



Wim Wiegant, Royal Haskoning  
 Wouter van Betuw, Royal Haskoning  
 Jans Kruit, Royal Haskoning, thans Paques  
 Cora Uijterlinde, STOWA

# Duurzame deelstroombehandeling voor stikstofverwijdering op rwzi heeft de toekomst

**In dit artikel wordt ingegaan op de behandeling van de stikstofrijke deelstroom die vrijkomt bij het ontwateren van uitgegist slib met behulp van een nitritatie-anamnoxysteem. Een analyse werd uitgevoerd van de kosten voor de behandeling van stikstof op rwzi's in de hoofdstroom. Deze kosten zijn vergeleken met de kosten van aparte behandeling van de deelstroom in een nitritatie-anamnoxysteem. De conclusie van de analyse luidt dat deelstroombehandeling in bijna alle gevallen economischer en duurzamer is dan de behandeling van de vrijkomende stikstof in de hoofdstroom van de rwzi.**

De behandeling van stikstofrijke deelstromen, afkomstig van slibindikking, slibgisting en slibontwatering, op rioolwaterzuiveringsinstallaties in Nederland wordt de laatste jaren meer en meer toegepast. De ontwikkelingen in het onderzoek naar anamnox-bacteriën (die ammonium met nitriet in stikstofgas omzetten) hebben ervoor gezorgd dat deze nu ook worden ingezet in de deelstroombehandeling. De anamnoxtechniek kent een lagere zuurstofbehoefte dan andere technieken voor de behandeling van deelstromen en gebruikt geen koolstofbron. Daarom kan de techniek als duurzamer worden beschouwd.

De Sharon-Anamnoxcombinatie<sup>1)</sup> die in bedrijf is op de slibverwerking van Waterschap Hollandse Delta te Sluisjesdijk, is in 2008 in STOWA-verband geëvalueerd<sup>2)</sup>. Hierbij is ook een beschouwing opgenomen naar het nut van deelstroombehandeling met behulp van nitritatie-anamnoxsystemen (zoals ze volgens recente naamgeving<sup>3)</sup> zouden moeten heten) in het algemeen, op nieuwe en op bestaande rwzi's. In dit artikel wordt met name deze beschouwing nader toegelicht. De belangrijke vraag is of bij nieuwbouw van een rwzi de toepassing van deelstroombehandeling economischer en duurzamer is, of dat het eenvoudiger en energetisch beter is om de rwzi groot

genoeg te bouwen om de deelstroom te kunnen verwerken.

## De omzettingen

### Stikstofverwijdering in de hoofdstroom

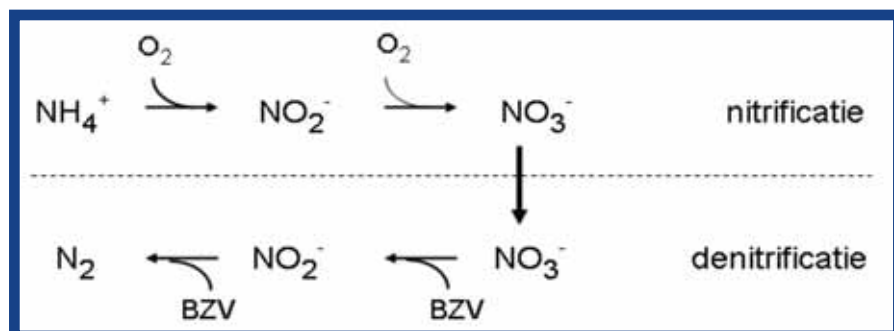
De verwijdering van stikstof uit afvalwater wordt bij zuivering van stedelijk afvalwater voornamelijk biologisch uitgevoerd. Allereerst dient nitrificatie plaats te vinden, waarbij bacteriën ammoniumstikstof met behulp van zuurstof omzetten in nitriet en daarna in nitraat. Nitriet en nitraat kunnen elektronen accepteren van oxidatiereacties en dus voor denitrificerende bacteriën de functie van zuurstof overnemen. Deze laatste bacteriën groeien op organische verbindingen (heterotroof) en hebben dus organische verbindingen (BZV) nodig om te groeien. Bij de denitrificatie worden nitriet en nitraat omgezet in stikstofgas. De omzettingen zijn schematisch weergegeven in afbeelding 1.

Randvoorwaarden voor de nitrificatie zijn een voldoende hoge slijbleeftijd en een voldoende hoge zuurstofconcentratie. Denitrificatie met BZV kan plaatsvinden door recirculatie van nitraatrijke stromen naar een niet-beluchte ruimte of in de tijd door intermitterende beluchting.

### Stikstofverwijdering in de deelstroom

Op circa 90 van de in totaal 375 rwzi's in

**Afb. 1: Schematische weergave van de reacties in een Sharon-systeem; het licht aangegeven deel van de route voor nitrificatie en denitrificatie (vergelijk met afbeelding 1) wordt 'afgesneden'.**



Nederland wordt zuiverings-slib vergist. Op basis van de grootteverdeling van de rwzi's<sup>4)</sup> kan worden geschat dat 70 tot 75 procent van het geproduceerde slib wordt vergist. De kwantiteit vers slib in Nederland bedraagt jaarlijks in totaal ongeveer 450.000 ton droge stof, volgens cijfers van het CBS. In de gisting wordt het organische materiaal voor een groot deel omgezet in methaangas. Het organische gebonden stikstof wordt hierbij omgezet in ammonium. De slibontwateringsinstallatie scheidt het water en slib. Het vrijgekomen water, dat deelstroom wordt genoemd, bevat relatief veel ammonium en weinig BZV<sup>5)</sup>. De deelstroom wordt weer teruggevoerd naar de rwzi en kan tien tot 15 procent van de stikstofbelasting in het hoofdproces vertegenwoordigen. Dit aandeel kan aanzienlijk hoger zijn als sprake is van vergisting en ontwatering van extern aangevoerd slib.

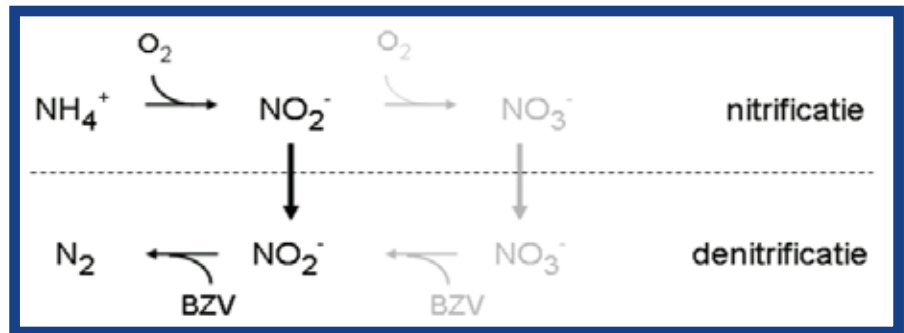
Speciale technologieën voor de verwijdering van stikstof uit deelstromen hebben de volgende voordelen:

- Stikstof wordt verwijderd in een stroom waarin de concentratie hoog is (tussen de 500 en 1.500 mg/l), zodat reactorvolumes klein kunnen blijven;
- Deelstromen hebben vaak een hogere temperatuur (20 tot 30°C), zodat de deelstroombehandeling compact kan zijn;
- De stikstofvracht naar de rwzi wordt verlaagd (met circa tien tot 15 procent, afhankelijk van de hoeveelheid en verhouding tussen deelstroom en influent);
- De omzetting hoeft minder energie te kosten;
- Als aanvullende dosering van een koolstofbron in de hoofdzuivering nodig is, kan de dosering geringer zijn bij toepassing van deelstroombehandeling.

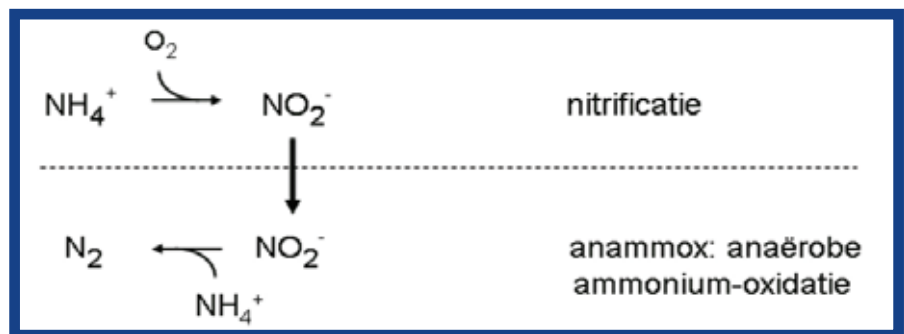
Door deze wijze van stikstofverwijdering wordt de BZV/N-verhouding in het influent (inclusief interne stromen) gunstiger, waardoor deelstroombehandeling een bijdrage levert aan het bereiken van lage effluentconcentraties voor totaalstikstof.

### SHARON

SHARON (Stable High Ammonia Removal Over Nitrite) is een reactorsysteem, waarin de nitrificatie verloopt tot nitriet in plaats van het gebruikelijke nitraat. Vervolgens wordt nitriet omgezet tot stikstofgas (zie afbeelding 2). Deze manier van stikstofverwijdering wordt ook wel de nitrietroute genoemd. De groei van bacteriën die nitriet omzetten in nitraat, wordt bemoeilijkt door de keuze van de procescondities (verblijftijd en temperatuur). Dit proces kan worden uitgevoerd in een enkelvoudig of een tweetraps reactor-systeem door een aerobe sibleeftijd van ongeveer anderhalve dag aan te houden bij een temperatuur van 25 tot 40°C. Doordat nitriet het intermediair in de denitrificatie is, gebruikt het proces minder zuurstof (tot 25 procent) en minder koolstof (tot 40 procent) dan de conventionele stikstofverwijdering. De verwijderingsrendementen voor ammonium op de Nederlandse rwzi's liggen tussen de 80 en 98 procent bij een aerobe verblijftijd van 1,3 tot 1,8 dagen. Op enkele installaties wordt



Afb. 2: Schematische weergave van de reacties in een nitritatie-anammoxsysteem.



Afb. 3: Schematische weergave van de reacties bij (de)nitrificatie.

een andere koolstofbron gebruikt dan het tot voor kort gebruikelijke methanol.

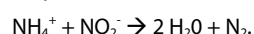
De keuze voor één of twee reactoren hangt samen met de hoogte van de concentratie  $\text{NH}_4^+$ . Bij hoge concentraties ammonium wordt aan de ene kant de overcapaciteit van de te installeren beluchting oneconomisch en aan de andere kant de benodigde ruimte zo groot dat de lage verblijftijd niet meer gegarandeerd kan worden.

In Nederland zijn Sharon-reactoren geplaatst op de rwzi's in Rotterdam, Utrecht (twee tanks), Zwolle (twee tanks), Beverwijk (twee tanks), Groningen<sup>6)</sup> (twee tanks) en Den Haag<sup>7)</sup>. Daarnaast wordt een Sharon-installatie gebouwd op een rwzi van New York en worden installaties voorbereid in Parijs, Genève en (twee) in Engeland.

### ANAMMOX

Bij ANAMMOX (anaerobe oxidatie van ammonium) zetten autotrofe anammoxbacteriën nitriet met behulp van ammonium om in stikstofgas (zie afbeelding 3). Dit proces is voor het eerst waargenomen in de pilot-waterzuivering van het voormalige Gist Brocades<sup>7)</sup>.

De vereenvoudigde reactievergelijking van dit proces is:



ANAMMOX is gebaseerd op het door onderzoekers bij de TU Delft en de Universiteit van Nijmegen gevonden eigenschappen van de bacteriegroep planctomyceten, die zonder zuurstof ammonium kunnen verwijderen. De anammoxbacteriën gebruiken ammonium, nitriet en bicarbonaat als substraat. Het bicarbonaat fungeert hierbij als koolstofbron voor de celopbouw. De oxidatie van nitriet tot nitraat zorgt voor de

benodigde elektronen om kooldioxide te reduceren tot organisch koolstof.

De volledige reactievergelijking is als volgt<sup>8)</sup>:

$$1 \text{NH}_4^+ + 1,32 \text{NO}_2^- + 0,066 \text{HCO}_3^- + 0,13 \text{H}^+ \rightarrow 1,02 \text{N}_2 + 0,066 \text{CH}_{1,8}\text{O}_{0,5}\text{N}_{0,2} + 0,26 \text{NO}_3^- + 2,03 \text{H}_2\text{O}$$

De verwijderingsrendementen voor ammonium op de Nederlandse zuiveringen liggen boven de 90 procent. In het proces wordt circa tien procent van het ammonium omgezet in nitraat (afhankelijk van de slibopbrengst die weer een functie is van de slibleeftijd); het resterende wordt omgezet in stikstofgas.

De optimale condities voor deze bacteriën zijn een pH tussen de 7 en 8,5 en een temperatuur van 30 tot 37 °C. Een belangrijk fenomeen is dat de bacteriën zeer langzaam groeien; de verdubbelingstijd bedraagt elf dagen (nieuwe inzichten geven aan dat een verdubbelingstijd van zeven tot negen dagen aannemelijk is). Hierdoor neemt de opstart van een reactor veel tijd in beslag en is de herstelperiode na een processtoring ook aanzienlijk. Deze perioden kunnen worden bekort door gebruik te maken van entslib van andere anammoxreactoren. Het anammoxproces kan worden uitgevoerd in een gefluidiseerd bedreactor of een SBR. In Nederland zijn verschillende anammoxreactoren geplaatst: Rotterdam (rwzi), Lichtenvoorde (leerlooierij) en Olburgen (voedingsmiddelenindustrie). Daarnaast is in China één anammoxreactor in bedrijf (semiconductor-industrie) en wordt er één voorbereid.

In het STOWA-onderzoek is aangetoond dat stikstofverwijdering op praktisch schaal goed kan plaatsvinden in twee reactoren. De nitritatie-anammoxcombinatie kan heden ook in één reactor plaatsvinden. Met een eentrapsreactor is sprake van



De anammoxreactor te Sluisjesdijk.

een verminderde complexiteit, geringere kosten en potentieel geringere verbruik van chemicaliën. Voor toekomstige projecten zal daarom zeker de eentrapsreactor worden geadviseerd. De beschouwing hierna heeft derhalve betrekking op zo'n eentraps nitritatie-anammoxreactor.

### Randvoorwaarden voor toepassing

Een eerste randvoorwaarde voor het opnemen van deelstroombehandeling in een rwzi is de aanwezigheid van een deelstroom. Deze deelstroom dient een aanmerkelijke hoeveelheid en concentratie stikstof te bevatten. Dit betekent dat slibgisting aanwezig dient te zijn, in combinatie met slibontwatering. Slibgisting is alleen kosteneffectief vanaf een zekere schaalgrootte, vanaf ongeveer 150.000 tot 200.000 i.e. (à 136 gram TZV)<sup>9)</sup>.

De kosteneffectiviteit van slibgisting wordt bepaald door aan de ene kant de opbrengst uit energieopwekking en de verminderde kosten van de eindverwerking van het slib door de reductie van de slibhoeveelheid; aan de andere kant staan de investerings- en de bedrijfsvoeringskosten van de slibgisting, plus de kosten van de verwijdering van de bij vergisting vrijgekomen fosfor en stikstof. Voor de behandeling van de vrijgekomen stikstof staat terugvoer naar de oorspronkelijke rwzi of een deelstroombehandeling ter beschikking.



Het rode korrelslib uit de anammoxreactor bestaat voornamelijk uit anammoxbacteriën.

### Energieverbruik

Het energieverbruik voor stikstofverwijdering in de hoofd- en deelstroom worden met elkaar vergeleken. Het energieverbruik wordt grotendeels bepaald door de benodigde hoeveelheid zuurstof (zie de reactievergelijkingen voor de stikstofverwijdering in het kader).

In de hoofdstroom vinden nitrificatie en denitrificatie plaats. In de nitrificatiestap wordt zuurstof verbruikt, in de denitrificatiestap wordt nitraat met BZV omgezet. Het verbruik aan BZV wordt beschouwd als een besparing op de benodigde hoeveelheid zuurstof (dat anders noodzakelijk zou zijn om de BZV te verwijderen). In de deelstroom-

behandeling wordt zuurstof verbruikt in de nitritatiestap.

In een situatie zonder tekort aan BZV is het energetische verschil tussen verwerking in de hoofdstroom en in de deelstroom niet zo heel groot. Voor omzetting van 1 kg N is in de hoofdstroom ( $5 / 2 \times 16 / 14 =$ ) 2,9 kg BZV en ( $0,75 \times 32 / 14 =$ ) 1,7 kg O<sub>2</sub> nodig, en in een eentraps nitritatie-anammoxproces 0 kg BZV en ( $0,85 \times 32 / 14 =$ ) 1,9 kg O<sub>2</sub>.

De winst van de toepassing van deelstroombehandeling in een nitritatie-anammoxproces zit dus niet in de besparing op de hoeveelheid zuurstof, maar op de hoeveelheid BZV die nodig is voor de omzetting. Als de BZV niet beschikbaar is, dan moet deze worden aangeschaft en dat kan duur zijn.

### Ruimtegebruik en kosten

Een ander aspect is de besparing in de hoeveelheid reactorruimte. Met de marginale inspanningen kan de stikstofverwijdering in de hoofdstroom en deelstroom met elkaar worden vergeleken. Enige berekeningen zijn weergegeven in afbeelding 4. Hierbij zijn marginale inspanningen (zoals reactorruimte en kosten) berekend. Dat zijn de extra inspanningen als gevolg van extra stikstof. Deze zijn te berekenen door de exploitatiekosten van een rwzi te berekenen. De berekening is gemaakt met de volgende uitgangspunten voor het prijspeil 2008: een rente van 6%, afschrijvingstermijnen van 30 jaar voor civiele werken en 15 jaar voor niet-civiele, kosten voor energie van 0,09 euro per kWh en voor externe koolstofbron van 0,40 euro per kg CZV.

De marginale behoefte aan reactorruimte, berekend op de wijze zoals eerder is gepresenteerd<sup>2)</sup>, bedraagt circa 24 kubieke meter reactorruimte per kg stikstof per dag aan extra stikstoflast (zie afbeelding 4). Voor een installatie van 100.000 i.e. bedragen de marginale kosten (de extra kosten voor de verwerking van extra stikstof) 2,70 euro per kilo stikstof tot circa 130 kilo stikstof per dag

<i>hoofdstroom:</i>		
nitrificatie	$2 \text{ NH}_4^+ + 4 \text{ O}_2$	$\rightarrow 2 \text{ NO}_3^- + 2 \text{ H}_2\text{O} + 4 \text{ H}^+$
denitrificatie	$2 \text{ NO}_3^- + 5 \text{ BZV}_{(0)}^* + 4 \text{ H}^+$	$\rightarrow \text{ N}_2 + 2 \text{ H}_2\text{O}$
	$(5 \text{ BZV}_{(0)}^* + 2,5 \text{ O}_2)$	$\rightarrow 2,5 \text{ CO}_2 + 2,5 \text{ H}_2\text{O}$
totaal:	$2 \text{ NH}_4^+ + 5 \text{ BZV}_{(0)} + 1,5 \text{ O}_2$	$\rightarrow \text{ N}_2 + 1,5 \text{ CO}_2 + 1,5 \text{ H}_2\text{O}$
	$\text{NH}_4^+ + 2,5 \text{ BZV}_{(0)} + 0,75 \text{ O}_2$	$\rightarrow 0,5 \text{ N}_2 + 1,25 \text{ CO}_2 + 1,25 \text{ H}_2\text{O}$
in gewicht:	$1 \text{ kg NH}_4^+\text{-N} + 2,9 \text{ kg BZV} + 1,7 \text{ kg O}_2$	$\rightarrow 1 \text{ kg N}_2\text{-N}$

*deelstroom: In het totaal wordt de nitrificatie-reactie vermenigvuldigd met 1,3 en de ANAMMOX-reactie met 1*

nitrificatie	$\text{NH}_4^+ + 1,5 \text{ O}_2$	$\rightarrow \text{ NO}_2^- + \text{ H}_2\text{O} + 2 \text{ H}^+$
anammox	$\text{NH}_4^+ + 1,3 \text{ NO}_2^-$	$\rightarrow \text{ N}_2 + 0,3 \text{ NO}_3^-$
totaal	$2,3 \text{ NH}_4^+ + 1,95 \text{ O}_2$	$\rightarrow \text{ N}_2 + 0,3 \text{ NO}_3^- + 1,3 \text{ H}_2\text{O} + 2,6 \text{ H}^+$
	$\text{NH}_4^+ + 0,85 \text{ O}_2$	$\rightarrow 0,43 \text{ N}_2 + 0,13 \text{ NO}_3^- + 0,6 \text{ H}_2\text{O} + 1,1 \text{ H}^+$
in gewicht:	$1 \text{ kg NH}_4^+\text{-N} + 1,9 \text{ kg O}_2$	$\rightarrow 1 \text{ kg N}_2\text{-N}$

\* BZV<sub>(0)</sub> = BZV uitgedrukt in mol zuurstof (O<sub>2</sub>); bijvoorbeeld voor glucose:  
 $1 \text{ BZV}_{(0)} + 0,5 \text{ O}_2 \rightarrow 0,5 \text{ CO}_2 + 0,5 \text{ H}_2\text{O}$

extra, daarboven circa 3,40 euro per kilo stikstof.

De kosten van de behandeling in een deelstroombehandeling, bestaande uit een eentrapsg nitritatie-anammoxbehandeling, zijn aan de hand van prijsopgave van leveranciers, geschat. Voorts is bij de berekening uitgegaan van dezelfde uitgangspunten voor de berekening van de kapitaalslasten als boven, en zijn energie-kosten, slibverwerkingskosten en personeel inbegrepen. Eén en ander is geïllustreerd in afbeelding 5.

Uit de berekeningen blijkt dat de exploitatiekosten variëren van circa 1,20 euro tot 2,10 per kilo stikstof, afhankelijk van de capaciteit van de installatie. Uit het voorgaande blijkt dat de marginale kosten van stikstofverwijdering duidelijk lager zijn dan in de hoofdstroom van een nieuwe, 'groene weide' installatie.

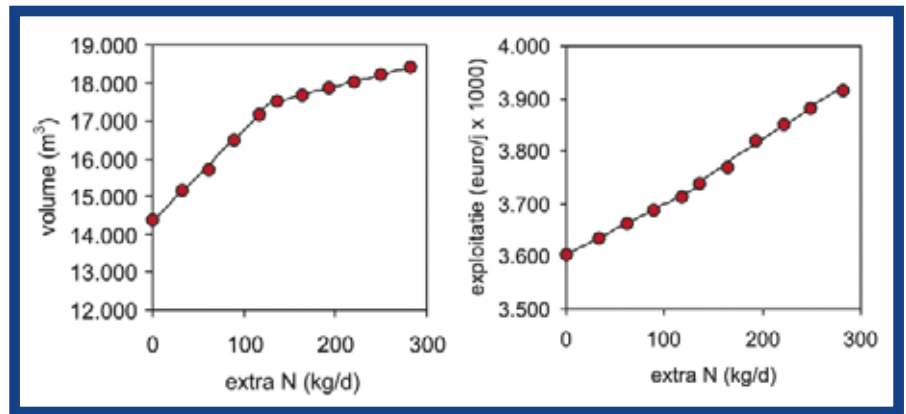
Uit deze uitkomsten komt naar voren dat bij een schaalgrootte die voldoende groot is om slibgisting te rechtvaardigen, het toepassen van deelstroombehandeling in een nitritatie-anammoxcombinatie in een nieuw te bouwen installatie vrijwel altijd zin heeft. Alleen bij een schaal kleiner dan circa 60 kilo stikstof per dag (in een deelstroom) is behandeling in de hoofdstroom efficiënter. Bij een dergelijke schaal is slibgisting, voor eigen geproduceerd slib, echter niet interessant.

Slibgisting kan ook effectief zijn bij geringere schaalgrootte als extern slib, dat wil zeggen slib afkomstig van andere zuiveringsinstallaties, wordt verwerkt. Ook als sprake is van zogenaamde co-vergisting, het meevergisten van materialen die niet uit rwzi's afkomstig zijn, kan slibgisting interessant zijn. Uit de afbeeldingen 4 en 5 wordt duidelijk dat in dergelijke situaties deelstroombehandeling zin heeft zodra meer dan circa 120 kilo stikstof per dag behandeld moet worden. Bij behandeling van extern slib neemt de BZV/N-verhouding van het influent (inclusief deelstroom) in de hoofdzuivering af.

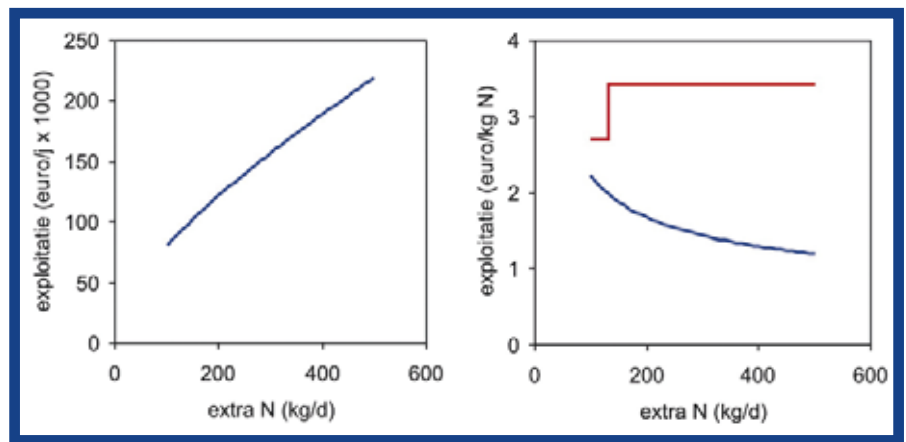
In een bestaande rwzi dient, als er een deelstroom bijkomt die veel extra stikstof bevat, óf een aanzienlijke hoeveelheid biologische ruimte te worden bijgebouwd óf een aanzienlijke hoeveelheid koolstof te worden gedoseerd en mogelijk allebei. Het bijbouwen van biologische ruimte is natuurlijk aanzienlijk kostbaarder dan de marginale kosten die zijn berekend voor een groene weide situatie, zoals gepresenteerd in afbeelding 4. De kosten voor dosering van een koolstofbron zullen aan de andere kant bij benadering dezelfde zijn als in de marginale kostenberekening die gepresenteerd is in afbeelding 4 (rechterdeel van de curve). In beide gevallen verdient behandeling in het nitritatie-anammox-systeem de voorkeur.

### Conclusies

Na een langdurige opstart op het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk zijn de gewenste resultaten (circa 85 procent stikstofverwijdering) en de ontwerpbelasting ruim



**Afb. 4: Behandeling van extra stikstof. A: Het volume van de beluchte ruimte als functie van de hoeveelheid extra stikstof bij een rwzi van 100.000 i.e. en B: De exploitatie van de zuivering als functie van de extra stikstof. De knik in de curves (zie pijltje) wordt veroorzaakt doordat dosering van een koolstofbron vanaf een bepaalde maximum denitrificatieruimte (hier 70 procent) noodzakelijk is.**



**Afb. 5: Behandeling van stikstof in een eentrapsg nitritatie-anammoxreactor als functie van de vracht. Links: totale exploitatiekosten; rechts de exploitatiekosten per kilo stikstof. In de rechterfiguur zijn ook de marginale kosten van behandeling in de hoofdstroom opgenomen (rode curve, ontleend aan afbeelding 4B).**

gehaald. Van de ervaringen kan veel worden geleerd, zodat opstartproblemen in nieuwe situaties voorkomen kunnen worden. Daarnaast neemt de beschikbare hoeveelheid anammoxslib toe, waardoor deze duurzame technologie een robuustere positie op de markt krijgt. In een 'groene weide'-situatie is het voor een grote rwzi met slibgisting en -ontwatering zowel energetisch als economisch voordeliger om het stikstof uit de deelstroom in een nitritatie-anammoxsysteem te behandelen dan het in de hoofdstroom te behandelen. Ook in een bestaande situatie kan een veel stikstof bevattende deelstroom het beste in een nitritatie-anammoxsysteem worden behandeld.

### LITERATUUR

- 1) Van der Star W., W. Abma, D. Blommers, J-W. Mulder, T. Tokutomi, M. Strous, C. Picioreanu en M. van Loosdrecht (2007). Startup of reactors for anoxic ammonium oxidation: Experiences from the first full-scale anammox reactor in Rotterdam. *Water Research* nr. 41, pag. 4149-4163.
- 2) STOWA (2009). SHaron-Anammox systemen - Evaluatie van rejectiewaterbehandeling op slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk. STOWA. Rapport 2008-18.
- 3) Van der Star W. (2008). Growth and metabolism of Anammox bacteria. Proefschrift TU Delft.
- 4) Commissie Integraal Waterbeheer (1999). Financiering zuiveringsbeheer - voorstel voor

een nieuwe heffingsmaatstaf en bouwsteen in de discussie rond de financiering van het waterbeheer.

- 5) STOWA (2000). Het gecombineerde Sharon/Anammoxproces; een duurzame methode voor N-verwijdering uit slibgistingwater. STOWA. Rapport 2000-25.
- 6) Mulder J-W., J. Duin, J. Goverde, W. Poiesz, H. van Veldhuizen, R. van Kempen en P. Roeleveld (2007). Full-scale experience with the Sharon process through the eyes of the operators. *Weftec* 2006, pag. 5256-5270.
- 7) Mulder A. (1989). Anoxic ammonia oxidation of wastewater. European Patent Ep327184. Assignee: Gist-Brocades.
- 8) Strous M., J. Heijnen, J. Kuenen en M. Jetten (1998). The sequencing batch reactor as a powerful tool for the study of slowly growing anaerobic ammonium-oxidizing microorganisms. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* nr. 5, pag. 589-596.
- 9) STOWA (2005). Slibketenstudie - onderzoek naar de energie- en kostenaspecten in de water- en slibketen. STOWA. Rapport 2005-26.