

## **DEMON® - in 10 jaar van innovatie naar bewezen technologie**

*Annette Buunen-van Bergen, Henk Wim de Mooij, Christa Morgenschweis (Grontmij Nederland)*

**De ontwikkeling van de deammonificatie heeft het mogelijk gemaakt om stikstof op een duurzame wijze uit rejectiewater te verwijderen. De DEMON®-technologie (DEamMONification) is inmiddels met 54 installaties in bedrijf/opstart/ontwerp de meest toegepaste technologie voor stikstofrijke afvalwaterstromen op basis van deammonificatie. Dit succes dankt de technologie aan de stabiele zuiveringsprestaties, die een rechtstreeks gevolg zijn van de procesregeling.**

Om de energie-inkoop voor rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi's) te beperken wordt slibvergisting meer en meer toegepast. Bij de ontwatering van uitgegist slib komt een stikstofrijke waterstroom vrij: het rejectiewater. Deze stroom wordt standaard teruggevoerd naar het begin van de (rwzi). Het rejectiewater vertegenwoordigt slechts enkele procenten van het totale debiet naar de rwzi. Echter, vanwege de hoge stikstofconcentratie (500 – 2.000 mg N/l) kan de interne stikstofbelasting via het rejectiewater 10 – 40% van de influentstikstofvracht bedragen. Dit percentage is hoger naarmate er meer extern slib op de rwzi wordt vergist en ontwaterd en wanneer er een thermofiele slibontsluitingstechniek wordt toegepast.

In het begin van dit millennium is door de Universiteit van Innsbruck de DEMON®-technologie ontwikkeld, die in staat is stikstof op een duurzame manier uit het rejectiewater te verwijderen. Voordelen van deze technologie zijn de stabiele bedrijfsvoering, de lage energievraag en de onafhankelijkheid van een externe koolstofbron. Het patent van de DEMON®-technologie is in handen van de Universiteit van Innsbruck. Grontmij Nederland B.V. heeft een licentie voor deze technologie voor West-Europa.

De eerste DEMON®-reactor is in 2004 gerealiseerd op rwzi Strass in Oostenrijk, waar de technologie een klassiek nitrificatie/denitrificatiesysteem verving. Deze reactor is nu 10 jaar in bedrijf. Tijd dus voor een korte up-date van hoe de technologie zich sinds die tijd heeft ontwikkeld.

### **Deammonificatie – een introductie**

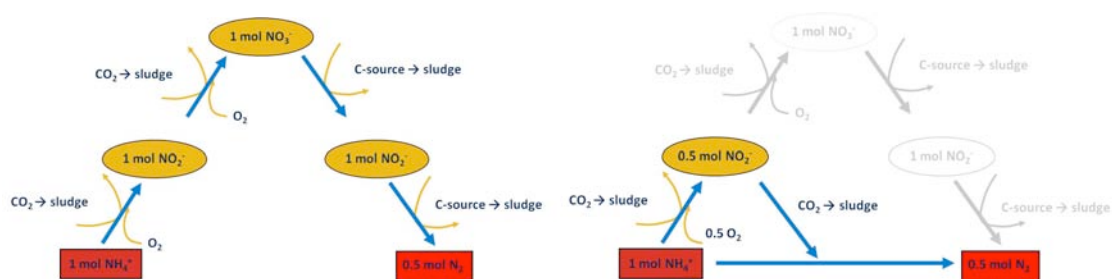
Deammonificatie stoelt op twee microbiologische processen:

1. oxidatie van ongeveer de helft van het aanwezige ammonium tot nitriet (partiële nitrificatie) door ammonium-oxiderende bacteriën (AOB's). Voor dit proces is zuurstof vereist;
2. deammonificatie, waarbij het gevormde nitriet door anammox-bacteriën wordt gereduceerd tot stikstofgas en het resterende ammonium als elektronendonor wordt gebruikt. Dit proces vindt plaats zonder zuurstof en zonder externe koolstofbron. Als bijproduct van deze stap wordt ca. 10% van het ammonium omgezet naar nitraat.

De deammonificatie heeft ten opzichte van de traditionele nitrificatie-denitrificatie een aantal voordelen:

- de partiële nitrificatie heeft een ca. 60% lagere zuurstofvraag, wat een vergelijkbare besparing op de benodigde beluchtingsenergie oplevert;
- er hoeft geen koolstofbron te worden ingekocht, dit is een aanzienlijke besparing op de exploitatiekosten;
- doordat de stikstofverwijdering volledig autotroof verloopt, wordt er minder slib geproduceerd.

De technologie is een slib-in-suspensie-systeem (dus zonder gebruik van dragermaterialen) dat in eerste instantie is ontwikkeld als Sequencing Batch Reactor (SBR-) proces. Inmiddels zijn er ook enkele full scale continu-systemen. De keuze voor SBR of continu wordt met name bepaald door de samenstelling van het rejectiewater.



Traditionele route

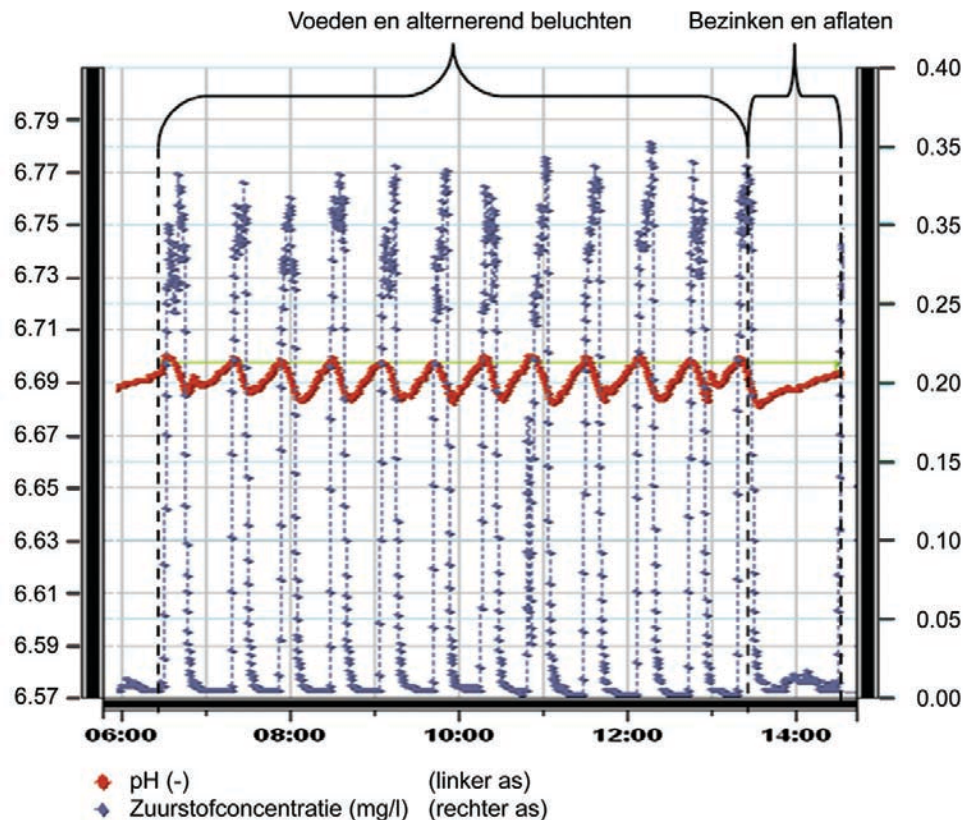
Deammonificatie route

**Afbeelding 1. Schematische weergave van stikstofverwijdering via de traditionele route en de deammonificatieroute**

### Intrinsieke stabiliteit

Een deammonificatiesysteem kent functionele bedreigingen die de DEMON®-technologie ondervangt:

1. Er mag niet teveel nitriet worden gevormd tijdens de beluchte periode. Gebeurt dit wel, dan blijft er niet voldoende ammonium over om het gevormde nitriet te reduceren, hetgeen het rendement van de reactor zou verlagen. Daarnaast is nitriet giftig voor anammox-bacteriën. Dit is in de DEMON® eenvoudig ondervangen door de gepatenteerde beluchtingsregeling, waarbij de pH varieert tussen een van tevoren vastgestelde minimum- en maximumwaarde. De reactor wordt belucht totdat de pH als gevolg van nitrificatie is gedaald tot het vastgestelde minimum. Op dat moment wordt de beluchting uitgeschakeld waardoor de deammonificatie van start gaat. Gedurende het hele proces wordt continu (basisch) influent toegevoegd, zodat tijdens deammonificatie de pH weer stijgt. Zodra de maximum-pH bereikt is, wordt de beluchting weer ingeschakeld (afbeelding 2). De absolute waarde van de pH is dus van ondergeschikt belang voor de beluchting, de *verandering* van de pH is de sturende grootheid. De absolute pH is bepalend voor het rendement. Hoe lager de pH, hoe meer nitrificatie en hoe hoger het rendement.



**Afbeelding 2. Typisch pH- en zuurstofprofiel van de DEMON®**

*De pH daalt als gevolg van beluchting (nitrificatie) en stijgt als gevolg van toevoer van influent.*

2. Nitriet mag niet worden doorgeoxideerd tot nitraat. Immers, in dat geval hebben de deammonificerende bacteriën geen nitriet meer tot hun beschikking en kunnen ze de deammonificatie-reactie niet uitvoeren. De toegepaste slibleeftijd is in principe lang genoeg voor de nitraatvormers om zich te handhaven. Ze worden echter effectief onderdrukt door zowel de zuurstofconcentratie laag te houden (<0,3 mg/l) als de nitrietconcentratie laag te houden. Door de pH-regeling blijft ook de nitrietconcentratie beneden de 10 mg N/l). Hierdoor winnen de deammonificerende bacteriën de competitie om nitriet en wordt ingroei van nitraatvormers voorkomen.
3. De benodigde slibleeftijd voor de AOB's is beduidend korter dan de benodigde slibleeftijd voor de deammonificerende bacteriën. Om te voorkomen dat de zeer traag groeiende deammonificerende bacteriën uitspoelen, wordt het surplus aan slib van de DEMON® gespuid via een hydrocycloon. Hierdoor worden de zwaardere korrels met deammonificerende bacteriën effectief vastgehouden in de DEMON® en spoelt de lichtere slibfractie uit. De introductie van de hydrocycloon heeft de processtabiliteit van DEMON®-technologie significant vergroot.

- De besturing van de DEMON® is volledig geautomatiseerd en functioneert zonder tussenkomst van operators. De afwisseling van beluchte en onbeluchte periode wordt volledig bepaald door de aanvoer van rejectiewater, aangezien met rejectiewater alkaliniteit wordt gevoed aan het systeem. Het proces past zich dus automatisch aan wisselingen in de aanvoer aan.

#### Toepassingen in Nederland en daarbuiten

In 2008 is de eerste DEMON®-installatie in Nederland gerealiseerd op rwzi Apeldoorn (Waterschap Vallei en Veluwe). De tweede installatie is in 2011 op rwzi Nieuwegein (Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden) gerealiseerd. Sindsdien heeft de toepassing van de DEMON®-technologie in Nederland een vlucht genomen. In tabel 1 zijn de in Nederland gerealiseerde/te realiseren installaties weergegeven. Grontmij is bij de realisatie van alle installaties betrokken of betrokken geweest.

**Tabel 1. De in Nederland gerealiseerde/te realiseren DEMON®-installaties**

Locatie	Beheerder	Bron	Jaartal	Ontwerp-capaciteit (kg NH4-N/d)	Type proces	Opmerking
rwzi Apeldoorn	Vallei en Veluwe	mesofiele gisting	2008	1.600	SBR	in bedrijf
rwzi Nieuwegein	De Stichtse Rijnlanden	mesofiele gisting	2011	460	SBR	in bedrijf
rwzi Amersfoort	Vallei en Veluwe	mesofiele gisting	2012	630	Continu	in bedrijf
rwzi Nieuwveer	Brabantse Delta	mesofiele gisting	2013	1.050	Continu	in bedrijf
rwzi Echten	Reest en Wieden	thermofiele gisting	2013	400	SBR	in opstart
SNB	SNB	condensaat	2013	1.600	SBR	in opstart
WMG Groningen	WMG Groningen	percolaat + digestaat	2014	620	SBR	in opstart
Attero Tilburg	Attero Tilburg	percolaat + digestaat	2014	1080	Continu	in opstart
Land van Cuijck	Brabantse Delta	mesofiele gisting	2014	340	Continu	bouwfase
rwzi Velsen	Rijnland	mesofiele gisting + percolaat	2014	280	Continu	bouwfase

Uit tabel 1 blijkt dat de DEMON®-technologie niet alleen meer wordt toegepast op rejectiewater afkomstig van een mesofiele vergisting, maar inmiddels ook voor de behandeling van:

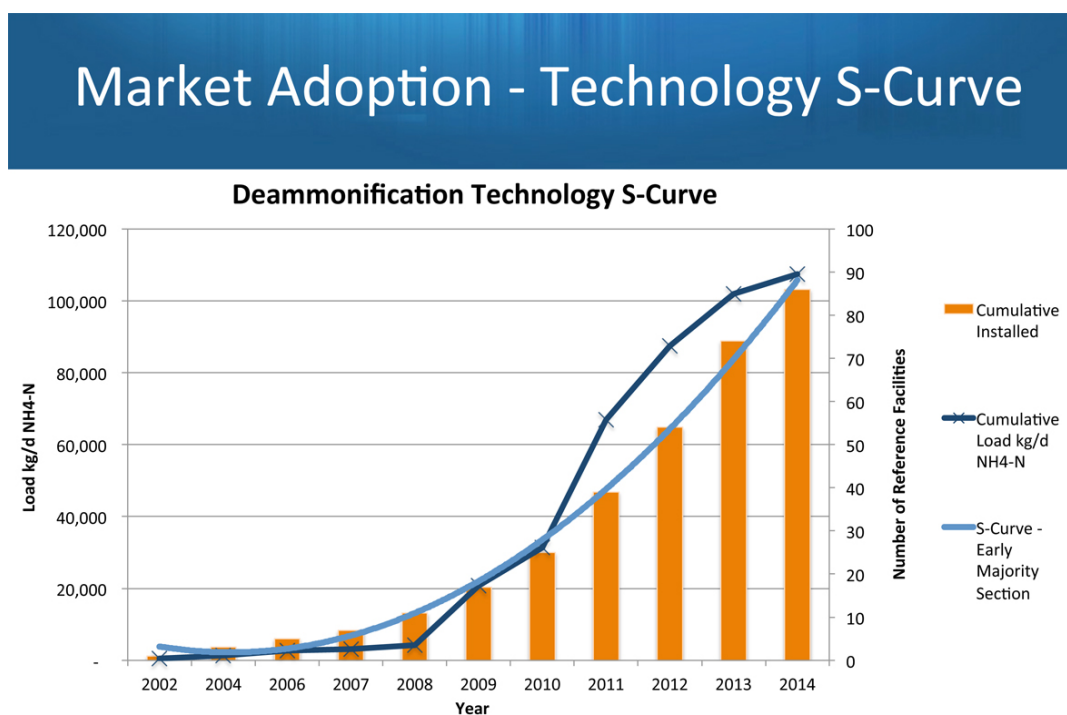
- percolaat, afkomstig van stortplaatsen;
- rejectiewater afkomstig van thermofiele vergisting;
- rejectiewater afkomstig van mesofiele vergisting voorafgegaan door een thermische slibontsluiting;
- digestaat afkomstig van afvalvergisting;
- condensaat afkomstig van slibdroging;
- combinaties van bovenstaande stromen.

Grontmij realiseert ook DEMON®-installaties in het buitenland; deze installaties zijn in tabel 2 weergegeven.

**Tabel 2. Door Grontmij gerealiseerde DEMON®-installaties buiten Nederland**

Locatie	Beheerder	Bron	Jaartal	Ontwerpcapaciteit (kg NH4-N/d)	Type proces	Opmerking
Poole, Engeland	Wessex Water	mesofiele gisting	2013	460	SBR	in bedrijf
Odense, Denemarken	Vand Center Syd	mesofiele gisting	2014	395	Continu	bouwfase
Marselisborg, Denemarken	Aarhus Vand	mesofiele gisting	2014	310	Continu	bouwfase

Wereldwijd zijn er inmiddels 54 DEMON®-installaties gerealiseerd. Recentelijk is door het bedrijf BlueTech Research het aantal deammonificerende installaties geïnventariseerd dat wereldwijd door de verschillende leveranciers is/wordt gerealiseerd. Het resultaat van deze inventarisatie is in afbeelding 3 weergegeven (bron: BlueTech Research). Uit deze afbeelding blijkt dat er wereldwijd circa 85-90 deammonificerende installaties zijn; 60% van deze installaties zijn DEMON®-installaties.



**Afbeelding 3. Aantal en cumulatieve capaciteit van de wereldwijd gerealiseerde deammonificerende installaties (Bron: BlueTech Research)**

### Verdere ontwikkelingen

Zoals al aangegeven wordt de DEMON®-technologie niet alleen meer ingezet voor rejectiewater afkomstig van mesofiele gisting maar ook voor andere stikstofrijke waterstromen. Deze waterstromen kunnen in samenstelling afwijken van het standaard rejectiewater. Sommige waterstromen bevatten remmende stoffen of missen nutriënten die noodzakelijk zijn voor de slibgroei. Om vast te kunnen stellen of dergelijke waterstromen (indien ze al beschikbaar zijn) direct met de DEMON®-technologie kunnen worden behandeld

of dat een bepaalde voorbehandeling noodzakelijk is, beschikt Grontmij over een lab-opstelling, de 'baby'-DEMON® (afbeelding 4).



**Afbeelding 4. De 'baby'-DEMON®**

DEMON® maakt tegenwoordig ook deammonificatie in de waterlijn mogelijk, de zogenaamde 'koude anammox'. Dit systeem, EssDe® (Energy Self Sufficient by Demon) genaamd, is al op twee locaties full scale toegepast, waaronder rwzi Strass in Oostenrijk.

#### **Ervaringen met DEMON® Apeldoorn**

Op rwzi Apeldoorn wordt centraal slib verwerkt; daarnaast worden externe organische reststromen verwerkt in de gistinginstallatie, ten behoeve van de biogasproductie. Als gevolg hiervan is de interne stikstofbelasting hoog en moest een koolstofbron aan de rwzi worden gedoseerd om de effluenteis van 10 mgNtotaal/l te halen.

De DEMON®-installatie in Apeldoorn (de eerste in Nederland) heeft een ontwerpcapaciteit van ongeveer 1.600 kgN/d.



**Afbeelding 5. DEMON® installatie op rwzi Apeldoorn**

Begin januari 2010 bleek de nitrificatie van de DEMON® Apeldoorn te worden geremd. Deze remming volgde een aantal weken na een ernstig verlies van nitrificatiecapaciteit in de waterlijn van de rwzi. Waarschijnlijk is er toen sprake geweest van een lozing van nitrificatie-verstorende stoffen op de rwzi, die via de sliblijn in de DEMON® is terechtgekomen. Dit uitte zich in de DEMON® door een oplopende ammonium- en nitraatconcentratie, terwijl de pH geen verandering liet zien. Deze combinatie duidt op de ingroei van NOB's; ammonium loopt in

dat geval op omdat er geen nitriet meer beschikbaar is voor de deammonificerende bacteriën, en nitraat loopt op omdat het centraat onvoldoende BZV bevat voor significante denitrificatie. De nitraatvormers konden de overhand krijgen doordat door de verstoorde nitrificatie-activiteit de zuurstofvraag in het systeem erg laag was; als gevolg hiervan was de zuurstofconcentratie hoger en werd de concurrentie om nitriet gewonnen door de nitraatvormers.

Een te sterke groei van nitraatvormers kan ertoe leiden dat de deammonificerende bacteriën uit het systeem verdwijnen. In verband hiermee is besloten om ca. 75% van het slib af te voeren en vervolgens weer capaciteit op te bouwen. Na 22 dagen werd de volledige hoeveelheid centraat weer verwerkt. Dit laat zien dat het plotseling wegvallen van een groot deel van de omzettingcapaciteit snel weer verholpen kan worden.

Inmiddels draait de DEMON® zonder problemen [1]. DEMON® Apeldoorn voldoet aan de rendementseis van gemiddeld  $\geq 85\%$  voor opgeloste stikstof. Het volledige aanbod rejectiewater wordt verwerkt, hoewel de productie en kwaliteit sterke fluctuaties vertonen. De veranderingen in samenstelling houden voor een deel verband met het feit dat in de Slibgisting Externe Afvalstoffen verschillende afvalstoffen vergist worden. In het bijzonder het vergisten van kippenbloed resulteert in een sterke stijging van de stikstofvracht naar de DEMON®. Incidenteel is er sprake van een sterk verhoogde inspoeling van zwevende stof door een verminderde afscheiding in de centrifuges. Ook hier bewijst de hydrocycloon zijn nut, doordat het lichtere slib snel afgevoerd kan worden. De stabiele bedrijfsvoering bij deze snelle wijzigingen in belasting en het herstel dat volgde op de ingroei van nitraatvormers bewijzen dat het DEMON®-proces robuuster is dan literatuur over deammonificerende systemen suggereert.

### **Ervaringen met DEMON® Amersfoort**

Tijdens het ontwerp van de installatie in Amersfoort bleek dat de SBR-oplossing praktische problemen met zich meebracht. Het rejectiewater in Amersfoort bevat relatief lage concentraties ammonium (gemiddeld 800 mg N/l). Dit heeft tot gevolg dat in een SBR-configuratie in elke cyclus veel water afgescheiden moet worden. De af te laten heldere waterlaag wordt groot, wat zorgt voor lange bezinktijden en hoge aflatdebieten (hydraulische piekbelasting). Daarnaast wordt het rejectiewater op rwzi Amersfoort continu aangevoerd, wat betekent dat tijdens de bezink- en aflattijden gebufferd moet worden. Daarom is ervoor gekozen op rwzi Amersfoort de DEMON® technologie om te vormen tot een continu systeem: de eerste continue DEMON® was geboren.

De nabezinktank is ontworpen op basis van de uitstekende bezinkeigenschappen van het DEMON®-slib (bezinksnelheid  $> 3$  m/h). De nabezinktank heeft geen slibruimer maar een steile bodemhelling om te voorkomen dat slib zich ophoopt. Bezonken slib wordt teruggevoerd naar de reactorruimte. De nabezinktank wordt onder vrij verval gevoed vanuit de reactor. Effluent stort over in een goot en wordt onder vrij verval naar de rwzi geleid.

Het waterschap gaf aan dat er hoge piekafvoeren van zwevende stof in het rejectiewater voorkwamen. Om verdringing van actieve biomassa te voorkomen moeten piekafvoeren van

zwevende stof voorkomen worden. Daarom is in de influentleiding een bandfilter met een kleine maaswijdte opgenomen (type Salsnes). Dit filter vangt zwevende stof in het influent af. Om slibuitspoeling te voorkomen is een bypassregeling actief. Wanneer teveel water aangevoerd wordt, beperkt een regelklep de aanvoer naar de installatie. Deze beide veiligheidsmaatregelen voorkomen overbelasting van het systeem met zwevende stof, waardoor slibuitspoeling voorkomen wordt. Surplusslib wordt net als in een klassieke DEMON® periodiek met een cycloon afgevoerd. Het surplus aan slib, bypasswater en spoelwater van het bandfilter worden afgevoerd via de effluentgoot.

In het najaar van 2012 werd de installatie opgestart. Het waterschap heeft, met de ervaring van DEMON® Apeldoorn en enige begeleiding, de opstart zelf uitgevoerd. Om de installatie snel – binnen enkele weken – op te kunnen starten is 25% capaciteit aangevoerd als entslib vanuit DEMON® Apeldoorn. Een snelle opstart werd echter gehinderd door een technisch probleem met het Salsness filter. De toevoer van zwevende stof was nog hoger dan verwacht en afgevangen slib hoopte zich op het filter op, met stilstand als gevolg. Dit is opgelost door de installatie aan te passen en het filter regelmatig met water te spoelen. Daarna is de opstart probleemloos verlopen. Het systeem heeft laten zien dat het met de gekozen indeling goed functioneert en haalt een rendement van ca. 80% ammoniumverwijdering, zonder de toevoeging van chemicaliën. Het effluent bevat daarnaast nog enig nitraat, maar dit is minder dan verwacht (ongeveer 25 mg N/l). De combinatie nabezinking en surplusslibafscheiding met de cycloon functioneert goed. DEMON® heeft zich zo ook als een continuproces bewezen.



**Afbeelding 6. DEMON® installatie rwzi Amersfoort**

*De nabezinktank (type Dortmund) zit in het centrum van de tank.*

### **Conclusie**

De ontwikkeling van de DEMON®-technologie maakt het mogelijk stikstof op een stabiele en duurzame manier via deammonificatie uit rejectiewater te verwijderen. Door grootschalige toepassing van de technologie op rejectiewater kan men inmiddels spreken van een bewezen techniek. De toepassing van de DEMON®-technologie op andere stikstofrijke deelstromen is in ontwikkeling.



De ontwikkeling van de gepatenteerde procesregeling op basis van pH-fluctuaties, goedkoop en makkelijk meetbaar, heeft geleid tot een robuust proces dat weinig aandacht vraagt van de operator. Door de toepassing van de hydrocycloon kan een verschil worden aangebracht in de slijbleeftijd voor de anammox-bacteriën enerzijds en het overige slib anderzijds, waarmee de handhaving van de anammox-bacteriën is gegarandeerd. Met deze twee toepassingen onderscheidt de DEMON®-technologie zich van andere deammonificerende systemen. Al met al is een innovatief proces in 10 jaar uitgegroeid tot een duurzame, robuuste en bewezen techniek.

#### **Literatuur**

1. Ruben Meulen Kamp, Arjan Borger, Frans Visser (2011). DEMON®-reactor rwzi Apeldoorn draait stabiel, H2O, 2011-05, p.20-22