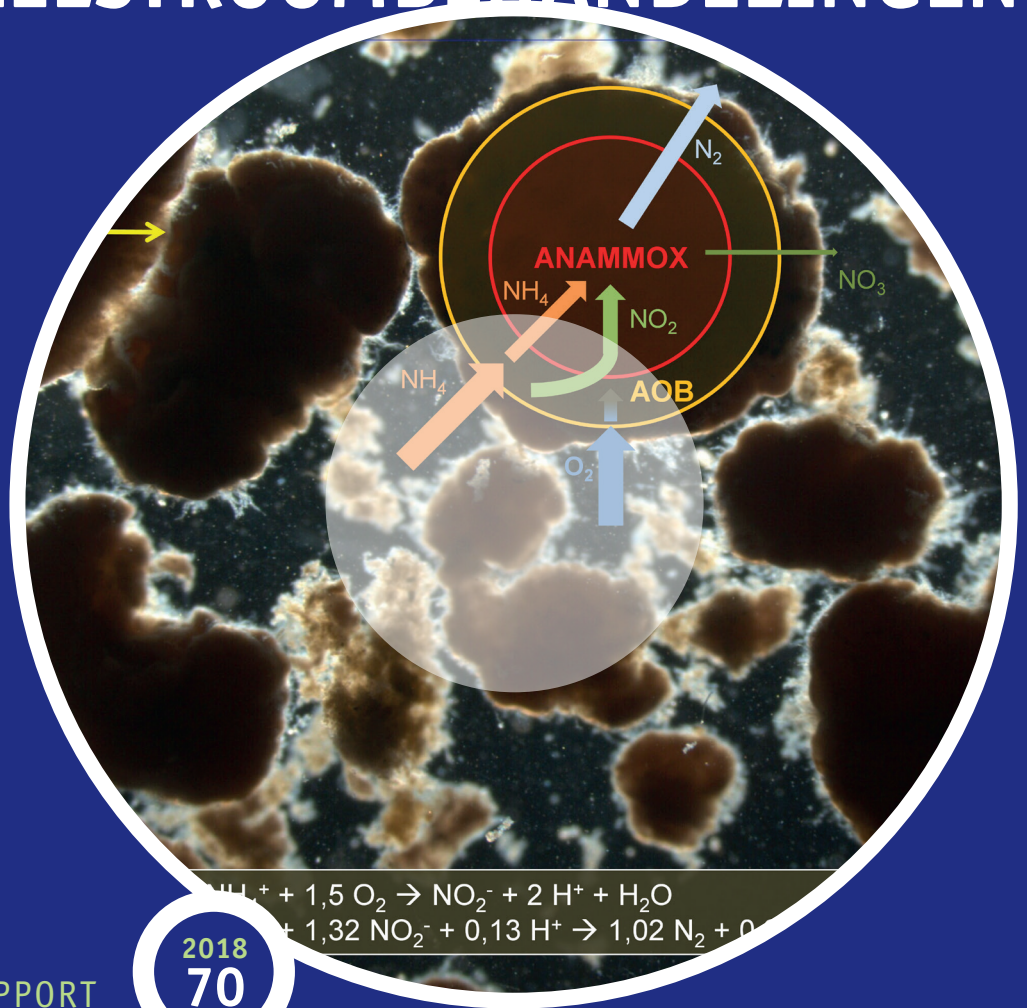


GEBRUIKERSERVARINGEN MET DEMON[®] EN ANAMMOX[®] IN DEELSTROOMBEHANDELINGEN



RAPPORT

2018
70

GEBRUIKERSERVARINGEN MET DEMON® EN
ANAMMOX® IN DEELSTROOMBEHANDELINGEN

RAPPORT

2018

70

ISBN 978.90.5773.830.2



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

AUTEUR Dennis de Vogel, WLN

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Victor Claessen, Waterschap de Dommel
Ad de Man, Waterschapsbedrijf Limburg
Bart Verberkt, Waterschap Aa en Maas
Marc Augustijn, Waterschap Scheldestromen
Paul Timmerman, Waterschap Vallei en Veluwe
Willy Poiesz, Waterschap Noorderzijlvest
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA STOWA 2018-70

ISBN 978.90.5773.830.2

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

GEBRUIKERSERVARINGEN MET DEMON® EN ANAMMOX® IN DEELSTROOMBEHANDELINGEN

Vanuit de gedachte waarin afvalwater niet langer als een afvalproduct wordt beschouwd, maar als een grondstof waaruit duurzame grondstoffen en energie wordt gewonnen, worden er steeds meer RWZI's in Nederland uitgebreid met nieuwe technologieën. Enkele van deze nieuwe technologieën zijn gericht op de optimalisatie van de slibafbraak in slibgistingstanks, waardoor de energieproductie toeneemt.

Bij deze transitie behoort ook de implementatie van een duurzame behandeling van het rejec-tiewater; het water dat vrijkomt bij de slibontwatering. Hiervoor worden technieken toege-past die gebruik maken van de Anammox bacterie. De Anammox bacterie zet ammonium met nitriet om in stikstofgas. Omdat deze technieken een lagere zuurstofbehoefte heeft (circa 60%) en geen koolstofbron gebruikt, is de techniek duurzamer dan conventionele behande-lingen.

De Anammox technologieën, waaronder Demon zijn inmiddels doorgroeid naar volwassen technieken sinds de eerste full scale Anammox installatie in 2002 op het slibverwerkings-bedrijf Sluisjesdijk van Waterschap Hollandse Delta is opgestart. Over de gehele wereld zijn er sindsdien veel installaties in bedrijf genomen. Ook in Nederland zijn er meerdere water-schappen die beschikken over deze techniek.

In de afgelopen 15 jaar is er bij diverse waterschappen veel ervaring opgedaan met Anammox technieken. De opgedane praktijkervaringen zijn in dit project geïnventariseerd. Hiermee is praktijkkennis ontsloten voor nieuwe- maar ook voor bestaande gebruikers van het Anammox proces.

Joost Buntsma
Directeur STOWA

SAMENVATTING

Bij RWZI's met een slibgisting komt na ontwatering van het uitgegiste slib rejectiewater vrij. Het rejectiewater is een stikstofrijke stroom die door steeds meer waterbeheerders in een deelstroombehandeling wordt verwerkt. Een veel toegepast en efficiënt proces is partiële nitrificatie gecombineerd met **anaerobe ammonium oxidatie** (Anammox). Dit proces kan gezien worden als één van de innovatieve ontwikkelingen op het gebied van afvalwaterzuivering, welke in de laatste decennia hebben plaatsgevonden.

Sinds de eerste full scale toepassing in 2002 op het slibbedrijf Sluisjesduik in bedrijf werd genomen, is het aantal full scale installaties en het aantal wetenschappelijke publicaties over de hele wereld sterk toegenomen. Zo ook bij de Nederlandse waterschappen.

Bij de Nederlandse waterschappen zijn hoofdzakelijk twee technologieën toegepast, de DEMON® en de ANAMMOX® technologie. Diverse waterbeheerders beschikken over een dergelijke technologie of hebben projecten lopen waarin deze technologie wordt voorbereid. Sinds 2002 is er veel praktijkkennis opgedaan en dit project heeft tot doelstelling om deze te inventariseren, zodat deze kennis kan worden toegepast in bestaande of nieuwe situaties.

De resultaten van de inventarisatie geven inzicht in de performance van tien installaties in het jaar 2015. Van de tien geïnventariseerde systemen zijn er zeven DEMON® systemen en drie ANAMMOX® systemen. Daarin wordt duidelijk dat elk systeem is aanpast aan de situatie waar deze ingezet wordt. Locatie specifieke omstandigheden blijken belangrijk en bepalend voor de uitvoering van de verschillende systemen en hun prestaties. Zo worden er verschillende types van voorbehandeling toegepast om problemen in het Anammox proces te voorkomen, maar wordt er in drie van de tien installaties geen voorbehandeling toegepast.

De specifieke stikstofbelasting is per installatie verschillend en varieert tussen de 0,6 en 1,7 kg N/m³/dag. Het stikstofverwijderingsrendement varieert tussen de 68-95%. Het specifieke energieverbruik voor stikstofverwijdering varieert tussen de 0,6 en 1,9 kWh/kg N/dag. De prestaties van de onderzochte tien installaties zijn daarmee vergelijkbaar met literatuurgegevens van andere praktijkinstallaties.

Uit de enquête blijkt dat het doorgronden van het Anammox proces een behoorlijk kennisniveau vraagt en dat opleiding van het betrokken personeel van belang is. Hiervoor kan gebruik gemaakt worden van een speciale module "zuiveren met Anammox" bij Stichting Water Opleidingen. Tevens bestaat de mogelijkheid om bij de aanbiedende partij van een Anammox technologie te vragen naar een opleiding. Een tussenvariant kan zijn dat met de aanbiedende en vragende partij een afspraak maken om bij aanvang gezamenlijk de bedrijfsvoering uit te voeren.

De bediening van het proces is als niet complex beoordeeld. Dit wordt bevestigd in de opgegeven bedieningsuren. Deze zijn circa 1-2 uur per dag. Beveiligingsregelingen die op de achtergrond meedraaien kunnen als complex ervaren worden. De momenten waarop er verstoringen voorkomen worden als meest complex ervaren. Het oplossen ervan vraagt een diepgaand begrip van het proces.

Er wordt aanbevolen om een platform of werkgroep te vormen waarin kennis wordt uitgewisseld over Anammox systemen, omdat kennis een belangrijke rol speelt bij het zo goed mogelijk ontwerpen en instellen van installaties. Op dit vlak bestaat al een initiatief waarin waterschappen die een DEMON systeem hebben bij elkaar komen. Deze vorm zou verder uitgebreid kunnen worden met gebruikers van het Paques ANAMMOX systeem.

Tot slot zijn de volgende praktische aanbevelingen opgesteld:

- Bedrijf het proces met een zo constant mogelijke temperatuur binnen het gewenste bereik tussen de 30 en 40 graden Celsius. Hiermee worden problemen met activiteiten in het proces voorkomen;
- Houd in het ontwerp rekening met de mogelijkheid van schuimvorming in de reactor en implementeer maatregelen om dit te kunnen beheersen. Daarbij kan gedacht worden aan een hogere tankrand, een antischuimdosering of een sproei-installatie;
- Ontwerp de beluchtingscapaciteit niet te krap. Extra zuurstofinbreng is wenselijk, bijvoorbeeld in het geval van antischuimdosering of een hoge CZV inspoeling;
- Voorkom zoveel mogelijk zwevende stof in de aanvoer naar de installatie, want dit verstoort het proces. Een hoog gehalte aan zwevende stof heeft invloed op de slibselectie en de zuurstofinbrengcapaciteit. Optimalisatie van de slibontwateringsinstallatie en PE-dosering kan daarbij overwogen worden. Indien blijkt dat de inspoeling van zwevende stof toch te ongunstig is, kan een extra behandeling worden overwogen.

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 én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

GEBRUIKERSERVARINGEN MET DEMON® EN ANAMMOX® IN DEELSTROOMBEHANDELINGEN

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Doel	1
	1.2 Onderzoeksopzet	1
	1.3 Leeswijzer	2
2	ACHTERGROND	3
	2.1 Stikstofverwijdering	3
	2.2 Anaerobe Ammonium Oxidatie (Anammox)	4
	2.3 Invloedsfactoren op het Anammox proces	5
	2.4 Lachgas productie	8

3	ANAMMOX IN DE PRAKTIJK	9
3.1	DEMON® Technologie	9
3.2	ANAMMOX® Technologie	11
4	RESULTATEN INVENTARISATIE	12
4.1	Installatieoverzichten en operationele gegevens	12
4.2	Processturing	16
4.2.1	Online monitoring	16
4.2.2	Setpoints	16
4.3	Procesverstoringen	17
4.4	Overige Informatie	20
5	CONCLUSIES EN AANBEVELIGEN	22
	BIJLAGEN	24

1

INLEIDING

Met de ontwikkelingen van de energie- en grondstoffabriek is het aantal slibvergistinginstallaties de afgelopen jaren verder gegroeid. In het proces van slibverwerking ontstaat een rejectiestroom die zeer stikstofrijk is en welke niet in alle gevallen op de bestaande zuivering kan worden verwerkt. Dat zorgde voor de ontwikkeling van deelstroombehandelingen van het rejectiewater. Een type deelstroomtechnologie is die waarin de Anammox bacterie wordt toegepast. Deze technologieën behandelen de stikstofrijke stroom op zeer efficiënte wijze en met minder zuurstofverbruik en toevoeging van hulpstoffen dan andere deelstroomtechnieken. Bij de Nederlandse waterbeheerders zijn overwegend twee van deze technologieën geïmplementeerd: de ANAMMOX® technologie van Paques BV en de DEMON® technologie van SWECO.

Sinds de eerste full scale toepassing in 2002 op het slibbedrijf Sluisjesduik in bedrijf werd genomen, is het aantal full scale installaties met Anammox technologie en het aantal wetenschappelijke publicaties over de hele wereld sterk toegenomen. Zo ook bij de Nederlandse waterschappen die inmiddels meerjarige praktijkervaring opgedaan hebben met deze technologieën. Deze praktijkkennis is voor alle gebruikers en toekomstige gebruikers interessant en daarom is besloten om deze kennis middels een inventarisatie te bundelen en vrij beschikbaar te maken.

1.1 DOEL

Het doel van het project is het algemeen beschikbaar maken van de praktijkkennis van het toegepaste Anammox proces in deelstroomsystemen bij de Nederlandse waterschappen.

1.2 ONDERZOEKSOPZET

Voor het onderzoek is een enquête opgesteld die verspreid is onder de door de begeleidingscommissie geselecteerde waterbeheerders. In die selectie is als uitgangspunt gehanteerd om gebruikerservaringen met ééntraps Anammox systemen te inventariseren. De reden hiervoor is dat de procesuitvoering met een dubbele reactoren in principe niet meer als full scale installatie wordt toegepast.

De opgezette enquête is gericht op het verkrijgen van informatie met betrekking tot dimensionering en bedrijfservaring, waarmee vervolgens bestaande en nieuwe installaties optimaal gedimensioneerd en bedreven kunnen worden. Dit is vormgegeven door gerichte vragen te definiëren.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 worden de achtergronden van biologische stikstofverwijdering, stikstofverwijdering in het Anammox proces en invloedfactoren op het Anammox proces behandeld.

In hoofdstuk 3 worden de DEMON en het ANAMMOX systeem toegelicht en hoofdstuk 4 bevat de resultaten van de inventarisatie. De conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 5.

2

ACHTERGROND

In dit hoofdstuk worden achtergronden behandeld van biologische stikstofverwijdering, stikstofverwijdering in het Anammox proces en invloedfactoren op het Anammox proces.

Naast de informatie die in dit rapport is beschreven, is meer informatie over het Anammox proces te vinden in onder andere de volgende STOWA rapportages:

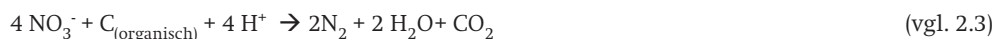
- Verwijdering van ammonium uit slibgistingwater met het Anammox-proces, 1996-21;
- Het gecombineerde Sharon/Anammox proces, een duurzame methode voor N verwijdering uit slibgistingwater, 2000-25;
- Sharon Anammox systemen, evaluatie rejectiewaterbehandeling op slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk, 2008-18;
- Toepassing van Anammox in de hoofdstroom van een rioolwaterzuivering, 2013-39.

2.1 STIKSTOFVERWIJDERING

De stikstofverwijdering uit huishoudelijk afvalwater is een belangrijke stap in het proces van de biologische afvalwaterbehandeling. Via de conventionele route wordt aerobe nitrificatie gecombineerd met anoxische omzetting van nitraat en koolstof naar stikstofgas. Deze route is bekend en wordt al jaren toegepast. Als eerste dient de nitrificatie plaats te vinden. Hierbij wordt in twee stappen door een kleine groep aerobe bacteriën ammonium omgezet in nitriet en vervolgens nitraat. Deze groep groeit normaal gesproken autotroof (CO_2 wordt gebruikt als koolstofbron) en heeft een lage groeisnelheid. Daardoor bestaat het actiefslib doorgaans maar voor een klein deel uit nitrificerende bacteriën. De reacties van deze stappen zijn weergegeven in de vergelijking 2.1 en 2.2.



De nitrificatie wordt gevolgd door de denitrificatie waarin het gevormde nitraat en nitriet door denitrificerende bacteriën worden omgezet naar stikstofgas. De groep bacteriën die dit proces laten verlopen hebben organisch koolstof (BZV) nodig voor groei (heterotroof). De reactievergelijking voor nitraat ziet er als volgt uit.



De voorgaande stappen verlopen binnen de randvoorwaarden dat er voor nitrificatie een voldoende hoge slibleeftijd heerst en dat er voldoende zuurstof aanwezig is. Denitrificatie kan plaatsvinden onder anoxische omstandigheden die bereikt kunnen worden door intermitterend te beluchten of circulatie van nitratrijk water naar anoxische ruimtes. Het zijn mede deze randvoorwaarden die bepalend zijn voor de uitgebreide omvang van rioolwaterzuiveringsinstallaties en het hoge energieverbruik.

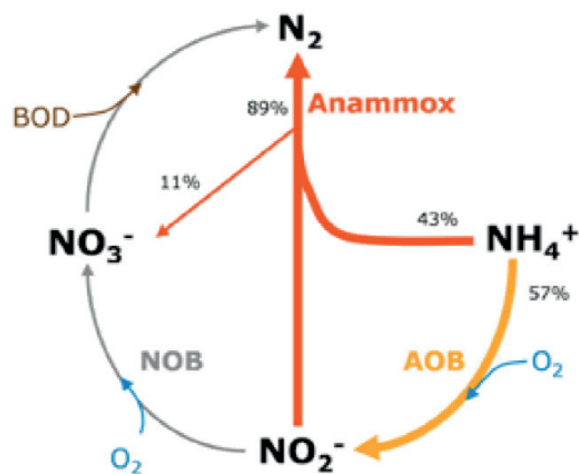
2.2 ANAEROBE AMMONIUM OXIDATIE (ANAMMOX)

In de afgelopen decennia is veel onderzoek verricht naar nieuwe routes voor biologische verwijdering van ammonium uit afvalwater. Daarin is het proces van **Anaerobe Ammonium Oxidatie** (Anammox) een belangrijke ontdekking geweest. In dit proces wordt door de Anammox bacterie onder anaerobe/anoxische condities ammonium en nitriet omgezet naar stikstofgas. Figuur 1 bevat een schematische weergave van de conventionele stikstofverwijdering route en de verkorte Anammox route.

De voordelen om stikstof te verwijderen via de Anammox route zijn:

1. een reductie in beluchtingsenergie die kan oplopen tot wel 60%;
 2. er is geen organisch koolstof (BZV) benodigd voor denitrificatie;
 3. minder restslibproductie, met name denitrificerend slib door de lagere yield van Anammox.
- Dit besparingspotentieel heeft er toe geleid dat veel wetenschappelijk- en praktijkonderzoek is verricht naar het Anammox proces en de ontwikkeling van full scale installaties.

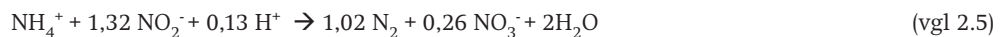
FIGUUR 1 CONVENTIONELE STIKSTOFVERWIJDERINGSROUTE EN VERKORTE DE ANAMMOX ROUTE (BRON STOWA 2013-39)



Het proces waarin met behulp van Anammox bacteriën ammonium wordt omgezet naar stikstofgas verloopt in twee stappen. De eerste stap is de partiële nitritatie. Hierbij wordt het ammonium onder invloed van het aanwezige zuurstof voor 50% omgezet naar nitriet. Deze reactie is in vergelijking 2.4 weergegeven. Voor deze stap zijn ammonium-oxiderende bacteriën (AOB's) benodigd welke overwegend van de stam *Nitrosomonas* zijn.



Stap twee wordt verzorgd door de Anammox bacteriën. De Anammox bacteriën zetten onder anaerobe condities het resterende ammonium tezamen met het gevormde nitriet om naar stikstofgas. Deze reactie is in vergelijking 2.5 weergegeven.



De omzetting van nitriet naar nitraat (vgl. 2.2) kan ook plaatsvinden door nitriet-oxiderende bacteriën (NOB's). Deze reactie kan onder dezelfde omstandigheden voorkomen, maar is ongewenst omdat dit ten koste gaat van de ammonium omzetting via de Anammox route. De full scale systemen zijn er op gericht om Anammox en AOB's in het proces te behouden en de ingroei van NOB's te onderdrukken. Daarbij spelen diverse factoren een rol, waaronder temperatuur, zuurstofgehalte en selectie van bacteriën gericht op verwijdering van NOB.

Voor AOB's geldt dat deze activiteit wordt geremd bij lage ammonium- en zuurstofconcentraties. In de competitie tussen AOB en NOB draait het om zuurstofaffiniteit. Het organisme met de hoogste affiniteit zal bij de laagste concentratie in het voordeel zijn. AOB's hebben een hogere zuurstof affiniteit dan NOB's¹ en dus een competitievoordeel bij lagere zuurstofconcentraties. Echter bij een te lage zuurstofconcentratie wordt de AOB activiteit en daarmee de vorming van nitriet gelimiteerd.

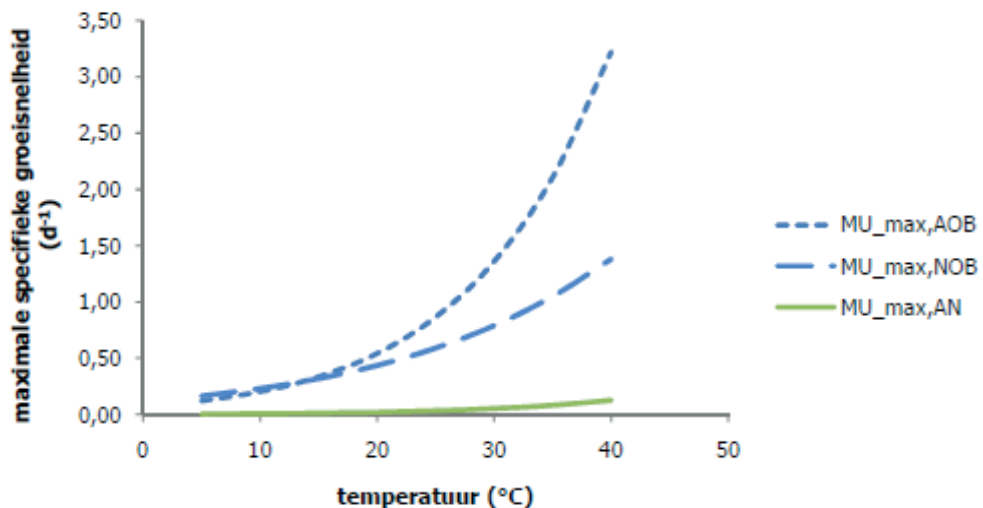
2.3 INVLOEDSFACTOREN OP HET ANAMMOX PROCES

In het Anammox proces zijn de AOB's en de Anammox de belangrijkste micro-organismen. Full scale systemen zijn dan ook zo ontworpen dat Anammox en AOB's behouden blijven en de groei van NOB's wordt onderdrukt. In deze paragraaf worden belangrijke factoren die van invloed kunnen zijn op het Anammox proces behandeld.

TEMPERATUUR

In Figuur 2 is de maximale specifieke groeisnelheid van Anammox, AOB en NOB weergegeven. De optimale temperatuur voor de Anammox bacteriën ligt in een de range tussen de 30 en 40°C. Bij temperaturen boven de 40°C zal er een (sterke) afname in activiteit optreden die onomkeerbaar kan zijn. Dit effect is niet weergegeven in Figuur 3 (sterk dalend bij $T > 40$). Bij een temperatuur beneden de 30 °C daalt de activiteit van Anammox snel naar hele lage groeisnelheden.

FIGUUR 2 MAXIMALE GROEISNELHEID ANAMMOX , AOB, EN NOB (CALLENS, J. 2011)



De maximale specifieke groeisnelheid van de AOB's en NOB's in de temperatuurrange tussen de 30 en 40 °C is in het voordeel van de AOB's. Op basis van de maximale specifieke groeisnelheid in deze temperatuurrange hebben de AOB's een betere concurrentiepositie dan de NOB's. Tevens hebben de Anammox bacteriën daar ook de hoogste groeisnelheden. Echter, de groeisnelheden van de Anammox bacteriën liggen veel lager dan die van AOB's en NOB's en vormt daarmee een uitdaging om deze in het systeem te behouden. In de full scale systemen zijn maatregelen getroffen om selectief NOB's te verwijderen en Anammox bacteriën in de reactoren te behouden. De optimale procestemperatuur ligt tussen 30-40 graden Celsius.

ZUURSTOF

Anammox bacteriën zijn strikt anaerobe organismen en bij zuurstofconcentraties ($>0,5$ mg/l) ontstaat remming in groei en activiteit. Remming veroorzaakt door de aanwezigheid van

1 STOWA 2013. Toepassing van Anammox in de hoofdstroom van een rioolwaterzuivering. STOWA, Amersfoort, Rapport 2013-39.

zuurstof is niet blijvend. Op het moment dat het systeem weer anoxisch wordt zal de activiteit weer herstellen. Dit gegeven maakt het mogelijk om het Anammox proces tezamen met de partiële nitritatie stap (gedeeltelijke omzetting van ammonium naar nitriet) te combineren in één reactor. Het grote voordeel hiervan is dat er maar één reactor gebouwd hoeft te worden. Een goede sturing op het zuurstofgehalte is van essentieel belang.

In de competitie tussen AOB en NOB is de affiniteit voor zuurstof een belangrijke parameter. Het organisme met de hoogste affiniteit zal bij lage zuurstofconcentraties in het voordeel zijn. In het STOWA rapport nummer 2013-19 is gerapporteerd dat bij een pH van 7,6 en een temperatuur van 19-23 °C de K_{O_2} voor AOB (0,033 mg O_2/l) meer dan tien keer zo laag is als die van NOB (0,43 mg O_2/l). Op basis van dit gegeven wordt geconcludeerd dat bij een zuurstofconcentratie van 0,4 mg/l de activiteit van AOB nauwelijks remt terwijl NOB activiteit halveert. Dit maakt het dat een lagere zuurstofconcentratie een competitie voordeel voor AOB's oplevert. De optimale zuurstofconcentratie is onbekend.

NITRIET

Een cruciale parameter in het Anammox proces is de nitrietconcentratie². Het nitriet wordt verkregen door de nitritatiestap en is een essentieel substraat in de conversie van het resterende ammonium naar stikstofgas. Tegelijkertijd remt de aanwezigheid van nitriet het proces. Dit onderwerp is veel onderzocht en in de literatuur worden hierover uiteenlopende bevindingen gerapporteerd welke ook tegenstrijdig kunnen zijn. Zoals over de hoogte van de nitrietconcentraties waarbij remming wordt waargenomen en of deze onomkeerbaar is of niet³. Zo beschrijft Strous⁴ een volledige remming bij nitrietconcentraties hoger dan 100 mg N/l, en beschrijft Depena-Mora⁵ een partiele remming van 50% bij nitrietconcentraties van 350 mg N/l. Een eenduidige verklaring voor de verschillende waarnemingen is er niet. In het algemeen worden deze toegeschreven aan verschillen tussen de experimenten. Daarbij kan onder gedacht worden aan biomassa-eigenschappen als morfologie, procescondities, hydraulische verblijftijd, zuurgraad, temperatuur en slibbelasting.

BICARBONAAT

Kooldioxide (CO_2) in de vorm van bicarbonaat (HCO_3^-) wordt door autotrofe micro-organismen gebruikt als substraat voor cel opbouw. Om te voorkomen dat groei wordt geremd dient er altijd voldoende HCO_3^- in de reactor aanwezig te zijn. Een richtlijn is dat bij een 1:1 mol verhouding tussen NH_4^+ en HCO_3^- in het influent er voldoende HCO_3^- aanwezig is voor groei. Onder normale omstandigheden wordt aan deze voorwaarden voldaan. Wanneer er bijvoorbeeld ijzerdosering in de sliblijn wordt toegepast zal dit anders zijn. Afhankelijk van situatie kan hiervoor worden gecompenseerd door CO_2/CO_3 toe te voegen. Bij de juiste pH zal dit dissociëren in HCO_3^- volgens het kalk-koolzuurevenwicht.

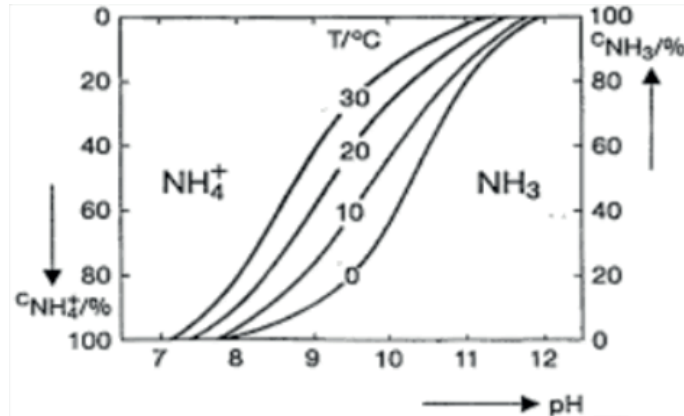
VRIJ AMMONIA

Remmingseffecten op Anammox bacteriën door ammonium komen pas voor bij enkele honderden milligrammen per liter. Het effect van ammonium remming wordt volgens meer-

- 2 Lackner, S., Gilbert, E. M., Vlaeminck, S. E., Joss, A., Horn, H., & van Loosdrecht, M. C. (2014). Full-scale partial nitritation/anammox experiences—an application survey. *Water research*, 55, 292-303.
- 3 Lotti, T. (2016). Developing Anammox for mainstream municipal wastewater treatment (Doctoral dissertation, TU Delft, Delft University of Technology).
- 4 Strous, M., Kuenen, J. G., & Jetten, M. S. (1999). Key physiology of anaerobic ammonium oxidation. *Applied and environmental microbiology*, 65(7), 3248-3250.
- 5 Dapena-Mora, A., Fernandez, I., Campos, J. L., Mosquera-Corral, A., Mendez, R., & Jetten, M. S. M. (2007). Evaluation of activity and inhibition effects on Anammox process by batch tests based on the nitrogen gas production. *Enzyme and Microbial Technology*, 40(4), 859-865.

dere onderzoekers niet zo zeer veroorzaakt door het ammonium zelf maar door vrij ammonia (NH_3)⁶. Het is daarom van belang om inzicht te hebben in het evenwicht tussen $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$. Het evenwicht tussen $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ is een chemische balans welke beïnvloed wordt door de temperatuur en de pH. In Figuur 3 is het evenwicht tussen NH_4^+ en NH_3 bij verschillende temperaturen en pH weergegeven. Bij een hogere pH zal het evenwicht richting de vrij ammonia verschuiven wat de groei en -activiteit van Anammox bacterie kan remmen. Praktisch gezien zal een te hoge pH niet snel voorkomen omdat de nitrificatie stap een verzurende reactie is, zie vgl 2.4. Het inkomende water heeft doorgaans een pH van kleiner dan 8 en een temperatuur rond de 30 graden, waardoor er hoofdzakelijk NH_4^+ in oplossing aanwezig zal zijn.

FIGUUR 3 EVENWICHT $\text{NH}_4^+ - \text{NH}_3$ BIJ VERSCHILLENDE TEMPERATUUR EN PH.



ALKALINITEIT

De alkaliniteit is de term die wordt gebruikt bij het duiden van het vermogen van een oplossing om zuur te neutraliseren. Een te kort aan alkaliniteit kan er toe leiden dat de het gevormde zuur bij de nitrificatie stap onvoldoende geneutraliseerd wordt, waardoor de pH van de oplossing daalt. Hierdoor kunnen de reacties geremd worden. Een oplossing is het doseren van loog om zodoende een hoge verwijderingsefficiëntie te behalen. Indien er bij een gebrek aan alkaliniteit geen loog wordt gedoseerd, zal het verwijderingsrendement worden bepaald door de beschikbare alkaliniteit in het afvalwater.

SULFIDE

In het slibgistingsproces kan aanwezig sulfaat gereduceerd worden naar sulfide dat via het centraat van de slibontwatering het Anammox proces kan bereiken. Van sulfide is bekend dat dit het proces kan verstoren. In praktijkomstandigheden zal dit waarschijnlijk niet tot problemen leiden, omdat er in het proces beluchting wordt toegepast. De aanwezige sulfide zal dan worden geoxideerd tot sulfaat.

FOSFAAT

De aanwezigheid van fosfaat is niet zo zeer een probleem voor de groei van Anammox bacteriën. Problemen door de aanwezigheid van fosfaat worden eerder veroorzaakt door de vorming van scaling in de vorm van struviet ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Struviet kan zich afzetten op installatieonderdelen als beluchtingselementen en leidingwerk en resulteert in verstoppingen.

6 M. J. Kampschreur, R. Poldermans, R. Kleerebezem, W. R. L. van der Star, R. Haarhuis, W. R. Abma, M. S. M. Jetten and M. C. M. van Loosdrecht (2009). Emission of nitrous oxide and nitric oxide from a full-scale single-stage nitrification-anammox reactor. Water Science & Technology—WST | 60.12 | 2009.

ORGANISCHE STOF

Hoge concentraties aan organische stof (CZV) in het influent kunnen het Anammox proces negatief beïnvloeden. Heterotrofen micro-organismen groeien sneller dan Anammox, waardoor de Anammox bacteriën kunnen worden overgroeid. Daarnaast werkt een te hoog CZV gehalte nadelig op de beschikbare zuurstofcapaciteit. Bij een te hoog CZV gehalte kan het voorkomen dat er geen zuurstof beschikbaar is voor de ammoniumoxidatie.

2.4 LACHGAS PRODUCTIE

Lachgas (N_2O) is een gas dat valt onder de broeikasgassen en is 300 keer sterker in de absorptie van infraroodstraling dan CO_2 . De lachgasvorming komt voor in zowel conventionele installaties als in deelstroombehandelingen en dus ook in het Anammox proces.

Over lachgasproductie in deelstroombehandelingsystemen met Anammox is nog niet veel bekend. In 2009 zijn er praktijkmetingen uitgevoerd op de ANAMMOX installatie op de RWZI Olburgen en de resultaten zijn gepubliceerd⁷. In het onderzoek kon de veronderstelling dat de productie van lachgas onder zuurstof limiterende omstandigheden toeneemt niet worden bevestigd. Op basis van de huidige kennis lijkt de lachgasemissie van het Anammox proces vergelijkbaar met de emissie uit conventionele stikstofverwijderingssystemen. Wel wordt in het onderzoek op de RWZI Olburgen gemeld dat verder onderzoek naar het gedrag van lachgasemissie wenselijk is, omdat de operationele omstandigheden zoals temperatuur en wisselende beluchtingsintensiteit de emissie sterk beïnvloeden. Zo werden er verhoogde concentraties lachgas gemeten in periodes dat er meer belucht werd. Verder is geconcludeerd dat overbeluchting resulteert in hogere lachgas emissies als gevolg van nitriet accumulatie.

3

ANAMMOX IN DE PRAKTIJK

In 2002 is de eerste full scale toepassing op het slibbedrijf Sluisjesduik in bedrijf genomen. Deze installatie behandelt het rejectiewater van het slibbedrijf in een combinatie van het SHARON®- en ANAMMOX® proces. Deze tweetrapsconfiguratie was ontwikkeld vanuit de gedachte om de nitritatie stap apart te controleren om remming op de Anammox bacteriën te voorkomen. Door voortschrijdend inzicht, waaruit bleek dat beide reacties ook in dezelfde reactor kunnen plaatsvinden, zijn de ééntrapsconfiguraties ontstaan. Hierin vinden zowel de nitritatie als de Anammox reactie plaats. De combinatie van beide stappen in één reactor biedt als groot voordeel dat voor het gehele proces minder ruimte benodigd is, waardoor investeringskosten lager worden. De meerderheid van de systemen worden nu als ééntrapsconfiguratie uitgevoerd.

Bij de Nederlandse waterbeheerders zijn overwegend twee systemen toegepast:

1. De DEMON® technologie, zowel in een batchgewijs als in continu proces;
2. De ANAMMOX® technologie, een continu proces gebaseerd op korrelslib.

De gebruikerservaringen van deze twee systemen zijn geïnventariseerd, en voor tien locaties in Nederland, wat beschreven staat in hoofdstuk vier.

3.1 DEMON® TECHNOLOGIE

In het DEMON® proces wordt partiële nitritatie gecombineerd met Anammox en gestuurd met een gepatenteerde pH-regeling. De DEMON® technologie kan als continu proces of als SBR (sequencing batch reactor) worden bedreven. Zowel de nitritatie als de Anammox reactie vinden in één reactor plaats.

FIGUUR 4

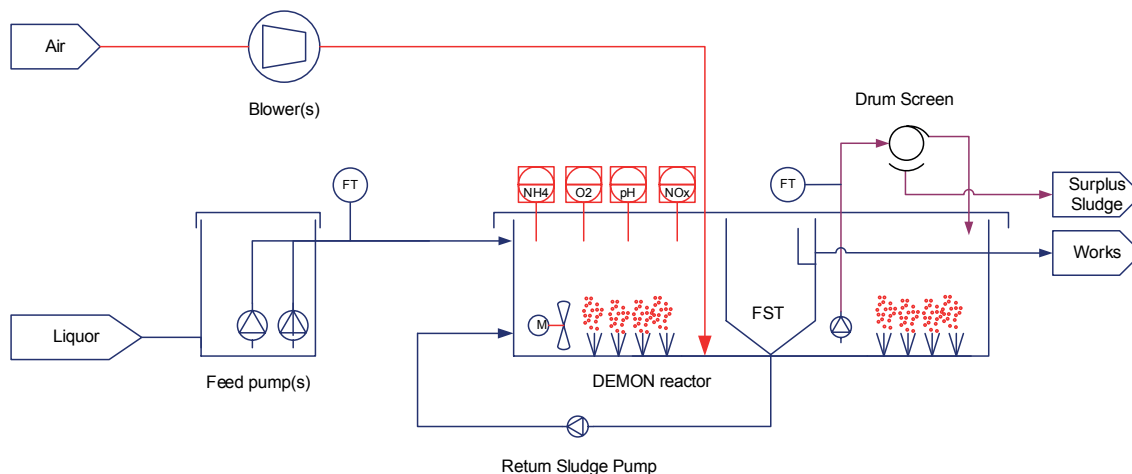
DEMON® INSTALLATIE RWZI NIEUWEGEIN



Figuur 5 is een schematische weergave van het DEMON® proces. In de reactor vinden de processen plaats bij een lage zuurstofconcentratie (circa 0,3 mg O₂/l). Hiermee wordt een competitievoordeel voor de AOB's gecreëerd en er wordt voorkomen dat NOB's kunnen

ingroeien in het slib. De eerste uitvoeringen van het DEMON® proces bevatten een hydrocycloon om bij het spuien van slib de traag groeiende Anammox bacteriën in het systeem in te houden. Deze bacteriën komen over het algemeen in de compactere (zwaardere) vlokken voor en kunnen dus op basis van dichtheidsverschillen worden afgescheiden van kleinere vlokvormige NOB's. Figuur 7 geeft een goed beeld van Anammox vlokken/korrels. Tegenwoordig wordt bij de DEMON® systemen een trommelzeef toegepast voor Anammox retentie. De slibwaterscheiding gebeurt bij een batchgewijs systeem in de reactor (bezink- en aflatfase) en bij een continu systeem worden bezinktanks of lamellenafscidders toegepast.

FIGUUR 5 SCHEMATISCHE WEERGAVE STANDAARD DEMON® CONTINU SYSTEEM (SWECO)



Het DEMON® proces wordt primair gestuurd op een pH-setpoint gecombineerd met een zuurstofsetpoint. Tijdens de beluchte periode daalt de pH als gevolg van verzuring tijdens de nitrificatie. Tijdens de onbeluchte periode zal de pH stijgen ten gevolge van het voeden van rejectiewater met een hoge(re) pH. De pH zal ook stijgen door de voeding met centraat tijdens de niet beluchte periodes. Afhankelijk van de uitvoering wordt het proces in batches of continue bedreven.

FIGUUR 6 ANAMMOX UIT EEN DEMON REACTOR, RWZI LAND VAN CUIJK



3.2 ANAMMOX® TECHNOLOGIE

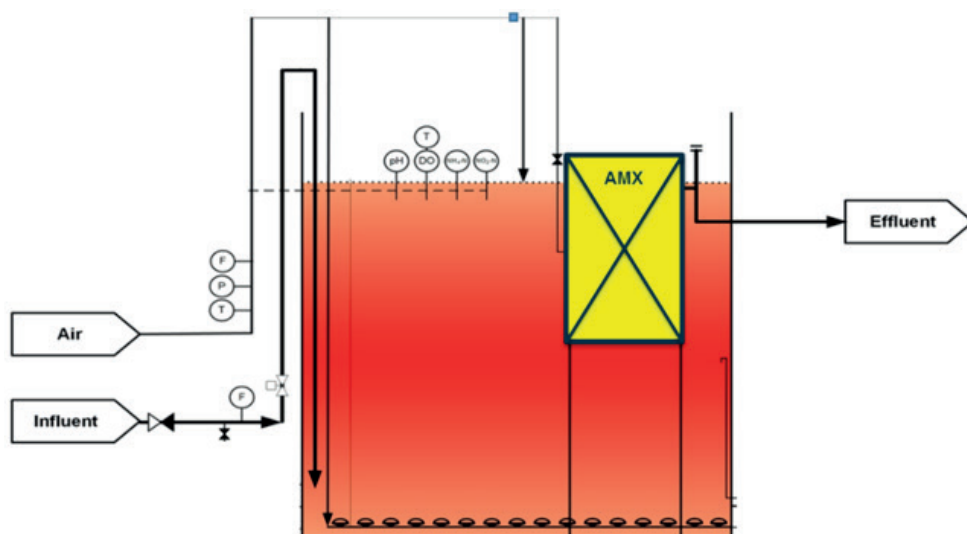
Het ANAMMOX® proces is een ééntraps continuproces gebaseerd op korrelslibtechnologie. In Figuur 8 is een schematische overzicht van het ANAMMOX® proces weergegeven. In de reactor bevindt zich korrelslib waar zowel de Anammox bacteriën als de AOB's in groeien, zoals schematisch weergegeven in Figuur 8. Doordat er sprake is van een zuurstofgradiënt over de korrel kunnen zowel de AOB's als de Anammox bacteriën gelijktijdig actief zijn. De AOB's bevinden zich aan de buitenkant van de korrel waar het zuurstof beschikbaar is. Het door de AOB's gevormde nitriet diffundeert tezamen met ammonium door de korrel heen. Dieper in de korrel, waar geen opgelost zuurstof meer aanwezig is, zal de Anammox bacterie het ammonium en nitriet omzetten naar stikstofgas. En dit gas diffundeert dan weer naar buiten de korrel.

FIGUUR 7 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN PROCESSEN IN DE ANAMMOX KORREL (BRON H2O-ONLINE / 15 SEPTEMBER 2016); RECHTS DE ANAMMOX INSTALLATIE BIJ WATERSTROMEN



Het geconcentreerde afvalwater wordt onderin de reactor, welke compleet gemengd is door continue belichting. Bovenin de reactor is een bezinkstelsel geplaatst wat er voor zorgt dat het korrelslib binnen het systeem blijft en ongewenste biomassa (lichter van aard) en zwevende stof kan uitspoelen. Het proces wordt gestuurd op basis van de zuurstof-, nitriet- en ammoniumconcentratie in de reactor. De reactor is compleet gemengd, dus de concentraties in de reactor zijn ook de concentraties in het effluent.

FIGUUR 8 SCHEMATISCHE WEERGAVE ANAMMOX® PROCES



4

RESULTATEN INVENTARISATIE

4.1 INSTALLATIEOVERZICHTEN EN OPERATIONELE GEGEVENS

Het hoofddoel van dit onderzoek is het inventariseren van de praktijkkennis van full scale Anammox installaties bij de Nederlandse waterschappen. Hiervoor zijn 10 installaties geïnventariseerd waarvan er vier zijn uitgevoerd als SBR, de overige installaties worden als continuproces bedreven. Drie van de onderzochte installaties zijn korrelslib systemen van het type ANAMMOX®. De andere zeven systemen zijn gebaseerd op vlokkig / gesuspendeerd slib en zijn DEMON® systemen. De informatie is gebaseerd op gegevens uit het jaar 2015. Uitzondering zijn de installaties van SNB, RWZI Olburgen en RWZI Tilburg. Deze informatie van SNB en RWZI Olburgen heeft betrekking op het jaar 2014. De Anammox installatie van de RWZI Tilburg was tijdens deze rapportage nog niet volledig operationeel. Voor deze installatie zijn in de verdere uitwerkingen in dit rapport de ontwerpgegevens gebruikt. Tabel 1 geeft een overzicht van kenmerken van de onderzochte installaties.

TABEL 1 KENMERKEN VAN 10 ONDERZOCHE INSTALLATIES (2015)

Bron	Eenheid	RWZI	RWZI land van	RWZI	RWZI	RWZI	RWZI Echten	SNB	RWZI	RWZI	RWZI
		Nieuwegein	Cuijk	Amersfoort *	Apeldoorn ****	Nieuwveen			Tilburg **	Zwolle	Olburgen
		Demon Centraat	Demon Centraat + percolaat	Demon Centraat	Demon Centraat	Demon Centraat	Demon Centraat	Demon Condensaat	Anammox Centraat+ ovl indikker	Anammox Centraat	Anammox Centraat+ effluent UASB
Aantal reactoren	#	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
Type proces (SBR, Continu)	-	SBR	Continu	Continu	SBR	Continu	SBR	SBR	Continu	Continu	Continu
Totaal Reactor volume (netto)	m ³	450	373	840	2.400	950	450	3.000		426	600
Gemiddelde volumetrische belasting	kg N/m ³ /dag	0,6	0,7	0,4	0,6	1,0	0,7	0,06	1,7	0,4	1,6
Hydraulische verblijftijd	d	1,8	1,8	1,3	2,7	2,0	1,6	13,0	0,4	1,2	0,21
Influentbuffervolume netto (indien aanwezig)	m ³	50	-	-	1.500	-	600	1.500	556	600	-
Droge stof gehalte	g/l	-	1,9	6	4	2,9	-	-	-	-	-
Totaal energieverbruik	kWh/jaar	43.081	155.527	*	328.500	252.743	28.884	-	96.500		-
Specifiek energieverbruik	kWh/kg N	0,9	1,7	-	0,6	1,6	1,0		1,5	1,2	1,9***
Gebruikte Chemicaliën	l/jaar	-	182 (nutriënten); 40 (anti-schuim); 240 (mierenzuur)	-	12.166 (anti-schuim)	-	140.000 (natronloog)	-	6.000 (nutriënten)	-	26.280 (nutriënten)
Gemiddeld aantal bedieningsuren	uur /d	-	2	2	1	2	2	-	1,5	-	-
Opstarttijd	d	nb	200	90	90	nb	>28	nb	nb	nb	180

* Installatie niet in bedrijf in 2015, thans weer in bedrijf.

** Gegevens uit het ontwerp. Installatie was nog niet operationeel ten tijde van de inventarisatie.

*** Energieverbruik niet gerapporteerd. Specifiek energieverbruik wel.

**** Apeldoorn heeft nu een continu Demon systeem

SNB kent een extreem lage belasting a.g.v. excessieve remming (toxiciteit in het afvalwater) en hoge BZV gehalten. Deze is niet langer als DEMON systeem in bedrijf maar als conventioneel systeem.

Van de onderzochte installaties bestaat de aanvoer naar de deelstroombehandelingen hoofdzakelijk uit centraat van slibverwerkingsinstallaties. Uitzonderingen zijn de installatie bij SNB waar een afvalstroom afkomstig van gaswassers en condensaat wordt behandeld, en de RWZI Olburgen waar ook effluent van een UASB (upflow anaerobic sludge blanket digestion) wordt verwerkt. De UASB verwijdert CZV uit afvalwater dat afkomstig is van de aardappelindustrie. Alle installaties hebben een enkelvoudige reactor, waarbij de meeste installaties voorzien zijn van een influentbuffer. Een influentbuffer biedt als voordeel dat wisselingen in samenstelling worden afgevlakt waardoor het proces constanter kan worden bedreven.

VOLUMETRISCHE BELASTING

De volumetrische belasting voor de DEMON® systemen varieert in de praktijk van 0,1 tot 0,7 kg N/m³/dag. Bij de ANAMMOX® systemen varieert deze tussen de 0,1 en 1,7 kg N/m³/d. De variaties in volumetrische belastingen kunnen op verschillende manieren tot stand zijn gekomen. Uit de inventarisatie zijn de verschillen in volumetrische belasting echter niet te herleiden

naar ontwerpkeuzes. Zo zijn er installaties die in een bestaande tank zijn ingebouwd zoals bij de RWZI Zwolle en Nieuwveer, met als gevolg een daaruit voortkomende volumetrische belasting.

In het algemeen wordt het DEMON® proces lager belast dan het ANAMMOX®. Dit is o.a. te relateren aan de verschillen in de wijze waarop het proces wordt belucht (continu vs discontinu) en slibbezingeigenschappen. Het korrelslib in het ANAMMOX® proces heeft zeer goede bezingeigenschappen, waardoor het mogelijk wordt om hoge slibconcentraties in de reactor te handhaven en daardoor meer stikstof per m³ reactorinhoud kan worden gehanteerd.

SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK

Het specifieke energieverbruik voor stikstofverwijdering varieert per installatie tussen de 0,6 en 1,9 kWh/kg N. Deze waarden liggen in lijn met in wetenschappelijk publicaties gerapporteerde specifieke energieverbruiken van 0,8 en 2,0 kWh/kg N. Op de RWZI Ingolstad⁽²⁾ zijn er twee systemen operationeel als deelstroombehandeling. Dit zijn 1) een conventioneel stikstofverwijderingsproces en 2) een SBR Anammox. Het energieverbruik van het conventionele systeem ligt op circa 4 kWh/kg N en van de SBR Anammox 1,9 kWh/kg N. Op deze locatie wordt het besparingspotentieel op energie in de praktijk bevestigd. De Anammox SBR bespaart tenminste 50% op energie ten opzichte van het conventionele systeem.

CHEMICALIËN

Chemicaliën worden wisselend toegepast. Nutriënttoevoeging is gericht op het in balans brengen van substraat in het afvalwater, zodat de groei van bacteriën niet gelimiteerd wordt. Voor de toevoeging van natronloog is gerapporteerd dat dit wordt ingezet voor de compensatie van alkaliniteit. Anti-schuim producten hebben als invloed dat vorming van schuim door beluchting wordt verminderd. Een aandachtspunt hierbij is dat het anti-schuim de alfa-factor van het water verlaagt. Afhankelijk van de geïnstalleerde zuurstofcapaciteit zou het gebruik van anti-schuim kunnen leiden tot een tekort in de zuurstoftoevoer.

OPSTARTTIJD

De gerapporteerde opstarttijd is wisselend en is niet eenduidig te verklaren. Installaties die zelf een Anammox populatie moeten opbouwen zullen meer tijd nodig hebben voor de opstart dan installaties waarvoor entslib beschikbaar is. Door de trage groei van Anammox bacteriën kan beschikbaarheid van entslib de opstarttijd aanzienlijk verkorten.

INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING

Tabel 2 bevat een overzicht van influent- en effluentsamenstelling en stikstofverwijderingsrendementen van de onderzochte installaties. Meer details over de influent- en effluentsamenstelling zijn terug te vinden in de bijlagen. Het ammonium in het influent varieert tussen de 300 en 1.700 mg/l, het gemiddelde komt uit op rond de 1.000 mg N/l. De ammonium effluentconcentraties lopen sterk uiteen van 15 mg N/l tot bijna 400 mg N/l. Hogere ammonium waarden in het effluent van de deelstroombehandeling zijn ongewenst, maar leiden meestal niet tot acute problemen. Het effluent van deelstroombehandelingsinstallaties wordt veelal teruggevoerd naar het influent van de RWZI waar het resterende ammonium wordt omgezet in de hoofdlijn. De beschikbare verwerkingscapaciteit van de hoofdzuivering is daarbij een aandachtspunt. Indien deze beperkt is, zou dit kunnen leiden tot problemen bij het behalen van de effluenteisen van de RWZI.

TABEL 2 INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING EN STIKSTOFVERWIJDERINGSRENDEMENTEN VAN ALLE ONDERZOCHE INSTALLATIES (2015)

Installatie	Influentsamenstelling			Effluentsamenstelling					N-rendement	
	NH ₄ -N mg/l	CZV mg/l	PO ₄ -P mg/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	CZV mg/l	PO ₄ -P mg/l	NH ₄ -N	NH ₄ -N + NO _x -N
RWZI Nieuwegein	806	-	-	256	34,6	3	187	-	68%	64%
RWZI Land van Cuijk	807	879	43	126	82	10	687	-	84%	73%
RWZI Amersfoort*	511	547	-	-	-	-	-	-	-	-
RWZI Apeldoorn	1701	2043	-	180	50	5	-	-	89%	86%
RWZI Nieuwveer	1077	1191	-	158	70	8	1067	-	85%	78%
RWZI Echten	1226	-	-	378	-	-	-	-	69%	-
SNB	800	2672	-	204	32	17,8	1008	-	75%	68%
RWZI Tilburg**	600	892	7,1	25	69	15	573	-	96%	82%
RWZI Zwolle	1000	-	-	250	10	5	-	-	75%	74%
RWZI Olburgen	300	300	12	15	26	10	150	<15	95%	83%

* Geen operationele gegevens beschikbaar van 2015

** Gebaseerd op ontwerpgegevens

Influentgegevens van zwevende stof en fosfaat zijn beperkt gerapporteerd. Dit terwijl influentpieken van zwevende stof een sterk negatief effect op het proces kunnen hebben. Ook de aanwezigheid van fosfaat kan leiden tot problemen in de vorm van scaling (struviet) in de installatieonderdelen. Om problemen te voorkomen zijn veel installaties uitgerust met een (voor)behandeling. Tabel 3 geeft een overzicht van de toegepaste voorbehandelingen.

TABEL 3 OVERZICHT VAN INSTALLATIES MET EEN VOORBEHANDELINGEN

Installatie	Type voorbehandeling		Doel
RWZI Nieuwegein	Demon	Struviet reactor t.b.v. fosfaat verwijdering	Scaling preventie
RWZI Land van Cuijk	Demon	Struviet reactor t.b.v. fosfaat verwijdering	Scaling preventie, productie struviet t.b.v. grondstof
RWZI Amersfoort	Demon	Salsness filter	Preventie inspoelen slib
RWZI Apeldoorn	Demon	Bezinktank/Buffer	Voeding SBR/ Bijvangst zwevende stof afvang
RWZI Echten	Demon	Natronloog dosering	pH correctie
RWZI Zwolle	Anammox	Bezinktank/Buffer	Afvlakking fluctuaties
RWZI Olburgen	Anammox	UASB voor CZV verwijdering en Phospaq t.b.v. fosfaat verwijdering	Scaling preventie, sturing CZV/N verhouding
RWZI Tilburg	Anammox	Phospaq en Astraseparator	Scaling preventie en zwevende stof afvang

Het stikstofverwijderingsrendement (Tabel 2) is weergegeven voor ammonium en voor de som van ammonium, nitriet en nitraat. Het verwijderingsrendement voor NH₄-N varieert tussen de 68-95% en voor NH₄-N/NO_x varieert deze tussen 64-84%. De verwijderingsrendementen zijn per installatie uniek en kunnen niet onderling vergeleken worden. Operationele factoren als storingen en bijvoorbeeld een lage stikstofbelasting of een ongunstige alkaliniteit kunnen een groot effect op de gerealiseerde prestaties hebben.

4.2 PROCESSTURING

4.2.1 ONLINE MONITORING

Online monitoring en control is een belangrijk aspect in de besturing van het proces. Het doel van de 'proces control' is het verschaffen van een betrouwbaar middel waarmee het proces

automatisch bestuurd wordt en de operator in staat stelt dit te beoordelen en waar nodig bij te sturen. In paragraaf 3 is op hoofdlijnen beschreven hoe de geïnventariseerde systemen bestuurd worden. Tabel 4 geeft een overzicht van toegepaste online metingen.

TABEL 4 ONLINE METINGEN VOOR PROCESSTURING EN MONITORING

	RWZI Nieuwegein	RWZI land van Cuijk	RWZI Apeldoorn	RWZI Nieuwveer	RWZI Echten	SNB	RWZI Tilburg	RWZI Zwolle	RWZI Olburgen
Operationele parameters	Demon	Demon	SBR Demon	Demon	Demon	Demon	Anammox	Anammox	Anammox
O ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Zuurgraad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NH ₄	0	0	X	X	X	-	0	-	X
NO ₂	0	X	X	X	X	-	0	0	X
NO ₃	X	X	X	X	X	-	-	-	-
Redox	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Temperatuur	X	X	X	X	X	-	-	X	X
Droge stof	-	-	-	-	-	-	-	-	-

0: online meting voor processturing

X : online meting geen setpoint

- : meting niet aanwezig

De combinatie van complexe biologische processen zorgt er voor dat er een behoefte is aan meerdere online metingen. Binnen het scala aan toegepaste metingen zijn het de zuurgraad (pH) en zuurstofmeting die het meest worden toegepast voor de primaire processturing. De toepassing van deze metingen is terug te leiden naar de regelstrategieën die het DEMON® en ANAMMOX® proces gebruiken. Om het verloop van het proces verder te monitoren worden vaak meerdere metingen geïnstalleerd. Deze aanvullende metingen hebben dan veelal een functie als signaleringsparameters en eventueel voor aansturing van secundaire regelingen die het proces beveiligen. Alle DEMON's kennen in essentie dezelfde procesregeling. Daarbij wordt gestuurd op pH en O₂. Alle overige sensoren zijn ter beveiliging en monitoring. Daar zitten wel setpoints/schakelpunten aan om binnen de normale bedrijfsvoering variaties op te kunnen vangen zonder dat dit direct alarmen geeft. De verschillen in tabel 4 binnen de DEMON groep zijn dus als gevolg van interpretaties van de operators.

4.2.2 SETPOINTS

In het algemeen worden de installaties licht zuur en zuurstof gelimiteerd bedreven (Tabel 5). Deze bedrijfsvoeringstrategie is gericht op het onderdrukken van NOB's. Voeding in de DEMON wordt geregeld op basis van het aanbod. De beluchting wordt geregeld op basis van de pH en op zuurstofconcentratie. Daarbij volgt de beluchting (intensiteit en frequentie) de belasting van het systeem waarmee variaties in aanvoer opgevangen worden.

TABEL 5 OVERZICHT VAN GEHANTEERDE SETPOINTS VOOR ZUURSTOF EN PH

Setpoints		O ₂	pH
Installatie		mg/l	-
RWZI Nieuwegein	Demon	0,3	6,5
RWZI land van Cuijk	Demon	0,5	6,9
RWZI Apeldoorn	SBR Demon	0,35	6,7
RWZI Nieuwveer	Demon	0,3	6,6
RWZI Echten	Demon	0,3	6,65
SNB	Demon	-	-
RWZI Tilburg*	Anammox	-	-
RWZI Zwolle	Anammox	-	6,9-6,7
RWZI Olburgen	Anammox	-	7,5-8,0

*nog niet operationeel tijdens onderzoek

4.3 PROCESVERSTORINGEN

In deze paragraaf zijn procesverstoringen die in het proces kunnen voorkomen en welke kritisch zijn voor de bedrijfsvoering weergegeven. Tabel 6 bevat een overzicht van de geïnventariseerde procesverstoringen, de waargenomen effecten en de in praktijk toegepaste herstelacties. De locatie specifieke storingen zijn terug te vinden in de specifiek locatie bijlage.

TABEL 6 VOORKOMENDE PROCESVERSTORINGEN, IMPACT OP HET PROCES EN HERSTELACTIES

Verstoring	Gerapporteerd door % van onderzochte installaties	Impact van verstoring	Effecten/ Waarnemingen	Herstelacties
	%	Dagen		
Sterke verandering in pH	70%	1-7	Oplopende zuurstofconcentratie Afname rendement Oplopende NH ₄ -concentratie	Verminderen voeding Natronloog dosering
Hoge proces-temperatuur	70%	10-14	Verminderde capaciteit Schuimvorming	Indien mogelijk temperatuur van voeding verlagen. Doseren van anti-schuim middelen Verminderen voeding
Lage proces-temperatuur	70%	10-14	Afsterving nitrificeerders, hoog NH ₄ in effluent Daling van activiteit Schuimvorming Hoog nitraat in effluent	Huurketel ingezet; isoleren en afdekken Antischuim toevoegen Andere manier beluchten; Korter en vaker
Hoog zwevende stof in influent	50%	3-7	Schuimvorming O ₂ setpoint niet gehaald Toename slib in reactor	Extra spuien Mogelijk
Doorslag PE uit slibontwatering	50%	0-2	Schuimvorming	Ontwatering optimaliseren PE goed afstellen op ontwatering en Demon vullen met filtraat Geen filtraat meer naar Demon
NH ₄ ⁺ accumulatie	70%	1-3	Activiteit vermindering	Verminderen voeding of stopzetten. Beluchting verhogen Spuislib hoeveelheid verminderen Slib enten
NO ₂ ⁻ accumulatie	20%	7	Hoog NO ₂ in reactor en effluent	Verminderen beluchting Verminderen voeding

Verstoring	Gerapporteerd door % van onderzochte installaties	Impact van verstoring Dagen	Effecten/ Waarnemingen	Herstelacties
NO ₃ ⁻ accumulatie	50%	3-14	Hoge NO ₃ ⁻ concentratie in het effluent	Verhogen slibspui, NOB's verwijderen. Anammox activiteit blijven monitoren. Zuurstof setpoint verlagen; minder beluchten Vergroten anoxische periodes. Dit verlaagt NO ₃ ⁻ maar lost mogelijk het probleem (NOB's) niet op.
Scaling	30%	3-7	Verstopping van installatie onderdelen (leidingwerk, beluchtingselementen)	Struviet verwijderen, structurele maatregelen treffen.
Overmatige slibuitspoeling	30%	7-30	Vermindering van capaciteit, onvoldoende NH ₄ omzetting. Veranderende bezinkeigenschappen.	Aanpassing aan leiding naar lamellen separator Minder spuien Voeding verlagen Goed technisch ontwerp voor slibretentie Entslib toevoegen
Schuimvorming	80%	1-2	Schuim over de rand van de tank Batchgrootte wordt niet gehaald	Antischuim toevoegen Influent wordt bovenop reactoroppervlak gespreid Controleer PE dosering op slibontwateringsinstallatie
Geuremissie	20%	-	-	-

PH

Een sterke verandering in pH wordt in 67% van de onderzochte installaties gerapporteerd als storing die duidelijk effect heeft op de effluentkwaliteit. In het geval van een lage pH (<6,8) kan het ammonium in het effluent gaan oplopen. Dit kan verholpen worden door natronloog toe te voegen. Een hoge pH (>8) kan leiden tot activiteitsverlies van Anammox bacteriën. Deze situatie is niet voorgekomen op de onderzochte installaties. Om dit type storing tijdig te kunnen waarnemen is het noodzakelijk om een goedwerkende pH meter in het systeem te installeren en deze regelmatig te controleren.

TEMPERATUUR

Door omzettingsreacties komt thermische energie vrij en neemt de temperatuur in de reactor toe. De heersende temperatuur is sterkbepalend voor de prestaties van het proces. Een te hoge temperatuur (>40°C) kan er toe leiden dat omzettingsprocessen stil vallen. Een beheersmaatregel zou kunnen zijn om tijdelijk te koelen met een andere op de installatie beschikbare stroom met een laag gehalte aan zwevende stof en CZV, bijvoorbeeld effluent van de waterlijn. Bij lagere temperaturen (<20°C) neemt de activiteit van AOB's en Anammox bacteriën af en loopt het ammoniumgehalte in het effluent op. Voor deze situatie wordt als beheersmaatregel voorgesteld om het proces intermitterend te gaan beluchten en de voeding naar het proces te verlagen. In het DEMON® proces wordt al intermitterend belucht, voor deze installaties lijkt het verlagen van de voeding een goede optie.

DOORSLAG ZWEVENDE STOF

Bij slibontwateringsinstallaties kan het voorkomen dat grote hoeveelheden zwevende stof doorslaan naar het centraat en in de deelstroombehandelingsinstallatie terecht komen. Dit probleem is voorgekomen op 50 % van de onderzochte installaties. Dit probleem kan bijvoorbeeld ontstaan doordat bij de opstart van centrifuges het eerste centraat een hoog gehalte aan

zwevende stof bevat. Een oplossing hiervoor is het eerste centraat af te voeren via een bypass. Het effect van een hogere zwevende stof doorslag kan zijn dat het zuurstofsetpoint niet meer wordt gehaald. Daarbij is schuimvorming en een toenemend droge stof gehalte in de reactor waargenomen. Als beheersmaatregel wordt er meer slib in de vorm van zwevende stof gespuid. Bij ANAMMOX® systemen kan eventueel de aanvoer tijdelijk verhoogd worden, zodat er meer slib uitspoelt. Bij zeer hoge zwevend stof worden ook Anammox bacteriën gespuid wat ongewenst is, door hun lage groeisnelheid.

OPBOUW VAN AMMONIUM

De opbouw van ammonium is op veel installaties voorgekomen (67%) maar is vaak kort van duur (1-3 dagen). Ammoniumopbouw zou kritisch kunnen worden als concentraties boven de 200 mg N/l uitkomen, de pH ongunstig is (>7,6) met een temperatuur van boven de 35°C. Onder deze omstandigheden kan activiteit verlies door vrij ammonia ontstaan, zie paragraaf 2.3. Gezien installaties normaliter onder licht zure condities worden bedreven, zal dit in praktijk niet snel voorkomen. Mocht opbouw van ammonium in de praktijk voorkomen dan kunnen de volgende maatregelen worden toegepast:

- verminderen of stopzetten van de voeding;
- verhogen van de beluchting;
- beperken van spuislibhoeveelheden;
- enten van slib uit de hoofdzuivering voor de aanvoer van nieuwe nitrificeerders.

NITRIETACCUMULATIE

Nitrietaccumulatie kan veroorzaakt worden door een verstoring in de Anammox populatie of een overcapaciteit aan AOB's. Vooral tijdens een opstartfase kan dit voorkomen. AOB's groeien sneller dan Anammox bacteriën die uiteindelijk zelf geremd kunnen worden door nitriet. Binnen de onderzochte installaties komt dit probleem niet veel voor (17% van installaties). De beheersmaatregelen zijn gericht op het voorkomen van verdere vorming van nitriet. Daartoe worden de beluchting en de voeding verlaagd.

Opbouw van nitraat is in 50% van de onderzochte installatie voorgekomen. Dit wordt veroorzaakt door overmatige ingroei van NOB's. De hoofdreden hiervoor is meestal overbeluchting in het proces. Afhankelijk van de snelheid waarmee NOB's kunnen worden verwijderd uit het proces kan deze verstoring 3 tot 14 dagen aanhouden. Beheersmaatregelen zijn het verlagen van het zuurstofsetpoint en verhogen van de slibspui. Eventueel kunnen anoxische periodes worden vergroot. Daarmee wordt het nitraat wel verlaagd, maar blijven de NOB's aanwezig. Daarmee is dit geen structurele oplossing.

SCALING

Scaling is onder andere in de paragraaf 2.3 aan de orde gekomen. In onderdelen van de installatie kan zich struviet gaan afzetten. Dit leidt tot verstoppingen van leidingwerk, pompen of beluchtingselementen. Om dit te voorkomen is dit onderwerp al van belang op het moment dat de installatie ontworpen wordt. Dan moet al bekend zijn wat de scalingspotentie van het te behandelen water is. Indien noodzakelijk kunnen dan passende maatregelen worden genomen, bijvoorbeeld door een struvietreactor te plaatsen voor de Anammox installatie.

SLIBUITSPOELING

Slibuitspoeling uit de deelstroombehandeling is een verstoring die wordt toegeschreven aan het ontwerp van het slibretentiesysteem en om het probleem op te lossen moeten er vaak aanpassingen aan de installatie worden verricht. Daarom heeft dit type verstoring een grote

impact op het systeem. Om dit te voorkomen, moet men al goed stil staan bij het ontwerp van het slibretentiesysteem. Wanneer het probleem eenmaal voorkomt kan, totdat de juist aanpassingen zijn doorgevoerd, de hydraulische belasting verlaagd worden. Tevens dient de slibspui hoeveelheid goed in de gaten gehouden te worden, zodat er geen onnodig extra slibverlies ontstaat.

SCHUIM

Schuimvorming komt op bijna alle installaties voor. Om dit probleem te bestrijden worden o.a. antischuimmiddelen ingezet. Binnen SBR systemen kan het overlopen van schuim uit de reactor voorkomen worden door de batch volumes te verkleinen. Nadeel hierbij is dat de verwerkingscapaciteit afneemt. Een algemeen aandachtspunt bij het gebruik van antischuim is de verlaging van de alfafactor. Een verlaging van de alfafactor beïnvloedt de zuurstofoverdracht en kan leiden tot een tekort aan zuurstof voor de biomassa. Dit kan voorkomen worden door het gebruik van antischuim mee te nemen in het ontwerp van de beluchtingsinstallatie.

FIGUUR 9 PROBLEMEN MET SCHUIMVORMING DEMON INSTALLATIE LAND VAN CUIJK



STANKOVERLAST

Geuremissie ofwel stankoverlast is opgegeven als verstoring. Voor installaties die in een dicht bebouwde omgeving staan kan dit mogelijk tot problemen leiden. Op basis van de huidige informatie kan geen algemene beheersmaatregel worden aangereikt. Indien noodzakelijk kan overwogen worden om een open reactor af te dekken en te voorzien van een luchtbehandelingsinstallatie.

4.4 OVERIGE INFORMATIE

Naast alle punten die zijn benoemd onder procesverstoringen zijn er in de enquête nog andere aspecten geïdentificeerd die van belang kunnen zijn voor de bedrijfsvoering, in het ontwerptraject of in de voorbereiding daarvan. Zo zijn er diverse vragen voorgelegd die gericht zijn op de complexiteit van de systemen, het vereiste kennisniveau van operators en tips voor toekomstige gebruikers.

Het proces wordt in zijn algemeenheid als redelijk complex beoordeeld. Goede inhoudelijke kennis van alle biologische processen die zich afspelen in de deelstroombehandeling wordt als randvoorwaarde genoemd, zodat men op de juiste wijze kan reageren in geval van afwijkingen. Een andere reden voor de benoemde complexiteit wordt toegeschreven aan nevenregelingen die het systeem op de rails dienen te houden. Verder wordt aangegeven dat de bediening van de processen niet complex is, maar als er problemen zijn wordt het lastig bevonden om de juiste procesinstellingen te bepalen. Het kennisniveau voor besturing van

het systeem wordt ingeschat op MBO 4 aangevuld met UTAZ en specifieke kennis van het Anammox proces.

De keuze voor het type proces, ANAMMOX® of DEMON®, wordt veelal bepaald door de partij aan wie de opdracht gegund wordt in een aanbesteding. In een enkel geval heeft het waterschap een specifiek proces voorgeschreven.

Op de vraag of er aanpassingen zijn verricht aan de installatie na oplevering zijn de volgende punten benoemd:

- Isolatie aanbrengen op natronloog doseerleiding;
- Installatie van voorzieningen om schuimoverlast te beperken;
- Aanpassing aan de toevoerleiding naar de lamellenafscheider. Er was sprake van te veel luchtdoorslag waardoor slib ging drijven en uitspoelen. Verbreding van de leiding en een stijgbuis waardoor lucht kan ontsnappen zijn naderhand gerealiseerd;
- Installatie met overcapaciteit in de blowerinstallatie werkt suboptimaal. Er wordt overwogen om kleinere blowers te installeren.

Tot slot geven nagenoeg alle benaderde waterschappen aan dat het zeer zinvol is om elkaar op te zoeken en meer praktijkervaringen met elkaar te gaan delen. Zo is er door een aantal waterschappen een DEMON® kennisplatform opgezet waarin ervaringen worden uitgewisseld. Een goed initiatief dat naar een volgend niveau kan worden gebracht waarin waterschappen met andere systemen ook kunnen aanschuiven.

5

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Door het uitvoeren van deze inventarisatie is er een overzicht gemaakt van Anammox processen bij de Nederlandse waterschappen en de praktijkkennis en -ervaring die daarmee de afgelopen jaren is opgedaan. In dit rapport wordt duidelijk dat de geïmplementeerde technologieën voor behandeling van stikstofrijk afvalwater met behulp van de Anammox bacterie succesvol zijn toegepast.

De geïnventariseerde systemen behalen stikstofverwijderingsrendementen die variëren tussen de 68% en 95%. Het specifieke energieverbruik voor stikstofverwijdering varieert tussen de 0,6 en 1,9 kWh/kg N. Daarmee wordt bevestigd dat het toepassen van een Anammox proces als deelstroombehandeling een energiebesparingspotentieel van tenminste 50% heeft.

Uit de inventarisatie wordt geconcludeerd dat locatie specifieke omstandigheden een belangrijke rol spelen in de uitvoering van de verschillende systemen en de prestaties. Zo worden er verschillende types van voorbehandeling toegepast om problemen in het Anammox proces te voorkomen.

Uit de enquête blijkt dat het doorgronden van het Anammox proces een behoorlijk kennisniveau vraagt en dat opleiding van bedienend personeel dus van belang is. Zo wordt er bij stichting wateropleidingen een speciale module zuiveren met Anammox aangeboden. Tevens bestaat de mogelijkheid om bij de aanbieder partij te vragen naar een opleiding op operator- en technologenniveau. En er kan met de bedrijven ook een afspraak gemaakt worden om bij aanvang gezamenlijk de bedrijfsvoering uit te voeren.

De bediening van het proces is als niet complex beoordeeld. Dit wordt ook duidelijk uit de opgegeven bedieningsuren, circa 1-2 uur per dag. Beveiligingsregelingen die op de achtergrond mee draaien kunnen als complex ervaren worden. De momenten waarop er verstoringen voorkomen worden als meest complex gezien. Het oplossen ervan vraagt een diepgaand begrip van het proces. Het hoofdstuk procesverstoring bevat waardevolle informatie die kan bijdragen aan het oplossen van problemen.

Omdat kennis een belangrijke rol speelt bij het zo goed mogelijk ontwerpen en instellen van installaties wordt aanbevolen om een platform of werkgroep te vormen waarin op operationeel niveau kennis wordt uitgewisseld over Anammox systemen. Op dit vlak bestaat al een initiatief waarin waterschappen die een DEMON systeem hebben bij elkaar komen. Deze vorm zou verder uitgebreid kunnen worden met gebruikers van het Paques ANAMMOX systeem.

Tot slot zijn de volgende praktische aanbevelingen opgesteld:

- Bedrijf het proces met een zo constant mogelijke temperatuur binnen het gewenste bereik tussen de 30 en 40 graden Celsius. Hiermee worden problemen met activiteiten in het proces voorkomen;
- Houd in het ontwerp rekening met de mogelijkheid van schuimvorming in de reactor en

implementeer maatregelen om dit te kunnen beheersen. Daarbij kan gedacht worden aan een hogere tankrand, een antischuimdosering of een sproei-installatie;

- Ontwerp de beluchtingscapaciteit niet te scherp. Extra zuurstofinbreng is wenselijk, bijvoorbeeld in het geval van antischuimdosering of een hoge CZV inspoeling;
- Voorkom zoveel mogelijk inspoeling van zwevende stof, dit verstoort het proces. Een hoog gehalte aan zwevende stof heeft invloed op de slibselectie en de zuurstofinbrengcapaciteit.
- Optimalisatie van de slibontwateringsinstallatie en PE-dosering kan daarbij overwogen worden. Indien blijkt dat de inspoeling van zwevende stof toch te ongunstig is kan een extra behandeling worden overwogen.

BIJLAGE

Aangereikte informatie mbt procesverstoringen weergegeven per installatie.

RWZI AMERSFOORT

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH	ja		dit heeft te maken met OC	teruglopend rendement	middel	minder voeding	direct
Lage / hoge temperatuur	ja		te veel voeding slechte ontwatering	afsterving AOB ophoping ds, vermindering a-factor	hoog	minder voeding	14
Hoog TSS in influent	ja			nauwelijks	middel	slib spuien	7
Doorslag PE uit slibontwatering	ja				laag	geen	
NH ₄ accumulatie	nee						
NO ₂ accumulatie	nee						
NO ₃ accumulatie	nee						
Scaling	nee						
Overmatige slibuitspoeling	ja		vermoedelijk door OC tekort	verlies nitrificatie	hoog	ent met CAS spuislib	14
Slibafscheiding of slibbezink problemen	nee						
Schuimvorming	ja			geen	laag	sproeiinstallatie	
Geuremissie	nee						
Overige							

RWZI APELDOORN

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH	ja			rendement liep terug	middel	verminderen voeding	7
Lage / hoge temperatuur	ja		te warm	afsterving nitrificeerders	hoog	verminderen voeding	14
Hoog TSS in influent	ja		slecht rendement SOI	O ₂ setpoint werd niet gehaald	hoog	extra spuien	7
Doorslag PE uit slibontwatering	ja			geen	laag	geen	0
NH ₄ accumulatie	ja		geen buffercapaciteit	geen rendement	hoog	geen filtraat meer naar DEMON	1
NO ₂ accumulatie	ja		te weinig capaciteit	inhibitie van nitrificeerders	hoog	minder voeding	7
NO ₃ accumulatie		nee					
Scaling	ja		struviet	geen voeding mogelijk	hoog	reinigen	7
Overmatige slibuitspoeling		nee					
Slibafscheiding of slibbezink problemen		nee					
Schuimvorming	ja			batchgrootte nietgehaald	hoog	dosering activeren	2
Geuremissie		nee					
Overige							

RWZI ECHTEN

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH	x		Bij toevoegen van ijzerchloride op slibontwatering	oplopend NH ₄	hoog	Natronloog dosering	1
Lage / hoge temperatuur	x		Winterse omstandigheden	Verminderde capaciteit	hoog	huurketel ingezet/ isoleren en afdekken	> 10
Hoog TSS in influent		x					
Doorslag PE uit slibontwatering		x					
NH ₄ accumulatie	x		remming van Anammox	oplopend NH ₄	hoog	Voeding minderen	1
NO ₂ accumulatie		x					
NO ₃ accumulatie		x					
Scaling		x					
Overmatige slibuitspoeling	x		Te kortaan nitrificeerders/ Anammox	Verminderde capaciteit	hoog	Minder spuien en entslib toevoegen	> 7
Slibafscheiding of slibbezink problemen		x					
Schuimvorming	x		Weten niet exact waar dat vandaan kwam mogelijk PE)	Schuimvorming	zeer laag	antischuim doseren (is een enkele keer voor gekomen)	1
Geuremissie		x					
Overige		x					

RWZI LAND VAN CUIJK

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH	x		hoge pH		middel	Voeding omlaag	> 3 dagen
Lage / hoge temperatuur	x		Zowel lage als hoge temp.	Remming/ schuimvorming		Percolaat meer/minder	
Hoog TSS in influent		x					
Doorslag PE uit slibontwatering	x			Schuimvorming		Ontwatering optimaliseren	
NH ₄ accumulatie	x					Voeding omlaag	> 3 dagen
NO ₂ accumulatie		x					> 3 dagen
NO ₃ accumulatie	x					Meer bacteriën spuien/ O ₂ setpoint omlaag	> 3 dagen
Scaling		x					
Overmatige slibuitspoeling	x					Aanpassing aan leiding naar lamellenseperator	> 30 dagen
Slibafscheiding of slibbezink problemen	x					Aanpassing aan leiding naar lamellenseperator	
Schuimvorming	x					Anti-Schuim toevoegen + schoonmaakbedrijf inhuren	
Geuremissie		x					
Overige							

RWZI ZWOLLE

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH Lage / hoge temperatuur Hoog TSS in influent	ja			verstoring in proces, omzetting verloopt moeizaam	hoog	afvangen van slib in voorbuffertank, buffertank eerder legen van slib, minder o.b. in influent (optimalisatie ontwatering).	
Doorslag PE uit slibontwatering NH ₄ accumulatie NO ₂ accumulatie NO ₃ accumulatie Scaling Overmatige slibuitspoeling Slibafscheiding of slibbezink problemen Schuimvorming Geuremissie Overige				proces verloopt niet goed. Geen controle over proces	Hoog	Natronloog dosering gestart.	

RWZI NIEUWVEER

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH Lage / hoge temperatuur	x			hoge nitraat in het effluent	hoog	Andere manier van beluchten korter en vaker.	14
Hoog TSS in influent	x			volgens Grontmij schuimvorming			
Doorslag PE uit slibontwatering		x	Niet in grote mate, wellicht toch lage restgehaltes PE in het filtraat die mogelijk relatie hebben met schuimvorming				
NH ₄ accumulatie		x					
NO ₂ accumulatie		x					
NO ₃ accumulatie	x		zie lage temp.				
Scaling		x					
Overmatige slibuitspoeling		x					
Slibafscheiding of slibbezink problemen		x					
Schuimvorming	x			schuim over de rand van de reactor	hoog, overtreding omgevingsvergunning	influent wordt nubovenop reactoroppervlak gespreid	
Geuremissie		x					
Overige		x					

RWZI NIEUWEGEIN

Verstoring	Ja	Nee	Toelichting	Effect	Impact (laag, middel, hoog)	(Herstel) actie	Herstel periode (dagen)
Sterke verandering in pH	x		Bij doseren te veel antischuim	oplopende O ₂ -concentratie doordat makkelijker O ₂ -opname		wachten tot antischuim is verwerkt.	1 dg
Lage / hoge temperatuur		x					
Hoog TSS in influent	x		Doorslag zeefband	slib in Demonreactor	Hoog	Extra spuien	3 dgn
Doorslag PE uit slibontwatering	x		Opstart ZBP	Schuim	laag	PE goed afstellen op ZBP en Demon niet vullen met filtraat.	2 dgn
NH ₄ accumulatie	x		Slechte afbraak NH ₄	Ophoping NH ₄ in Demon	hoog	Voeding stopt	meerdere cycli
NO ₂ accumulatie		x					
NO ₃ accumulatie	x		door overbeluchting			Minder beluchten; O ₂ setpoint omlaag	> 3 dgn
Scaling	x		Struvietvorming in de pompput	Aanvoer stopt	Hoog	Struviet verwijderen, maatregelen treffen.	3 dgn
Overmatige slibuitspoeling		x					
Slibafscheiding of slibbezink problemen	x		Te goede bezinking	Onvoldoende omzetting NH ₄	middel	extra mengen	1 dg
Schuimvorming	x		Doorslag PE	overlopen tank	Laag	PE-dosering afstellen.	2 dgn
Geuremissie		x					
Overige							

RWZI OLBURGEN

Hoge concentratie aan vlokkig slib geeft verlies in Anammox activiteit. Herstel actie: Tijdelijk verhogen van de hydraulische belasting om vlokkig slib af te voeren.

SNB

SNB kent een extreem lage belasting a.g.v. excessieve remming (toxiciteit in het afvalwater) en hoge BZV gehalten. Deze is niet langer als DEMON systeem in bedrijf maar als conventioneel systeem.