook tot doel deze kennis buiten Nederland te delen en te verspreiden, en praktische handvatten te geven aan diegenen die willen starten met het bepalen en/of reduceren van lachgasemissie uit een rwzi.

Het is daarbij goed om op te merken dat per locatie rekening wordt gehouden met de praktische/technische haalbaarheid van het voorgeschreven protocol, en daar in de praktijk pragmatisch mee om te gaan. Het hier gepresenteerde handboek is een groeidocument dat gedurende de looptijd van het versnellingsprogramma wordt aangepast en aangevuld.

Tot slot dit handboek is geschreven vanuit Nederlands perspectief. Een perspectief waarin voor de meeste van de ruim 300 zuiveringen in Nederland geldt dat zij moeten voldoen aan een stikstofeis van 10 mg/l (of lager in geval van eisen vanuit de KRW) en totaal fosfor-eisen tussen de 1 en 2 mg/l. Met de nieuwe richtlijn stedelijke afvalwater zoals deze vanaf 2024 voor Europa geldt, zullen deze eisen strenger worden. De strenge lozingseisen betekenen dat de Nederlandse installaties altijd bestaan uit een volledige nitrificatie en denitrificatie. Dit geldt zeker niet altijd voor zuiveringen buiten Nederland, waar minder strenge eisen gelden en bijvoorbeeld alleen CZV of ammonium dient te worden verwijderd. De aanwezigheid van vooral een denitrificatietank kan invloed hebben op de gemeten lachgasemissie, omdat de denitrificatie naast een bron ook een “sink” (consumptie) is van lachgas. Voor het behalen van de strenge lozingseisen zijn de meeste Nederlandse zuiveringen ook uitgevoerd als ideaal gemengde tanks. Buiten Nederland waar soms minder strenge eisen worden gesteld aan de effluentkwaliteit wordt de zuivering vaak ook uitgevoerd in propstroomreactoren. In dergelijke reactoren liggen de concentratie van componenten zoals ammonium hoger dan in ideaal gemengde tanks. Dit verschil tussen propstroom en ideaal gemengde tanks is mogelijk ook van invloed door de verschillen in ammoniumconcentraties. Enkele zuiveringen in Nederland hebben een propstroomreactor vaak voor de nitrificatie. De ervaringen van deze reactoren zijn ook in dit handboek opgenomen.

2

EMISSIEFACTOREN EN EISEN AAN MEETCAMPAGNE

2.1 VERLEDEN, HEDEN EN TOEKOMST VAN EMISSIEFACTOREN

Sinds het eerste STOWA onderzoek dat in 2008 startte is de emissiefactor voor lachgas regelmatig aangepast. In Nederland werd rond 2008 nog een emissiefactor toegepast van 1% gebaseerd op alleen onderzoek naar stikstofomzetting in de bodem. Later werd de IPCC factor van 0,035% uit 2006 toegepast, gebaseerd op slechts één onderzoek op een zuivering die niet was ontworpen voor de verwijdering van stikstof (Daelman, M.R.J., 2014)¹. Daarna is de IPCC emissiefactor in 2019 aangepast naar 1,6%, gebaseerd op 30 onderzoeken waarin de emissie is gemeten op afvalwaterzuiveringen. Wel kent deze dataset nog een grote spreiding waarin de laagste en hoogste emissiefactor een factor drie bedraagt (Song et al., 2024)². In 2022 zijn door de Haas & Andrews de resultaten van een nieuwe analyse op de dataset van 30 onderzoeken gepubliceerd³. Op basis van deze her-analyse is de emissiefactor van de IPCC2019 bijgesteld naar 1,1%, die door de IPCC erkend is als te gebruiken emissiefactor voor Nieuw-Zeeland. Sinds 2024 wordt deze ook door de “Nationale Inventory Entity” van Nederland gebruikt voor de jaarlijkse rapportage aan de UN, het NIR, en wordt hier dus gerekend met een emissiefactor van 1,1%.

Sinds de eerste onderzoeken die in Nederland, en in vele andere landen zijn uitgevoerd is duidelijk dat één emissiefactor voor alle afvalwaterzuiveringen niet representatief is. De waargenomen variatie tussen zuiveringen, en op de zuiveringen zelf is daarvoor veel te groot. Een ander belangrijk nadeel is dat de huidige emissiefactor uitgaat van de ingaande stikstofvracht in het influent op basis waarvan de hoeveelheid lachgas wordt berekend ($\text{kg N}_2\text{O-N/kg N}_{\text{influent}}$). Dit betekent dat reductie in lachgasemissie op de zuivering nooit zichtbaar zal worden in de emissiefactor. Inzicht in welke mate de lachgasemissie wordt gereduceerd is zeer belangrijk, naast dat het van belang is om een goed inzicht te krijgen in de omvang van de emissie in relatie tot het type zuiveringsproces, de ontwerpcapaciteit en de zuiveringstechnologie.

Tegen deze achtergrond wil het versnellingsprogramma komen tot een set van emissiefactoren die representatief is voor de Nederlandse situatie, en die tegelijkertijd ook recht doet aan de verschillende zuiveringsconfiguraties- en procesparameters. In het onderzoek wordt daarom gewerkt aan het zoeken naar zuiveringsparameters (configuratie, wel of geen gisting, slibbelasting etc.) die onderscheidend zijn voor de lachgasemissie die wordt gemeten. Dit moet leiden tot een beslisboom aan de hand waarvan een emissiefactor kan worden afgeleid voor een zuivering. Hiermee wordt recht gedaan aan het feit dat er variaties bestaan tussen

- 1 Daelman, M.R.J., 2014, Emissions of methane and nitrous oxide from full-scale municipal wastewater treatment plants, PhD Thesis, TU Delft.
- 2 Song, C. et al., 2024, Oversimplification and misestimation of nitrous oxide emissions from wastewater treatment plants, *Nature Sustainability*, volume 7, October 2024, p. 1348 – 1358.
- 3 De Haas, David, and John Andrews, 2022, Nitrous oxide emissions from wastewater treatment – Revisiting the IPCC2019 refinement guidelines, *Environmental Challenges* 8, 100557.

zuiveringen, maar wordt hierbij de emissiefactor nog wel uitgedrukt als % van de influent stikstofvracht. Dit om ook aan te sluiten bij de huidige IPCC systematiek die nodig is om de gevonden emissiefactoren te kunnen laten erkennen door de IPCC.

2.2 DOEL VAN MEETCAMPAGNE

De wijze waarop een meetcampagne voor de lachgasemissie wordt opgezet en uitgevoerd is afhankelijk van het doel dat je er mee wil bereiken. Het doel kan zijn om alléén inzicht te krijgen in de omvang van de emissie (emissiefactor), of het doel kan zijn om naast de emissiefactor ook inzicht te willen krijgen in de omstandigheden waarin lachgas ontstaat (vormingsprocessen) en hoe deze omstandigheden niet te laten ontstaan en daarmee de emissie van lachgas te kunnen reduceren.

De dataset uit het tweede STOWA onderzoek naar de emissie van lachgas op de zuivering Kralingseveer is door Daelman et al., 2013 en Vasilaki et al., 2020 gebruikt om af te leiden hoelang een meetcampagne dient te duren en wat de meetfrequentie moet zijn om tot een betrouwbare emissiefactor voor lachgas te komen. Beide komen tot dezelfde conclusies:

- Als het doel is het krijgen van inzicht in de emissiefactor voor lachgas van de zuivering is geen continue meting nodig die de lachgasemissie gedurende een jaar lang meet. Er kan worden volstaan met ‘grab samples’ die wel over het gehele jaar, op doordeweekse werkdagen (op random tijden) worden verzameld.
- Als het doel is om ook inzicht te krijgen in vormingsprocessen dan is een online meting met een hoge meetfrequentie een must!

In aansluiting op deze conclusies is ook het Nederlandse versnellingsprogramma opgezet. Omdat het doel van het versnellingsprogramma is om zowel inzicht te krijgen in de emissie als in de reductie van de emissie is uitgegaan van een continu monitoring van de lachgasemissie. Met een continu meting over een geheel jaar wordt inzicht verkregen in de “nul situatie” van de zuivering, waarna gestart wordt met het onderzoeken van reductie maatregelen. Hierbij wordt nog wel rekening gehouden met dat de emissie op zuiveringen tussen jaren kan verschillen, bijvoorbeeld door een verschil in een ‘droog’ en ‘nat’ jaar. Om inzicht te krijgen in de omvang van de emissies wordt voor de binnenkomende stikstofvracht uitgegaan van het reguliere bemonsteringsprogramma waarin meerdere keren per week of per maand (afhankelijk van de omvang van de zuivering) de binnenkomende stikstofvracht wordt bepaald. Voor het inzicht in de reductiemogelijkheden volstaat een dergelijke aanpak niet omdat het jarenlange onderzoek in Nederland en daarbuiten heeft laten zien dat de lachgasemissie sterk variabel is. Niet alleen tussen zuiveringen, maar ook op de zuivering varieert de emissie sterk gedurende de dag en varieert deze ten minste per uur. Dit maakt duidelijk dat om goed inzicht te krijgen in de mogelijkheden om de emissie van lachgas te reduceren het verloop van de emissiefactor ($\text{kg N}_2\text{O-N}$ per $\text{kg N}_{\text{ingaand}}$) per kwartier inzichtelijk dient te worden gemaakt⁴. Dit vraagt om een (semi) continu meting van de binnenkomende stikstofvracht.

4 Zonder deze gegevens wordt niet inzichtelijk wat de daadwerkelijke oorzaken zijn van de vorming van lachgas en hoe deze kunnen worden weggenomen door aanpassingen in de bedrijfsvoering en/of het ontwerp van een zuivering. Het volgen van alleen de lachgasconcentratie is niet voldoende om inzicht te krijgen in de oorzaken en reductiemogelijkheden van de lachgasemissie. Er bestaat namelijk geen lineaire relatie tussen ammoniumvracht en de gemeten lachgasconcentratie.

2.3 LEESWIJZER

Voor het bepalen van de emissiefactor zijn kort samengevat de volgende parameters nodig:

- Binnenkomende stikstofvracht op basis van een 24 uren samengesteld monster;
- Binnenkomende stikstofvracht op basis van een meting op minimaal kwartierbasis;
- Lachgasconcentratie en luchtdebiet op minimaal kwartierbasis om lachgasemissie te kunnen berekenen op kwartierbasis.

Na dit hoofdstuk wordt in **hoofdstuk drie** ingegaan hoe tot de gevraagde stikstofvrachten te komen, aan de hand waarvan een betrouwbare emissiefactor kan worden berekend. In het **vierde hoofdstuk** staat de bepaling van de lachgasemissie centraal, waar wordt ingegaan op: het ontwerp van de meetcampagne, de aanschaf en installatie van de sensoren, het beheer en onderhoud van de sensoren, hoe de data dient te worden verwerkt en hoe uiteindelijk de lachgasemissie dient te worden berekend. Aan het eind van hoofdstuk vier komen de elementen uit hoofdstuk drie en vier bij elkaar en wordt weergegeven hoe de berekening van de emissiefactor dient te worden uitgevoerd. In het **laatste en vijfde hoofdstuk** is kort ingegaan welke aanvullende metingen noodzakelijk/zeer waardevol zijn om zoveel mogelijk uit een lachgasonderzoek te kunnen halen.

3

BEPALING STIKSTOFVRACHT

3.1 FOCUS OP ALLEEN EMISSIEFACTOR

De stikstofvracht in het ruwe influent wordt bepaald via het reguliere bemonsteringsprogramma. De daarvoor benodigde data is de concentratie NKj in het influent, en het debiet bij monstername. De concentratie NKj en het debiet bij monstername bepalen de inkomende stikstofvracht die voor de berekening van de emissiefactor nodig is. De concentratie NKj geeft inzicht in welk deel van N-tot zich als ammonium en organisch gebonden stikstof in het influent bevindt. De stikstofvracht (kg N/d) in het ruwe influent wordt dan als volgt berekend:

$$(N_{Kj, \text{ ruw influent}} \text{ (mg/l)} \times Q_{\text{bij monstername}} \text{ (m}^3\text{/d)})/1000$$

Voor de meeste zuiveringen in Nederland geldt dat de inkomende stikstofvracht alleen wordt bepaald op basis van een NKj meting, omdat nitraat- en nitrietconcentraties vaak verwaarloosbaar klein zijn. Op sommige zuiveringen kunnen deze concentraties wel hoger liggen, en is ook een N-tot van het influent beschikbaar. Voor deze zuiveringen dient dan de N-tot vracht ingevuld te worden in de formule.

Uitgangspunt is een bepaling van minimaal eens in de twee weken. Zuiveringen met een hogere meetfrequentie kunnen vaker een emissiefactor berekenen.

3.2 FOCUS OP EMISSIEFACTOR ÉN REDUCTIE

Voor een stikstofvracht op kwartierbasis is een continue (of in ieder geval met een frequentie van 3-4 keer per uur) meting nodig van het ruwe influent, in combinatie met een continue debietmeting kan hier op kwartierbasis een inkomende ammonium vracht worden bepaald. In Nederland is hierbij nog wel onderscheid gemaakt tussen zuiveringen zonder en met voorbezinktanks. Voor zuiveringen zonder voorbezinktank wordt de ammoniummeting in het ruwe influent geplaatst. Voor de zuiveringen met voorbezinktank wordt de ammoniummeting geplaatst in de afloop van de voorbezinktank. Eventuele rejectiewaterstromen van de ontwatering worden hierdoor meegenomen in de stikstofvracht die naar de biologische tanks gaat. Voor het versnellingsprogramma heeft het gebruik van een ammonium – analyzer de sterke voorkeur, maar kan ook een UV/Vis meter als alternatief worden gebruikt.

Met alleen een meting van de ammoniumconcentratie is nog een omrekening nodig van ammonium naar NKj of N-tot. Hiervoor dient een ratio tussen NKj en $\text{NH}_4\text{-N}$ of tussen N-tot en $\text{NH}_4\text{-N}$ te worden bepaald. Dit kan worden gedaan door daar eerst historische laboratorium data van het ruwe influent voor te gebruiken. Data voor zowel $\text{NH}_4\text{-N}$ als NKj of N-tot dienen daarvoor natuurlijk wel beschikbaar te zijn. Op basis van historische data kan een eerste NKj/ $\text{NH}_4\text{-N}$ of N-tot/ $\text{NH}_4\text{-N}$ ratio worden gemeten. Vanaf de start van de meetcampagne kunnen deze ratio's op basis van nieuwe data als een voortschrijdend gemiddelde worden berekend. Met dit voortschrijdend gemiddelde kan vanuit de ammonium kwartier vracht de NKj of N-tot kwartiervracht worden berekend.

3.2.1 AMMONIUM ANALYZER

Nadeel van een ammonium analyzer in het ruwe influent is de gevoeligheid voor vervuiling en een hogere mate van onderhoud. Het is daarom noodzakelijk om voor de analyzer een filtratie (filtrax platen)/bezinkstelsel te plaatsen. Voor de aanschaf van een ammonium analyzer is door één van de deelnemende waterschappen een aanbesteding uitgevoerd. Hier werd de eis gesteld dat er een “Aantoonbare positieve ervaring voor meting in ruw influent voor minimaal een jaar” diende te worden overlegd. Alleen Hach Lange kon aan deze eis voldoen.

De meting van ammonium in het ruwe afvalwater vraagt om extra aandacht in het beheer en onderhoud van de analyzer. Met het schoon maken van één, maar bij voorkeur twee keer per week van de analyzer en filtraxplaten worden goede meetresultaten bereikt. Het onderhoud en beheer van het filtrax-analyzer systeem wordt op weekbasis door de waterschappen zelf uitgevoerd. Groot onderhoud door de leverancier (Hach Lange) wordt op afroep gedaan. Het is de verwachting dat ook kalibratie van de analyzer meer frequent nodig is wanneer deze in het influent meet, ten opzichte van een meting in het actiefslibstelsel. Het gebruik van een ammoniumanalyzer levert doorgaans maximaal vier meetpunten per uur op. De stikstofvracht per kwartier (kg N-tot) in **het influent** dient dan als volgt te worden berekend:

$$C_{\text{NH}_4\text{-N}} \text{ (mg/l)} \times \text{factor NKj (of N-tot)/NH}_4\text{-N (-)} \times \Sigma Q \text{ (m}^3\text{/kwartier)}$$

3.2.2 UV/VIS METING N-TOT

Een alternatief voor een ammonium analyzer is het gebruik van een UV-VIS sensor. Een dergelijke sensor wordt in Nederland door IMD geleverd. Met deze sensor kan N-totaal wel direct worden gemeten, naast andere componenten zoals TOC, met een interval van 1 tot 2 minuten⁵. Nadeel van deze sensor is dat per locatie een kalibratie nodig is. Een dergelijke kalibratie (pilot) is per locatie nodig om vast te stellen of de sensor toepasbaar is op de desbetreffende zuivering.

Met een UV/Vis meting kan de N-tot concentratie nagenoeg continu worden gemeten. In dit geval kunnen deze metingen direct worden gecombineerd met de debietdata van dat moment. Door deze resultaten vervolgens te middelen wordt één stikstofvracht (kg) van dat kwartier berekend:

$$\Sigma (N_{\text{tot}} \text{ (mg/l)} \times Q \text{ (m}^3\text{/minuut)}) / n_{\text{meetpunten}}$$

5 Informatie IMD (Presentatie gebruikersdag Unisense 15 oktober 2024).

4

BEPALING LACHGASEMISSIE

In het versnellingsprogramma lachgas in Nederland is de keuze gemaakt om de lachgasconcentratie in de vloeistoffase te meten met de sensoren van Unisense. De overwegingen hierbij zijn:

- De metingen in de vloeistoffase zijn makkelijker te implementeren en zijn beter toegankelijk.
- De beschikbaarheid van data wordt groter geacht dan met gasmeting, in overweging nemend dat op 50 tot 60 zuiveringen gemeten dient te worden.
- Een meting in de vloeistoffase is in de toekomst mogelijk beter te implementeren in een procesregeling.

Voor een verificatie van deze sensoren wordt in het programma op drie volledig afgedekte zuiveringen de lachgasconcentratie in zowel de water- als gasfase gemeten. Een meting in de gasfase is mogelijk met een drijvende box die op het oppervlak van een deel van het actief-slibstelsysteem kan worden geplaatst. Voor deze wijze van meten zijn inmiddels verschillende leveranciers beschikbaar, maar in het versnellingsprogramma wordt dus alleen de Unisense sensor toegepast. Dit betekent dat in het vervolg van dit hoofdstuk dit het uitgangspunt is voor de opzet en uitvoering van een meetcampagne.

4.1 ONTWERP MEETCAMPAGNE

Voor het verkrijgen van een betrouwbare dataset is het van belang het juiste aantal sensoren te installeren op een zuivering, maar deze ook op de juiste locatie te plaatsen. Voor de meest voorkomende configuraties in Nederland zijn inmiddels meerdere onderzoeken uitgevoerd naar het juiste aantal sensoren en de juiste locatie van de sensoren. In deze paragraaf wordt een samenvatting hiervan gegeven. In bijlage 1 zijn de details per configuratie beschreven.

4.1.1 AANTAL EN LOCATIE VAN SENSOREN

Lachgas wordt gevormd tijdens zowel de nitrificatie als de denitrificatie. Doorgaans vinden deze omzettingen in de rwzi plaats in verschillende zones in de tank en momenten in de tijd. In Nederland worden diverse zuiveringsconfiguraties toegepast voor de behandeling van communale afvalwater. Dit maakt dat per zuiveringsconfiguratie de plaatsing van sensoren kan verschillen. Er dient daarbij rekening te worden gehouden met het mengpatroon van de zuivering, is er sprake van propstroom of volledige menging. In Tabel 1 is een overzicht opgenomen van het aantal te plaatsen sensoren en de locatie(s) waar deze geplaatst dienen te worden. Per configuratie is aangegeven in welke tank(s) minimaal een sensor aanwezig dient te zijn om te voldoen aan de doelen van het versnellingsprogramma (zie paragraaf 1.1.1).

TABEL 1

AANTAL TE PLAATSEN SENSOREN EN DE LOCATIE(S) WAAR DEZE GEPLAATST DIENEN TE WORDEN PER ZUIVERINGSCONFIGURATIE

Configuratie	Aantal sensoren	Locatie(s)
A/B systeem	2	A-trap: aan het eind hiervan B-trap: representatieve locatie
PhoSim	1	Simultane nitrificatie-denitrificatietank
PhoRedox	2	Afloop voor denitrificatie (VDN) Simultane nitrificatie-denitrificatietank
(m)UCT	2	Facultatief Nitrificatietank
Hoogvliet	2	Nitrificatietank Simultane nitrificatie-denitrificatietank

Voor (m)UCT en Hoogvliet systemen worden idealiter drie sensoren geplaatst, in elke tank één. Echter voor een derde sensor is altijd een nieuwe controller nodig, waardoor de kosten voor installatie stijgen. In het versnellingsprogramma is er daarom voor gekozen om bij een (m)UCT en Hoogvliet systeem uit te gaan van twee sensoren. Bij een (m)UCT wordt één sensor geplaatst aan het begin van de facultatieve zone (eventueel aanwezig lachgas uit de VDN wordt hier gestript of wordt meegenomen als emissie uit anoxische zone), de tweede sensor wordt geplaatst in de nitrificatietank. De lachgasemissie uit de facultatieve zone kan berekend worden op basis van de methodiek voor beluchte tanks (zie meer details in paragraaf 4.5.4). Bij een Hoogvliet systeem is de nitrificatietank vaak een propstroomreactor. In dit geval dient aan de hand van een locatiebepaling de meest representatieve locatie bepaald te worden voor de eerste sensor. De tweede sensor kan in de simultane nitrificatie-denitrificatietank geplaatst worden. Door twee waterschappen met een Hoogvliet systeem zijn wel drie of meer sensoren geplaatst, waarvan één in de afloop van de voordennitrificatie. Met de resultaten van deze meetdata zal in de nabije toekomst geverifieerd worden of met twee sensoren in een Hoogvliet, of (m)UCT-systeem tot een betrouwbare emissiefactor kan worden gekomen.

In het versnellingsprogramma zijn of worden op 24 zuiveringen locatiebepalingen uitgevoerd voor het op de juiste locatie plaatsen van een sensor in een beluchtingstank die ideaal gemengd zijn (zie bijlage 1). Uit de al uitgevoerde locatiebepalingen op de diverse zuiveringen (zie bijlage 1) blijkt dat de concentratie lachgas in ideaal gemengde tanks nagenoeg homogeen is⁶. Voor deze type tanks is geen locatiebepaling vereist. Wel is het van belang de sensor niet in een binnenbocht van een ring in de beluchtingstank te plaatsen. Voor tanks met een **propstroomkarakter** geldt dat hier **altijd** een locatiebepaling nodig is. Aan de hand van deze bepaling kan de meest representatieve locatie in de tank vastgesteld worden.

4.1.2 LOCATIE BIJ PUNTBELUCHTING

Het meten van de lachgasconcentratie en het berekenen van de lachgasemissie in een zuivering met puntbeluchters is uitdagender dan in een zuivering met bellenbeluchting. Met het plaatsen van de sensoren in de beluchte zone dient er rekening mee worden gehouden dat de door de aanwezigheid van de puntbeluchter de lachgasmeting niet beschadigd raakt. Tegelijkertijd maakt dat het anders inbrengen van de lucht ook de afleiding van stofoverdracht ($k_L A_{N_2O}$) lastiger is dan met bellenbeluchting. Er zijn twee wetenschappelijke artikelen⁷

⁶ Door een hoge recirculatiefactor (ten opzichte van influent) van 100 of hoger zijn de meeste tanks in Nederland ideaal gemengd.

⁷ Ye, L., Ni, B.-J., Law, Y., Byers, C., Yuan, Z., 2014, A novel methodology to quantify nitrous oxide emissions from full-scale wastewater treatment systems with surface aerators, *Water Research*, 48, p. 257 – 268 en, Domingo-Félez, C., Jensen, M.M., Bang, A., Smets, B.F., 2024, Variability and uncertainty analysis of N₂O emissions from WWTP to improve the accuracy of emission factors and the design of monitoring strategies, *ACS EST Water*, 4, p. 2542 – 2552.

beschikbaar die enerzijds gekeken hebben naar de beste locatie voor de metingen en de wijze waarop de $k_L A_{N_2O}$ kan worden bepaald. De belangrijkste bevindingen zijn:

- De stofoverdrachtscoëfficiënt $k_L A_{N_2O}$ is bepaald op basis van de $k_L A_{O_2}$ over de gehele tank (Ye, et al., 2014) en per zone (vlak voor puntbeluchter, één meter na puntbeluchter en 10 meter na puntbeluchter) door Domingo-Félez et al., 2024).
- Het artikel van Ye, et al., 2014 laat op basis van alleen model berekeningen zien dat 90% van de lachgas emissie plaats vindt binnen de beluchte zone dicht bij de puntbeluchter (Za), 8% van de emissie vindt plaats halverwege het been waar de puntbeluchter hangt (Zb), de overige 2% halverwege het been (Zc) richting de puntbeluchter (zie voor locaties Figuur 2)
- Het artikel van Domingo-Félez et al., 2024 laat op basis van metingen zien dat vlak na de puntbeluchter (Sensor 1m) 94% van de lachgasemissie plaats vindt. Vlak voor de puntbeluchter (Sensor 0m) is de bijdrage aan de totale emissie 4% en 2% 10 meter na de puntbeluchter (Sensor 10m). Deze bevindingen op basis van metingen sluiten dus goed aan bij de gemodelleerde data van Ye, et al., 2014)

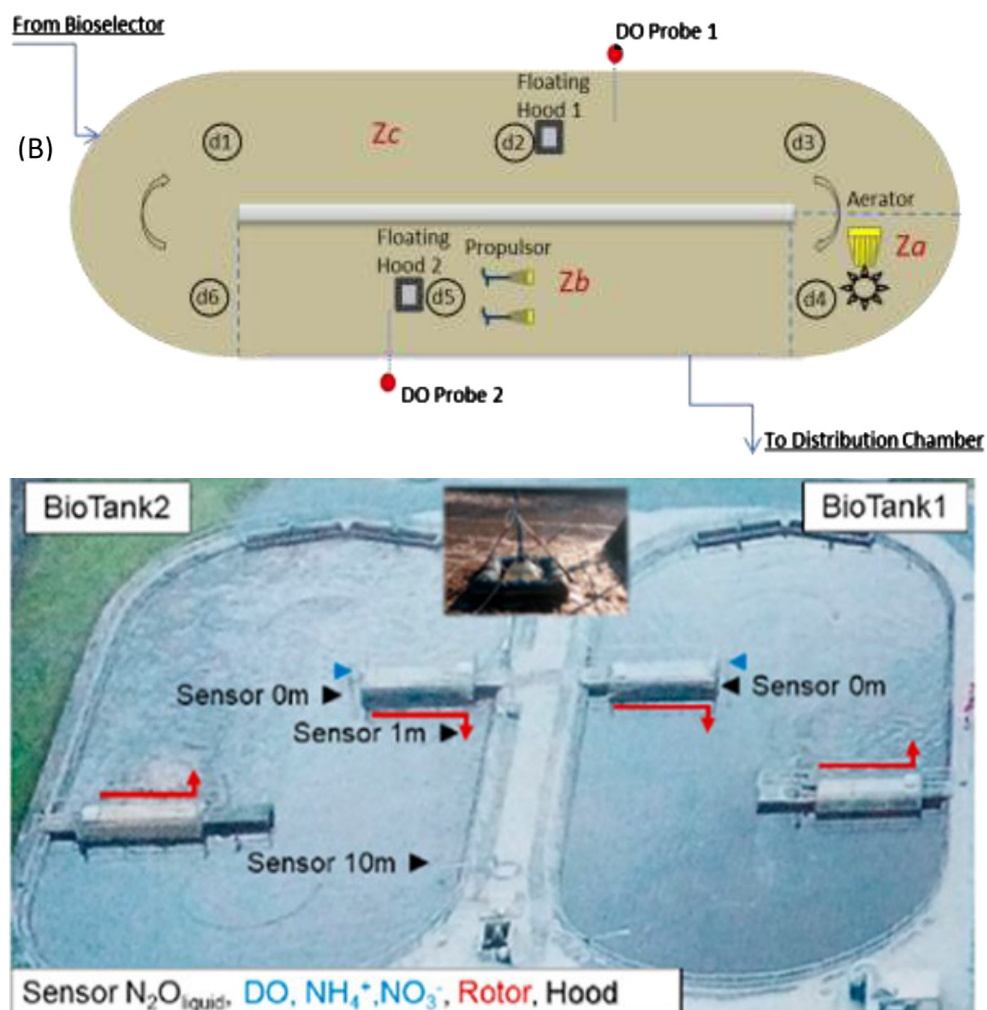
De laatste twee bevindingen laten duidelijk zien dat het overgrote deel van de emissie plaats vindt in de nabijheid van de puntbeluchter. Om in zuiveringen met één of meer puntbeluchters de emissie te bepalen dient op de volgende locatie één of meerdere sensoren te worden geplaatst:

- De eerste sensor zo vlak mogelijk vóór de puntbeluchter die nagenoeg altijd aan is (goed en veilig bereikbaar voor kalibratie en voldoende afstand dat geen beschadiging kan optreden) In de situatie dat er geen ruimte is vlak voor de puntbeluchter, omdat de aanvoer van een selector direct bij de puntbeluchter binnenkomt dan dient de eerste sensor vlak na de puntbeluchter geplaatst te worden.
- Voor zuiveringen met één puntbeluchter in tank:
 - Een tweede sensor op ten minste 10 meter afstand van de puntbeluchter om het aandeel vanuit de anoxische zone te bepalen.
- Voor zuiveringen met twee puntbeluchters in tank:
 - Plaats de tweede sensor vlak voor de tweede puntbeluchter, zodat deze de bijdrage vanuit de anoxische zone meet als deze puntbeluchter uit is, of de emissie meet als deze beluchter aan is.

In systeem met twee of meer puntbeluchters, wordt idealiter een sensor geplaatst vlak voor de eerstvolgende puntbeluchter (derde, vierde). Mogelijk kan met een locatiebepaling eerst bepaald worden of de plaatsing van een derde en/of vierde sensor gewenst is. Met een dergelijke bepaling kan inzichtelijk worden gemaakt of de emissie rondom een derde en/of vierde puntbeluchter significant bijdraagt.

FIGUUR 2

ONDERZOCHE LOCATIES VOOR DE EMISSIE VAN LACHGAS IN EEN OMLOOPSYSTEEM MET PUNTBELUCHTING. BOVEN UIT ARTIKEL YE, ET AL. 2014 EN ONDER UIT ARTIKEL DOMINGO-FÉLEZ ET AL., 2024



4.1.3 LOCATIEBEPALING BIJ BELLENBELUCHTING

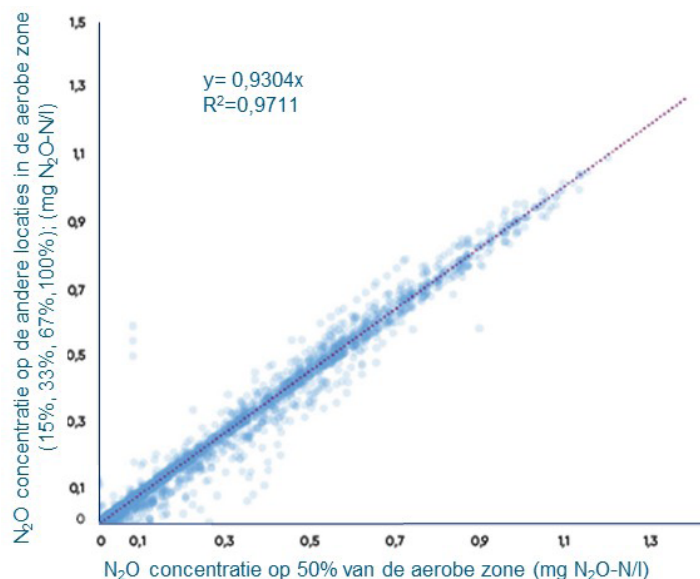
Voor het uitvoeren van een locatiebepaling zijn twee methodes mogelijk (voor zowel gemengde tanks als voor propstroom reactoren):

1. Plaatsen van meerdere sensoren in één tank, en laat deze minimaal zo lang hangen dat zowel DWA als RWA dagen voldoende worden meegenomen. Dit om inzichtelijk te maken of bij verschillende procesomstandigheden de concentratieverdeling over de tank gelijk blijft.
2. Het plaatsen van één sensor bij het begin van het belangrijkste beluchtingsveld, en het vervolgens verplaatsen van een tweede sensor over de lengte van het beluchtingsveld.

Meerdere sensoren in één tank (methode 1)

Bij het plaatsen van meerdere sensoren tegelijkertijd kan gebruik gemaakt worden van een mobiele opstelling die tijdelijk voor het doel van locatiebepaling ingezet kan worden. Een andere optie is dat bij aankoop van sensoren voor meerdere zuiveringen, de totaal aangekochte sensoren op één rwzi worden ingezet voor de duur van de locatiebepaling, waarna ze vervolgens verspreid kunnen worden over de verschillende rwzi's. Met deze methode kan voor elk van de locaties in een tank een grafiek worden opgesteld waarbij de gemeten concentratie op locatie X wordt uitgezet tegen de concentraties op de andere locaties. Een voorbeeld hiervan is opgenomen in Figuur 3.

FIGUUR 3

RESULTAAT LOCATIEBEPALING IN AEROBE (VOLLEDIG GEMENGDE) RING VAN DE ZUIVERING APELDOORN⁸

De locatiebepaling in Apeldoorn heeft plaats gevonden in een gemengde tank voor een periode van 111 dagen. De concentratie op één locatie versus de concentratie op de andere locaties laat voor Apeldoorn een goede relatie zien met een hoge R^2 (zie Figuur 3).

Verplaatsen van één sensor in combinatie met één vaste referentiesensor (methode 2)

Met het bepalen van de meest representatieve locatie is het belangrijk om onder zoveel mogelijk verschillende procesomstandigheden de concentratieverdeling inzichtelijk maken. De minimale meetperiode bevat daarom zowel DWA als RWA dagen, dit geldt ook voor methode één. Om inzicht te krijgen in het effect van veranderende procesomstandigheden plaats je één sensor op een vaste locatie (referentie) aan het begin van het belangrijkste beluchtingsveld (veld dat altijd aan is) en verplaats je de tweede sensor. Het aantal verplaatsingen is afhankelijk van de lengte van het beluchtingsveld. De tweede sensor dient minimaal ook in het midden en het einde van het beluchtingsveld geplaatst te worden.

Op de volgende wijze wordt dan de meest representatieve locatie bepaald:

1. Bereken de gemiddelde concentratie binnen de periode waarin de eerste locatie (bijvoorbeeld midden van de tank) is gemonitord en bereken voor diezelfde periode ook het gemiddelde van de referentiesensor.
2. Herhaal stap twee voor de tweede geteste locatie (bijvoorbeeld einde van beluchtingsveld) en doe hetzelfde voor mogelijk nog meer locaties.
3. Pas vervolgens dezelfde methodiek toe als voor methode één (zie Figuur 3).

4.2 AANSCHAF EN INSTALLATIE

4.2.1 AANSCHAF

Bij de aanschaf van de lachgassensoren dient rekening te worden gehouden met:

- Het totaal aantal benodigde sensoren is afhankelijk van de configuratie van de rwzi (zie paragraaf 4.1.1).
- Unisense levert een meetcontroller waarop twee sensoren kunnen worden aangesloten. De maximale geadviseerde lengte van de sensorkabel tussen een sensor en een controller is 100 meter. Houdt hiermee rekening bij het selecteren van locaties van de sensoren op de zuivering.

⁸ Unisense Tech Note, 2024, Positioning of N_2O sensors in typical biological wastewater treatment processes

- Let bij het aanschaffen van de materialen zoals de kabellengte ook rekening met:

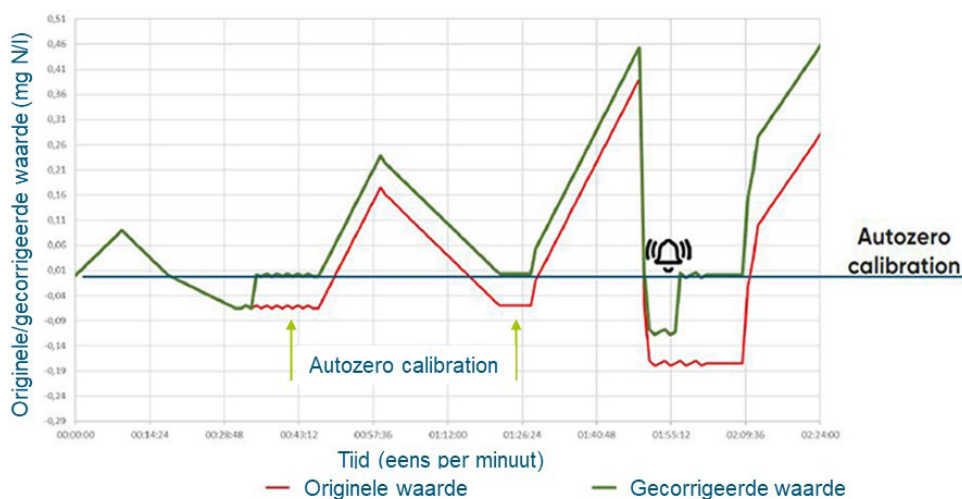
De sensor makkelijk toegankelijk blijft voor kalibratie en onderhoud, en veiligheid daarbij altijd geborgd is.

- De sensorkop heeft een beperkte levensduur van ongeveer zes maanden. Om deze reden geeft Unisense de mogelijkheid om de eerste sensorkop te leveren na de volledige installatie van de controller en sensor body.
- Houdt bij de start van de metingen en de vervanging van de sensorkop rekening met de levertijd van de sensor(koppen).
- Vanaf oktober 2023 zijn alle controllers voorzien van een Auto-Zero correctie. Als de controller voor die tijd is aangeschaft **dan dient de Auto-Zero correctie toegevoegd** te worden aan de controller en de daarin aanwezige software. Deze nieuwe controllers geven ook een **alarm** wanneer de **temperatuurverandering $\pm 3^{\circ}\text{C}$** is en een nieuwe tweepuntskalibratie vereist is.

WERKING – AUTO-ZERO CORRECTIE

Op het moment dat de sensor gedurende 15 minuten waarden laat zien tussen de 0,00 en -0,05 mg $\text{N}_2\text{O-N/l}$ vindt automatisch een “zero-point calibration” plaats. Vanaf dat moment is de lachgasconcentratie weer zichtbaar als 0,00 mg $\text{N}_2\text{O-N/l}$. Vanaf dan lopen de meetpunten dus weer mee vanaf nul. Op het scherm van de controller zijn beide waarde zichtbaar, de waarde met auto zero-correctie en de waarde zonder auto-zero correctie (en kunnen ook uitgelezen worden naar bijvoorbeeld SCADA). Op het moment dat de waardes continu lager zijn dan -0,05 mg $\text{N}_2\text{O-N/l}$ zal een alarm gegeven worden en dient mogelijk een nieuwe tweepuntskalibratie uitgevoerd te worden. In onderstaande figuur is één en ander grafisch weergegeven.

FIGUUR 4 WEERGAVE WERKING AUTO ZERO CORRECTIE



4.2.2 INSTALLATIE

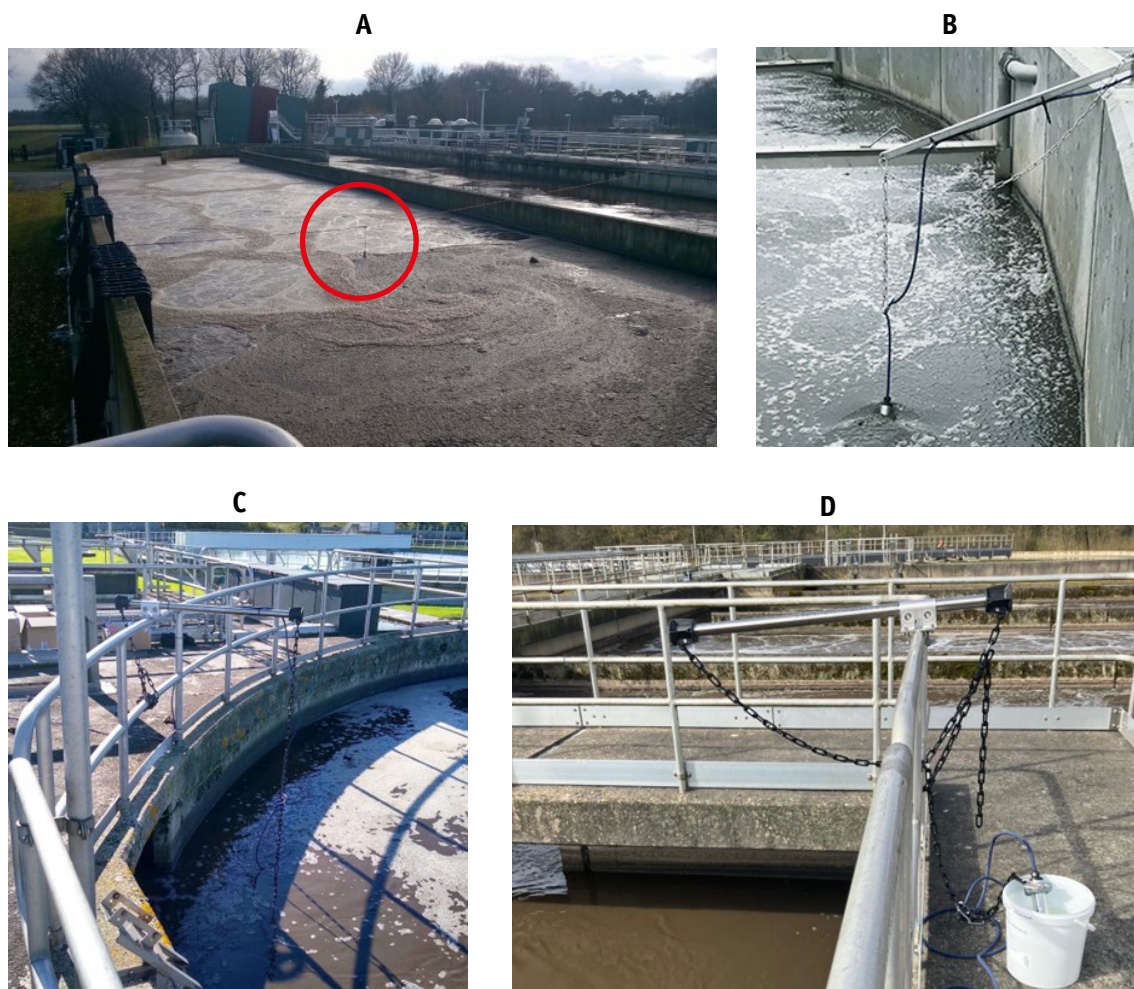
Bij het plaatsen en installeren van de sensoren dient rekening gehouden te worden met:

- Voldoende afstand wordt gehouden met rand van een tank/bassin.
- De gehele sensor ondergedompeld is, zodat ook de temperatuurmeting in de sensorbody zich in de waterfase bevindt.

De sensoren moeten zodanig bevestigd worden dat beschadiging van sensorkop wordt voorkomen, zie voorbeelden in Figuur 5. De sensoren zijn zodanig bevestigd dat deze door het stromingsprofiel op een vaste positie blijven hangen. Op deze manier kunnen ze niet beschadigd raken door bijvoorbeeld tegen de wand aan te drijven. Het wordt aangeraden om de sensoren te bevestigen met materialen die bestendig zijn tegen extreem weer en slijtage. Andere aandachtspunten bij de installatie zijn:

- De metalenhouder niet direct op de aluminium behuizing van de sensor wordt geplaatst, dit om roestvorming van de sensor te voorkomen.
- De sensorkabel (blauw), niet langs een rand schuurt van de tank.

FIGUUR 5 VOORBEELD BEVESTIGING VAN DE UNISENSE SENSOREN: A SENSOR OPGEHANGEN IN MIDDEN VAN BEEN (SOERENDONK), B: SENSOR IN BELUCHTE DEEL VAN DE ZUIVERING EINDHOVEN, C: OPHANGING OP DE ZUIVERING NIEUWE WATERWEG, EN D: OPHANGING SENSOR MET MOGELIJKHEID OM GOED TE KUNNEN KALIBREREN OP DE ZUIVERING OLDENZAAL

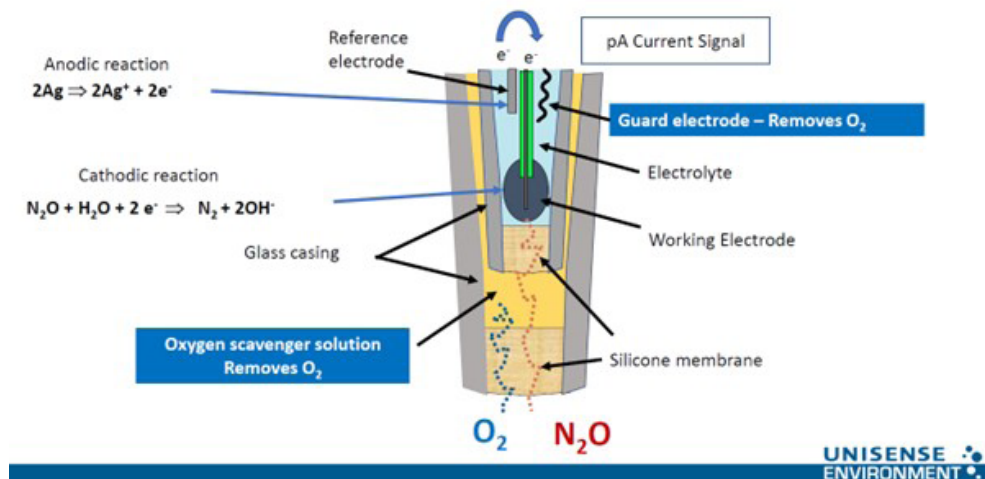


4.3 BEHEER EN ONDERHOUD

4.3.1 WERKINGSPRINCIPE SENSOR

De sensor van Unisense meet de concentratie lachgas in de waterfase op basis van een elektrochemische reactie. Een doorsnede van de sensor met de belangrijkste reactiemechanismen is weergegeven in Figuur 6. Voor het goed functioneren van de sensor is het van belang bij aanschaf de juiste sensor te kiezen die geschikt is voor de condities in de zuivering. Voor de meeste zuiveringen in Nederland geldt dat de “E-N₂O Head SR” de geschikte sensor. Deze sensor heeft een detectiegrens van 0,002 tot 0,005 mg N/l en een kwantificeerbare ondergrens tussen de 0,008 en 0,016 mgN/l⁹.

FIGUUR 6 WERKINGSPRINCIPE VAN DE SENSOR VAN UNISENSE DIE DE LACHGASCONCENTRATIE IN DE WATERFASE MEET¹⁰



Door het gebruik van elektrochemische reacties heeft de sensorkop een beperkte levensduur. Deze levensduur bedraagt zes maanden. De levensduur kan negatief beïnvloed worden als de condities in de zuivering te veel afwijken van de specificaties van de sensor. Deze condities zijn:

- Te hoge zuurstofconcentraties: de levensduur wordt verkort doordat de “O₂ scavenger solution” sneller wordt verbruikt;
- Te hoge lachgasconcentraties: hiervoor geldt hetzelfde als voor zuurstof, de benodigde chemicaliën voor de lachgasmeting worden sneller verbruikt bij hogere lachgasconcentraties;
- Te hoge temperatuur: bij te hoge temperaturen wordt de levensduur van de sensor verkort.

4.3.2 KALIBRATIE EN VERVANGEN VAN DE SENSORKOP

Goed gebruik van de sensor is essentieel om betrouwbare concentraties te meten en een hoge databeschikbaarheid te krijgen. Uit de data-analyse van de eerste groep zuiveringen die al een jaar of langer meten heeft laten zien dat te laat of niet goed kalibreren, en te laat vervangen van de sensorkop de belangrijkste oorzaak is van (grote) gaten in de datasets. Vanuit deze lessen wordt nu in het versnellingsprogramma het volgende kalibratie- en vervangingsschema voorgeschreven:

⁹ Informatie Unisense op basis van uitgevoerde ISO certificering (zie presentatie Bastian Pilz, SWIG event 26 februari 2025, Coventry).

¹⁰ Onderdeel van presentatie Unisense op SWIG event 26 Februari 2025, Coventry.

- Kalibratie:
 - Uitvoeren na 2, 4 en 5 maanden.
 - Als er een temperatuurverschil van ± 3 °C optreedt.
- Vervanging:
 - Na zes maanden dient de sensorkop altijd vervangen te worden (vervang de sensorkop op een droge dag, niet bij regen omdat de binnenkant van de sensorbody niet nat mag worden).

Voor betrouwbare meetdata is het vervolgens ook van belang de kalibratie goed uit te voeren. Hieronder volgen de belangrijkste aandachtspunten.

- Bij een nieuwe sensorkop, of als de sensoren van de spanning zijn gehaald (bij verplaatsing) dient de kalibratie pas uitgevoerd te worden na 24 uur, zodat volledige polarisatie van de sensor plaats kan vinden. Een alternatief is om bij aanschaf van de sensor ook een opzetstuk aan te schaffen bij Unisense waarin de sensor sneller gepolariseerd kan worden.
- Maak de sensorbody goed schoon en indien nodig ook voorzichtig schoonmaken rondom de 'glazen' tip om vervuiling van de meetvloeistof en daarmee verstoring van de kalibratie te voorkomen. Dit betekent dat ook een aanwezige biofilm nagenoeg volledig dient te worden verwijderd (zie voorbeeld in Figuur 7) van wel extreme biofilmvorming op een sensor.
- Wacht geduldig tot de meetwaarde in de lachgas standaardoplossing stabiel is, let er echter wel op dat de lachgas standaardoplossing niet ouder is dan 20 minuten. Na deze periode dient altijd een nieuwe oplossing gemaakt te worden voordat dan een nieuwe kalibratie kan worden uitgevoerd.
- Voer de kalibratie bij de juiste temperatuur uit (is de temperatuur in de tank) en houd deze constant. Houd daarnaast, bij een verwachte daling (in de herfst) of stijging (in het voorjaar) hier met de kalibratie al rekening mee. Dit kan gedaan worden door te kalibreren bij een temperatuur die 1 graad lager of hoger is dan de actuele temperatuur in de tank.
- Voer (in de controller) na de kalibratie de temperatuur in van de standaardoplossing aan **het eind** van de kalibratie.
- Laat de kalibratie van de sensor bij voorkeur zoveel mogelijk uitvoeren door dezelfde persoon, met een ingewerkt persoon als vervanger.

FIGUUR 7

VOORBEELD VAN EEN VRIJ EXTREEM AANWEZIGE BIOFILM OP EEN LACHGASSENSOR (BRON RIJNLAND, ZUIVERING VELSEN)



Na afronding van de kalibratie dienen de volgende parameters vastgelegd te worden in het onderhoudslogboek:

- Tijdsduur (responstijd) tussen 0-punt en tweede punt. Deze dient niet langer dan 5 minuten te zijn. De responstijd geeft een indicatie over de leeftijd en kwaliteit van de sensor, naarmate deze tijd langer wordt geeft dit aan dat sensorkop aan vervanging toe is.
- De helling die aan het eind van de kalibratie wordt weergegeven dient idealiter een waarde te hebben van 30%, maar dient in ieder geval tussen de 15 en 75% te liggen.
- Het zero-point dient in de meeste gevallen tussen de -0,050 en 0,000 mg N/l te liggen.
 - Deze waarde is niet bepalend voor het succes van de kalibratie, maar is wel een signaal om kritisch naar de eerste twee waardes te kijken.

De resultaten zijn ook uit te lezen uit de controller.

4.3.3 SIGNALEER OP TIJD AFWIJKINGEN

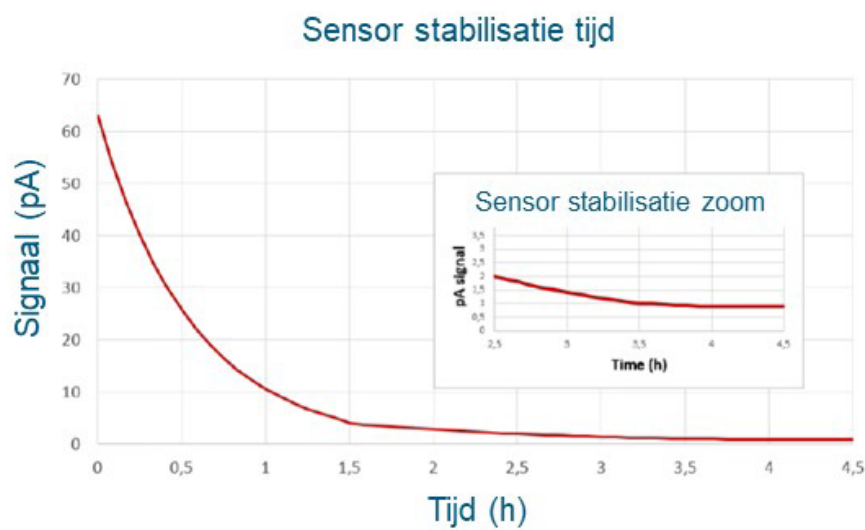
Het tijdig signaleren van afwijkingen in de meetdata is cruciaal om grote gaten van onbruikbare data in een dataset te voorkomen. Check dus bij voorkeur dagelijks, maar minimaal wekelijks of logische waarden zichtbaar zijn. Afwijkingen en alarmsignalen die om een snelle reactie vragen zijn:

- Controller boxen die vanaf oktober 2023 zijn geleverd geven een alarmsignaal af als:
 - De verandering in temperatuur +/- 3°C;
 - Op het moment dat de meetwaarden continu lager zijn dan -0,05 mg N₂O-N/l;
- Een drift van de nullijn naar beneden toe, waarbij onderscheid tussen drift en daadwerkelijke aanwezigheid van lachgas alleen is waar te nemen als de concentratie groter is dan 0,05 mg N/l
 - Een drift naar beneden kan worden veroorzaakt door een verandering in temperatuur óf door te hebben gekalibreerd voordat de sensor volledig is gepolariseerd (zie Figuur 8A, bron Unisense). Bij onvolledige polarisatie loopt dit na kalibratie nog door wat leidt tot een negatief signaal.
- Een drift van de nullijn naar boven toe.
 - Dit geldt voor de zuiveringen waar een duidelijke nullijn zichtbaar is, en de meetwaardes na stijging vaak teruggaan naar nul (zie Figuur 8B, Waterschap de Dommel), maar dit bij een drift naar boven dus niet meer doen.
 - Voor zuiveringen waar geen duidelijke nullijn zichtbaar is kan een drift naar boven waargenomen worden als de gemeten waardes duidelijk afwijken ten opzichte van voorgaande vergelijkbare periodes of een afwijking zichtbaar is tussen twee sensoren die normaliter gelijke waardes geven (zie Figuur 8C, Utrecht, twee sensoren in één gemengde tank).
 - Een drift naar boven vindt vooral plaats bij oudere sensorkoppen. In deze situatie wordt zuurstof minder afgevangen en wordt 'gezien' als lachgas.
- Een rechte lijn bijvoorbeeld door storing in data-ontsluiting (zie Figuur 8D, zuivering Nijmegen, Waterschap Rivierenland).
- De meetwaarde na kalibratie wijkt te veel af van de waarde net voor de kalibratie.
- Meetwaarde geeft voor ongebruikelijk langere tijd (enkele dagen) nul aan, terwijl daarvoor nog meetwaardes zichtbaar waren.
- Afwijkend patroon van de data bij één sensor ten opzichte van korte periode (week) daarvoor en deze niet of moeilijk verklaarbaar is.

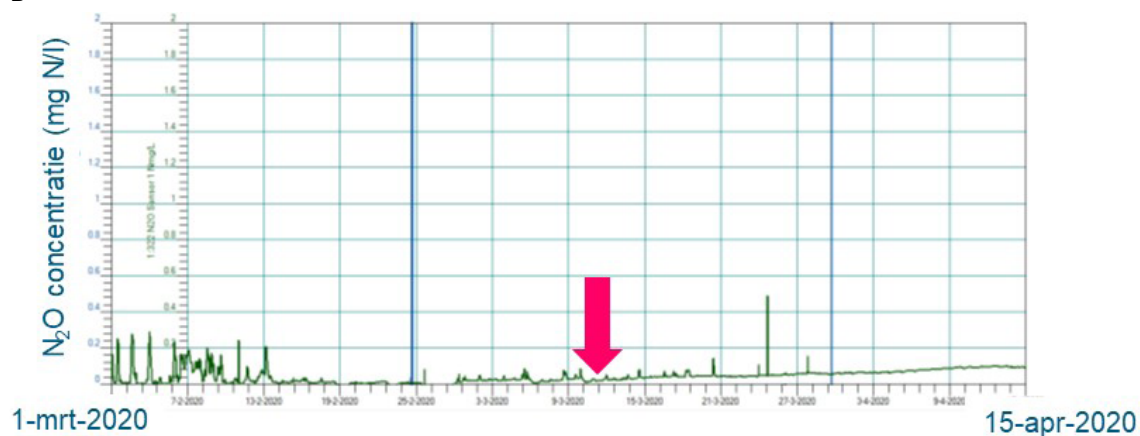
FIGUUR 8

VOORBEELDEN VAN AFWIJKINGEN DIE KUNNEN OPTREDEN IN MEETSIGNAAL VAN DE LACHGASSENSOR A: DRIFT NAAR BENEDEN ALS GEVOLG VAN GEEN OF ONVOLLEDIGE POLARISATIE VAN DE NIEUWE SENSOR VOOR DE EERSTE KALIBRATIE (BRON UNISENSE), B: DRIFT NAAR BOVEN, WAARBIJ DE NULLIJN DIE HIER ZICHTBAAR IS VANAF DE PIJL STEEDS OPLOOPT (BRON DE DOMMEL), C: AFWIJKING TUSSEN TWEE SENSOREN DIE IN EEN ZELFDE GEMENGDE TANK HANGEN (BRON IMD, HDSR), D: VOORBEELD VAN STORING IN DATA-ONTSLUITING, WAARDOOR RECHTE LIJN ONTSTAAT TUSSEN DE TWEE PIJLEN (BRON IMD, WSRL)

A

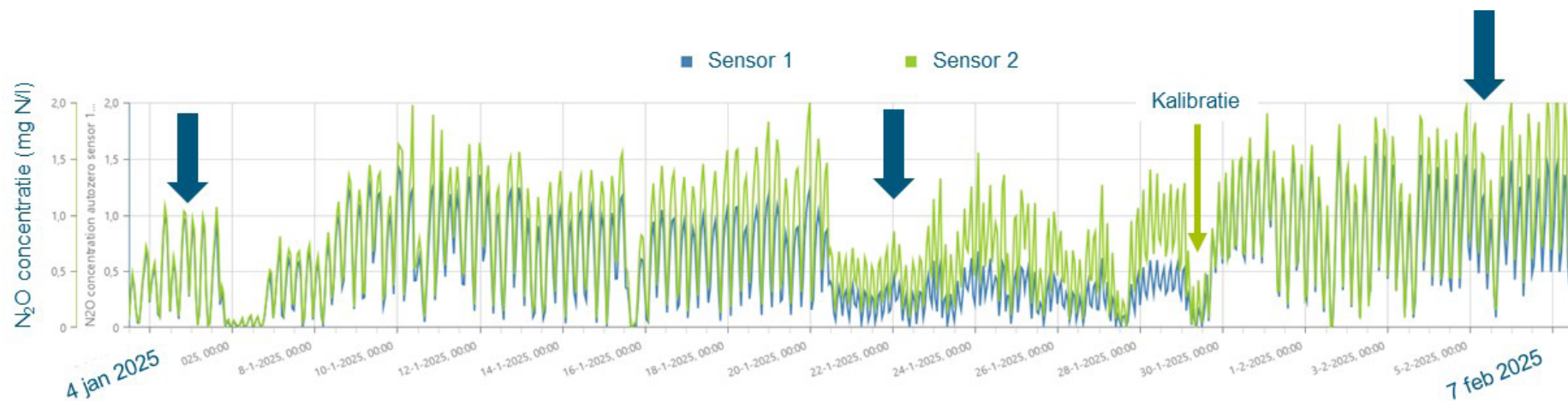


B

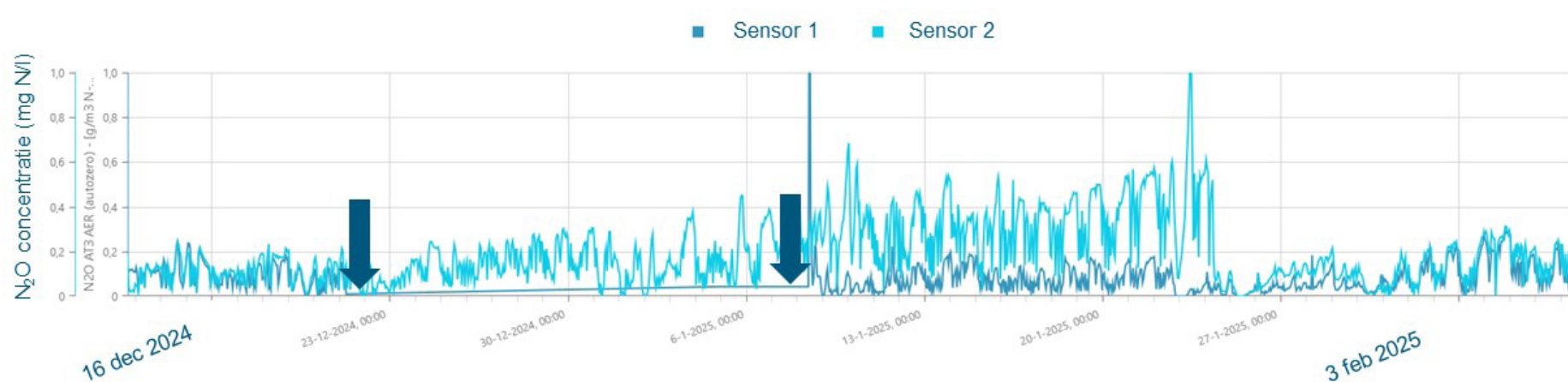


20

C



D



Voor sommige van bovengenoemde situaties geldt dat het niet altijd duidelijk is of er echt sprake is van een afwijking, of dat er daadwerkelijk meer of minder lachgas wordt gemeten. Of er sprake is van een afwijking is moeilijk in algemene zin vast te stellen. Dit is sterk afhankelijk van de locatie(s) van de sensor(en) en de gemeten waardes in een zuivering. In een zuivering waar gemiddeld lagere concentraties worden gemeten ($< 0,2$ tot $0,5$ mg N/l), heeft een afwijking van $0,1$ mg N/l een hogere impact op de emissiefactor dan zuiveringen waar de gemiddelde concentratie rond de 1 mg N/l ligt. Niet elke afwijking zal even goed zichtbaar zijn, maar bij een regelmatige (wekelijks) check van de data wordt echter wel snel een gevoel gekregen wanneer een lachgasconcentratie afwijkend is of niet.

- Bij **twijfel** over het wel of niet zichtbaar zijn van een afwijking dient **ALTIJD DIRECT** actie te worden ondernomen:
- Nagaan of afwijking niet logisch verklaarbaar is (is wat arbitrair, maar persoon die zuivering goed kent, kan dit vaak wel bepalen).
- Voer een meting uit in een nuloplossing (kraanwater) en in lachgasstandaardoplossing (beide met temperatuur van afvalwater).
- Check of de waardes bij benadering correcte waarde van ~ 0 of $\sim 0,94$ mgN/l aangeven.
- Als waardes te veel afwijken van bovenstaande: kalibratie opnieuw uitvoeren en data in navolgende dagen dagelijks bekijken of signaal weer terugkeert naar patroon voordat de afwijking optrad.
- Vervangen van de sensorkop als er een drift naar boven zichtbaar wordt nadat de sensorkop opnieuw is gekalibreerd.
- Als bovenstaande acties de afwijking/probleem niet oplossen kan met behulp van hulpmiddelen van Unisense gecheckt worden of de sensorbody en/of controller nog goed functioneren. Het zelf in bezit hebben van deze hulpmiddelen is daarbij sterk aan te bevelen omdat dit ertoe bijdraagt dat het probleem met de meting sneller kan worden opgelost omdat men dan zelf richting Unisense aan kan geven wat eventueel het probleem is, of juist aangegeven dat de extra testen geen verder inzicht hebben opgeleverd. Beschikbare storingstabellen vanuit Unisense kunnen ook nog geraadpleegd worden om een mogelijke oorzaak van een probleem te identificeren.

Het op tijd waarnemen van afwijkingen en het duiden daarvan is een taak die in het versnellingsprogramma duidelijk bij het waterschap ligt. Een persoon die de zuivering goed kent, kan bij minimaal wekelijkse controle van de data over het algemeen vaak de afwijking zelf duiden en de juiste acties ondernemen.

Naast het bijhouden van de uitgevoerde kalibraties in een logboek is het sterk aan te bevelen ook een logboek bij te houden voor het vastleggen van (grote) storingen op de zuiveringen, die een duidelijke invloed hebben op het proces (vracht, zuurstofconcentraties etc.). Denk hierbij aan (lijst is niet uitputtend):

- Uitval van blowers, voortstuwers, recirculatie-, en retourslibpompen, mengers en mogelijke uitval chemicaliën of C-bron dosering.
- Uitval van analyzers en sensoren waardoor mogelijk is overgegaan op een andere procesregeling of zelfs de noodregeling.
- Functioneren van de beluchtingsplaten (doen ze nog, zijn ze te vervuild etc.); Controleer dit ook regelmatig!
- Spuiregime voor de afvoer van het secundaire slib naar de indik- of ontwateringsinstallatie, ofwel het goed bijhouden en registreren van het slibgehalte.
- Eventuele aanpassingen in procesregeling om aan effluenteisen te voldoen. In het referentiejaar mogen dergelijke aanpassingen niet worden uitgevoerd als daar geen drin-

gende reden voor is, zoals het voldoen aan de effluenteisen. Dit om tot een zo'n representatief mogelijke emissiefactor te komen voor die zuivering, waarna de impact van reductiemaatregelen getoetst kan worden.

- Calamiteiten/gebeurtenissen zoals: buitengewone industriële lozing, evenementen en stroomstoring en het daarbij mogelijk in moeten zetten van noodbeluchting
- Groot onderhoud waardoor procesonderdelen mogelijk tijdelijk uit bedrijf zijn gegaan.

4.4 DATAVERWERKING EN VALIDATIE

Met het goed uitvoeren van de acties uit paragraaf 4.3 kan een dataset gecreëerd worden die én voldoende data bevat, maar ook voldoende kwalitatief goede data. Een dataset is nooit perfect daarom is voorafgaand aan het berekenen van de lachgasemissie altijd nog een validatiestap vereist om 'Outliers' uit de dataset te halen. Op dit moment wordt dit nog door elk waterschap individueel gedaan, wellicht zijn er mogelijkheden om het in Nederland beschikbare dataplatform "Z-info" hiervoor te gebruiken. Uitgangspunt is dat voor een nationale emissiefactor de validatie van de data reproduceerbaar dient te zijn, zodat alle data vergelijkbaar zijn en dan ook leiden tot vergelijkbare emissiefactoren. Naast de ruwe meetdata van de lachgasconcentraties dienen nog andere procesparameters in Historian/Z-info opgeslagen te worden. In de volgende paragraaf worden deze parameters benoemd.

4.5 BEREKENING LACHGASEMISSIE

Voor het berekenen van de lachgasemissie (in kg N₂O-N per tijdseenheid) is bij zuiveringen met bellenbeluchting essentieel dat het luchtdebiet beschikbaar is. Dit is voor een heel aantal zuiveringen in het versnellingsprogramma niet het geval, vandaar dat hier een onderscheid wordt gemaakt in zuiveringen met bellenbeluchting en luchtdebietmetingen (zie paragraaf 4.5.1 en zuiveringen zonder luchtdebietmeting (zie paragraaf 4.5.2). Voor zuiveringen met puntbeluchting wordt er vooralsnog vanuit gegaan dat de benodigde data voor die emissieberekening altijd beschikbaar zijn (zie paragraaf 4.5.3). Tot slot zijn er zuiveringen waar met punt- of bellenbeluchting intermitterende beluchting wordt toegepast. In paragraaf 4.5.4 is aangegeven op welke wijze de emissieberekening dan uitgevoerd kan worden.

4.5.1 BIJ BESCHIKBAARHEID LUCHTDEBIETMETINGEN - BELLENBELUCHTING

Voor zuiveringen met bellenbeluchting dienen de data uit Tabel 2 aangeleverd te worden.

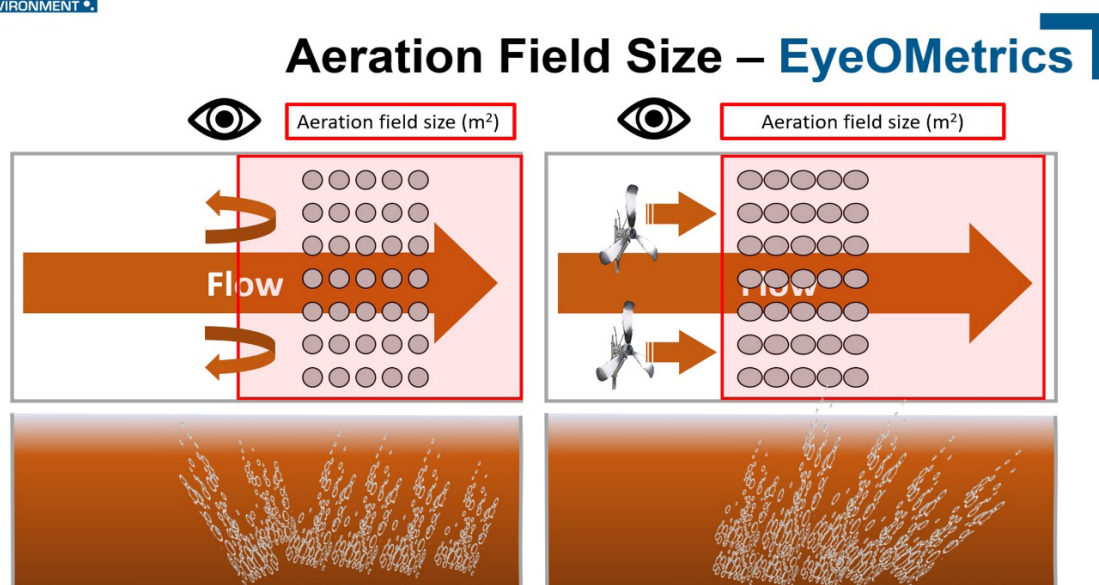
TABEL 2 AAN TE LEVEREN DATA VOOR DE BEREKENING VAN DE LACHGASEMISSIE BIJ DE AANWEZIGHEID VAN LUCHTDEBIETMETINGEN BIJ BELLENBELUCHTING

Parameter	Eenheid	Aan te leveren als
Procestemperatuur	°C	Continue data
Beluchte zone		
Lachgasconcentratie (S _{N20})	mg N ₂ O-N/l	Continue data
Luchtdebiet	in m ³ /h (dus NIET als Nm ³ /h)	Continue data
Belucht oppervlak	m ²	Vaste waarde
Diepte vanaf schotel of plaat tot waterniveau	m	Vaste waarde
Belucht volume	m ³	Vaste waarde
Onbeluchte zone		
Lachgasconcentratie (S _{N20})	mg N ₂ O-N/l	Continue data
Onbelucht oppervlak	m ²	Vaste waarde
Diepte onbeluchte deel	m	Vaste waarde
Volume onbeluchte deel	m ³	Vaste waarde

Voor het beluchte oppervlak dient niet uitgegaan te worden van het oppervlak aan beluchtingsschotels- of platen, maar dient naar het zichtbare oppervlak met belLEN gekeken te worden, zie daarvoor de illustratie in Figuur 9. Naast de continu meetdata van de zuivering en enkele vaste gegevens zijn voor het berekenen van de lachgasemissie een aantal constanten nodig. In bijlage 2 is een “screenshot” opgenomen van de rekensheet van Unisense, die de berekening voor één datapunt en de daarvoor benodigde data en constanten weergeeft.

FIGUUR 9

HET OP TE GEVEN BELUCHTE OPPERVLAKE DIENT VISUEEL VAN BOVENAF BEPAALD TE WORDEN. HET GAAT OM HET OPPERVLAKE WAAR DE BELLEN ZICH BEVINDEN EN LACHGAS GESTRIPT KAN WORDEN

UNISENSE
ENVIRONMENT

4.5.2 BIJ AFWEZIGHEID VAN LUCHTDEBIETMETINGEN

Het mogelijk kunnen berekenen van de lachgasemissie bij afwezigheid van luchtdebietsmetingen wordt nog onderzocht. Vanuit het versnellingsprogramma is een werkgroep opgericht die hier mee aan de slag is.

4.5.3 BIJ PUNTBELUCHTING

Voor zuiveringen met puntbeluchting dienen de data uit Tabel 3 aangeleverd te worden.

TABEL 3

AAN TE LEVEREN DATA VOOR DE BEREKENING VAN DE LACHGASEMISSIE

Parameter	Eenheid	Aan te leveren als
Procestemperatuur	°C	Continue data
Opgenomen vermogen	kWh	Continue data
Inbrengrendement	kg O ₂ /kWh	Vaste waarde
Belucht volume	m ³	Vaste waarde
Lachgasconcentratie (C _{N2O}) beluchte deel	mg N ₂ O-N/l	Continue data
Onbeluchte zone		
Lachgasconcentratie (C _{N2O}) in onbeluchte zone	mg N ₂ O-N/l	Continue data
Onbelucht oppervlak	m ²	Vaste waarde
Diepte reactor onbeluchte deel	m	Vaste waarde
Volume onbeluchte deel	m ³	Vaste waarde

In bijlage 2 is een “screenshot” opgenomen van de rekensheet van Unisense, die de berekening voor één datapunt en de daarvoor benodigde data en constanten weergeeft.

4.5.4 BIJ INTERMITTERENDE BELUCHTING

Bij intermitterende beluchting wordt de lachgasconcentratie op dezelfde locatie afwisselend gemeten onder anoxische omstandigheden en dan weer oxische omstandigheden. Idealiter wordt de berekening van de lachgasemissie zo ingericht dat afwisselend de berekening voor anoxische zones wordt toegepast en voor oxische zones. Het wisselen tussen de éne of de andere berekening kan gebaseerd worden op het gemeten luchtdebiet (bij bellenbeluchting, en aanwezig) of opgenomen vermogen bij puntbeluchters. Eenvoudiger is om altijd de berekening voor oxische omstandigheden toe te passen. In de situatie dat de beluchting uitgaat en nagenoeg nul is, leidt dit met de oxische berekening tot een lage waarde. In de praktijk zijn deze twee methodieken naast elkaar getest op één van de Nederlandse zuiveringen en werden er geen significante verschillen in de emissie gevonden.

4.6 BEREKENING EMISSIEFACTOR

Voor alle bovengenoemde berekeningen geldt dat de standaardinstelling van Unisense is dat de lachgasconcentratie per minuut wordt vastgelegd. Bij de installatie van de sensoren kan ervoor gekozen worden deze frequentie aan te passen. Dit dient minimaal eens per 15 minuten te zijn, korter mag altijd. Vanuit de vastgestelde frequentie voor het opslaan van de lachgasconcentratie wordt de emissie van lachgas in kg N₂O-N per kwartier (of korter) berekend. Dit wordt gedaan voor de emissie van de anoxische zone en vanuit de beluchte zone.

In de situatie dat de focus ligt op het bepalen van alleen een emissiefactor (zie paragraaf 3.1) wordt de berekende emissie per kwartier (of korter) gemiddeld per dag. Met de dan ook beschikbare stikstofvracht per dag kan een emissiefactor per dag worden berekend:

$$\text{kg N}_2\text{O-N} \cdot \text{d}^{-1} / \text{kg NKj (of N-tot)} \cdot \text{d}^{-1}$$

In de situatie dat de focus daarnaast ook ligt op de reductie van de lachgasemissie (zie paragraaf 3.2) wordt de berekende emissie per kwartier direct gebruikt, of als minuten waarden zijn berekend worden deze gemiddeld over een kwartier. Met de gemeten kwartierwaarde voor de inkomende stikstofvracht kan een emissiefactor per kwartier worden berekend:

$$\text{kg N}_2\text{O-N/per kwartier} / \text{kg NKj (of N-tot)/per kwartier}$$

5

AANVULLENDE METINGEN

5.1 FOCUS OP ALLEEN EMISSIEFACTOR

Het doel van het versnellingsprogramma is om een emissiefactor af te leiden aan de hand van een beslisboom. De vraag in het onderzoek is welke parameters onderdeel dienen te zijn van de beslisboom. Met de al bekende kennis over de parameters die de meeste invloed hebben op de emissie van lachgas zijn diverse parameters gedefinieerd die ook representatief zijn voor het ontwerp van Nederlandse zuiveringen:

- **Capaciteit** van de zuiveringen: < 100.000 p.e. of > 100.000 p.e.;
- De aanwezigheid van een (centrale) **gistingsinstallatie** ja of nee;
- Een laag of hoog risico op lachgas op basis van **nitriet**; Bij een nitrietconcentratie in het effluent (samengesteld 24-uurs monster) $\leq 0,25$ mg $\text{NO}_2\text{-N/l}$ heeft een zuivering een laag risico op lachgas, bij een concentratie groter dan $0,25$ mg $\text{NO}_2\text{-N/l}$ heeft een zuivering een hoog risico op lachgas

Op basis van deze drie parameters zijn alle Nederlandse zuiveringen (313) in acht groepen verdeeld:

- Groep 1: < 100.000 p.e. — zonder gisting — laag risico
- Groep 2: < 100.000 p.e. — zonder gisting — hoog risico
- Groep 3: < 100.000 p.e. — met gisting — laag risico
- Groep 4: < 100.000 p.e. — met gisting — hoog risico
- Groep 5: > 100.000 p.e. — zonder gisting — laag risico
- Groep 6: > 100.000 p.e. — zonder gisting — hoog risico
- Groep 7: > 100.000 p.e. — met gisting — laag risico
- Groep 8: > 100.000 p.e. — met gisting — hoog risico

Voor het selecteren van een voldoende aantal representatieve zuiveringen is gekeken naar de twee ontwerpparameters die naast de temperatuur het meest bepalend zijn voor de mate waarin stikstof kan worden verwijderd. Dit is de **stikstofslibbelasting** uitgedrukt in $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$, en de **BZV/N** verhouding. Een hoge stikstofverwijdering is mogelijk als de slibbelasting heel laag is ($< 0,006$ $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$), of hoog is ($> 0,015$ $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$), maar waarbij dan de BZV/N verhouding ook groter is dan vier. Vanuit deze redenering zijn er negen categorieën gedefinieerd:

- Slibbelasting laag: $0,006$ $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$, met een BZV/N verhouding van: <3 , 3 tot 4 of > 4
- Slibbelasting gemiddeld: $0,006$ — $0,015$ $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$, met een BZV/N verhouding van: <3 , 3 tot 4 of > 4
- Slibbelasting hoog: $> 0,015$ $\text{kg N.kg DS}^{-1}.\text{d}^{-1}$, met een BZV/N verhouding van: <3 , 3 tot 4 of > 4

De **vet gedrukte parameters** zijn dus ook de parameters die voor het kunnen opstellen van een beslisboom in het meetprogramma zijn meegenomen.

De nitrietconcentraties in het effluent op basis van 24-uurs monsters of semi-continue metingen met een nitriet-analyzer bieden de kans om ook te zoeken naar een lineaire relatie tussen de nitrietconcentratie in het effluent en de emissiefactor.

5.2 FOCUS OP EMISSIEFACTOR ÉN REDUCTIE

Naast het opstellen van een beslisboom met emissiefactoren is het tweede doel van het programma om tot een gevalideerde set van reductiemaatregelen te komen. Deze set geeft inzicht in het effect van de maatregel op de lachgasemissie, maar ook inzicht geeft in het effect op de effluentkwaliteit, en het elektriciteits- en chemicaliënverbruik. Naast de lachgasemissie wordt dus ook de effluentkwaliteit gemonitord bestaande uit de parameters: **N-tot**, **NO₃-N**, **NO₂-N**, **NH₄-N**, **P-tot** en **PO₄-P**. Aan de hand van de aanwezige **kWh** meters op de beluchtingstank en een mogelijk aanwezige doseerinstallatie voor P-verwijdering wordt het elektriciteits- en **chemicaliënverbruik** gemonitord.

Voorafgaand aan het opstellen en monitoren van de impact van reductiemaatregelen dienen deze maatregelen eerst geïnventariseerd en geselecteerd te worden. Hiervoor is al de nodige kennis verzameld en word gestart bij wat al bekend is. Ter verdere ondersteuning is het doel om zoveel mogelijk procesparameters in de verschillende biologische tanks te monitoren. Dit kunnen zijn: **zuurstof**, **temperatuur**, **slibgehalte**, **nitraat**, **nitriet**, **ammonium**, **redox-potentiaal** en **fosfaat**.

BIJLAGE 1

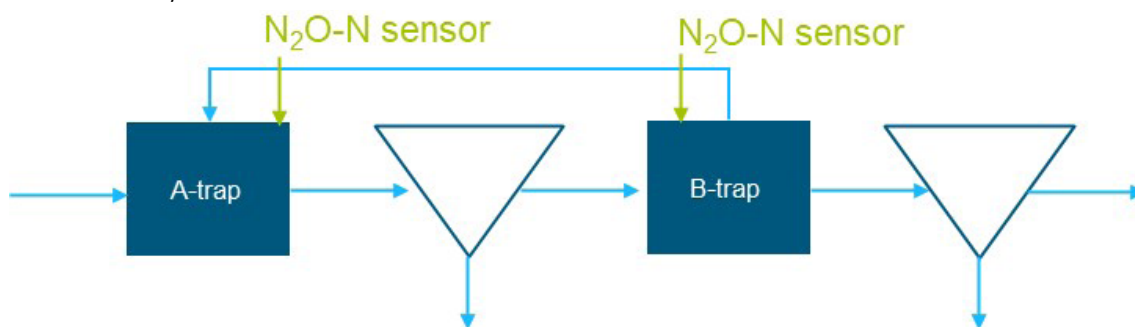
ZUIVERINGSCONFIGURATIES EN LOCATIEBEPALING

In deze bijlage zijn de in Nederland meest voorkomende configuraties opgenomen. Per configuratie is aangegeven in welke tank(s) een minimaal sensor aanwezig dient te zijn om te voldoen aan de doelen van het versnellingsprogramma. Daarnaast is voor elke configuratie aangegeven op welke zuiveringen deze al zijn geplaatst.

A/B SYSTEEM

FIGUUR 10

A/B SYSTEEM

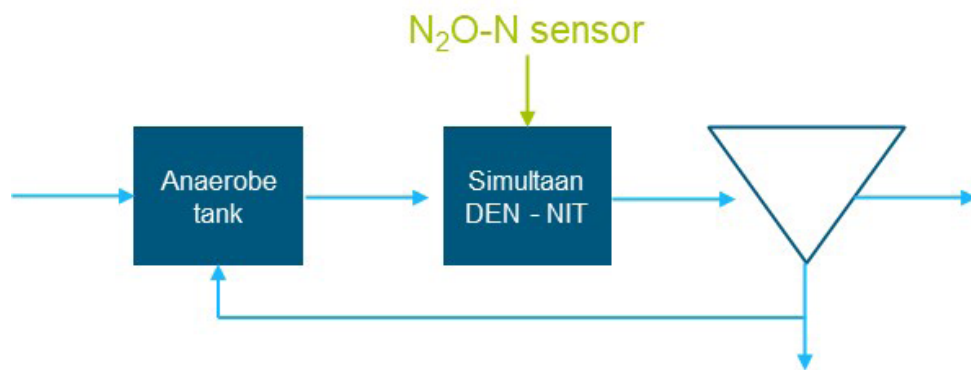
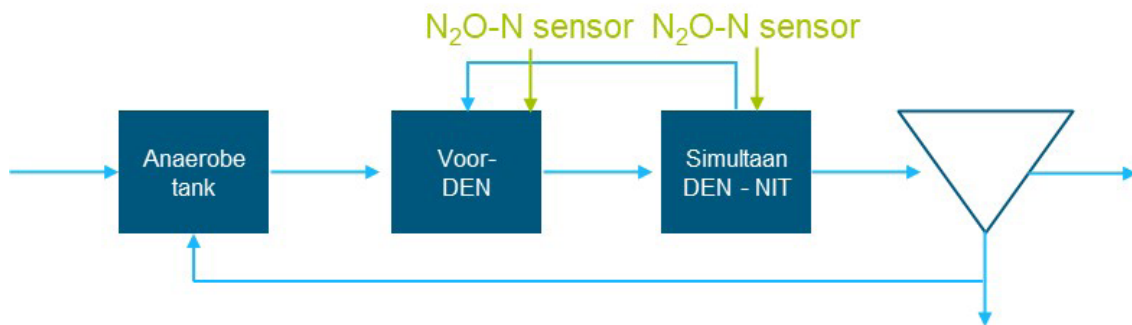


TABEL 4

AANTAL GEÏNSTALLEERDE SENSOREN IN DE A/B SYSTEMEN DIE IN HET VERSNELLINGSPROGRAMMA ZIJN OPGENOMEN

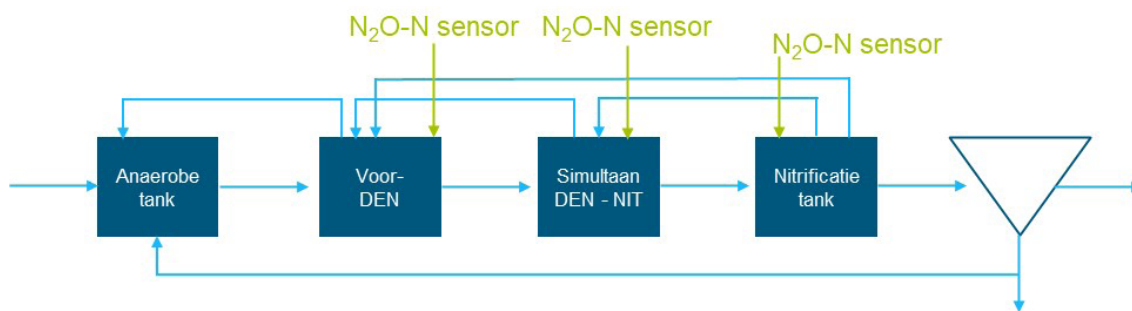
Zuivering	Voordenitrificatie	A-trap	B-trap	Totaal aantal sensoren	Locatiebepaling
Dokhaven		1	1	2	Alleen in B-trap
Velsen		1	2	3	Voornemen in A-trap
Garmerwolde	1		3	4	

- Velsen: In de B-trap is een sensor geïnstalleerd op $\frac{1}{4}$ en $\frac{3}{4}$ van de B-trap
- Garmerwolde: In de B-trap aan het begin, en verder een evenredige verdeling over de B-trap

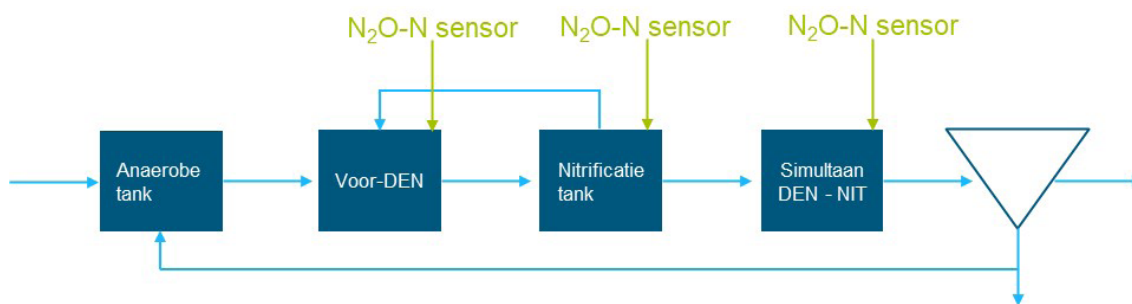
PHOSIM**FIGUUR 11 PHOSIM CONFIGURATIE****PHOREDOX****FIGUUR 12 PHOREDOX CONFIGURATIE****TABEL 5 AANTAL GEÏNSTALLEERDE SENSOREN IN DE PHOREDOX SYSTEMEN DIE IN HET VERSNELLINGSPROGRAMMA ZIJN OPGENOMEN**

Zuivering	Voordenitrificatie	Simultaan DEN-NIT	Totaal aantal sensoren	Locatiebepaling
Zwolle	1	1	2	Kort in simultane tank
Uithuizermeeden	1	2	4	

- Uithuizermeeden: 1 sensor net voor puntbeluchter, 1 er net achter, en 1 verder van de puntbeluchting af.

(M)UCT**FIGUUR 13 (M) UCT CONFIGURATIE****TABEL 6 AANTAL GEÏNSTALLEERDE SENSOREN IN DE (M)UCT SYSTEMEN DIE IN HET VERSNELLINGSPROGRAMMA ZIJN OPGENOMEN**

Zuivering	Voordenitrificatie	Facultatief	Nitrificatie	Totaal aantal sensoren	Locatiebepaling
Hessenpoort	1		1	2	In nitrificatietank
Apeldoorn	1		1	2	In anoxische en aerobe ring
Amsterdam West		1	1	2	
Aarle Rixtel	1		1	2	In anoxische tank (propstroom) In nitrificatietank (gemengd)
Land van Cuijk	1	1	1	3	In anoxische (propstroom), facultatieve (gemengd) en nitrificatie (gemengd) tank
Biest-Houtakker	1		1		
Eindhoven	1		1	2	

HOOGVLIET**FIGUUR 14 HOOGVLIET CONFIGURATIE****TABEL 8 AANTAL GEÏNSTALLEERDE SENSOREN IN HOOGVLIET SYSTEMEN DIE IN HET VERSNELLINGSPROGRAMMA ZIJN OPGENOMEN.**

Zuivering	Voordenitrificatie	Facultatief	Simultaan	Totaal aantal sensoren	Locatiebepaling
Kralingseveer	1	1	4	6	In alle aanwezige tanks
Hoogvliet	1	1	1	3	In nitrificatietank, en carrousel

- Kralingseveer: In simultane nitrificatie-denitrificatie tank: in elk 2 sensoren.

BIJLAGE 2

BEREKENINGEN LACHGASEMISSIE MET BELLEN- EN PUNTBELUCHTING

BENODIGDE DATA EN BEREKENING LACHGASEMISSIE VOOR ZUIVERINGEN MET BELLENBELUCHTING ÉN LUCHTDEBIETMETINGEN:

	Constant name	Unit	Note	Value
witte cel is constante	K_H^B	mol/L.bar		0,0247
groene cel is gemeten waarde	$-d\alpha\text{olNH/R}$	K		2675
licht roze cel is berekende waarde	$C_{N_2O,air}$	gN/m ³		0,0003
	R	m ³ .bar/mol.K		8,31E-05
	$k_L a_{Non-aerated process}$	day ⁻¹	2-4 day ⁻¹	3
	T^B	°C	Standard temperature	25
	$T_{process}$	°C	Process temperature measured	12,1
Aerated zones		Unit	Note	Value
	$S_{N_2O} \text{ concentration}$	mg N-N ₂ O/L	Nitrous Oxide measured Aerated	0,02
	Q_A	m ³ /h	Air flow measured	136,80
	$Q_A \text{ per day}$	m ³ /day	Use the actual air flow rate, not Nm ³ /day.	3,28E+03
	$Q_A \text{ per second}$	m ³ /s	Same as above.	0,038
	$A_{aerated field size}$	m ²	Air diffuser cylindrical total area	1268,75
	D_R	m	Depth reactor from diffuser to water level	3,87
	V_R	m ³	Volume of aerated part of the reactor	4910,1
Non-aerated zones		Unit	Note	Value
	$S_{N_2O} \text{ concentration}$	mg N-N ₂ O/L	Nitrous Oxide measured Non-Aerated	0,10
	$A_{non-aerated field size}$	m ²	Total area of non-aeration	162
	$D_{R,Non-aerated}$	m	Depth reactor	5,5
	$V_{R,Non-aerated}$	m ³	Volume of non-aerated part of the reactor	891,0

Formula	Variables on T and air flow	Unit	Note	Value
4.2	K_H	mol/L.bar	Henrys constant at the std. Temp.	0,0370
4.1	$H_{N_2O,T_{process}}$	dimensionless	Henrys constant	1,14
1.1	V_R	m ³ /m ² /s	Gas velocity	0,00003
1.3	$K_L a_{N_2O 20^\circ C}$	day ⁻¹	Mass transfer coefficient at std. Temp	2,070
1.4	$K_L a_{N_2O T_{process}}$	day ⁻¹	Mass transfer coefficient at process Temp	1,718

Formula	Aerated zone		
2	$r_{N_2O,T_{process}}$	gN-N ₂ O/m ³ /day	N ₂ O emission rate
	Emission	kgN-N ₂ O/day	N ₂ O emission rate

Formula	Non-erated zone		
3	$r_{N_2O,T_{process}}$	gN-N ₂ O/m ³ /day	N ₂ O emission rate
	Emission	kgN-N ₂ O/day	N ₂ O emission rate

Total tank emission	kgN-N ₂ O/day	0,334
---------------------	--------------------------	-------

BENODIGDE DATA EN BEREKENING LACHGASEMISSIE VOOR ZUIVERINGEN MET PUNTBELUCHTING:

	Constant name	Unit	Note	Value
	T_{process}	°C	Process temperature measured	22,0
	P	kWh	Power consumption (rotors)	66
	SAE	kgO ₂ /kWh	Standard aeration efficiency	1,8
	V_{aerated}	m ³	Volume of process tank	4000
	$C_{\text{N}_2\text{O}}^{\text{Process}}$	mgN-N ₂ O/L = gN-N ₂ O/m ³	Nitrouc oxide liquid phase concentration	0,1
	Non-aerated zones	Unit	Note	Value
	$C_{\text{N}_2\text{O},\text{non-aerated}}^{\text{Process}}$	mgN-N ₂ O/L = gN-N ₂ O/m ³	Nitrouc oxide liquid phase concentration	0,01
	$k_{\text{a}}^{\text{Non-aerated process}}$	day ⁻¹	2-4 day ⁻¹	3
	Non-aerated field size	m ²	Total area of non-aeration	162
	$D_{\text{R,Non-aerated}}$	m	Depth reactor	5,5
	$V_{\text{R,Non-aerated}}$	m ³	Volume of non-aerated part of the reactor	891,0
	Constant name	Unit	Note	Value
	T^{m}	°C	Standard temperature	20
	α	(-)	Correction from clean water to process conditions	1
	β	(-)	Change in saturation concentration from clean water to process conditions	0,95
	F	(-)	Fouling factor, usually 1 for surface aerator rotors	1
	$D_{\text{N}_2\text{O}}$	m ² /s	Diffusion coefficient	1,77E-09
	D_{O_2}	m ² /s	Diffusion coefficient	2,12E-09
	$C_{\text{O}_2}^{\text{Process}}$	mg/L	Oxygen Process Concentration	0
	$C_{\text{O}_2}^{\text{Sat}}(20^{\circ}\text{C})$	kg/m ³	Oxygen Saturation Concentration	0,0090324
	$C_{\text{O}_2}^{\text{Sat},T_{\text{process}}}$	kgO ₂ /m ³	Oxygen Saturation Concentration	0,008830014
Formula	Aerated zone			
1.4	SOTR	kgO ₂ /h	Standard oxygen transfer rate	118,80
1.5	AOTR	kgO ₂ /h	Actual Oxygen Transfer Rate	115,69
1.6	$K_{\text{LaO}_2} T_{\text{process}}$	h ⁻¹	Mass transfer coefficient	3,28
0.2	$K_{\text{LaN}_2\text{O}} T_{\text{process}}$	h ⁻¹	Mass transfer coefficient	2,99
0.4	$\text{NTR}_{\text{Aerated}}$	gN-N ₂ O/h	N ₂ O Emission rate	1197,17
	Emission	kgN-N ₂ O/day	N ₂ O Emission rate	28,73
Formula	Non-erated zone			
0.5	Emission	kgN-N ₂ O/day	N ₂ O Emission rate	0,027
	Total tank emission	kgN-N ₂ O/day	N ₂ O Emission rate	28,759