BABE bewijst duurzame meerwaarde

Eric van der Zandt, DHV
Bastiaan Hommel, Waterschap Aa en Maas
Tini Jurgens, Waterschap Aa en Maas
Debby Berends, DHV

In de zomer van 2005 is op de rwzi 's-Hertogenbosch de BABE-reactor gebouwd en aangesloten op de aëratietanks. In september is de deelstroombehandeling in bedrijf gesteld. De technologie had zich al bewezen in STOWA-onderzoek[1),2)]. Bovendien was de keuze voor het proces goed onderbouwd via een systeemkeuze en aanvullende berekeningen door TU Delft. Maar de werkelijkheid laat zich niet altijd even goed in modellen vangen. Een nieuw proces zal zich de eerste keren telkens opnieuw moeten bewijzen. De opstart is dan ook nauwgezet gevolgd. Afgelopen februari zijn met succes garantiemetingen uitgevoerd. De resultaten bewijzen dat het BABE-proces de stikstofverwijdering versterkt door enting van ammoniumoxideerders aan de aëratietanks. De stikstofverwijdering in de BABE-reactor zelf verloopt grotendeels via de nitrietroute, zodat het proces duurzamer is dan vaak wordt aangenomen.

Na de oplevering van de eerste fase van de rwzi 's-Hertogenbosch in 2000 bleek de stikstofverwijdering van de rwzi minder goed dan verwacht. De lozingseis van 12 mg N/l als voortschrijdend jaargemiddelde werd regelmatig overschreden en de gebiedsreductie voor stikstof werd net wel of net niet gehaald. Uit een grondige analyse van het functioneren van de rwzi bleek dat de slibleeftijd bij lage temperaturen kritisch was, met een teleurstellende nitrificatie als gevolg. Het probleem zou alleen maar verergeren door de verwachte toename van de biologische belasting van de toch al volbelaste rwzi.

Nadat diverse kleine optimalisaties onvoldoende verbetering opleverden, is besloten om de mogelijkheden van deelstroombehandeling te onderzoeken. Uit de systeemkeuze bleek dat deelstroombehandeling mét enting van nitrificeerders aan het hoofdstroomproces een betere stikstofverwijdering geeft dan systemen zonder enting, juist ook bij de verwachte belastingtoename[3)]. Alleen het BABE-proces biedt dit waardevolle enteffect. Het proces scoorde ook goed op overige belangrijke aspecten als investerings- en exploitatiekosten, hoewel de inpassing iets lastiger was.

De BABE-reactor

Het BABE-proces dient twee doelen: ten eerste wordt de stikstofvracht uit de deelstroom verlaagd, ten tweede worden nitrificeerders gekweekt waarmee de stikstofverwijdering in de hoofdstroom wordt versterkt. Conventionele deelstroombehandelingen zorgen ook voor een verlaging van de stikstofvracht naar de hoofdstroom, maar resulteren in een kleinere fractie nitrificeerders in het actiefslib. Daardoor wordt de capaciteit voor het verwerken van ammoniumpieken in de hoofdstroom minder en het risico van verlies van de nitrificatie groter.

Het BABE-proces kent deze nadelen niet door de enting van nitrificeerders aan de aëratietanks. De enting van nitrificeerders kan de oplossing zijn voor rwzi's met een kritische slibleeftijd, zoals rwzi 's-Hertogenbosch, maar kan ook de nitrificatie in minder tijd of een compacter volume laten plaatsvinden, waardoor de denitrificatie - soms letterlijk - meer ruimte krijgt.

De extra groei van nitrificeerders is het gevolg van de hoge ammoniumconcentratie en hoge temperatuur van het centraat. De stikstofvracht in de deelstroom vormt 15 tot 25 procent van de totale stikstofbelasting van de rwzi 's Hertogenbosch. De temperatuur van het centraat bedraagt 28 à 30°C. De hoeveelheid centraat is gerelateerd aan de bedrijfstijd van de ontwateringscentrifuge. Kenmerkend voor de rwzi 's-Hertogenbosch is een bedrijfstijd van zes tot 18 uur per dag gedurende vier tot zes dagen per week. Het debiet varieert dan ook tussen 300 en 900 kubieke meter op de dagen dat de centrifuge in bedrijf is. De ammoniumconcentratie is door een aangepaste bedrijfsvoering van de centrifuge (geen naverdunning bij de PE-aanmaak) opgelopen van 600 naar 1.000 mg/l. De ammoniumvracht varieert op dagen met centraataanvoer naar de reactor tussen 300 en 600 kg.

De reactor is ontworpen om dagelijks 700 kubieke meter centraat te behandelen met een gemiddelde ammoniumconcentratie van 700 mg/l. Het reactorvolume bedraagt 1.350 kubieke meter en de ontwerptemperatuur 25°C. De afvoer van de reactor wordt verdeeld over de vier aëratietanks van de rwzi 's Hertogenbosch. Omdat deze tanks volledig onafhankelijk van elkaar werken, wordt retourslib van elke aëratietank bij toerbeurt naar de reactor gepompt.

BABE is een discontinu proces dat een cyclus van vullen, beluchten, mengen, bezinken en aflaten doorloopt[4)]. In 's-Hertogenbosch duurt een cyclus ruim drie uur en gaat het vullen in alle fasen van de cyclus door zolang de centrifuge draait. Het beluchten en mengen gebeurt alternerend, zodat nitrificatie en denitrificatie afwisselend plaatsvinden. Omdat tijdens het aflaten ook een deel van het slib in de reactor naar de aëratietanks wordt afgevoerd, wordt tijdens de denitrificatie retourslib toegevoegd. Toevoegen van retourslib dient in de eerste plaats voor de enting van nitrificeerders aan de aëratietanks. Door dit tijdens de denitrificatie te doen, wordt bespaard op de methanoldosering.

De BABE-reactor in 's-Hertogenbosch vergde een investering van 1,2 miljoen euro. De provincie Noord-Brabant heeft de realisatie financieel ondersteund.

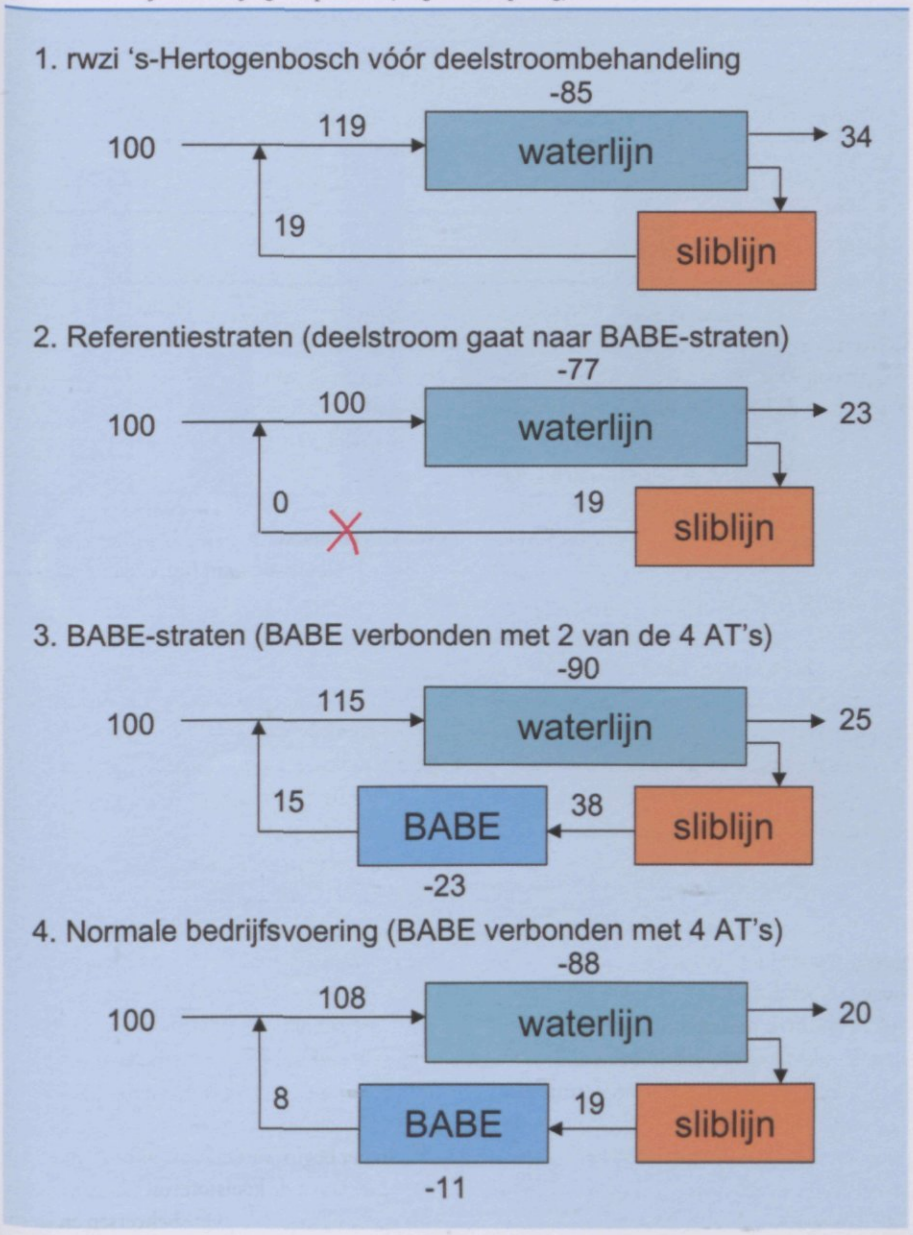
Inbedrijfstelling

Bij het BABE-proces draait het dus om het kweken en enten van nitrificeerders aan de aëratietanks. Het grootse gevaar ligt in een te hoge aërobe slibleeftijd, waardoor de afsterving van nitrificeerders te groot wordt of zelfs de overhand krijgt. De BABE-reactor is daarom opgestart met relatief korte beluchtingstijden, die gestaag zijn opgevoerd. De opstart is verder eenvoudig en snel, omdat kan worden gestart met slib van de aëratietanks. Dit is een groot voordeel van het proces: de schier eindeloze voorraad entslib op de rwzi maakt na een calamiteit een snelle herstart mogelijk.

In het begin waren de buffercapaciteit van het centraat en de koolstofbron van het retourslib voldoende om de pH te beheersen en werd

De BABE-reactor op rwzi 's-Hertogenbosch.

Afb. 1: Stikstofbalansen bij lage temperaturen (in kg N-totaal per dag).



geen methanol gedoseerd. Vanaf de start werd veel meer nitriet als nitraat aangetroffen in de afloop van de reactor. Na verloop van tijd is de methanoldosering in bedrijf genomen.

Na de opstart is enige tijd uitgetrokken om de bedrijfsvoering van het BABE-proces en hoofdstroomproces op elkaar af te stemmen. Een nieuw procesonderdeel met een nieuwe technologie vereist, zeker in de eerste periode, de nodige aandacht van de bedrijfsvoering. De processtappen van de cyclus kunnen op een groot aantal manieren worden ingesteld. Er is dan ook enige tijd gezocht naar de juiste indeling van de batchcyclus, de bijbehorende instellingen en de juiste methanoldosering. Ook is de besturing van de aëratietanks iets aangepast.

De ervaring leert dat het proces - nadat de juiste instellingen zijn gevonden - probleemloos en vrijwel zonder toezicht functioneert.

Garantiemetingen

De BABE-reactor is ten behoeve van de garantiemetingen aangesloten op twee van de vier aëratietanks. Zoals gezegd zijn deze volledig van elkaar gescheiden. De twee straten die niet van het enteffect profiteren, ontvangen ook geen centraat meer. In zekere zin representeren deze straten een deelstroombehandeling met maar liefst 100 procent rendement. De BABE-reactor zelf werd gestuurd op een nitrificatierendement van ongeveer 70 procent en een denitrificatierendement van 80 procent. Van de stikstofvracht in het centraat gaat uiteindelijk dus iets minder dan de helft naar de twee aëratietanks. Het doel is om de 'BABE-straten' ondanks een hogere stikstofbelasting net zo goed of beter te laten presteren dan de referentiestraten.

De prestaties zijn gevolgd via stikstofbalansen, nitrificatiesnelheidsmetingen en FISH-analyses. Beide laatste zijn uitgevoerd door TNO. De meetperiode is afgesloten met garantiemetingen eind februari.

Stikstofbalans

Hoewel de vrachten in alle stromen aanzienlijke variaties laten zien, ontstaan de in afbeelding 1 geschetste stikstofbalansen als de gehele meetperiode wordt bekeken. De ammoniumvracht in het centraat was gemiddeld 381 kg/d. Het nitrificatierendement van de BABE bedroeg 75 procent en het rendement van de denitrificatie 80 procent, zodat in de afloop nog circa 150 kg/d N-totaal resteerde. De afloop bevat meer nitriet dan nitraat; het aandeel van nitriet in de NO_x-concentratie is 50 tot 80 procent. De afloop van de twee voorbezinktanks bevatte gemiddeld 2.040 kg N/d, nagenoeg gelijkmatig verdeeld. Gemiddeld

genomen bedroeg de stikstofvracht in de deelstroom dus 19 procent van de influentvracht.

Omdat de afloop van de BABE alleen over aëratietank 1+2 werd verdeeld, was de stikstofvracht van deze twee straten ongeveer 15 procent hoger dan de vracht naar de referentiestraten 3+4. In het effluent waren van de extra 150 kg stikstof nog ongeveer 20 kg terug te vinden, waardoor het effluent van de BABE-straten ongeveer 1 mg/l méér stikstof bevatte. De verwijderde stikstofvracht in de BABE-straten was met 910 kg/d ruim 16 procent hoger dan in de referentiestraten. Gelet op het gemiddelde stikstofgehalte in het effluent van de referentiestraten, is het aanbod van stikstof in deze straten niet de limiterende factor. De extra verwijderingscapaciteit in de BABE-straten is dan ook het gevolg van de enting van nitrificeerders, zoals blijkt uit de metingen van de nitrificatiesnelheid. De gemiddelde effluentkwaliteit in deze koudste maanden van het jaar (13,8 vs. 12,7 mg/l, waarvan ongeveer de helft ammonium) biedt alle vertrouwen dat de jaargemiddelde eis van 12 mg/l gemakkelijk wordt gehaald.

In de opzet voor de garantiemetingen worden de aëratietanks die op het BABE-proces zijn aangesloten extra zwaar belast, terwijl de referentiestraten juist worden 'onderbelast'. Desondanks presteren de BABE-straten nu al vrijwel even goed als de referentiestraten. Bij een normale bedrijfsvoering is de BABE-reactor verbonden met alle straten, waardoor deze alle profiteren van het enteffect, terwijl de belasting gelijkmatiger wordt verdeeld. In deze situatie mag een effluentkwaliteit worden verwacht die beter is dan wat de BABE- en referentiestraten tijdens de garantiemetingen hebben laten zien (zie afbeelding 1).

Enteffect

Om het enteffect te kunnen kwantificeren, zijn meerdere keren nitrificatiesnelheidsmetingen en FISH-analyses uitgevoerd met actiefslib uit één van de BABE-straten en referentiestraten en met het slib uit de BABE-reactor. Beide metingen zijn uitgevoerd door TNO. Tabel 1 vat de resultaten van de snelheidsmetingen samen.

De nitrificatiesnelheid in de BABE-straten ligt ruim 20 procent hoger dan de snelheid in de referentiestraat. Het slib in de BABE-reactor heeft zelfs een snelheid die ruim twee maal zo hoog is. Deze resultaten komen zeer goed overeen met Simba-simulaties en worden in grote lijnen bevestigd door de FISH-analyses (zie afbeelding 2). De hoeveelheid ammoniumoxideerders in de straten met enting van slib uit de BABE-reactor is ongeveer 50 procent hoger dan in de referentiestraten. Het actiefslib van de reactor telt zelfs 2,5 keer zo veel ammoniumoxideerders. Bij de telling van het aantal nitrietoxideerders ontstaat echter een heel ander beeld. De aantallen in het actiefslib van referentie- en teststraat ontlopen elkaar nauwelijks. Het slib in de BABE-reactor bevat juist minder nitrietoxideerders.

Nitrietroute

De FISH-analyses en de analyseresultaten van de afloop van de BABE-reactor duiden erop dat de oxidatie van nitriet achterblijft bij de ammoniumoxidatie. De stikstofverwijdering in de reactor verloopt in dat geval via de nitrietroute, wat gunstige gevolgen heeft voor het energieverbruik en de consumptie van koolstofbron.

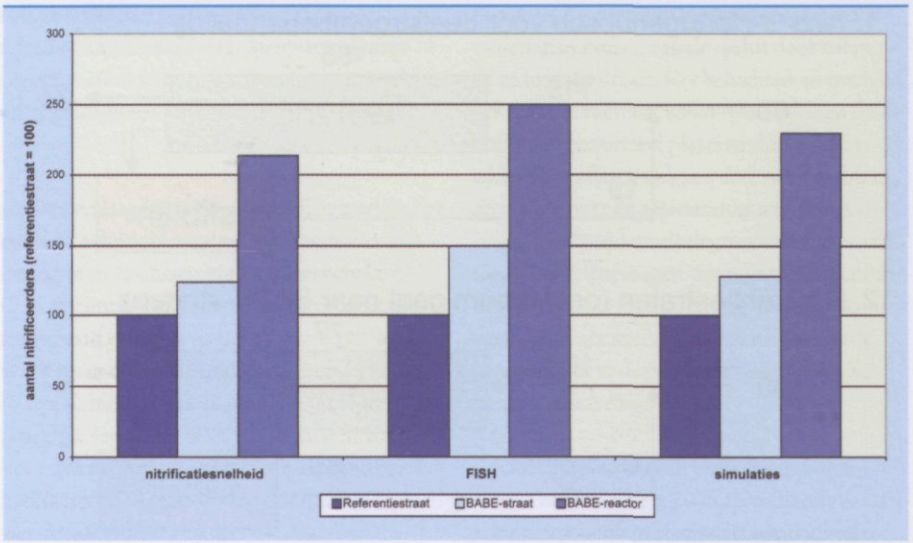
Stoichiometrisch hoort bij denitrificatie via de nitrietroute een methanolverbruik van 1,14 kg/kg N, terwijl dit bij de nitraatroute 1,90 is. Volgens STOWA-onderzoek[5] zijn in de praktijk hogere doseringen vereist, en wel 1,8 respectievelijk 2,6 kg MeOH/kg NO_x-N.

Afbeelding 3 laat zien dat het methanol-

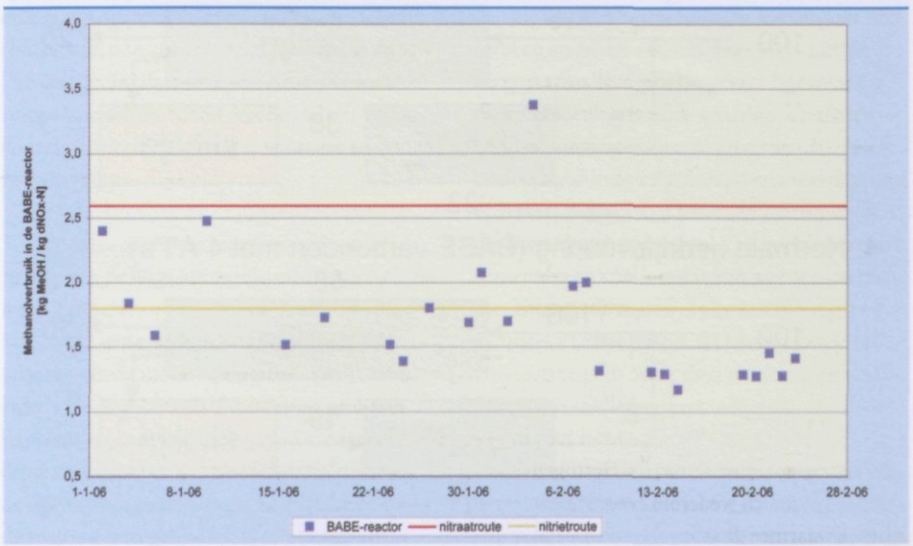
Tabel 1. Resultaten nitrificatiesnelheidsmetingen.

	nitrificatiesnelheid (g N/kg TSS.h)	relatief t.o.v. referentie (%)
referentiestraat	2,23	-
BABE-straat	2,75	+23
BABE-reactor	4,76	+114

Afb. 2: Gemeten en berekend aantal nitrificeerders.



Afb. 3: Methanolverbruik in de BABE-reactor.



verbruik in de BABE-reactor doorgaans minder is dan twee kilo methanol per gedenitrificeerde kilo NO_x-N. Daarmee staat vast dat een groot deel van de stikstofverwijdering via de nitrietroute verloopt. Tijdens de garantiemetingen was het methanolverbruik slechts 1,27-1,45 kg, wat de stoichiometrische verhouding voor de nitrietroute benadert. Natuurlijk draagt ook de koolstofbron die met het retourslib wordt aangevoerd bij aan het zeer gunstige methanolverbruik.

De oxidatie van nitriet wordt waarschijnlijk geremd door vrij ammoniak[6]. Anders dan bij andere deelstroombehandelingen speelt de hydraulische verblijftijd hierin geen rol. Door de toevoer van retourslib is de slibleeftijd immers losgekoppeld van de hydraulische verblijftijd. Door de remming kunnen nitrietoxideerders zich niet goed handhaven in de BABE-reactor, wat wordt bevestigd door de FISH-analyses.

Het gevolg is zeer gunstig voor zuiveringsbeheerders. Het BABE-proces kweekt en ent juist die nitrificeerders die bij lage temperaturen het langzaamst groeien en verwijdert stikstof op een duurzame wijze, met een gunstig energie- en chemicaliënverbruik. In het hoofdstroomproces kunnen de nitrietoxideerders zich uitstekend handhaven en wordt vrijwel geen nitriet gevonden in het effluent.

Conclusie

Nadat de BABE-technologie eind 2005 in bedrijf is genomen op de rwzi 's-Hertogenbosch, heeft ze zich wederom bewezen als een techniek waarmee de stikstofvracht uit deelstromen kan worden weggenomen zonder de gebruikelijke negatieve gevolgen voor de nitrificatiecapaciteit in de aëratietanks. Door de enting van nitrificeerders aan de aëratietanks wordt de nitrificatie daar juist versterkt, wat ook is gebleken uit de garantiemetingen. De veel hogere stikstofbelasting van de BABE-straten werd bijna volledig weggenomen in de aëratietanks.

Het enteffect is aangetoond via nitrificatietesten en FISH-analyses en blijkt ook uit de stikstofbalansen. De enting betreft echter uitsluitend ammoniumoxideerders. Door remming kunnen nitrietoxideerders zich niet handhaven in de deelstroombehandeling. Het gevolg is dat de stikstofverwijdering in de BABE-reactor via de nitrietroute verloopt. Dit is bevestigd door het zeer lage methanolverbruik waarmee het BABE-proces tot de duurzaamste deelstroombehandelingen behoort.

Deze resultaten bevestigen de juistheid van de keuze van Waterschap Aa en Maas voor deelstroombehandeling met het BABE-proces en geven alle vertrouwen dat de rwzi 's-Hertogenbosch de komende jaren ruimschoots aan de vergunningseis van 12 mg N-totaal als voortschrijdend jaargemiddelde zal voldoen. ¶

LITERATUUR

1) STOWA (2002). De BABE-technologie. Rapport 2002-42.
2) Salem S. (2005). Bioaugmentation of nitrification in activated sludge systems. Proefschrift TU Delft.
3) Hommel B. et al (2004). Eerste BABE-reactor in Nederland. H_2O nr. 19, pag. 6.
4) Berends D. et al (2002). BABE-technologie volwassen. H_2O nr. 19, pag. 83.
5) STOWA (1995). Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen. Praktijkonderzoek met de membraanbioreactor bij het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk. Rapport 1995-09.
6) Anthonisen A. et al (1976). Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid. J. Wat. Pol. Contr. Fed. nr. 5, pag. 835.