

Wat mag stikstofverwijdering uit industrieel afvalwater kosten?

Door de strengere regelgeving voor het lozen van stikstof op oppervlaktewater neemt de aandacht voor stikstofverwijdering uit afvalwater toe. Rijkswaterstaat gaf KWA Bedrijfsadviseurs de opdracht te onderzoeken wat de ervaringen zijn met de diverse behandelingstechnieken en de daaraan verbonden kosten. Met als leidende vraag: Welke kosten mogen redelijkerwijs worden gevraagd van de industrie om de stikstofbelasting op het oppervlaktewater te reduceren?

Bij lozing van gezuiverd afvalwater op oppervlaktewateren is de Wet verontreiniging oppervlaktewateren van toepassing. Daarin zit de Europese IPPC-richtlijn inzake geïntegreerde preventie en bestrijding van verontreiniging verwerkt. Deze richtlijn maakt onderscheid tussen IPPC-bedrijven (groot effect op het milieu) en overige bedrijven (kleiner effect). De IPPC-richtlijn verplicht de Europese lidstaten om grote, relatief milieuvriendelijke bedrijven te reguleren via een integrale vergunning op basis van de beste beschikbare technieken (BBT). IPPC-bedrijven worden nu getoetst aan zogeheten BREFs (referentiedocumenten voor de stand der techniek in de betreffende bedrijfstak). Deze beschrijven technieken voor de behandeling van het afvalwater en geven effluentwaarden die met deze technieken realiseerbaar zijn. Lozingen van niet-IPPC-bedrijven worden voornamelijk getoetst aan documenten van de voormalige Commissie Integraal Waterbeheer en het huidige Landelijk Bestuurlijk Overleg Water. Ook het Lozingenbesluit Stedelijk afvalwater wordt hiervoor gebruikt.

De lozing van stikstofverbindingen wordt als relatief schadelijk beschouwd voor ontvangend oppervlaktewater. Stikstofverbindingen vallen om deze reden onder de emissieaanpak, die erop is gericht de lozing van stikstof te verminderen. In 2004 bedroeg de rest-stikstoflozing op oppervlaktewater vanuit de industrie nog 3.200 ton. Naar verwachting is deze lozing in 2010 gereduceerd tot 2.400 ton als gevolg van de invoering van saneringsmaatregelen bij de industrie. Aanvullend op de emissieaanpak wordt met een immissietoets beoordeeld welk effect de bestaande of nieuwe lozing heeft op de waterkwaliteit. Soms volgen daaruit aanvullende eisen boven op de eisen die voortvloeien uit de emissieaanpak om voldoende bescherming van het ontvangende oppervlaktewater te garanderen.

Inventarisatie van technieken

Er zijn verschillende technieken beschikbaar om het gehalte aan stikstofverbindingen in afvalwater te verlagen. Onderscheid is te maken in fysische en fysisch-chemische technieken, standaard biologische

technieken en nieuwe(re) biologische technieken.

Fysische en fysisch-chemische technieken om stikstof te verwijderen zijn strippen, elektrolyse, ionenwisseling en struvietprecipitatie, waarvan elektrolyse en ionenwisseling in de industriële praktijk niet worden toegepast. (Stoom)strippen van ammoniak en precipitatie van ammonium als magnesiumammoniumfosfaat in het struvietproces (onder andere in de mestverwerking) worden wel in verschillende sectoren aangetroffen, met name bij hoge gehalten aan stikstof. Beide processen leveren een product met een restwaarde.

De standaard biologische technieken omvatten biologische stikstofverwijdering volgens de route nitrificatie en denitrificatie. Deze technieken zijn overwegend geschikt voor de verwijdering van lagere stikstofgehalten en worden in veel sectoren van de industrie aangetroffen. Bij toepassing van nitrificatie/denitrificatie op rwzi's blijven lage restgehalten voor stikstof in het effluent achter. De totale stikstofverwijdering in rwzi's

in Nederland bedraagt inmiddels meer dan 75 procent.

Bij industriële systemen wordt stikstofverwijdering middels nitrificatie/denitrificatie met sterk variërende rendementen toegepast. Ten opzichte van rwzi's lijkt in verschillende gevallen nog een duidelijke inhaalslag te maken. Bij nitrificatie wordt ammoniumstikstof geoxideerd tot nitriet en vervolgens nitraat. Bij denitrificatie worden nitriet en nitraat gereduceerd tot stikstofgas. Er zijn allerlei uitvoeringsvarianten mogelijk, die terug te voeren zijn op drie basistechnieken: voor-denitrificatie, simultane nitrificatie/denitrificatie en na-denitrificatie. Bij voordenenitrificatie wordt het slibwatermengsel gerecirculeerd over een voorgeschakeld denitrificatiebassin, waarin menging plaatsvindt met het influent. Hierdoor is een ruime hoeveelheid substraat (stoffen bestaande uit organische koolstofverbindingen) aanwezig, wat zorgt voor een snel verlopend denitrificatieproces. De mate van denitrificatie hangt af van de recirculatiefactor. Voor een hoog rendement is een hoge recirculatie nodig, wat relatief veel energie kost. Dit is tegelijk ook het nadeel van dit proces.





Drie technieken voor het verwijderen van stikstof uit het slibvergistingswater van een rwzi: SHARON (linksboven), ANAMMOX (rechts) en BABE (linksonder).

Bij simultane nitrificatie/denitrificatie wordt de beluchtingsruimte tevens benut voor denitrificatie door toepassing van zuurstofloze ruimten en/of perioden. Deze techniek wordt veruit het meest toegepast bij aerobisch biologische zuiveringssystemen. Bij nadenitrificatie wordt het effluent via een nageschakelde denitrificatiereactor geleid. Voor een goed verlopende reactie is (veelal) een aanvullende koolstofbrondosering nodig, tevens een nadeel van deze methode. Nadenitrificatie wordt in de praktijk alleen toegepast voor het bereiken van zeer lage stikstofgehalten in het effluent.

Nieuwe technieken om stikstof in hogere concentraties kosteneffectief (biologisch) te verwijderen, zijn de afgelopen jaren in de praktijk toegepast. In de meeste gevallen

worden ze specifiek op geconcentreerde deelstromen toegepast bij rwzi's met veelal nazuivering in een conventionele aerobisch biologische zuivering. Van de ontwikkelingen op dit gebied zijn de volgende technieken in de studie beschouwd: BABE, SHARON, ANAMMOX en MBR.

Bij BABE (Bio Augmentation Batch Enhanced) worden nitrificerende organismen gekweekt in een separate reactor. In een BABE-reactor komen zowel de *Nitrosomonas*- (omzetting van ammonium in nitriet) als de *Nitrobacter*-bacteriën (omzetting van nitriet in nitraat) voor. Door afwisselend te beluchten en te mengen vinden nitrificatie en denitrificatie plaats, grotendeels via de nitrietroute. Het effluent (en een deel van het slib) wordt vanuit de reactor afgelaten naar

de aerietanks. Het BABE-proces stimuleert hiermee de stikstofverwijdering in het hoofdproces en levert extra biomassa.

SHARON (Stable and High rate Ammonia Removal Over Nitrite) is een techniek voor de verwijdering van stikstof uit afvalwater via nitrificatie/denitrificatie. Bij deze techniek wordt ammonium door bacteriën via nitriet omgezet in stikstofgas. Sharon wordt uitgevoerd als compleet gemengd ééntanksysteem of als tweetanksysteem. Beide systemen fungeren als chemostaat, waarbij geen slibafscheiding plaatsvindt. Bij het tweetanksysteem is één tank belucht voor nitrificatie en de andere tank onbelucht voor denitrificatie. Bij dit systeem is recirculatie nodig over beide tanks en veelal een aanvullende koolstofbron voor de denitrificatie.

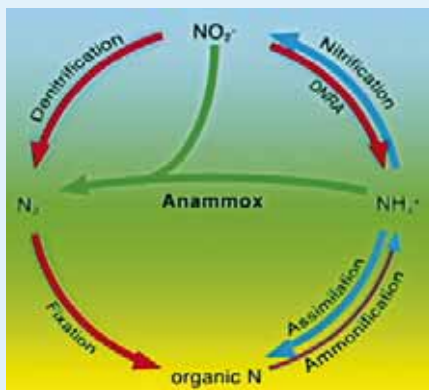
Matrix van stikstofverwijderingstechnieken met indicatieve rendementen en kosten.

techniek/kenmerken	capaciteit systeem (kg N/j) ¹⁾	concentratie (mg N/l)	rendement (%) ²⁾	kosten (euro/kg verwijderd)
industriële (afval)water biologische techniek	50.000-200.00	tot 250 ³⁾	>95	2,5-4,5
communaal afvalwater nieuwe technieken (BABE, SHARON, ANAMMOX)	75.000-200.000	>250	tot 75	1,5-3,0
biologische technieken	100.000-300.000	tot 250 ³⁾	tot 75	3,5-5,5
biologische techniek - MBR	100.000	tot 250 ³⁾	tot 75	>5,5
nageschakelde denitrificatie	10.000	tot 10 ³⁾	tot 60	>20

1) Gebaseerd op voorbeelden uit de praktijk.

2) Afhankelijk van influentconcentratie.

3) Het is mogelijk deze technieken in te zetten bij hogere stikstofgehalten. De maximale verwijdering is echter begrensd door de genoemde gehalten.



Nitrificatie/ANAMMOX.

ANAMMOX (ANAerobe AMMONiumOXidatie) is een proces voor de biologische verwijdering van ammonium uit afvalwater, waarbij onder anaerobe omstandigheden ammonium met behulp van nitriet wordt omgezet in stikstofgas door de bacterie *Brocadia anammoxidans*. Het proces is autotroof, wat betekent dat voor de omzetting van ammonium in stikstofgas geen koolstofbron nodig is. Een verhouding ammonium/nitriet van ongeveer 1 : 1,3 is nodig voor een goed verloopend proces. ANAMMOX wordt uitgevoerd als compleet gemengd ééntanksysteem.

Een membraanbioreactor (MBR) is een aerob biologisch zuiveringstelsel met slibwaterscheiding door membranen in plaats van in een nabezinker. De overige processen blijven gelijk aan de conventionele biologische zuiveringstechniek. Voordeel van een MBR is dat een hoger slibgehalte van 10 tot 20 gram per liter mogelijk is. Dit resulteert in een kleiner volume van de zuivering en een oplopende temperatuur in de MBR. De hogere temperatuur heeft een positieve invloed op de snelheid van de biologische processen. Verder produceert een MBR effluent waarin geen deeltjes meer aanwezig zijn en verwijdering van slibgebonden (organisch gebonden) stikstof plaatsheeft. Nadelen van de techniek zijn het hogere energieverbruik en de hogere operationele kosten.

BABE, SHARON en ANAMMOX zijn bij uitstek geschikt voor afvalwaterstromen met hogere stikstofgehalten dan 250 milligram per liter, terwijl MBR en biologische technieken vooral lagere gehalten behandelen. Op diverse plaatsen worden de nieuwere technieken al toegepast bij rwzi's, bijvoorbeeld op rejec-tiewater uit de slibontwatering. Binnen de industrie worden de nieuwe technieken nog niet op grote schaal toegepast.

De keuze welke van de genoemde technieken geschikt is voor een industriële afvalwaterstroom, wordt door meerdere factoren bepaald. De belangrijkste zijn de samenstelling van het afvalwater, de temperatuur en het debiet, de vorm waarin stikstof aanwezig is, het te verwachten milieurendement, de kosten per kilo verwijderde stikstof en de plaatselijke omstandigheden, zoals beschikbare ruimte



Membraanmodules van een MBR.

en eventuele aanwezigheid van een fysisch-chemisch of biologisch zuiveringstelsel.

Kosten

De kosten per kilo verwijderde stikstof van de technieken BABE, SHARON, ANAMMOX en nageschakelde denitrificatie zijn geïnventariseerd op basis van gegevens van praktijk-systemen. Deze zuiveringstechnieken zijn primair bedoeld om stikstof te verwijderen. De praktijkgegevens zijn hierdoor goed te vertalen naar specifieke kosten voor de stikstofverwijdering. Toch dienen de cijfers als indicatief te worden beschouwd en zijn ze sterk afhankelijk van de specifieke situatie. Zo kan een verschil in de verhouding CZV/N in het afvalwater van twee systemen een groot verschil geven in specifieke verwijderingskosten.

Bij de andere technieken wordt stikstof verwijderd naast organisch materiaal. Bij deze technieken is de toekenning van de specifieke kosten voor stikstofverwijdering complex. Hierdoor zijn de gepresenteerde gegevens van deze technieken nog meer indicatief dan bij de hiervoor genoemde technieken. Verder is nog van belang dat de zuiveringskosten bij rwzi's voor een groot gedeelte worden bepaald door de eis om ook bij lagere temperaturen voldoende stikstofverwijdering te handhaven (watertemperatuur in de winter 10°C). Daardoor worden rwzi's ruim gedimensioneerd. Bij industrieel afvalwater is dit aspect meestal van ondergeschikt belang door de vaak hogere (proces) watertemperaturen. Dit resulteert dan in kleinere systemen met lagere investerings- en exploitatiekosten.

In de tabel zijn de beschreven technieken weergegeven met de belangrijke kenmerken en kosten. De weergegeven kosten zijn indicatief. Zoals reeds aangegeven zijn systeemgrootte, uitvoering en plaatselijke omstandigheden van grote invloed.

Op basis van praktijkgegevens van de onderzochte systemen liggen de kosten van de diverse technieken in een range van 2,5 tot 5,5 euro voor de standaardtechnieken en tussen 1,5 en 3 euro voor de nieuwe technieken. Stikstofverwijdering met een MBR en nadenitrificatie is duurder.

Conclusies

Diverse technieken zijn geschikt voor de biologische verwijdering van stikstof uit de waterfase. Elke techniek heeft zijn eigen voor- en nadelen. De kosten voor de verschillende technieken van stikstofverwijdering variëren sterk en zijn sterk afhankelijk van de specifieke situatie. Op basis van praktijkgegevens van de onderzochte systemen liggen de kosten per kilo verwijderd stikstof van de diverse biologische technieken in een bereik van 2,5 tot 5,5 euro voor de standaardtechnieken en 1,5 tot 3 euro voor de nieuwe technieken als ANAMMOX, BABE en SHARON. Stikstofverwijdering met een MBR en nadenitrificatie zijn beduidend duurder. Zowel voor bestaande als voor nieuwe situaties is een nauwkeurige analyse nodig om te komen tot een juiste techniek.

David Vroon en Peter Kuiper
(Rijkswaterstaat Waterdienst)
Hans van Velzen en Rob Schoon
(KWA Bedrijfsadviseurs)