

REJECTIEWATERBEHANDELING GEËVALUEERD



RAPPORT

2004
20

REJECTIEWATERBEHANDELING GEËVALUEERD

RAPPORT

2004
20

ISBN 90.5773.254.8



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 232 17 66
Arthur van Schendelstraat 816
POSTBUS 8090 3503 RB UTRECHT

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 629 33 32 FAX 078 610 610 42 87 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, november 2004

UITGAVE

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. O. Duin Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden

ir. W. Abma Paques bv

ing. V. Claessen Waterschap Aa en Maas

ir. H. van der Spoel Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

ir. J.W. Mulder Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden

Dr. ir. S. Weijers Waterschap De Dommel

Prof.dr.ir. M.C.M. van Loosdrecht Technische Universiteit Delft

Prof.dr.ir. M.S.M. Jetten Universiteit Nijmegen

ir. C. Uijterlinde STOWA

UITVOERDERS

ir. C. ten Have Grontmij Nederland bv

ir. R. van Kempen Grontmij Nederland bv

DRUK

Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA

rapportnummer 2004-20

ISBN-nummer: 90.5773.254.8

TEN GELEIDE

Indien een rwzi nu of in de (nabije) toekomst niet kan voldoen aan de gestelde effluenteisen voor stikstof kan rejectiewaterbehandeling worden toegepast. Rejectiewater is het stikstofrijke water dat vrijkomt bij de ontwatering van uitgestort slib en bijdraagt aan de interne stikstofbelasting. Met rejectiewaterbehandeling wordt een dusdanige verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit nagestreefd, zodat een relatief kostbare uitbreiding van het bestaande actiefslibvolume kan worden voorkomen of uitgesteld. De STOWA heeft uitgebreid onderzoek laten uitvoeren naar diverse methoden voor rejectiewaterbehandeling. De eerste rejectiewaterzuivering in Nederland is sinds 1997 operationeel en tot op heden zijn in totaal vier systemen gerealiseerd.

In het vervolg op voornoemde onderzoeken heeft STOWA besloten de resultaten te evalueren die sinds de introductie van de technologie in de praktijk zijn behaald. Op basis van meerdere jaren praktijkgegevens wordt het effect van deelstroombehandeling op de stikstofeffluentkwaliteit geëvalueerd en worden de verschillende toepassingsmogelijkheden modelmatig onderbouwd. Daarnaast is in aanvulling op de eerdere rapportages het overzicht van beschikbare technieken geactualiseerd. Ten slotte is de marktpotentie van deelstroombehandelingstechnieken in kaart gebracht.

Utrecht, november 2004

Directeur STOWA

Ir. J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

INLEIDING

In de jaren negentig zijn diverse STOWA rapporten gepubliceerd over de behandeling van stikstofrijke retourstromen op rwzi's. In een aantal gevallen kan door toepassing van een deelstroombehandeling een relatief kostbare conventionele uitbreiding van een rwzi worden voorkomen. De eerste twee deelstroombehandelingsinstallaties - beide van het type SHARON¹, zijn meer dan vijf jaar operationeel. Het effect van SHARON op de stikstofeffluentkwaliteit kan na meerdere jaren praktijkresultaten worden onderzocht. In dit onderzoek is het effect op de effluentkwaliteit voor RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht geëvalueerd. Daarnaast is aan de hand van een model een overzicht gegeven van de verschillende situaties waarin door rejectiewaterbehandeling de stikstofeffluentkwaliteit kan worden verbeterd. Mede is een overzicht gegeven van diverse technologieën voor deelstroombehandeling. Ten slotte is onder waterbeheerders de marktpotentie van rejectiewaterbehandeling geïnterpreteerd.

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

Indien een rwzi niet aan de effluentstikstofeis kan voldoen door beperkte beluchtingscapaciteit, onvoldoende denitrificatiecapaciteit of te korte aërobe slijbleeftijd, kan toepassing van deelstroombehandeling een interessante oplossing zijn. Met een stikstofmassabalans is aangetoond dat de stikstofeffluentkwaliteit significant kan verbeteren. Bij een te korte aërobe slijbleeftijd kan met rejectiewaterbehandeling in combinatie met verbeterde voorzuivering - via bijvoorbeeld additionele polymersedosering - de slijbleeftijd van de waterlijn worden verhoogd. De rejectiewaterbehandeling leidt namelijk tot een lagere CZV behoefte in de hoofdstroom, zodat de voorzuivering kan worden verbeterd. Het gevolg is een verlaging van de kritische slijbleeftijd van de rwzi en daarmee een verbeterde nitrificatie bij lage temperaturen.

STIKSTOFEFFLUENTKwaliteit

De praktijkevaluatie voor RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht heeft aangetoond dat een significante verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit is bereikt na implementatie van SHARON.

Op RWZI Dokhaven is de beluchtingscapaciteit ontlast die beperkend was voor het nitrificatieproces. Na implementatie van SHARON is de ammoniumvracht van het effluent ongeveer gehalveerd ondanks de toegenomen belasting (6%) van de rwzi. In combinatie met andere maatregelen kan Zuiveringschap Hollandse Eilanden en Waarden voldoen aan de gebiedseis van 75% N-verwijdering².

Het N-verwijderingsproces op RWZI Utrecht werd beperkt door een te kort aan denitrificatiecapaciteit. De toepassing van SHARON heeft geresulteerd in een bijna 30% afname van de geloosde stikstofvracht. De verbeterde effluentkwaliteit is bereikt ondanks een stijging van de influentbelasting (6%) en een toename van de verwerking van extern slib (50%). Sinds 2002 behaalt RWZI Utrecht met SHARON en in combinatie met aanvullende maatregelen, een stikstofeffluentkwaliteit van 10 mg/l. Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden voldoet hiermee tevens aan de gebiedseis van 75% N-verwijdering.

¹ Single reactor system for High activity Ammonia Removal Over Nitrite.

² Deze gebiedseis geldt voor ZHEW anno 2004. Per 1 januari 2005 zijn door de nieuwe gebiedsindeling van de Hollandse Delta andere eisen van toepassing.

REJECTIEWATERBEHANDELINGSTECHNIEKEN

Als vervolg op diverse STOWA rapportages betreffende deelstroomtechnieken voor rejectiewaterbehandeling is een geactualiseerd overzicht gegeven van diverse interessante technieken. Na een voorselectie zijn de technologieën SBR, BABE, SHARON en SHARON-ANAMMOX onderling vergeleken op de volgende kwalitatieve aspecten: eenvoud inpasbaarheid, eenvoud bedrijfsvoering, slijbleeftijd waterlijn, duurzaamheid, effluentkwaliteit rwzi en bewezen praktijktoepassing. Afhankelijk van locatie specifieke omstandigheden kan de waardering van de individuele aspecten een ander totaalbeeld opleveren. Algemeen geldt echter dat de haalbare verbetering van de effluentkwaliteit niet onderscheidend is. SBR en SHARON zijn beide bewezen praktijktoepassingen. SHARON-ANAMMOX is de meest duurzame techniek.

MARKTPOTENTIE

Met behulp van een enquête onder alle Nederlandse waterbeheerders is de marktpotentie van deelstroombehandeling in kaart gebracht voor rwzi's met een slibontwateringsinstallatie en/of slibdrogingsinstallatie. Tevens is geïnventariseerd welke beoordelingscriteria - innovativiteit, kostprijs (€/kg N verwijderd), milieu-vriendelijkheid, bedrijfszekerheid, bedrijfsvoering en eenvoud van installatie - meer of minder van belang zijn bij de systeemkeuze van een rejectiewater-behandeling.

Uit de enquête is gebleken dat de stikstofvracht van het rejectiewater veelal onbekend is. Voor rwzi's die nu of in de nabije toekomst niet aan de effluent-stikstofeis kunnen voldoen is implementatie van een deelstroomsysteem in principe kansrijk. Op basis van de enquête-respons (83%) zijn 10 rwzi's geïnventariseerd waarvoor rejectiewaterbehandeling een optie is.

Bij de keuze van een bepaald type deelstroombehandeling komen kostprijs en duurzaamheid als belangrijkste criteria uit de enquête naar voren. Innovativiteit en eenvoud van de installatie scoorden het laagst. Het belang dat wordt toegekend aan duurzaamheid pleit voor toepassing van het gecombineerde SHARON-ANAMMOX proces.

SUMMARY

INTRODUCTION

In the nineties, several STOWA reports were published on the treatment of internal nitrogen rich flows on WWTPs. Side stream treatment can in some cases prevent relatively expensive conventional WWTP extension. Meanwhile the first two full-scale side stream treatment plants, both SHARON³ systems, have been operational for several years. The effect of SHARON on the nitrogen effluent quality can be examined after several years of operational experience. This effect has been evaluated in this research for WWTP Dokhaven and WWTP Utrecht. Through modelling an overview is presented of applicable situations for rejection water treatment. Also, an overview of now available rejection water techniques is given. Finally the market potential for rejection water treatment has been investigated amongst the water authorities.

APPLICATIONS

When a WWTP cannot meet the nitrogen effluent standards due to limited aeration capacity, limited denitrification capacity or shortage of aerobic sludge age, side stream treatment can be an interesting alternative. Through a nitrogen balance it has been shown that nitrogen effluent quality can improve significantly. At shortage of aerobic sludge age, rejection water treatment in combination with enhanced pre-treatment – e.g. by polyelectrolyte dosing - can increase the sludge age in the waterline. Rejection water treatment leads to a reduced COD demand in the main treatment, allowing for improved pre-treatment. The result is a decreased critical sludge age in the WWTP and therefore extended nitrification at lower temperatures.

NITROGEN EFFLUENT QUALITY

Full scale evaluation of WWTP Dokhaven and WWTP Utrecht operation has shown a significant improved nitrogen effluent quality after SHARON implementation. At WWTP Dokhaven, aeration capacity of the activated sludge system is limiting, therefore limiting the nitrification process. By introducing SHARON, the effluent ammonium could be decreased by approximately 50% despite the increased WWTP influent nitrogen load (6%). In combination with other measurements, the regional Water Authority Hollandse Eilanden & Waarden was able to comply with total nitrogen area requirements.

The nitrogen removal process at WWTP Utrecht was limited by denitrification capacity. Introducing SHARON resulted in a nearly 30% decrease of discharged effluent nitrogen load. The improved effluent quality was obtained despite an increase in influent load (6%) and external sludge treatment (50%). Since 2002, with SHARON and in combination with additional measures, WWTP Utrecht has been able to obtain a nitrogen effluent quality of 10 mg/l. The Water Authority De Stichtse Rijnlanden has been able to comply with 75% regional nitrogen removal requirements.

SIDE STREAM TECHNOLOGIES

Following several STOWA researches on side stream treatment techniques, an up-dated overview is given of various techniques. After a pre-selection the techniques SBR, BABE, SHARON and SHARON-ANAMMOX are compared bilaterally on the following qualitative aspects: simplicity applicability, simplicity operability, activated sludge age, sustainability,

³ Single reactor system for High activity Removal Over Nitrite.

WWTP effluent quality and in practice applied proven technology. Depending on location specific conditions, the individual aspect appreciation can result in a distinctive overall view. Generally, only SBR and SHARON can be considered as in practice applied proven technologies and SHARON-ANAMMOX is the most sustainable technique.

MARKET POTENTIAL

With a written survey amongst all water authorities in The Netherlands, the market potential for side stream treatment has been investigated for WWTPs with sludge dewatering and/or sludge drying. Also, it has been investigated which assessment criteria – innovation, cost price (€/kg N removed), environmentally friendly, reliability, operability and installation simplicity – are more or less important rejection water treatment variant studies.

From the survey results it appears that the nitrogen reject water load is often unknown. At WWTPs that now or in the near future can not meet nitrogen effluent standards, side stream treatment is in principle an interesting solution. Based on the survey response (83%) 10 WWTPs are inventoried as possible locations for rejection water treatment.

At last it has been shown that cost price and sustainability are the main criteria in the choice of a certain side stream treatment plant. Innovation and installation simplicity were rated lowest. Sustainability pleads for application of the combined SHARON-ANAMMOX process.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. In 2002 waren dat alle waterschappen, hoogheemraadschappen en zuiveringsschappen, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van behoefteinventarisaties bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstituten en adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

De STOWA verricht zelf geen onderzoek, maar laat dit uitvoeren door gespecialiseerde instanties. De onderzoeken worden begeleid door begeleidingscommissies. Deze zijn samengesteld uit medewerkers van de deelnemers, zonodig aangevuld met andere deskundigen.

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n vijf miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: +31 (0)30 232 11 99.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 8090, 3503 RB Utrecht.

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

REJECTIEWATERBEHANDELING GEËVALUEERD

INHOUD

TEN GELEIDE
SAMENVATTING
SUMMARY
STOWA IN HET KORT

1	INLEIDING	1
2	TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN	3
2.1	Inleiding	3
2.2	Gelimiteerde stikstofverwijdering	3
	2.2.1 Onvoldoende beluchtingscapaciteit	4
	2.2.2 Onvoldoende denitrificatiecapaciteit	4
	2.2.3 Onvoldoende sibleeftijd	5
2.3	Piekbelasting	6
2.4	Evaluatie	7

3	STIKSTOFVERWIJDERING RWZI	9
3.1	Inleiding	9
3.2	Procesbeschrijving SHARON	9
3.3	RWZI Dokhaven	11
3.3.1	Algemeen	11
3.3.2	Systeembeschrijving	11
3.3.3	Stikstofmassabalans	12
3.3.4	Stikstofverwijdering	13
3.4	RWZI Utrecht	15
3.4.1	Algemeen	15
3.4.2	Systeembeschrijving	15
3.4.3	Stikstofmassabalans	16
3.4.4	Stikstofverwijdering	17
3.5	Evaluatie	19
4	REJECTIEWATERBEHANDELINGSTECHNIKEN	20
4.1	Inleiding	20
4.2	Behandelingsmethoden	20
4.3	Selectie	20
4.4	Evaluatie	21
5	MARKTPOTENTIE	24
5.1	Inleiding	24
5.2	Enquêteopzet	24
5.3	Enquêteresultaten	24
5.3.1	Inventarisatie rejectiewater	24
5.3.2	Effluentstikstofeis	26
5.3.3	Rangschikking beoordelingscriteria	27
5.3.4	Externe afvalwaterstromen	28
5.4	Evaluatie	28
6	SLOTBESCHOUWING	30
6.1	Inleiding	30
6.2	Toepassingsmogelijkheden	30
6.3	Stikstofverwijdering rwzi	30
6.4	Rejectiewaterbehandelingstechnieken	31
6.5	Marktpotentie	31
7	LIJST MET AFKORTINGEN	33
8	REFERENTIES	34
	Bijlage 1 Rejectiewaterbehandelingstechnieken	37
	Bijlage 2 Enquêteformulier marktpotentie	41

1

INLEIDING

In Nederland voldoen niet alle rwzi's aan de verscherpte effluentstikstofeisen en als gevolg worden deze aangepast. Het zijn vaak grotere rwzi's met slibgisting, die destijds meestal zijn ontworpen voor de verwijdering van BZV en nitrificatie afhankelijk van de periode van het jaar. Daarnaast betreft het rwzi's die in de toekomst door toename van de belasting niet langer aan de gestelde effluenteisen kunnen voldoen. Een interessant alternatief voor conventionele uitbreiding is de gescheiden behandeling van de interne retourstroom die vrijkomt bij de slibverwerking, het zogenaamde rejectiewater. Ook kan het zijn dat N-rijk condensaat afkomstig van een centrale slibdrogingsinstallatie wordt afgevoerd naar een rwzi. Deze relatief geringe hoeveelheden afvalwater (1-2%) maken een relatief groot deel (10-30%) uit van de totale stikstofvracht van de rwzi.

In STOWA-verband zijn diverse technologieën voor de behandeling van rejectiewater beproefd [1 t/m 12]. Tabel 1 geeft een overzicht van rwzi's in Nederland, die zijn of worden voorzien van een rejectiewaterbehandelingsinstallatie. De installaties zijn allen van het type SHARON.

TABEL 1 REJECTIEWATERBEHANDELINGSINSTALLATIES IN NEDERLAND.

RWZI			Deelstroombehandeling	
Locatie	Capaciteit (ie's à 54 g BZV)	Type ³⁾	N-vracht (kg N/d)	Operationeel vanaf
Utrecht ¹⁾	400.000	2-traps AS	900	1997
Dokhaven ²⁾	470.000	2-traps AS	830	1999
Zwolle	150.000	VBT + AS	540	2003
Beverwijk	325.000	VBT + AS	1.200	2003
Houtrust	430.000	VBT + AS	1.200	2004
Garmerwolde	300.000	2-traps AS	2.400	2005

¹⁾ N-verwijdering via de nitraatroute in plaats van via de nitrietroute;

²⁾ Uitgebreid met ANAMMOX sinds medio 2002.

³⁾ Voorbezinktank (VBT), Actiefslibstelsysteem (AS)

SHARON is een biologisch zuiveringproces zonder slibretentie waarbij stikstof door nitrificatie en denitrificatie via de zogenaamde nitrietroute wordt verwijderd. Hierdoor wordt in vergelijking tot N-verwijdering via de nitraatroute, minder zuurstof en koolstofbron verbruikt en minder surplusslib en koolstofdioxide geproduceerd.

ANAMMOX is een biologisch proces voor de verwijdering van ammonium uit afvalwater, waarbij ammonium met nitriet zonder koolstofbron wordt omgezet in stikstofgas. Met het gecombineerde SHARON-ANAMMOX proces wordt nog minder zuurstof en koolstofbron verbruikt en surplusslib en koolstofdioxide geproduceerd.

Dit rapport doet verslag van de volgende onderwerpen:

- een beschrijving van de toepassingsmogelijkheden van rejectiewaterbehandeling voor de verbetering van de effluentstikstofkwaliteit van een rwzi (Hoofdstuk 2);
- een evaluatie op basis van meerdere jaren praktijkresultaten van de invloed van een SHARON op de effluentstikstofkwaliteit van een rwzi (Hoofdstuk 3);
- een overzicht van beschikbare technologieën voor deelstroombehandeling (Hoofdstuk 4)
- de marktpotentie van deelstroombehandeling (Hoofdstuk 5).
- Het rapport wordt afgesloten met een slotbeschouwing (Hoofdstuk 6).

2

TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

2.1 INLEIDING

Een rwzi kan om verschillende redenen niet voldoen aan de effluentstikstofeis waardoor aanpassing noodzakelijk is. Uitbreiding van een rwzi op conventionele wijze vergt veelal relatief hoge investeringen en is soms vanwege ruimtegebrek niet mogelijk.

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de wijze waarop rejectiewaterbehandeling kan worden ingezet ter verbetering van de effluentkwaliteit. Voor verschillende toepassingsmogelijkheden wordt aan de hand van een N-balans aangetoond op welke wijze afzonderlijke behandeling van rejectiewater de effluentkwaliteit verbetert.

2.2 GELIMITEERDE STIKSTOFVERWIJDERING

Wanneer een rwzi niet kan voldoen aan de effluenteisen voor stikstof, kan dit verschillende oorzaken hebben. In de volgende situatie kan rejectiewaterbehandeling een interessant alternatief zijn:

- onvoldoende beluchtingscapaciteit;
- onvoldoende denitrificatiecapaciteit;
- onvoldoende slibleeftijd.

Met een N-massabalans kan het effect van rejectiewaterbehandeling op de stikstofeffluentkwaliteit worden geïllustreerd. De in dit hoofdstuk uitgewerkte voorbeelden dienen ter verduidelijking van het effect van rejectiewaterbehandeling op de N-verwijdering van een rwzi. De uitgewerkte voorbeelden zijn van toepassing voor deelstroomsystemen die onafhankelijk van de waterlijn stikstof verwijderen zoals SHARON-(ANAMMOX) en SBR. Dit in tegenstelling tot systemen die stikstof verwijderen en tevens onderdeel zijn van de waterlijn zoals bijvoorbeeld BABE. In de massabalans is de hoeveelheid stikstof verwijderd in de waterlijn met en zonder rejectiewaterzuivering constant verondersteld. Zoals later wordt toegelicht kan afhankelijk van locatie specifieke omstandigheden, de N-verwijdering in de waterlijn wijzigen doordat minder stikstof wordt aangevoerd. Dit kan per specifieke situatie verschillen. Voorts wordt aangenomen dat slechts één factor per casus beperkend is. In de praktijk kunnen echter meerdere factoren tegelijkertijd beperkend zijn. Daarnaast kunnen andere factoren zoals aanvoerpatroon, systeemconfiguratie, substraataffiniteit en procesregelingen van invloed zijn op de haalbare verbetering van de effluentkwaliteit. De voorbeelden illustreren het werkingsmechanisme en geven een indicatie van de haalbare verbetering.

Voor de uitwerking van de voorbeelden is uitgegaan van een “standaard” rwzi met de volgende configuratie:

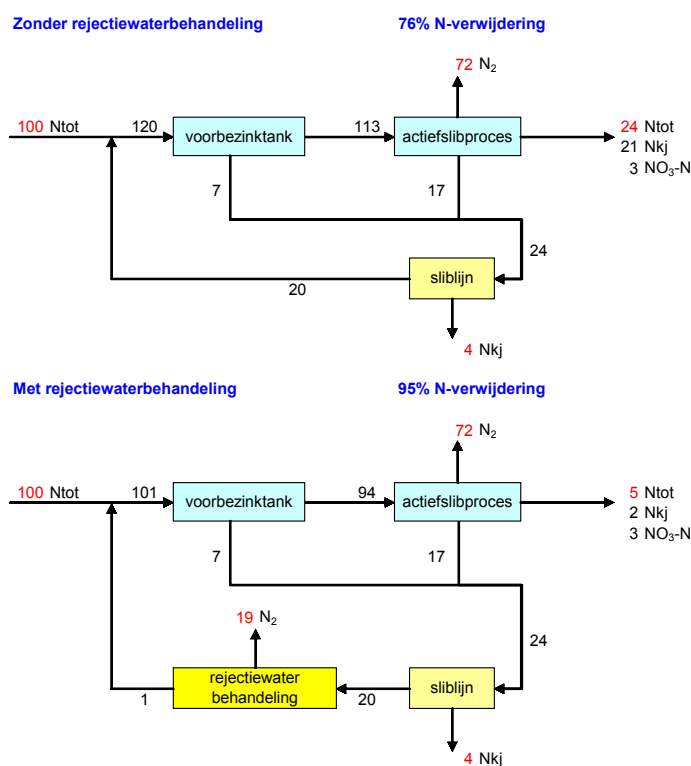
- voorbezinking;
- actiefslibproces (nitrificatie/denitrificatie en nabezinking);
- sliblijn (indikking, gisting en ontwatering).

In de voorbeelden wordt de effluentkwaliteit van de “standaard” rwzi vergeleken met en zonder deelstroombehandeling.

2.2.1 ONVOLDOENDE BELUCHTINGSCAPACITEIT

In sommige gevallen wordt de nitrificatiecapaciteit van een rwzi beperkt door de geïnstalleerde beluchtingscapaciteit. Dit kan tot gevolg hebben dat onvoldoende vergaand wordt genitrificeerd waardoor de effluentstikstofeisen niet wordt gehaald. Rejectiewaterbehandeling kan in dat geval een oplossing zijn. Figuur 1 illustreert dat door rejectiewaterbehandeling de bestaande beluchtingsinstallatie wordt ontlast. Door afname van de N-belasting van de waterlijn daalt de N-vracht van het effluent. De verbetering van de effluentkwaliteit wordt vooral bepaald door het tekort aan beluchtingscapaciteit in relatie tot de grootte van de N-vracht van het rejectiewater.

FIGUUR 1 VOORBEELD N-BALANS VAN RWZI MET ONVOLDOENDE BELUCHTINGSCAPACITEIT.

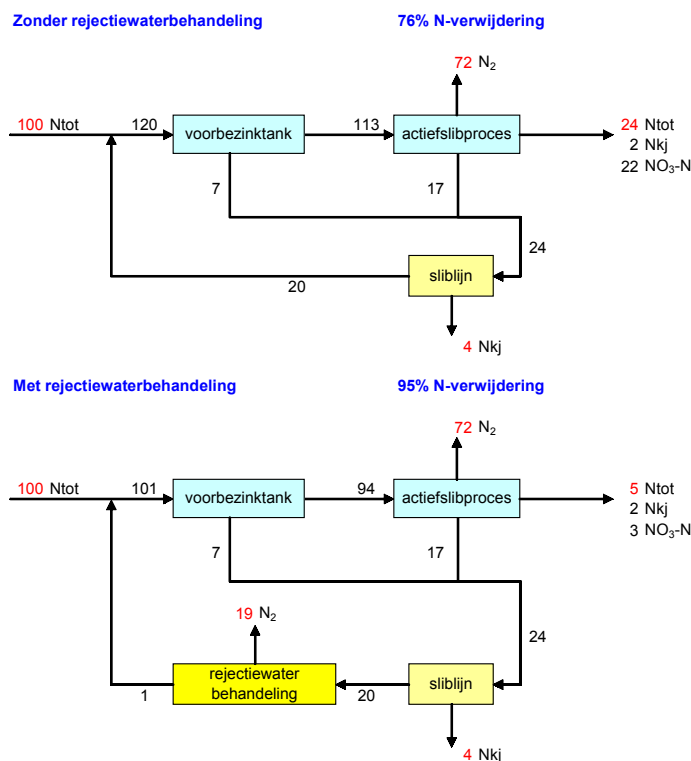


2.2.2 ONVOLDOENDE DENITRIFICATIECAPACITEIT

De denitrificatiecapaciteit van een rwzi is soms de beperkende factor voor N-verwijdering. Dit kan worden veroorzaakt door zowel een te kort aan BZV als onvoldoende anoxisch ruimte. De verbetering van de effluentkwaliteit wordt vooral bepaald door het tekort aan BZV of anoxische ruimte in de waterlijn in relatie tot de grootte van de N-vracht van de rejectiewaterstroom. Figuur 2 illustreert dat in beide situaties rejectiewaterbehandeling kan worden ingezet. Doordat minder Nkj in de waterlijn wordt behandeld wordt minder nitraat gevormd of komt meer anoxische ruimte beschikbaar voor het denitrificatieproces. Het voorbeeld gaat uit van één effect. In de praktijk kunnen beide effecten gelijktijdig optreden, waardoor de verbetering van de effluentkwaliteit kan afwijken van het voorbeeld (zie ook paragraaf 3.3.4).

FIGUUR 2

VOORBEELD N-BALANS VAN RWZI MET ONVOLDENDE DENITRIFICATIECAPACITEIT.

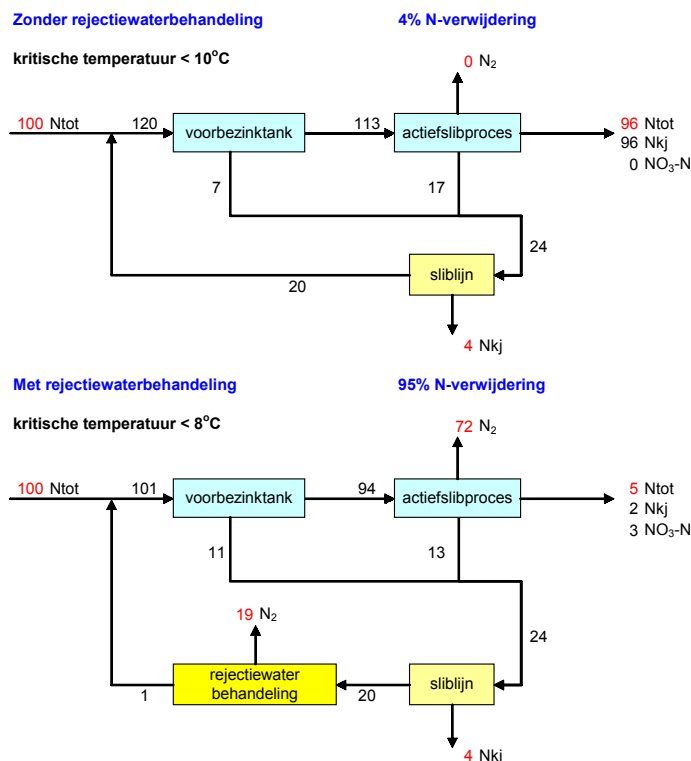


2.2.3 ONVOLDENDE SLIBLEEFTIJD

Gedurende een korte periode van het jaar kan de nitrificatiecapaciteit van een rwzi door de aërobe slibleeftijd worden beperkt. De temperatuur is sterk van invloed op de groeisnelheid van nitrificerende bacteriën. De kans dat de nitrificatiecapaciteit wordt beperkt is daarom het grootst gedurende de winterperiode. Tijdens lange koude perioden kan de nitrificatieactiviteit na meerdere slibleeftijden volledig verloren gaan. Door verbeterde voorzuivering kan de aërobe slibleeftijd van de waterlijn worden verhoogd waardoor de nitrificatiecapaciteit van de waterlijn wordt gewaarborgd. Via dosering van vlokmiddel kunnen zwevende bestanddelen vergaand worden verwijderd. In de praktijk wordt dit principe bijvoorbeeld toegepast via bijvoorbeeld pre-precipitatie en het zogenaamde FAST-proces [18] (zie ook paragraaf 3.3.2). Daarnaast blijkt uit een recente STOWA-publicatie, dat met labtesten is aangetoond dat met specifieke organische vlokmiddelen (PE) selectief colloïdaal materiaal uit ruw afvalwater kan worden verwijderd [14]. Hierdoor kan de waterlijn vergaand van inerte en organische zwevende bestanddelen worden ontlast, zodat minder secundair slib wordt geproduceerd waardoor de slibleeftijd wordt verlengd. Een ongewenst effect kan daling van de BZV/N-verhouding zijn. Echter in combinatie met rejectiewaterbehandeling kan dit effect worden gecompenseerd. Omdat door deelstroombehandeling minder N_{kj} wordt aangevoerd is tevens minder BZV voor denitrificatie in de waterlijn nodig. Figuur 3 illustreert een voorbeeld van N-balans berekend via de HSA-methode [15]. Hieruit blijkt dat door combinatie van rejectiewaterbehandeling met verbeterde voorbehandeling (PE-dosering) de kritische temperatuur voor nitrificatie met enkele graden wordt verlaagd.

FIGUUR 3

VOORBEELD N-BALANS VAN RWZI MET ONVOLDENDE AËROBE SLIBLEEFTIJD.



De verbetering van de effluentkwaliteit wordt bepaald door de slibleeftijd van de waterlijn in relatie tot de grootte van de N-vracht van het rejectiewater. De grootte van deze N-vracht is maatgevend voor de extra hoeveelheid BZV die via de voorbehandeling kan worden verwijderd en bepaalt de daling van de kritische temperatuur voor N-verwijdering.

2.3 PIEKBELASTING

De stabiliteit van een rwzi bij piekbelasting wordt bepaald door meerdere factoren zoals:

- frequentie, grootte en duur piekaanvoer;
- systeemvolume en procesconfiguratie;
- slibsamenvatting;
- procesregelingen;
- beluchtingscapaciteit.

De invloed van een piekaanvoer die enkele uren duurt en dagelijks meerdere malen optreedt wordt afgevlakt door de relatief lange hydraulische verblijftijd (>1 dag) van een rwzi (voorbezinking, actiefslibproces en nabezinking).

Een andere factor van belang bij de verwerking van piekbelasting is de samenstelling van het actiefslib en vooral de hoeveelheid nitrificerende biomassa. De hoeveelheid nitrificeerders in een actiefslibstelsel wordt bepaald door de omgezette vracht ammoniumstikstof. In een systeem waarbij de nitrificatiecapaciteit beperkend is, wordt een deel van de stikstofvracht niet omgezet en wordt geloosd via het effluent. Zolang deelstroombehandeling wordt ingezet voor de verwijdering van deze effluentvracht heeft dit nagenoeg geen invloed op de hoeveelheid nitrificeerders in het actiefslibstelsel.

Voor zover deelstroombehandeling betrekking heeft op verlaging van de stikstofvracht beneden de ontwerpbelasting van het actiefslibstelsysteem kan deze invloed hebben op de fractie nitrificeerders. Een dergelijke toepassing ligt niet voor de hand, maar kan het indirecte gevolg zijn van een op de toekomst voorbereide capaciteit van de deelstroombehandeling. Het aandeel nitrificeerders in actiefslib is vooral afhankelijk van de BZV/N-verhouding van het influent en bedraagt circa 5-10% [15]. Een verlaging van de stikstofbelasting van het actiefslibproces onder de genoemde omstandigheden heeft bij benadering een rechtevenredige afname van de hoeveelheid nitrificeerders tot gevolg. Deze afname kan in de praktijk 10 tot 20 % bedragen. Het is echter mogelijk deze afname te compenseren door gelijktijdig de BZV-vracht te verlagen met een verbeterde voorbehandeling (zie paragraaf 2.2.3).

De activiteit van nitrificeerders is mede afhankelijk van de actuele ammoniumconcentratie en kan worden beschreven met de Monod-kinetiek. Uit deze kinetiek kan worden afgeleid dat de nitrificatie-activiteit met een factor 1,4 toeneemt als de ammoniumconcentratie in het actiefslibstelsysteem stijgt van 0,5 naar 3 mg N/l. Dit betekent in de praktijk dat, mits er voldoende beluchtingscapaciteit beschikbaar is, piekaanvoer met een factor 1,4 kan worden behandeld met behoud van vergaande nitrificatie. Ook is het vaak mogelijk de nitrificatiecapaciteit te vergroten door een tijdelijke uitbreiding van de beluchtingscapaciteit. Combinatie van deze effecten maakt in theorie een behandeling van piekfactoren groter dan 1,4 mogelijk. Veel beluchtingsystemen in actiefslibsystemen zijn ontworpen op een piekfactor van circa 1,2. Hieruit kan worden geconcludeerd dat in de praktijk meestal niet de potentieel beschikbare nitrificatiecapaciteit maar de opgestelde beluchtingscapaciteit beperkend is voor ammoniumverwijdering bij piekaanvoer.

Zoals blijkt uit het bovenstaande, wordt in de meeste gevallen de gevoeligheid van het actiefslibproces voor piekaanvoer bepaald door de beschikbare beluchtingscapaciteit. Soms wordt de deze capaciteit niet volledig of optimaal benut. Optimalisatie van de beluchtingsregeling kan hierbij uitkomst bieden. In gevallen waarbij niet voldoende beluchtingscapaciteit voor de waterlijn beschikbaar is, kan deze met rejectiewaterbehandeling worden ontlast.

Samenvattend blijkt dat de toepassing van rejectiewaterbehandeling in de meeste gevallen niet relevant is voor de effluentkwaliteit bij piekaanvoer.

2.4 EVALUATIE

Uit de beschouwing van de N-balans van een rwzi is gebleken dat rejectiewaterbehandeling voor verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit kan worden ingezet. Het N-rendement van een rwzi kan door verschillende factoren worden beperkt. Rejectiewaterbehandeling kan worden toegepast indien de N-verwijderingscapaciteit wordt beperkt door onvoldoende beluchtingscapaciteit, onvoldoende denitrificatiecapaciteit of onvoldoende slibleeftijd. In de genoemde situaties kan rejectiewaterbehandeling een significante verbetering van de effluentkwaliteit opleveren.

Meestal is rejectiewaterbehandeling niet relevant voor de effluentkwaliteit bij piekaanvoer. De gevoeligheid voor piekbelasting wordt vaak bepaald door de beschikbare beluchtingscapaciteit. Deze kan worden vergroot door toepassing van deelstroombehandeling.

De grootte van de N-vracht in het rejectiewater in relatie tot de grootte van de beperkende factor (beluchting, denitrificatiecapaciteit en aërobe slibleeftijd) is bepalend voor de maximaal haalbare verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit. Voor iedere rwzi zal tevens

moeten worden vastgesteld welke overige factoren van belang zijn voor de kwaliteitsverbetering. In de praktijk dient daarom de haalbare verbetering per rwzi te worden beoordeeld.

Bij de keuze voor een deelstroombehandeling is het totaaleffect op de N-balans van een rwzi bepalend. De specifieke N-verwijderingskosten in relatie tot de verbetering van de effluentkwaliteit dienen daarbij te worden afgewogen. Met rejectiewaterbehandelingstechnieken, die stikstof via de nitrietroute verwijderen is in vergelijking met conventionele N-verwijdering (nitraatroute) minder zuurstof en BZV nodig (zie Bijlage 1). Voor N-verwijdering met SHARON (nitrietroute) is in verhouding tot N-verwijdering in de waterlijn (nitraatroute) 25% minder zuurstof en 40% minder BZV nodig. Het lagere BZV-verbruik levert een 30% lagere slibproductie en een 20% lagere CO₂-emissie op. N-verwijdering via de nitrietroute zonder koolstofbron (SHARON-ANAMMOX, CANON, Deammonification en Oland proces) levert een verdere verlaging van het zuurstof- en koolstofverbruik op en reduceert verder de slib- en CO₂-productie.

3

STIKSTOFVERWIJDERING RWZI

3.1 INLEIDING

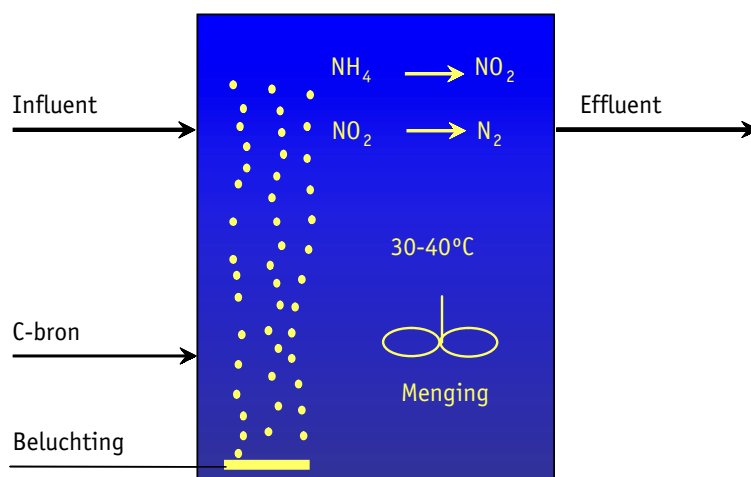
De SHARON installaties op RWZI Utrecht en RWZI Dokhaven zijn meerdere jaren operationeel [16] [17]. Op basis van praktijkresultaten van deze SHARON installaties, is het effect op de prestaties van de rwzi geëvalueerd.

Voor de evaluatie is gebruik gemaakt van beschikbare bedrijfsvoeringgegevens. De evaluatie is uitgevoerd op basis van meetresultaten van meerdere kalenderjaren. Hierbij zijn alleen die gegevens gebruikt die nodig zijn voor het beoordelen van de N-verwijdering van de rwzi. Ten behoeve van de vergelijking van de periode vóór en na implementatie van de deelstroombehandeling, zijn data van sterk afwijkende bedrijfsvoering, calamiteiten en onderhoud, zoveel mogelijk buiten beschouwing gelaten. Om die reden kan het zijn dat de gepresenteerde resultaten afwijken van de zuiveringsprestaties, zoals die staan vermeld in officiële jaarverslagen. Allereerst wordt een beschrijving van het SHARON-proces gegeven.

3.2 PROCESBESCHRIJVING SHARON

SHARON is een biologisch zuiveringproces voor de behandeling van stikstofrijke afvalwaterstromen zoals rejectiewater van de slibontwatering. De hoge stikstofconcentratie en temperatuur ($>25^{\circ}\text{C}$) van deze stroom maakt compacte zuivering mogelijk (zie Figuur 4).

FIGUUR 4 SCHEMATISCHE VOORSTELLING VAN HET SHARON-PROCES.



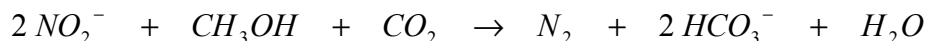
SHARON verschilt van andere biologische deelstroomtechnieken, omdat enige vorm van slib/waterscheiding ontbreekt. Bij een temperatuur van $30-40^{\circ}\text{C}$ en een oxische hydraulische verblijftijd van 1-2 dagen, wordt nitrificatie van ammonium beperkt tot nitriet (*Nitrosomonas*). De groeisnelheid van *Nitrobacter* is onder deze omstandigheden te laag om zich te handhaven in het systeem. Hierdoor kan nitriet niet worden omgezet in nitraat.

Het gevormde nitriet wordt via denitrificatie omgezet in stikstofgas. N-verwijdering volgens de zogenaamde nitrietroute verloopt via de onderstaande reactievergelijkingen:

Nitrificatie



Denitrificatie met methanol



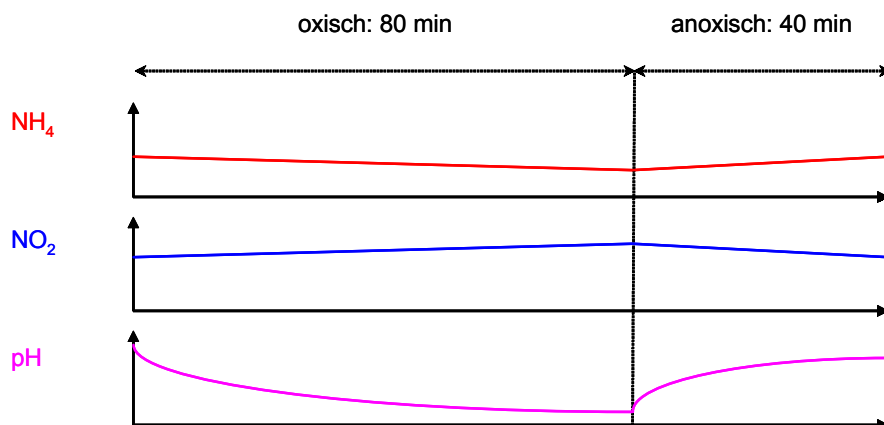
Verwijdering van ammonium via de zogenaamde nitrietroute levert in vergelijking met de conventionele nitraatroute de volgende exploitatievoordelen op [13]:

- 25% reductie zuurstofverbruik;
- 40% reductie koolstofbronverbruik;
- 30% reductie slibproductie;
- 20% reductie CO₂-emissie.

Een SHARON bestaat in principe uit één volledig gemengde tank, die afwisselend wordt belucht en onbelucht.

Figuur 5 toont het verloop van de NH₄-concentratie, de NO₂-concentratie en de pH gedurende een cyclus van 2 uur. Aan het begin van een onbeluchte periode wordt methanol gedoseerd. In de daaropvolgende beluchte periode dalen de NH₄-concentratie en de pH en stijgt de NO₂-concentratie door het nitrificatieproces. Hierbij wordt de zuurproductie van het nitrificatieproces deels gecompenseerd door het strippen van CO₂ via de beluchting. In de onbeluchte periode dalen de NO₂-concentratie en de pH door het denitrificatieproces. De NH₄-concentratie stijgt iets tijdens de onbeluchte periode, omdat continu influent wordt gevoed. Het verloop van de NH₄- en NO₂-concentratie gedurende een cyclus is relatief gering als gevolg van verdunning in de tank.

FIGUUR 5 VERLOOP VAN DE NH₄, NO₂ EN PH GEDURENDE EEN CYCLUS



3.3 RWZI DOKHAVEN

3.3.1 ALGEMEEN

RWZI Dokhaven te Rotterdam wordt beheerd door het Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden (ZHEW). De rwzi is sinds 1987 in bedrijf en is met uitzondering van het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk geheel ondergronds gelegen. Het surplusslib van RWZI Dokhaven wordt op deze apart gelegen locatie verwerkt. Het rejectiewater dat vrijkomt bij de slibontwatering wordt teruggevoerd naar de rwzi. Omdat niet kon worden voldaan aan de gebiedseis van 75% N-verwijdering waren aanvullende maatregelen nodig. De beluchtingscapaciteit van de waterlijn was onvoldoende voor volledige nitrificatie. Uitbreiding van de bestaande beluchting is complex en ruimte voor conventionele uitbreiding is niet aanwezig. Vanaf 1999 is op Sluisjesdijk een SHARON voor de behandeling van het rejectiewater in bedrijf. Met de rejectiewaterbehandeling wordt de beluchtingscapaciteit van de rwzi ontlast.

In de navolgende paragrafen wordt op basis van N-balansen het effect van de SHARON op de effluentkwaliteit geëvalueerd.

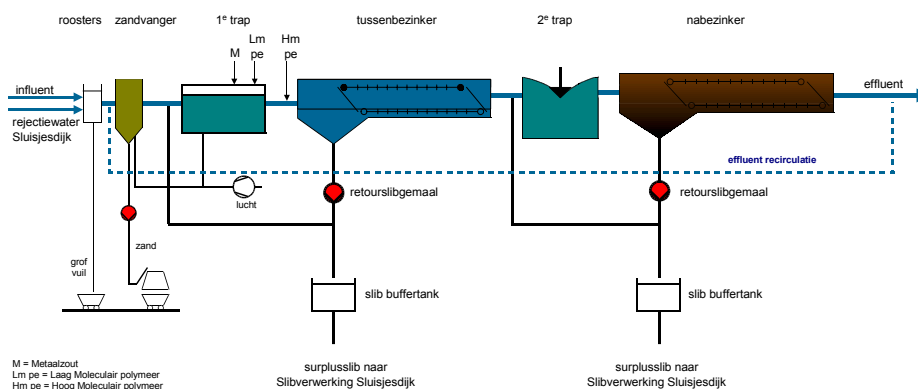
3.3.2 SYSTEEMBESCHRIJVING

De ontwerpcapaciteit van de rwzi bedraagt 470.000 inwonerequivalenten (i.e. à 54 g BZV). De zuivering was oorspronkelijk (1987) ontworpen voor BZV-verwijdering en daarnaast nitrificatie gedurende de zomermaanden.

WATERLIJN

Een schematische voorstelling van de waterlijn van de rwzi is opgenomen in Figuur 6. RWZI Dokhaven is een actiefslibstelsysteem met een hoogbelaste 1^e trap en een laagbelaste 2^e trap. Het afvalwater stroomt via roosters en een beluchte zandvanger naar de 1^e trap. Sinds 1995 wordt op de 1^e trap het zogenaamde FAST-proces toegepast [18]. Hierbij wordt fosfaat verwijderd met ijzerchloridedosering in combinatie met tweevoudige PE-dosering. Het BZV-verwijderingsrendement is hierdoor gestegen van 50% naar >80%, waardoor de 2^e trap minder zwaar wordt belast. Van de 1^e trap stroomt het afvalwater via de tussenbezinking naar de 2^e trap. In de 2^e trap wordt dankzij het FAST proces gedurende het gehele jaar genitrificeerd. In de 2^e trap wordt in principe niet gedenitrificeerd. Na de beluchtingstank wordt het behandelde afvalwater via passage van de nabezinking geloosd op de Nieuwe Maas. Sinds 2002 wordt bij droogweeraanvoer (DWA) effluentrecirculatie toegepast waardoor in de 1^e trap wordt gedenitrificeerd. Voor de evaluatie van de N-balans zijn de resultaten van de periode met effluentrecirculatie buiten beschouwing gelaten.

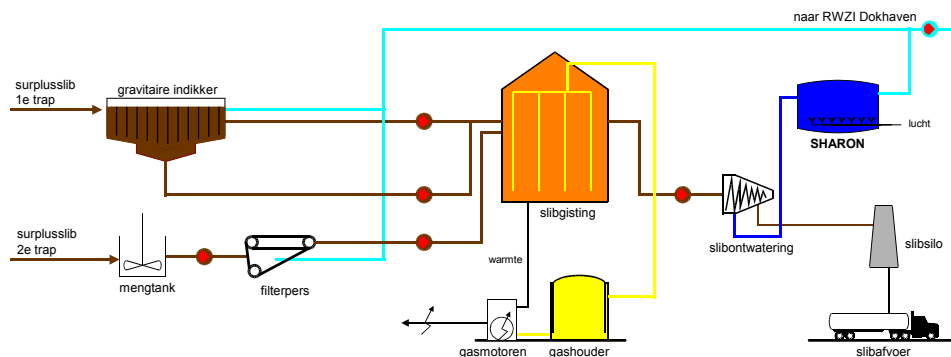
FIGUUR 6 SCHEMATISCHE VOORSTELLING WATERLIJN RWZI DOKHAVEN.



SLIBLIJN EN SLIBBEDRIJF

Figuur 7 toont een schematische voorstelling van de sliblijn. Het surplusslib van de 1^e en 2^e trap wordt gescheiden afgevoerd naar slibverwerking Sluisjesdijk. Het slib van de 1^e trap wordt gravitair ingedikt en het slib van de 2^e-trap wordt mechanisch ingedikt. Vervolgens worden beide stromen gezamenlijk vergist. Het uitgegiste slib wordt in centrifuges ontwaterd waarbij het N-rijke rejectiewater vrijkomt. Met de SHARON wordt het rejectiewater behandeld alvorens het wordt teruggevoerd naar het ontvangwerk van de rwzi.

FIGUUR 7 SCHEMATISCHE VOORSTELLING SLIBLIJN RWZI DOKHAVEN (LOCATIE SLUISJESDIJK).



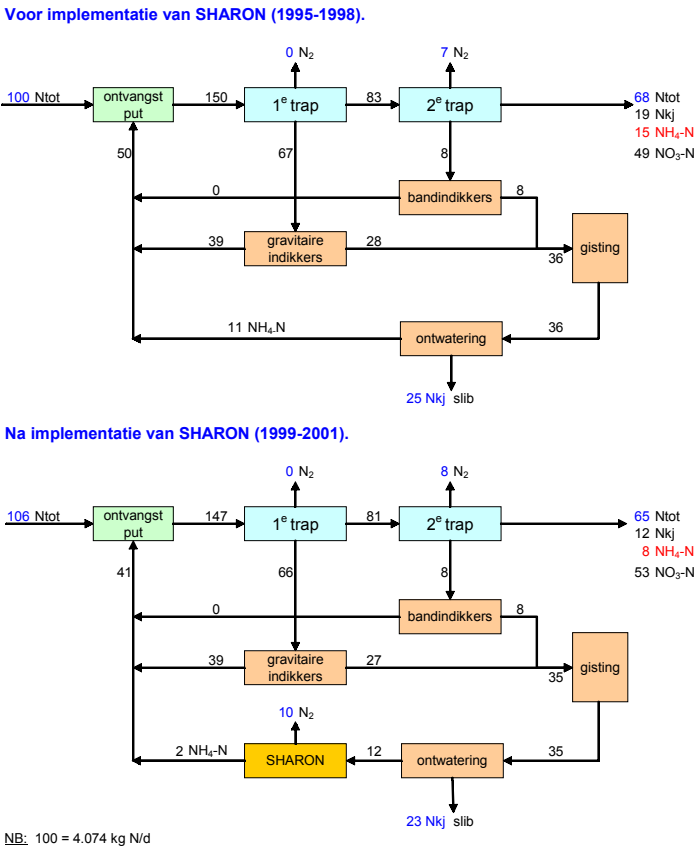
3.3.3 STIKSTOFMASSABALANS

Figuur 8 toont de N-balans voor en na implementatie van SHARON. In verband met de onderlinge vergelijking van de resultaten zijn deze genormaliseerd. De gemiddelde N_{kj}-vracht van het influent (4.074 kg/d) van de periode voor implementatie van SHARON is gesteld op 100.

De N_{kj}-vracht van de rwzi is na implementatie van SHARON met 6% toegenomen (+6). Via de afvoer van ontwaterd slib wordt circa 25% van de N_{kj}-vracht van de rwzi verwijderd. Het valt op dat de N-vracht van de gravitaire indikking 39% van de N_{kj}-vracht van het influent vertegenwoordigt. Deze relatief hoge N-vracht hangt samen met een relatief laag rendement van de voorindikking. Waarschijnlijk wordt een groot deel van de stikstof die gebonden is aan zwevende stof geretourneerd naar de 1^e trap. De N_{kj}-vracht van het rejectiewater komt overeen met 11% van de N_{kj}-vracht van het influent. Voor de beluchtingscapaciteit van de 2^e trap is vooral de N_{kj}-vracht van de 2^e trap bepalend. Betrokken op de N-vracht van de 2^e trap draagt de deelstroom voor 14% bij aan de N-belasting. Na implementatie van SHARON is de bijdrage van het rejectiewater gedaald van 14% naar 3%. In 2002 is de bedrijfsvoering van de SHARON aangepast. Hierdoor wordt een hoger N-rendement behaald en is de bijdrage van het rejectiewater aan de belasting van de 2^e trap verwaarloosbaar geworden. Omdat deze resultaten zijn behaald na aanvang van de effluentrecirculatie zijn deze voor de evaluatie van de N-balans buiten beschouwing gelaten.

In de volgende paragrafen worden de resultaten nader geëvalueerd.

FIGUUR 8 N-BALANS VAN RWZI DOKHAVEN (EXCLUSIEF EFFLUENT RECIRCULATIE).



3.3.4 STIKSTOFVERWIJDERING

1^E TRAP

Tabel 2 toont de Nkj-verwijdering van de 1^e trap voor en na implementatie van de deelstroomzuivering. Uit de tabel blijkt dat met SHARON de N-vracht is gedaald (-3) met 2%. De toename van de influentvracht (+6) van de rwzi in combinatie met de afname van de interne Nkj-vracht (-9), heeft geresulteerd in een afname van de N-vracht van de 1^e trap (-3). Uit de tabel blijkt dat de in de 1^e trap verwijderde hoeveelheid Nkj ongeveer gelijk (-1) is gebleven.

TABEL 2 N-VERWIJDERING 1^E-TRAP VOOR EN NA IMPLEMENTATIE VAN SHARON.

Parameter	Voor	Na	Verschil
Nkj aanvoer ¹⁾	150	147	-3
Nkj verwijderd ¹⁾	67	66	-1

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 4.074 kg Nkj/d.

Het effluent van de SHARON kan afhankelijk van de procesvoering meer of minder nitriet bevatten. Het effluent wordt teruggevoerd naar het ontvangwerk van de rwzi en bevatte gedurende de periode 1999-2001 gemiddeld circa 150 kg NO₂-N/dag. Denitrificatie in het ontvangwerk en/of de 1^e trap kan optreden met BZV uit het influent. Kortdurende experimenten hebben bevestigd dat denitrificatie in de 1^e trap inderdaad plaatsvindt [19]. Na dosering van NaNO₃ in de zandvangsers, werd in de afloop van de 1^e trap geen aantoonbare

hoeveelheid NO_x gemeten. Daaropvolgend zijn in 2001 testen met effluentrecirculatie uitgevoerd. Op dagen met DWA aanvoer kan via effluentrecirculatie 1.000 kg N/d worden verwijderd [20]. Uit deze testen is geen nadelige invloed op de prestatie van de 1^e trap gebleken. Uit aanvullende metingen is gebleken dat de resthoeveelheid nitriet afkomstig van de SHARON volledig in het ontvangwerk wordt verwijderd.

Sinds 2002 wordt op basis van de genoemde bevindingen tijdens DWA omstandigheden een deel van het effluent van de rwzi over de 1^e trap gerecirculeerd. Zoals vermeld zijn deze resultaten omwille van vergelijkbaarheid bij de evaluatie van de N-balans buiten beschouwing gelaten.

2^E TRAP

Tabel 3 toont de Nkj-verwijdering van de 2^e trap voor en na implementatie van SHARON. Uit de tabel blijkt dat de belasting van de 2^e trap is afgenomen. Enerzijds is de N-vracht van het ruwe influent toegenomen (+6) maar anderzijds is de N-vracht van het rejectiewater afgenomen (-9), waardoor in totaal de belasting van de 2^e trap met is gedaald (-2) met 2%.

Uit de tabel blijkt ook dat de verwijderde hoeveelheid Nkj is gestegen (+5) met 8%. Dit kan worden verklaard indien wordt aangenomen dat voor implementatie van de SHARON de beluchtingscapaciteit van de 2^e trap minder optimaal werd benut. Deze aanname is aannemelijk omdat na implementatie van SHARON de zuurstofconcentratie in de 2^e trap hoger is dan voorheen. De hoeveelheid N_{tot} verwijderd is ongeveer gelijk (+1) gebleven. In de 2^e trap wordt in principe niet gedenitrificeerd.

TABEL 3

N-VERWIJDERING 2^E TRAP VOOR EN NA IMPLEMENTATIE VAN SHARON.

Parameter	Voor	Na	Verschil
Nkj aanvoer ¹⁾	83	81	-2
Nkj verwijderd ¹⁾	64	69	+5
N_{tot} verwijderd ¹⁾	15	16	+1

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 4.074 kg Nkj/d.

RWZI TOTAAL

Tabel 4 toont de Nkj-verwijdering van de totale rwzi voor en na implementatie van SHARON. Met SHARON wordt stikstof uit het rejectiewater buiten de waterlijn verwijderd (-9). De N_{tot} -vracht van het effluent is duidelijk afgenomen (-3) ondanks een stijging (+6) van 6% van de influentbelasting. De ammoniumvracht van het effluent is gedaald (-7) met bijna 50%. Als gevolg van de grotere hoeveelheid Nkj genitrificeerd in de 2^e trap is de nitraatvracht van het effluent gestegen (+4). Het N_{tot} -rendement van de rwzi is gestegen van 32% naar 39%. Na aanvang in 2002 van effluentrecirculatie via de 1^e trap wordt een N_{tot} -rendement behaald van meer dan 50%. Zoals vermeld zijn deze resultaten bij de evaluatie van de N-balans buiten beschouwing gelaten. Door implementatie van SHARON in combinatie met effluentrecirculatie en andere maatregelen in het beheersgebied, kan ZHEW voldoen aan de gebiedseisen van 75% N-verwijdering⁴.

⁴ Deze gebiedseisen geldt voor ZHEW anno 2004. Per 1 januari 2005 zijn door de nieuwe gebiedsindeling van de Hollandse Delta andere eisen van toepassing.

TABEL 4 N-VERWIJDERING RWZI VOOR EN NA IMPLEMENTATIE SHARON.

Parameter	Voor	Na	Vershil
Influent N_{tot} ¹⁾	100	106	+6
Rejectiewater N_{kj} ¹⁾	11	2	-9
Effluent ¹⁾			
- NH_4 -N	15	8	-7
- N_{kj}	19	12	-7
- NO_3 -N	49	53	+4
- N_{tot}	68	65	-3
N_{tot} rendement	32%	39%	+7%

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 4.074 kg N_{kj} /d.

3.4 RWZI UTRECHT

3.4.1 ALGEMEEN

Op grond van de Lozingbesluit Stedelijk Afvalwater is sinds 1 januari 2003 het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) verplicht gebiedsbreed 75% van de inkomende N-vracht te verwijderen. Vanaf 1997 is op RWZI Utrecht een SHARON operationeel waarmee N-rijk rejectiewater wordt behandeld. Aanleiding voor de bouw van de deelstroomzuivering was een gefaseerde verscherping van de vergunningsvoorwaarden. Per 1 januari 1998 werd een effluenteis voor N_{tot} van 13 mg/l van kracht en per 1 januari 2003 moet worden voldaan aan 10 mg/l.

3.4.2 SYSTEEMBESCHRIJVING

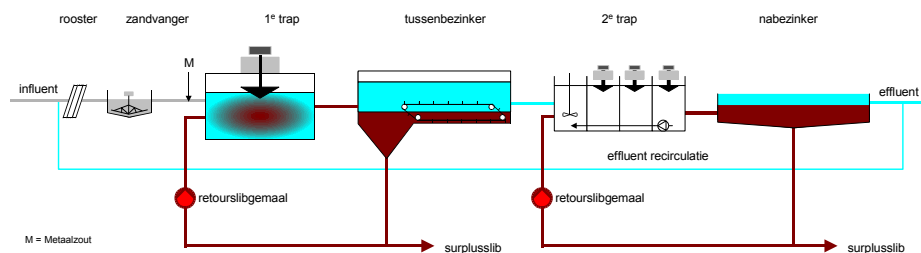
De ontwerpcapaciteit van RWZI Utrecht is circa 400.000 inwonerequivalenten (i.e. à 54 g BZV).

WATERLIJN

Een schematische voorstelling van de waterlijn van de rwzi is opgenomen in Figuur 9. RWZI Utrecht is een actiefslibstelsysteem met een hoog belaste 1^e trap en een laagbelaste 2^e trap. Het afvalwater stroomt via de roosters en de zandvanger naar de 1^e trap. Op de 1^e trap wordt ten behoeve van fosfaatverwijdering ijzerchloride gedoseerd. Hierdoor wordt relatief veel BZV verwijderd. Van de 1^e trap stroomt het slib/watermengsel naar de tussenbezinking. Het tusseneffluent stroomt naar de 2^e trap die gecompartmenteerd is. In de 2^e trap wordt genitrificeerd en via interne recirculatie gedenitrificeerd [21]. Tijdens DWA omstandigheden wordt aanvullend effluent over de 1^e trap gerecirculeerd (2x DWA). Onder zuurstofarme omstandigheden en bij een overmaat aan BZV wordt hier gedenitrificeerd. De afloop van de 1^e trap bevat een verwaarloosbare hoeveelheid nitraat. Na de beluchtingstanks van de 2^e trap wordt het behandelde afvalwater, via passage van de nabezinktanks, geloosd op de Vecht.

FIGUUR 9

SCHEMATISCHE VOORSTELLING WATERLIJN RWZI UTRECHT.

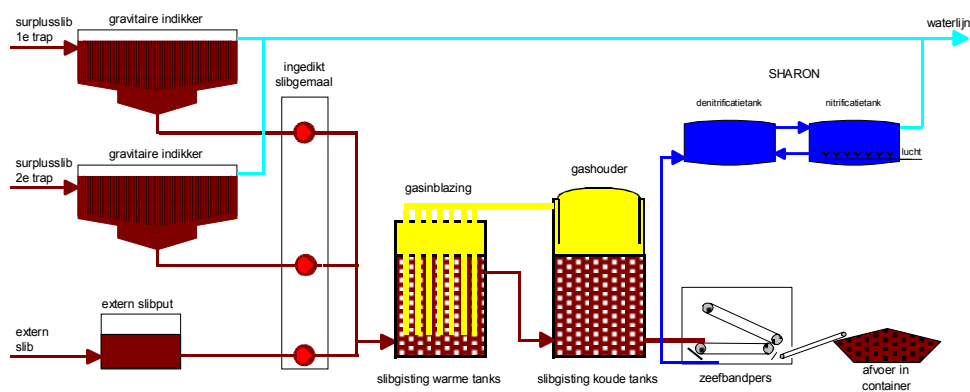


SLIBLIJN EN SLIBBEDRIJF

Figuur 10 geeft een schematische voorstelling van de sliblijn van de rwzi. Het surplusslib van de 1^e en 2^e trap wordt gescheiden gravitair ingedikt. Vervolgens worden beide stromen gezamenlijk vergist. Tevens wordt extern slib via de gistingstanks verwerkt. Het uitgestigte slib wordt ontwaterd waarbij N-rijk rejectiewater vrijkomt. Dit rejectiewater werd voor implementatie van SHARON zonder behandeling teruggevoerd naar het ontvangwerk van de rwzi.

FIGUUR 10

SCHEMATISCHE VOORSTELLING SLIBLIJN RWZI UTRECHT



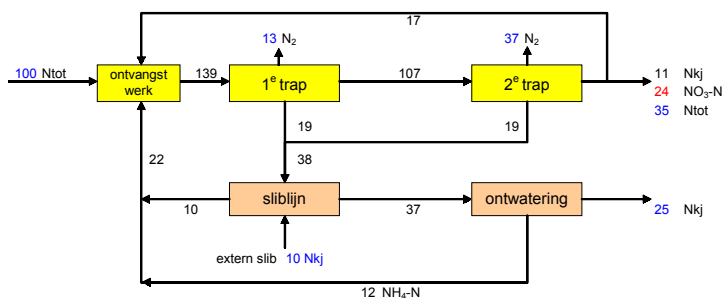
3.4.3 STIKSTOFMASSABALANS

Figuur 11 toont de N-balans van de rwzi voor en na implementatie van de deelstroombehandeling. In verband met de onderlinge vergelijking van de resultaten zijn deze genormaliseerd. De gemiddelde N_{kj}-vracht (2.965 kg/d) van de periode voor implementatie van de SHARON is gesteld op 100.

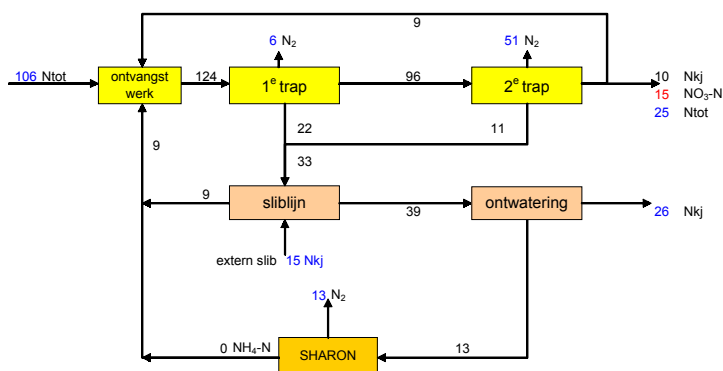
De gemiddelde N_{kj}-vracht van de rwzi na implementatie van de SHARON is gestegen (+6) met 6%. Daarnaast is de N_{kj}-aanvoer via extern slib gestegen (+5) met 50%. Tevens blijkt dat 25% van de N-vracht van de rwzi wordt verwijderd via de afvoer van ontwaterd slib.

FIGUUR 11 N-BALANS VAN RWZI UTRECHT.

Voor implementatie SHARON (1997).



Na implementatie SHARON (1998-2002).



NB: 100 = 2.965 kg N/d

De Nkj-vracht van het onbehandelde rejectiewater bedraagt 12% van de N-belasting van de rwzi. Na implementatie van SHARON is de restvracht ammonium verwaarloosbaar. Duide-lijk blijkt dat ondanks de toegenomen influent Nkj-vracht, de N-belasting van de 2^e trap is verlaagd (-11).

In de volgende paragrafen worden op basis van stikstofmassabalansen de resultaten nader geëvalueerd.

3.4.4 STIKSTOFVERWIJDERING

1^e TRAP

Tabel 5 toont dat de N-belasting van de 1^e trap na implementatie van de deelstroomzuivering is gedaald (-15) met 11%. Daarnaast is de hoeveelheid stikstof verwijderd gedaald (-4) met 13%. Deze daling kan als volgt worden verklaard. Met de SHARON is de Nkj-vracht van de 2^e trap verlaagd (-11). Dit heeft twee effecten, enerzijds kan minder nitraat in de 2^e trap worden gevormd en anderzijds is meer anoxische ruimte beschikbaar voor denitrificatie. Omdat het nitraatgehalte van het effluent is gedaald kan minder nitraat via de effluent-recirculatie naar de 1^e trap worden aangevoerd waardoor minder in de 1^e trap kan worden gedenitrificeerd.

TABEL 5 N-VERWIJDERING 1^E-TRAP VOOR EN NA IMPLEMENTATIE VAN SHARON.

Parameter	Voor	Na	Vershil
N _{tot} aanvoer ¹⁾	139	124	-15
N _{tot} verwijderd ¹⁾	32	28	-4

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 2.965 kg Nkj/d.

2^E TRAP

Tabel 6 toont de N-verwijdering van de 2^e trap voor en na implementatie van SHARON. Via de rejectiewaterbehandeling wordt de 2^e trap ontlast van Nkj. De Nkj-belasting van de 2^e trap is gedaald (-11) met 10%. Omdat voor implementatie van SHARON al vergaand werd genitrificeerd daalde (-9) de Nkj-verwijdering van de 2^e trap. De 2^e trap wordt minder belucht waardoor meer anoxische ruimte voor het denitrificatieproces is ontstaan. Dit heeft tot gevolg gehad dat het N_{tot}-rendement van de 2^e trap is gestegen (+6) met 11%.

TABEL 6 N-VERWIJDERING 2^E-TRAP VOOR EN NA IMPLEMENTATIE VAN SHARON.

Parameter	Voor	Na	Vershil
Nkj aanvoer ¹⁾	107	96	-11
Nkj verwijderd ¹⁾	91	82	-9
N _{tot} verwijderd ¹⁾	56	62	+6

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 2.965 kg Nkj/d.

RWZI TOTAAL

Tabel 7 geeft een overzicht van de N-verwijdering van de totale rwzi voor en na implementatie van SHARON. Uit de tabel blijkt dat de influent Nkj-vracht is gestegen (+6) met 6% en de aanvoer van Nkj via extern slib is toegenomen (+5) met 50%. De geloosd hoeveelheid stikstof is gedaald (-10) met 29%. Deze daling is vooral behaald door afname (-9) van de geloosde hoeveelheid nitraat. De verbetering van de effluentkwaliteit is bereikt door toename van de totale denitrificatiecapaciteit. Enerzijds wordt met SHARON buiten de waterlijn stikstof verwijderd en anderzijds wordt meer stikstof in de 2^e trap gedenitrificeerd omdat minder ruimte voor het nitrificatieproces nodig is. Uit het voorgaande blijkt dat de afname (-6) van de belasting van de waterlijn een meer dan evenredige afname (factor 1,5) van de effluentvracht (-9) heeft opgeleverd. Het N_{tot}-rendement is gestegen van 65% naar 76%.

Ondanks de gestegen belasting wordt mede sinds implementatie van SHARON voldaan aan de gebiedseis van 75% N-verwijdering. Tevens wordt sinds het jaar 2000 in combinatie met een verbeterde beluchtingsregeling een N_{tot}-effluentkwaliteit bereikt van 10 mg/l.

TABEL 7 N-VERWIJDERING RWZI VOOR EN NA IMPLEMENTATIE VAN SHARON.

Parameter	Voor	Na	Vershil
Influent N _{tot} ¹⁾	100	106	+6
Extern slib N _{tot} ¹⁾	10	15	+5
Rejectiewater ¹⁾	12	0	-12
Effluent ¹⁾			
- Nkj	11	10	-1
- NO ₃ -N	24	15	-9
- N _{tot}	35	25	-10
N _{tot} rendement	65%	76%	+11%

¹⁾ Genormaliseerde waarde: 100 = 2.965 kg Nkj/d.

3.5 EVALUATIE

Op grond van meerdere jaren praktijkresultaten van RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht is aangetoond dat met implementatie van SHARON het effluentstikstofgehalte significant is verbeterd. Door de SHARON op RWZI Dokhaven, werd de beluchtingscapaciteit van de waterlijn ontlast en is de geloosde ammoniumvracht ongeveer gehalveerd. RWZI Utrecht had een tekort aan denitrificatiecapaciteit en is met SHARON de geloosde hoeveelheid N_{tot} met ongeveer éénderde afgenomen. Uit de resultaten blijkt dat op RWZI Utrecht in verhouding tot de afname van de belasting van de waterlijn een meer dan evenredige daling (factor 1,5) van de effluentstikstofvracht is bereikt. In beide gevallen is de verbetering van de effluentkwaliteit bereikt ondanks een significante verhoging van de stikstofbelasting van de rwzi.

Sinds implementatie van SHARON kan HDSR voldoen aan de gebiedseis van 75% N-verwijdering en wordt op RWZI Utrecht een effluentkwaliteit van 10 mg N/l gehaald. Met SHARON op RWZI Dokhaven en in combinatie met andere maatregelen kan ZHEW gebiedsbreed 75% stikstof verwijderen.

Op grond van de meerdere jaren praktijkervaring wordt geconcludeerd dat SHARON een duurzame bewezen praktijktoepassing voor rejectiewaterbehandeling is. Met implementatie van SHARON kan in een aantal gevallen conventionele uitbreiding van een rwzi worden uitgesteld of voorkomen.

4

REJECTIEWATERBEHANDELINGSTECHNIEKEN

4.1 INLEIDING

Diverse methoden zijn ontwikkeld voor de behandeling van N-rijk rejectiewater. In dit hoofdstuk wordt hiervan een zo volledig mogelijk beeld gegeven. Na een opsomming van de verschillende technologieën, worden de methoden met voldoende toekomstperspectief geselecteerd. Deze technologieën worden in een eindevaluatie kwalitatief beoordeeld en onderling vergeleken.

4.2 BEHANDELINGSMETHODEN

De verschillende technologieën kunnen in hoofdlijnen worden onderverdeeld in fysisch/chemische en biologische methoden. In de categorie fysisch/chemische behandelingsmethoden vallen bijvoorbeeld:

- strippen: stoomstrippen [4], luchtstrippen [5];
- precipitatie: MAP-proces [6] [7] en CAFR-proces [6];
- ionwisseling/elektrochemisch: ammel-systeem [22].

Bij biologische behandelingsmethoden wordt onderscheid gemaakt in de wijze waarop ammoniumstikstof wordt omgezet in elementair stikstofgas (N_2).

- 'conventionele' N-verwijdering via nitraat met koolstofbron: airlift [3], MBR [2] [8], BABE [12], Regeneration [27] [28] en SBR [29];
- N-verwijdering via nitriet met koolstofbron: SHARON [9];
- N-verwijdering via nitriet zonder koolstofbron: SHARON-ANAMMOX [10] [11] [32], CANON [23] [31] [33] [34], Deammonifikation [24] [26] [30] en OLAND [26].

Bijlage 1 geeft van elk van de bovenstaande technieken een korte omschrijving.

4.3 SELECTIE

Uit het totale aanbod van technologieën zijn behandelingsmethoden geselecteerd die voldoende toekomstperspectief bieden. De geselecteerde methoden worden in een eindevaluatie kwalitatief beoordeeld en onderling vergeleken.

Voor de selectie is gebruik gemaakt van eerder in STOWA-verband uitgevoerde evaluatiestudies [1] [9]. Een aantal meer recent ontwikkelde behandelingsmethoden, zijn in deze studies niet aan de orde gekomen. In de eindevaluatie worden deze behandelingsmethoden meegenomen indien op praktijkschaal enige ervaring bestaat.

In de jaren negentig zijn in STOWA-verband het stripproces (luchtstrippen en stoomstrippen), het precipitatieproces (MAP/CAFR), de airliftreactor, MBR en SHARON onderzocht en onderling vergeleken [1] [9]. In de totaalbeoordeling hiervan is SHARON als meest geschikte systeem geselecteerd.

Behandelingsmethoden die nog niet aan de orde zijn gekomen in eerder uitgevoerde evaluatiestudies, betreffen meer recent ontwikkelde technieken.

Van de fysisch/chemische behandelingsmethoden is het ammel-systeem vernieuwend. In dit systeem wordt met een combinatie van ionwisseling en elektrochemische technieken ammonium verwijderd uit afvalwater. Het systeem is voor zover bekend nog niet op praktijkschaal toegepast, waardoor deze niet in de eindevaluatie wordt meegenomen.

Op biologisch gebied zijn er naast SHARON-ANAMMOX een aantal recente ontwikkelingen waaronder: Regeneration, BABE, CANON, Deammonifikatie, OLAND.

Het Regeneratieproces wordt in Oost Europa op een aantal zuiveringen toegepast. In Nederland is voorafgaand aan de uitbreiding van RWZI Garmerwolde de werking van BABE op één straat van de zuivering onderzocht. De gerapporteerde resultaten zijn van een relatief warme periode van medio mei tot en met eind juni 2002. Met modelsimulaties zijn de behaalde resultaten geëxtrapoleerd naar een volledig jaar.

Technologieën die gezien het biologische omzettingmechanisme grote overeenkomst vertonen met het gecombineerde SHARON-ANAMMOX proces zijn CANON, Deammonifikation en OLAND. CANON en OLAND worden tot op heden niet op praktijkschaal toegepast. Sinds medio 2000 wordt in Duitsland op praktijkschaal een Deammonifikation installatie getest. Daarnaast zijn in Duitsland zijn tot dusver vooral SBR installaties gebouwd.

Voor de vergelijking van de verschillende technologieën zijn de technieken SBR, BABE, SHARON en SHARON-ANAMMOX geselecteerd.

4.4 EVALUATIE

De geselecteerde behandelingsmethoden zijn in Tabel 8 onderling met elkaar vergeleken voor verschillende aspecten. Opgemerkt wordt dat door locatie specifieke omstandigheden de waardering van de verschillende aspecten een afwijkend totaalbeeld kan opleveren. Om dezelfde reden zijn de verschillende technieken niet onderling op kosten vergeleken.

TABEL 8 KWALITATIEVE VERGELIJKING DEELSTROOMTECHNOLOGIEËN ¹⁾.

Aspect	SBR	BABE	SHARON	SHARON-ANAMMOX
Eenvoud inpasbaarheid	0	-	0	0
Eenvoud bedrijfsvoering	0	0	+	-
Slibleefijd waterlijn ²⁾	0/+	+	0/+	0/+
Duurzaamheid ³⁾	-	-	0	+
Effluentkwaliteit rwzi	+	+	+	+
Bewezen praktijktoepassing ⁴⁾	+	0	+	-

1) Waardering: - = ongunstig, 0 = neutraal en + = gunstig;

2) BABE beïnvloedt rechtstreeks de slibleeftijd van de waterlijn. SBR en SHARON(-ANAMMOX) maken via verbeterde voorbehandeling (PE-dosering) verhoging van de slibleeftijd van de waterlijn mogelijk. Verlenging van de slibleeftijd van de waterlijn is alleen zinvol als de slibleeftijd kritisch is.

3) Duurzaamheid (slibproductie, chemicaliënverbruik, zuurstofverbruik en CO₂-emissie).

4) Status 2004.

De kenmerken en verschillen worden per aspect toegelicht.

EENVOUD INPASBAARHEID

BABE heeft een directe koppeling met de waterlijn van een rwzi. Afhankelijk van het aantal straten van de rwzi zijn extra voorzieningen voor verdeling van slib nodig. SBR, SHARON en SHARON-ANAMMOX functioneren los van de waterlijn.

EENVOUD BEDRIJFSVOERING

Enkelvoudige batchprocessen met slibretentie zoals SBR en BABE zijn meer complex in de bedrijfsvoering dan een continu doorstroomd systeem zonder slibretentie zoals SHARON. Aan SHARON-ANAMMOX wordt een hogere complexiteit toegekend vanwege de interactie tussen de twee systemen.

SLIBLEEFTIJD WATERLIJN

BABE heeft rechtstreeks invloed op de slibleeftijd van de waterlijn. Omdat in de BABE retourslib wordt gemineraliseerd daalt de overall slibproductie en dat resulteert in toename van de slibleeftijd van de waterlijn. Afhankelijk van de slibbelasting en de kritische temperatuur is die invloed op de slibleeftijd relevant. Voor de andere systemen geldt dat alleen in combinatie met verbeterde voorbehandeling - bijvoorbeeld PE dosering op voorbezinking op 1^e trap beluchting - de slibleeftijd van de waterlijn kan worden verlengd waardoor de kritische temperatuur voor nitrificatie wordt verlaagd.

DUURZAAMHEID

Duurzaamheid is gedefinieerd als de beheersing van activiteiten en het gebruik van grondstoffen, materialen en energie, op een wijze dat het milieu zoveel mogelijk wordt gespaard en rekening wordt gehouden met de belangen van andere partijen en toekomstige generaties. De geselecteerde technieken zijn vergeleken op de volgende kwalitatieve aspecten:

1. zuurstofverbruik;
2. chemicaliënverbruik;
3. slibproductie;
4. CO₂-emissie.

Uit de vergelijking volgt dat SHARON-ANAMMOX de meest duurzame behandelingsmethode is. SHARON is meer duurzaam dan SBR en BABE.

Ad 1. Het zuurstofverbruik is vooral afhankelijk van de omzettingroute van ammonium naar stikstofgas. Voor de nitraatroute, zoals bij SBR en BABE, is 25% meer zuurstof nodig dan bij SHARON (nitrietroute). Daarnaast wordt bij BABE een deel van het retourslib anoxisch en oxisch gemineraliseerd. Het deel dat oxisch wordt gemineraliseerd vergt extra zuurstof ten opzichte van de waterlijn zonder deelstroomzuivering. Het gecombineerde SHARON-ANAMMOX proces levert in vergelijking met een SBR een besparing van 60% op het zuurstofverbruik op voor de rejectiewaterbehandeling.

Ad 2. Het verbruik van C-bron neemt in de volgende volgorde af: SBR, BABE, SHARON, SHARON-ANAMMOX. De C-bron dosering voor BABE wordt bepaald door de mineralisatiegraad van het retourslib. Voor BABE is bij laag-belaste actiefslibsystemen een dosering van een C-bron nodig. Alleen bij hoog belaste systemen (meestal niet nitrificerend) kan zonder dosering van een C-bron worden gedenitrificeerd. SHARON-ANAMMOX heeft de geringste hoeveelheid C-bron nodig. De pH van de verschillende processen kan indien gewenst in plaats van via het denitrificatieproces met natronloog worden gecorrigeerd. Meestal wordt in de praktijk vanwege de kosten dosering van loog of kalk zoveel mogelijk vermeden.

Ad 3. Bij rejectiewaterbehandeling wordt de biologische slibproductie vooral bepaald door de groei van denitrificerende bacteriën. Voor een SBR is de grootste hoeveelheid C-bron nodig omdat stikstof via de nitraatroute wordt verwijderd. Voor een SHARON is 40% minder BZV nodig en met de combinatie SHARON-ANAMMOX is voor volledige N-verwijdering 90%

minder BZV nodig. BABE maakt voor het denitrificatieproces zoveel mogelijk gebruik van BZV uit het retourslib en aanvullend wordt een C-bron gedoseerd.

Ad 4. Voor de verschillende omzettingroutes (nitraatroute, nitrietroute, partiele nitrificatie en deammonificatie) worden verschillende hoeveelheden kooldioxide (CO_2) en bicarbonaat (HCO_3^-) geproduceerd (inclusief elektriciteitsproductie) en/of geconsumeerd. Het gecombineerde SHARON-ANAMMOX proces levert in totaal de laagste CO_2 -emissie op. SHARON heeft een lagere CO_2 -emissie dan BABE en SBR.

EFFLUENTKWALITEIT RWZI

Het effect van een deelstroombehandeling op de totale N-verwijderingscapaciteit van een rwzi is afhankelijk van locatie specifieke factoren. Vaak kan met een bepaald systeem dezelfde verbetering van de effluentkwaliteit worden bereikt op een iets andere wijze. Per locatie moet worden beoordeeld op welke manier de beoogde verbetering van de N-verwijderingscapaciteit zo optimaal en kosteneffectief mogelijk kan worden behaald. Naast conventionele uitbreiding is deelstroombehandeling daarbij één van de mogelijke opties.

BEWEZEN PRAKTIJKTOEPASSING

SBR en SHARON zijn beide in de praktijk toegepaste bewezen technologieën. Het BABE principe is gedurende een relatief korte periode onderzocht. Via modelsimulaties is voorts een voorspelling gedaan voor het geoptimaliseerde proces. De combinatie SHARON-ANAMMOX wordt op praktijkschaal getest.

5

MARKTPOTENTIE

5.1 INLEIDING

Met een marktonderzoek onder de waterbeheerders is door middel van een schriftelijke enquête, de marktpotentie van rejectiewaterbehandeling in kaart gebracht. In de enquête is primair aandacht besteed aan rwzi's waar (centrale) ontwatering en/of droging van (uitgegist) slib plaatsvindt. De bij deze slibbehandelingen vrijkomende rejectiewaterstromen bevatten hoge stikstofgehalten. In de meeste gevallen worden deze rejectiewaterstromen teruggevoerd naar de waterlijn. De bijdrage van de rejectiewaterstroom op de totale stikstofvracht naar de waterlijn kan een aanzienlijke vracht (>10%) vertegenwoordigen.

Naast deze stikstofrijke deelstromen, kunnen specifieke externe afvalwaterstromen afkomstig van industriële bedrijven, geschikt zijn voor deelstroombehandeling. Met het deelstroomstelsel kan het N-rijke water afzonderlijk worden behandeld waardoor de stikstofeffluentkwaliteit verbetert.

5.2 ENQUÊTEOPZET

Bijlage 2 bevat de enquête zoals deze door de waterbeheerders is ingevuld. De enquête bestond uit drie onderdelen:

- inventarisatie N-rijk rejectiewater;
- beoordeling rwzi prestaties ten aanzien van effluentstikstofeis;
- rangschikking beoordelingscriteria voor systeemkeuze deelstroombehandeling (innovativiteit, kostprijs per kg N verwijderd, bedrijfszekerheid, bedrijfsvoering, milieuvriendelijkheid, eenvoud van de installatie).

5.3 ENQUÊTERESULTATEN

De enquête is naar 24 waterbeheerders verstuurd. De respons op de enquête bedroeg 83% (status 2002). In totaal werden 58 rwzi's opgegeven met (centrale) ontwaterings- en/of drogingsinstallaties van (uitgegist) slib. Op de vraag of externe (industriële) stikstofrijke afvalwaterstromen naar rwzi's worden aangevoerd, heeft 54 % (13) van de waterbeheerders bevestigend gereageerd.

5.3.1 INVENTARISATIE REJECTIEWATER

Op alle opgegeven 58 rwzi's is een slibontwateringsinstallatie aanwezig. Vijf rwzi's zijn tevens uitgerust met een slibdrogingsinstallatie. Met de opgegeven technologische gegevens zijn voor iedere rwzi de volgende parameters bepaald:

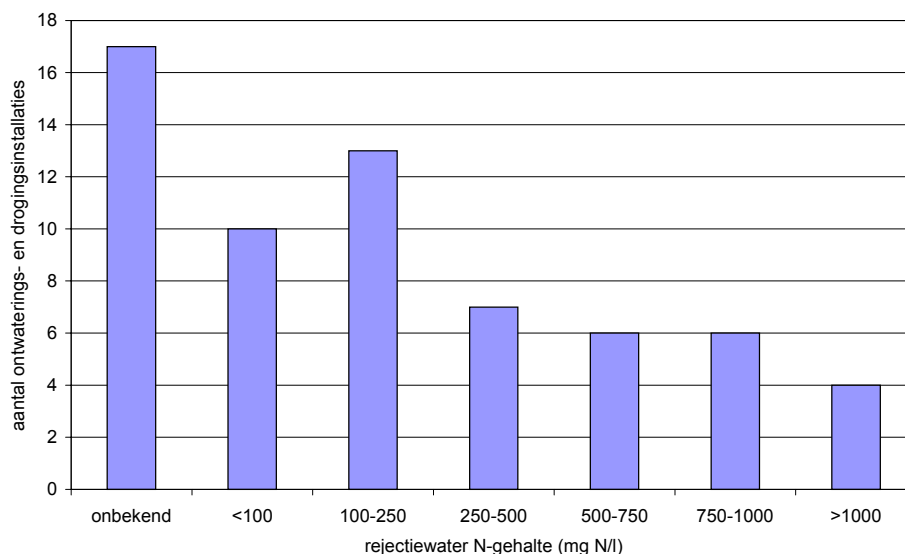
- ammoniumgehalte van het rejectiewater;
- bijdrage van de stikstofvracht van het rejectiewater aan de totale influentstikstofvracht;

Figuur 12 toont het berekende stikstofgehalte op basis van de opgegeven rejectiewaterdebieten en -stikstofvrachten voor in totaal 63 slibontwaterings- en drogingsinstallaties. Het stikstofgehalte in het rejectiewater wordt sporadisch gemeten. Van circa 30 procent van

de rejectiewaterstromen is het stikstofgehalte onbekend. Stikstofgehaltenes lager dan 100 mg N/l lijken onwaarschijnlijk. Op één van deze rwzi's is achteraf een meting verricht resulterende in een stikstofgehalte van 800 mg N/l.

Het stikstofgehalte varieert sterk. Dit wordt veroorzaakt door de herkomst van de gebruikte gegevens. In enkele enquêtes is bij het vaststellen van de stikstofvracht gebruik gemaakt van de stikstofconcentratie van de rejectiewaterstroom inclusief het overloopwater van de slibvoorindikers. In een aantal gevallen is een stikstofgehalte aangenomen, zoals gebruikelijk is voor rejectiewater. Ten slotte kan de ontwaterings- en drogingsmethode het stikstofgehalte van het rejectiewater nadelig beïnvloeden. Indien het bandspoelwater van een zeefbandpers niet wordt gescheiden van het perswater treedt onnodige verdunning op. Bij slibdroging zorgt de wijze van koeling, te weten directe of indirecte koeling, voor een meer of minder geconcentreerde rejectiewaterstroom.

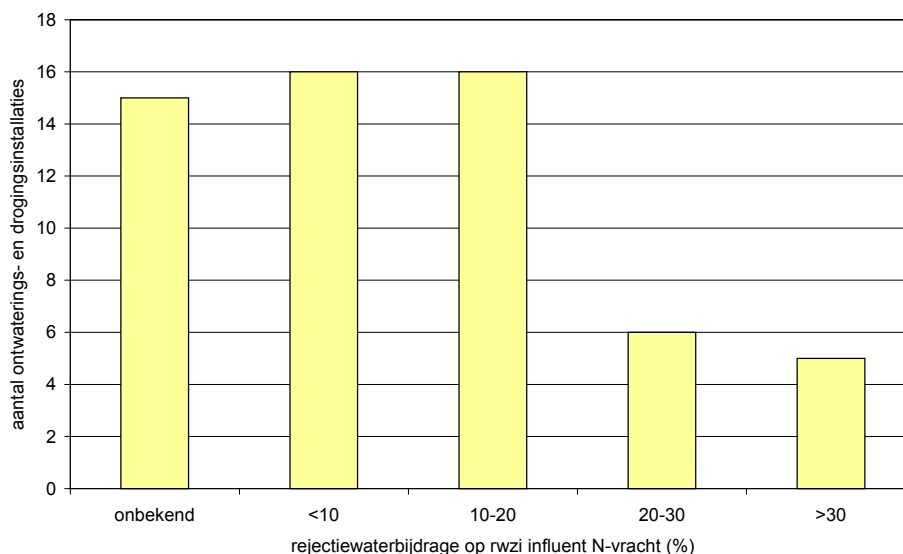
FIGUUR 12 N-GEHALTE IN REJECTIEWATER VAN SLIBONTWATERINGS- EN SLIBDROGINGSINSTALLATIES.



Van 17 slibdrogings- en ontwateringsinstallaties is het stikstofgehalte onbekend. Daarbij kunnen vier rwzi's nu of in de nabije toekomst niet de effluentstikstofeis voldoen. In die gevallen kan niet eenvoudig worden beoordeeld of deelstroombehandeling een aantrekkelijke optie is. Daarvoor dient aanvullende bemonstering en analysering van de deelstroom te worden uitgevoerd.

Figuur 13 geeft een indicatie van de bijdrage van het rejectiewater van de slibontwaterings- en slibdrogingsinstallaties op de totale rwzi influent N-vracht van in totaal 58 rwzi's. De bijdrage van het rejectiewater aan de totale influent stikstofvracht varieert sterk per rwzi en is onder andere afhankelijk van de aanvoer van extern slib. Daarnaast verschilt de herkomst van de gegevens – meting, berekening of aanname – waarmee de stikstofvracht van het rejectiewater is bepaald sterk.

FIGUUR 13 BIJDRAGE REJECTIEWATER OP TOTALE RWZI INFLUENT N-VRACHT.



5.3.2 EFFLUENTSTIKSTOFEIS

Voor het marktonderzoek is gekeken naar rwzi's die problemen hebben met het behalen van de effluentstikstofeis, omdat deelstroombehandeling dan een interessante optie is. Daarbij is onderscheid gemaakt tussen rwzi's die nu niet aan de effluenteis kunnen voldoen en rwzi's die in de (nabije) toekomst niet aan deze eis kunnen voldoen.

Anno 2002 kunnen 13 van de 54 rwzi's niet (altijd) voldoen aan de effluenteis. Als belangrijkste oorzaak wordt opgegeven een gebrek aan denitrificatiecapaciteit als gevolg van een BZV-tekort, gevolgd door een te korte aërobe slibleeftijd voor stabiele nitrificatie. Voor deze 13 rwzi's geldt:

- zeven rwzi's worden al aangepast of uitgebreid. Bij de keuze van de uitbreiding of aanpassing van een rwzi is deelstroombehandeling niet altijd meegenomen als mogelijk alternatief.
- één rwzi, uitgerust met een deelstroombehandeling, is destijds ontworpen op enkel nitrificatie en dient te worden uitgebreid met denitrificatiecapaciteit.
- één rwzi kan voldoen aan de effluenteis door koolstofbrondosering.

Daarmee resteren vier rwzi's waar deelstroombehandeling een alternatief kan zijn voor de benodigde uitbreiding of aanpassing van een rwzi.

In de (nabije) toekomst kunnen acht rwzi's, die momenteel wel de effluenteis behalen, niet (altijd) voldoen aan de effluenteis. Redenen hiervoor zijn groeiende stikstofbelasting, onvoldoende nitrificatie- en/of denitrificatiecapaciteit of een verscherping van de lozingseisen. Voor deze 8 rwzi's geldt:

- één rwzi wordt al uitgebreid;
- één rwzi wordt (waarschijnlijk) opgeheven.

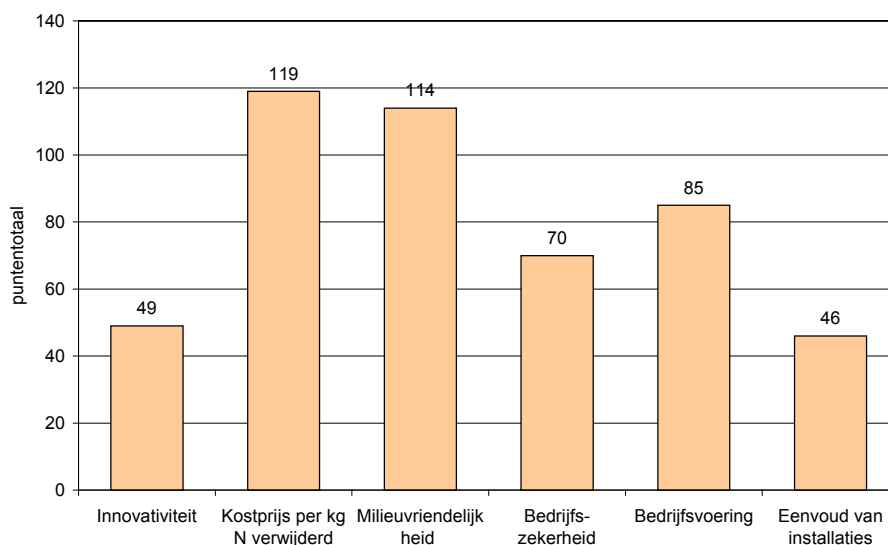
Het resultaat is zes rwzi's waar deelstroombehandeling een mogelijk alternatief is voor een toekomstige noodzakelijke conventionele uitbreiding of aanpassing van de rwzi.

Samenvattend op basis van de 83% enquêterespons, zijn tien rwzi's met N-rijk rejectiewater geïnventariseerd, die nu of in de toekomst niet aan de effluentstikstofeis kunnen voldoen. Mogelijk kan uitbreiding of aanpassing aan de waterlijn worden voorkomen door plaatsing van een deelstroombehandelingsinstallatie.

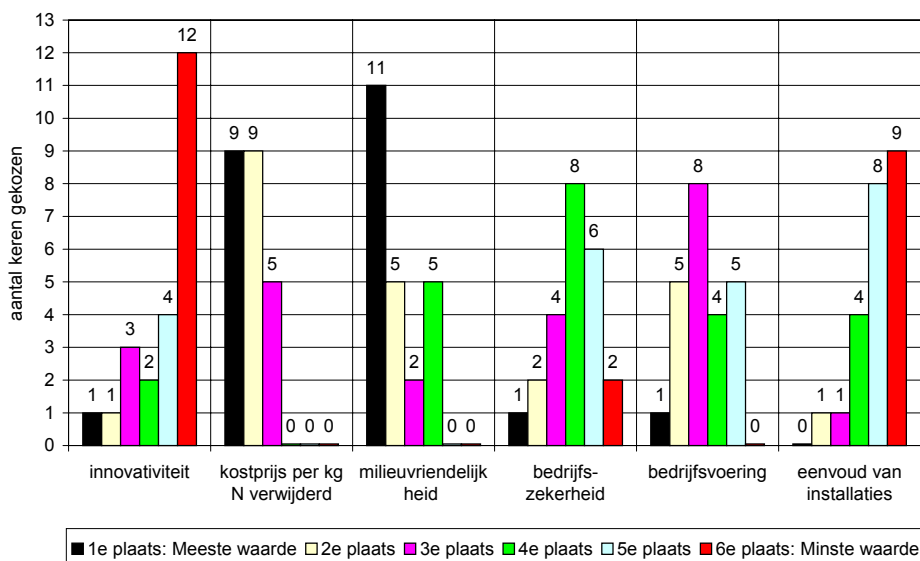
5.3.3 RANGSCHIKKING BEOORDELINGSCRITERIA

De resultaten van de rangschikking van de diverse criteria in het besluitvormingsproces van een systeemkeuze staan afgebeeld in Figuur 14 en Figuur 15. In Figuur 14 staat per beoordelingscriterium een totaalscore. Hierbij zijn 6 punten toegekend aan het meest belangrijke criterium en 1 punt aan het minst belangrijke criterium. Figuur 15 is per criterium aangegeven hoe vaak deze als meest belangrijk (1^e plaats) en als minst belangrijk (6^e plaats) werd beoordeeld. De beoordelingscriteria innovativiteit en milieuvriendelijkheid pleiten voor het SHARON-ANAMMOX proces. Figuur 14 en Figuur 15 laten zien dat aan kostprijs en milieuvriendelijkheid de meeste waarde wordt toegekend. Innovativiteit en eenvoud van installaties echter worden door de waterbeheerders als minst belangrijk criteria gewaardeerd.

FIGUUR 14 OVERZICHT RANGSCHIKKING BEOORDELINGSCRITERIA.



FIGUUR 15 PUNTENTOTAAL PER BEOORDELINGSCRITERIUM.



5.3.4 EXTERNE AFVALWATERSTROMEN

Sommige rwzi's ontvangen stikstofrijk afvalwater van industriële bedrijven in het verzorgingsgebied. Het kan wellicht interessant zijn om dit afvalwater gescheiden aan te voeren en met een deelstroombehandelingsinstallatie te zuiveren. Op de aan 24 beheerders gestelde vraag of er rwzi's binnen het beheersgebied zijn die externe stikstofrijke afvalwaterstromen ontvangen, hebben 13 waterbeheerders gereageerd. Deze reacties waren primair gericht op de opgegeven rwzi's in de enquête. Rwzi's zonder slibontwaterings- en/of droging zijn hiermee uitgesloten terwijl deelstroombehandeling mogelijk een toepasbare optie kan zijn.

Slechts vijf rwzi's ontvangen een dergelijke stikstofrijke afvalwaterstroom. De vermelde afvalwaterstromen bevatten een stikstofgehalte van 100 tot 700 mg N/l. De rwzi's kunnen zonder problemen deze stromen behandelen. Bij de uitbreiding van één rwzi is zelfs rekening gehouden met de externe stikstofrijke stroom, die 10% van de totale influentstikstofvracht bedraagt.

In een aantal gevallen wordt door het desbetreffende lozende bedrijf overwogen om een eigen zuivering te plaatsen. Ook zijn onderhandelingen gaande met bedrijven die dergelijke stikstofrijke afvalwaterstromen op een rwzi willen gaan lozen.

De resultaten illustreren slechts dat rwzi's externe stikstofrijke afvalwaterstroom aangevoerd krijgen, die in een deelstroomsysteem kunnen worden behandeld.

5.4 EVALUATIE

Van de 24 benaderde waterbeheerders hebben 20 positief gereageerd. In totaal werden 58 rwzi's opgegeven met een slibontwateringsinstallatie. Daarbij zijn vijf rwzi's tevens uitgerust met een slibdrogingsinstallatie.

Uit de respons op de enquête blijkt dat in veel gevallen de stikstofvracht in de rejectiewaterstromen onbekend is. Doorgaans wordt het debiet en de stikstofconcentratie in het rejectiewater geschat. Op rwzi's waar metingen in de sliblijn worden verricht, wordt veelal alleen de stikstofvracht in de totale slibwaterstroom naar de waterlijn gemeten. Slechts wanneer de waterlijn problemen heeft met de N-verwijdering, worden bemonsteringen en analyses aan het rejectiewater uitgevoerd. Ook het opgegeven rejectiewaterdebiet is in de

meeste gevallen geen gemeten, maar een berekende waarde. Op de in de enquête genoemde rwzi's varieert de influentstikstofvracht 400 tot 2.000 kg N/d. De bijdrage van het rejectiewater op de totale influent stikstofvracht varieert van hierbij 5 tot 35%. Op rwzi's, die geen extern slib behandelen, bedraagt deze stikstofvracht bijdrage normaliter minimaal 10%. Door gerichte monsternamen en analyses kan de betrouwbaarheid van de gegevens worden vergroot.

Bij slibontwatering met zeefbandpersen en bij directe slibdroging is het rejectiewater soms verdund met spoelwater of koelwater. Dit leidt tot minder geconcentreerde en koelere rejectiewaterstromen wat gevolgen kan hebben voor de dimensionering van de deelstroombehandeling. In een aantal gevallen kan onnodige verdunning op eenvoudige wijze worden voorkomen.

Rwzi's die nu of in de (nabije) toekomst niet aan hun effluentstikstofeis kunnen voldoen, hebben veelal onvoldoende denitrificatiecapaciteit door BZV-tekort, een te korte aërobe slibleeftijd of een verhoogde stikstofbelasting voor vergaande N-verwijdering. Voor deze rwzi's kan rejectiewaterbehandeling een aantrekkelijk alternatief zijn voor (conventionele) uitbreiding van de rwzi. Echter, bij enkele noodzakelijk rwzi uitbreidingen of aanpassingen op kort termijn, is deelstroombehandeling niet altijd meegenomen als mogelijk alternatief. Van de verschillende beoordelingscriteria voor toepassing van deelstroombehandeling lijkt innovativiteit van marginaal belang. De belangrijkste beoordelingscriteria zijn milieuvriendelijkheid en kostprijs. Milieuvriendelijkheid pleit voor toepassing van SHARON-ANAMMOX.

Op basis van het criterium of een rwzi nu of in de (nabije) toekomst niet aan de effluenteis kan voldoen, zijn tien rwzi's een potentiële locatie voor een deelstroombehandeling. Geconcludeerd moet worden dat in Nederland het aantal nieuwe deelstroomsystemen beperkt zal blijven.

Buiten Nederland worden in veel andere landen (Europa/Noord Amerika) striktere eisen gesteld aan de stikstofeffluentkwaliteit. Vanuit een internationaal perspectief heeft rejectiewaterbehandeling een veel grotere marktpotentie.

6

SLOTBESCHOUWING

6.1 INLEIDING

Op basis van meer dan vijf jaar ervaring met SHARON op RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht is de invloed op de stikstofeffluentkwaliteit geëvalueerd. Daarnaast zijn de verschillende situaties waarin rejectiewaterbehandeling kan worden ingezet modelmatig onderbouwd. Ten slotte is een overzicht gegeven van de diverse beschikbare technologieën voor rejectiewaterbehandeling. Tenslotte is de marktpotentie van rejectiewaterbehandeling onder de Nederlandse waterbeheerders geïnventariseerd.

6.2 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN

Door toenemende belasting en verscherping van de effluentstikstofeisen, wordt een aantal rwzi's aangepast of uitgebreid. Dit kan noodzakelijk zijn door bijvoorbeeld beperking van de beluchtingscapaciteit, de denitrificatiecapaciteit of onvoldoende aërobe slibleeftijd. In het geval dat het een rwzi met rejectiewater betreft kan toepassing van deelstroombehandeling een interessante optie zijn.

De verbetering van de effluentkwaliteit wordt vooral bepaald door de bijdrage van de stikstofrejectiewatervracht aan de specifieke beperking van de waterlijn. Dit betekent dat de verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit groter is naarmate een groter deel van de beperking kan worden weggenomen door afzonderlijke behandeling van de deelstroom. Daarnaast is in de praktijk de kwaliteitsverbetering afhankelijk van locatie specifieke factoren zoals het influentaanvoerpatroon, de procesregelingen en de configuratie van de rwzi. Ten slotte dienen bij de keuze voor deelstroomzuivering de specifieke stikstofverwijderingskosten (€/kg N verwijderd) in relatie tot de kwaliteitsverbetering van het effluent te worden beoordeeld.

6.3 STIKSTOFVERWIJDERING RWZI

De evaluatie van de prestaties van RWZI Dokhaven en RWZI Utrecht heeft aangetoond dat SHARON een duidelijke verbetering van de effluentkwaliteit heeft opgeleverd. RWZI Dokhaven had voor SHARON een tekort aan beluchtingscapaciteit. Via stikstofverwijdering met SHARON wordt de beluchting van de waterlijn ontlast. Het resultaat is een halvering van de ammoniumvracht van het effluent. Op RWZI Utrecht was vooral de denitrificatiecapaciteit van de waterlijn de beperkende factor. Met SHARON is het N-verwijderingsrendement van de rwzi met ongeveer één derde gestegen. Omdat buiten de waterlijn stikstof wordt verwijderd is de N_{kj}-belasting van de waterlijn gedaald. Hierdoor kan in de waterlijn minder worden belucht waardoor meer anoxische ruimte beschikbaar is voor het denitrificatieproces. Dit heeft tot gevolg dat de daling van de effluentstikstofvracht meer dan een factor 1,5 hoger is dan de verwijderde stikstofrejectiewatervracht. In combinatie met SHARON wordt sinds 2002 op RWZI Utrecht een effluentstikstofgehalte van 10 mg N/l gehaald. HDSR voldoet hiermee aan de gebiedseis van 75% stikstofverwijdering. Op RWZI Dokhaven heeft

SHARON geleid tot een significante verbetering van de effluentkwaliteit. In combinatie met andere maatregelen op RWZI Dokhaven en in het beheersgebied voldoet ZHEW aan gebiedsbreed 75% N-verwijdering⁵.

Geconcludeerd is dat SHARON een duurzame en bewezen technologie is waarmee een significante verbetering van de stikstofeffluentkwaliteit is behaald. Via implementatie van SHARON is conventionele uitbreiding van de rwzi uitgesteld of voorkomen.

6.4 REJECTIEWATERBEHANDELINGSTECHNIEKEN

Deelstroomtechnologieën zijn onderscheiden in fysisch/chemische en biologische technieken. Fysisch/chemische technologieën zoals stoom- en luchtstrippen, precipitatie en ionenwisseling/elektrochemisch zijn vermeld. Bij biologische technieken is onderscheid gemaakt in de wijze waarop ammoniumstikstof word omgezet in stikstofgas.

Op basis van bestaande STOWA evaluatiestudies [1] [9], recente ontwikkelingen en de praktijksituatie, zijn de technieken SBR, BABE, SHARON en SHARON-ANAMMOX voor een nadere kwalitatieve evaluatie geselecteerd. De technieken zijn beoordeeld op duurzaamheid (slibproductie, chemicaliënverbruik, zuurstofverbruik, CO₂-emmissie), slibleeftijd waterlijn, eenvoud inpasbaarheid, eenvoud bedrijfsvoering, bewezen praktijktoepassing en de invloed op de stikstofeffluentkwaliteit van de rwzi. Alleen SBR en SHARON zijn bewezen praktijktoepassingen. SHARON-ANAMMOX is het meest duurzame proces van de verschillende technieken. De verbetering van de effluentkwaliteit die met de verschillende technologieën kan worden behaald is niet onderscheidend. Voor iedere rwzi moet afzonderlijk worden beoordeeld hoe de beoogde kwaliteitsverbetering zo optimaal mogelijk bereikt kan worden. Daarbij is deelstroombehandeling naast conventionele uitbreiding één van de mogelijke opties.

6.5 MARKTPOTENTIE

Door middel van een schriftelijke enquête onder alle waterbeheerders, is voor de Nederlandse rwzi's de marktpotentie van deelstroombehandeling onderzocht. De enquête richtte zich op rwzi's met stikstofrijke rejectiewaterstromen. In de enquête is gevraagd naar technologische gegevens van de rwzi, het functioneren van de rwzi ten aanzien van de stikstofeffluentkwaliteit en de waardering van een aantal kwalitatieve beoordelingscriteria van belang voor een systeemkeuze. De kwalitatieve beoordelingscriteria betroffen: innovativiteit, kostprijs (€/kg N verwijderd), bedrijfszekerheid, bedrijfsvoering, milieuvriendelijkheid en eenvoud van de installatie.

De respons op de enquête bedroeg 83%. Daarbij werden 58 rwzi's opgegeven met N-rijk rejectiewater. Omdat exacte gegevens van rejectiewaterdebiet en -stikstofconcentratie vaak ontbreken is de grootte van de stikstofrejectiewatervracht veelal onbekend. Het resultaat is een schatting van de stikstofrejectiewatervracht die kan variëren van 5 tot 35% van de influentstikstofvracht. Van de verschillende beoordelingscriteria scoorden kostprijs en milieuvriendelijk het hoogst en werden innovativiteit en eenvoud van installaties als laagst gewaardeerd. Milieuvriendelijkheid pleit voor toepassing van SHARON-ANAMMOX.

⁵ Deze gebiedseis geldt voor ZHEW anno 2004. Per 1 januari 2005 zijn door de nieuwe gebiedsindeling van de Hollandse Delta andere eisen van toepassing.

Uit de enquête is gebleken dat tien rwzi's nu of in de (nabije) toekomst niet aan de effluenteis kunnen voldoen en deze komen in principe in aanmerking voor een deelstroomzuivering. Geconcludeerd is dat het aantal nieuwe deelstroomsystemen in Nederland beperkt zal blijven.

7

LIJST MET AFKORTINGEN

ANAMMOX	=	ANaerobic AMMonium OXidation
BABE	=	Bio-Augumentation Batch Enhanced
BZV	=	Biochemisch ZuurstofVerbruik (mg/l)
CO ₂	=	kooldioxide
DWA	=	DroogWeerAanvoer (m ³ /h)
i.e.	=	inwonerequivalent
Nkj	=	Kjeldahl-stikstof (mg N/l)
NH ₄ -N	=	ammoniumstikstof (mg N/l)
NO ₂ -N	=	nitrietsikstof (mg N/l)
NO ₃ -N	=	nitraatsikstof (mg N/l)
NO _x -N	=	som nitriet- en nitraatsikstof (mg N/l)
N _{tot}	=	totaal stikstof (mg N/l)
PE	=	Poly-Electroliet, vlokmiddel
pH	=	zuurgraad (-)
rwzi	=	rioolwaterzuiveringsinrichting
SBR	=	Sequencing Batch Reactor
SHARON	=	Single reactor system for High activity Ammonia Removal Over Nitrite

8

REFERENTIES

- [1] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Evaluatie van Nederlandse praktijkonderzoeken. Rapport 95-08
- [2] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan de membraanbioreactor bij de slibverwerkingsinstallatie Sluisjesdijk, Rapport 95-09
- [3] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan de driefasen-airliftreactor bij de rwzi Utrecht, Rapport 95-10
- [4] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan stoomstrippen met dampverdichting bij de rwzi Amsterdam-Oost, Rapport 95-11
- [5] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan lucht- en stoomstripinstallaties bij de rwzi Utrecht, Rapport 95-12
- [6] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan het MAP/CAFR-proces bij rwzi Utrecht, Rapport 95-13
- [7] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Afzetmogelijkheden voor de reststoffen van stripper- en MAP-proces, Rapport 95-14
- [8] STOWA (1995), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Praktijkonderzoek aan de membraanbioreactor bij het slibverwerkingsbedrijf Sluisjesdijk, Rapport 95-15
- [9] STOWA (1996), Behandeling van stikstofrijke retourstromen op rioolwaterzuiveringsinrichtingen; Enkelvoudig reactorsysteem voor ammoniumverwijdering via nitriet, Rapport 96-01
- [10] STOWA (1996), ANAMMOX, Rapport 96-21
- [11] STOWA (2000), Het gecombineerde SHARON/ANAMMOX-proces. Een duurzame methode voor N-verwijdering uit slibgistingswater, Rapport 00-25
- [12] STOWA (2002), De BABE-technologie. BABE combineert rejectiewaterbehandeling met de enting van nitrificerende organismen, Rapport 02-42
- [13] Wiesman, U. (1994) Biological nitrogen removal from wastewater. *Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology* Ed: Fiechter, A. Vol 51 pp 113-154.
- [14] STOWA (2003), Vergaande voorzuivering van afvalwater, STOWA, Rapport 03-20
- [15] STOWA (1993), Handboek stikstofverwijdering, Programma PN-1992, Rapport 93-07
- [16] Mulder, J.W., M.C.M. van Loosdrecht, C. Hellinga. R. van Kempen (2001), Full-scale application of the SHARON process for treatment of rejection water of digested sludge dewatering, *Water Science and Technology*: Vol 43 No 11 pp 127-134 © IWA Publishing 2001
- [17] Kempen, R. van, J.W. Mulder, C.A. Uijterlinde and M.C.M. Loosdrecht (2001), Overview; full scale experience of the SHARON process for treatment of rejection water of digested sludge dewatering, *Water Science and Technology*: Vol 44 No 1 pp 145-152 © IWA Publishing 2001

- [18] STOWA (2001) Fysisch/chemische voorzuivering van afvalwater. Onderzoek naar fysisch-chemische voorzuiveringstechnieken. Rapport 2001-07.
- [19] Jongbloed A. (2001), De optimalisatiemogelijkheden van een ondergrondse zuivering, afstudeerverslag Noordelijke Hogeschool Leeuwarden en ZHEW, 24 april 2001
- [20] Mulder J.W. (2001), Resultaten effluentrecirculatie awzi Dokhaven, ZHEW, 5 september 2001
- [21] STOWA (1997), Optimalisatie van de stikstofverwijdering in de waterlijn van de rwzi Utrecht; Regeling van de interne recirculatie, STOWA, Rapport 97-w05
- [22] Product informatie enpar, <http://www.enpar-tech.com/Technologies.htm>
- [23] Jetten, M.S.M. et al (2002), Improved nitrogen removal by application of new nitrogen-cycle bacteria, *Environmental Science & Bio/Technology* 1: 51-63, 2002-11-15, 2002
- [24] Seyfried, C.F.; K. H. Rosenwinkel, A. Hippen (2002), Deammonification: a cost-effective treatment process for nitrogen-rich wastewaters, Institute for Water Quality and Waste Management, University of Hannover
- [25] Siegrist, H., S. Reithaar, P. Lais (1998), Nitrogen loss in a nitrifying rotating contactor treating ammonium rich leachate without organic carbon, *Water Science and Technology*, Vol 37 No 4-5 pp 589-591, 1998
- [26] Kuai, L. and W. Verstraete (1998), Ammonium removal by the Oxygen-Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification System, *Applied and Environmental Microbiology*, p. 4500-4506, 1998.
- [27] Novak, L. and D. Havlíková (2003), Performance intensification of Prague wastewater treatment plant, 9th IWA Specialised Conference Prague 2003, Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment plants, Conference proceedings full papers, p. 219-226, 2003.
- [28] Bejvl, Z., P. Matuška, J. Stara, and P. Chudoba (2003), Performances of three R-AN-D-N Wastewater treatment plants in the Czech republic, 9th IWA Specialised Conference Prague 2003, Design, Operation and Economics of Large Wastewater Treatment plants, Conference proceedings full papers, p. 343-349, 2003.
- [29] ATEMIS (1999), Aachener Tagung Stikstoffrückbelastung, Stand der Technik 1999.
- [30] Thöle, Cornelius und Krause, Grosstechnische Versuche zur Prozesswasserbehandlung mit dem Kaldnes-Verfahren auf der Kläranlage Hattingen, Aachener Tagung Stikstoffrückbelastung, Erfahrungen und Perspektiven der separaten Behandlung von Prozesswasser aus der Schlammwässerung, Stand der Technik 2003, Fachbeitrag Nr. 11, 2003.
- [31] Strous, M. (2000), Microbiology of anaerobic ammonium oxidation, Proefschrift, Technische Universiteit Delft, 2000.
- [32] Fux C, Boehler M, Huber P, Brunner I, Siegrist HR (2002) Biological treatment of ammonium-rich wastewater by partial nitrification and subsequent anaerobic ammonium oxidation (anammox) in a pilot plant, *J Biotechnol* 99 (3): 295-306
- [33] Sliekers AO, Derwort N, Campos L, Kuenen JG, Strous M, Jetten MSM (2002) Completely autotrophic ammonia removal over nitrite in a single reactor system. *Water Res* 36: 2475-2482
- [34] Sliekers AO, Third K, Abma W, Kuenen JG, Jetten MSM (2003) CANON and Anammox in a gas-lift reactor. *FEMS Microbiol. Lett.* 218: 339-344

BIJLAGEN

BIJLAGE 1

REJECTIEWATERBEHANDELINGSTECHNIEKEN

STRIPPEN

Ammoniakstrippen [4] [5]

Een groot deel van de stikstof in de te behandelen retourstroom is in de vorm van ammonium aanwezig. Door de pH van de vloeistof te verhogen verschuift het dissociatie –evenwicht van ammonium/ammoniak naar de ammoniak zijde. Ammoniak is een in water goed oplosbaar gas en in deze vorm stripbaar. Hiervoor wordt de waterstroom in contact gebracht met een gasfase. De gasfase is arm aan ammoniak, waardoor ten gevolge van het concentratieverschil ammoniakoverdracht naar de gasfase optreedt.

Een gebruikelijke uitvoeringsvorm van het stripproces is een striptoren. Hierin wordt water in tegenstroom in contact gebracht met de gasfase. Om het uitwisselende oppervlak te vergroten is in de striptoren een pakking aangebracht. Bij het stripproces wordt onderscheid gemaakt tussen stoomstrippen en luchtstrippen. Het voornaamste verschil tussen de genoemde twee typen stripprocessen bestaat uit de nabehandeling van de ammoniakrijke gasfase. Bij luchtstrippen bestaat deze meestal uit het wassen van een zuur, waarbij het ammoniumzout ontstaat. Ook is het mogelijk om de ammoniakhoudende lucht (katalytisch) te verbranden, zodat geen reststoffen ontstaan. Bij stoomstrippen wordt de ammoniakrijke stoom gecondenseerd, waarna deze stroom door reflux in een rectificeerkolom wordt geconcentreerd.

PRECIPITATIE

MAP/CAFR-proces [6] [7]

Het MAP-proces is gebaseerd op de vorming van onoplosbaar magnesiumammoniumfosfaat (MAP). Aan het te behandelen ammoniumrijke water worden magnesium en fosfaat toegevoegd, waarna de juiste pH wordt ingesteld. Omdat het oplosbaarheidproduct van MAP wordt overschreden, slaat deze verbinding neer in de vorm van kristallen. De gevormde kristallen worden vervolgens door bezinking afgescheiden.

Een uitbreiding van het MAP-proces is het CAFR-proces (Chemisch Ammonium Fallung und Rezyklierung). Hierin wordt een gedeelte van het magnesiumammoniumfosfaat opgewerkt tot voor het MAP-proces herbruikbare chemicaliën. In de opwerkingsstap wordt het gevormde MAP verwarmd, waardoor het ontleedt in magnesiumhydrofosfaat en ammonium. Door de pH te verhogen kan het ammonium als ammoniak worden gestript. De hierbij gevormde ammoniakrijke damp kan door wassing met zuur als ammoniumzout of door condensatie en concentratie als ammoniakale oplossing worden vastgelegd. Het magnesiumhydrofosfaat kan opnieuw worden gebruikt voor de vorming van MAP. Er is dus sprake van een recirculatie van magnesium en fosfaat. Aan deze recirculatie zijn grenzen vanwege ophoping van verontreinigingen in het MAP-slib. Een deel van het geproduceerde MAP-slib moet daarom worden gespuid en magnesium en fosfaat worden gesuppleerd.

IONWISSELING/ELEKTROCHEMISCH

Ammel-systeem [22]

Het Ammel-systeem is gepatenteerd door Enpar Technology, Canada. Bij dit proces wordt ammonium in eerste instantie verwijderd met behulp van een ionenwisselaar. Wanneer de ionenwisselaar is verzadigd, wordt deze geregenereerd. In de volgende stap wordt het gestripte ammonium van de ionenwisselaar met een elektrochemisch proces omgezet in elementair stikstofgas.

STIKSTOFVERWIJDERING VIA NITRAATROUTE MET KOOLSTOFBRON

Airlift-reactor [3]

De driefasen airliftreactor is een compact biologisch afvalwaterzuiveringssysteem, waarin de biomassa aan dragermateriaal is gehecht. Hierdoor is het mogelijk om hoge biomassa-concentraties in de reactor te handhaven. De airliftreactor is een gefluidiseerd bedstelsel, waarbij zowel lucht als water onder in de reactor worden gebracht.

MembraanBioReactor [2] [8]

De MembraanBioReactor (MBR) is een compact afvalwaterzuiveringssysteem, waarin biologische zuiveringsprocessen zijn gecombineerd met biomassa-retentie met behulp van membraanfilters. Dit biedt de mogelijkheid om hoge biomassaconcentraties te behouden.

BABE [12] en Regeneration [27] [28]

Zowel bij BABE (Bio Augmentation Batch Enhanced) als het regeneratieproces wordt het rejectiewater voorafgaand aan de waterlijn in contact gebracht met retourslib. Bij BABE wordt hiervoor slechts een deel van het retourslib gebruikt waardoor in de deelstroomzuivering een circa twee keer hogere temperatuur wordt gehandhaafd dan in de waterlijn. BABE wordt vergelijkbaar met een SBR bedreven, terwijl het regeneratieproces een continu proces is. Bij beide processen wordt via conventionele nitrificatie en denitrificatie stikstof verwijderd.

Omdat de waterlijn direct is gekoppeld aan de deelstroombehandeling wordt de slibleeftijd van de waterlijn verlengd door het extra beluchtingsvolume. Daarnaast neemt de slibleeftijd toe doordat de overall slibbelasting wordt verlaagd. In het deelstroomsysteem neemt het aandeel nitrificerende bacteriën toe en het aandeel heterotrofe biomassa af. De toename van de slibleeftijd is afhankelijk van het volume van het deelstroomsysteem en de mate waarin het retourslib wordt gemineraliseerd door denitrificatie en aërobe oxidatie. Voor BABE geldt dat bij relatief laagbelaste actiefslibsystemen dosering van een C-bron nodig is of natronloog wordt gedoseerd ter compensatie van het verzurende nitrificatieproces. Afhankelijk van de slibbelasting en de kritische temperatuur is de verandering van de slibleeftijd relevant voor verbetering van de effluentkwaliteit.

SBR [29]

In een Sequencing Batch Reactor (SBR) wordt stikstof verwijderd met slibretentie, waarbij de fasen in het zuiveringsproces elkaar opvolgen in de tijd. Per cyclus vindt achtereenvolgens voeding, denitrificatie, nitrificatie, bezinking en aflat plaats. Vanwege slibretentie is het systeem afhankelijk van het gehalte aan onopgeloste bestanddelen en de slibbezinkings-eigenschappen.

STIKSTOFVERWIJDERING VIA NITRIETROUTE MET KOOLSTOFBRON

SHARON [9]

Het SHARON-systeem is een biologisch proces gebaseerd op het chemostaatprincipe. Dit houdt in dat de groeisnelheid van de bacteriën in het systeem gelijk is aan de hydraulische (aërobe/anoxische) hydraulische verblijftijd in het systeem. Hierdoor kan slibretentie achterwege blijven. Vanwege het ontbreken van slibretentie volstaat een zeer eenvoudige systeemconfiguratie.

Bij een hoge temperatuur en een korte hydraulische verblijftijd blijkt het nitrificatieproces te kunnen worden beperkt tot nitriet (Nitrosomonas), doordat de groeisnelheid van Nitrobacter onder deze omstandigheden te laag is om zich te handhaven in het systeem. Omdat Nitrobacter zich niet kan handhaven in het systeem wordt geen nitraat gevormd. Dit levert exploitatievoordelen op, omdat het zuurstofverbruik (25%) en het C-bronverbruik (40%) via deze zogenaamde nitrietroute lager liggen dan via de nitraatroute. Daardoor wordt 30% minder slib geproduceerd en 20% minder CO₂ geëmitteerd.

STIKSTOFVERWIJDERING VIA NITRIETROUTE ZONDER KOOLSTOFBRON

SHARON-ANAMMOX [10] [11] [33]

ANAMMOX is een biologisch proces voor de verwijdering van ammonium uit afvalwater, waarbij onder anaërobe omstandigheden ammonium samen met nitriet wordt omgezet in stikstofgas. Het ANAMMOX-proces is autotroof, zodat ammonium zonder toevoeging van een koolstofbron omgezet in stikstofgas. Het influent van ANAMMOX waarin nitriet en ammonium in een verhouding van 1,3:1 mol/mol voorkomen kan worden verkregen met SHARON. Hiertoe wordt de SHARON bedreven zonder denitrificatie – dus zonder dosering van een externe koolstofbron.

CANON [23] [31] [33] [34], Deammonification [24] [25] [28] en OLAND [26]

Het CANON-proces staat voor 'Completely Autotrophic Nitrogen removal Over Nitrite'. De principes en de voordelen van het CANON-proces komen overeen met SHARON-ANAMMOX. Het CANON proces combineert de twee stappen van het SHARON- en het ANAMMOX-proces in één reactor. De functionaliteit en beheersbaarheid van CANON is afhankelijk van de schaalgrootte van de deelstroomzuivering. Op laboratoriumschaal is CANON stabiel bedreven. Op praktijkschaal zijn geen referenties bekend. Op buitenlandse universiteiten (Hannover en Gent) en instellingen worden gelijksoortige onderzoeken uitgevoerd, echter onder een andere naam. Bij onderzoeken in Hannover wordt veelal gebruik gemaakt van zuurstof gelimiteerde biofilmsystemen. Uit praktijkevaluaties blijkt dat bij verschillende soorten biofilmsystemen (onbewust) nitriet wordt geproduceerd waarna deze wordt omgezet met behulp van ammonium tot stikstofgas. Op de Universiteit van Gent is het 'Oxygen Limited Autotrophic Nitrification-Denitrification' proces (OLAND) in ontwikkeling. Dit proces is vergelijkbaar met CANON, alleen wordt hierbij normaal nitrificerend slib als biokatalysator gebruikt voor de verwijdering van stikstof uit N-rijk afvalwater.

BIJLAGE 2

ENQUÊTEFORMULIER MARKTPOTENTIE

STOWA ENQÛETEFORMULIER MARKTPOTENTIE SHARON-ANAMMOX

TOELICHTING

Alleen gearceerde velden kunnen worden ingevuld.

WS/ZS/HHRS:

Ingevuld door:

naam:

tel.nr.:

e-mail adres:

INTRODUCTIE

Op RWZI's met een sliblijn komen rejectiewaterstromen met stikstof vrij. Met name de rejectiewaterstromen die vrijkomen bij uitgegist slibbehandeling bevatten hoge stikstofgehalten. In de meeste gevallen worden deze rejectiewaterstromen teruggevoerd naar

Lijst met mogelijke oorzaken voor het niet behalen van de benodigde effluent stikstofkwaliteit.

1. De aërobe sibleeftijd is te kort voor stabiele nitrificatie.
2. De stikstofbelasting is te hoog voor vergaande N-verwijdering.
3. De beluchtingscapaciteit is onvoldoende / krap waardoor onvoldoende nitrificatie optreedt.
4. De denitrificatiecapaciteit is beperkt door een BZV tekort.
5. Anders, namelijk.....(invullen in onderstaande tabel)

VRAGEN

Kunt u in de onderstaande tabel aangeven op welke RWZI's in uw werkgebied (centrale) slibontwatering en/of -slibdroging van (uitgegist) slib plaatsvindt?

RWZI	Vuilveracht	Vuilveracht	Influent-N vracht (kg N/d)	Slib ontwatering of droging [ontw of drog]	Ingaande slib		Ontwaterd c.q gedroogd slib (% DS)	Rejectiewater	
	(i.e.'s)	eenheid ¹⁾			(kg DS/d)	(% DS)		(m3/d)	(kg N/d)

1) als 50 g BZV, 54 g BZV, 136 g TZV of 180 g TZV.

RWZI (vervolg bovenstaande tabel)	Voldoet RWZI aan de effluent stikstofeis?	Indien nee, kunt u met behulp van één of meerdere nummers uit het lijstje boven deze tabellen aangeven wat de oorzaak is?	Indien ja, voldoet de RWZI in de (nabije) toekomst aan de effluent stikstofeis ²⁾	Indien nee, kunt u met behulp van één of meerdere nummers uit het lijstje boven deze tabellen aangeven wat de oorzaak is?	Is er ruimte voor uitbreiding op de RWZI? ³⁾
	[ja/nee]	[nummers of tekst in geval van antw. 5]	[ja/nee]	[nummers of tekst in geval van antw. 5]	[ja/nee]

2) door bijvoorbeeld verscherping van de effluent stikstofeis of verhoging van de RWZI belasting.

3) met name qua uitbreidingsmogelijkheden van de waterlijn.

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1. Innovativiteit | : toepassing van innovatieve technologieën: deelstroomtechnieken die niet of weinig zijn toegepast op een rwzi. |
| 2. Kostprijs per kg N verwijderd | : kapitaalslasten en exploitatiekosten per kg stikstof verwijderd in de deelstroombehandeling. |
| 3. Bedrijfszekerheid | : ten aanzien van storingsgevoeligheid en stabiliteit van een proces. |
| 4. Bedrijfsvoering | : van het proces ten aanzien van bedieningsgemak, procesbekendheid bij operators, flexibiliteit en complexiteit. |
| 5. Milieuvriendelijkheid | : ten aanzien van onder andere energieverbruik, chemicaliënverbruik en slib- en reststoffenproductie. |
| 6. Eenvoud van installaties | : ten aanzien van constructie, onderhoud en benodigde personeelsbezetting. |

Meeste waarde:

Minste waarde:

STOWA dankt u voor het invullen van de enquête. De resultaten zullen worden verwerkt in het STOWA rapport.
De enquête kunt u sturen naar:

Grontmij Nederland bv
T.a.v. C. ten Have
Postbus 203
3730 AE De Bilt

Mocht u de enquête digitaal hebben ingevuld, dan kunt u hem e-mailen naar: cheryl.tenhave@grontmij.nl

STOWA ENQUÊTEFORMULIER MARKTPOTENTIE SHARON-ANAMMOX

TOELICHTING

Alleen gearceerde velden kunnen worden ingevuld.

WS/ZS/HHRS:

Ingevuld door:

naam:

tel.nr.:

e-mail adres:

INTRODUCTIE

Op RWZI's met een sliblijn komen rejectiewaterstromen met stikstof vrij. Met name de rejectiewaterstromen die vrijkomen bij uitgestist slibbehandeling bevatten hoge stikstofgehalten. In de meeste gevallen worden deze rejectiewaterstromen teruggevoerd naar de waterlijn. De bijdrage van de rejectiewaterstromen op de totale stikstofvracht naar de waterlijn kan variëren van circa 5 tot 15%.

Het SHARON-ANAMMOX proces is zeer geschikt voor de behandeling van deze stikstofrijke rejectiewaterstromen. In het SHARON-proces wordt een deel van het ammonium genitrificeerd tot nitraat. Vervolgens wordt het gevormde nitraat met behulp van het resterende ammonium gedenitrificeerd tot stikstofgas. Met het SHARON-ANAMMOX-proces wordt, ten opzichte van zuivering in de waterlijn, energie bespaard (57% minder beluchting) en is geen koolstofbron nodig. Een ander voordeel van het SHARON-ANAMMOX-proces is een aanzienlijk minder ruimtebeslag dan de conventionele waterzuivering.

Wanneer de RWZI niet aan zijn effluent stikstof eis kan voldoen, kan het wellicht interessant zijn om het rejectiewater separaat te behandelen en zodoende de waterlijn te ontlasten. Middels de onderstaande vragentabel, wordt inzicht verkregen in de marktpotentie van SHARON-ANAMMOX.

Lijst met mogelijke oorzaken voor het niet behalen van de benodigde effluent stikstofkwaliteit.

1. De aërobe slijleeftijd is te kort voor stabiele nitrificatie.
2. De stikstofbelasting is te hoog voor vergaande N-verwijdering.
3. De beluchtingscapaciteit is onvoldoende / krap waardoor onvoldoende nitrificatie optreedt.
4. De denitrificatiecapaciteit is beperkt door een BZV tekort.
5. Anders, namelijk.....(invullen in onderstaande tabel)