

Demon-reactor rwzi Apeldoorn draait stabiel

Op rwzi Apeldoorn is een overschot aan te verwijderen stikstof ontstaan als gevolg van centralisatie van de slibvergisting en -ontwatering en het vergisten van externe organische reststromen. In verband hiermee heeft Waterschap Veluwe besloten het stikstofrijke centraat separaat te behandelen in een Demon-reactor. De technologie is gebaseerd op pH-gestuurde partiële nitrificatie, gevolgd door deammonificatie. Medio 2009 is begonnen met de biologische opstart van dit systeem. Entslib is vanuit Oostenrijk aangevoerd. Na het overwinnen van enkele praktische hindernissen is het systeem op capaciteit gebracht en draait de Demon-reactor sinds begin 2010 stabiel op volle capaciteit en naar volle tevredenheid van het waterschap.

Op rwzi Apeldoorn wordt het zuiveringsslib van alle rwzi's van Waterschap Veluwe ontwaterd. Van tevoren vergist het waterschap het slib van een aantal rwzi's in twee tanks. Daarnaast heeft het waterschap vorig jaar een extra gistingstank in gebruik genomen voor de vergisting van externe organische reststromen. Ook het uitgegiste slib uit deze installatie wordt op locatie ontwaterd met centrifuges. Bij het ontwateren ontstaat een ammoniumrijke afvalwaterstroom, het zogenoemde rejectiewater.

Deze extra stikstofvracht kon met de bestaande installatie niet effectief worden verwijderd zonder het doseren van een extra koolstofbron. Bovendien liggen de kosten van een extra koolstofbron in combinatie met de extra slibproductie erg hoog. Daarom is Waterschap Veluwe op zoek gegaan naar methoden om het rejectiewater separaat te behandelen en zo de stikstofvracht naar de hoofdzuivering te verlagen. Uit een aanbestedingsprocedure kwam naar voren dat de Demon-technologie, aangeboden door Grontmij en Logisticon, circa de helft goedkoper dan een concurrerend deammonificerend te implementeren was binnen de door het waterschap geformuleerde randvoorwaarden.

Microbiologische processen

Demon stoelt op twee microbiologische processen. De eerste is de oxidatie van een deel van het ammonium tot nitriet (partiële nitrificatie). Voor deze omzetting is zuurstof vereist en de Demon-reactor wordt daarom belucht. Het tweede proces is deammonificatie, vandaar de naam Demon. Deammonificerende bacteriën zijn in staat om zonder zuurstof nitriet te reduceren tot stikstofgas, waarbij ammonium wordt gebruikt als elektronendonor (dus zonder organische koolstofbron). In een Demon-reactor wordt circa de helft van het aangevoerde ammonium omgezet in nitriet, dat vervolgens met ammonium wordt omgezet in stikstofgas. Netto wordt ammonium omgezet in stikstofgas en een beetje nitraat.

Het is belangrijk dat tijdens de nitrificatie niet meer dan de helft van het ammonium in nitriet wordt omgezet; er moet immers

voldoende ammonium overblijven als substraat voor de deammonificerende bacteriën. Het (gepatenteerde) kernidee van Demon is dat deze gedeeltelijke nitrificatie wordt beheerst door de beluchting te koppelen aan de pH in de reactor. 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 deammonificatie kan plaatsvinden. 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 (zie afbeelding 1). De absolute waarde van de pH is van ondergeschikt belang voor de beluchting; de verandering van de pH is hier de sturende grootte. De absolute pH is bepalend voor het rendement van het systeem. Hoe lager de pH, des te meer nitrificatie en dus een hoger rendement. Daarnaast is het van belang dat oxidatie van nitriet naar nitraat wordt voorkomen. In dat geval hebben de deammonificerende

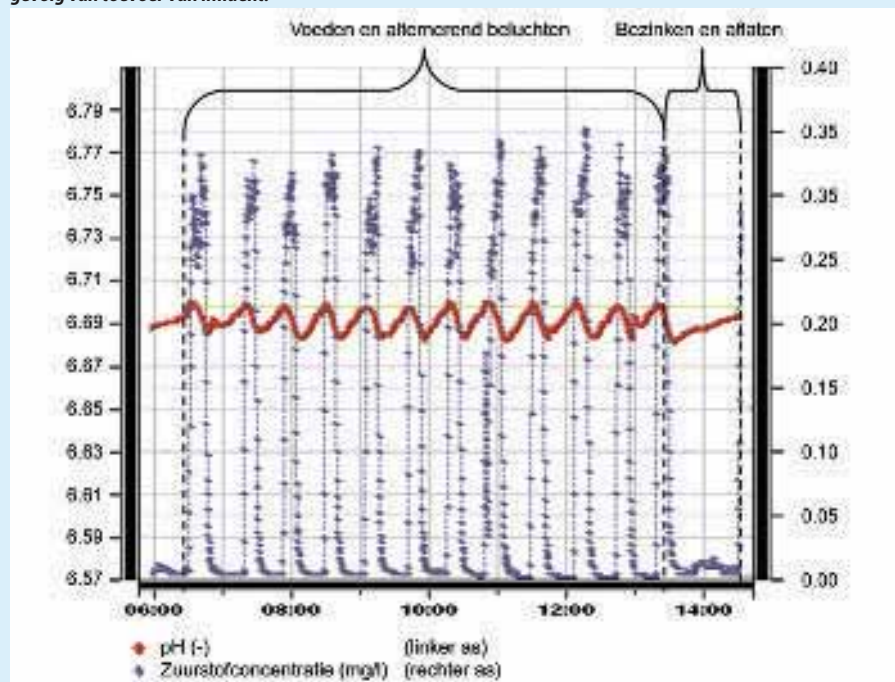
bacteriën immers geen nitriet meer tot hun beschikking en kunnen ze de deammonificatie-reactie niet uitvoeren. De groei van nitrietoxiderende bacteriën wordt onderdrukt door de zuurstofconcentratie in het systeem laag te houden (minder dan 0,3 mg/l). Door de pH-regeling blijft ook de nitrietconcentratie laag (beneden 10 mg/l). Hierdoor winnen de deammonificerende bacteriën de competitie om nitriet en wordt ingroei van nitraatvormers voorkomen.

Demon is een zogeheten *batch*-proces, opgebouwd uit de volgende fasen: vullen en alternerend beluchten, bezinken en aflaten. De standaard cyclusduur bedraagt acht uur.

De combinatie van partiële nitrificatie en deammonificatie heeft een aantal voordelen ten opzichte van 'traditionele' nitrificatie en denitrificatie:

- De partiële nitrificatie heeft een circa 60 procent lagere zuurstofvraag, wat een vergelijkbare besparing op de benodigde beluchtingsenergie oplevert;

Afb. 1: Typisch pH- en zuurstofprofiel van Demon. De pH daalt als gevolg van beluchting (nitrificatie) en stijgt als gevolg van toevoer van influent.



- Er hoeft geen koolstofbron te worden ingekocht, wat een aanzienlijke besparing op de exploitatiekosten oplevert;
- Doordat de stikstofverwijdering volledig autotroof verloopt, wordt minder slib geproduceerd.

De Demon-technologie wordt inmiddels op 14 locaties toegepast, onder meer in Oostenrijk, Duitsland en Zwitserland. De installatie in Apeldoorn is de eerste Demon-installatie in Nederland en ook meteen de grootste qua stikstofverwijderingscapaciteit op rejectiewater.

Ontwerp Apeldoorn

Het ontwerp van de Demon-installatie in Apeldoorn is gebaseerd op de influentkarakteristiek die Waterschap Veluwe opstelde (zie tabel). Opvallend is de relatief lage temperatuur; daarom is in het ontwerp een warmtewisselaar opgenomen. Het volume van de Demon-reactor wordt gedimensioneerd met als uitgangspunt de deammonificerende populatie. Op deze wijze wordt de processtabiliteit gegarandeerd. Deze stabiliteit is verder vergroot door het gebruik van een hydrocycloon voor de afvoer van spuislib. Hierdoor wordt het mogelijk om bij het spuien van slib een onderscheid te maken tussen de zwaardere vlokken met deammonificerende kolonies en de lichtere slibfractie die bestaat uit ingespoeld zwevend stof en nitrificerende bacteriën. Feitelijk is sprake van verschillende slibbleeftijden voor de zware en lichte fractie. Het reactorvolume van de Demon bedraagt 2.900 kubieke meter, waarin het dagdebiet in drie cycli verwerkt wordt. De rendementseis is 85 procent stikstofverwijdering.

Opstart en entslib

De opstart is uitgevoerd bij een verhoogde temperatuur van 35 graden Celsius om de groeisnelheid van de deammonificerende bacteriën te vergroten en zo de opstarttijd te verkorten. Entslib is aangevoerd vanuit de Demon-installatie in Strass (Oostenrijk). In totaal zijn vier vrachtwagens met 30 tot 35 kubieke meter ingedikt Demon-slib aangevoerd, overeenkomend met circa tien procent van de beoogde maximale omzettingcapaciteit. Ook is eenmalig een vracht nitrificerend slib uit een industriële zuivering aangevoerd om de zuurstofvraag van het systeem te vergroten.

Influentkarakteristiek

	gemiddeld	bereik
jaardebiet (m ³ /jaar)	372.600	
dagdebiet (m ³ /dag)	1.020	760-1.270
N _{totaal} (kg/dag)	1.355	1.010-1.690
N _{totaal} (mg/l)	1.328	
CZV (kg/dag)		1.500-2.100
zwevende stof (kg/dag)		500-1.375
pH		6,0-7,5
temperatuur (°C)		15-25



De eerste van in totaal drie vrachten entslib uit Oostenrijk.



Slib uit de Demonreactor. De deammonificerende bacteriën vormen duidelijk zichtbare rode korrels.

Doordat de reactor aan het begin van de opstart een zeer beperkte capaciteit had, was de zuurstofvraag van het systeem aanzienlijk lager dan de minimumcapaciteit van de blowers. In verband hiermee is met een start-stop beluchtingsregeling gewerkt tot er voldoende nitrificerende capaciteit in het systeem aanwezig was. De luchtinbreng was in dit stadium een kritische factor, omdat enerzijds de nitrietproducerende bacteriën voldoende zuurstof moesten krijgen en anderzijds niet zo veel zuurstof aanwezig moest zijn dat nitraatproducerende bacteriën zouden ingroeien. De competitie om nitriet is uiteindelijk in het voordeel van de deammonificerende bacteriën beslecht door naast de lage zuurstofconcentratie een hoge ammoniumconcentratie (200 tot 300 mg N/l) te handhaven. Zodra de zuurstofvraag van het systeem het onderste bereik van de blowercapaciteit had bereikt, kon de verdere capaciteitsopbouw via de automatische procesregeling plaatshebben.

Storingen

Tijdens de opstart heeft een aantal verstoringen weliswaar voor vertraging gezorgd,

maar ook het inzicht in het Demon-proces en de stabiliteit ervan vergroot.

De opstart van de slibgisting van externe afvalstoffen en diverse andere aanpassingen aan de sliblijn van rwzi Apeldoorn resulteerden in een fluctuerende centraatkwaliteit. Zo varieerde de ammoniumconcentratie tussen 800 en 3.500 mg N/l en werden gehalten van zwevende stof gemeten tussen 150 en 10.000 mg/l. Dergelijke variaties maken het moeilijk een systeem constant te belasten, wat tijdens een opstart van extra belang is. Een deel van de fluctuaties kon door middel van de buffertank worden opgevangen, waarin ook zwevende stof kan bezinken. Ondanks dit buffervolume en dagelijkse controles kwam het toch voor dat significante hoeveelheden zwevende stof de reactor inspoelden. Enkele tijdelijke stops van de opstart waren dan ook onvermijdelijk, omdat geen centraat van een acceptabele kwaliteit beschikbaar was.

Het regelmatig starten en stoppen van de blowers leidde tot een storing, waarbij één blower 14 uur continu aan stond. Vanwege de remmende invloed van zuurstof op de deammonificatie en vanwege de toxische werking van nitriet op de deammonificerende populatie werd gevreesd dat de deammonificerende activiteit in het systeem hierdoor was afgenomen. Omdat de nitrificerende activiteit nog laag was, hadden zich echter geen acuut toxische hoeveelheden nitriet gevormd. Ook bleken de langdurige oxidische omstandigheden geen onomkeerbare remming op deammonificerende bacteriën te hebben.

Daarna is de belasting met vijf tot tien procent per dag verhoogd, wat overeenkomt met een verdubbelingstijd van zeven tot tien dagen. Dit verliep goed en de belasting werd verhoogd tot al het beschikbare centraat

verwerkt kon worden (op dat moment 600 tot 800 kubieke meter per dag). Tijdens het opvoeren van de belasting is langzaam de ammoniumconcentratie in het systeem verlaagd zodat werd voldaan aan de rendementseisen.

Nadat de periode van capaciteitsopbouw was afgerond en het volledige centraatdebit kon worden behandeld, heeft zich nog een aantal incidenten voorgedaan dat echter voornamelijk het robuuste karakter van het Demon-proces onderstreepte. In december 2009 werd op de zuivering Apeldoorn ernstig verlies van nitrificatiecapaciteit geconstateerd. De nitrificatieversturende stof(fen) in deze lozing is via de sliblijn in de Demon terechtgekomen. Begin januari 2010 bleek ook de nitrificatiecapaciteit van de Demon-reactor te worden geremd. Vervolgens liepen de ammoniumconcentratie en nitraatconcentratie op, terwijl de pH geen verandering liet zien. Dit is een teken dat nitraatvormende bacteriën ingroeien: ammonium loopt in dat geval op omdat 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 nitrificatieactiviteit de zuurstofvraag in het systeem erg laag was. Als gevolg hiervan was de zuurstofconcentratie hoger, waardoor de concurrentie om nitriet gewonnen werd 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 circa 75 procent 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 verholpen kan worden. Wel trad tijdens deze tweede opstart

sterke schuimvorming op. In eerste instantie werd gedacht aan afbraak van biomassa; er bleek echter een test met nieuw polymeer te zijn uitgevoerd in de slibontwatering. Zodra dit polymeer niet meer gebruikt werd, was ook geen sprake meer van schuimvorming. Na dit incident is nogmaals goed gekeken naar de slibbalans en -leeftijd en is beter toegezien op het aanhouden van lage zuurstofconcentraties. Ook bij het wegvallen van de nitrificatiecapaciteit moet extra voorzichtig belucht worden, terwijl anders juist extra belucht wordt om nitrificeerders te stimuleren.

Warmtevraag

Ondanks de koude winter van 2009/2010 bleef de warmtevraag van het systeem opvallend laag. De temperatuur van het rejectiewater blijkt hoger te zijn dan in de vraagspecificatie is aangenomen. Door de combinatie van goede isolatie van de buffertank en reactor en de biologische warmteproductie bleef het systeem op temperatuur zonder externe warmtetoevoer. Het systeem houdt zich bij een gemiddelde belasting en een goed rendement op temperatuur. Daarom is de in het ontwerp opgenomen warmtewisselaar buiten gebruik gesteld.

Stabiël bedrijf

Inmiddels draait de Demon-reactor ongeveer een jaar boven verwachting. Het volledige aanbod van 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 van externe afvalstoffen verschillende afvalstoffen vergist worden. In het bijzonder het vergisten van kippenbloed resulteert in een sterke stijging van de stikstofvracht naar de Demon-reactor. Incidenteel is sprake van een sterk verhoogde inspoeling van zwevende stof als gevolg van een verminderde afscheiding in de centrifuges. Hier bewijst de hydrocycloon zijn nut, doordat het lichtere slib snel afgevoerd kan worden. Stabiël bedrijf bij

deze snelle wijzigingen in belasting bewijst, net als het herstel na de ingroei van nitraatvormers, dat het Demon-proces robuuster is dan op grond van literatuur over deammonificerende systemen wordt gesuggereerd.

Als laatste is op de zuivering de regeling aangepast die de afvoer van rejectiewater vanaf de centrifuges aanstuurt. De laatste maanden wordt vrij constant 1.000 tot 1.100 kubieke meter geproduceerd met af en toe sterke pieken of dalen. De ammoniumconcentratie varieert tussen 1.100 tot 1.300 mg N/l. Het volledige aanbod wordt behandeld, wat neerkomt op belastingen tot 1.430 kg N per dag. Effluentconcentraties van ammonium liggen tussen de 100 en 200 mg N/l. De concentratie nitraat, bijproduct van het deammonificatieproces, is over het algemeen erg laag en is de laatste maand niet boven de 10 mg N/l uitgekomen. Deze lage waarde is waarschijnlijk het gevolg van het feit dat het rejectiewater relatief veel afbreekbare organische stof bevat, die wordt gebruikt voor de denitrificatie. Effluentconcentraties nitriet zijn nihil. Het rendement waarmee opgeloste stikstof wordt verwijderd ($\text{NH}_4\text{-N}$ en $\text{NO}_3\text{-N}$) varieert tussen de 80 en 90 procent. Vooral tijdens sterke wisselingen in belasting kan het rendement wat lager zijn. Gemiddeld voldoet de Demon-installatie aan de rendementseisen van 85 procent of hoger.

Vervolg

Met de installatie in Apeldoorn is de Demon-technologie succesvol geïntroduceerd in Nederland. De installatie is volledig overgedragen aan Waterschap Veluwe en draait naar tevredenheid van het waterschap. Na enkele succesvolle testen is het waterschap voornemens structureel ook externe stromen, in dit geval water afkomstig van een GFT-vergister, te behandelen in de Demon-installatie. Daarnaast wordt in Nederland gewerkt aan Demon-reactoren in Nieuwegein (450 kg N/d), die in de opstartfase verkeert, en in Amersfoort (circa 700 kg N/d). Ook buiten Nederland zijn verschillende Demon-projecten in voorbereiding.

Met de Demon-technologie is Nederland een duurzame en kostenefficiënte stikstofverwijderingstechnologie rijker. Ze levert een substantiële bijdrage aan het terugdringen van het energieverbruik van een rwzi. De succesvolle introductie van de Demon-technologie brengt de energieproducerende rwzi dan ook een stap dichterbij.

Ruben Meulenkamp en Arjan Borger (Grontmij), Frans Visser (Waterschap Veluwe)

