

NEREDA®: SUCCESVOLLE NEDERLANDSE ONTWIKKELING VAN EEN DUURZAME EN KOSTENEFFECTIEVE ZUIVERINGSTECHNOLOGIE



RAPPORT

2016
27

NEREDA®: SUCCESVOLLE NEDERLANDSE
ONTWIKKELING VAN EEN DUURZAME EN
KOSTENEFFECTIEVE ZUIVERINGSTECHNOLOGIE

RAPPORT

2016

27

ISBN 978.90.5773.736.7



stowa@stowa.nl www.stowa.nl

TEL 033 460 32 00

Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort

POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op www.stowa.nl

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

Ir. H.F. van der Roest, Royal HaskoningDHV
Ir. A.G.N. van Bentem, Royal HaskoningDHV

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Ir. A. de Man, Waterschapsbedrijf Limburg
Ir. M. Eekhof, Waterschap Vechtstromen
Ir. P. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel
Ir. J. den Elzen, Hoogheemraadschap van Rijnland
Ir. W. Steensma, Waterschap Vallei en Veluwe
Dr. Ir. M. Pronk, TUDelft
Ir. C. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2016-27
ISBN 978.90.5773.736.7

COPYRIGHT Teksten en figuren uit dit rapport mogen alleen worden overgenomen met bronvermelding.

DISCLAIMER Deze uitgave is met de grootst mogelijke zorg samengesteld. Niettemin aanvaarden de auteurs en de uitgever geen enkele aansprakelijkheid voor mogelijke onjuistheden of eventuele gevolgen door toepassing van de inhoud van dit rapport.

TEN GELEIDE

De samenwerking binnen het ontwikkeltraject van de Nereda® technologie tot een duurzame en succesvolle techniek is een voorbeeld voor samenwerking binnen nieuwe innovatietrajecten.

In juni 2003 verscheen een eerste STOWA rapport over de aerobe korrelslibtechnologie. Daar waar destijds gesproken werd over “de potentie om een belangrijke bijdrage te kunnen leveren aan de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland” is ruim tien jaar later de succesvolle ontwikkeling van de Nereda® technologie een feit. De technologie onderscheidt zich van conventionele actiefslibsystemen door het gebruik van korrelslib, waardoor op een meer duurzame wijze een goede effluentkwaliteit tegen lagere kosten kan worden bereikt. In 2012 werd ’s werelds eerste Nereda® praktijkinstallatie door Prins Willem Alexander geopend en anno 2016 zijn bij zeven waterbeheerders in Nederland Nereda® installaties gerealiseerd of in aanbouw. Daarnaast wordt de technologie voor industriële afvalwaterzuivering toegepast en spreekt vooral de robuustheid van het systeem aan. Naar verwachting worden de komende jaren in het buitenland 20 tot 30 nieuwe installaties per jaar gerealiseerd en heeft opschaling plaatsgevonden voor capaciteiten tot 2,4 miljoen inwonerequivalenten.

De snelle uitrol van de technologie is mogelijk geworden door een samenwerkingsverband rondom het Nationaal Nereda® OnderzoeksProgramma (NNOP) tussen STOWA, TUDelft, Royal HaskoningDHV en zeven Nederlandse waterbeheerders. Ook de ondersteuning van de Stichting Toegepast Wetenschappelijk onderzoek (STW) en de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) was hierbij onontbeerlijk. Om de doelstelling “een volwassen en duurzaam alternatief voor conventionele actiefslibsystemen” te kunnen bereiken, moesten binnen dit samenwerkingsverband nieuwe wegen worden gevonden. Naast de vele uitdagingen op technologisch vlak waren partijen ook gedwongen om nieuwe vormen van samenwerking te ontdekken. Deze ontdekkingstocht en de resultaten daarvan kunnen als voorbeeld dienen voor nieuwe innovatieve trajecten. Het is mede daarom dat het voorliggend STOWA rapport ingaat op de ontwikkeling van de Nereda® technologie vanaf 2003 tot heden. Het beschrijft tevens de praktijkervaringen en onderzoeksresultaten van alle in bedrijf zijnde Nederlandse communale Nereda® installaties.

Ofschoon met het verschijnen van dit STOWA rapport het NNOP samenwerkingsverband is beëindigd, zijn voor de uitrol van de Nereda® technologie nieuwe samenwerkingen gesloten. De Nederlandse waterbeheerders zijn via de UvW actief betrokken bij de opstart van Nereda® installaties in het buitenland. Om de praktijkkennis te delen en up to date te houden is sinds 2013 een Nereda® gebruikersplatform actief. Met Wateropleidingen worden via de Global Water Academy (internationale) operators, technologen en ontwerpers opgeleid. Een succesvolle uitrol van de technologie in het buitenland garandeert via het “revolving fund” dat een deel van de royalty’s terugvloeit naar fundamenteel (NWO) en applicatieonderzoek (STOWA).

Een nieuwe uitdagende opgave ligt voor aan de Nederlandse watersector om het gedachtengoed rondom de Energie en Grondstoffenfabriek concreet te maken. In het kader hiervan wordt onder coördinatie van de STOWA binnen het Nationaal Alginaat OnderzoeksProgramma (NAOP) door STOWA, TU Delft, Royal HaskoningDHV, Waterschap Vallei & Veluwe en Waterschap Rijn en IJssel gewerkt aan de verwaarding van neo-alginaat, een grondstof

die wordt onttrokken aan Nereda® korrelslib. Door deze ontwikkeling zal de Nederlandse watersector wereldwijd haar koploperspositie op het gebied van waterbeheer verder kunnen versterken.

Amersfoort,

De directeur van de STOWA

Ir. J.J. Buntsma

SAMENVATTING

In de periode van 2003 tot 2016 is de Nederlandse watersector erin geslaagd om een duurzame en kosteneffectieve afvalwaterzuiveringstechnologie te ontwikkelen. In vergelijking met het wereldwijd toegepaste Conventioneel Actief Slibstelsysteem (CAS) kan met de Nereda® technologie een goede effluentkwaliteit worden bereikt tegen lagere investeringen en operationele kosten. Bovendien ligt het energie, grondstoffen- en ruimtegebruik significant lager.

In een uniek samenwerkingsverband tussen STOWA, TUDelft, Royal HaskoningDHV en zeven Nederlandse waterbeheerders is met ondersteuning van de Stichting Toegepast Wetenschappelijk onderzoek (STW) en de Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) het Nationaal Nereda® Onderzoeks Programma (NNOP) uitgevoerd. De op korrelslib gebaseerde Nereda® technologie is hierbij van een eerste pilotinstallatie succesvol tot brede praktijktoepassing gebracht. Door de gelijktijdige uitvoering van fundamenteel en applicatie onderzoek, en de toepassing van de Nereda® technologie op praktijkschaal is de ontwikkeling in relatief korte tijd tot stand gebracht. De STOWA heeft de resultaten van de verschillende fasen van de ontwikkeling in onderstaande rapporten op schrift gesteld.

STOWA rapport 2010-29	Nereda® pilotonderzoeken 2003 - 2010
STOWA werkrapport 2011-W-08	Toepassingsmogelijkheden en ontwerpgrondslagen Nereda® technologie
STOWA rapport 2013-29	Nereda® praktijkonderzoeken 2010 - 2012

Het voorliggend rapport beschrijft de ontwikkeling van de Nereda® technologie vanaf 2003 tot heden. Daarbij is de inhoud van de hiervoor genoemde STOWA rapporten samengevat, aangevuld met de praktijkervaringen en onderzoeksresultaten van alle, anno 2015 in bedrijf zijnde Nederlandse communale Nereda® installaties. Het is daarmee een op zichzelf staand rapport waarbij verdergaande of gedetailleerde informatie in de andere STOWA rapporten is te lezen.

In het SOON traject (acroniem voor Samenwerking Optimalisatie Opstart Nereda® installaties) is in samenwerking tussen Royal HaskoningDHV, TUDelft en de Nederlandse waterbeheerders de Nereda® technologie verder geoptimaliseerd. Door de gezamenlijke uitvoering van applicatie onderzoek en koppeling aan praktijkervaringen zijn hierin grote stappen gemaakt. De optimalisatie is dan ook goed waarneembaar door de diverse ontwerpen in de tijd te plaatsen. Daar waar de eerste praktijkinstallaties nog met relatief grote “veiligheidsmarges” worden ontworpen, kan anno 2016 in een significant kleiner volume een betere performance worden bereikt. Verder zijn in het SOON traject ook op operationeel vlak belangrijke stappen gezet en heeft het bijeen brengen van theorie en praktijkkennis zijn vruchten afgeworpen. Het enthousiasme van de SOON-deelnemers heeft ertoe geleid dat inmiddels ook toekomstige ontwikkelingen gezamenlijk vorm worden gegeven.

Binnen het kader van toekomstige ontwikkelingen wordt via het Nationaal Alginaat Onderzoeks Programma (NAOP) door STOWA, Royal HaskoningDHV, TUDelft, Waterschap Rijn & IJssel en Waterschap Vallei & Veluwe gewerkt aan de ontwikkeling en realisatie van twee Alginaat Extractie Installaties (AEI). Hiermee wordt beoogd om uit het Nereda® korrelslib op alginaat lijkende biopolymeren te extraheren en in overleg met marktpartijen te komen tot toepassing en duurzame afzet van de inmiddels tot *neo-alginaat* omgedoopte biopolymeren.

Met deze ontwikkeling wordt verder vorm gegeven aan het waardevolle gedachtegoed van de “energie- en grondstoffenfabriek”. Daarnaast zal een dergelijke ontwikkeling het imago en de concurrentiekracht van de Nereda® technologie in het buitenland verder versterken.

De Nereda® technologie wordt thans door Royal HaskoningDHV samen met Nereda® partners in het buitenland uitgerold. Dat wil niet zeggen dat de rol van de Nederlandse watersector is uitgespeeld, integendeel. Met de Unie van Waterschappen zijn afspraken gemaakt om samen met de Nederlandse waterbeheerders nieuwe installaties in het buitenland op te starten. Samen met Wateropleidingen wordt in de Global Water Academy vorm gegeven aan de noodzakelijke educatie van (internationale) operators, technologen en ontwerpers. Niet in de laatste plaats zijn met STW en STOWA afspraken gemaakt over het zogenaamde “revolving fund”. Hiermee heeft Royal HaskoningDHV zich verplicht om aan genoemde partijen een deel van haar licentie-inkomsten afkomstig uit het buitenland af te staan, zodat toekomstig wetenschappelijk en toegepast onderzoek vorm kan worden gegeven.

Anno 2016 kan gesproken worden van een succesvolle uitrol van de Nereda® technologie. Inmiddels zijn al ruim 30 praktijkinstallaties gerealiseerd of in het stadium van ontwerp of bouw. De in bedrijf genomen installaties hebben een schaalgrootte bereikt van 2,4 miljoen vervuilingseenheden (v.e.) en voldoen alle (ruimschoots) aan de gestelde garantie eisen. Op basis van prognoses wordt verwacht dat samen met Nereda® partners in het buitenland vanaf 2017 per jaar 20 - 30 nieuwe installaties zullen worden gerealiseerd. Ook in Nederland zijn bij het verschijnen van deze STOWA rapportage al 6 huishoudelijke praktijkinstallaties in bedrijf, terwijl installaties tot een grootte van 430.000 v.e. in de ontwerp of realisatiefase zijn. In de aangegeven aantallen zijn de vele pilotinstallaties niet meegerekend.

Met dit resultaat zijn de doelstellingen die tijdens de start van het NNOP samenwerkingsverband in 2007 zijn geformuleerd meer dan bereikt. Zo is achtereenvolgens de haalbaarheid van de Nereda® technologie op praktijkschaal aangetoond, heeft de verdere ontwikkeling en opschaling binnen de Nederlandse context daadwerkelijk plaats gevonden en zijn diverse uitvoeringsvormen gerealiseerd. Daarnaast is een langjarige stabiele en flexibele bedrijfsvoering aangetoond en is een vergaande optimalisatie van de procesvoering bereikt, waarin de resultaten van voorbehandeling, nabehandeling en slibverwerking zijn vastgesteld. Tenslotte zijn verschillende ontwerpen en de noodzaak tot reservestelling geëvalueerd en is op alle relevante aspecten de Nereda® technologie met het conventionele actief slibproces vergeleken.

Met het bereiken van de genoemde doelstellingen is de verdere ontwikkeling van de Nereda® technologie nog niet ten einde, maar heeft het NNOP-samenwerkingsverband haar doel bereikt om “de Nereda® technologie verder te ontwikkelen tot een duurzaam alternatief voor actief slib systemen”. De Nederlandse watersector heeft hiermee haar wereldwijd (h)erkende imago als koploper op het gebied van waterbeheer opnieuw geëtaleerd. Het is niet voor niets dat aan Nereda® in 2005 de eerste Vernufteling prijs is toegekend en dat er sindsdien circa 20 andere (inter-)nationale prijzen volgden tot de in 2016 toegekende Green Technology Award in Ierland. Op deze prestigieuze prijzenregen mag de Nederlandse watersector terecht trots zijn.

DE STOWA IN HET KORT

STOWA is het kenniscentrum van de regionale waterbeheerders (veelal de waterschappen) in Nederland. STOWA ontwikkelt, vergaart, verspreidt en implementeert toegepaste kennis die de waterbeheerders nodig hebben om de opgaven waar zij in hun werk voor staan, goed uit te voeren. Deze kennis kan liggen op toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk-juridisch of sociaalwetenschappelijk gebied.

STOWA werkt in hoge mate vraaggestuurd. We inventariseren nauwgezet welke kennisvragen waterschappen hebben en zetten die vragen uit bij de juiste kennisleveranciers. Het initiatief daarvoor ligt veelal bij de kennisvragende waterbeheerders, maar soms ook bij kennisinstellingen en het bedrijfsleven. Dit tweerichtingsverkeer stimuleert vernieuwing en innovatie.

Vraaggestuurd werken betekent ook dat we zelf voortdurend op zoek zijn naar de 'kennisvragen van morgen' – de vragen die we graag op de agenda zetten nog voordat iemand ze gesteld heeft – om optimaal voorbereid te zijn op de toekomst.

STOWA ontzorgt de waterbeheerders. Wij nemen de aanbesteding en begeleiding van de gezamenlijke kennisprojecten op ons. Wij zorgen ervoor dat waterbeheerders verbonden blijven met deze projecten en er ook 'eigenaar' van zijn. Dit om te waarborgen dat de juiste kennisvragen worden beantwoord. De projecten worden begeleid door commissies waar regionale waterbeheerders zelf deel van uitmaken. De grote onderzoekslijnen worden per werkveld uitgezet en verantwoord door speciale programmacommissies. Ook hierin hebben de regionale waterbeheerders zitting.

STOWA verbindt niet alleen kennisvragers en kennisleveranciers, maar ook de regionale waterbeheerders onderling. Door de samenwerking van de waterbeheerders binnen STOWA zijn zij samen verantwoordelijk voor de programmering, zetten zij gezamenlijk de koers uit, worden meerdere waterschappen bij één en het zelfde onderzoek betrokken en komen de resultaten sneller ten goede van alle waterschappen.

De grondbeginselen van STOWA zijn verwoord in onze missie:

Het samen met regionale waterbeheerders definiëren van hun kennisbehoeften op het gebied van het waterbeheer en het voor én met deze beheerders (laten) ontwikkelen, bijeenbrengen, beschikbaar maken, delen, verankeren en implementeren van de benodigde kennis.

SUMMARY

From 2003 to 2016 the Dutch water sector managed to develop a sustainable and cost-effective wastewater treatment technology. Compared to the globally applied Conventional Activated Sludge system (CAS), Nereda® technology is able to achieve good effluent quality, but with lower investment and operational costs. Moreover, the use of energy, raw materials and space are significantly reduced.

A unique partnership was formed between STOWA (the Foundation for Applied Water Research), Delft University of Technology, Royal HaskoningDHV and seven Dutch water authorities, together with the support of the Technology Foundation STW and the Netherlands Enterprise Agency (RVO), to carry out the National Nereda® Research Program (NNOP). This granular sludge-based Nereda® technology has, in this way, been successfully developed from pilot-scale to widespread practical application. Due to the simultaneous execution of fundamental and applied research, and the application of the Nereda® technology on a practical scale, the development has been accomplished in a relatively short period of time. STOWA has compiled the results of the different developmental phases in the following reports:

STOWA report 2010-29	Nereda® Pilot Research 2003-2010
STOWA work report 2011-W-08	Application and Design Principles of Nereda® technology
STOWA report 2013-29	Nereda® Practical Research 2010 - 2012

The current report describes the development of the Nereda® technology from 2003 to present. The content of the aforementioned STOWA reports are hereby summarized and contain the practical experience and research of all the Dutch municipal Nereda® installations in operation in 2015. It is thus a self-contained report; more extensive or detailed information can be found in the other STOWA reports.

During the SOON (Cooperation Optimization Startup Nereda® facilities) process, in partnership with Royal HaskoningDHV, Delft University of Technology and the Dutch water authorities, further optimization of the Nereda® technology occurred. Great strides were made due to the joint implementation of research and application, linking practical experience. The optimization is visible due to the development of the designs over time. The first installations were designed with a relatively large “safety margin”, however a better performance can be achieved in 2016 with significantly smaller volumes. Furthermore, important steps were made at the operational level, bearing the fruits of combined theoretical and practical knowledge. The enthusiasm of the SOON participants has, in the meantime, led to the joint undertaking of future developments.

Within the framework of future developments via the National Alginate Research Program (NAOP), STOWA, Royal HaskoningDHV, Delft University of Technology and the water authorities Rijn & IJssel and Vallei & Veluwe are working together to develop and realize two Alginate Extraction Installations (AEI). The goal here is to extract alginate-like biopolymers from Nereda® granular sludge and in consultation with market participants, to find applications and sustainable uses for the now named “neo-alginate” biopolymer. With this development, further shape will be given to the valuable notions of the “Energy & Resource Factory”. In addition, such a development will enhance the image and competitiveness of the Nereda® technology abroad.

The Nereda® technology is currently being rolled out abroad by Royal HaskoningDHV together with Nereda® partners. This however does not make the role of the Dutch water sector any less; agreements have been made with the Water Authorities Association to jointly start up new plants abroad. Together with the Dutch training institute Wateropleidingen the World Water Academy will give the necessary training to (international) operators, technology specialists and designers. Arrangements have also been made with STW and STOWA on the so-called “revolving fund”. This venture ensures that Royal HaskoningDHV is committed to giving part of its licensing revenues, derived from abroad, to the aforementioned parties, for future scientific and applied research.

In 2016 a successful rollout of the Nereda® technology has already been seen. More than 30 installations have either already been realized or are currently in design or under construction. The operating plants have reached a scale of 2.4 million population equivalents (p.e.) and fulfill all the requirements (and more) according to the specified guaranty.

Based on the prognoses, it is expected that from 2017 onwards 20-30 new plants will be realized per year, together with Nereda® partners abroad. In the Netherlands, six domestic practice facilities are already operational, while installations reaching a size of 430,000 p.e. are also in design or under construction. The many pilot installations are not included in these numbers.

With this result, the objectives formulated during the start of the NNOP partnership in 2007 have been surpassed. Thus, the feasibility of Nereda® technology on a practical scale has been successively demonstrated, the further development and scale-up in the Dutch context has occurred and has been realized in various configurations. In addition, a long-term stable and flexible operation has been demonstrated, and extensive process optimization has been reached, which establishes the results of pretreatment, post-treatment and sludge processing. Lastly, various designs have been evaluated and with regards to all relevant aspects, the Nereda® technology is compared to the conventional activated sludge process.

The goal “to develop the Nereda® technology as a sustainable alternative to activated sludge systems” has been achieved for the NNOP partnership, but this is by no means the end of further developments for the Nereda® technology. The Dutch water sector continues to showcase its globally recognized image as a leader in the field of water management. It is therefore no coincidence that, in 2005, the first *Vernufteling* prize was awarded to Nereda®. Since then some 20 other (inter) national prizes have followed suit, with the most recent being the Green Technology Award presented in Ireland in 2016. The Dutch water sector can be rightly proud of this avalanche of prestigious prizes.

DE STOWA IN BRIEF

The Foundation for Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are all ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater treatment installations and dam inspectors.

The water controllers avail themselves of STOWA's facilities for the realisation of all kinds of applied technological, scientific, administrative legal and social scientific research activities that may be of communal importance. Research programmes are developed based on requirement reports generated by the institute's participants. Research suggestions proposed by third parties such as knowledge institutes and consultants, are more than welcome. After having received such suggestions STOWA then consults its participants in order to verify the need for such proposed research.

STOWA does not conduct any research itself, instead it commissions specialised bodies to do the required research. All the studies are supervised by supervisory boards composed of staff from the various participating organisations and, where necessary, experts are brought in.

The money required for research, development, information and other services is raised by the various participating parties. At the moment, this amounts to an annual budget of some 6,5 million euro.

For telephone contact number is: +31 (0)33 - 460 32 00.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 2180, 3800 CD Amersfoort.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

NEREDA®: SUCCESVOLLE NEDERLANDSE ONTWIKKELING VAN EEN DUURZAME EN KOSTENEFFECTIEVE ZUIVERINGSTECHNOLOGIE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	DE STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	DE STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
1.1	Kader	1
1.2	Opzet en doelstellingen	3
1.3	Leeswijzer	5
2	NEREDA®	6
2.1	Korrelvorming	6
2.2	Kenmerken Nereda® technologie	7
2.4	Opschaling van laboratorium naar praktijk	9
2.4	Procesconfiguraties & ontwerpparameters	12
	2.4.1 Procesconfiguraties	12
	2.4.2 Ontwerpparameters	14
2.5	Proces- en bedrijfsvoering	16
2.6	Stand van zaken anno 2016	23
2.7	Conclusies	25

3	NEREDA® INSTALLATIES	28
3.1	Inleiding	28
3.2	RWZI Epe	29
3.2.1	Ontwerp en dimensionering	29
3.2.2	Onderzoek en ontwikkeling	30
3.2.3	Resultaten	31
3.3	RWZI Garmerwolde	33
3.3.1	Ontwerp en dimensionering	33
3.3.2	Onderzoek en ontwikkeling	35
3.3.3	Resultaten	36
3.4	RWZI Utrecht	40
3.4.1	Ontwerp en dimensionering	40
3.4.2	Onderzoek en ontwikkeling	41
3.4.3	Resultaten	41
3.5	RWZI Vroomshoop	43
3.5.1	Ontwerp en dimensionering	43
3.5.2	Onderzoek en ontwikkeling	45
3.5.3	Resultaten	45
3.6	RWZI Dinxperlo	48
3.6.1	Ontwerp en dimensionering	48
3.6.2	Onderzoek en ontwikkeling	50
3.6.3	Resultaten	50
3.7	Conclusies	53
4	NEREDA® THEMA'S	54
4.1	Inleiding	54
4.2	Korrelvorming en in standhouding	54
4.2.1	Inleiding	54
4.2.2	Opstart en korrelvorming	54
4.2.3	Slibspui	56
4.2.4	Evaluatie	58
4.3	Effluentkwaliteit	59
4.3.1	Overzicht	59
4.3.2	First flush	59
4.3.3	Nabehandeling en metaalzoutdosering	60
4.4	Zwevendstof	61
4.4.1	Inleiding	61
4.4.2	Dynamiek	61
4.4.3	Analyse	62
4.4.4	Optimalisatiemogelijkheden	63
4.4.5	Hybride reactor	65
4.4.6	Ervaringen in het buitenland	67
4.5	Stikstofverwijdering	67
4.5.1	Inleiding	67
4.5.2	Biofilm	67
4.5.3	Simultane denitrificatie	69
4.6	Fosfaatverwijdering	70
4.6.1	Inleiding	70
4.6.2	Biologische fosfaatverwijdering	70
4.6.3	Onderzoek rwzi Dinxperlo	72
4.6.4	Conclusies	76

4.7	Energieverbruik	76
4.7.1	Overzicht	76
4.7.2	Mengers rwzi Epe	78
4.8	Conclusies	78
5	NEREDA® EN ACTIEFSLIB	79
5.1	Inleiding	79
5.2	Effluentkwaliteit	79
5.3	Beheersaspecten	81
5.3.1	Inleiding	81
5.3.2	Proces- en bedrijfsvoering	81
5.3.3	Robuustheid	82
5.3.4	Opstart	82
5.4	Duurzaamheid (energie, ruimte en chemicaliën)	83
5.4.1	Energie	83
5.4.2	Chemicaliën	85
5.4.3	Ruimte	86
5.5	Slibproductie en -verwerking	88
5.6	Conclusies	90
6	DOORKIJK NAAR DE TOEKOMST	92
6.1	Inleiding	92
6.2	Ontwikkelingen	92
6.3	Neo-alginaat	94
7	REFERENTIES	95
	BIJLAGE1 1	
	Ontwerpberekeningen (Nereda®, CAS en hybride)	96

1

INLEIDING

1.1 KADER

Voor de zuivering van afvalwater wordt wereldwijd het biologisch actiefslib proces toegepast vanwege goede zuiveringsprestaties en een hoge mate van operationele flexibiliteit. Actiefslib heeft echter minder goede bezinkeigenschappen, waardoor de installaties een relatief groot ruimtebeslag hebben en ook minder duurzaam zijn in termen van energie- en chemicaliënverbruik. Niet voor niets wordt tegenwoordig aandacht besteed en invulling gegeven aan het concept van de Energie- en Grondstoffenfabriek.

In opdracht van de STOWA en met ondersteuning van de Stichting Toegepast Wetenschappelijk onderzoek (STW) en Agentschap NL (thans Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland) wordt eind vorige eeuw door TUDelft en Royal HaskoningDHV een laboratorium- en deskonderzoek gestart naar de haalbaarheid van de aerobe korrelslibtechnologie [1]. Deze technologie combineert de voordelen van het actiefslibproces en de uitstekende bezinkeigenschappen van korrelslib. Deze bezinkeigenschappen zijn voor de anaerobe variant al in de zeventiger jaren door Gatze Lettinga aan de LUW te Wageningen ontdekt. De kennis om een aerobe variant te ontwikkelen is lange tijd niet aanwezig, maar twintig jaar later worden de grondbeginselen onder leiding van Mark van Loosdrecht aan de TUDelft blootgelegd.

Op grond van de positieve resultaten van de genoemde laboratorium- en deskstudie wordt besloten een eerste STOWA praktijkonderzoek op de rwzi Ede uit te voeren. Een pilotinstallatie wordt in de periode van 2003 tot 2005 onder praktijkcondities met huishoudelijk afvalwater bedreven en toont de potentie aan van de inmiddels tot Nereda® omgedoopte korrelslibtechnologie [2]. Deze potentie en de toekenning van de eerste Vernufteling prijs in 2005 vormen voor de watersector het startsein om gezamenlijk een ontwikkelingstraject te starten met het doel om de korrelslibtechnologie in korte tijd te laten uitgroeien tot een alternatief voor actiefslibsystemen (CAS). Hiertoe wordt door STOWA, TUDelft, Royal HaskoningDHV en zeven waterbeheerders het “Nationaal Nereda® Onderzoeks Programma” (NNOP) opgesteld, dat in 2007 met een officiële samenwerkingsovereenkomst wordt bekrachtigd.

Het NNOP bestaat ondermeer uit de opzet en uitvoering van fundamenteel wetenschappelijk onderzoek en diverse pilotonderzoeken op huishoudelijke installaties. De resultaten hiervan zijn beschreven in het STOWA rapport 2010-29 [3]. Op grond van de veelbelovende resultaten besluiten verschillende NNOP partners tot de realisatie van een Nereda® praktijkinstallatie. De eerste grootschalige installatie ter wereld voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater staat in Epe binnen het beheersgebied van het Waterschap Vallei en Veluwe. Na de opstart van deze installatie in 2011 is met ondersteuning van AgentschapNL, thans Rijksdienst Voor Ondernemend Nederland (RVO) door de NNOP partners een uitgebreid KRW-onderzoek uitgevoerd. Dit onderzoek richt zich vooral op de ontwerpaspecten van de technologie die op pilotschaal niet of minder eenvoudig kunnen worden onderzocht. De opschaling van pilot- naar praktijkschaal is op rwzi Epe met een factor 3.000 aanzienlijk. Twee Nereda® demonstratie

installaties in Portugal (Frielas) en Zuid-Afrika (Gansbaai) komen hieraan voor een deel tegemoet. In STOWA rapport 2013-29 [4] wordt uitgebreid ingegaan op het praktijkonderzoek dat in 2011 en 2012 op de rwzi Epe is uitgevoerd. De resultaten zijn tussentijds vertaald naar een algemeen Nereda® ontwerp en vastgelegd in een STOWA werkrapport [5].

Op basis van de goede zuiveringsresultaten in Epe worden in 2013 bij andere NNOP partners Nereda® installaties gebouwd op de rwzi's Utrecht (prototype), Vroomshoop (hybride) en Dinxperlo. Tijdens de opstartfase wordt de procesvoering van deze installaties vanuit het NNOP samenwerkingsverband ondersteund. In hetzelfde jaar wordt ook de rwzi Garmerwolde van waterschap Noorderzijlvest opgestart en bevinden meerdere installaties zich gelijktijdig in de opstartfase.

Deze situatie biedt de direct betrokken partijen de mogelijkheid om hun ervaringen te delen en daarvan te leren. Op initiatief van Royal HaskoningDHV is daartoe in 2013 samen met de TUD en de betrokken waterbeheerders het SOON (Samenwerking Optimalisatie Opstart Nereda® installaties) overleg gestart. Dit samenwerkingsverband levert een schat aan waardevolle praktijkinformatie op, die niet alleen wordt gebruikt voor een significante aanscherping van de Nereda® ontwerpgrondslagen, maar ook leidt tot vermeerderd inzicht in de optimalisatiemogelijkheden van de procesvoering.

Met deze procesoptimalisatie in het achterhoofd is op de rwzi Dinxperlo in 2014 een STOWA praktijk-onderzoek gestart. Dit onderzoek vormt samen met het SOON overleg de laatste stap in de Nederlandse ontwikkeling van de Nereda® technologie. De resultaten hiervan vormen het sluitstuk van het NNOP samenwerkingsverband en zijn in het voorliggende STOWA rapport gepresenteerd. Dat betekent niet dat daarmee de toepassing van de technologie en eventueel verdere doorontwikkelingen ten einde is. Na de eerste vijf Nederlandse installaties zijn en worden nieuwe praktijkinstallaties in het buitenland in bedrijf genomen en volgen in Nederland de komende jaren onder andere de locaties Simpelveld, Breskens en Utrecht, waar ook Nereda® installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater worden gerealiseerd.

De Nereda® technologie wordt verder door Royal HaskoningDHV in het buitenland met lokale partners uitgerold. Inmiddels zijn samenwerkingsverbanden gesloten in ondermeer Brazilië, Engeland / Schotland, Spanje/Portugal, Ierland, Zwitserland, India, Zuid-Afrika en Australië. Verwacht wordt dat de komende jaren nog meerdere partnerships zullen volgen. Wereldwijd zijn inmiddels al tientallen Nereda® installaties gerealiseerd c.q. in aanbouw. De samenwerking met de Nederlandse watersector is hiermee echter niet ten einde. In 2015 is een contract gesloten met de Unie van Waterschappen om samen met de waterbeheerders Nereda® installaties in het buitenland op te starten. Op deze wijze wordt optimaal gebruik gemaakt van de expertise die de Nederlandse waterbeheerders in de loop van vele decennia hebben opgebouwd. In mei 2015 is deze samenwerking voor de eerste keer in de praktijk gebracht bij de opstart van de rwzi Clonakilty in Ierland (Afbeelding 1).

AFBEELDING 1

MEINARD EEKHOF (RECHTS, WATERSCHAP VECHTSTROMEN) EN ROBIN KRAAN (LINKS, ROYAL HASKONINGDHV) BIJ DE OPSTART VAN DE RWZI CLONAKILTY (IERLAND)



Samen met Wateropleidingen wordt een leershuis neergezet met het doel om alle bij Nereda® betrokken partijen een goede opleiding en basis te geven. Hierbij zullen een range aan cursussen op verschillende niveaus worden ontwikkeld, waarbij naast de basis van de Nereda® technologie onder meer aandacht zal worden geschonken aan het ontwerp, de bedrijfsvoering en de procesregeling.

Deze initiatieven zijn min of meer een logisch vervolg op de afspraken die in 2005 zijn gemaakt binnen het NNOP. Revenuen voortkomend uit het succes van de Nereda® technologie in het buitenland zullen ook terugvloeien naar STW en STOWA. Hiermee ontstaat een vlieg-wiel dat nieuw fundamenteel en toegepast onderzoek mogelijk maakt en waarmee uiteindelijk de positie van de Nederlandse watersector in het buitenland kan worden verstevigd.

1.2 OPZET EN DOELSTELLINGEN

Uitgangspunt van het NNOP in de periode 2007 – 2015 is het ontwikkelen van een duurzame en kosteneffectieve zuiveringstechnologie van Nederlandse bodem. Hieraan is invulling gegeven door de gelijktijdige uitvoering van fundamenteel en applicatie onderzoek, alsmede de toepassing van de Nereda® technologie op praktijkschaal. Onderstaand zijn de doelstellingen opgenomen zoals deze tijdens de start van het NNOP samenwerkingsverband zijn geformuleerd.

- 1 Aantonen van de haalbaarheid op praktijkschaal
- 2 Verder ontwikkelen en opschalen in de Nederlandse context
- 3 Vaststellen van de toepassingsmogelijkheden en flexibiliteit
- 4 Aantonen langjarige stabiele bedrijfsvoering en optimaliseren van procesvoering
- 5 Vaststellen van de resultaten voorbehandeling, nabehandeling en slibverwerking
- 6 Evalueren van de ontwerpen en vaststellen van de noodzaak tot reservestelling
- 7 Vergelijken van de Nereda® technologie met het actief slibproces

Tijdens het NNOP is in eerste instantie een aantal van deze doelstellingen vertaald naar de opzet en uitvoering van verschillende onderzoeks- en pilotprojecten. Deze projecten zijn gezamenlijk door de TU Delft, Royal HaskoningDHV en de betrokken waterbeheerders uitgevoerd.

Onderscheid is gemaakt naar diverse onderzoeken op de pilotinstallaties te Ede, Aalsmeer en Epe, en verificatie-onderzoeken op de pilotinstallaties te Hoensbroek en Dinxperlo.

De belangrijkste doelstelling van het NNOP betreft de succesvolle introductie van de Nereda® technologie bij de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders en daarmee het aantonen van de haalbaarheid op praktijkschaal, zoals geformuleerd in doelstelling 1. In 2011 is de Nereda® installatie in Epe opgestart en is in eerste instantie alle aandacht gericht op het verkrijgen van voldoende korrelslib. Maandenlange verificatietesten in 2012 laten zien dat de installatie aan alle garanties voldoet op het vlak van effluentkwaliteit, energie- en chemicaliënverbruik, alsmede mechanische indikking van spuislib. In 2012 wordt een omvangrijk KRW-onderzoeksprogramma uitgevoerd met het doel om zoveel mogelijk inzicht te verkrijgen in het functioneren van de praktijkinstallatie. Het KRW-onderzoeksprogramma omvat deelonderzoeken op het vlak van hydraulica, energie, korrelvorming, broeikasgasemissie, voor- en nabehandeling, microverontreinigingen en slibbehandeling.

De op Epe verkregen onderzoeksresultaten zijn ondermeer gebruikt om voor de andere praktijkinstallaties (ontwerp)optimalisaties te kunnen doorvoeren. Hiermee is impliciet aan de doelstellingen 2, 5 en 6 voldaan. Daarnaast zijn in Nederland verschillende type Nereda® installaties gerealiseerd om een indruk te krijgen van het toepassingsgebied. De ontwerpen van de rwzi's Epe en Dinxperlo waren gebaseerd op zeer strenge fosfaat-effluenteisen, waardoor er - net als dit bij klassiek actiefslib het geval zou zijn - is uitgegaan van een nabehandeling met behulp van een zandfilter. De installaties in Utrecht en Garmerwolde zijn zonder nabehandeling gerealiseerd. Voor de rwzi Vroomshoop is een ontwerp gemaakt dat uitgaat van een hybride toepassing van de Nereda® technologie. Ook worden diverse bouwkundige uitvoeringsvormen toegepast, waaronder die in ronde en rechthoekige reactoren en een installatie met en zonder (DWA) influentbuffer. Ook de manier van voorbehandeling en slibverwerking wordt op de verschillende installaties gevarieerd, teneinde doelstelling 3 - vaststellen van de toepassingsmogelijkheden en flexibiliteit - verder te kunnen onderbouwen.

Na het succes van Epe worden in korte tijd in Nederland nog vier huishoudelijke Nereda® installaties in bedrijf genomen en ontstaat de mogelijkheid om de procesvoering en de resultaten van deze installaties tijdens de opstartfase met elkaar te vergelijken en hiervan te leren. Na de zomer van 2013 wordt hiertoe het SOON overleg in het leven geroepen en ontstaat een levendige uitwisseling van informatie, die daadwerkelijk leidt tot verder inzicht en optimalisatiemogelijkheden van de procesvoering. Tijdens deze periode worden op de verschillende installaties meetprotocollen gestandaardiseerd en diverse procesmodi besproken, ingevoerd en op toegevoegde waarde geëvalueerd. Een snelle leercurve voor alle betrokkenen is het resultaat met dito prestatieverbeteringen in termen van ondermeer effluentkwaliteit, belastinggraad en energieverbruik. Hierbij wordt tevens dankbaar gebruik gemaakt van het feit dat op de rwzi's Garmerwolde en Vroomshoop een 1 op 1 vergelijking kan worden gemaakt met de prestaties van het conventioneel actief slibstelsel. Dit geeft nadere invulling aan doelstelling 7.

Een interessante vergelijking op het vlak van de Nereda® technologie is ook mogelijk doordat op verschillende installaties meerdere Nereda® reactoren zijn gerealiseerd. In 2014 wordt uit het SOON traject namelijk duidelijk dat optimalisaties mogelijk zijn en wordt een STOWA onderzoek gestart op de rwzi Dinxperlo. Op deze locatie zijn immers drie reactoren gerealiseerd die min of meer onafhankelijk van elkaar kunnen worden bedreven.

Inmiddels zijn alle vijf Nereda® installaties succesvol opgestart en kan zonder twijfel worden gesproken over het bereiken van doelstelling 4, te weten het aantonen van een langjarige stabiele bedrijfsvoering en optimaliseren van de procesvoering. Met het afronden van het SOON traject eind 2014 en de uitvoering van het genoemde STOWA onderzoek op de rwzi Dinxperlo zijn alle NNOP doelstellingen bereikt.

1.3 LEESWIJZER

Voorliggend rapport beschrijft in hoofdstuk 2 de Nereda® technologie en geeft daarmee tevens een overzicht van de achtergronden van haar ontstaan. Naast de specifieke kenmerken van de technologie wordt ingegaan op de aandachtspunten die bij de opschaling een belangrijke rol hebben gespeeld. Ook wordt in hoofdstuk 2 stilgestaan bij verschillende uitvoeringsvormen en enkele belangrijke ontwerpparameters, ofschoon deze sterk afhankelijk kunnen zijn van lokale situaties. Verder worden belangrijke aspecten belicht met betrekking tot de proces- en bedrijfsvoering. Tenslotte wordt kort stilgestaan bij de situatie anno 2016.

In hoofdstuk 3 wordt een overzicht geschetst van de vijf Nederlandse huishoudelijke Nereda® praktijkinstallaties. In een standaard format worden eerst de belangrijkste kenmerken m.b.t. het ontwerp en dimensionering van de betreffende installatie gegeven. Daarna volgt een overzicht van de onderzoeken en ontwikkelingen die op deze installatie hebben plaatsgevonden en tenslotte wordt een overzicht gepresenteerd van de belasting van de installatie, alsmede de zuiveringsresultaten in termen van effluentkwaliteit, energie- en chemicaliënverbruik en slibproductie. Deze data worden vergeleken met de ontwerpgrondslagen en uitgangspunten. In hoofdstuk 4 worden de diverse belangrijke thema's overkoepelend behandeld, zodat een overzicht ontstaat van achtereenvolgens de ervaringen rondom korrelvorming, de bereikte effluentkwaliteit onderscheiden naar de diverse parameters, de verkregen slibkwaliteit en -kwantiteit en tenslotte het benodigde ruimte-, energie- en chemicaliënverbruik. Dit overzicht wordt gebruikt voor een vergelijking met het conventionele actief slibstelsel in hoofdstuk 5. Deze vergelijking wordt uitgevoerd op het vlak van effluentkwaliteit, proces- en bedrijfsvoering en de verschillende duurzaamheidsaspecten. Hoofdstuk 5 wordt afgesloten met aanwijzingen voor de uitvoering van een systeemkeuze tussen Nereda® en het conventionele actief slibstelsel, waarbij tevens de hybride uitvoeringsvorm zal worden betrokken. Een doorkijk naar de toekomst wordt in hoofdstuk 6 beschreven. Met een referentielijst en een bijlage wordt deze STOWA rapportage afgesloten. Ten behoeve van het overzicht is een samenvatting geschreven die tevens Engelstalig in dit rapport is opgenomen.

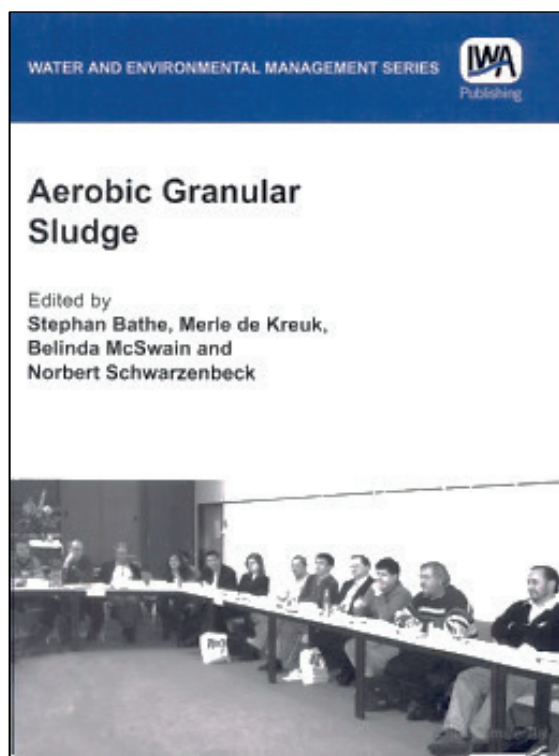
2

NEREDA®

2.1 KORRELVORMING

Eind negentiger jaren van de vorige eeuw is aerobe korrelvorming voor het eerst in het laboratorium tot stand gebracht. Het onderzoek is geïnitieerd door de TU Delft en de TU München en heeft sindsdien een grote vlucht genomen. Momenteel wordt fundamenteel en toepassingsgericht onderzoek wereldwijd uitgevoerd door zowel onderzoeksinstituten als bedrijfsleven. Dit onderzoek heeft het inzicht in aerobe korrelvorming aanzienlijk doen toenemen, maar desondanks zijn de exacte achtergronden nog niet volledig begrepen. Op grond van onderzoek en ervaringen is echter duidelijk dat de onderstaande randvoorwaarden met betrekking tot korrelvorming een belangrijke rol spelen.

1. Omzetten van gemakkelijk afbreekbaar substraat in opslagproducten leidt tot de selectie van langzaam groeiende organismen. Daarbij zijn initieel hoge substraatconcentraties bevorderlijk.
2. Aanleggen van hydraulische selectiedruk leidt tot procesomstandigheden waarbij de groei van goed bezinkbare biomassa wordt bevorderd ten opzichte van biomassa met lagere bezinksnelheden.
3. Optreden van afschuifkrachten door intensieve menging stimuleert de vorming van gladde, egale korrels.



Met de genoemde randvoorwaarden is korrelvorming met huishoudelijk (en industrieel) afvalwater mogelijk gebleken. Het eenmaal gevormde korrelslib kan onder goed aangelegde procescondities jarenlang in stand kan worden gehouden, waarbij de biologische activiteit van de verschillende omzettingprocessen volledig op peil blijft. Het korrelslib blijkt bovendien deze capaciteit bij opslag gedurende langere tijd te kunnen behouden, zodat indien gewenst korrelslib gevormd in één installatie ook kan worden gebruikt voor het versnellen van de opstart van een andere installatie.

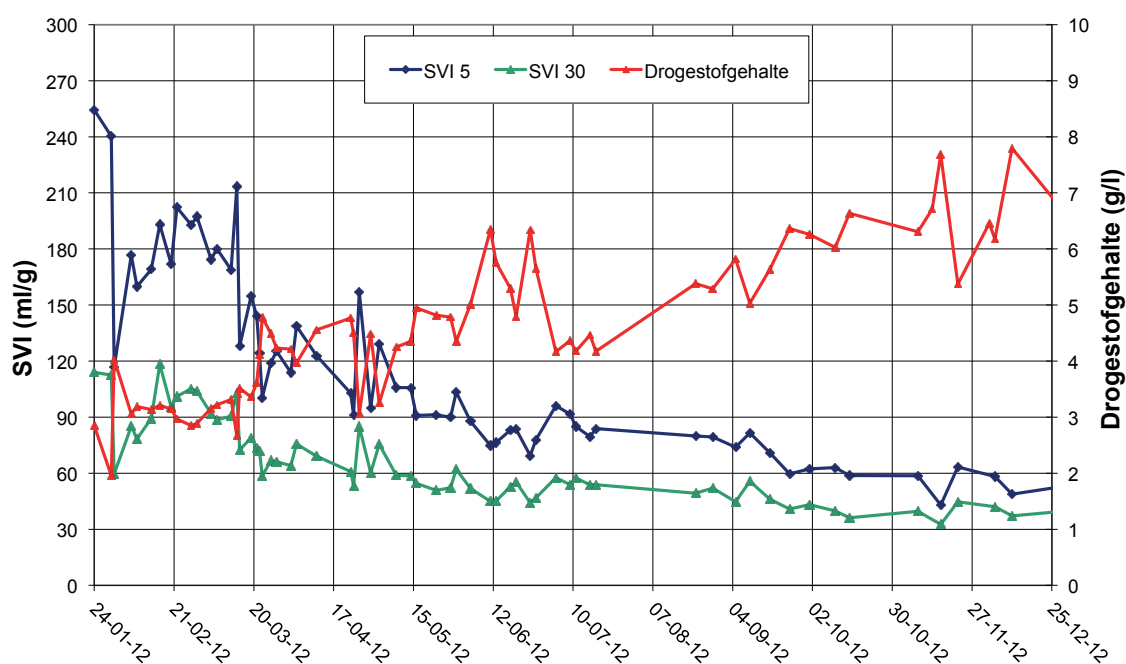
Tijdens de in 2004 in München gehouden IWA-workshop [6] over de aerobe korrelslibtechnologie is de volgende definitie voor aeroob korrelslib vastgesteld: "Korrels die worden gevormd op basis van actiefslibvlokken zijn aggregaten van microbiële oorsprong, die niet coaguleren bij lage afschuifkrachten en die significant sneller bezinken dan actiefslibvlokken. Kenmerk van korrelslib is dat

de SVI na 5 minuten vrijwel gelijk is aan de SVI na 30 minuten, dit in tegenstelling tot actief-slib waar de verhouding tussen de SVI na 5 minuten en de SVI na 30 minuten ongeveer 2 bedraagt”.

Tijdens de fase van korrelvorming worden voor het vaststellen van de korrelslibkwaliteit naast de SVI-bepalingen, ook vaak microscopische analyses uitgevoerd en gekeken naar korrelgrootteverdelingen. Deze worden bepaald door zeeffracties van het korrelslib te maken, waarbij korrels zijn gedefinieerd als deeltjes met een diameter groter dan 0,2 millimeter. Deze definitie is in 2004 enigszins arbitrair vastgelegd, hetgeen niet betekent dat deeltjes met een diameter < 0,2 millimeter zich niet als korrels zouden gedragen.

In Afbeelding 2 is een kenmerkend voorbeeld getoond van de ontwikkeling van een korrelbed in een Nereda® installatie.

AFBEELDING 2 KENMERKEND VOORBEELD SVI ONTWIKKELING EN SLIBGROEI (DEMO-INSTALLATIE RWZI FRIELAS, PORTUGAL)



2.2 KENMERKEN NEREDA® TECHNOLOGIE

Aan de hiervoor beschreven randvoorwaarden ten aanzien van korrelvorming, alsmede aan de procesvoering voor het in stand houden van eenmaal gevormd korrelslib wordt voldaan in een batch reactor. De bijbehorende procesvoering en de uitstekende bezinkeigenschappen van korrelslib komen samen in het Nereda® proces, waarvan de belangrijke cyclusstappen met bijhorende processen hierna zijn weergegeven (zie ook Afbeelding 3):

1 Vullen / aflat

Gedurende deze fase wordt afvalwater in contact gebracht met het slibbed en wordt tegelijkertijd effluent afgelaten. Om kortsluitstromingen te voorkomen geldt als voorwaarde dat het afvalwater onder propstroomcondities door het slibbed wordt gevoerd. Hierdoor ontstaan lokaal tevens hoge substraatconcentraties en wordt het korrelbed (over-)verzadigd met substraat. Tijdens de voedingsfase vindt afgifte van fosfaat plaats.

2 Beluchten

Tijdens de beluchte fase vinden meerdere biologische processen tegelijk plaats. In de korrel is sprake van een duidelijke zuurstofgradiënt, waarbij de buitenkant aeroob is en de kern van de korrel zuurstofloos (anoxisch / anaeroob). In de buitenste schil treedt diensgevolge nitrificatie op en wordt het daarbij gevormde nitraat in de kern van de korrel gedenitrificeerd. Daar is voldoende substraat voor denitrificatie aanwezig, omdat de korrels tijdens de voedingsfase zijn doordrenkt met substraat. Tot slot vindt gedurende de beluchte fase opname van fosfaat plaats.

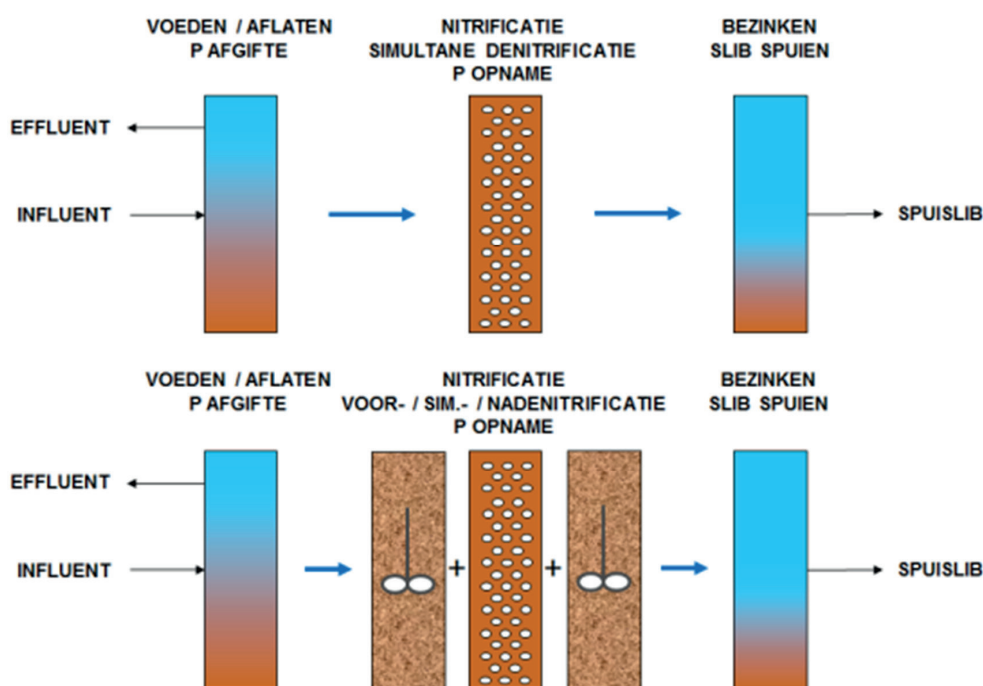
3 Bezinken en slib spuien

Deze fase wordt benut voor de scheiding van korrelslib en effluent. Gezien de goede bezink-eigenschappen van het korrelslib duurt deze fase kort. Tevens kan deze fase worden benut om slib te spuien, ofschoon dat deelproces ook kan plaatsvinden op andere momenten binnen de cyclus.

4 Anoxische fasen

Door de batchgewijze procesvoering kan de denitrificatiecapaciteit extra worden gestimuleerd door de introductie van anoxische fasen, zowel vóór als ná de beluchte fase. De noodzaak van deze anoxische fasen is ondermeer afhankelijk van de afvalwatersamenstelling, de effluenteisen en de procestemperatuur.

AFBEELDING 3 OVERZICHT NEREDA® CYCLUS



In Nederland worden conventionele batchsystemen voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater bijna niet toegepast. Bij conventionele batchsystemen wordt gebruik gemaakt van actief slib, waarvan de bezinksnelheid bij gangbare slibconcentraties van 4 kg/m³ ongeveer 1,0 m/h bedraagt. Dit vereist relatief lange bezinktijden en het vullen en aflatenvindt (semi) gescheiden plaats. Dit maakt conventionele batchsystemen in principe minder efficiënt, vooral bij de relatief hoge RWA/DWA verhoudingen, zoals die vaak in Nederland voorkomen. Bij lagere RWA/DWA verhoudingen worden conventionele batchsystemen wel een aantrek-

kelijk alternatief voor continue systemen en worden dan ook veelvuldig toegepast in landen met gescheiden rioolstelsels.

Een batchsysteem op basis van aerob korrelslib heeft door het gecombineerd vullen/aflaten en de korte bezinktijd de genoemde nadelen niet en vormt daarmee een serieus alternatief voor continue actiefslibsystemen, ook bij hogere RWA/DWA verhoudingen.

Hieraan wordt nader aandacht besteed in paragraaf 2.4. Batchsystemen hebben daarnaast een belangrijk voordeel ten opzichte van continue actiefslibsystemen aangaande de relatief eenvoudige proces-beheersing. De biologische processen zijn niet alleen volledig inzichtelijk, maar kunnen per cyclus worden aangepast en geoptimaliseerd, omdat de te verwerken vuil-last bij aanvang van de biologische cyclusstappen bekend is. Met dit gegeven kan bijvoorbeeld de verhouding tussen anoxische en beluchte periodes optimaal worden ingericht.

2.4 OPSCHALING VAN LABORATORIUM NAAR PRAKTIJK

In 1996 is door promovenda Janneke Beun onder leiding van Mark van Loosdrecht op de TU Delft onderzoek gestart naar de vorming van aerob korrelslib [7]. Zij toont aan dat ook snelgroeiende bacteriecultures als korrelslib kunnen groeien, als de “selectiedruk” maar op de juiste wijze wordt opgelegd. Begin van deze eeuw lukt het de TU Delft om niet alleen met synthetisch water korrels te vormen, maar dat ook te doen met afvalwater uit de praktijk. Hierbij wordt ondermeer uitgegaan van vergaand voorbehandeld huishoudelijk water, hetgeen ook als uitgangspunt wordt gebruikt voor de eerste praktijkproeven op pilotschaal. Daar moet ook een belangrijke stap worden gemaakt in de vertaling van laboratorium- naar praktijkomstandigheden. Daar waar op het laboratorium korrels worden gevormd onder hoge zuurstofconcentraties en uitermate korte voedingstijden, moet dit om redenen van (kosten-) technische aard in de praktijk worden geoptimaliseerd.

AFBEELDING 4 PILOTINSTALLATIE AALSMEER (2006)



Op de rwzi Ede wordt hiertoe in 2003 een pilotinstallatie in bedrijf genomen bestaande uit twee reactoren met elk een diameter van 60 cm en een hoogte van 6 m. Een beeld van deze pilotinstallatie in bedrijf op de rwzi Aalsmeer is weergegeven in Afbeelding 4. De inhoud van deze reactoren is met 1,7 m³ ruim 600 maal zo groot als de in Delft standaard gebruikte laboratoriumopstellingen. Er wordt gekozen voor twee pilotreactoren om vergelijkenderwijs korrelvorming te kunnen bestuderen onder verschillende hydraulische stromingen c.q. afschuifkrachten in de reactoren (bellenkolom en airlift principe). Nadat korrelvorming is aangetoond, worden beide reactoren vervolgens als bellenkolom onder verschillende procescondities bedreven om de zuiveringsprestaties te kunnen beoordelen. In 2005 wordt een belangrijke doorbraak bereikt als na een lange periode van experimenteren onder praktijkomstandigheden korrelslib kan worden gevormd en tevens uitzicht ontstaat op het bereiken van een goede effluentkwaliteit t.a.v. nutriënten. De samenwerking tussen TU Delft en Royal HaskoningDHV bewijst in deze periode dat het samenspel tussen fundamenteel en applicatie gericht onderzoek zijn vruchten kan afwerpen. De rol van promovenda Merle de Kreuk [8] hierin mag hier niet onbenoemd blijven. Zij beweegt zich tussen beide organisaties en weet aan beide zijden de vele uitdagingen vorm te geven door fundamentele vraagstukken te vertalen naar applicatiegericht onderzoek en vice versa.

Op basis van de resultaten van de pilotinstallatie in Ede past Royal HaskoningDHV in 2004 de technologie voor het eerst op (kleine) industriële schaal toe door het realiseren van een biologische zuivering voor het voedingsbedrijf Vika in Ede. Dit eerste industriële prototype wordt gevolgd door andere grootschaligere industriële toepassingen.

Nadat de Nederlandse watersector zich heeft verenigd in het NNOP worden in de periode van 2003 – 2010 vele pilotstudies uitgevoerd. Hierin blijkt de verificatie van korrelvorming bij verschillende typen afvalwater lange tijd het belangrijkste onderzoeksdoel. Naast de invloed van verschillende huishoudelijke afvalwatertypen wordt hierbij vooral gekeken naar optimale procesomstandigheden en wordt tevens onderzoek verricht naar de opstart met anaeroob en aeroob korrelslib. Veel onverwachte situaties, mede veroorzaakt door het sterke bezinkgedrag van korrelslib worden opgelost en langzamerhand verschuift de aandacht naar de bereikbare effluentkwaliteit. De verwijdering van nutriënten staat hierbij voorop, maar al snel blijkt hier de invloed van processturing groot te zijn. Met het oog op de eenvoud van batch processen wordt besloten om voor Nereda® een nieuwe intelligente en flexibele processturing te ontwikkelen. Door de toepassing van deze sturing wordt niet alleen duidelijk dat de effluentkwaliteit in termen van N- en P-verwijdering vergaand kan worden geoptimaliseerd, maar blijkt ondermeer ook dat de capaciteit of belastinggraad van het systeem kan worden vergroot. Er kan nu automatisch rekening worden gehouden met het feit dat de belasting op een rwzi dagelijks en derhalve per batch (zeer) sterk kan fluctueren.

De goede resultaten van de pilotinstallaties doen het waterschap Veluwe (thans Vallei & Veluwe) besluiten om ter vervanging van de bestaande actief slibinstallatie, een Nereda® praktijkinstallatie op de rwzi Epe te realiseren. Eerder is vanwege het als hoog ingeschatte risico een negatief bestuursbesluit genomen t.a.v. de realisatie van een Nereda® praktijkinstallatie te Zuidland. Mede op basis van de laatste resultaten van pilotonderzoek op de rwzi Epe wordt dan ook serieus stilgestaan bij diverse belangrijke opschaalfactoren.

Gezien de opschaalfactor van ruim 2.500 (van 1,7 m³ naar 4.500 m³) en de technische en technologische vertaling van pilot- naar praktijkinstallatie wordt in 2008 besloten om kennis en ervaring op te doen in twee demonstratie installaties. De rwzi Gansbaai in Zuid-Afrika wordt

gerealiseerd als Nereda® installatie, daar waar het oorspronkelijk in de bedoeling lag om de betreffende installatie als SBR uit te voeren. Met de belofte dat de installatie later niet alsnog uitgebreid hoeft te worden, stemt de lokale opdrachtgever in met deze wijziging. Eerste praktijkervaringen worden aldaar opgedaan met de uitvoeringswijze van de zogenaamde “internals”. Deze zijn in de pilotinstallatie(s) aangepast aan de relatief kleine diameter van 60 cm en onvergelykbaar met de uitvoeringsvormen in de praktijk. Belangrijke aspecten die hierbij een rol spelen zijn ondermeer de volgende:

- Verdeling van influent, zodat het benodigde propstroomgedrag wordt verkregen en kortsluitstromen worden voorkomen;
- Inbrengen van lucht, omdat de specifieke zuurstofinbreng en daarmee de mengintensiteit in pilot- en praktijkinstallatie significant van elkaar verschilt;
- Bezinking van slibkorrels op de bodem van Nereda® reactoren, daar waar dat in een pilotinstallatie relatief eenvoudig kan worden voorkomen;
- Verdeling van effluentaflaten, zodat ook hier het benodigde propstroomgedrag wordt verkregen en bovendien geen ophoping van vet, roostergoed en andere stoffen plaats vindt.

Dezelfde aspecten spelen een rol bij de tweede demonstratie installatie op de rwzi Frielas in Portugal, waar één van de zes straten van een bestaande actiefslibinstallatie (700.000 v.e.) wordt omgebouwd en in een afgescheiden kwart van deze straat een Nereda® systeem wordt geïnstalleerd. Met het oog op een brede ervaring worden diverse de internals op beide locaties Gansbaai en Frielas verschillend uitgevoerd.

Al snel wordt duidelijk dat de opschalingsfactoren van pilot- naar praktijkinstallatie een significante rol spelen. Met name op Frielas worden in de loop van enkele jaren diverse malen internals aangepast, mede op basis van flankerend hydraulisch onderzoek. De ervaringen worden meegenomen in het ontwerp van de rwzi Epe, ofschoon tijdens de ontwerp-fase ook andere optimalisaties worden geïntegreerd. Hierbij speelt een belangrijke rol dat in Epe aan beduidend zwaardere effluenteisen moet worden voldaan, waardoor met name aan de hydraulische opschaling en randvoorwaarden meer aandacht moet worden besteed. Met 3D-modelberekeningen wordt gekeken naar de invloed van de H/D (hoogte / diameter) verhouding van pilot- en praktijkinstallaties. Deze verhouding is in de pilotinstallatie(s) 10:1, terwijl deze in de rwzi Epe 1:3 bedraagt. Op de rwzi Garmerwolde wordt deze verhouding nog verder opgerekt tot 1: 6!

Na de opstart van de Nereda® installatie Epe wordt in het kader van de eerder genoemde KRW-studie uitvoerig praktijkonderzoek aan de hydraulische aspecten uitgevoerd. De resultaten hiervan zijn in de ontwerpen van nieuwe Nereda® praktijkinstallaties geïmplementeerd. Vanzelfsprekend zijn de uitvoeringsvormen van de diverse internals ook mede afhankelijk van de schaalgrootte. Vanuit Epe is de eerste standaard opzet voor internals binnen een ronde uitvoeringsvorm gekozen, welke later is aangepast naar een schaalgrootte van 9.500 m³ voor de reactoren in Garmerwolde. Deze laatste grootte is zodanig dat hydraulische en technische ontwerpaspecten mogelijk beperkend gaan worden. In een rechthoekige uitvoeringsvorm kunnen de internals op een meer (kosten-) efficiënte wijze worden geïnstalleerd, en kunnen de volumina van reactoren derhalve verder omhoog. Anno 2016 wordt de Nereda® technologie getest in rechthoekige reactoren met een netto volume van 12.500 m³, een volume dat overeenkomt met 's werelds grootste SBR reactoren. Afhankelijk van de lokale situatie kan deze rechthoekige reactor civieltechnisch tot hogere investeringskosten leiden, daar waar op de investeringen voor internals en bordessen echter weer kan worden bespaard. De keuze voor ronde of rechthoekige reactoren is daarmee

locatie specifiek. De te bereiken of noodzakelijke energie efficiency en ruimtebeslag zijn hierin ook twee belangrijke beoordelingsaspecten.

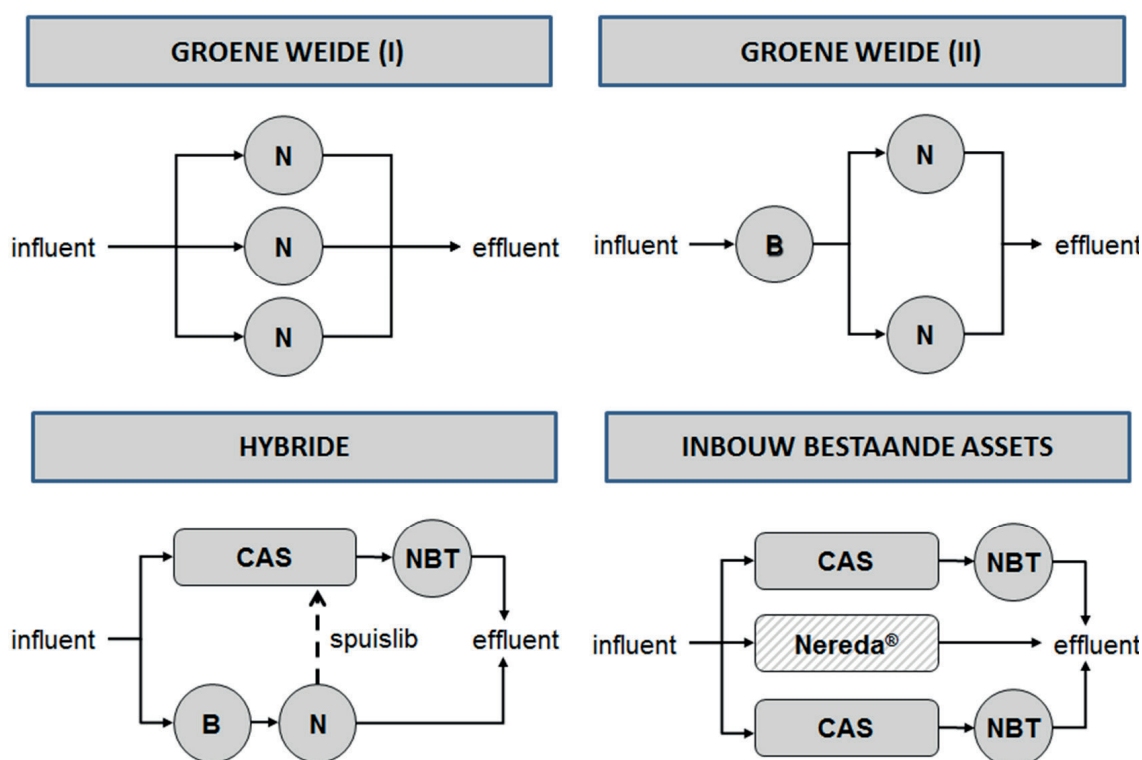
2.4 PROCESCONFIGURATIES & ONTWERPPARAMETERS

In deze paragraaf worden de diverse procesconfiguraties voor de Nereda® technologie behandeld en wordt ingegaan op enkele belangrijke ontwerpparameters. In hoofdstuk 3 wordt per installatie kort stilgestaan bij het ontwerp.

2.4.1 PROCESCONFIGURATIES

In Afbeelding 5 zijn de verschillende configuraties voor de Nereda® technologie schematisch weergegeven. Zij worden hierna kort omschreven en toegelicht op de kenmerkende verschillen.

AFBEELDING 5 PROCESCONFIGURATIES NEREDA® TECHNOLOGIE



1. Groene weide configuratie

Een nieuwe huishoudelijke Nereda® installatie bestaat meestal uit drie reactoren en kan, afhankelijk van de vereiste effluentkwaliteit, eventueel worden uitgerust met een nabehandelingsstap, zoals een trommel-, disk- of zandfilter, zoals eveneens gebruikelijk bij een conventioneel actief slibstelsysteem. Voorbeelden hiervan zijn de praktijkinstallaties te Epe (zie paragraaf 3.2) en Dinxperlo (zie paragraaf 3.6), die beide op grond van de scherpe effluenteisen zijn voorzien van een zandfilter. Bij een installatie van grotere capaciteit kunnen mogelijk meer dan 3 (standaard) reactoren worden gerealiseerd.

De bouw van een (DWA) influentbuffer biedt de mogelijkheid om met minder dan drie reactoren te ontwerpen, waarbij bovendien gebruik wordt gemaakt van een efficiëntere cyclus. Doordat de voedingsfase namelijk minder lang duurt, neemt de beluchtingsfase t.o.v. de totale cyclus aanmerkelijk toe. Een Nederlands praktijkvoorbeeld hiervan is de uitbreiding

van de rwzi Garmerwolde (zie paragraaf 3.3), terwijl dit principe inmiddels ook wereldwijd wordt toegepast op ondermeer de Nereda® installaties in Wemmershoek in Zuid-Afrika en Ryki in Polen. Vaak resulteert deze configuratie in overall kleinere tankvolumina (incl. buffer-volume) en een besparing op investeringen.

2. *Hybride configuratie*

In de hybride variant neemt de Nereda® installatie een deel van het influent voor haar rekening. Afhankelijk van de bestaande situatie kan deze variant op verschillende manieren worden uitgevoerd:

- Als de bestaande installatie onvoldoende hydraulische en biologische capaciteit heeft, kan de Nereda® installatie volledig gescheiden van de bestaande installatie worden gerealiseerd. Conform de standaard opzet bij hybride installaties wordt de hydraulische capaciteit van de bestaande actief slibinstallatie en de nieuwe Nereda® installatie geoptimaliseerd. Dit kan er toe leiden dat minder of kleinere Nereda® reactoren hoeven te worden gebouwd, omdat het grootste deel van de hydraulische belasting tijdens RWA wordt opgevangen door de hydraulische capaciteit van bestaande nabezinktanks. Afhankelijk van de effluenteisen kan ook bij deze procesconfiguratie een nabehandeling worden overwogen.
- Als de bestaande installatie voldoende hydraulische capaciteit heeft en alleen biologisch hoeft te worden aangepast, kan de uitbreiding op eenvoudige wijze plaatsvinden, zelfs met één Nereda® reactor die eventueel wordt voorafgegaan door een DWA-buffer. Het effluent van de Nereda® installatie wordt afgevoerd naar de conventionele installatie, danwel rechtstreeks op het oppervlaktewater geloosd. Een voorbeeld hiervan is de rwzi Vroomshoop (paragraaf 3.5).

Een interessant aspect in een hybride procesconfiguratie is de benutting van het Nereda® spuislib in de bestaande (of nieuwe) actief slibinstallatie. Hiermee wordt een continu entefect bewerkstelligd en worden eigenschappen van het korrelslib (deels) overgedragen aan het actief slib. Hierdoor worden niet alleen de slibbezinkeigenschappen beïnvloed en zal de biologische fosfaatverwijdering verbeteren, maar zal bij een overbelaste installatie mogelijk ook de stikstofverwijdering toenemen. Dit fenomeen is op de rwzi Vroomshoop gedurende enkele jaren gevolgd en wordt nader beschreven in paragraaf 3.5.2.

Aan een hybride uitbreiding van een bestaande rwzi kan ook worden gedacht als er sprake is van de (extra) verwerking van (hoog geconcentreerd) industrieel afvalwater. Meestal vraagt deze situatie om een uitbreiding van de beschikbare biologische capaciteit, terwijl geen aanpassing nodig is van de hydraulische capaciteit. Met de bouw van een eenvoudige Nereda® reactor of de benutting van een bestaande tank, eventueel voorafgegaan door een kleine hydraulische buffer kan een dergelijke verwerking echter ook worden gerealiseerd. Evenals bij de hybride uitvoering kan dan optimaal gebruik worden gemaakt van het eerder genoemde entefect, waarmee niet alleen de korreleigenschappen kunnen worden overgedragen, maar tevens de zuiveringscapaciteit van een bestaande (en vol- tot overbelaste) installatie kan worden vergroot. Er kan zelfs een nog eenvoudiger uitvoeringsvorm van de Nereda® installatie worden overwogen, door niet alleen het spuislib maar ook het gezuiverde afvalwater naar de bestaande rwzi af te voeren, immers hydraulisch is er geen issue!

3. *Inpassing bestaande installatie*

De Nereda® technologie kan goed worden ingepast in een bestaande actiefslibinstallatie. Vooral voor installaties van grotere capaciteit is dit een interessante mogelijkheid. Het slibgehalte wordt met een factor twee verhoogd en bij continue systemen zullen de nabezinktanks

en retourslibgemalen uit bedrijf kunnen worden genomen. Hierdoor wordt de capaciteit significant vergroot, kan de effluentkwaliteit worden verbeterd of kan voor een combinatie van beide worden gekozen. Een van de belangrijke aandachtspunten hierbij is de beschikbare waterdiepte van beluchtingstanks, ofschoon dit bij rwzi's van grotere capaciteit meestal geen issue is.

Een mooi voorbeeld is de Nereda® installatie die is ingebouwd in een straat van de bestaande actiefslibinstallatie in Frielas. Naast de reeds genoemde voordelen van een dergelijke inpassing, zijn eveneens de reductie van energie en chemicaliënverbruik interessante aspecten.

2.4.2 ONTWERPPARAMETERS

In deze paragraaf worden enkele belangrijke ontwerpparameters nader uitgelegd en vergeleken met de parameters van een actiefslibstelsysteem. Allereerst zal worden ingegaan op de cyclusbouw en de consequenties daarvan voor de “slibbelasting” en zuurstofinbreng. Vervolgens zal worden stilgestaan bij twee parameters, te weten de exchange ratio en de vulsnelheid, die vooral vanuit een hydraulisch oogpunt invloed hebben op het ontwerp van een Nereda® installatie. Daarbij zal kort worden ingegaan op de tot op heden verkregen inzichten in de ontwikkeling van deze parameters en de verwachtingen naar de toekomst toe. Een (huishoudelijke) Nereda® installatie wordt gedimensioneerd op biologische en hydraulische uitgangspunten, waarvoor in eerste instantie de bekende biologische ontwerpgrondslagen voor actief slibinstallaties zijn aangehouden. Dit uitgangspunt is aangehouden voor slibbelastingen, alsook voor zuurstofinbrengcapaciteit (α -factor) en slibproductie. Voor het slibgehalte is meestal een ontwerpwaarde van 8 kg/m^3 aangehouden, daar waar actief slibsystemen standaard worden ontworpen op 4 kg/m^3 . Vanuit de praktijk is gebleken dat de aannames verder kunnen en soms moeten worden aangepast c.q. aangescherpt. De eerste installaties zijn nadrukkelijk “veiliger” ontworpen, daar waar de prestaties van “hoger” belaste systemen aanleiding geven om te veronderstellen dat op een andere wijze kan worden gedimensioneerd. Langzaam ontstaat het besef dat de ontwerprichtlijnen voor “slib op drager” systemen zeker zo accuraat zijn voor Nereda® systemen als de richtlijnen voor actief slibsystemen. In hoofdstuk 3 zal dit ook blijken uit het overzicht van de ontwerpen en bijbehorende prestaties van de Nederlandse installaties.

Slibbelasting en zuurstofinbreng

Bij het biologische ontwerp dient rekening te worden gehouden met het batch karakter van de technologie. Tijdens de voedings- en bezinkfases wordt er niet belucht, waardoor de effectieve beluchtingstijd korter is. Deze effectieve beluchtingstijd neemt toe naarmate het aantal reactoren groter is en/of een afvalwaterbuffer aanwezig is. Er wordt in dit kader gesproken over de *slibbelasting op beluchte tijd*. Onderstaand is in Tabel 1 de effectieve beluchte tijd voor een aantal standaard situaties weergegeven.

Vanzelfsprekend heeft deze effectieve beluchte tijd niet alleen consequenties voor het benodigde Nereda® reactorvolume, maar eveneens voor de benodigde beluchtingscapaciteit. Hierbij dient gerekend te worden met een zogenaamde gelijktijdigheidsfactor. Deze factor geeft de totaal geïnstalleerde beluchtingscapaciteit aan ten opzichte van de capaciteit per reactor. Omdat de reactoren in een sequence functioneren, wordt niet in alle reactoren tegelijk de maximale luchtinbreng vereist. De luchtinbreng in huishoudelijke installaties vindt plaats met een fijne bellenbeluchtingssysteem en wordt berekend voor de maximale batchgrootte onder maximale droogweergecondities (DWA_{max}). Deze benadering houdt in dat geen additionele piekfactoren meer worden toegepast.

TABEL 1 EFFECTIEVE BELUCHTE TIJD BIJ DIVERSE NEREDA® CONFIGURATIES

Situatie	Aantal reactoren		Cyclusopbouw (uur)				Effectieve beluchte tijd
	Buffer	Nereda	Voeding	Beluchten	Bezinken	Totaal	
DWA	0	2	3	2,5	0,5	6	42%
	0	3	2	3,5	0,5	6	58%
	1	2	1	4,5	0,5	6	75%
RWA	0	2	1,5	1	0,5	3	33%
	0	3	1	1,5	0,5	3	50%
	1	2	1	1,5	0,5	3	50%

De maximale procesomstandigheden treden normalerwijze op tijdens maximale DWA toevoer. Dit doet echter niets af aan de “first flush”, waarbij de maximale hydraulische belasting kan worden aangevoerd, terwijl het influent nog steeds de “DWA kwaliteit” heeft. Deze situatie wordt echter zonder problemen verwerkt, omdat het systeem een groot deel van de aangevoerde vuillast absorbeert en in een later stadium verwerkt. Daarnaast duurt een dergelijke situatie relatief kort en wordt even later bij maximale hydraulische aanvoer sterk verdund afvalwater aangevoerd. In deze situatie is de biologische vuillast (beduidend) lager dan tijdens maximale DWA en kan het zuiveringsproces dus ook in een korter tijdsbestek worden afgerond. Hiervan kan gebruik worden gemaakt door de cyclustijd (automatisch) in te korten, waardoor de hydraulische belasting op de installatie kan worden opgevoerd, terwijl de effluentkwaliteit niet inboet, ofschoon het “beluchtingsdeel” van de cyclus procentueel een minder groot aandeel heeft.

Ervaring op de rwzi Garmerwolde heeft echter laten zien dat bij een groot aanvoerstelsel niet alleen de biologische belasting enorm kan toenemen, maar ook dat de maximale aanvoer gedurende een langere tijd kan aanhouden. In een dergelijke situatie wordt de cyclustijd ingekort waardoor minder tijd beschikbaar is om fosfaat op te nemen. Daarnaast is gebleken dat een beluchtingsontwerp op DWA_{max} niet altijd adequaat is om in deze situatie genoeg zuurstof in te brengen. Het gevolg hiervan is dat tijdens een paar cycli de P-effluentconcentratie kan oplopen, vanwege de zich voortzettende P-afgifte. Afhankelijk van de gestelde effluenteisen kan dit worden geaccepteerd, danwel hierop worden ingespeeld door in het ontwerp bewust een minimum cyclustijd aan te houden in combinatie met de realisatie van extra zuurstofinbrengcapaciteit en eventueel een aanvullende chemicaliëndosering.

Hydraulische parameters

Naast de biologische parameters wordt het ontwerp van een Nereda® installatie ook in grote mate bepaald door de hydraulische parameters “exchange ratio” (ER) en vulsnelheid. De ER is het volumetrisch deel van de reactorinhoud dat in een cyclus wordt ververs, uitgedrukt in percentage van de totale reactorinhoud. De vulsnelheid uitgedrukt in m/h wordt berekend door de influentbelasting (m^3/h) te delen door het reactoroppervlak (m^2). Deze twee hydraulische parameters bepalen samen met de biologische parameters het volume van de reactoren en de H/D verhouding. Vooralsnog wordt daarbij als randvoorwaarde een minimale diepte aangehouden van 5,5 m.

De maximale ER wordt bereikt bij het doorslagmoment, d.w.z. het moment waarop influent de effluentaflaatgoten bereikt. Vanzelfsprekend kan de ER in specifieke situaties hoger worden gekozen, met name als de effluenteisen vrij soepel zijn geformuleerd. Een hogere ER betekent immers een kleiner benodigd volume. De hoogte van de ER is afhankelijk van meerdere factoren, maar het propstroomgedrag in de Nereda® reactor is

van doorslaggevend belang. Tijdens het KRW-onderzoek op de rwzi Epe is hier uitgebreid aandacht aan besteed. Gemakshalve wordt voor een diepgaande analyse verwezen naar STOWA rapportage 2013-29 [4].

De maximale ER wordt in een praktijksituatie bereikt tijdens RWA condities. Dan zal ook de maximale vulsnelheid optreden en kan er bij onvoldoende bezinkeigenschappen van het korrelslib een situatie ontstaan waarbij slib met het effluent wordt afgevoerd. Deze situatie is min of meer identiek aan die in een nabezinktank van een actiefslibinstallatie [9]. Met name tijdens de opstartfase behoort bij een bepaald slibgehalte een maximale SVI om bij de gegeven vulsnelheid het korrelslib in de reactor(en) te houden. De relaties tussen de genoemde parameters voor nabezinktanks bestaan derhalve ook voor jong korrelslib. Dat betekent ook dat voor een Nereda® ontwerp rekening wordt gehouden met de slibvolumebelasting, zijnde het product van slibgehalte, SVI en vulsnelheid. Op basis van ervaringscijfers blijkt de slibvolumebelasting per installatie redelijk constant te zijn. Daarmee wordt het mogelijk verschillende combinaties van de drie genoemde parameters samen te stellen, teneinde optimaal in te kunnen spelen op een lokale situatie. Daar waar de biologische belasting maatgevend is voor het ontwerp kan bijvoorbeeld gekozen worden voor hogere slibgehalten, terwijl in situaties waarin de hydraulische belasting maatgevend is (hogere RWA/DWA verhoudingen), kan worden uitgegaan van lagere slibgehalten in combinatie met hogere opvoersnelheden. Vanzelfsprekend speelt hierin de configuratie en het aantal reactoren een wezenlijke rol. De ontwerper(s) heeft (hebben) hierin dus een zekere mate van vrijheid die kan worden ingevuld naar iedere specifieke situatie.

Deze vrijheid geldt vanzelfsprekend nog meer in de hybride configuratie, waarin het ontwerp kan worden geoptimaliseerd in combinatie met het (bestaande) actiefslibstelsel. Het aantal ontwerpvariabelen neemt hierdoor sterk toe.

In tegenstelling tot de algemene situatie in Nederland is het bovenstaande nog meer van belang voor het buitenland. Met name daar waar de effluentkwaliteit aan minder strenge eisen hoeft te voldoen en de procestemperatuur beduidend hoger ligt dan in Nederland, wordt het Nereda® ontwerp vaker hydraulisch bepaald. Daarentegen is in Nederland vaak sprake van een gemengd rioolstelsel, terwijl in veel andere landen kan worden uitgegaan van lagere RWA/DWA verhoudingen.

2.5 PROCES- EN BEDRIJFSVOERING

In deze paragraaf wordt stilgestaan bij enkele belangrijke aspecten m.b.t. de proces- en bedrijfsvoering. Hiervoor is een inventarisatie uitgevoerd bij de Nederlandse waterbeheerders die een Nereda® installatie bedrijven. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de processturing en meer in detail de opbouw van de cyclus, de benodigde metingen en analyzers en tenslotte de opbouw en het onderhoud van een korrelslibbed.

Processturing

In de Nereda® reactoren vinden binnen een cyclus de processen volgordeeljk plaats, zoals eerder op hoofdlijnen is beschreven in paragraaf 2.2. Daar waar de Nederlandse waterbeheerder gewend is te werken met continue actiefslibsystemen, vraagt de procesvoering in batch systemen een omslag in denken, ofschoon een batch proces door de procesvoerder eenvoudiger kan worden gevolgd en beïnvloed. Nitrificatie en denitrificatie zijn evenals de fosfaatopname en -afgifte direct te volgen.

Ondanks het voorgaande moet de procesvoerder vanzelfsprekend wennen aan de omgang met en bediening van de Aquasuite Nereda® Controller (ANC), die een andere systematiek kent dan de gangbare besturingssystemen van continue actief slibinstallaties. Mede afhankelijk van de toegangsbeveiliging is de procesvoerder echter in staat om eenvoudig de diverse setpoints aan te passen, en kost het relatief weinig tijd om “recepten” volledig naar zijn wens in te richten.

Ook bij handelingen in de bedrijfsvoering, zoals het nemen van slibmonsters moet bewuster worden stilgestaan, omdat (volwassen) korrelslib alleen tijdens de beluchtingsfase en bij volle beluchting representatief kan worden bemonsterd. De proces- en bedrijfsvoerder van een Nereda® installatie dient zich derhalve een batch proces eigen te maken en zich te realiseren op welke wijze een cyclus is en kan worden opgebouwd.

Bij een ontwerp waarbij wordt gekozen voor een opzet met drie (of meer) reactoren zonder influentbuffer, wordt het afvalwater niet gebufferd en wordt dus altijd één reactor gevoed. De benodigde tijd voor het vullen van een reactor bedraagt $\frac{1}{3}$ van de cyclustijd, zoals weergegeven in Afbeelding 6, want anders kan een continue verwerking van afvalwater niet worden gegarandeerd. Bij een cyclusduur van 6 uur en een vaste cyclustijd wordt een vultijd van 2 uur berekend. Als een tijd wordt aangehouden van 30 minuten voor de bezinking en eventuele spuislibaflaat, blijft voor de biologische processen per cyclus $3\frac{1}{2}$ uur beschikbaar.

AFBEELDING 6 CYCLUSOPBOUW BIJ EEN STANDAARD CYCLUSDUUR VAN 6 UUR

Cyclusstep / tijd (min.)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360
Reactor 1																								
Vullen / aflat																								
Biologie																								
Bezinken/slibaflat																								
Reactor 2																								
Vullen / aflat																								
Biologie																								
Bezinken/slibaflat																								
Reactor 3																								
Vullen / aflat																								
Biologie																								
Bezinken/slibaflat																								

Deze 3,5 uur vertegenwoordigt 58% van de totale cyclusduur (zie Tabel 1) en kan in principe qua effectiviteit worden vergroot door een DWA-buffertank op te nemen in het ontwerp. Daardoor kan bij een gelijkblijvende cyclustijd en een vultijd van slechts 1 uur (of korter) een effectiviteit worden bereikt van (meer dan) 75%. Bovendien kan afhankelijk van de grootte van de tanks ook een Nereda® reactor minder worden gebouwd.

Tegelijkertijd met de voeding van het afvalwater in de Nereda® reactor wordt het effluent via overstortgoten uit de reactor gedrukt. Tijdens deze fase wordt in het korrelslibbed verder gedenitrificeerd (eventueel met aanvullende recirculatie) en vindt fosfaatafgifte plaats. Zoals eerder aangegeven in paragraaf 2.4.2 is het voorkomen van kortsluitstromen van groot belang en zijn daartoe propstroomcondities noodzakelijk.

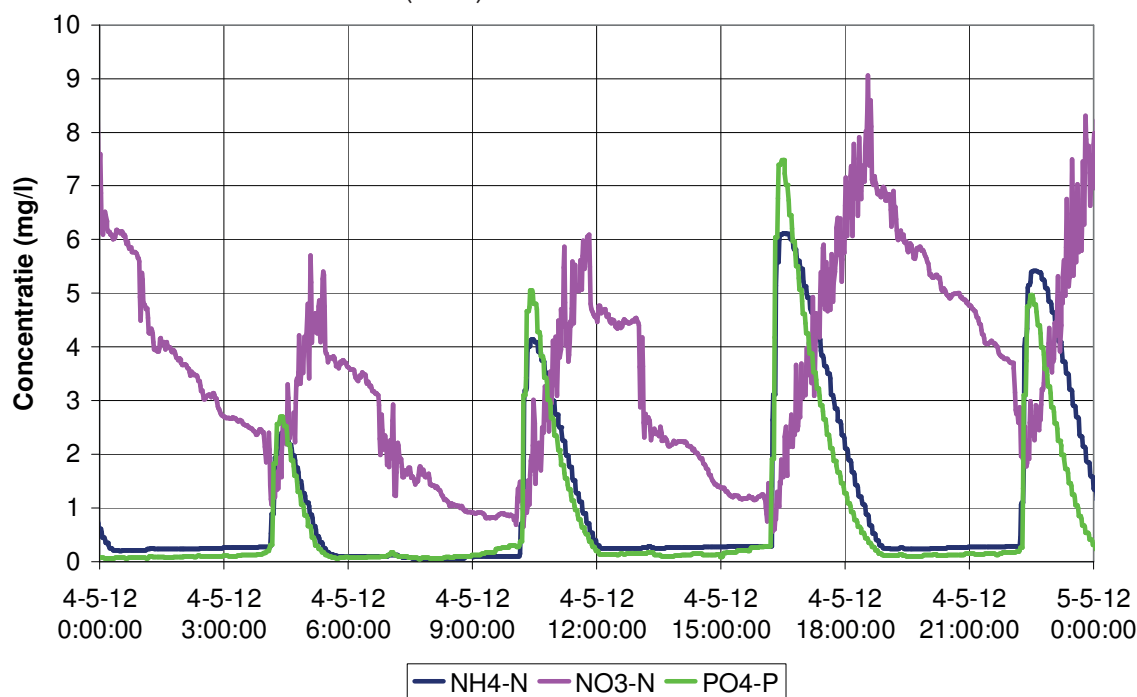
Nadat het afvalwater in de reactor is gebracht, wordt de beluchting gestart en vindt menging van de inhoud van de reactor plaats. Aan het begin van de beluchte fase zijn de concentraties aan CZV, stikstof en fosfaat het hoogst en tijdens de beluchte fase nemen deze concentraties af. Afhankelijk van de influentsamenstelling en beoogde c.q. vereiste effluentkwaliteit

kunnen de instellingen in de ANC worden aangepast. Zo kan bijvoorbeeld worden ingezet op maximale simultane denitrificatie en totaal N-verwijdering, gebruikmakend van de mogelijkheden om aan de binnenzijde van de korrel anoxische omstandigheden te creëren. Daarentegen kan ook worden ingezet op een snelle en complete nitrificatie en maximale fosfaatopname, waarmee aan het eind van een cyclus met de overgebleven en opgeslagen voedingsstoffen kan worden (na-)gedenitrificeerd.

Een dergelijke keuze kan ook worden gemaakt als sprake is van een verkorting van de cyclus bij RWA omstandigheden of bij effluenteisen die, anders dan in Nederland, zijn geformuleerd in termen van bijvoorbeeld een maximum van 0,5 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ als 90 of 95% percentiel. Hierbij dienen mogelijke effecten op de biologische fosfaatverwijdering (vergaand oxideren van opslagpolymeren) en verhoogde uitspoeling van zwevendstof (ten gevolge van denitrificatie) in acht te worden genomen. Bij de keuze voor een specifieke processturing wordt vanuit Nederlands perspectief in eerste instantie gekeken naar de totaal N-verwijdering. Hierbij worden tijdens de beluchte fase meestal zuurstofconcentraties van 1 – 2 mg/l toegepast, hetgeen in tegenstelling tot hogere concentraties ook een positieve invloed heeft op het energieverbruik (hoger deficit).

Een kenmerkend voorbeeld van het verloop van de biologische processen is weergegeven in Afbeelding 7. De gepresenteerde gegevens betreffen online data van 4 mei 2012 van de rwzi Epe tijdens een DWA situatie.

AFBEELDING 7 KENMERKEND DWA PROCESVERLOOP (RWZI EPE)



In de betreffende afbeelding is het verloop van de ammonium-, nitraat- en orthofosfaatconcentraties weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat de hoeveelheid nutriënten die per cyclus moet worden verwijderd, sterk uiteenloopt a.g.v. de hoeveelheid afvalwater die per cyclus sterk kan verschillen. Dat betekent ook dat de zuurstofvraag per cyclus uiteenloopt, hetgeen tot uitdrukking komt in de hoogte van de $\text{NH}_4\text{-N}$ piek aan het begin van de beluchte periode en de duur van deze periode. Het nitraatgehalte gedurende de beluchte fase loopt in dit voor-

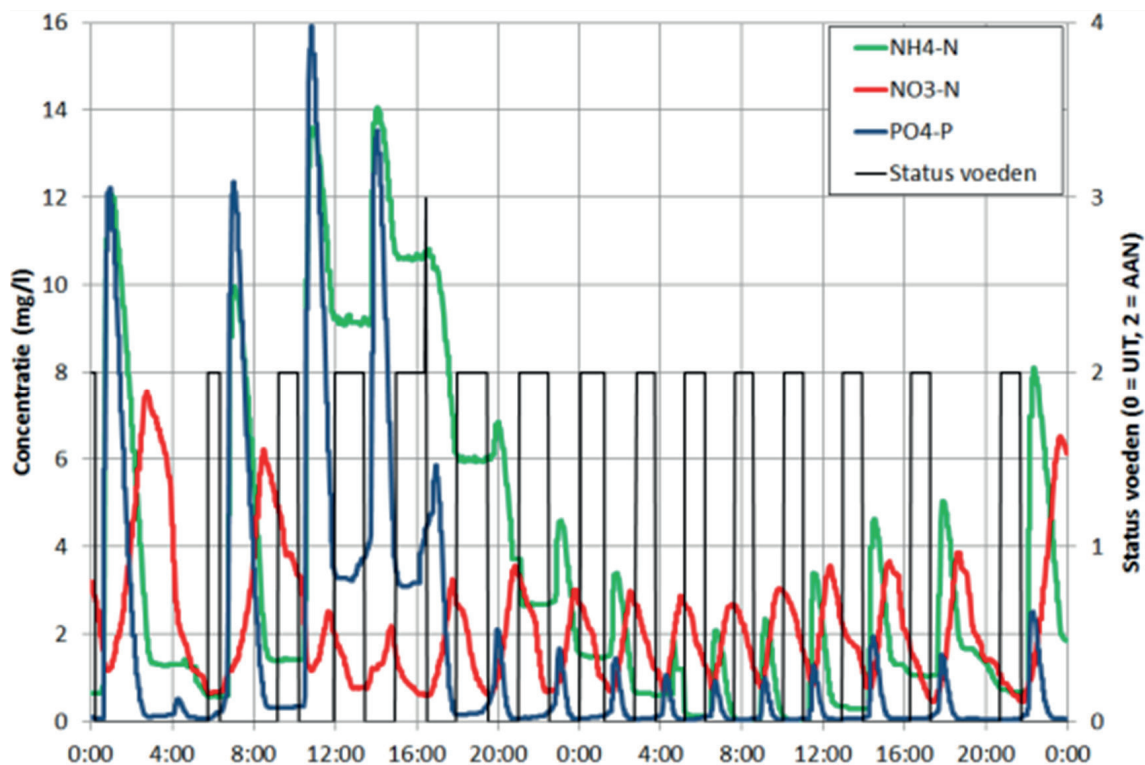
beeld op, maar dat betekent niet dat er geen simultane denitrificatie plaatsvindt. Gemiddeld vindt een aanzienlijk percentage van de denitrificatie tijdens de beluchting plaats, ofschoon dat niet een op een op basis van de online gegevens uit Afbeelding 7 kan worden geconcludeerd. In de eerste plaats bevat het influent naast ammonium stikstof namelijk ook een aanzienlijke hoeveelheid organisch gebonden stikstof. In de tweede plaats absorbeert ammonium stikstof tijdens de voedingsfase voor een significant deel aan het korrelslib en wordt dus ook niet door de online meetapparatuur gedetecteerd.

Zoals eerder aangegeven kan de resterende nitraat na de beluchting in een anoxische fase verder worden verwijderd. Dit proces is ook goed zichtbaar in Afbeelding 7 waar na de beluchtingsfase nog een significante reductie van de nitraatconcentraties zijn waar te nemen. Deze nadenitrificatie kan praktisch worden uitgevoerd met behulp van recirculatiepompen, danwel met roeders of veel eenvoudiger via het zo nu en dan aan- en uitschakelen van de beluchting. Het activeren van aanvullende denitrificatie vindt meestal plaats aan de hand van de metingen van de nitraatconcentratie en redoxpotentiaal, alsmede de resterende beschikbare tijd binnen de lopende cyclus.

Daar waar in eerste instantie op de verschillende Nereda® installaties is uitgegaan van een vaste cyclustijd, wordt als gevolg van de praktische mogelijkheden van de ANC in latere instantie ook gebruik gemaakt van de mogelijkheden om de cyclustijden (automatisch) te variëren. Dit kan zowel in de configuratie met als zonder DWA-buffertank en geeft vanzelfsprekend meer flexibiliteit voor een optimale benutting van de biologische verwerkingscapaciteit. Op de rwzi's te Dinxperlo en Garmerwolde wordt hierbij gebruik gemaakt van een relatief kleine buffertank, waardoor de cyclustijden in afhankelijkheid van de aanvoer automatisch worden verkort en verlengd. Omdat de Nereda® reactoren geschakeld zijn en de verwerking van influenttoevoer altijd moet zijn gewaarborgd, vraagt deze werkwijze een intelligente processturing. Hierbij wordt op de rwzi Garmerwolde zelfs gebruik gemaakt van een voorspelling van de toevoer, die uiteindelijk ook door het automatiseringssysteem wordt gecontroleerd aan de hand van de werkelijke aanvoer. In Afbeelding 8 is een kenmerkend procesverloop weergegeven voor de overgang van DWA naar RWA en omgekeerd. Het betreft online data afkomstig van de Nereda® installatie Garmerwolde over 16 en 17 november 2014. Over deze twee dagen is opvallend de zwaardere influentbelasting als gevolg van de "first flush" die als ammoniumpiek zichtbaar wordt en de lage N en P-concentraties nadat de "first flush" is weggewerkt. De variatie van de belasting van de installatie, uitgedrukt in de $\text{NH}_4\text{-N}$ piek bedraagt een factor 7! Let overigens bij de interpretatie van Afbeelding 8 wel op de momenten waarop het influent in de reactor wordt gepompt: "status voeden". Dan wordt ook het effluent (gelijktijdig) afgevoerd en kan dus op die momenten de effluentkwaliteit worden afgelezen, dit in tegenstelling tot de gepresenteerde (influent)pieken in de gegeven grafiek.

Bij korter wordende cyclustijden (van 6 naar 3 uur) kan de beluchtingsfase zo kort worden, dat in combinatie met een langdurige regenbui na een lange droogweelperiode rekening moet worden gehouden met een tijdelijk minder goede effluentkwaliteit, die voor enkele cycli zal gelden. Dit is niet zozeer een issue op die locaties waar een totaal N-eis wordt opgelegd, immers hier geldt een jaargemiddelde (zomer / winter eis) waarin de waarden van enkele cycli niet doortikken. Dat is echter anders als wordt gesproken over 90 tot 95% percentiel waarden. In Afbeelding 8 zijn in de tijdsperiode van 12 - 16 uur op 16 november 2014 twee cycli te herkennen waar een $\text{NH}_4\text{-N}$ effluentconcentratie van circa 10 mg/l wordt bereikt. De gemiddelde totaal- $\text{N}_{\text{anorganisch}}$ effluentconcentratie over de aangegeven twee dagen ligt echter op 5,4 mg/l, waarmee is aangetoond dat het effect van de "first flush" toch nog relatief gering is.

AFBEELDING 8 KENMERKEND PROCESVERLOOP BIJ DE OVERGANG VAN DWA NAAR RWA EN VICE VERSA

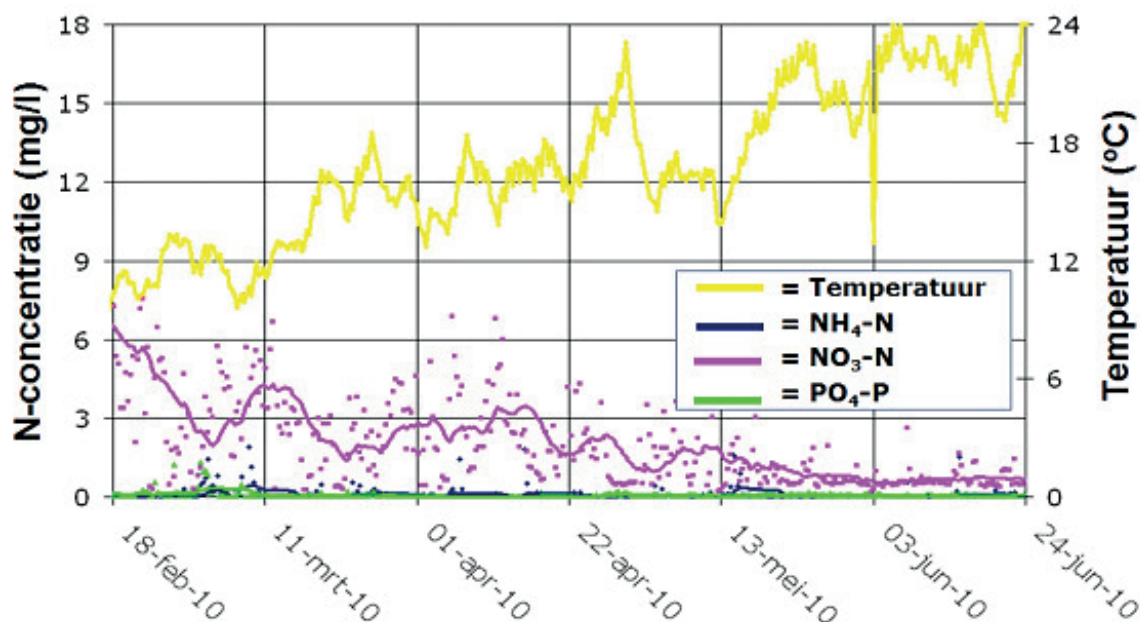


Wel moet in dit verband in het ontwerp van een Nereda® installatie rekening worden gehouden met voldoende zuurstofinbrengcapaciteit, omdat bij zware influentbelastingen a.g.v. de “first flush” ook een situatie kan ontstaan, waarbij tijdelijk de P-opname wordt belemmerd a.g.v. limitaties in de te bereiken zuurstofconcentratie. Ook dit effect is waarneembaar tijdens de eerder genoemde twee cycli in Afbeelding 8. Dit is overigens een fenomeen waar ook menig conventionele rwzi mee te maken heeft, maar waar in het Nereda® ontwerp juist bewust voor kan worden gekozen of niet.

Analyzers en metingen

In de gezamenlijke ontwikkeling van de Nereda® technologie is door het optimaal gebruik van online meetapparatuur een veel beter inzicht ontstaan in het verloop van en de samenhang tussen de verschillende biologische zuiveringsprocessen, op grond waarvan een sterke verbetering van de performance is ontstaan. Hierbij zijn vooral ammonium, nitraat en fosfaat analyzers toegepast, maar zijn ook de zuurstof- en redoxmeter ingezet. Ofschoon de toepassing van dergelijke meetapparatuur op de Nederlandse Nereda® installaties min of meer als vanzelfsprekend wordt beschouwd, hangt dit echter nauw samen met de influentkarakteristieken en effluenteisen. In zijn algemeenheid kan worden gesteld dat het inzet van deze meetapparatuur toeneemt, naarmate de eisen worden verscherpt. Dat het echter niet noodzakelijk is om in alle situaties de reactoren “vol” te hangen met apparatuur, mag blijken uit de pilotervaringen die zijn opgedaan op de rwzi Epe en de praktijk demonstratie-installatie op rwzi Gansbaai in Zuid-Afrika. Met alleen een relatief eenvoudige zuurstof- en redoxmeting worden ook hier uitstekende zuiveringsresultaten geboekt, zoals mag blijken uit Afbeelding 9.

AFBEELDING 9 ZUIVERINGSRESULTATEN PILOTINSTALLATIE EPE IN 2010 (ZUURSTOF- EN REDOXREGELING)



Naast een veel beter inzicht in de zuiveringsprocessen en de prestaties van de Nereda® technologie binnen afzonderlijke cycli, kent de toepassing van online apparatuur ook een keerzijde. Deze hangt vanzelfsprekend samen met het noodzakelijke onderhoud en de bijbehorende kosten. Onderhoud dient met regelmaat en op de juiste wijze te worden uitgevoerd. Meerdere waterbeheerders besteden dit onderhoud tegenwoordig uit aan de daartoe gespecialiseerde bedrijven. De betrouwbaarheid van dergelijke meetapparatuur kan op basis van langjarige praktijkervaring zonder twijfel worden omschreven als uitstekend. Recente ontwikkelingen laten bovendien zien dat de verkregen meetsignalen automatisch kunnen worden beoordeeld op betrouwbaarheid. Hiermee wordt ook in de ANC rekening gehouden.

Voor relatief kleine rwzi's kunnen de aanschaf- en onderhoudskosten van online meetapparatuur echter een belangrijk aandachtspunt zijn. In dat kader wordt binnen de verdere ontwikkeling van de Nereda® technologie ook gekeken naar kostengunstiger alternatieven in de vorm van sensoren. Hiermee is ondermeer ervaring opgedaan op de rwzi Garmerwolde. Een vergelijking tussen online analyzers en sensoren van HACH zijn in Afbeelding 10 en Afbeelding 11 weergegeven. Bij tijdig onderhoud en een correcte kalibratiemethode blijken de resultaten goed overeen te komen. Hierbij moet wel worden aangetekend dat de uitgevoerde kalibratie(s) met behulp van de waarden van de online analyzers is (zijn) verricht. Vooralsnog is onder praktijkcondities en op langere termijn het gebruik van deze sensoren nog onvoldoende betrouwbaar gebleken.

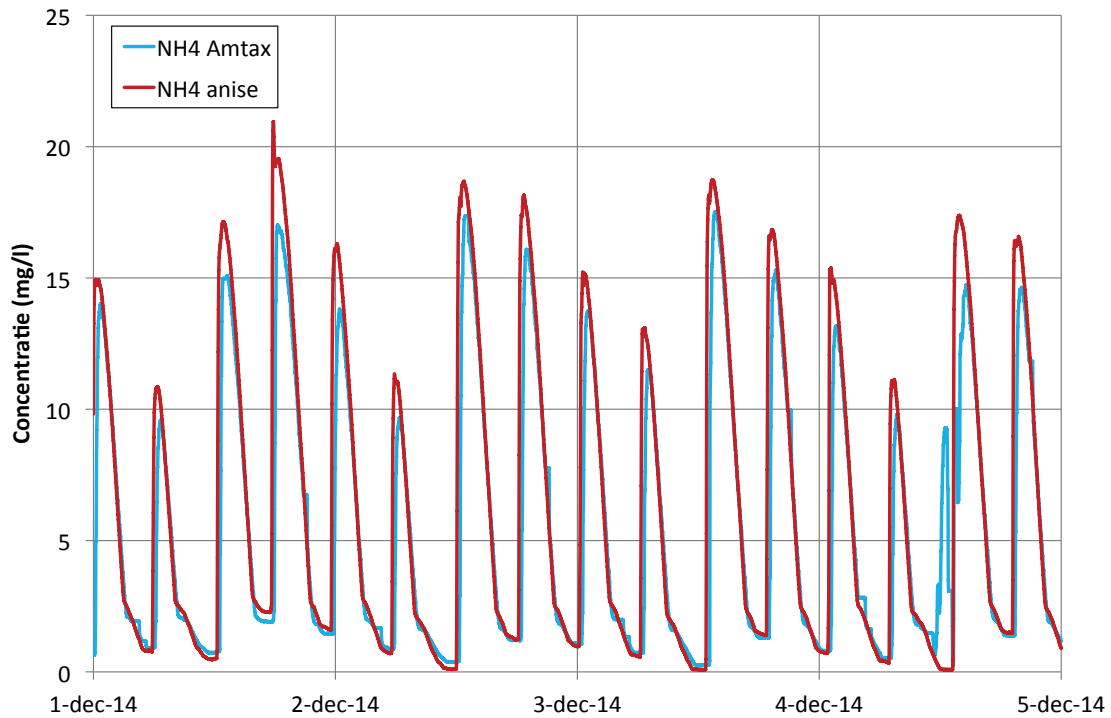
Overigens is de toepassing van sensoren ook interessant vanuit een oogpunt van wachttijd. Daar waar bij toepassing van online analyzers moet worden rekening gehouden met een wachttijd van 5 tot 15 minuten, staat het signaal van sensoren direct ter beschikking.

Naast het hiervoor aangegeven noodzakelijk onderhoud aan online analyzers en sensoren (indien voor deze voorzieningen wordt gekozen), is er juist minder onderhoud nodig voor procesonderdelen die op een Nereda® installatie ontbreken (nabezinktanks, retourslibpompen, meng- en voortstuwingsapparatuur, etcetera).

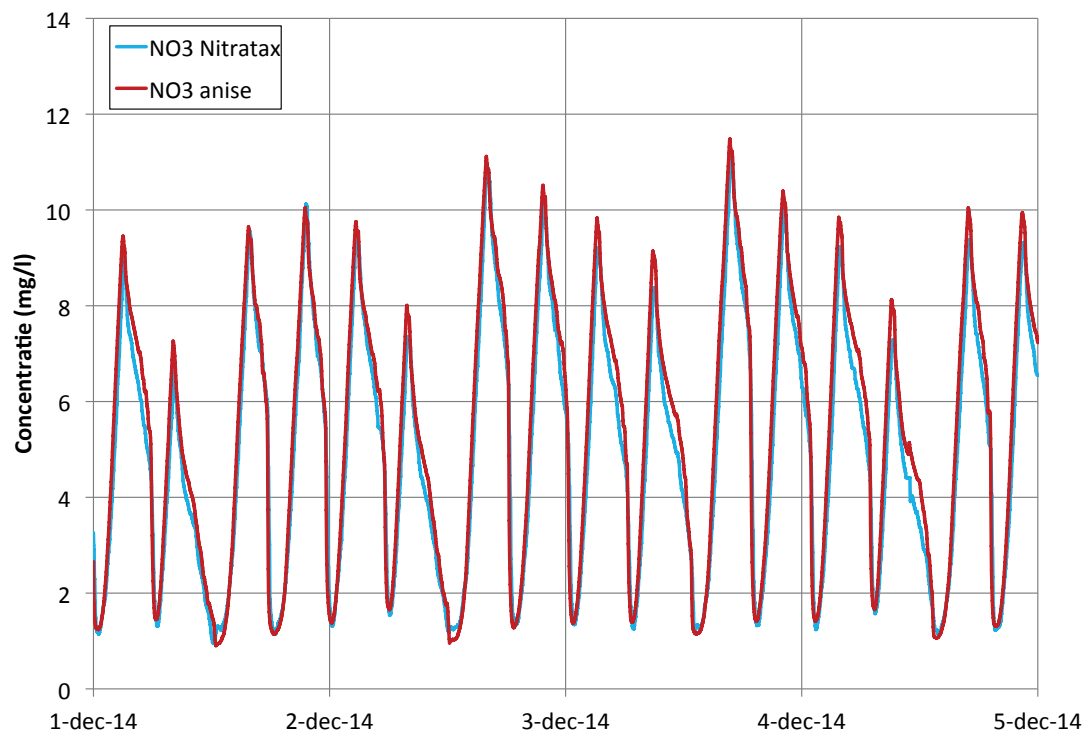
In vergelijking met actiefslib-systemen is op Nereda® installaties tijdens de opstartfase vanuit actiefslib wel rekening te houden met aanvullende metingen. Belangrijk hierbij is het verkrijgen van inzicht in het verloop c.q. de groei van de korrelpopulatie door de regelmatige uitvoering van korrelgrootte analyses (zie Afbeelding 12). Een dergelijke analyse wordt

verkregen door de uitvoering van een zeeffractionering, die voor de bedrijfsvoering een extra belasting vormt en nauwkeurig moet worden uitgevoerd. Deze fractionering is overigens alleen relevant als het slibbed nog in de opbouwfase verkeert. Als het korrelbed eenmaal volwassen wordt, kan de procesvoering volstaan met de standaard bepalingen van (O)DS en slibvolume. Voor een representatieve monstername dient wel rekening te worden gehouden met de goede bezinkeigenschappen van korrelslib, zoals eerder aangegeven.

AFBEELDING 10 VERGELIJKING "AMTAX" ONLINE ANALYZERS EN "ANISE" SENSOR (HACH)



AFBEELDING 11 VERGELIJKING "NITRATAX" ONLINE ANALYZERS EN "ANISE" SENSOR (HACH)



AFBEELDING 12 UITVOERING VAN EEN ZEEFRACTIONERING OP DE RWZI VROOMSHOOP



Opbouw en onderhoud korrelslibbed

Tijdens de opstart van de Nereda® installaties in Nederland is veel aandacht geschonken aan de wijze waarop een korrelbed wordt opgebouwd. De selectie van de juiste biomassa in de juiste vorm is hierbij van groot belang en kan enige tijd in beslag nemen. Over de verschillende slibspuimethoden en de ervaringen die hiermee zijn opgedaan gedurende de opstart van de Nereda® installaties in Nederland wordt ingegaan in paragraaf 4.2.

Tijdens het SOON overleg is aan dit onderwerp uitgebreid aandacht besteed en is de opbouw van het korrelbed bewust op de verschillende installaties op diverse manieren tot stand gebracht. Hiertoe zijn regelmatig zeeffractioneringen uitgevoerd van het korrelslib in de reactoren en in het spuislib. Bij een opstart met korrelslib als ent speelt deze selectie niet en blijkt een opstartfase zich te beperken tot het ontnemen van korrelslib of het geproduceerde spuislib, dat inmiddels ook korrelachtige eigenschappen heeft verkregen uit de “moederinstallatie en vervolgens het transporteren naar en vullen van de nieuwe installatie, waarna het biologisch proces per direct kan starten.

Alle huishoudelijke Nereda® installaties in Nederland hebben een volgroeid korrelbed. Naast het spuislib worden ook korrels geproduceerd, die worden gebruikt voor enting van andere installaties. De groei van korrelslib blijkt in de praktijk te kunnen leiden tot situaties waarin slibconcentraties $> 15 \text{ kg/m}^3$ voorkomen.

2.6 STAND VAN ZAKEN ANNO 2016

Naast de hiervoor aangegeven verdere ontwikkelingen van de technologie in Nederland wordt eveneens een “push” hiertoe uit buitenlandse ontwerpen en toepassingen verkregen. De omstandigheden waaronder de Nereda® technologie in het buitenland moet worden toegepast, zijn soms zeer verschillend van die in Nederland. Onderstaand is een kort overzicht geschetst zodat een indruk kan ontstaan over het toepassingsbereik van de technologie.

Allereerst wordt deze gerealiseerd op locaties waar de klimatologische omstandigheden sterk afwijken van die uit Nederland. Dat betekent dat rwzi's worden ontworpen op locaties waar langdurig lage procestemperaturen heersen $< 10^\circ\text{C}$ (Scandinavië), maar ook waar een minimale procestemperatuur $> 20^\circ\text{C}$ wordt verwacht (Brazilië). De Nereda® technologie

wordt in Nederland vaak uitgelegd op een relatief hoge RWA/DWA verhouding, daar waar in het buitenland vaak gescheiden rioolstelsels voorkomen of sprake is van een aftopping van de zuivering van afvalwater boven een bepaald maximum. Overigens ligt het drinkwaterverbruik in sommige buitenlandse landen relatief hoog ten opzichte van Nederland, waardoor het eerder genoemde voordeel van een lage RWA/DWA verhouding weer (deels) teniet wordt gedaan.

Verder worden de (technologische) ontwikkelingen van de technologie mede gestuurd vanuit anders geformuleerde effluenteisen. In Nederland wordt de zuiveringsbeheerder afgerekend op gemiddelde jaarlijkse eisen. Dit geeft de beheerder enige flexibiliteit in de momentane zuiveringsprestaties en hierop wordt het ontwerp van een rwzi dan ook afgestemd. In het buitenland worden effluenteisen soms ook geformuleerd op basis van percentielwaarden van daggemiddelde monsters of zelfs steekmonsters. Met name bij gebruik van steekmonsters dient de wijze van ontwerpen en sturen van een installatie wezenlijk anders te worden ingevuld dan bij gebruik van maand/seizoens- of jaargemiddelde normering.

Nereda® toepassingen in het buitenland worden door RHDHV in samenwerking met lokale partners opgezet. Deze partners kenmerken zich vaak door het feit dat zij naast een verantwoordelijkheid voor de realisatie van de installaties, ook het beheer en onderhoud voor een langere periode van 5 – 20 jaar moeten verzorgen. Inmiddels zijn in diverse landen partnerships gesloten met de volgende bedrijven (status eind 2016):

- Aquatec Maxcon in Australië
- (voorheen) Imtech in Engeland en Schotland
- EPS Water in Ierland
- Odebrecht Ambiental in Brazilië
- VA Tech WABAG in India
- WABAG Water Technology in Zwitserland
- Acciona Agua in Spanje en Portugal
- WEC Projects in Zuid Afrika

Het aantal samenwerkingen zal de komende jaren naar verwachting verder toenemen. In de genoemde landen zijn inmiddels vele tientallen Nereda® installaties in ontwerp, aanbouw of bedrijf. De grootste installatie in ontwerp/aanbouw betreft de rwzi Ringsend met een capaciteit van 2.400.000 v.e., die het afvalwater van de stad Dublin zuivert.

Ook in Nederland worden anno 2016 huishoudelijke Nereda® installaties ontworpen en gerealiseerd. Naast de huishoudelijke installaties wordt de technologie al sinds 2004 toegepast voor de zuivering van industrieel afvalwater en worden in binnen- en buitenland diverse installaties ontworpen en gerealiseerd. Daarbij loopt het toepassingsbereik van afvalwaterzuivering voor bedrijven in de voedingsmiddelen tot aan de chemische industrie. Met name de robuustheid van de technologie is een aansprekend voordeel bij de toepassing binnen de laatstgenoemde sector.

Vanzelfsprekend is de praktijktoepassing in Nederland vaak niet voldoende om partijen in het buitenland te overtuigen van de mogelijkheden in eigen land. Dat is dan ook de reden dat een groot aantal pilot- en demo installaties werd gerealiseerd en bedreven. De meest bekende voorbeelden zijn de demo-installaties in Gansbaai (ZA) en Frietas (P), die belangrijk zijn geweest voor de verdere opschaling van de technologie in Nederland. Naast een aantal industriële pilotinstallaties wordt in diverse landen een (vergelijkend) onderzoek uitgevoerd met

pilotinstallaties. De grootte daarvan is meestal gelijk aan die van de toegepast pilotinstallaties in Nederland ($5 \text{ m}^3/\text{d}$), soms wordt echter een aanzienlijk grotere pilotinstallatie gebruikt met een capaciteit van $300 \text{ m}^3/\text{d}$, zoals in Australië. De grootste (proef)installatie is gerealiseerd als prototype in Utrecht ($1.500 \text{ m}^3/\text{d}$) met als belangrijkste doel om de technologie voor lokale toepassing aan te tonen. De installatie is sedert 2013 in bedrijf (zie Afbeelding 13 en paragraaf 3.4) en sedert april 2015 in beheer bij Royal HaskoningDHV met het doel om de technologie verder te ontwikkelen en in te zetten voor Nereda® educatie.

AFBEELDING 13 NEREDA® DEMONSTRATIE INSTALLATIE RWZI UTRECHT



2.7 CONCLUSIES

Op initiatief van de TU Delft heeft fundamenteel wetenschappelijk onderzoek geleid tot de belangrijke beginselen van aerobe korrelvorming voor de zuivering van afvalwater. Samen met Royal HaskoningDHV, STOWA en Nederlandse waterbeheerders is de technologie verder ontwikkeld en inmiddels op ruime schaal succesvol in de praktijk toegepast. De verkregen inzichten zijn omgezet in het Nereda® proces, dat zich kenmerkt door een batchgewijze procesvoering en waarbij optimaal gebruik wordt gemaakt van de goede bezinkeigenschappen van korrelslib. Daardoor kan het Nereda® proces ook worden toegepast bij hoge RWA/DWA verhoudingen, zoals in Nederland gebruikelijk. In vergelijking tot traditionele continue systemen kan daardoor met minder energie, chemicaliën en ruimte afvalwater worden gezuiverd, hetgeen bovendien leidt tot lagere investeringen en operationele kosten.

De ontwikkeling van de technologie van laboratorium- naar praktijkschaal heeft binnen het NNOP een aantal belangrijke mijlpalen gekend. De stap naar de eerste praktijkinstallatie te Epe is daarvan zondermeer de belangrijkste. Verschillende opschalingsaspecten zijn op deze installatie nader onderzocht en zijn ondermeer aanleiding om de ontwerpen van andere installaties verder te optimaliseren. Ook de ontwikkeling van de ANC blijkt belangrijk te zijn geweest voor een eenvoudige en robuuste processturing van de technologie en maakt een vergaande verwijdering van nutriënten mogelijk. Nu kan automatisch rekening worden

gehouden met sterk variërende belastingen op een rwzi, waarbij zelfs gebruik wordt gemaakt van voorspellingen in de afvalwateraanvoer.

Inmiddels zijn diverse procesconfiguraties voor de Nereda® technologie ontwikkeld en is het toepassingsgebied sterk verbreed. Naast de diverse varianten voor de “groene weide” toepassing, wordt vooral veel verwacht van de toepassing in bestaande installaties. De toegevoegde waarde van de technologie zal zich hier zeker gaan bewijzen, nog meer dan in groene weide situaties. Dat geldt naar verwachting ook voor de hybride toepassing van de technologie zoals deze op de rwzi Vroomshoop voor het eerst is toegepast, en waarbij gebruik is gemaakt van het “enteffect” van het Nereda® spuislib.

Uit de ontwerpen van en praktijkervaringen met de Nederlandse Nereda® installaties is gebleken dat de ontwerpgrondslagen, die in eerste instantie zijn ontleend aan de actief slib-technologie, welliswaar conservatief veilige ontwerpenwaarden zijn, maar fundamenteel minder van toepassing zijn op de korrelslibtechnologie. Doordat de processen in korrelslib beter kunnen worden vergeleken met die in slib op dragersystemen, kunnen de ontwerpgrondslagen na de eerste Nederlandse ontwerpen aanzienlijk worden verscherpt. Verschillende ontwerpaspecten zoals slibbelasting, zuurstofinbreng en enkele hydraulische parameters zoals ER en vulsnelheid zullen op basis van meer praktijkervaring in diverse klimatologische omstandigheden en voortschrijdend applicatieonderzoek, de komende tijd verder invulling krijgen.

Op basis van diezelfde praktijkervaring heeft een inventarisatie plaatsgevonden naar de ervaring met betrekking tot de proces- en bedrijfsvoering van een Nereda® installatie. Vanzelfsprekend is bij de waterbeheerder die gewoon is actiefslibsystemen te bedienen, een periode van gewinning noodzakelijk om te leren omgaan met een batch- en korrelstelsel. De processturing is door het batch karakter overzichtelijker en biedt via de ANC de mogelijkheid om instantaan de biologische processen te volgen en naar de wens van de bedrijfsvoering te optimaliseren. Op basis van praktijkervaringen wordt een verdere optimalisatie van de ANC doorgevoerd. Omdat de installaties in Nederland bewust worden voorzien van de nodige meetsensoren en analyzers om inzicht te krijgen in de processen en besturing op afstand mogelijk te maken, is het tijdig en juist uitvoeren van onderhoud aan dergelijke apparatuur van belang.

De ervaring is daarnaast dat algemeen onderhoud aan een Nereda® installatie minder is, eenvoudigweg omdat deze minder procesonderdelen bevat. Aspecten binnen de procesvoering die wel specifiek aandacht behoeven, zijn bijvoorbeeld een representatieve slibmonstername (welke met snel bezinkbare korrels lastiger is dan bij actiefslib) en zeeffractioneringen, vooral tijdens de opstartfase. Bij de opstart met actiefslib dient de procesvoering een selectie van de juiste biomassa te bewerkstelligen. Dit vraagt om kennis van zaken en neemt enige tijd in beslag. Dit is natuurlijk niet van toepassing op het moment dat kan worden geënt vanuit een bestaande Nereda® installatie. Inmiddels is er in Nederland sprake van installaties met een volwassen korrelbed, die al worden ingezet voor de directe opstart van installaties in en buiten Nederland.

Door ontwerp, realisatie en ingebruikname van installaties in het buitenland wordt de ontwikkeling van de technologie verder gebracht, omdat het toepassingsgebied en de lokale omstandigheden en eisen sterk van die in Nederland kunnen afwijken. Royal HaskoningDHV realiseert installaties in andere landen met lokale partners en breidt dit netwerk de komende

jaren uit. Inmiddels worden met deze partners pilotinstallaties bedreven en tientallen installaties gerealiseerd. De komende jaren zal naar verwachting de “installed base” sterk uitbreiden. Hierbij wordt de Nederlandse watersector sterk betrokken door samen met Wateropleidingen een internationaal Nereda® leerhuis te ontwikkelen, met de TU Delft de toepassing van de Nereda® technologie verder te verbreden, en met de Nederlandse waterbeheerders de opstart van buitenlandse installaties te verzorgen.

3

NEREDA® INSTALLATIES

3.1 INLEIDING

Ten tijde van het SOON-traject (2013-2014) zijn er in Nederland 5 Nereda® installaties in bedrijf. In dit hoofdstuk zijn in kort bestek de karakteristieken en resultaten van deze installaties beschreven. Per installatie wordt achtereenvolgens ingegaan op het ontwerp, lokaal verrichte onderzoeken en de behaalde zuiveringstechnische resultaten. Ten aanzien van deze resultaten wordt in hoofdstuk 3 een feitelijke weergave gepresenteerd, zonder daarbij data weg te laten. Hierbij moet echter worden beseft dat gedurende langere tijd op verschillende installaties specifiek onderzoek heeft plaatsgevonden, waardoor de zuiveringstechnische resultaten zijn beïnvloed. In hoofdstuk 4 zal hier soms op worden ingegaan, e.e.a. afhankelijk van de relevantie daartoe. In Tabel 2 is een overzicht gegeven van de belangrijkste uitgangspunten en ontwerpkenmerken van de betreffende installaties. De actuele belastinggegevens van de verschillende installaties zijn weergegeven in Tabel 3.

TABEL 2 ONTWERPKARAKTERISTIEKEN VAN DE 5 NEDERLANDSE NEREDA® INSTALLATIES

Parameter	Eenheid	Epe	Utrecht	Garmerwolde	Vroomshoop (Nereda®-deel)	Dinxperlo
In bedrijf sinds		09/2011	03/2013	06/2013	06/2013	11/2013
Ontwerpcapaciteit						
Vervuilingseenheden	v.e. (150 g TZV)	53.500	10.000	140.000	11.300	15.730
RWA	m³/h	1.500	125	4.200	100	570
DWA	m³/h	560	50	820	58	200
Dagdebiet	m³/d	8.000	1.200	28.000	1.400	3.100
Effluenteisen						
Stikstof (jaargemiddeld)	mg N _{totaal} /l	8 / 12 ¹⁾	n.v.t.	7	10	7
Fosfaat (jaargemiddeld)	mg P _{totaal} /l	0,3 / 0,5 ¹⁾	n.v.t.	1	2	0,5
Configuratie						
Influentbuffer	-	-	+ (riool)	+	+	+
Aantal Nereda tanks	-	3	1	2	1	3
Volume elk	m³	4.500	1.000	9.500	1.350	1.250
Zandfilters	-	+	-	-	-	+
Hybride-installatie	-	-	-	-	+	-

1) Voor de rwzi Epe gelden zomer- en wintergemiddelde waarden. Voor stikstof geldt daarnaast een jaargemiddelde eis van 10 mg N/l.

TABEL 3 ACTUELE BELASTINGGEGEVENS VAN DE 5 NEDERLANDSE NEREDA® INSTALLATIES

Parameter	Eenheid	Epe	Utrecht	Garmerwolde	Vroomshoop (Nereda®-deel)	Dinxperlo
Ontwerpbelasting	v.e. (150 g TZV)	53.500	10.000	140.000	11.300	15.730
Actuele belasting	v.e. (150 g TZV)	35.100	9.000	135.000	11.300	14.150
	% van ontwerp	65	90	95	100	90
Slibgehalte	kg DS/m³	2,5-3,5	>8	>8	>8	7
Slibbelasting (biologisch)	kg CZV/(kg DS.d)	0,15	0,16	0,27	0,15	0,08

3.2 RWZI EPE

3.2.1 ONTWERP EN DIMENSIONERING

De bestaande rwzi Epe is een conventioneel hoogbelast actiefslibstelsysteem en kan na ruim 40 jaar niet meer aan de hedendaagse eisen voldoen. Naast een forse aanscherping van de effluenteisen zijn ook het vóórkomen van slibuitspoelingen, het verminderen van geuroverlast en het voldoen aan de afnameverplichting belangrijke doelstellingen om de bestaande installatie te vervangen. De rwzi Epe wordt ontworpen voor een capaciteit van 53.500 v.e. à 150 g TZV en 1.500 m³/h. Kenmerkend voor de installatie is het relatief hoge aandeel industrieel afvalwater afkomstig van slachterijen (30% op v.e.-basis). Nadat de oude rwzi in januari 2012 uit bedrijf is genomen, behandelt de rwzi Epe al het aangevoerde afvalwater met de nieuw gerealiseerde Nereda® installatie.

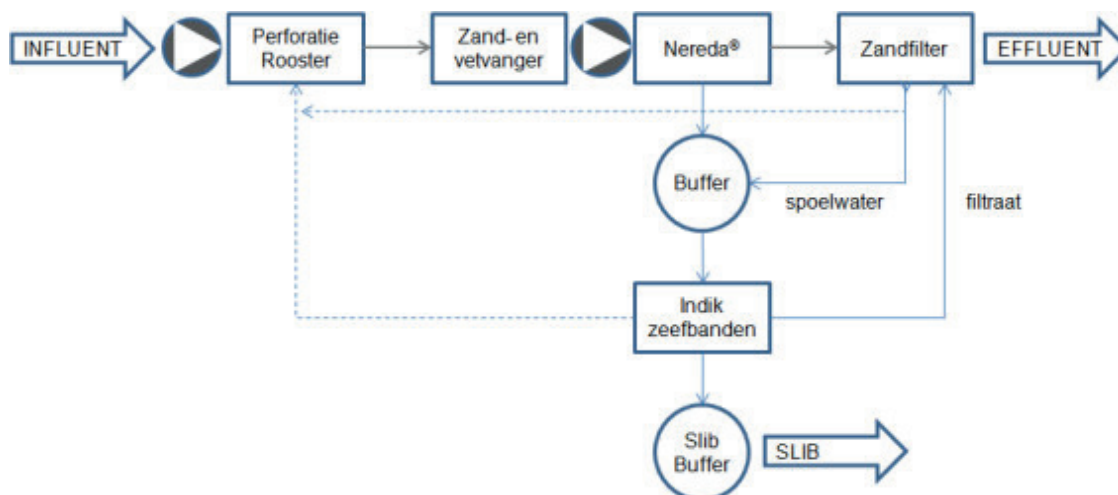
Met betrekking tot de effluenteisen is Waterschap Vallei en Veluwe uitgegaan van een verdergaande N- en P-verwijdering dan in de AmvB Afvalwater is opgenomen. De installatie wordt ontworpen voor een N_{totaal} en P_{totaal} effluentconcentratie van respectievelijk 8 mg N/l en 0,3 mg P/l, beiden als gemiddelde voor de zomerperiode. De streefwaarden van het waterschap zijn nog scherper met 5 mg N/l en 0,2 mg P/l, terwijl voor de winter periode waarden van 12 mg N/l en 0,5 mg P/l worden aangehouden.

Vanwege deze strenge effluenteisen c.q. streefwaarden is in Epe een nabehandeling met zandfilters voorzien. Op de zandfilters kan metaalzout worden gedoseerd voor verdergaande fosfaatverwijdering. Afbeelding 14 toont een luchtfoto van de rwzi Epe met op de voorgrond de drie Nereda® reactoren en de zandfilters. Een blokschema is opgenomen in Afbeelding 15. De dimensies van de belangrijkste procesonderdelen zijn samengevat weergegeven in Tabel 4.

AFBEELDING 14 OVERZICHT RWZI EPE



AFBEELDING 15 BLOKSCHEMA RWZI EPE



TABEL 4 PROCESONDERDELEN RWZI EPE

Onderdeel		Eenheid	Waarde	Opmerking
Fijnzeven	Maaswijdte	mm	3	Perforatierooster, ronde gaatjes
Tussengemaal	Capaciteit	m ³ /h	1.740	3 (+1) pompen
Nereda®	Aantal tanks	-	3	
	Volume elk	m ³	4.500	Rond
	Diepte	m	9,2	
	Diameter	m	25	
Zandfilters	Aantal	-	4	
	Type	-	Discontinuu	Met vlokingsfiltratie
Slibbuffer	Volume	m ³	225	
Slibindikker	Type	-	Bandindikker	

3.2.2 ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Op de Nereda® installatie in Epe is uitgebreid KRW-onderzoek verricht waarvan de opzet en resultaten uitgebreid zijn beschreven [4]. Tijdens dit onderzoek zijn de volgende deelstudies uitgevoerd:

- Hydraulisch onderzoek naar het propstroomkarakter in de Nereda® reactor tijdens voeden en maximaal toepasbare exchange ratio;
- Energetisch onderzoek naar de (optimalisatie van) energieverbruik, inclusief alfa-factor metingen;
- Microbiologisch onderzoek naar korrelvorming en samenstelling van korrelslib;
- Emissiemetingen naar de broeikasgassen CH₄ en N₂O;
- Bemonsteringsprogramma naar de werking van de voorbehandeling;
- Pilotonderzoek naar de mogelijkheden van effluentnabehandeling m.b.v. Fuzzy- en Discfiltratie in vergelijking met het op Epe geïnstalleerde discontinue zandfilter;
- Uitgebreid analyseprogramma naar specifieke micro-componenten;
- Onderzoek naar de indikking en ontwaterbaarheid van Nereda® slib.

Voor de resultaten wordt verwezen naar de eerder aangegeven STOWA referentie. Op de rwzi is verder aandacht besteed aan de functie en noodzaak van de geïnstalleerde hyperboloïde mengers. Per reactor zijn vier van dergelijke mengers geïnstalleerd met het doel om enerzijds een (tijdens dit eerste praktijkontwerp niet geheel uit te sluiten) risico op slibbezinking te voorkomen en anderzijds mengcapaciteit te hebben voor extra denitrificatie. Sinds de inbe-

drijfstelling van de installatie is deze vorm van menging echter nooit toegepast. Hiervoor wordt altijd gebruik gemaakt van de beluchtingsapparatuur en zijn de beoogde effecten toch altijd behaald. Al in 2012 is daarom geconcludeerd dat de hyperboloïde mengers niet nodig zijn en is in geen enkele andere Nereda® reactor een dergelijke unit meer geïnstalleerd. Medio 2013 zijn dan ook vier mengers uit één van de drie Nereda®-reactoren op Epe weggehaald, teneinde te onderzoeken of de aanwezigheid van de mengers invloed heeft op de werking van de reactor. Het influentleidingwerk en de beluchtingselementen zijn op Epe zo gelijkmatig mogelijk over de bodem van de reactor verdeeld, met uitzondering van de locaties ter plaatse van de mengers. De mogelijk negatieve impact hiervan op de zuurstofoverdracht (energieverbruik) en de toelaatbare exchange ratio zijn nader bekeken.

3.2.3 RESULTATEN

Opstart

In september 2011 is de eerste Nereda® reactor opgestart. Deze reactor is geënt met slib van de bestaande conventionele installatie, dat via fijnzeven eerst is ontdaan van grof roostergoed. Tijdens de opstartperiode is de oude rwzi in bedrijf en behandelt het afvalwater dat nog niet in de Nereda® installatie wordt verwerkt. In november 2011 en januari 2012 worden de tweede en derde reactor opgestart, waarna de oude rwzi uit bedrijf is genomen. Vanaf dat moment behandelt de nieuwe rwzi Epe al het aangevoerde afvalwater en voldoet het Waterschap aan de afnameverplichting van maximaal 1.500 m³/h. Gezien de robuuste bedrijfsvoering en de uitstekende zuiveringsresultaten sloopt het Waterschap Vallei en Veluwe nog in 2012 de nabezinktank van de oude rwzi. De oude beluchtingstanks blijven dit lot bespaard, omdat een inzet als randvoorziening in samenwerking met de Gemeente Epe voor ogen staat.

Gedurende de opstart van de Nereda® installatie wordt de korrelvorming nauwlettend gevolgd. Hiertoe worden eens per week monsters uit de Nereda® installatie opgestuurd naar het laboratorium in Delft, waar het wordt onderzocht op deeltjesgrootte en samenstelling. Medio 2012 is de korrelvorming nog in volle gang en verloopt de opbouw van het korrelslib bed enigszins trager dan verwacht, mede door de relatief lage slibbelasting van de installatie. Ofschoon het slib visueel nog niet als volgroeid korrelslib kan worden aangemerkt, is er wel duidelijk sprake van korrelslibeigenschappen. Dit blijkt ondermeer uit de snelle bezinking en het geringe verschil tussen SVI₅ en SVI₃₀. Uit ervaringen op de demonstratie installatie te Frielas (Portugal) blijkt inmiddels dat de constructie van de internals een significant effect kan hebben op het korrelselectieproces. Op grond van deze ervaringen worden in Epe begin 2013 technisch aanpassingen doorgevoerd.

Anno 2015 wordt het karakter van het korrelslib op rwzi Epe vooral bepaald door de specifieke procesparameters i.e. slibselectiedruk, welke door waterschap Vallei en Veluwe aan het korrelslibbed wordt opgelegd. Als gevolg van een zeer hoge selectiedruk (20 m/h) blijft het korrelbed relatief laag in concentratie (ten gunste van energieconsumptie en bio-P proces) en de korreldiameter relatief klein.

Influent- en effluent

De verificatiemetingen voor de rwzi Epe zijn in april / mei 2012 verricht en zijn gerapporteerd in [4]. De resultaten zijn overtuigend en de installatie voldoet daarmee ruimschoots aan de gestelde eisen, niet alleen qua effluentkwaliteit maar eveneens voor de andere gegarandeerde parameters als energie- en chemicaliënverbruik. Kenmerkende prestaties van de rwzi Epe ná deze garantiefase zijn weergegeven in Tabel 5. Hierin zijn de gemiddelde influent- en effluent-

concentraties over 2014 samengevat. Ook hieruit blijkt dat aan de (gemiddelde) effluenteisen wordt voldaan.

Slibproductie

De gemiddelde slibproductie op de rwzi Epe wordt op basis van de draaiuren van de band-indikkers en het gemiddelde drogestofgehalte van het ingedikte slib voor de (representatieve) periode januari tot september 2014 bepaald op 1.245 kg DS/dag. Rekening houdend met de chemische slibproductie volgt een biologische slibproductie van 1.180 kg DS/d. De slibproductie op basis van een globale fosfaatbalans levert een gemiddelde slibproductie van 1.330 kg DS/d en 1.300 kg DS/d rekening houdend met de chemische slibproductie. Op basis van beide benaderingen wordt voor de rwzi Epe een biologische productie van 1.240 kg DS/dag aangehouden. Uitgedrukt in specifieke kentallen bedraagt de slibproductie 0,35 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 33 g DS/(v.e.150.d).

TABEL 5 GEMIDDELTE INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING RWZI EPE (2014)

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent Nereda ¹⁾	Effluent Zandfilters	Effluenteis
CZV	mg/l	829	-	39	125
BZV (gemiddeld / maximaal)	mg/l	330	-	3	7 / 15
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	298	-	6 ²⁾	30
N _{kj}	mg/l	78	-	3,2	-
NH ₄ -N	mg/l	-	2,1	-	-
NO ₃ -N	mg/l	-	2,8	2,7	-
N _{totaal} (zomer / winter / streefwaarde)	mg/l	-	-	6,0	8 / 12 / 5
P _{totaal} (zomer / winter / streefwaarde)	mg/l	8,6	-	0,32	0,3 / 0,5 / 0,2
P _{ortho}	mg/l	-	0,26	0,16	-

1) Het effluent van de Nereda wordt niet apart bemonsterd. In deze kolom zijn de jaargemiddelde waarden o.b.v. de on-line analysers weergegeven

2) De detectiegrens bedraagt 5 mg/l

Energieverbruik

De al eerder genoemde verificatietesten zijn in 2012 uitgevoerd om de afgegeven garanties ten aanzien van onder andere het energieverbruik te verifiëren. Het energieverbruik bedraagt in deze periode 21,3 kWh/(v.e.150_{verwijderd}jaar), hetgeen onder de garantiewaarde ligt van 22,7 kWh/(v.e.150_{verwijderd}jaar) bij een volbelaste installatie. In deze periode bedraagt de actuele belasting op de rwzi Epe echter circa 70% van de ontwerpcapaciteit. Een energieverbruik van 16,3 kWh/(v.e.150_{verwijderd}jaar) wordt op basis daarvan berekend bij een volbelaste rwzi Epe.

Het energieverbruik van de rwzi Epe over 2014 is weergegeven in Tabel 6. Hierbij is onderscheid gemaakt naar het verbruik van de verschillende procesonderdelen. Het specifieke energieverbruik is berekend op basis van de jaargemiddelde verwijderde v.e.'s (33.200 v.e.) en het jaargemiddelde influentdebiet (5.200 m³/d). Het energieverbruik van de sliblijn en de zandfilters is niet apart op te splitsen en maakt deel uit van de post overige. De grootste energieverbruikers op rwzi Epe zijn daarmee de beluchting en de overige verbruikers. Opvallend is dat het specifieke energieverbruik aanzienlijk is toegenomen ten opzichte van de metingen tijdens de verificatieperiode. Het totale energieverbruik over beide perioden is absoluut gezien vergelijkbaar, maar de belasting ligt in 2014 aanzienlijk lager. Mede als gevolg van de reductie in aanvoer vanuit de industriële hoek ligt de huidige belasting met 33.200 v.e._{verwijderd} ruim 20% lager in vergelijking tot de belasting van 42.300 v.e._{verwijderd} tijdens de verificatieperiode in 2012. Het korrelslibgehalte wordt dan ook om deze reden met 2,5 tot 3 kg/m³ door het waterschap Vallei & Veluwe bewust laag gehouden.

TABEL 6 ENERGIEVERBRUIK RWZI EPE (2014)

Onderdeel	Energieverbruik		Specifiek energieverbruik	
	[kWh/d]	[%]	[kWh/v.e.-verwijderd, jaar]	[kWh/m ³]
Influentgemaal	155	6,1	1,7	0,030
Tussengemaal	213	8,3	2,3	0,041
Beluchting	1.276	49,9	14,0	0,24
Recirculatiegemaal	30	1,2	0,3	0,01
Overige	883	34,5	9,7	0,17
Totaal	2.557	100	28,1	0,49

Chemicaliënverbruik

Vanwege de strenge effluenteis ten aanzien van P_{totaal} is in het ontwerp van de rwzi Epe gekozen voor een effluentnabehandeling. Uit de pilotonderzoeken [2] blijkt vlokingsfiltratie met behulp van discontinue zandfiltratie hiervoor een betrouwbare en robuuste optie en is daarom in het ontwerp opgenomen. Verreweg het grootste deel van de fosfaatvracht in het influent wordt in de Nereda® reactoren biologisch verwijderd. Het resterende fosfaat wordt in de zandfilters met behulp van een geringe aanvullende aluminiumdosering verwijderd. De aluminiumdosering (PAX18) wordt geregeld op basis van de binnenkomende fosfaatvracht en berekend aan de hand van de concentraties in de afloop van de drie reactoren en de debietmeting van het tussengemaal. De aluminiumdosering kan worden bijgesteld op basis van de online orthofosfaat-meting in de afloop van de zandfilters. Het fosfaatsetpoint is in de zomer lager dan in de winter, vanwege de strengere zomer-eis. In de zomer wordt op 0,1 tot 0,15 mg $PO_4\text{-P/l}$ gestuurd en in de winter op circa 0,3 mg $PO_4\text{-P/l}$. Het absolute en specifieke chemicaliënverbruik over het jaar 2014 is weergegeven in Tabel 7. In deze periode ligt de gemiddelde fosfaatvracht op 38,9 kg $P_{\text{totaal}}/\text{d}$ en het gemiddelde influentdebiet op 5.200 m³/d.

TABEL 7 ALUMINIUMZOUTDOSERING OP DE RWZI EPE (2014)

Dosering	Doseerdebiet	Metaalzout	Specifieke dosering	
	[l/d]		[mg Al/l]	[mol Al/mol P_{influent}]
Zandfilters	43,5	5,4	1,0	0,16

3.3 RWZI GARMERWOLDE

3.3.1 ONTWERP EN DIMENSIONERING

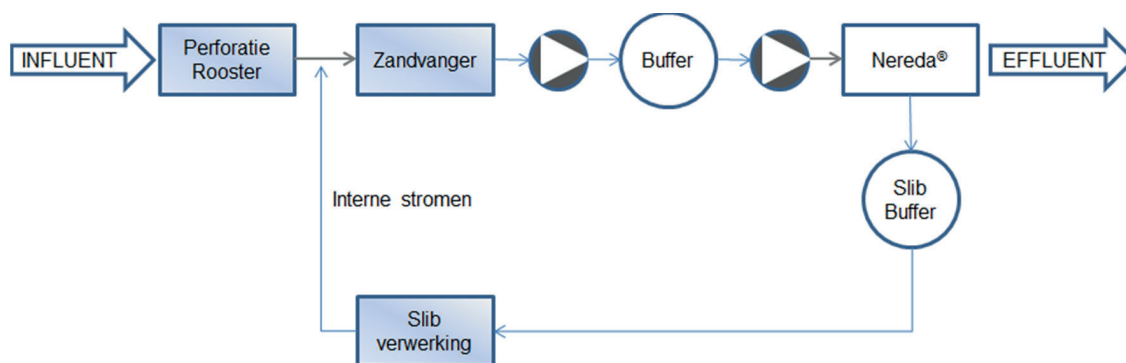
De bestaande rwzi Garmerwolde is een AB-systeem en is uitgebreid met een Nereda® installatie, bestaande uit een zuiveringsstraat met 2 reactoren, een influentbuffer en een korrelslibbuffer. De Nereda-straat is ontworpen voor de behandeling van 41% van het aangevoerde afvalwater, hetgeen overeenkomt met een capaciteit van 140.000 v.e. à 150 g TZV en 4.200 m³/h. De bestaande AB-straat en de Nereda® straat zijn qua waterlijn volledig van elkaar gescheiden. Het slib van de beide straten wordt behandeld in de sliblijn en komt als rejectiewater weer retour naar beide straten, e.e.a. in de verhouding 41 / 59%. Het effluent van de Nereda® reactoren wordt evenals het effluent van het AB-systeem direct geloosd op de effluentsloot. Gekozen is voor een opzet met twee parallel bedreven Nereda® reactoren met een DWA-buffer. De buffer garandeert bij DWA een redelijk constante influent toevoer naar beide reactoren.

Afbeelding 16 toont een luchtfoto van de rwzi Garmerwolde waarbij de Nereda® installatie op de voorgrond te zien is. Een blokschema is opgenomen in Afbeelding 17 en in Tabel 8 zijn de dimensies van de belangrijkste procesonderdelen weergegeven.

AFBEELDING 16 OVERZICHT RWZI GARMERWOLDE



AFBEELDING 17 BLOKSCHEMA RWZI GARMERWOLDE



TABEL 8 PROCESONDERDELEN RWZI GARMERWOLDE

Onderdeel		Eenheid	Waarde	Opmerking
Fijnzeven	Maaswijdte	mm	6	Perforatierooster, ronde gaatjes
Tussengemaal	Capaciteit	m ³ /h	4.200	
Influentbuffer	Volume	m ³	4.000	
Nereda®	Aantal tanks	-	2	
	Volume elk	m ³	9.500	Rond
	Diepte	m	7,25	
	Diameter	m	41	
Korrelslibbuffer	Volume	m ³	400	

3.3.2 ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Slibspui

Omdat er strikte afspraken zijn gemaakt aangaande de werking van de Nereda® installatie op de rwzi Garmerwolde is het voor het bouwconsortium (GMB, Imtech) van groot belang dat de installatie snel wordt opgestart en aan de gegarandeerde effluentkwaliteit kan worden voldaan. Een belangrijke voorwaarde is dat het korrelslibgehalte relatief snel stijgt tot het beoogde niveau van 8 kg/m³. Als het slibgehalte en de korrelfractie begin 2014 echter achterblijven bij de oorspronkelijke verwachtingen, wordt een andere methode van slibspuien geïntroduceerd. Tot dan toe vond slibspui plaats na de bezinkfase aan het eind van de procescyclus, zoals beschreven in paragraaf 2.2. Bij de nieuwe methode wordt de slibspui gecombineerd met de waterniveau-reductie voorafgaand aan beluchting en vindt de slibspui dus plaats direct na de voedingsfase aan het begin van de procescyclus. De resultaten van beide methoden zijn nader beschreven en geëvalueerd in paragraaf 4.2.

Procesbesturing

Op de rwzi Garmerwolde is voor de eerste maal een geavanceerde procesbesturing toegepast, waarbij de cyclustijd tijdens verhoogde aanvoer in stapjes wordt verkort. Hierbij wordt bovendien gebruik gemaakt van een voorspellingsmodule die de DWA-aanvoer voorspelt en op basis daarvan optimaal gebruik maakt van de inhoud van de DWA-influentbuffer. Het resultaat is een zeer gelijkmatige DWA aanvoer en een snelle herkenning van een verhoogde aanvoer.

RWA-buffer

De maximale toevoer naar de rwzi Garmerwolde bedraagt 13.500 m³/h. Hiervan wordt maximaal 11.500 m³/h in de twee zuiveringsstraten behandeld. Het influentdebiet groter dan 11.500 m³/h wordt (tijdelijk) gestuurd naar een bestaande RWA-buffer met een volume van 12.000 m³. In deze buffer kan bij RWA dus (minimaal) 6 uur afvalwater worden gebufferd. Indien de RWA-buffer vol is loopt deze over richting het gezamenlijk lozingspunt, alwaar het wordt gemengd met het effluent van de beide straten van de rwzi. De bemonstering vindt plaats na de menging. Na de RWA-situatie wordt de inhoud van de regenwaterbuffer teruggevoerd naar het influentgemeal en alsnog over de rwzi geleid.

In overleg met de vergunningverlener is de mogelijkheid geboden om de maximale aanvoer naar de rwzi nog enigszins verder te verlagen, en dus iets meer afvalwater te gaan bufferen. Door op deze wijze met de piek RWA om te gaan, wordt een optimum gezocht in enerzijds het zuiveringsrendement van de installatie en anderzijds de overall effluentkwaliteit. Een lager RWA-debiet naar de Nereda® installatie betekent immers dat de cyclustijd kan worden verlengd waardoor de effluentkwaliteit verbetert. Als de first-flush voorbij is en deels is gebufferd in de RWA-buffer, is het influent sterk verdund. Het behandelen van dit verdunde influent heeft overigens maar een beperkte toegevoegde waarde.

Effluent zwevendstofgehalte

Op de rwzi Garmerwolde is aandacht besteed aan het verder verlagen van het zwevendstofgehalte in het effluent. Hierbij zijn verschillende beluchtingsstrategieën getest met als doel om de denitrificatie tijdens de bezink- of voedingsfase, zoveel mogelijk te voorkomen.

Verhoging belasting

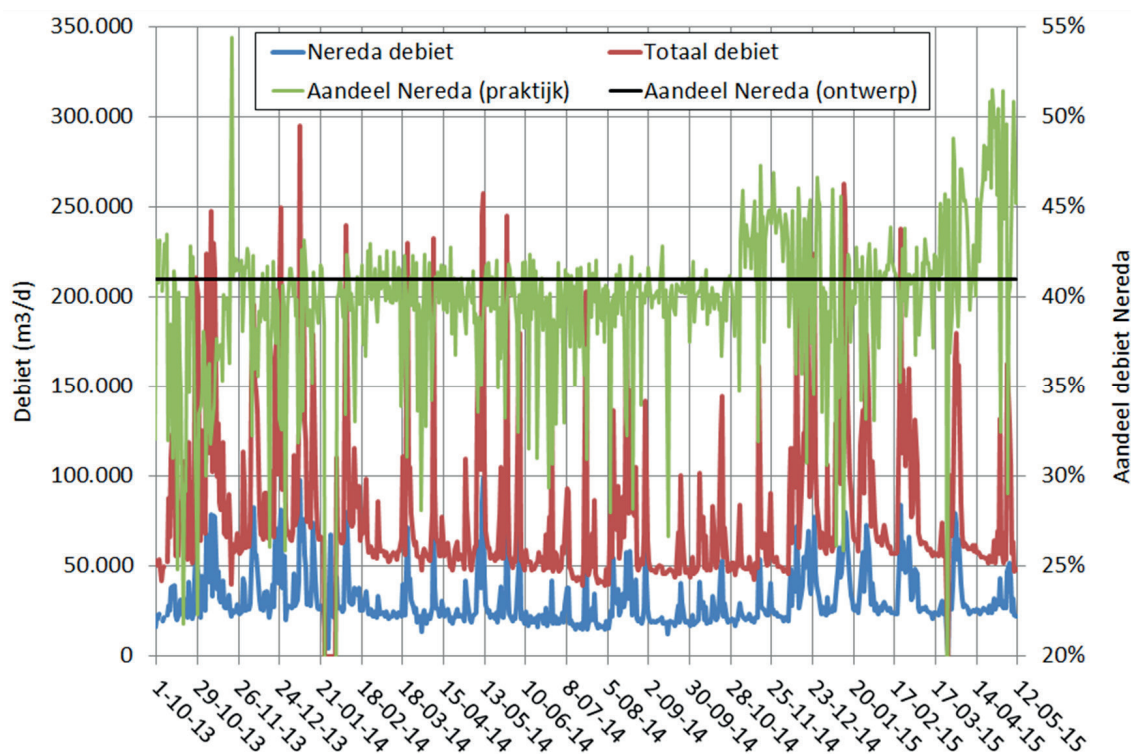
Tijdens de periode van 1-11-2013 tot 31-10-2014 heeft het bouwconsortium op rwzi Garmerwolde moeten aantonen dat aan alle garanties zou kunnen worden voldaan. Om die reden is niet afgeweken van de contractuele bepalingen en is in de genoemde periode altijd gestuurd op een verdeling van 41% naar de Nereda® straat en 59% naar de AB-straat. Vanaf 1 november 2014 heeft het Waterschap Noorderzijlvest de verantwoordelijkheid voor de bedrijfsvoering volledig overgenomen en is de verantwoordelijke procesvoerder op grond van kostenoverwegingen de belasting van de Nereda® straat langzaam gaan verhogen. Uit Afbeelding 18 is af te lezen dat (tijdens DWA omstandigheden) de aanvoer naar de Nereda® reactoren tijdelijk wordt verhoogd naar meer dan 50% tot maximaal 60% van de totale influent aanvoer. De gemiddelde belasting op het Nereda® systeem komt daarmee in 2015 gemiddeld boven 41% van de totale influentbelasting.

3.3.3 RESULTATEN

Opstart

De installatie is begin juni 2013 opgestart door enting met ingedikt surplusslib afkomstig van de rwzi Epe. Gezien de grootte van de twee Nereda® reactoren is de concentratie entslib relatief laag. In drie maanden tijd kan de Nereda® installatie de volledige belasting (41% van de aanvoer) verwerken. De stikstof-verwijdering functioneert meteen goed, de biologische fosfaatverwijdering is binnen drie maanden op peil.

AFBEELDING 18 PROCENTUELE VERDELING VAN INFLUENT OVER DE NEREDA®- EN AB-STRAAT

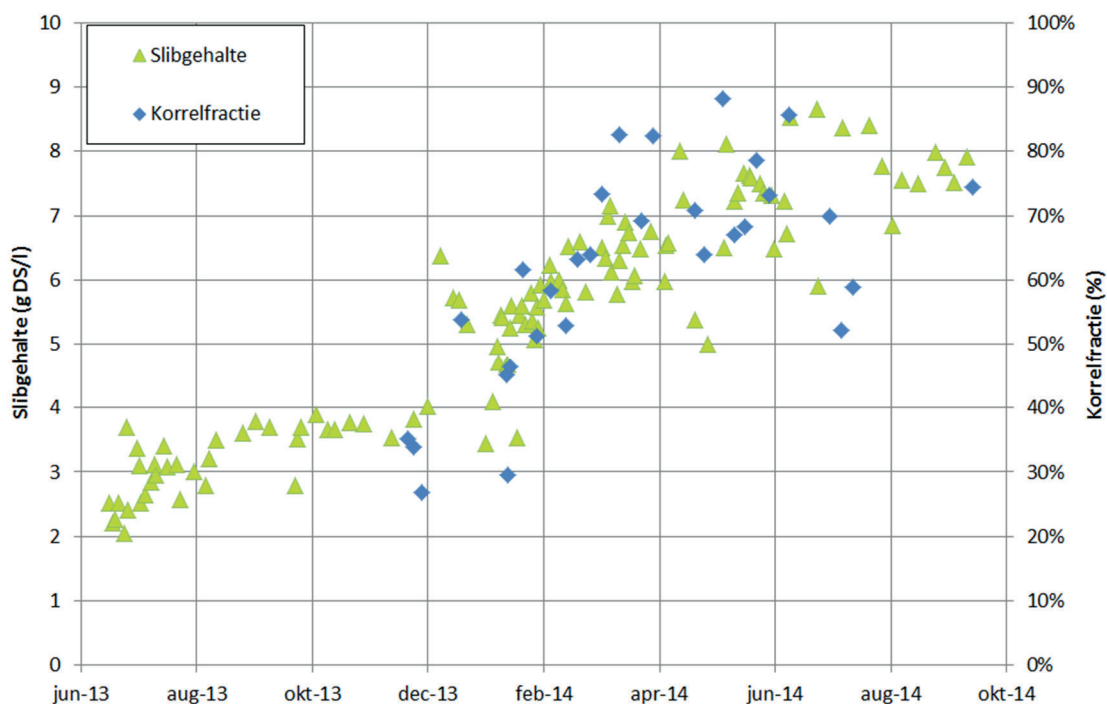


Het rejectiewater van de rwzi Garmerwolde wordt verwerkt in een Sharon reactor. Het effluent van de Sharon reactor wordt in eerste instantie teruggevoerd naar het verdeelwerk en vervolgens verdeeld over de AB-straat en de Nereda® straat. Doordat er regelmatig grote hoeveelheden uitgestort slib aan de Sharon worden gedoseerd, bevat het effluent van de Sharon reactor hoge concentraties zwevendstof. Voor het Nereda® proces is dit onwenselijk, aange-

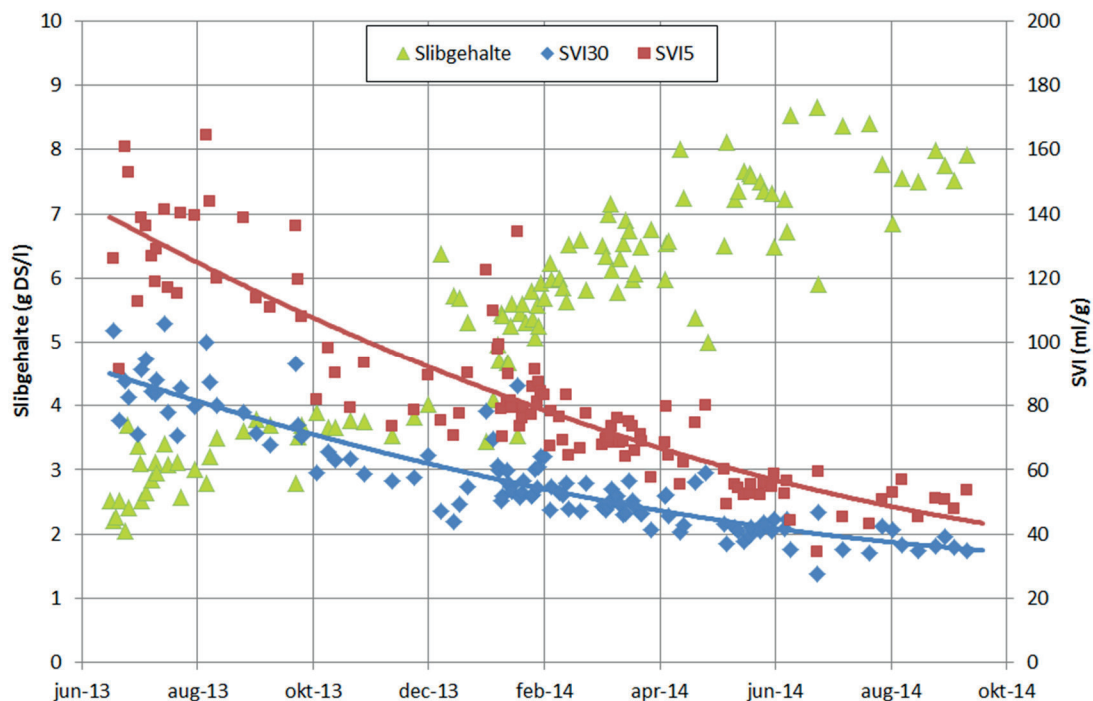
zien op deze wijze de slibselectie wordt vertraagd en er sprake is van een negatieve enting. Bovendien kan een deel van deze zwevendstof niet in het korrelbed worden ingevangen en spoelt derhalve door naar het effluent, waardoor de effluentkwaliteit verslechtert. Omdat de maximale slibtoevoer via interne stromen contractueel is vastgesteld, wordt vanaf medio mei 2014 deze specifieke stroom direct naar de AB-straat geleid. Het effect van deze maatregel op de zwevendstof effluentkwaliteit is zeer positief (zie paragraaf 4.4).

Het verloop van het slibgehalte en de korrelfractie vanaf de opstart tot september 2014 is grafisch weergegeven in Afbeelding 19. Het drogestofgehalte tijdens de eerste maanden van de opstart neemt niet significant toe en ook de korrelfractie blijft relatief laag. Het effect van de lozing van het Sharon effluent speelt hierin onbewust tot dan toe een belangrijke rol. Half januari 2014 wordt overgegaan op de eerder beschreven wijze van slibspui, waarbij de slibaflaat niet na een bezinkfase, maar na de voedingsfase in combinatie met het water-niveauperlating plaats vindt. Vanaf dat moment nemen het slibgehalte en de korrelfractie geleidelijk toe tot het gewenste niveau. In Afbeelding 20 is het verloop van de SVI_5 en de SVI_{30} weergegeven voor reactor 1.

AFBEELDING 19 VERLOOP SLIBGEHALTE EN KORRELFRACTIE (REACTOR 1, GARMERWOLDE)



AFBEELDING 20 VERLOOP VAN SLIBGEHALTE EN SVI OP DE RWZI GARMERWOLDE



Influent- en effluentkwaliteit

De resultaten van de influent- en effluentmetingen over een periode van een jaar zijn samengevat weergegeven in Tabel 9. Hierbij moet worden beseft dat de Nereda® straat inmiddels ruimschoots boven de ontwerpbelasting wordt bedreven, e.e.a. ten gunste van de AB straat.

TABEL 9 INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING RWZI GARMERWOLDE (APRIL 2014 – MAART 2015)

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent	Effluenteis
CZV	mg/l	495	60	125
BZV	mg/l	218	8,9	20
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	228	17,9	30
N _{totaal}	mg/l	49,4	7,8 ¹⁾	7
P _{totaal}	mg/l	6,6	0,83	1

1) De gemiddelde effluentconcentratie is hoger dan de effluenteis omdat de belasting van de Nereda®-straat vanaf 1 november 2014 hoger is dan de ontwerpbelasting.

Slibproductie

De slibproductie op de rwzi Garmerwolde is bepaald over een representatieve periode, waarin het effluent van de Sharon reactor niet meer is aangesloten op de Nereda® reactor. Op basis van data m.b.t. slibconcentraties en -hoeveelheden wordt over de periode mei – september 2014 een gemiddelde biologische slibproductie van 3.310 kg DS/d berekend. Dit komt overeen met specifieke kentallen van 0,31 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 32 g DS/(v.e.150.d).

Energieverbruik

Het energieverbruik van de Nereda® installatie in Garmerwolde over de periode van oktober 2014 tot mei 2015 is weergegeven in Tabel 10. Hierbij is onderscheid gemaakt in het verbruik van de verschillende procesonderdelen. Het specifieke energieverbruik is berekend op basis van de in de beschouwde periode gemiddelde verwijderde v.e.'s en het influentdebiet.

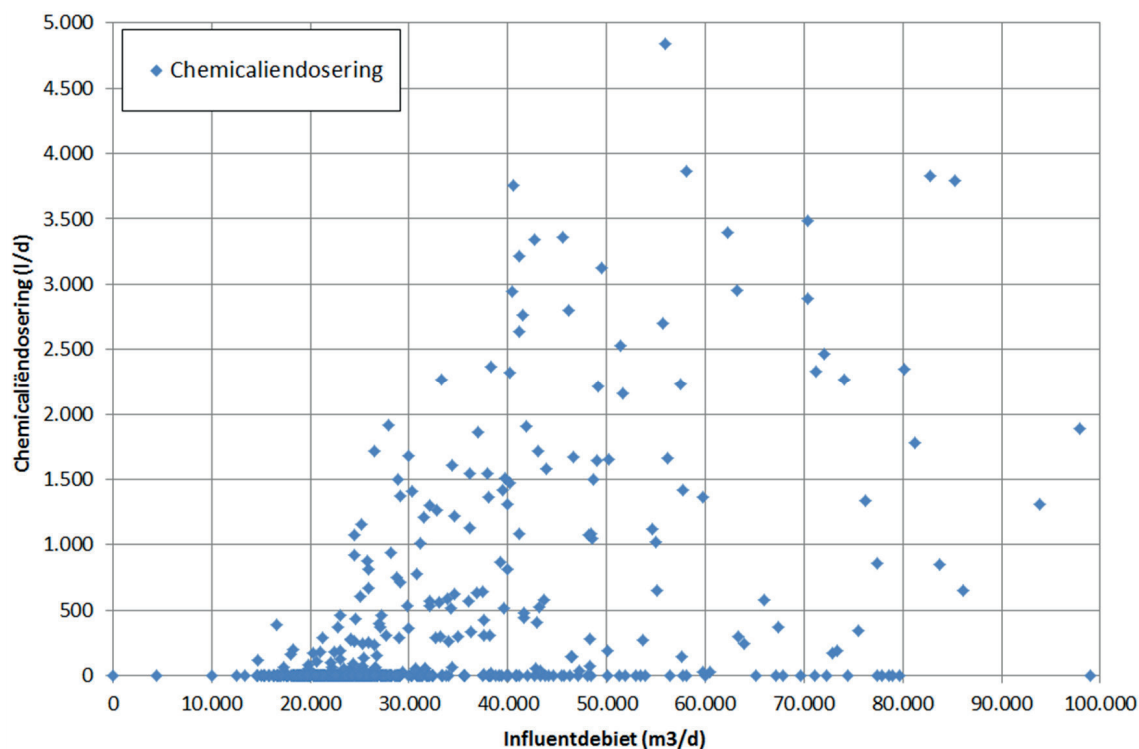
TABEL 10 ENERGIEVERBRUIK RWZI GARMERWOLDE (OKTOBER 2014 – MEI 2015)

Onderdeel	Energieverbruik		Specifiek energieverbruik	
	[kWh/d]	[%]	[kWh/v.e.-verwijderd, jaar]	[kWh/m ³]
Influentgemaal	425	7,4	1,3	0,013
Tussengemaal	578	10,1	1,8	0,018
Menger buffertank	38	0,7	0,1	0,001
Beluchting	3918	68,5	12,1	0,12
Recirculatiepompen	11	0,2	0,0	0,000
Overige	746	13,1	2,3	0,023
Totaal	5715	100	17,7	0,18

Chemicaliënverbruik

Op de rwzi Garmerwolde kan ijzerzout gedoseerd worden in de Nereda[®] reactoren. In de praktijk vindt deze dosering voornamelijk plaats bij RWA, zoals blijkt uit Afbeelding 21. In deze afbeelding is de chemicaliëndosering uitgezet tegen het influentdebiet. De hoogste doseringen vinden plaats bij influentdebieten groter dan 30.000 m³/d. Bij DWA vindt (slechts) in circa 10% van de dagen een dosering plaats. Deze DWA-dagen zijn verantwoordelijk voor minder dan 10% van het totale chemicaliënverbruik. De dosering bij RWA is een gevolg van de bewuste ontwerpkeuze dat de zuurstofconcentratie tijdens “first flush” situaties vaak te laag is om volledige P-opname te bewerkstelligen. Dit betekent dat de chemicaliëndosering dus lager zou kunnen zijn, als de zuurstofinbrengcapaciteit zou worden vergroot. Hogere slibconcentraties > 15 kg/m³ en het feit dat significant meer influent door de Nereda[®] installatie wordt behandeld, zijn aan de weergegeven situatie echter ook debet.

AFBEELDING 21 CHEMICALIËNDOSERING IN RELATIE TOT INFLUENTDEBIET OP RWZI GARMERWOLDE



Het chemicaliënverbruik over het jaar 2014 is weergegeven in Tabel 11. Hierbij is tevens het specifieke verbruik vermeld. In deze periode ligt de gemiddelde fosfaatvracht op 166 kg P_{totaal}/d en het gemiddelde influentdebiet op 27.500 m³/d. Ter illustratie is ook het verbruik

uit 2015 weergegeven. Door slimmer gebruik te maken van de bestaande RWA-buffers is het chemicaliënverbruik aanzienlijk gedaald.

TABEL 11 IJZERZOUTDOSERING OP DE RWZI GARMERWOLDE

Dosering Nereda®	Metaalzout [kg Fe/d]	Specifieke dosering	
		[mg Fe/l]	[mol Fe/mol P _{influent}]
2014	71	2,6	0,24
2015	19	0,7	0,06

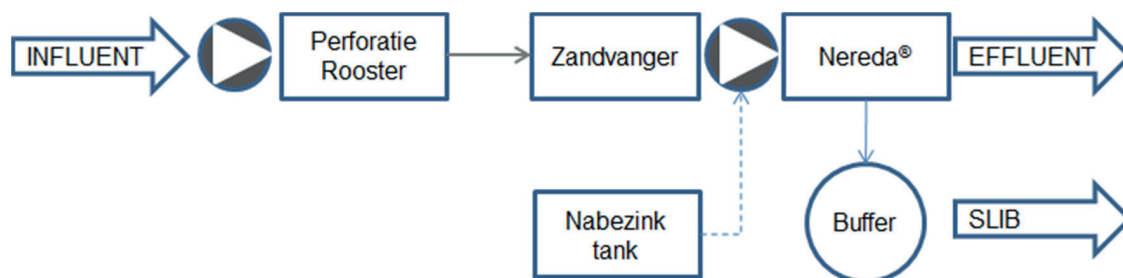
3.4 RWZI UTRECHT

3.4.1 ONTWERP EN DIMENSIONERING

Het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden (HDSR) beschouwt enkele jaren geleden de toepassing van de Nereda® technologie voor de nieuwbouw van de rwzi Utrecht een serieuze optie. Om de keuze tussen een conventionele oplossing en de Nereda® technologie te kunnen maken, heeft HDSR een prototype op praktijkschaal gerealiseerd. Het primaire doel hiervan is om opschalingsrisico's te beperken, welke samenhangen met het bouwen van een Nereda® installatie met de omvang van de rwzi Utrecht.

De ontwerpcapaciteit van de demonstratie installatie is circa 10.000 v.e. (à 150 g TZV) met een maximale hydraulische capaciteit van 125 m³/h. Een foto van de installatie is opgenomen in Afbeelding 13 in hoofdstuk 2. De opzet van de installatie is schematisch weergegeven in Afbeelding 22. Het Influent gemaal pompt het ruwe afvalwater op uit één van de aanvoerleidingen van de rwzi Utrecht, die het water uit Overvecht aanvoert. De zandvanger bestaat uit een eenvoudige container, waarin het zand kan bezinken. Naast het aangevoerde afvalwater kan ook effluent van één van de nabezinktanks van de rwzi Utrecht worden gebruikt als voedingswater. Deze mogelijkheid is ingebouwd om hydraulische testen te kunnen uitvoeren, zonder de installatie (langdurig) biologisch over te belasten. De dimensies van de belangrijkste procesonderdelen staan weergegeven in Tabel 12.

AFBEELDING 22 BLOKSCHEMA RWZI UTRECHT



TABEL 12 PROCESONDERDELEN VAN DE NEREDA®-INSTALLATIE OP DE RWZI UTRECHT

Onderdeel		Eenheid	Waarde	Opmerking
Fijnzeven	Maaswijdte	mm	6	Perforatierooster
Tussengemaal	Capaciteit	m³/h	1.050	2 x 350 m³/h influent 1 x 350 m³/h afloop nabezinktank
Nereda®	Aantal tanks	-	1	
	Volume elk	m³	1.000	Rechthoekig
	Diepte	m	6,0	

3.4.2 ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Hydraulisch onderzoek

Op de Nereda® installatie Utrecht is gedurende een jaar onderzoek uitgevoerd. Het onderzoek heeft voornamelijk in het teken gestaan van het ontwikkelen van voldoende korrelslib, de effluentkwaliteit is hierbij in eerste instantie van minder belang. Op het moment dat het korrelslib ver genoeg ontwikkeld is, zijn door middel van verschillende type testen de hydraulische grenzen van het Nereda® system vastgesteld in termen van maximale Exchange Ratio en vulsnelheid.

Zwevendstof

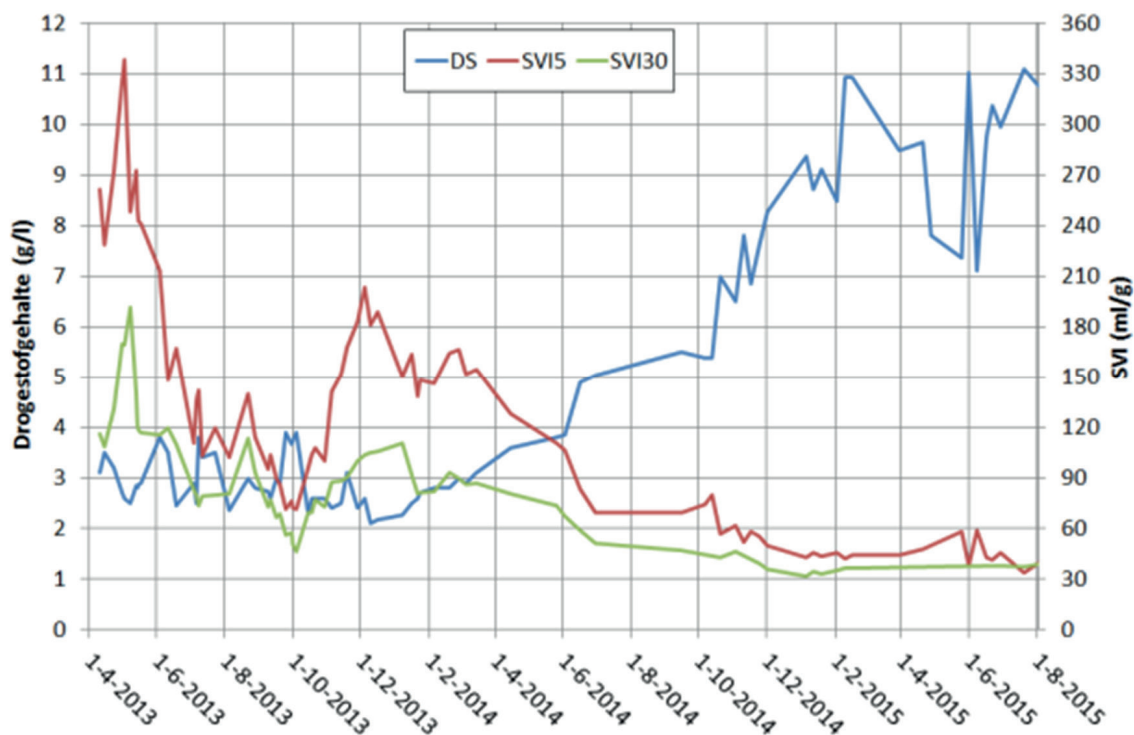
Vanaf mei 2015 staat het onderzoek op de rwzi in het teken van het verlagen van het effluent zwevendstofgehalte. Het onderzoeksprogramma dat hiervoor is opgezet omvat onder andere het testen van nieuwe procesregelingen en fysieke aanpassingen aan de effluentaflaat van de installatie. Enkele resultaten van dit onderzoek komen in paragraaf 4.4 aan bod.

3.4.3 RESULTATEN

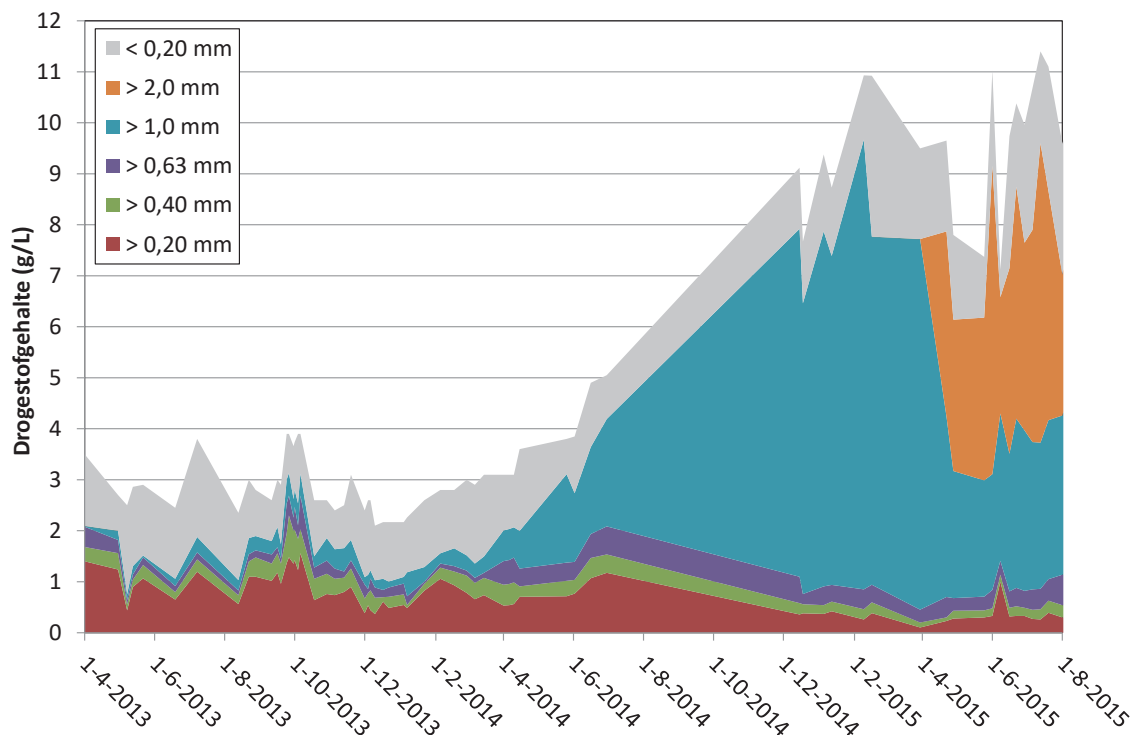
Opstart

De installatie is begin juni 2013 opgestart door de enting met ingedikt surplusslib afkomstig van de rwzi Epe. Het verloop van het drogestofgehalte en de SVI is weergegeven in Afbeelding 23. De korrelontwikkeling is per korrelfractie getoond in Afbeelding 24.

AFBEELDING 23 VERLOOP VAN DROGESTOFGEHALTE EN SVI OP DE NEREDA® UTRECHT



AFBEELDING 24 ONTWIKKELING VAN DE KORRELVERDELING OP DE NEREDA® UTRECHT



Het eerste jaar is veel onderzoek gedaan naar het optimaliseren van de procesinstellingen. De eerste maanden zijn de slibbezink eigenschappen sterk verbeterd, maar nemen het drogestofgehalte en de korrelfractie nog niet toe. In oktober 2013 verslechteren de slibeigenschappen en de korrelfractie, doordat (onbedoeld) veel korrels via de waterstandsverlaging zijn afgevoerd. Nadat dit euvel begin 2014 is opgelost en is overgegaan op een andere wijze van slibspui (zie paragraaf 4.2.3) verbeteren de slibeigenschappen. Het slibgehalte stijgt tot boven de 10 g/l, de SVI daalt tot zeer lage waarden (circa 35 ml/g) en de korrelfractie neemt toe tot meer dan 80%.

Influent- en effluentkwaliteit

De effluentbemonstering op de Nereda® Utrecht is van september 2014 tot mei 2015 in storing geweest. Vanaf mei 2015 is deze weer paraat en zijn de effluentmonsters geanalyseerd. Dit is ook de fase waarin het onderzoek naar de vermindering van het zwevendstofgehalte is begonnen. In Tabel 13 zijn daarom de gemiddelde influent- en effluentgegevens van de periode mei – september 2015 opgenomen. Aangezien het een demonstratie-installatie betreft die het effluent niet rechtstreeks loost op oppervlaktewater, zijn er geen effluenteisen.

Slibproductie

De slibproductie is op de prototype-installatie Utrecht niet rechtstreeks gemeten. Het spuislib wordt namelijk afgevoerd naar de terreinriolering van de bestaande rwzi en er vindt geen reguliere bemonstering van deze stroom plaats. De slibproductie is daarom berekend aan de hand van de data van de drogestofsensor in de Nereda® tank, welke ter hoogte van de slibaflaatleiding hangt en daarmee dus in principe een representatieve (continue) meting is van de spuislibconcentratie. In combinatie met de berekende spuislibhoeveelheid is voor elke cyclus de spuislibvracht berekend en kan voor de periode mei – september 2014 een biologische slibproductie van 340 kg DS/dag worden vastgesteld. De specifieke kentallen komen hiermee uit op 0,41 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 47 g DS/(v.e.150.d).

TABEL 13 INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING VAN DE NEREDA® UTRECHT (MEI – SEPTEMBER 2015)

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent	Effluenteis
CZV	mg/l	620	37	-
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	-	8	-
NH ₄ -N	mg/l	44	0,5	-
NO ₃ -N	mg/l	-	3,1	-
N _{totaal}	mg/l	-	5,7	-
P _{totaal}	mg/l	8,4	0,5	-
P _{ortho}	mg/l	5,5	0,3	-

Energieverbruik

Het energieverbruik van de Nereda® installatie in Utrecht over de periode van mei tot september 2015 is weergegeven in Tabel 14. Op de installatie wordt alleen het totale energieverbruik gemeten. Het energieverbruik van de beluchting is afgeleid aan de hand van de periodes waarin alleen de beluchting aan stond. Het energieverbruik van de pompen is theoretisch berekend op basis van de verpompte debieten en de opvoerhoogte. Het specifieke energieverbruik is berekend op basis van de in de beschouwde periode gemiddelde verwijderde v.e.'s en het influentdebiet.

TABEL 14 ENERGIEVERBRUIK NEREDA® UTRECHT (MEI – SEPTEMBER 2015)

Onderdeel	Energieverbruik		Specifiek energieverbruik	
	[kWh/d]	[%]	[kWh/v.e.verwijderd.jaar]	[kWh/m ³]
Influentgemaal ¹⁾	51	9,1	2,2	0,045
Tussengemaal ²⁾	44	7,7	1,9	0,038
Beluchting	440	78	19,1	0,39
Recirculatie ³⁾	1	0,2	0,04	0,001
Overige (5%)	28	32	7,8	0,16
Totaal	564	100	24,5	0,49

1) Gebaseerd op een opvoerhoogte van 10 meter en een energieverbruik van 4,5 Wh/(m³.m)

2) Gebaseerd op een opvoerhoogte van 8 meter en een energieverbruik van 4,5 Wh/(m³.m)

3) Gebaseerd op een opvoerhoogte van 1 meter en een energieverbruik van 4,5 Wh/(m³.m)

Chemicaliënverbruik

Op de Nereda® installatie van Utrecht worden geen metaalzouten gedoseerd. De hiervoor aangegeven effluentkwaliteit ten aanzien van P wordt derhalve volledig biologisch bereikt.

3.5 RWZI VROOMSHOOP

3.5.1 ONTWERP EN DIMENSIONERING

De rwzi Vroomshoop heeft een ontwerpbelasting van 22.600 v.e. (à 150 g TZV) en een maximale hydraulische belasting van 1.000 m³/h. De Nereda® installatie op rwzi Vroomshoop wijkt af van andere installaties, aangezien het hier een hybride systeem betreft. Het afvalwater wordt behandeld in een combinatie van een Nereda® installatie en een conventioneel actief slib omloopsysteem (CAS). Bij droog weer wordt circa 50% van het afvalwater behandeld in de Nereda® straat en 50% in het omloopsysteem. Bij RWA-aanvoer is de hydraulische verdeling ongeveer 20% / 80%.

In Afbeelding 26 is een blokschema van de rwzi Vroomshoop weergegeven. De dimensies van de belangrijkste procesonderdelen zijn weergegeven in Tabel 15.

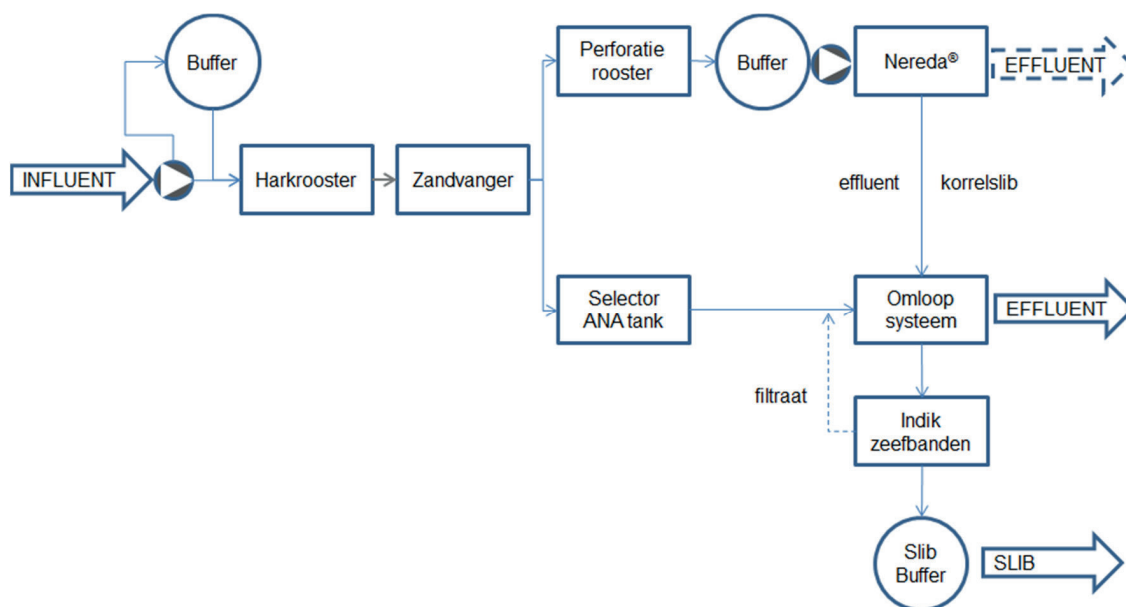
AFBEELDING 25 LUCHTFOTO RWZI VROOMSHOOP



TABEL 15 PROCESONDERDELEN NEREDA® INSTALLATIE RWZI VROOMSHOOP

Onderdeel		Eenheid	Waarde	Opmerking
Fijnzeven	Maaswijdte	mm	3	
Influentbuffer	Volume	m ³	400	
Tussengemaal	Capaciteit	m ³ /h	400	
Nereda®	Aantal tanks	-	1	
	Volume elk	m ³	1.350	Rechthoekig
	Diepte	m	6,0	

AFBEELDING 26 BLOKSCHEMA RWZI VROOMSHOOP



3.5.2 ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Zwevendestof effluent

Tijdens de ontwerpfase in 2010 bestaat het vermoeden dat effluent uit Nereda® installaties een verhoogd gehalte zwevendestof kan bevatten. In het ontwerp van rwzi Vroomshoop is er daarom voor gekozen de mogelijkheid in te bouwen om het Nereda® effluent via de CAS straat te kunnen lozen. Dit kan via de beluchtingstank of via de nabezinktanks (zie Afbeelding 27). Daarnaast is binnen het ontwerp van de rwzi Vroomshoop eveneens rekening gehouden met de mogelijkheid om het Nereda® effluent direct op het oppervlaktewater te kunnen lozen. Alle configuraties zijn sinds de opstart van de installatie toegepast:

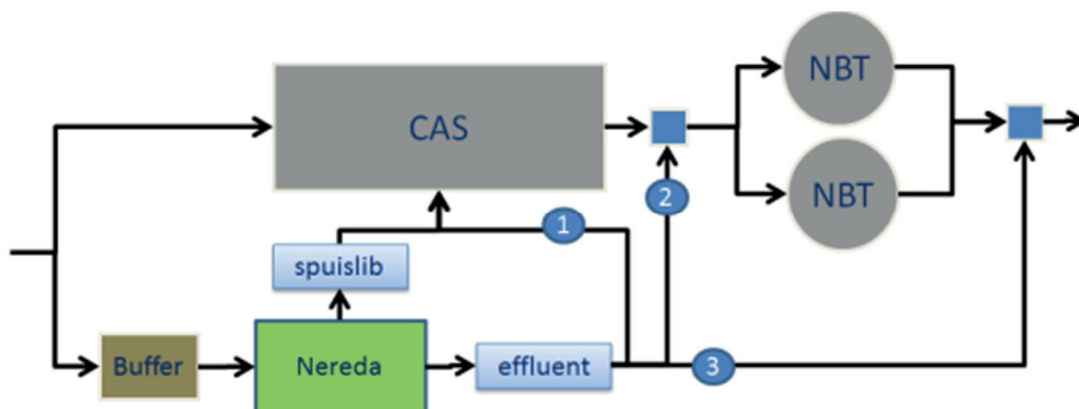
- Configuratie 1 - Nereda® effluent gaat naar de CAS beluchtingstank (vanaf juni 2013)
- Configuratie 2 - Nereda® effluent gaat naar de CAS nabezinktanks (vanaf maart 2014)
- Configuratie 3 - Nereda® effluent wordt direct geloosd in de effluentput, alwaar het samen met het CAS effluent wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater (vanaf 26 november 2014)

Het effect hiervan op de effluentkwaliteit is gemonitord aan de hand van reguliere effluentbemonsteringen en op basis van de geïnstalleerde troebelheidsmeter. Beide datastromen zijn afkomstig van de gezamenlijke effluentstroom, zodat de effecten van de diverse configuraties hieruit zijn berekend.

Enteffect CAS

Binnen de Nereda® technologie wordt in principe binnen elke cyclus het slib afgelaten. In Vroomshoop is de slibaflaat van de Nereda® reactor aangesloten op het conventionele actief slib gedeelte (zie Afbeelding 27). Vanuit het conventionele systeem wordt spuislib gecombineerd afgevoerd naar een bandindikker. Door spuislib uit de Nereda® reactor af te voeren naar het actief slib systeem, wordt deze continu geënt met korrelslib. Op grond hiervan wordt verwacht dat het slib in het CAS beter gaat bezinken en mogelijk positieve eigenschappen van het korrelslib, zoals biologische P-verwijderingscapaciteit, kan overnemen.

AFBEELDING 27 CONFIGURATIES RWZI VROOMSHOOP



3.5.3 RESULTATEN

Opstart

De installatie in Vroomshoop wordt opgestart in de zomer van 2013 en gedurende de eerste 6 maanden op ongeveer $\frac{2}{3}$ van de ontwerpbelasting bedreven. Vanaf januari 2014 is de rwzi volbelast door de aansluiting van afvalwater uit de kern Westerhaar. De Nereda® installatie

is opgestart met spuislib uit rwzi Epe dat zich op dat moment kenmerkt door een lage SVI en de aanwezigheid van relatief kleine korrels. Het verloop van het slibgehalte en het korrelslibgehalte ($> 0,2 \text{ mm}$) vanaf de opstart tot juni 2015 is weergegeven in Afbeelding 28. Hieruit blijkt dat de korrelvorming op Vroomshoop de eerste maanden vrij traag verloopt, hetgeen naar alle waarschijnlijkheid het gevolg is van een onjuiste procesinstelling. Nadat dit is gecorrigeerd zet vanaf januari 2014 de korrelgroei gestaag door, om uit te komen op een korrelpercentage van 70-80% en slibconcentraties boven de ontwerpwaarde van 8 kg/m^3 . Een volledige biologische belasting van de Nereda® reactor in combinatie met een voorzichtige stapsgewijze verhoging van de selectiedruk blijkt op deze locatie een goed recept voor de vorming van het gewenste korrelslib.

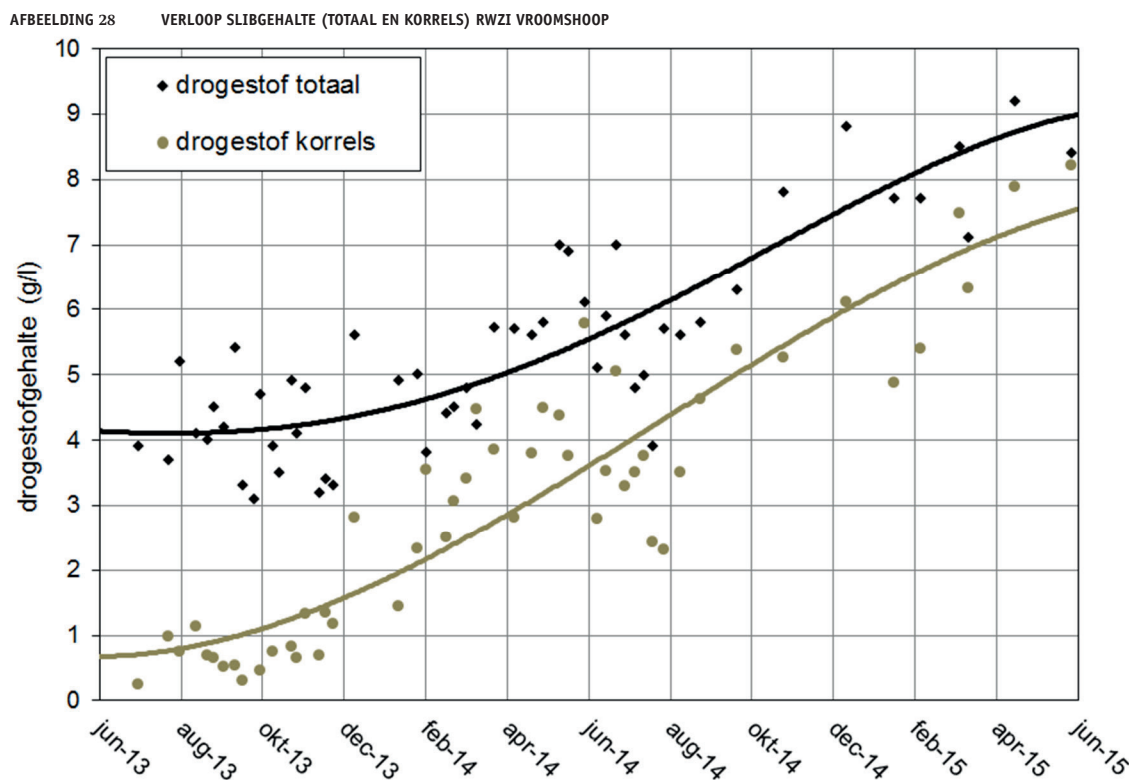
De vorming van korrelslib gaat gepaard met een daling van de SVI. In Afbeelding 29 zijn de SVI_5 en SVI_{30} voor de Nereda® reactor weergegeven, alsmede de SVI_{30} voor het actief slibstelsel. Duidelijk is te zien dat SVI_5 en SVI_{30} van het korrelslib dicht bij elkaar liggen en uitkomen rond $40\text{-}50 \text{ ml/g}$. De afvoer van het spuislib uit de Nereda® installatie naar het conventionele systeem blijkt – conform verwachting – te leiden tot een significante daling van de SVI_{30} van het actief slib tot waarden van circa $60\text{-}80 \text{ ml/g}$.

Influent- en effluentkwaliteit

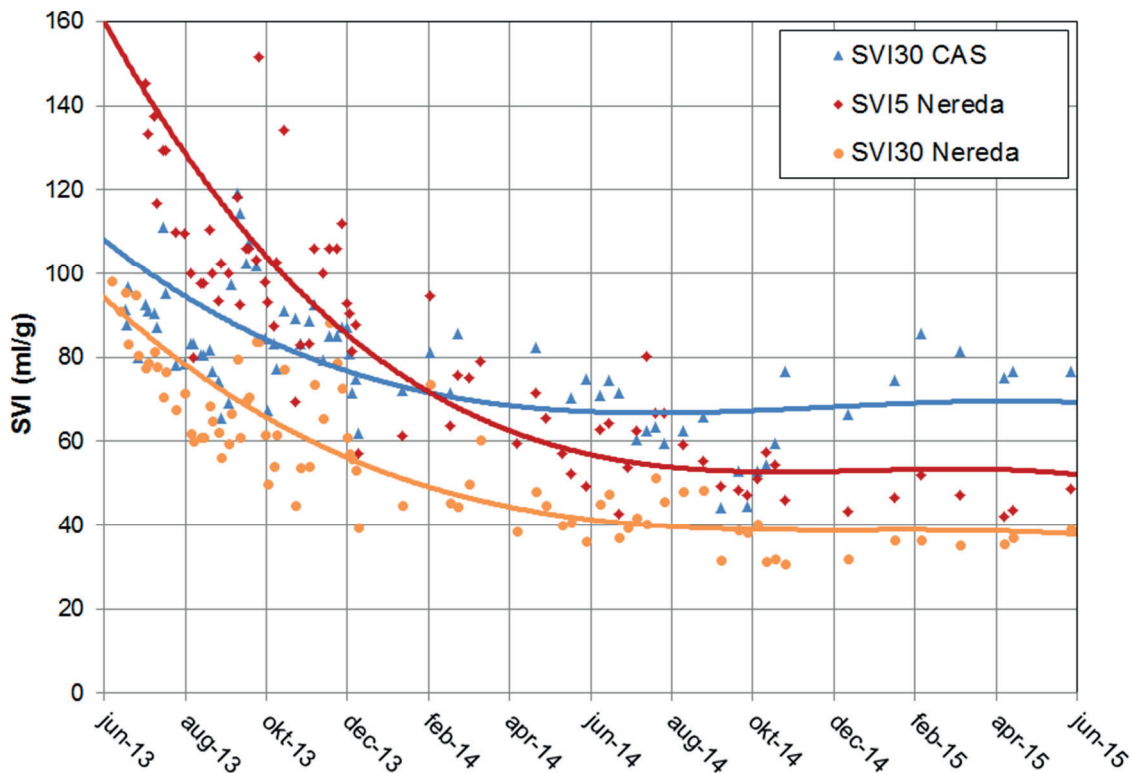
In Tabel 16 zijn de gemiddelde influent- en effluentconcentraties van de Nereda® straat in 2014 weergegeven. Uit de tabel blijkt duidelijk dat er ruimschoots aan de eisen uit de lozingsvergunning is voldaan. Hierbij moet worden opgemerkt dat er geen chemicaliën worden gedoseerd voor de fosfaatverwijdering.

Slibproductie

Het spuislib van de Nereda® reactor wordt afgevoerd naar de beluchtingstank van de conventionele straat. Deze spuislibstroom wordt niet apart bemonsterd en is daarom niet te kwantificeren.



AFBEELDING 29 VERLOOP SVI VAN NEREDA® EN CAS RWZI VROOMSHOOP



TABEL 16

INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING VAN DE NEREDA® OP RWZI VROOMSHOOP (2014)

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent	Effluenteis
CZV	mg/l	704	72	-
BZV	mg/l	248	7,9	-
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	-	19,7	30
Nkj	mg/l	61	5,6	-
NH ₄ -N (zomer / winter)	mg/l	-	1,6 / 2,8	2 / 4
NO ₃ -N	mg/l	-	1,7	-
N _{totaal}	mg/l	-	7,3	10
P _{totaal}	mg/l	8,0	1,1	2
P _{ortho}	mg/l	-	0,51	-

Energieverbruik

Op de rwzi Vroomshoop wordt het energieverbruik van beide straten apart gemeten. De metingen zijn beschikbaar vanaf juni 2014. Voor de periode van juni 2014 tot mei 2015 is in Tabel 17 het energieverbruik van de Nereda® straat weergegeven. Het verschil tussen de Nereda® straat en de conventionele straat is uitgewerkt in paragraaf 5.4.1. In Tabel 17 is onderscheid gemaakt in het verbruik van de verschillende procesonderdelen.

Het specifieke energieverbruik is berekend op basis van de jaargemiddelde verwijderde v.e.'s (11.300 v.e.) en het jaargemiddelde influentdebiet (1.490 m³/d). Hierbij dient te worden vermeld dat het vaststellen van de verwijderde v.e.'s voor de Nereda® Vroomshoop lastig is vanwege de hydraulische afvalwaterverdeling die afhankelijk van de aanvoersituatie bij DWA en RWA verschilt.

De grootste energieverbruikers op rwzi Vroomshoop zijn de blowers en de gemalen. In de eerste maanden na de opstart blijkt ook het energieverbruik van de mengers (3 stuks) in de influentbuffer erg hoog te zijn (circa 20% van totale energieverbruik). De bedrijfsvoering heeft

eerst één, later twee en uiteindelijk alle drie mengers uitgezet en telkens beoordeeld of dit negatieve effecten heeft m.b.t. bezinking. Sinds eind november 2014 staan de alle mengers definitief uit. In Tabel 18 is nog wel een energieverbruik voor dit procesonderdeel opgenomen, omdat tijdens de beschouwde periode de mengers nog gedeeltelijk functioneren. Indien hiermee rekening wordt gehouden, bedraagt het totaal specifieke energieverbruik 15,7 kWh/(v.e._{verwijderd}·jaar).

Chemicaliënverbruik

Op de Nereda®-installatie van Vroomshoop wordt geen metaalzout gedoseerd. De effluenteis voor fosfaat is 2 mg P/l en wordt zonder chemicaliën eenvoudig gehaald.

TABEL 17 ENERGIEVERBRUIK RWZI VROOMSHOOP (JUNI 2014 T/M MEI 2015)

Onderdeel	Energieverbruik		Specifiek energieverbruik	
	[kWh/dag]	[%]	[kWh/v.e. _{verwijderd} ·jaar]	[kWh/m ³]
Influentgemaal	57,0	10,9	1,8	0,038
Tussengemaal	52,4	10,0	1,7	0,035
Mengers influentbuffer	38,7	7,4	1,2	0,026
Blowers	301	57,3	9,7	0,20
Recirculatiepomp	17,6	3,3	0,6	0,012
Spuislibpomp	16,4	3,1	0,5	0,011
Mechanische slibindikking	30,7	5,8	1,0	0,020
Overige	11,7	2,2	0,4	0,008
Totaal	525	100	16,9	0,35

3.6 RWZI DINXPERLO

3.6.1 ONTWERP EN DIMENSIONERING

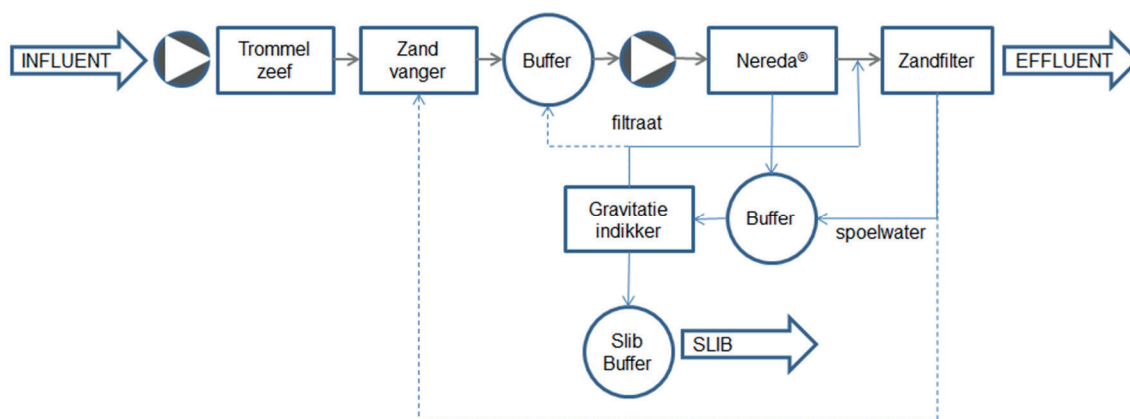
De oude actiefslibinstallatie van rwzi Dinxperlo heeft een ontwerpcapaciteit van 14.000 v.e. (à 54 g BZV) en 570 m³/h was sinds 1973 in bedrijf. Door een verscherping van de effluenteisen en de wens van het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ) om de verouderde installatie te vervangen, is in 2007 een variantenstudie uitgevoerd, waarbij de Nereda® technologie als voorkeursvariant naar voren komt. De Nereda® installatie is medio november 2013 in bedrijf genomen. In het 2^e kwartaal van 2014 zijn de garantiemetingen succesvol uitgevoerd.

De nieuwe rwzi Dinxperlo heeft een ontwerpcapaciteit van 15.730 v.e. (à 150 g TZV) en een maximale hydraulische belasting van 570 m³/h. In Afbeelding 31 is een blokschema van de rwzi Dinxperlo weergegeven. De dimensies van de belangrijkste procesonderdelen zijn weergegeven in Tabel 18. Gezien de relatief strenge effluenteisen (0,5 mg P_{totaal}/l en 7 mg N_{totaal}/l) is in het ontwerp uitgegaan van een nabehandeling door zandfilters voor het volledige afvalwaterdebiet. Daarnaast is een ijzerzoutdosering opgesteld, waarmee ten behoeve van een aanvullende fosfaatverwijdering zowel in de Nereda® reactoren als ook in de toevoer naar de zandfilters kan worden gedoseerd. Er is een relatief kleine influentbuffer aanwezig in de vorm van de reeds aanwezige pompruimte van het bestaande influentgemaal. Dankzij deze influentbuffer kan de aanvoer tijdelijk worden opgevangen op het moment dat geen enkele Nereda® reactor wordt gevoed en kan de aanvoer over de dag enigszins worden afgevlakt. Voor de optimalisatie van de aanvoer wordt gebruik gemaakt van een voorspellingsmodule in de Aquasuite Nereda® Controller.

AFBEELDING 30 **LUCHTFOTO VAN DE RWZI DINXPERLO**



AFBEELDING 31 BLOKSCHEMA RWZI DINXPERLO



TABEL 18 **PROCESONDERDELEN VAN DE RWZI DINXPERLO**

Onderdeel		Eenheid	Waarde	Opmerking
Fijnzeven	Maaswijdte	mm	3	
Influentbuffer	Volume	m ³	270	
Tussengemaal	Capaciteit	m ³ /h	640	
Nereda®	Aantal tanks	-	3	
	Volume elk	m ³	1.250	Rechthoekig
	Diepte	m	7,5	
Zandfilters	Aantal	-	3	
	Type	-	Discontinuu	Met vlokingsfiltratie
Slibbuffer	Volume	m ³	100	
Slibindikker	Type	-	Gravitair	
Ingedikt slibbuffer	Volume	m ³	260	

3.6.2 ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Slibspui en effluent zwevendstof

Eind 2013 is de Nereda® installatie op rwzi Dinxperlo in bedrijf gesteld. Ofschoon tijdens de garantiemetingen medio 2014 de vereiste effluentkwaliteit wordt behaald, blijft het korrelslibgehalte met 1,5 – 2 g/l (te) laag. Dit illustreert duidelijk dat korrelslib “biofilm” eigenschappen bezit. Toegepast (vergelijkend) onderzoek naar de verschillende methoden voor slibspui kan juist op deze locatie in dit verband belangrijke aanvullende informatie opleveren. Van november 2014 tot medio 2015 wordt dan ook op de rwzi Dinxperlo praktijkonderzoek uitgevoerd naar verschillende slibspuimethoden. Hierbij is de wijze van slibspui van de drie reactoren aangepast. Naar aanleiding van de positieve resultaten van de ervaringen met de aangepaste slibspui op de rwzi Garmerwolde (zie paragraaf 3.3.2) wordt op de rwzi Dinxperlo deze ontwikkeling verder onderzocht en aangepast aan de lokale mogelijkheden. In Tabel 19 zijn de drie methoden weergegeven.

TABEL 19 SLIBSPUIMETHODE OP DE RWZI DINXPERLO

	Startdatum [-]	Slibspui [-]	Voedingssnelheid [m ³ /(m ² .h)]
Reactor 1	11/2014	Na voeden	2,4
Reactor 2	11/2013	Na bezinken	-
Reactor 3	04/2015	Na voeden	3,0

Vanaf de opstart is in alle reactoren de “klassieke” slibspuimethode toegepast. In reactor 3 is vervolgens gestart met de “Garmerwolde” methode waarbij de influentaanvoer met interne recirculatie wordt aangevuld tot een debiet van 500 m³/h. Dit komt overeenkomt met een opwaartse snelheid van 3 m/h. Later wordt in reactor 1 dezelfde methode toegepast, echter met een lagere voedingssnelheid. Tijdens het STOWA onderzoek is aandacht besteed aan de ontwikkeling van de slibeigenschappen (korrelfracties, SVI). De resultaten van het onderzoek zijn gepresenteerd in paragraaf 4.2.

Fosfaatverwijdering

Het tweede onderzoek op Dinxperlo richt zich op de biologische P-verwijdering. Op rwzi Dinxperlo is dit item vanaf het pilotonderzoek altijd al een aandachtspunt geweest. Ook op praktijkschaal is de biologische defosfateringscapaciteit onvoldoende en moet met een aanvullende chemicaliëndosering de vereiste scherpe effluentkwaliteit worden behaald. Tijdens de onderzoeksfase is aandacht besteed aan het optimaliseren van de biologische fosfaatverwijdering en het onderzoeken van de invloed hierop van chemische fosfaatverwijdering. De resultaten van het onderzoek zijn gepresenteerd in paragraaf 4.5.

3.6.3 RESULTATEN

Opstart

De installatie is medio november 2013 opgestart, waarbij in eerste instantie alleen reactor 2 is geënt met ingedikt surplusslib van de rwzi Epe. Deze reactor is vervolgens hoog belast en in een zogenaamde SBR-mode bedreven. Vanwege contractuele redenen zijn vervolgens de reactoren 1 en 3 snel daarna opgestart. Ook deze reactoren zijn hierbij met Epe-slib geënt. Tijdens deze opstartperiode is de bestaande conventionele rwzi nog in bedrijf voor het behandelen van een deel van het influent. In de laatste periode van de opstart wordt de

bestaande installatie echter alleen nog tijdens RWA gevoed, hetgeen de effluentkwaliteit van deze installatie niet ten goede komt.

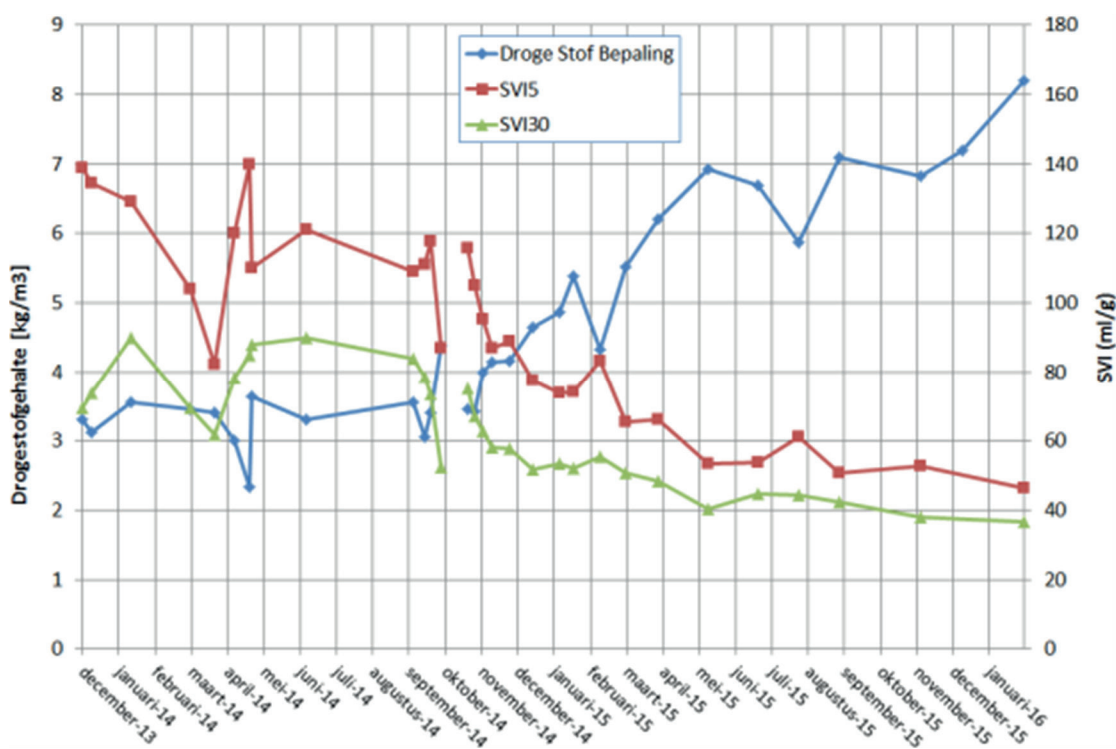
Het verloop van het slibgehalte en de SVI vanaf de opstart tot april 2015 is grafisch weergegeven in Afbeelding 32. Hierbij zijn de resultaten getoond van reactor 2, die sinds de opstart met de klassieke slibspuimethode is bedreven (zie paragraaf 2.5). Uit Afbeelding 32 blijkt dat het slibgehalte gedurende het eerste jaar relatief constant functioneert op een slibgehalte van circa 3,5 g/l. In deze periode is ook de SVI relatief constant en aan de hoge kant met waarden van 100-120 ml/g (SVI₅) en 70-90 ml/g (SVI₃₀). Vanaf oktober 2014 treedt een geleidelijke daling van de SVI en daarmee een stijging van het slibgehalte op.

Influent- en effluentkwaliteit

In de maanden april t/m juni 2014 zijn verificatiemetingen uitgevoerd en wordt influent en effluent (zandfilters) zes maal per week bemonsterd. In de verificatieperiode is er sprake van diverse technische problemen die invloed hebben op de resultaten. Het gaat hierbij voornamelijk om besturingstechnische zaken in relatie tot de NH₄-N analyzer, de chemicaliëndosering en de blowers. Ondanks deze technische problemen presteert de installatie naar behoren en worden de garantiewaarden (7 mg N_{totaal}/l en 0,5 mg P_{totaal}/l) gehaald.

De resultaten van de influent- en effluentmetingen over een periode van een jaar zijn samengevat weergegeven in Tabel 20. De effluenteisen voor CZV, BZV en onopgeloste bestanddelen worden eenvoudig gehaald. Ook de stikstofverwijdering is ruim voldoende, ondanks het relatief lage slibgehalte in de reactoren. De fosfaateis wordt echter niet gehaald, mede op grond van de al eerder genoemde technische storingen in (de besturing van) de chemicaliëndosering en de beluchting. Door een aantal hoge P-effluentwaarden tijdens de reguliere bemonsteringen, wordt de P-effluenteis niet gehaald. Overigens is vanaf maart 2015 de effluenteis van 0,5 mg P/l losgelaten en wordt op een effluentconcentratie van 1,0 mg P/l gestuurd.

AFBEELDING 32 VERLOOP SLIBGEHALTE EN SVI RWZI DINXPERLO (REACTOR 2)



TABEL 20 INFLUENT- EN EFFLUENTSAMENSTELLING RWZI DINXPERLO (APRIL 2014 – MAART 2015)

Parameter	Eenheid	Influent	Effluent Nereda® ¹⁾	Effluent Zandfilters	Effluenteis
CZV	mg/l	641	-	39	125
BZV	mg/l	250	-	2,7	20
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	258	-	6,9 ²⁾	30
Nkj	mg/l	68	-	3,6	-
NH ₄ -N	mg/l	-	1,9	-	-
NO ₃ -N	mg/l	-	1,3	1,7	-
N _{totaal}	mg/l	-	-	5,6	7,0
P _{totaal}	mg/l	8,6	-	0,68	0,5
P _{ortho}	mg/l	-	0,63	0,58	-

1) Het effluent van de Nereda wordt niet apart bemonsterd. In deze kolom zijn de jaargemiddelde waarden o.b.v. de on-line analysers weergegeven.

2) De detectiegrens bedraagt 5 mg/l

Slibproductie

De slibproductie op de rwzi Dinxperlo is op twee manieren bepaald. Allereerst is deze berekend op basis van de debiet- en drogestofmeting van het ingedikst slib. Daarnaast is op basis van de gegevens van het slibtransport geïnterpreteerd hoeveel drogestof van de rwzi wordt afgevoerd. Met beide methoden wordt voor de periode van maart t/m augustus 2014 een slibproductie van 440 kg DS/d berekend. Rekening houdend met het slib dat via het effluent uitspoelt, met de afname van het slibgehalte in de beschouwde periode en met de chemische slibproductie kan een biologische slibproductie van 394 kg DS/dag worden berekend. Met het opstellen van een oriënterende P-balans wordt een slibproductie berekend die behoorlijk verschilt van de hiervoor aangegeven uitkomst. Deze methode wordt hier dan ook verder buiten beschouwing gelaten. Met de genoemde biologische slibproductie van 394 kg DS/d kunnen specifieke kentallen worden berekend van 0,28 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 28 g DS/(v.e.₁₅₀.d).

Energieverbruik

Het energieverbruik van de rwzi Dinxperlo over een periode van een jaar is weergegeven in Tabel 21. Hierbij is onderscheid gemaakt in het verbruik van de verschillende procesonderdelen. Het specifieke energieverbruik is berekend op basis van de jaargemiddelde verwijderde v.e.'s (13.300 v.e.) en het jaargemiddelde influentdebiet (2.845 m³/d). De grootste energieverbruikers op rwzi Dinxperlo zijn de Nereda® (blowers) en de influenttoevoer (influent- en tussengemaal).

TABEL 21 ENERGIEVERBRUIK RWZI DINXPERLO (APRIL 2014 – MAART 2015)

Onderdeel	Energieverbruik		Specifiek energieverbruik	
	[kWh/dag]	[%]	[kWh/v.e. _{verwijderd} -jaar]	[kWh/m ³]
Influentgemaal	111	10,7	3,0	0,039
Tussengemaal	152	14,7	4,2	0,053
Blowers	457	44,0	12,4	0,16
Recirculatiepompen	9	0,9	0,2	0,003
Zandfilter	19	1,8	0,5	0,007
Slib	145	13,9	3,9	0,051
Utilities	30	2,9	0,8	0,011
Overige	115	11,1	3,1	0,040
Totaal	1038	100,0	28,3	0,36

Chemicaliënverbruik

Op de rwzi Dinxperlo vindt ijzerzoutdosering op zowel de Nereda® reactoren als op de zandfilters plaats. De dosering op de reactoren treedt in werking als het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte aan het eind van de beluchte fase $> 0,5 \text{ mg/l}$ is. De dosering vindt plaats met een constant debiet en de doseertijd is afhankelijk van het verschil tussen de werkelijke fosfaatwaarde en het setpoint van $0,5 \text{ mg P/l}$. De dosering in de toevoer naar de zandfilters vindt plaats als het $\text{PO}_4\text{-P}$ gehalte in het effluent van de Nereda® reactor hoger is dan $0,3 \text{ mg/l}$. Ook bij deze dosering is de hoeveelheid chemicaliën die wordt gedoseerd afgestemd op de mate waarin de actuele waarde afwijkt van het setpoint. Het chemicaliënverbruik over een periode van een jaar is weergegeven in Tabel 22. Hierbij is tevens het specifieke verbruik weergegeven. In deze periode was de gemiddelde fosfaatvracht $18,8 \text{ kg P}_{\text{totaal}}/\text{d}$ en het gemiddelde influentdebiet $2.845 \text{ m}^3/\text{d}$.

TABEL 22 IJZERZOUTDOSERING OP DE RWZI DINXPERLO (APRIL 2014 – MAART 2015)

Dosering	Doseerdebiet [m ³ /jaar]	Metaalzout [kg Fe/d]	Specifieke dosering	
			[mg Fe/l]	[mol Fe/mol P _{inluent}]
Nereda®	27,7	14,1	5,0	0,42
Zandfilters	11,5	5,9	2,1	0,17
Totaal	39,2	20,0	7,0	0,59

3.7 CONCLUSIES

Begin 2016 zijn in Nederland 5 huishoudelijke Nereda® installaties in bedrijf, waarvan in hoofdstuk 3 het ontwerp en de werking in termen van opstart, effluentkwaliteit, energie en chemicaliënverbruik kort zijn beschreven. Tevens is in hoofdstuk 3 aangegeven welke relevante onderzoeken hebben plaatsgevonden, teneinde specifieke aspecten van de Nereda® technologie nader onder de loep te nemen.

Met betrekking tot het ontwerp van de installaties kan worden gesteld dat op de Nereda® installaties verschillende ontwerpgrondslagen zijn gehanteerd, die mede op grond van praktijkervaringen naar voren zijn gekomen. Zo zijn de eerste ontwerpen nog gebaseerd op de grondslagen van standaard actief slibinstallaties, terwijl de latere ontwerpen hiervan nadrukkelijk beginnen af te wijken en hierbij tevens nieuwe ontwikkelingen worden geïntegreerd. Hierdoor zijn installaties met en zonder nabehandeling ontstaan, is wel of niet gebruik gemaakt van een buffertank en is naast de “groene weide” varianten ook een hybride installatie gerealiseerd.

Algemeen kan worden gesteld dat alle installaties (ruimschoots) aan de gestelde garantie eisen hebben voldaan. Daarmee kan worden vastgesteld dat in de Nederlandse context de Nereda® technologie in relatief korte tijd is geaccepteerd tot een voldragen alternatief voor actief slib. Dat wil niet zeggen dat bij de inbedrijfstelling en tijdens de procesvoering van de installaties geen verrassingen naar voren zijn gekomen. Verschillende aandachtspunten zijn in het SOON overleg naar voren gebracht en zijn in de praktijk verder onderzocht. De ervaringen daarmee worden in hoofdstuk 4 verder naar voren gebracht en geanalyseerd.

4

NEREDA® THEMA'S

4.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste thema's overkoepelend beschreven. Om e.e.a. te illustreren worden hierbij resultaten van verschillende installaties gebruikt, zoals beschreven in het vorige hoofdstuk. De thema's komen grotendeels overeen met de onderwerpen tijdens de maandelijkse SOON-overleggen (zie paragraaf 1.2) en gaan specifiek over korrelvorming en slibgroei, biologische fosfaatverwijdering en het effluent zwevendstofgehalte. Daarnaast komen de thema's effluentkwaliteit en energieverbruik in dit hoofdstuk aan bod. De aandacht gaat in dit hoofdstuk uit naar de resultaten van en ervaringen op de verschillende Nereda® installaties en de lessen die daaruit zijn geleerd. De vergelijking met een conventionele rwzi komt in hoofdstuk 5 aan de orde.

4.2 KORRELVORMING EN IN STANDHOUDING

4.2.1 INLEIDING

De basis van het Nereda® proces vormt het goed bezinkbare korrelslib. Zoals aangegeven in paragraaf 2.1 is internationaal enigszins arbitrair vastgesteld dat korrels een minimale diameter van 0,2 millimeter zouden moeten hebben. In de Nederlandse praktijk wordt een minimale diameter van 0,212 millimeter gehanteerd als gevolg van de toegepaste zeven. Overigens blijkt dat deeltjes met een diameter < 0,2 millimeter zich ook als korrels gedragen, maar deze worden niet in de onderstaande beschouwingen meegenomen.

De inrichting van de reactor en de bedrijfsvoering van het proces zijn er op gericht om de micro-organismen in de vorm van korrels te laten groeien. Hierbij is enerzijds van belang dat langzaam groeiende organismen worden bevoordeeld, omdat die de basis vormen voor de korrelgroei. Dit wordt gedaan door het slib onder anaerobe omstandigheden in contact te brengen met het gemakkelijk afbreekbaar substraat in het influent. Vervolgens wordt een zodanige hydraulische selectiedruk aangelegd, dat goed bezinkbare biomassa in de reactor wordt gehouden en biomassa met minder goede bezinkeigenschappen wordt afgevoerd. In de afgelopen jaren is ervaring opgedaan met de opstart van de in dit rapport besproken Nederlandse Nereda® installaties. In deze paragraaf zijn de resultaten en ervaringen van deze opstartfasen beschreven. Hierbij wordt extra aandacht besteed aan het onderzoek naar de verschillende manieren van slibspui dat op de rwzi Dinxperlo heeft plaatsgevonden.

4.2.2 OPSTART EN KORRELVORMING

De rwzi Epe is de eerste huishoudelijke Nereda® praktijkinstallatie ter wereld, waardoor er destijds nog geen korrelslib beschikbaar is voor enting. De installatie is daarom opgestart met conventioneel actiefslib van de bestaande rwzi Epe en andere installaties. De andere vier Nederlandse Nereda® installaties zijn circa 2 jaar na rwzi Epe opgestart. Bij de opstart van deze installaties is daarom gebruik gemaakt van een (beperkte) enting met ingedikd spuislib van de rwzi Epe.

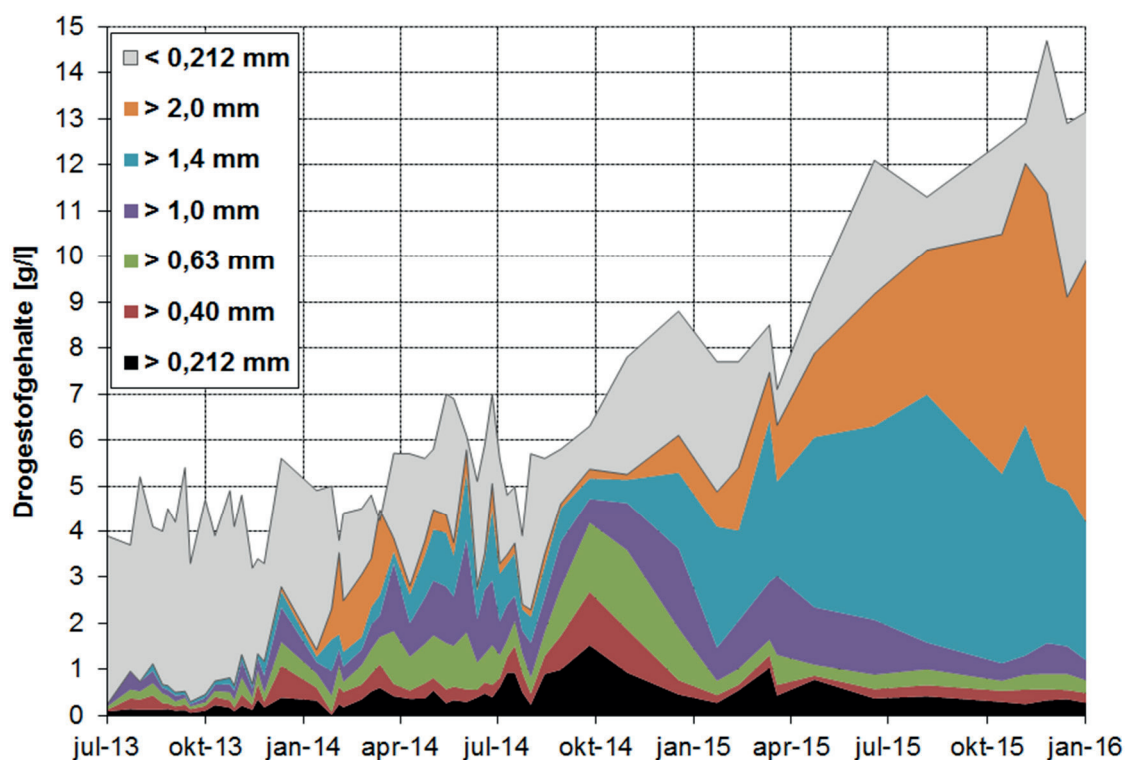
In deze paragraaf wordt met name ingegaan op de korrelvorming van deze vier laatste installaties. De korrelvorming op rwzi Epe is destijds beïnvloed door technische beperkingen en minder gunstige procesomstandigheden. Op grond van verkregen inzichten is de uitvoeringsvorm van de slibaflaat in de loop van 2012 gewijzigd, hetgeen tot een duidelijke verbetering van het korrelvormingsproces leidt. Dit voortschrijdende inzicht is vervolgens in het ontwerp van de andere Nereda® reactoren meegenomen.

Daarnaast heeft de opstart van de rwzi Epe te leiden gehad onder sterke pH-pieken in het influent als gevolg van de aansluiting van enkele grote slachterijen. De korrelvorming op de rwzi Epe kan door deze twee factoren niet als representatief worden beschouwd. Sinds 2012 draait de installatie stabiel op een slibgehalte van 2 tot 3 g/l met een korrelfractie van 50-60%, mede door een bewust gekozen hoge selectiedruk door de procesvoering van het waterschap. Door deze hoge selectiedruk en de relatief lage belasting van de rwzi bestaat het korrelslib met name uit kleinere korrels van 0,2 tot 1 mm, die overigens vanuit procestechnisch oogpunt uitstekend voldoen.

De vier Nederlandse huishoudelijke installaties die in 2013 in bedrijf zijn genomen, zijn vanaf de opstart intensief bemonsterd. Hierbij zijn onder andere metingen gedaan aan het verloop van de korrelfracties en de SVI. De ontwikkeling van de korrelfracties vertoont voor alle vier installaties een vergelijkbaar verloop. Ter illustratie is in Afbeelding 33 het verloop van de korrelfracties van de Nereda® reactor op de rwzi Vroomshoop getoond. Het verloop van het (korrel)slibgehalte vertoont twee kenmerkende fasen:

- 1 Constant slibgehalte. Het eerste jaar blijft het slibgehalte relatief constant. In Vroomshoop wordt een slibgehalte van 4-5 g/l aangehouden. De hoogte van het slibgehalte in deze fase is afhankelijk van de opgelegde selectiedruk. In deze stabiele periode neemt het korrelslibgehalte geleidelijk toe. Het verhogen van de belasting door het aansluiten van de persleiding uit Westerhaar in januari 2014 lijkt de korrelvorming een boost te geven.
- 2 Stijgend slibgehalte. Na een jaar begint het slibgehalte geleidelijk te stijgen. In Vroomshoop bedraagt de stijging circa 1 g/l over een periode van 2 maanden. Tijdens deze fase krijgen de grotere korrels de overhand.

AFBEELDING 33 ONTWIKKELING VAN KORRELSLIB OP RWZI VROOMSHOOP



Op de rwzi's Garmerwolde, Utrecht en Dinxperlo vindt een soortgelijke ontwikkeling van het korrelslib plaats. De specifieke kenmerken van de korrelslibontwikkeling van deze installaties zijn samengevat weergegeven in Tabel 23.

Op basis hiervan kan worden geconstateerd dat het een half tot één jaar duurt, voordat het (korrel)slibgehalte in de reactor gaat stijgen. Daarnaast valt op dat de snelheid waarmee het (korrel)slibgehalte in fase 2 gaat stijgen, per installatie kan verschillen van 0,33 tot 0,78 kg DS/(m³.maand). Dit is (mogelijk) gerelateerd aan de wijze van slibspui en/of de belasting van de installatie. In de volgende paragrafen wordt verder ingegaan op de verschillende slibspui-methoden.

TABEL 23 OPSTART NEREDA® INSTALLATIES

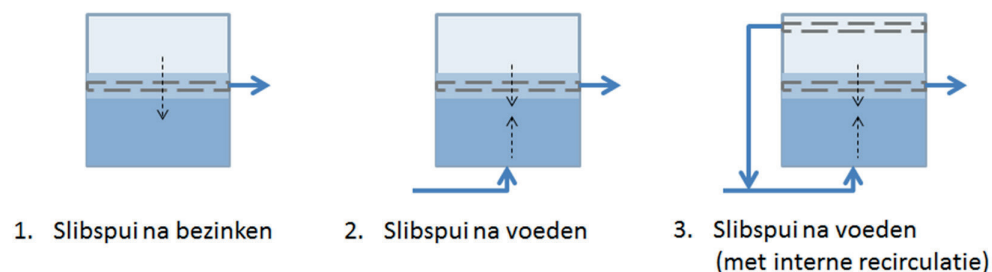
Parameter	Eenheid	Garmerwolde	Utrecht	Vroomshoop	Dinxperlo
Fase 1 - Opstart	-	Juli 2013	April 2013	Augustus 2013	November 2013
Fase 1 - Slibgehalte	kg DS/m ³	3,5 - 4	2,5 - 3	4 - 5	2,5 - 3,5
Fase 1 - Duur	maanden	6	12	12	12
Fase 2 - Start	-	Januari 2014	April 2014	Augustus 2014	November 2014
Fase 2 - Slibgroei	kg DS/(m ³ .maand)	0,78	0,58	0,45	0,33

4.2.3 SLIBSPUI

Het vormen van korrelslib is alleen mogelijk als de goede procesomstandigheden voor korrelvorming worden gecreëerd. Vervolgens dient een regime te worden opgelegd, waarbij tijdens het slibspuien zoveel mogelijk slecht bezinkbaar slib (vlokken) wordt verwijderd en de gevormde korrels zoveel mogelijk in de reactor blijven. Deze slibspui heeft op pilot- en praktijkinstallaties (b.v. Epe, Vroomshoop) altijd plaatsgevonden op een wijze waarbij de segregatie van korrels en vlokken plaatsvindt tijdens de bezinkfase (methode 1 in Afbeelding 34). De ervaring met deze slibspuimethode is dat deze leidt tot korrelslib, maar dat de groei relatief langzaam verloopt.

Op de rwzi Garmerwolde is sinds begin 2014 een andere slibspuimethode toegepast, waarbij deze na de voedingsfase wordt uitgevoerd (methode 2 in Afbeelding 34). Hierbij vindt de segregatie van slecht en goed bezinkbaar slib niet alleen plaats tijdens de bezinkfase, maar ook tijdens de daaropvolgende fase waarbij het korrelslib opwaarts wordt doorstroomd. Na de invoering van deze methode is het slibgehalte in Garmerwolde fors toegenomen en is de korrelfractie duidelijk gestegen.

AFBEELDING 34 SLIBSPUIMETHODEN



Onderzoek rwzi Dinxperlo

Om het verschil tussen beide slibspuimethoden te testen is op de rwzi Dinxperlo in elk van de drie reactoren een andere methode toegepast. Het spuien na voeden is alleen mogelijk indien een influentbuffertank aanwezig is, zodat het voedingsdebiet relatief constant kan worden

gehouden. Dit is op de rwzi Dinxperlo niet het geval, de aanwezige influentbuffer is daarvoor te klein. Op de rwzi Dinxperlo is daarom een alternatieve methode toegepast, waarbij tijdens het voeden aanvullend wordt gerecirculeerd (methode 3 in Afbeelding 34).

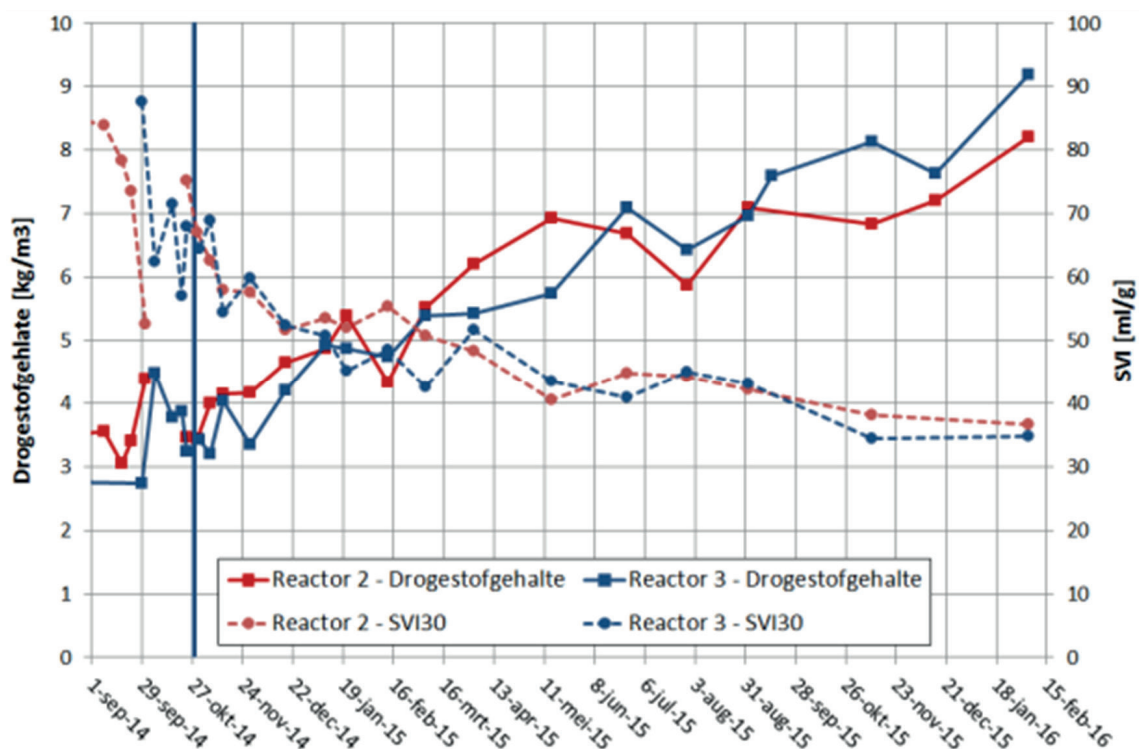
De installatie heeft het eerste jaar gedraaid met de (klassieke) slibspui na bezinken en blijft hierbij op een stabiel, maar relatief laag slibgehalte hangen. In de reactoren 1 en 3 is vervolgens de alternatieve slibspuimethode toegepast, terwijl op reactor 2 de klassieke methode is gehandhaafd. De belangrijkste instellingen voor de verschillende reactoren van de rwzi Dinxperlo zijn:

- Reactor 2: geen wijzigingen, slibspui na bezinken
- Reactor 3: vanaf oktober 2014, slibspui na voeden (incl. recirculatie), voedingssnelheid 3,0 m/h
- Reactor 1: vanaf april 2015, slibspui na voeden (incl. recirculatie), voedingssnelheid 2,4 m/h

Resultaten rwzi Dinxperlo

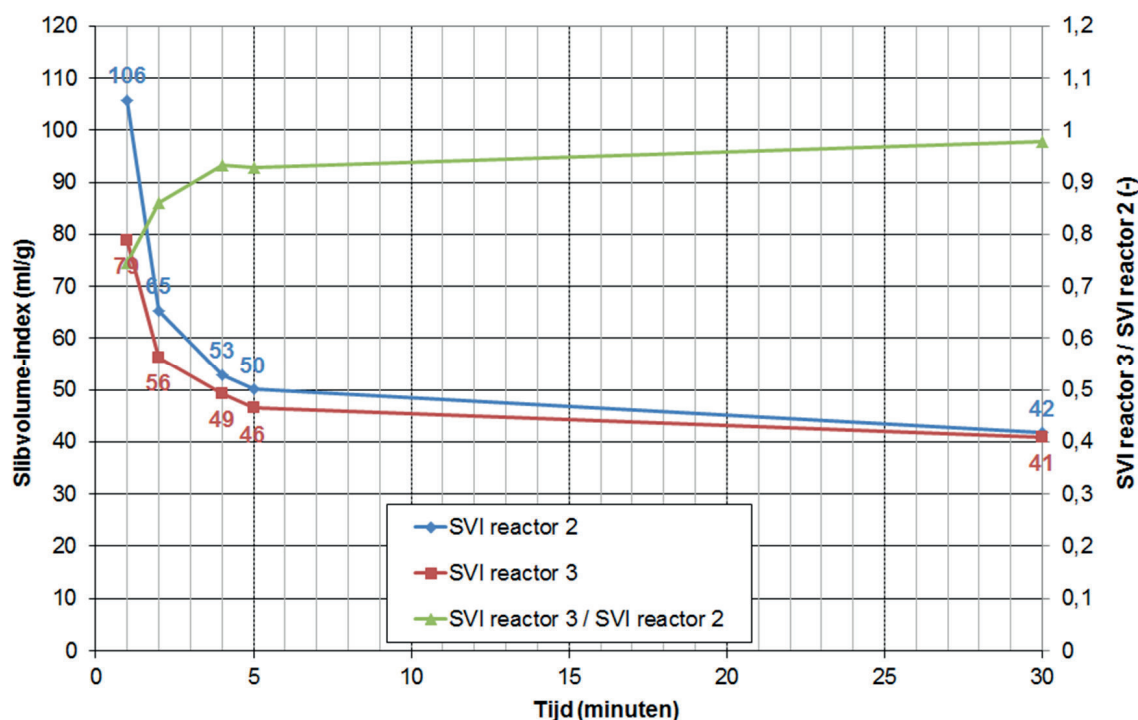
Door een technisch mankement heeft reactor 1 een tijd lang niet optimaal gedraaid. Hoewel dit geen gevolgen voor de effluentkwaliteit heeft, wordt de korrelvorming hierdoor wel negatief beïnvloed. Voor de vergelijking van de resultaten van dit onderzoek is daarom alleen gebruik gemaakt van reactor 2 en 3. Op 28 oktober 2014 is op reactor 3 de alternatieve slibspuimethode ingesteld. Het verloop van het drogestofgehalte en de SVI_{30} is voor beide reactoren grafisch weergegeven in Afbeelding 35. Opvallend is dat het drogestofgehalte in beide reactoren gaat stijgen en de SVI gaat dalen op het moment dat deze wijziging in reactor 3 wordt doorgevoerd. Ook het verloop van het korrelslibpercentage en de SVI_5 vertonen grote gelijkenis voor beide reactoren. Dit geldt overigens ook voor reactor 1, zij het dat het verloop hierbij is beïnvloed door de genoemde technische storing.

AFBEELDING 35 VERLOOP VAN DROGESTOFGEHALTE EN SVI_{30} OP RWZI DINXPERLO



De verschillende slibspuimethoden leiden wel tot grote verschillen in slibbezinkbaarheid. De slibbezinksnelsnelheid (daling van de slibdeken) in reactor 2 is in de zelfde orde van grootte als de opgelegde selectiedruk. Dit is logisch omdat het slib hiertoe wordt gedwongen door de wijze van slibspui. In reactor 3 blijkt de opgelegde selectiedruk een stuk hoger te zijn, waardoor de slibbezinksnelsnelheid aanzienlijk hoger uitkomt. Dit resultaat komt niet uit de reguliere SVI-metingen naar voren, doordat deze metingen meer beïnvloed worden door slibindikking dan door de slibbezinksnelsnelheid. De bezinksnelsnelheid is namelijk alleen de eerste minuten van een SVI-test van invloed. Ter illustratie hiervan is in Afbeelding 36 het verloop van de SVI (van 1 tot 30 minuten) te zien voor slib uit reactor 2 en 3, en de verhouding tussen beiden. De SVI van reactor 3 is na 1 minuut veel lager dan die van reactor 2, terwijl de SVI's na 5 en 30 minuten in beide reactoren nagenoeg gelijk zijn.

AFBEELDING 36 HET VERLOOP VAN DE SVI₂ TOT SVI₃₀ IN REACTOR 2 EN 3 VAN RWZI DINXPERLO



4.2.4 EVALUATIE

Op basis van de versnelde opstart op rwzi Garmerwolde na het introduceren van de slibspui na voeden zou kunnen worden geconcludeerd dat spuien na voeden effectiever is dan het spuien na bezinken. Uit het onderzoek op de rwzi Dinxperlo is dit echter niet gebleken en is de ontwikkeling van het korrelslib voor beide slibspuimethoden vergelijkbaar. Op rwzi Utrecht is met slibspui na voeden succesvol opgestart en op rwzi Vroomshoop met slibspui na bezinken. Beide slibspuimethoden lijken derhalve geschikt om een Nereda® installatie op te starten en te bedienen.

De factoren die van invloed kunnen zijn op de (snelheid van) korrelvorming zijn o.a. de slibspuimethode, de selectiedruk, de slibbelasting, de exchange ratio en de procesomstandigheden tijdens voeden. In Tabel 24 is een overzicht gegeven van deze factoren voor de verschillende praktijkinstallaties. Er lijkt een relatie te zijn tussen de belasting van de installatie en de snelheid waarmee het korrelslibgehalte in de reactor aangroeit, hoewel dit niet helemaal opgaat.

TABEL 24 OPSTART VAN VERSCHILLENDE INSTALLATIES

Parameter	Eenheid	Garmerwolde	Utrecht	Vroomshoop	Dinxperlo
Slibspui	-	Na voeden	Na voeden	Na bezinken	Na bezinken
Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.dag)	0,128	0,110	0,150	0,085
Hydraulische belasting	m ³ /(m ³ .dag)	1,45	1,1	1,0	0,76
Slibgroeisnelheid	kg DS/(m ³ .maand)	0,78	0,58	0,45	0,33

4.3 EFFLUENTKWALITEIT

4.3.1 OVERZICHT

In Tabel 25 is een overzicht gegeven van de effluentkwaliteit van de verschillende installaties, zoals eerder getoond in hoofdstuk 3. Het betreft voor de vier Nereda® praktijkinstallaties een jaargemiddelde waarde, waarbij voor elke rwzi een representatieve periode is genomen, zonder dat sprake is van onderzoek of andere van invloed zijnde omstandigheden. Voor de demonstratie-installatie Utrecht is een gemiddelde over vijf maanden weergegeven, omdat op deze installatie niet altijd een reguliere effluentbemonstering heeft plaatsgevonden.

TABEL 25 JAARGEMIDDELTE EFFLUENTSAMENSTELLING VAN DE VERSCHILLENDE INSTALLATIES

Parameter	Eenheid	Epe	Garmerwolde	Utrecht	Vroomshoop	Dinxperlo
Periode	-	01/14-12/14	04/14-03/15	05/15-09/15	01/14-12/14	04/14-03/15
Zandfiltratie	-	+	-	-	-	+
Chemicaliën Nereda®	-	-	+	-	-	+
Chemicaliën Zandfilter	-	+	-	-	-	+
CZV	mg/l	39	60	37	72	39
BZV	mg/l	3,1	8,9	-	7,9	2,7
Onopgel. bestanddelen	mg/l	6,2 ¹⁾	17,9	8,1	19,7	6,9 ¹⁾
Nkj	mg/l	3,2	5,0	4,0	5,6	3,6
NO ₃ -N	mg/l	2,7	3,0	3,1	1,7	1,7
N _{totaal}	mg/l	6,0	7,8	5,7	7,3	5,6
P _{totaal}	mg/l	0,32	0,83	0,53	1,1	0,68
P _{ortho}	mg/l	0,16	0,51	0,28	0,51	0,58

1) De detectiegrens bedraagt 5 mg/l

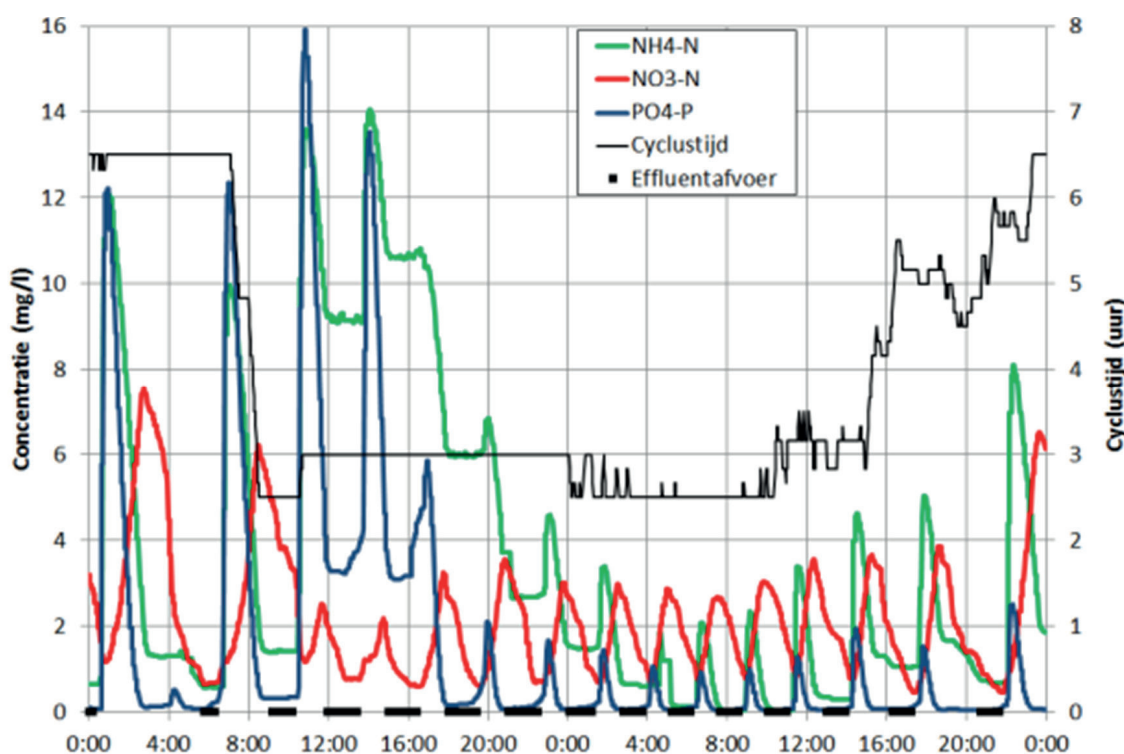
4.3.2 FIRST FLUSH

Zoals besproken in paragraaf 2.4.2 neemt de cyclustijd in een batch proces af tijdens RWA. Omdat over het algemeen de voedingstijd en de bezinktijd gelijk blijven gaat deze afname grotendeels ten koste van de procestijd (beluchte tijd). De wijze waarop het influent bij een first flush op de rwzi aankomt is sterk afhankelijk van het aanvoerstelsel. Bij een vrij-verval riolering wordt de aanvoer vrijwel onmiddellijk verdund met regenwater. Indien er, zoals in Garmerwolde, sprake is van grote persleidingen, komt het influent in eerste instantie met RWA-debiet en DWA-samenstelling aan. Op het moment dat dan de cyclustijd en de beluchte tijd afneemt gaat dit ten koste van de effluentkwaliteit van de betreffende cyclus. Dit is met name te zien aan het ammoniumgehalte en het fosfaatgehalte. Er is onvoldoende tijd, en afhankelijk van het ontwerp soms ook onvoldoende beluchtingscapaciteit, om het ammonium te nitrificeren en het afgegeven fosfaat op te nemen. Merk op dat deze ontwerp- en procesvoering een bewuste keuze is, die in de Nederlandse context de benodigde werking combineert met een kosteneffectieve bouw. In landen waar de werking van de installaties wordt bepaald op basis van steekmonsters, en vaak ook nog percentielwaarden gelden, dient

het ontwerp van de reactoren zodanig te zijn, dat ook bij een first-flush situatie de vereiste kwaliteit mogelijk is.

In Afbeelding 37 is als voorbeeld het verloop van het ammonium, nitraat- en fosfaatgehalte getoond voor een RWA-situatie op de rwzi Garmerwolde. Tevens is in deze afbeelding de actuele cyclustijd getoond en de momenten waarop de effluentafvoer (voeding) plaatsvindt. De cyclustijd bij DWA bedraagt 6,5 uur. Tijdens RWA neemt deze af tot minimaal 2,5 uur. De eerste cycli na het begin van de RWA neemt de cyclustijd snel af en stijgen het ammonium- en het fosfaatgehalte. Het ammoniumgehalte neemt in één cyclus toe van 1,5 naar 9 mg N/l, terwijl het fosfaatgehalte toeneemt van <0,5 naar ruim 3 mg P/l. Tijdens deze eerste cycli wordt metaalzout gedoseerd om het fosfaatgehalte niet te hoog te laten worden.

AFBEELDING 37 VERLOOP VAN DE STIKSTOF- EN FOSFAATGEHALTES TIJDENS RWA (16 EN 17 NOVEMBER 2014, GARMERWOLDE)



Vervolgens is te zien dat, hoewel de cyclustijd kort blijft, het ammonium- en fosfaatgehalte snel dalen. Tijdens de rest van de RWA-situatie is er ten gevolge van het verdunningseffect nauwelijks nog ammonium en fosfaat in het effluent aanwezig. Ondanks de relatief hoge effluentwaarden tijdens de eerste cycli is de gemiddelde effluentkwaliteit op de in de afbeelding getoonde dagen 3,8 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ en 1,3 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$. Hoewel deze waarden hoger zijn dan tijdens normaal DWA-bedrijf zijn deze met het oog op de te bereiken effluentkwaliteit acceptabel en in lijn met de ontwerpstrategie van de installatie. Overigens bedraagt het ammonium effluentgehalte van de AB-straat van de rwzi Garmerwolde tijdens deze RWA-dagen gemiddeld ruim 10 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$.

4.3.3 NABEHANDELING EN METAALZOUTDOSERING

Afhankelijk van effluenteisen kan een nabehandeling met bijvoorbeeld zandfilters in het ontwerp van een Nereda® installatie worden opgenomen. De redenen hiervoor kunnen een strenge fosfaateis zijn of een strenge eis voor onopgeloste bestanddelen. Voor Nederlandse rwzi's is met name de fosfaateis hierbij de doorslaggevende reden voor nabehandeling (Epe

en Dinxperlo). De effluenteis voor onopgeloste bestanddelen is met een jaargemiddelde eis van 30 mg/l eenvoudig haalbaar zonder nabehandeling, zoals blijkt uit de resultaten van Garmerwolde en Vroomshoop. Een gegarandeerde fosfaat-effluenteis van 0,3 mg P_{totaal} /l in Epe is bij de stand der techniek in Nederland anno 2016 – ook voor actiefslibsystemen – alleen mogelijk met nabehandeling. Een gemiddeld gehalte aan onopgeloste bestanddelen van 10-20 mg/l leidt tot een onopgelost fosfaatgehalte van 0,3-0,6 mg P/l. Zonder het gehalte aan onopgeloste bestanddelen significant te verlagen, zijn daarom de eerder genoemde fosfaateisen niet haalbaar.

4.4 ZWEVENDSTOF

4.4.1 INLEIDING

Zoals eerder toegelicht zijn de Nereda® ontwerpen voor de rwzi's Epe en Dinxperlo als gevolg van de relatief strenge P-effluenteisen uitgevoerd met een nageschakelde (zand-)filtratiestap. Het ontwerp van de effluentgoot was er daarom op gericht om de vorming van een drijfslaag te voorkomen. Er is immers in tegenstelling tot een nabezinktank, op een Nereda® reactor geen drijfslaagruimsysteem aanwezig. Er is daarom toentertijd besloten om een eventuele drijfslaag met het Nereda®-effluent mee af te voeren naar de zandfilters en aldaar te verwijderen. Het feit dat zich inderdaad geen drijfslagen op het oppervlak van de desbetreffende Nereda® reactoren opbouwt, toont aan dat de uitvoeringsvorm van het toenmalige ontwerp succesvol is.

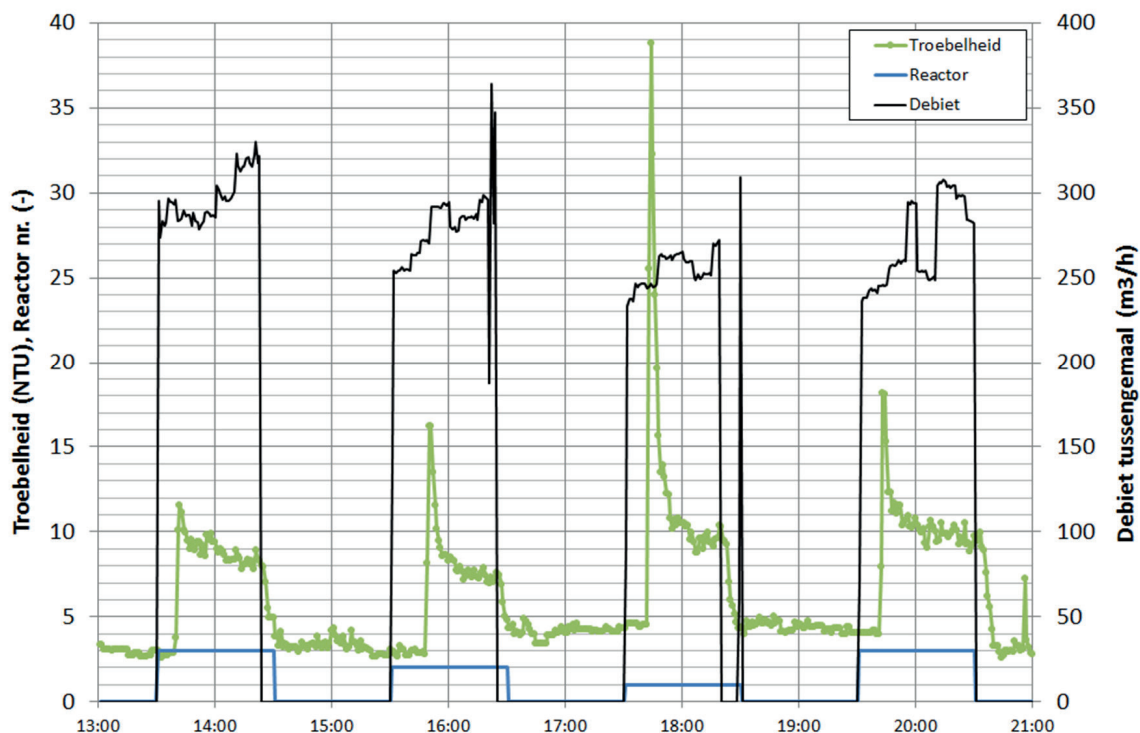
Uit de resultaten van de verschillende installaties (zie Tabel 25) blijkt dat de installaties met een dergelijke effluentgoot zonder nabehandeling een effluent zwevendstofgehalte van 10 tot 20 mg/l bereiken. Hoewel deze waarden ruimschoots voldoen aan de Nederlandse normen, is dit wel (enigszins) hoger dan over het algemeen op conventionele rwzi's wordt gehaald. Het verder verlagen van het effluent zwevendstofgehalte in Nereda®-installaties is daarom een belangrijk aandachtspunt. Met het zwevendstof wordt namelijk ook organisch gebonden fosfaat en stikstof geloosd. Een hoger zwevendstofgehalte kan dus de oorzaak zijn van het niet halen van fosfaat- en/of stikstofeisen. Daarnaast liggen de geldende eisen voor zwevendstof in het buitenland soms scherper dan in Nederland.

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de dynamiek en oorsprong van het zwevendstofgehalte in het effluent van een Nereda® reactor en worden de mogelijkheden voor het verder verlagen van het effluent zwevendstofgehalte gepresenteerd.

4.4.2 DYNAMIEK

In de loop van 2014 zijn op alle Nereda® installaties in Nederland troebelheidsmeters in het effluent van de Nereda® reactoren geplaatst, teneinde het inzicht in de dynamiek van de zwevendstof concentraties te vergroten. Een karakteristiek verloop van de troebelheid van een Nereda® reactor is weergegeven in Afbeelding 38. Het betreft de effluent troebelheid op de rwzi Dinxperlo op 6 juni 2015. Op de rwzi Dinxperlo worden de 3 reactoren bij een (DWA) cyclustijd van 6 uur beurtelings een uur gevoed. Tussen de voedingen van de reactoren is telkens een uur geen voeding, waarin het aangevoerde influent wordt gebufferd.

AFBEELDING 38 VERLOOP VAN DE TROEBELHEID IN HET EFFLUENT VAN DE RWZI DINXPERLO



Wat direct opvalt aan de troebelheidsmeting is het piekje aan het begin van de voeding. Hierbij dient het volgende in ogenschouw te worden genomen. De eerste 10 tot 15 minuten van de voedingstijd vindt nog geen effluentafvoer plaats, omdat de Nereda®-reactor dan wordt opgevuld. Het waterniveau in de vorige cyclus was immers verlaagd ten gevolge van de waterstandsverlaging en de spuislibafvoer. Op het moment dat het waterniveau in de reactor is toegenomen tot de effluentgoot en effluent wordt afgevoerd, is vaak de getoonde piek in de troebelheidsmeting zichtbaar. In het getoonde voorbeeld varieert deze piek tussen de 12 en 39 NTU en duurt deze 5 à 10 minuten. Na deze piek stabiliseert de troebelheid op een niveau van 7 tot 10 NTU.

Bij de analyse van de zwevendstofconcentraties in het effluent van een Nereda® installatie wordt onderscheid gemaakt naar de volgende twee aspecten:

- De piek tijdens het begin van de voeding;
- Het basisniveau tijdens het verdere verloop van de voeding.

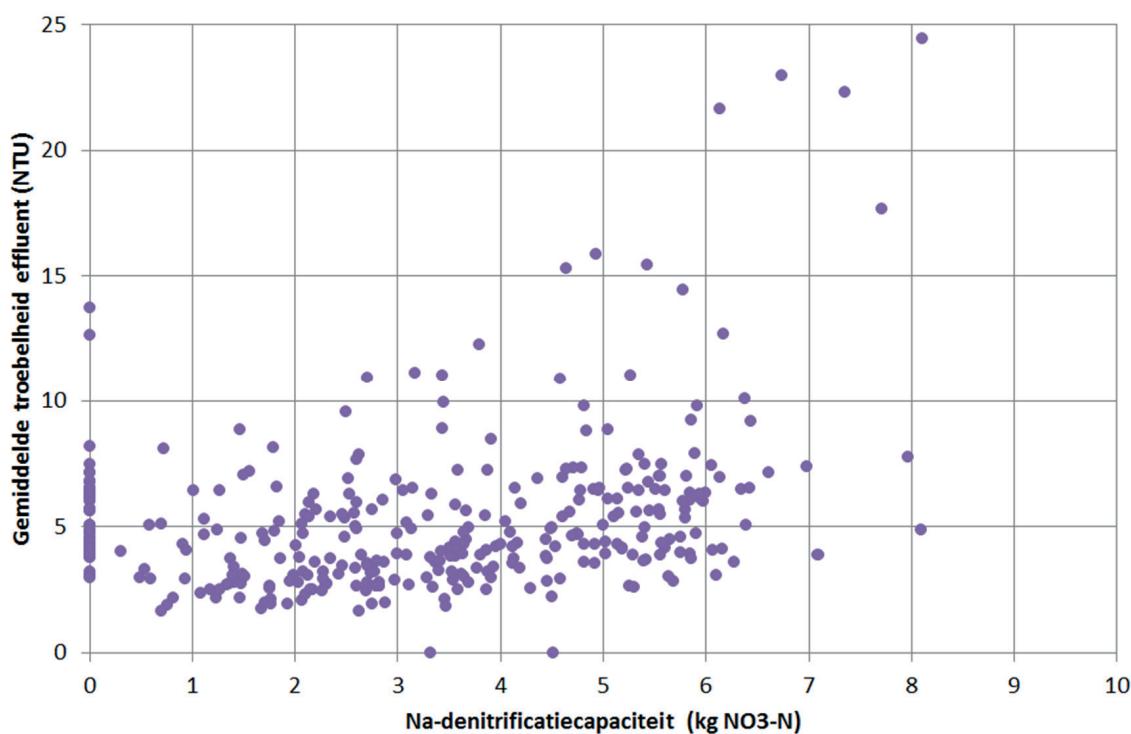
4.4.3 ANALYSE

Royal HaskoningDHV is in 2015 een onderzoek gestart naar zwevendstof in het effluent. Hierbij is enerzijds gezocht naar de oorsprong van de zwevendstof in het effluent en anderzijds naar mogelijkheden ter verdere reductie. Met betrekking tot de herkomst van de zwevendstof gaan eerste gedachten hierbij uit naar influent / interne stromen, en anderzijds naar processen die in de reactor plaatsvinden.

De invloed van de influentsamenstelling op het effluent zwevendstofgehalte is gebleken op de rwzi Garmerwolde. In de eerste periode van de opstart zijn via interne stromen aanzienlijke hoeveelheden extern uitgestort slib in de Nereda® reactoren terecht gekomen. Dit heeft enerzijds een negatieve invloed op de korrelvorming gehad, maar ook op de effluentkwaliteit.

Het feit dat zwevendstof in het effluent terecht komt en niet in het slibbed wordt ingevangen, kan verschillende oorzaken hebben. Allereerst kan er, net als op een nabezinktank, een drijf-laagje ontstaan. De effluentgoot is meestal zodanig ontworpen dat een drijf-laag direct wordt afgevoerd met het effluent. Een tweede mogelijkheid is dat een te hoge voedingsnelheid (bij RWA) tot gevolg heeft dat de slibdeken tijdens voeden te veel stijgt, met als gevolg zwevendstof in het effluent. In de praktijk blijkt dit echter niet voor te komen, omdat de slibkarakteristieken dusdanig zijn dat de slibdeken onder alle condities ruim onder de effluentgoot blijft. Een derde mogelijkheid betreft het ontstaan van gasbelletjes ten gevolge van denitrificatie tijdens de bezink- en/of voedingsfase. Ten gevolge van denitrificatie vindt vorming van stikstofgas plaats. Dit gas gaat in eerste instantie in oplossing, maar kan onder bepaalde omstandigheden uit oplossing gaan en als gasbelletje opstijgen. De mate waarin denitrificatie plaatsvindt, kan daarmee een invloed hebben op het effluent zwevendstofgehalte, zoals wordt geïllustreerd in Afbeelding 39. In deze figuur wordt getoond dat een hoog effluent zwevendstofgehalte op de rwzi Garmerwolde is gerelateerd aan een hoge denitrificatiecapaciteit.

AFBEELDING 39 INVLOED VAN NA-DENITRIFICATIECAPACITEIT OP DE EFFLUENT SS (RWZI GARMERWOLDE)



De meest effectieve methode om ontgassing van stikstofgas tijdens de bezink- of voedingsfase tegen te gaan, is er voor te zorgen dat het stikstofgas voordien uit de vloeistof is gestript. De wijze waarop de (na-) denitrificatie wordt uitgevoerd en de wijze waarop de beluchting in de beluchte fase wordt geregeld, bieden hiertoe de nodige handvatten. De na-denitrificatie kan op verschillende manieren worden uitgevoerd, waarbij gebruik kan worden gemaakt van interne recirculatie en/of beluchting.

4.4.4 OPTIMALISATIEMOGELIJKHEDEN

Eén van de mogelijkheden om tijdens de na-denitrificatiefase het oplossen van N_2 -gas te beperken is het toepassen van “borrelbeluchting” (continu beluchten op een laag zuurstofsetpoint). Hierbij worden omstandigheden gecreëerd waarbij zoveel mogelijk simultane denitrificatie plaatsvindt, terwijl het gevormde stikstofgas meteen wordt gestript. Het toepassen

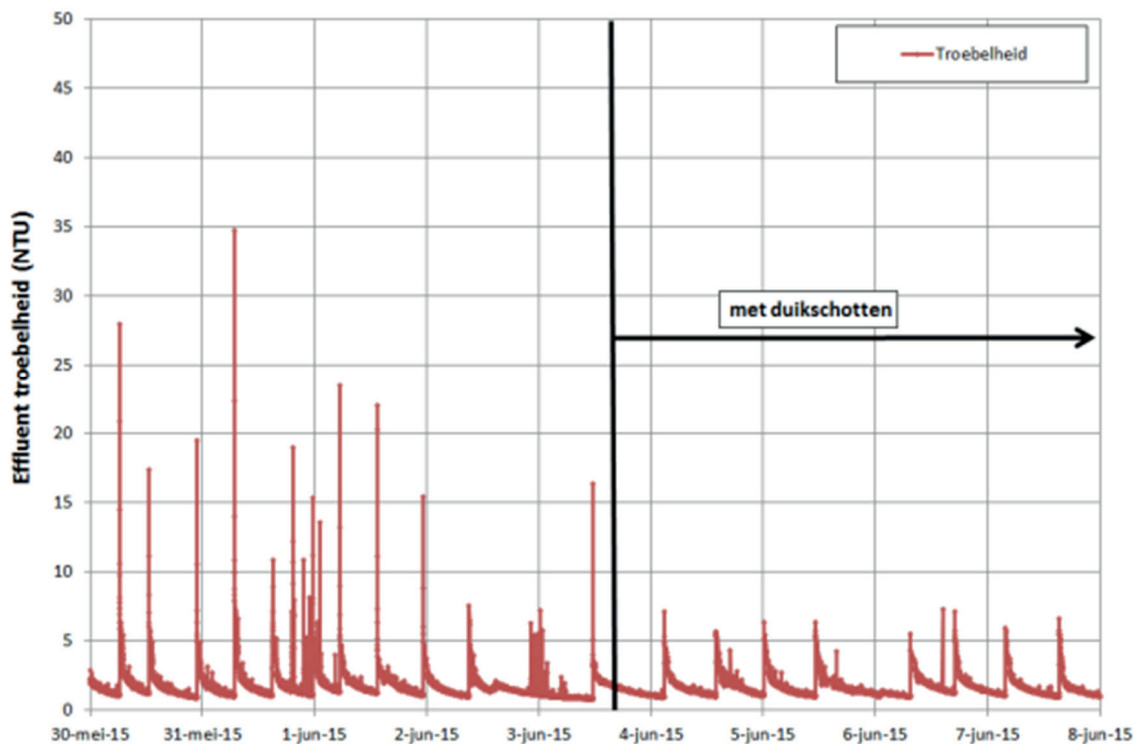
van borrelbeluchting wordt onderzocht in Garmerwolde en Utrecht. Op beide locaties heeft de introductie geleid tot een opvallende verlaging van het effluent zwevendstofgehalte. Op de rwzi Garmerwolde is de borrelbeluchting in september 2014 geïntroduceerd. In de daarop volgende periode heeft de bedrijfsvoerder van de rwzi daarnaast veel aandacht besteed aan het “rustig” bedienen van de installatie, waarbij de focus ligt op het voorkomen van teveel turbulentie. Het gemiddelde effluent zwevendstofgehalte is sindsdien afgenomen tot 10-15 mg/l.

Op 3 juni 2015 zijn op de demonstratie-installatie in Utrecht duikschotten langs de effluentgoten van de Nereda® tank geplaatst (zie Afbeelding 40). Het doel van deze duikschotten is om een eventuele drijfslag tegen te houden. De resultaten na deze aanpassing zijn positief, zoals mag blijken uit Afbeelding 41, die de trend van de effluent troebelheidsmeting vóór en na deze aanpassing toont. Opvallend is dat de troebelheidspieken zijn verdwenen. In Afbeelding 42 is het verloop van het effluent zwevendstofgehalte weergegeven. Hoewel er voor de ombouw relatief weinig metingen zijn uitgevoerd, kan wel worden geconstateerd dat het gemiddelde zwevendstofgehalte in het effluent van de reactor is gedaald tot ruim onder de 10 mg/l, het niveau dat met CAS installaties wordt bereikt. De zwevendstof pieken die sindsdien zijn opgetreden, zijn het gevolg van uitgevoerd onderzoek. Hierbij is de installatie bewust met niet-representatieve (zeer) hoge exchange ratio's van soms meer dan 100% (!) bedreven.

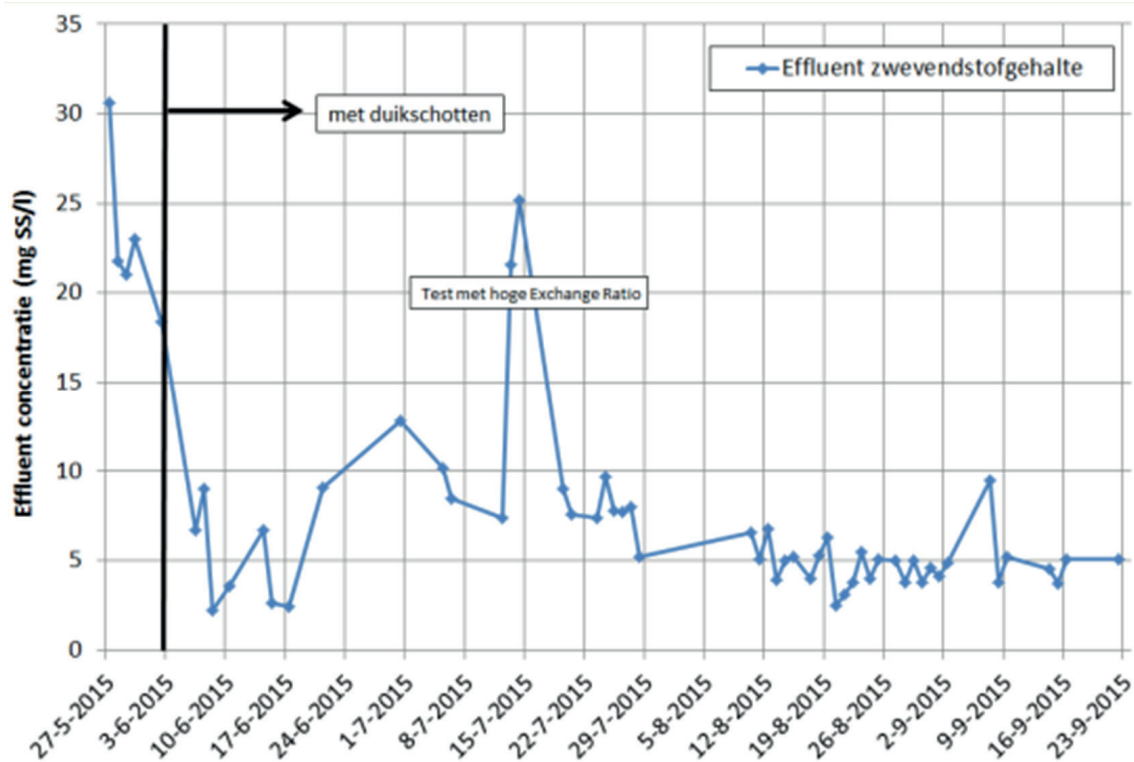
AFBEELDING 40 DUIKSCHOTTEN OP DE NEREDA UTRECHT



AFBEELDING 41 TROEBELHEID OP DE NEREDA® UTRECHT VOOR EN NA DE PLAATSIING VAN DE DUIKSCHOTTEN



AFBEELDING 42 EFFLUENT ZWEVENDSTOFGEHALTE OP DE NEREDA® UTRECHT



4.4.5 HYBRIDE REACTOR

Op de hybride installatie van Vroomshoop kan het effluent van de Nereda® reactor op verschillende manieren worden afgevoerd; naar de conventionele beluchtingstank, op de nabezink-tanks of direct in de effluentput (zie Afbeelding 27). De eerste maanden na de opstart in juni

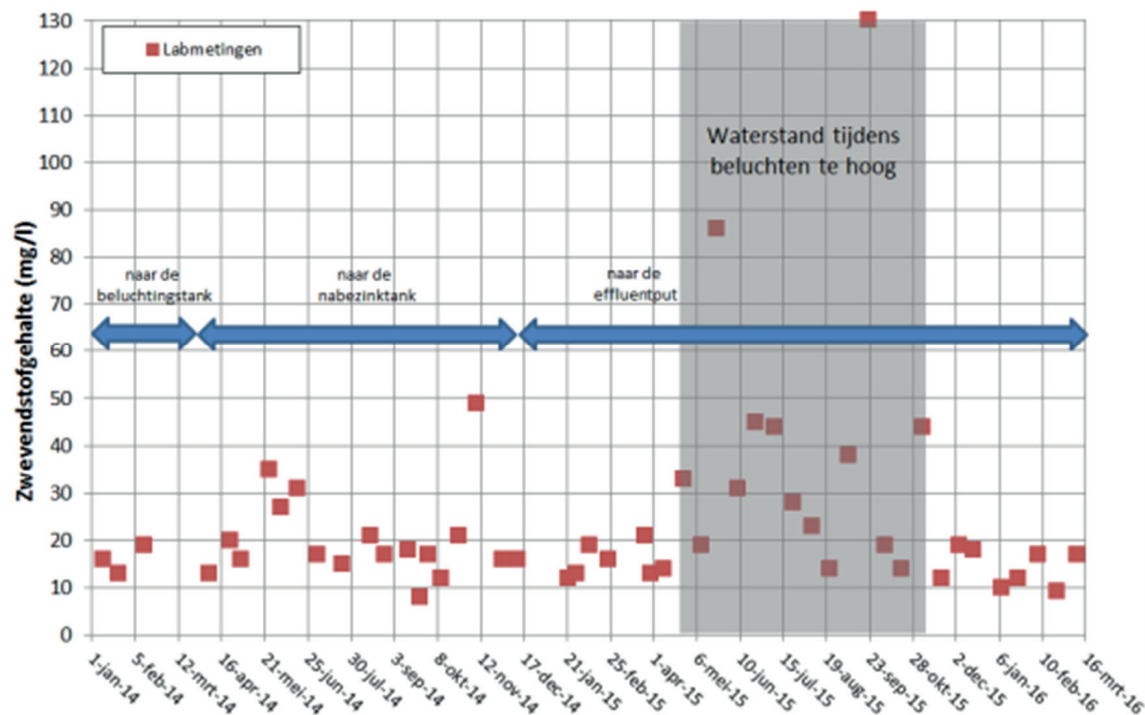
2013 is het effluent van de Nereda® in de beluchtingstank van de conventionele straat gevoerd, daarna gedurende een half jaar op de nabezinktank en vervolgens direct op de effluentput. Het verloop van het zwevendstofgehalte volgens de officiële labmetingen is weergegeven in Afbeelding 43. In de periode van april t/m november 2015 is het effluent zwevendstofgehalte verhoogd, omdat de waterstand tijdens beluchten te hoog is, waardoor slibdeeltjes in de effluentgoot terecht zijn gekomen. Nadat de waterstand tijdens beluchten met 5 cm is verlaagd (medio november 2015) is de effluentkwaliteit sterk verbeterd. Bij de beoordeling van de verschillende configuraties is de genoemde periode daarom buiten beschouwing gelaten. Het effluent zwevendstofgehalte in de verschillende perioden is weergegeven in Tabel 26.

TABEL 26 EFFLUENT ZWEVENDSTOFGEHALTE VAN DE NEREDA® VROOMSHOOP

Periode	Lozingspunt	Effluent SS-gehalte (mg/l)		
		Nereda	CAS ¹⁾	Totaal
Vanaf juni 2013	CAS Beluchtingstank	16	8	10
Vanaf maart 2014	CAS Nabezinktank	21	6	9
Vanaf 26 november 2014	Effluentput	15	20	18

1) Deze waarden zijn niet gemeten maar berekend o.b.v. de massabalans

AFBEELDING 43 EFFLUENT ZWEVENDSTOFGEHALTE NEREDA® VROOMSHOOP



Zoals blijkt uit de effluentgegevens in Tabel 26 varieert het zwevendstofgehalte van het Nereda effluent tussen 15 en 20 mg/l. Na de aanpassing van de waterstand in november 2015 varieert het effluent SS-gehalte tussen 10 tot 20 mg/l. Het effect van de configuratie op de totale effluentkwaliteit is moeilijk aan te geven, omdat in 2015 de effluentkwaliteit van de conventionele straat bij RWA is verslechterd. De oorzaak hiervan wordt onderzocht.

Net als op de rwzi Utrecht (zie paragraaf 4.4.4) is op de Nereda® reactor van Vroomshoop in juli 2016 een effluent duikschot geplaatst. Naar verwachting zal hiermee het effluent SS-gehalte verder kunnen verlaagd tot 5 - 10 mg/l.

4.4.6 ERVARINGEN IN HET BUITENLAND

In het buitenland zijn verschillende praktijkinstallaties en vele pilot-installaties in bedrijf, waarbij op geen van deze installaties een nabehandeling van het Nereda® effluent plaats vindt. Het betreft installaties met slibverwerking, waarbij het influent tevens interne stromen bevat.

- In Polen is de rwzi Ryki (38.600 v.e.) sinds 2015 omgebouwd in een Nereda® installatie. De sliblijn bestaat uit gravitaire indikking en mechanische slibontwatering. Het effluent zwevendstofgehalte van de twee Nereda® reactoren bedraagt gemiddeld 15 mg/l, hetgeen overeenkomt met de waarden uit Nederland. Overigens is op de rwzi Ryki geen duikschot op de effluentgoten geplaatst;
- Op de rwzi van de stad Dublin in Ierland is een pilot-installatie in bedrijf die is opgestart met korrelslib van de rwzi Garmerwolde. Over een periode van ruim een jaar bedraagt het gemiddelde zwevendstof effluentgehalte 8 mg SS/l. De rwzi van Ringsend heeft voorbezinking, slibindikking, thermische drukhydrolyse (TDH), slibgisting, ontwatering en droging. De succesvolle pilot in Ringsend heeft er mede toe geleid dat de volgende stap wordt gezet in de realisatie van een full-scale Nereda® installatie met een capaciteit van 2,4 miljoen v.e.
- In Zwitserland is op de rwzi Kloten-Opfikon in 2015 een pilotinstallatie in bedrijf geweest. Het betreft ook hier een rwzi met voorbezinking, slibgisting en slibontwatering. De pilotinstallatie is gevoed met voorbezonden influent inclusief interne stromen. Op deze locatie is een effluent geproduceerd met een gemiddeld effluentgehalte van 7 mg SS/l. De positieve resultaten hebben geleid tot de realisatie van de eerste huishoudelijke Nereda® praktijkinstallatie op de rwzi Alpnach in Zwitserland. Deze installatie heeft een ontwerpcapaciteit van 49.000 v.e., zal bestaan uit een buffertank, drie Nereda® reactoren en in 2017 in bedrijf worden genomen.

4.5 STIKSTOFVERWIJDERING

4.5.1 INLEIDING

De stikstofverwijdering op Nereda®-installaties is over het algemeen goed te noemen. Zoals blijkt uit Tabel 25 wordt op alle installaties een jaargemiddelde effluentconcentratie tussen de 5 en 8 mg N_{totaal}/l gehaald, daar waar de N-eisen als jaargemiddelde waarden nadrukkelijk hoger liggen. De ervaring leert dat met aanzienlijk lagere slibgehalten dan in de ontwerpen zijn aangehouden, de effluenteisen kunnen worden gehaald. Dit betekent dat de ontwerpregels, die in eerste zijn geënt op de ervaringen met actiefslibsystemen, te conservatief zijn voor een korrelslibstelsel. De stikstofverwijdering wordt door de betrokken waterbeheerders dan ook nergens als een knelpunt ervaren. Alleen als met name in de winterperiode een te laag korrelslibgehalte wordt aangehouden, kan het N-effluentgehalte logischerwijs oplopen. Dit is bijvoorbeeld het geval geweest op de rwzi Epe waar onderzoek naar hoge selectiedrukken in de winter van 2014 heeft geleid tot een relatief laag slibgehalte van circa 2 g/l. In een dergelijke situatie neemt het N-effluentgehalte gedurende enkele weken toe tot boven de 10 mg N_{totaal}/l , hetgeen overigens nog binnen de wintereis van 12 mg N_{totaal}/l ligt.

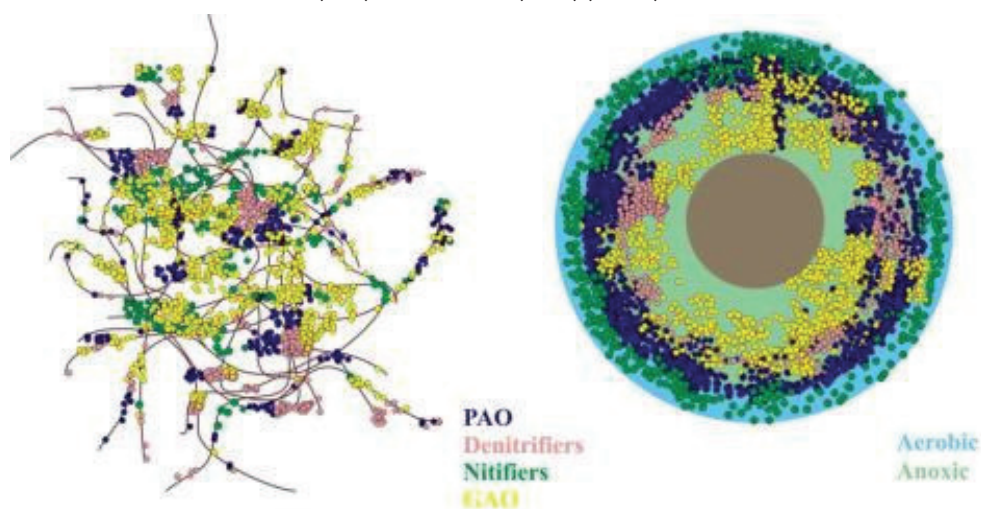
4.5.2 BIOFILM

Slibkorrels hebben een 3-dimensionaal gelaagde structuur, waarin de bacteriën zich ordenen naar de opgelegde procesomstandigheden. In tegenstelling tot CAS heeft het Nereda® systeem meer het karakter van een biofilm (zie Afbeelding 44). Een belangrijke procesparameter die invloed heeft op de werking van het systeem is zuurstof. Deze wordt ingebracht in de vloeistof en bevindt zich daarmee ook aan de buitenkant van de korrels. In deze buitenrand zullen zich daarom bacteriën vestigen die zuurstof nodig hebben, zoals nitrificeerders. Doordat deze

bacteriën zuurstof verbruiken, ontstaat tevens een zuurstofgradiënt in de korrel. Afhankelijk van de omstandigheden zal zuurstof een indringdiepte hebben in de orde-grootte van enkele tienden millimeters. Dit betekent dat de kern van de korrels, die een diameter hebben van 0,2 tot >2 mm, meestal zuurstofloos zal zijn. In de kern zullen dan ook bacteriën gaan zitten, die wel substraat maar geen zuurstof nodig hebben.

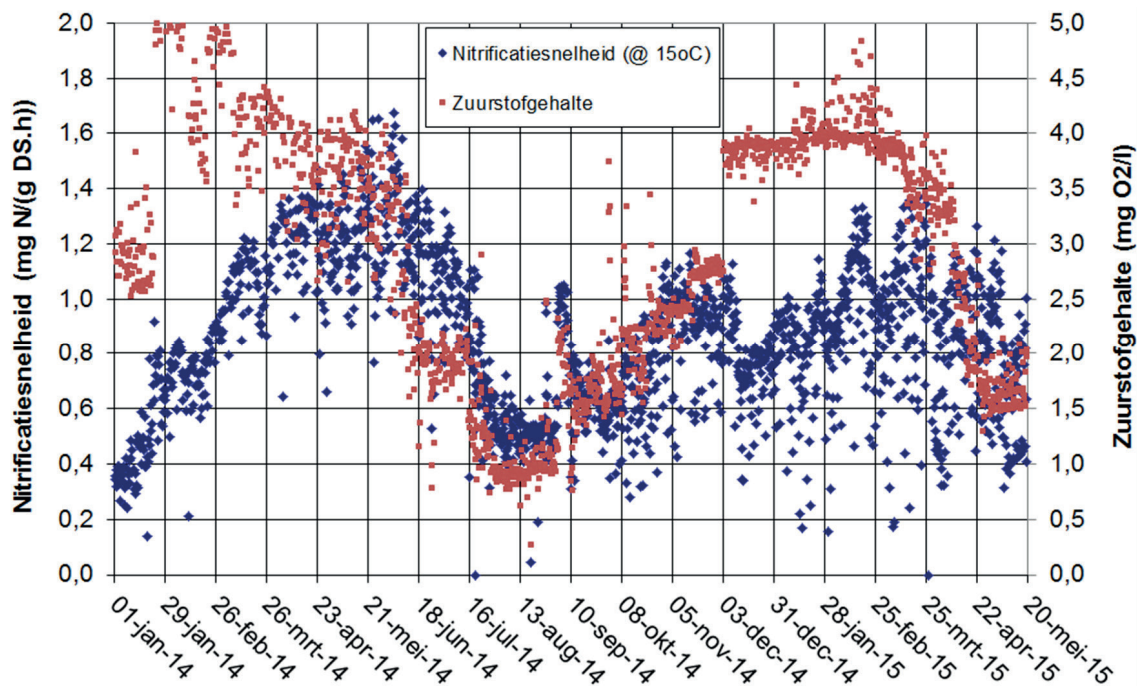
Door het biofilmkarakter van de slibkorrels kan de nitrificatie heel goed worden gecontroleerd via het zuurstofsetpoint. Door het verhogen van het zuurstofsetpoint neemt de nitrificatiesnelheid toe. Op de rwzi Epe is in 2014 geëxperimenteerd met het gebruik van een variabel zuurstofsetpoint. De bedrijfsvoerder heeft in de loop van het jaar het zuurstofsetpoint stapsgewijs verhoogd en verlaagd om zodoende de benodigde nitrificatiecapaciteit te kunnen instellen. Het verloop van het gemiddelde zuurstofgehalte tijdens de beluchte fase voor reactor 3 is in Afbeelding 45 getoond.

AFBEELDING 44 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN SLIBVLOK (LINKS) EN EEN SLIBKORREL (RECHTS) (TU DELFT)



Het in 2013 nog vaste zuurstofsetpoint bedraagt 2,5 mg/l. In januari 2014 loopt het ammoniumgehalte in het effluent op doordat het slibgehalte relatief laag is. Om hiervoor te compenseren wordt het zuurstofgehalte verhoogd tot circa 5 mg/l. Het verloop van de nitrificatiesnelheid in reactor 3, uitgedrukt per gram drogestof en gecorrigeerd voor een procestemperatuur van 15°C, is eveneens in Afbeelding 45 getoond. De nitrificatiesnelheid neemt in januari 2014 geleidelijk toe. Vanaf mei 2014 is het zuurstofgehalte weer verlaagd tot een zuurstofsetpoint van 0,9 mg/l in juli 2014. De daling van de nitrificatiesnelheid houdt gelijke tred met de daling van het zuurstofgehalte. Ook tijdens de daaropvolgende stijging van het zuurstofgehalte gaat deze relatie op. Vanaf december 2014 is gedurende enkele maanden het zuurstofsetpoint 4 mg/l. De nitrificatiesnelheid fluctueert in deze periode en haalt niet het niveau uit de winter van het jaar daarvoor.

AFBEELDING 45 VERLOOP VAN HET ZUURSTOFGEHALTE EN DE NITRIFICATIESNELHEID (BIJ 15°C) OP DE RWZI EPE



De conclusie uit bovenstaande beschouwing is dat in een korrelstelsel het zuurstofgehalte een zeer krachtige stuurparameter is. Door het wijzigen van het zuurstofgehalte kunnen instantaan groepen bacteriën worden in- of uitgeschakeld, waarmee direct de omzettingssnelheden in de reactor kunnen worden beïnvloedt. Door gebruik te maken van deze “schakelknop” kunnen de biologische processen optimaal op elkaar en op de (effluent-)eisen worden afgestemd. Dezelfde conclusies zijn overigens mede gebaseerd op soortgelijke ervaringen op de rwzi Garmerwolde, alwaar een verhoging van het zuurstofsetpoint instantaan een significante toename van de nitrificatiecapaciteit (met 40%) laat zien.

4.5.3 SIMULTANE DENITRIFICATIE

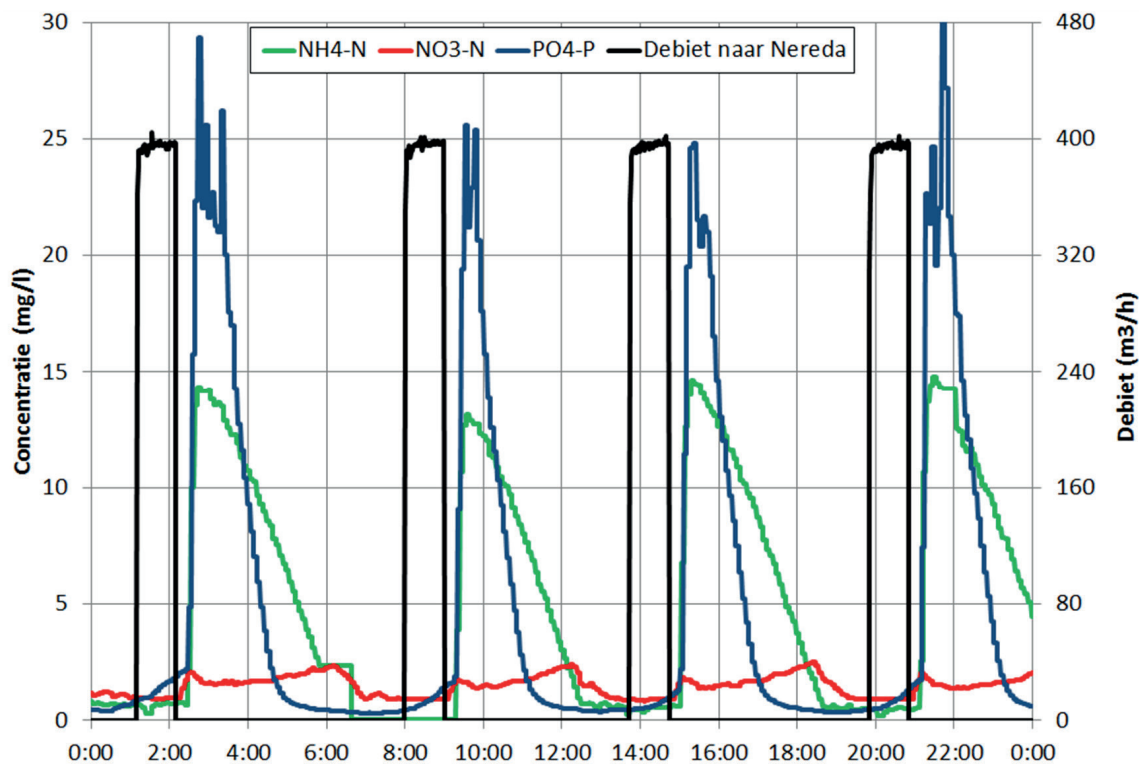
Het biofilm karakter van de korrels biedt de mogelijkheid om de denitrificatie grotendeels in de korrel te laten plaatsvinden. Een voorbeeld hiervan is getoond in Afbeelding 46 waarin het verloop van het ammonium-, nitraat- en fosfaatgehalte in de Nereda® reactor van Vroomshoop is weergegeven. Tevens is het voedingsdebiet naar de Nereda® installatie getoond. Het effluent wordt tijdens de voeding uit de reactor geduwd, dus de getoonde concentraties tijdens de voedingsfase zijn de effluentconcentraties. De cyclustijd bij DWA is in Vroomshoop 6:50 uur zodat per dag iets minder dan 4 procescycli plaatsvinden.

Na de voedingsfase vindt een beluchtingsfase plaats waardoor opmenging van het influent met de reactorinhoud plaatsvindt. Na de opmenging blijkt dat het ammoniumgehalte in de reactor 13 tot 15 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ bedraagt. Tijdens de beluchte fase neemt het ammoniumgehalte af tot circa 1 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$, terwijl het nitraatgehalte op hetzelfde moment slechts met 1-1,5 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ toeneemt. Dit betekent dat van het tijdens de nitrificatie gevormde nitraat circa 90% simultaan in de korrel wordt gedenitrificeerd. De overige 10% wordt in de daaropvolgende na-denitrificatiefase verwijderd.

Deze wijze van stikstofverwijdering is erg effectief aangezien in dezelfde tijd zowel nitrificatie als denitrificatie plaatsvinden. Doordat het bij een relatief laag zuurstofgehalte plaats vindt is

bovendien de zuurstofinbreng efficiency (uitgedrukt in $\text{kg O}_2/\text{kWh}$) hoog. Tegelijkertijd vindt vermoedelijk een deel van de denitrificatie direct over nitriet plaats, hetgeen het proces energetisch nog efficiënter maakt.

AFBEELDING 46 VERLOOP VAN STIKSTOF EN FOSFAATGEHALTES OP RWZI VROOMSHOOP (17 JUNI 2015)



4.6 FOSFAATVERWIJDERING

4.6.1 INLEIDING

Zoals gesteld in paragraaf 4.3.3 is de biologische fosfaatverwijdering op de Nederlandse Nereda® installaties over het algemeen uitstekend, met uitzondering van de rwzi Dinxperlo. Op de rwzi Dinxperlo is daarom een onderzoek uitgevoerd naar de optimalisatie van de biologische fosfaatverwijdering en de optimale inzet van chemicaliën. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in paragraaf 4.6.3. Allereerst wordt in paragraaf 4.6.2 ingegaan op de optimalisatie van de biologische fosfaatverwijdering die tijdens het SOON-traject heeft plaatsgevonden.

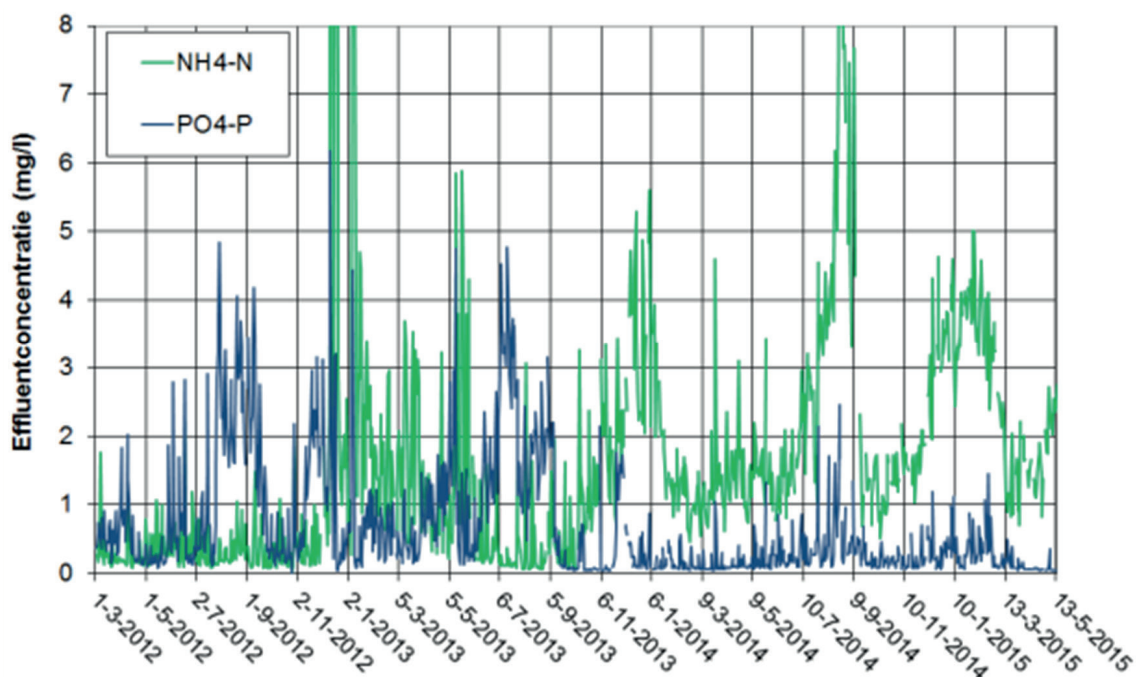
4.6.2 BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING

Het eerste succes van het SOON-traject in dit kader betreft de optimalisatie van de biologische fosfaatverwijdering op de rwzi Epe. De biologische fosfaatverwijdering verloopt op deze installatie over het algemeen naar tevredenheid, behalve gedurende de zomerperiode. Zowel in de zomer van 2012 als van 2013 is door een afnemende biologische fosfaatverwijdering het effluent fosfaatgehalte in de zomer enigszins verhoogd, zoals is weergegeven in Afbeelding 47. Ook op de rwzi Vroomshoop, die in de zomer van 2013 is opgestart, blijft de biologische fosfaatverwijdering achter. De fundamentele discussies tijdens het SOON-overleg tussen de wetenschappers van de TU Delft, de ontwerpers van Royal HaskoningDHV en de eindgebruikers van de waterschappen leidt in september 2013 tot het inzicht dat de minder goede biologische P-verwijdering een gevolg zou kunnen zijn van langdurige overbeluchting.

De beluchtingsfase wordt in die tijd beëindigd op het moment dat het ammoniumgehalte laag is. In daaropvolgende processtappen (na-denitrificatie, opmenging vóór de bezinkfase) vindt vaak ook nog beluchting plaats, waarbij het ammoniumgehalte verder daalt en er aan het eind van de cycli nauwelijks nog ammonium aanwezig is. Het gevolg hiervan is dat de buitenlaag van nitrificeerders in de korrel (zie Afbeelding 44) geen substraat meer krijgen en geen zuurstof opnemen. Het zuurstof dringt hierdoor dieper door tot in de kern van de korrels, waar ondermeer bio-P organismen met hun opslagpolymeren zich hebben genesteld. Op het moment dat ook het fosfaat op is, wordt de PHB en het glycogeen omgezet. Op de lange termijn leidt dit tot een afname van de biologische fosfaatopname en daarmee van de bio-P capaciteit.

Met het oog op het bovenstaande inzicht is in september 2013 op de rwzi Epe het ammoniumschakelpunt waarop de beluchtingsfase wordt beëindigd, verhoogd. Het gevolg hiervan is dat het ammoniumgehalte aan het eind van de beluchtingsfase niet bijna nul is, maar minstens 1 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$. Daarnaast is het zuurstofsetpoint zodanig ingesteld dat de biologische fosfaatopname en de ammoniumafbraak tijdens de beluchte fase min of meer gelijke tred houden en ongeveer gelijktijdig hun doelwaarde bereiken. In Afbeelding 47 is te zien dat sindsdien het effluent fosfaatgehalte aanmerkelijk lager en stabiel is dan in de twee jaar daarvoor en dat de “zomerdip” in 2014 niet meer optreedt. De getoonde waarden zijn met de analyzers in de Nereda®-reactor gemeten, dus voordat er een eventuele metaalzoutdosering plaatsvindt op de zandfilters. Eenzelfde beeld is ook op de rwzi Vroomhoop te zien.

AFBEELDING 47 VERLOOP VAN HET EFFLUENT AMMONIUM- EN FOSFAATGEHALTE OP DE RWZI EPE



Uit bovenstaande dient niet te worden geconcludeerd dat met de Nereda® reactor niet lage ammonium effluentwaardes kunnen worden bereikt, indien ook vergaande biologische fosfaatverwijdering wordt nagestreefd. Doordat het een batch-proces is en elke cyclus wordt gemonitord, is het procesverloop binnen een cyclus heel voorspelbaar en kan optimaal worden gestuurd op de gewenste totaal effluentkwaliteit.

4.6.3 ONDERZOEK RWZI DINXPERLO

Op de rwzi Dinxperlo vindt fosfaatverwijdering plaats door biologische fosfaatverwijdering in combinatie met een aanvullende chemicaliëndosering. Tijdens het pilotonderzoek op deze locatie is al geconstateerd dat alleen biologische fosfaatverwijdering vaak onvoldoende is en een aanvullende metaalzoutdosering nodig is om de vereiste effluentkwaliteit ($0,5 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) te behalen. Ook op de praktijkinstallatie vindt daarom aanvullende metaalzoutdosering plaats in de Nereda® tanks en/of in de toevoer naar de zandfilters.

De ontwerp-effluenteis voor Dinxperlo bedraagt $0,5 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ als voortschrijdend gemiddelde over 10 opeenvolgende waarnemingen. In april 2015 zijn door het waterschap de effluenteisen opnieuw vastgesteld, waarbij de fosfaateis is verhoogd naar $2,0 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ als jaargemiddelde, met een streefwaarde van $1,0 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$. Na deze wijziging is allereerst de dosering op de zandfilters uitgezet. Vanaf september 2015 is het onderzoek naar fosfaatverwijdering op rwzi Dinxperlo vervolgens gestart.

Procesinstellingen en metingen

In het kader van het Dinxperlo onderzoek is nader onderzocht welke aspecten van invloed zijn op de werking van de biologische en chemische fosfaatverwijdering, en hoe de chemische fosfaatverwijdering de biologische fosfaatverwijdering en slibeigenschappen beïnvloedt. De belangrijkste procesinstellingen gedurende het onderzoek zijn weergegeven in Tabel 27.

TABEL 27

PROCESINSTELLINGEN RWZI DINXPERLO TIJDENS HET ONDERZOEK NAAR FOSFAATVERWIJDERING

Datum	Parameter	Eenheid	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Zandfilters
< augustus 2015	Dosering setpoint	$\text{mg PO}_4\text{-P/l}$	0,5	0,5	0,5	-
	Zuurstof setpoint	$\text{mg O}_2/\text{l}$	1,5	1,5	1,5	-
21 september 2015	Dosering setpoint	$\text{mg PO}_4\text{-P/l}$	0,5	-	-	1,5
30 oktober 2015	Zuurstof setpoint	$\text{mg O}_2/\text{l}$	1,0	1,0	1,0	-
6 november 2015	Zuurstof setpoint	$\text{mg O}_2/\text{l}$	1,0	0,5	1,0	-

Op 21 september 2015 is op twee van de drie Nereda® reactoren (reactor 2 en 3) in Dinxperlo de chemicaliëndosering uitgezet. Op reactor 1 is de chemicaliëndosering wel actief gebleven. Vanaf dat moment is de chemicaliëndosering op de zandfilters weer aangezet, zij het op een relatief hoog setpoint van $1,5 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$. Hierdoor worden eventueel voorkomende fosfaatpieken in één van de reactoren alsnog aangepakt en voorkomen.

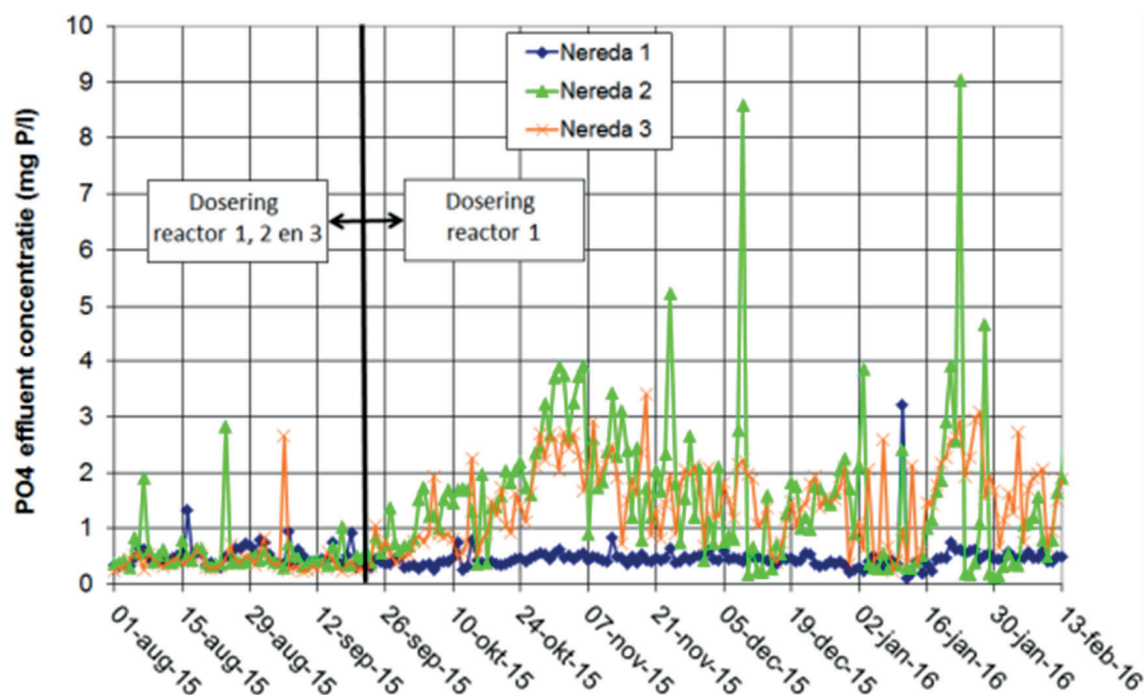
Daarnaast is op de reactoren met het zuurstofsetpoint gevarieerd. De beluchterregeling op rwzi Dinxperlo is relatief eenvoudig en daarmee minder flexibel. De beluchting wordt namelijk gestuurd op een vast zuurstofsetpoint en eerst afgeschakeld als het ammoniumgehalte laag genoeg is. Omdat de nitrificatiesnelheid sterk afhankelijk is van het zuurstofgehalte, kan met behulp van het zuurstofsetpoint de beluchte tijd worden beïnvloed. Door het verlagen van het zuurstofsetpoint neemt de beluchte tijd toe en is er dus ook meer tijd voor de biologische fosfaatopname. Dit heeft als risico dat als de influentvracht toeneemt, b.v. tijdens een first flush, dan te weinig zuurstof wordt ingebracht wat kan leiden tot een verhoogde $\text{NH}_4\text{-}$ en $\text{PO}_4\text{-}$ concentratie. Tijdens het P-verwijderingsonderzoek is dit bijkomende effect geaccepteerd. In de nabije toekomst wordt een beluchterregeling geïntroduceerd, waarbij de beluchtingscapaciteit beter wordt afgestemd op de werkelijke influentbelasting en zullen deze pieken derhalve minder optreden.

Effluentkwaliteit

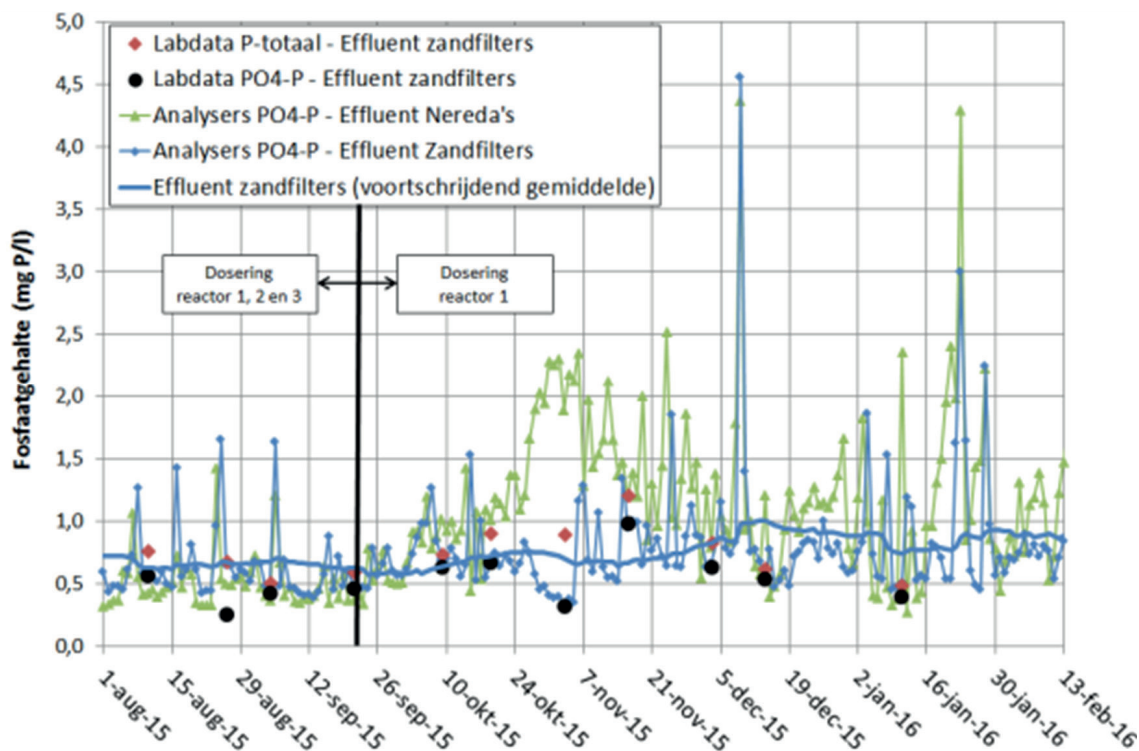
Bij de beoordeling van de resultaten is gekeken naar de gegevens vanaf augustus 2015, omdat vanaf dat moment het verloop van het fosfaat-effluentgehalte van de installatie relatief constant gebleven is. In de periode daarvoor werd nog gestuurd op een lager fosfaatsetpoint. Het verloop van het fosfaatgehalte in het effluent van de drie reactoren is weergegeven in Afbeelding 48. Na het stoppen van de dosering op reactor 2 en 3 (op 21 september 2015) neemt het effluent fosfaatgehalte in eerste instantie geleidelijk toe tot bijna 4 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$ in reactor 2. Ongeveer twee maanden na het uitzetten van de dosering lijkt het effluent fosfaatgehalte zich te stabiliseren. Wat hierbij opvalt, is dat gedurende bepaalde DWA-periodes de effluentkwaliteit van met name reactor 2 goed is te noemen met effluent concentraties < 0,5 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$. Tijdens RWA-periodes is er echter te weinig zuurstofinbreng om een volledige fosfaatopname mogelijk te maken en neemt het P-effluentgehalte als gevolg daarvan toe. In extreme situaties (first flush) leidt deze technische beperking tot hoge effluentwaarden tot 9 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$. In reactor 3, waar een hoger (vast) zuurstofsetpoint wordt toegepast, zijn deze hoge pieken niet opgetreden.

In Afbeelding 49 is het verloop van het fosfaatgehalte in zowel het effluent van de Nereda® reactoren als het effluent van de zandfilters weergegeven, gebaseerd op de gegevens van de analyzers. Daarnaast zijn voor het effluent van de zandfilters de beschikbare officiële laboratoriumresultaten weergegeven. Hieruit blijkt dat de waarden van de analyzers goed overeenkomen met de labwaarden. De gemiddelde effluentconcentratie blijft dankzij de dosering op de zandfilters ruim onder 1 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$.

AFBEELDING 48 HET VERLOOP VAN HET FOSFAATGEHALTE IN HET EFFLUENT VAN DE REACTOREN



AFBEELDING 49 HET VERLOOP VAN HET FOSFAATGEHALTE IN HET EFFLUENT VAN DE REACTOREN



Chemicaliëndosering

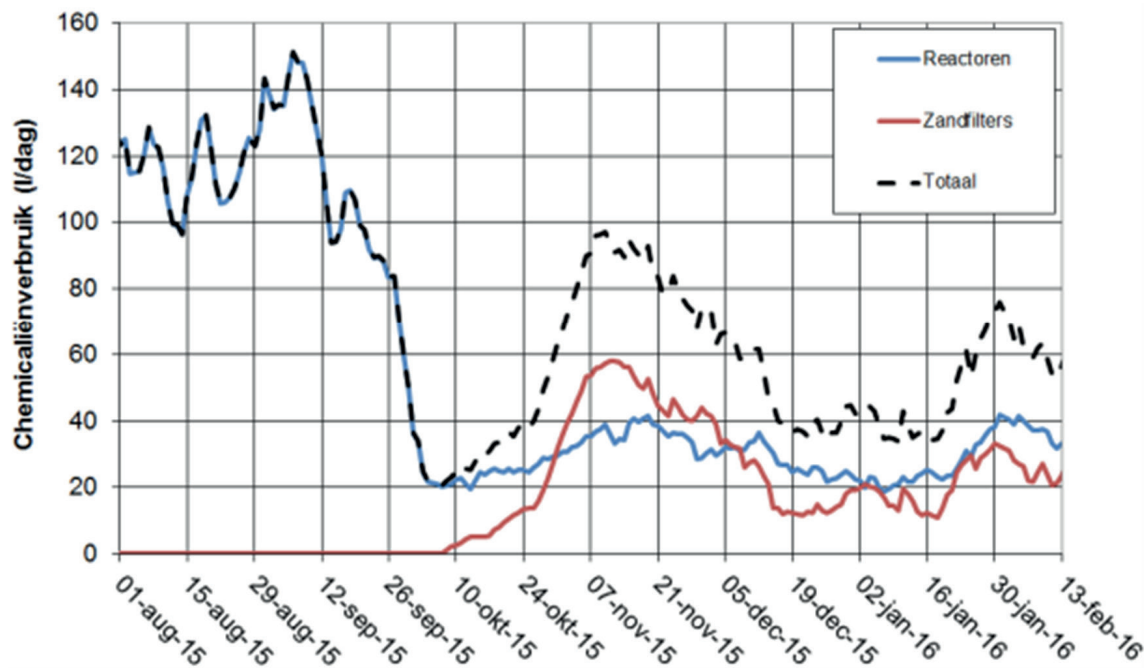
Het verloop van de chemicaliëndosering is weergegeven in Afbeelding 50. In eerste instantie neemt het chemicaliënverbruik op de zandfilters sterk toe. Dit is een gevolg van de tijdelijke toename van het fosfaatgehalte in het effluent van de reactoren. Nadat het fosfaatgehalte in de reactoren zich heeft gestabiliseerd, daalt het chemicaliënverbruik op de zandfilters. Uiteindelijk heeft het stopzetten van de dosering op twee van de drie reactoren geleid tot een afname van het chemicaliënverbruik van circa 120 l/dag tot gemiddeld 50 l/dag. Dit komt overeen met een dosering van circa 0,28 mol Fe/mol P_{influx} .

Vanaf begin 2016 wordt de instelling van de chemicaliëndosering verder geoptimaliseerd. Hierbij zal op alle reactoren een aanvullende chemicaliëndosering plaatsvinden, waarbij een relatief hoog fosfaatsetpoint (1,5 mg $PO_4\text{-P/l}$) zal leiden tot een daadwerkelijke dosering in pieksituaties. Op grond van het STOWA onderzoek op de rwzi Dinxperlo wordt verwacht dat met een flexibelere beluchterregeling, waarbij de zuurstofinbreng wordt afgestemd op de werkelijke zuurstofvraag, een stabielere biologische fosfaatverwijdering kan worden bewerkstelligd met een gemiddelde effluentkwaliteit van rond de 1 mg $PO_4\text{-P/l}$. Daarnaast zal als achtervang de dosering op de zandfilters aan blijven staan. De verwachting is dat hierdoor de biologische fosfaatverwijdering in reactor 1 ook zal toenemen en het totale chemicaliënverbruik verder kan dalen.

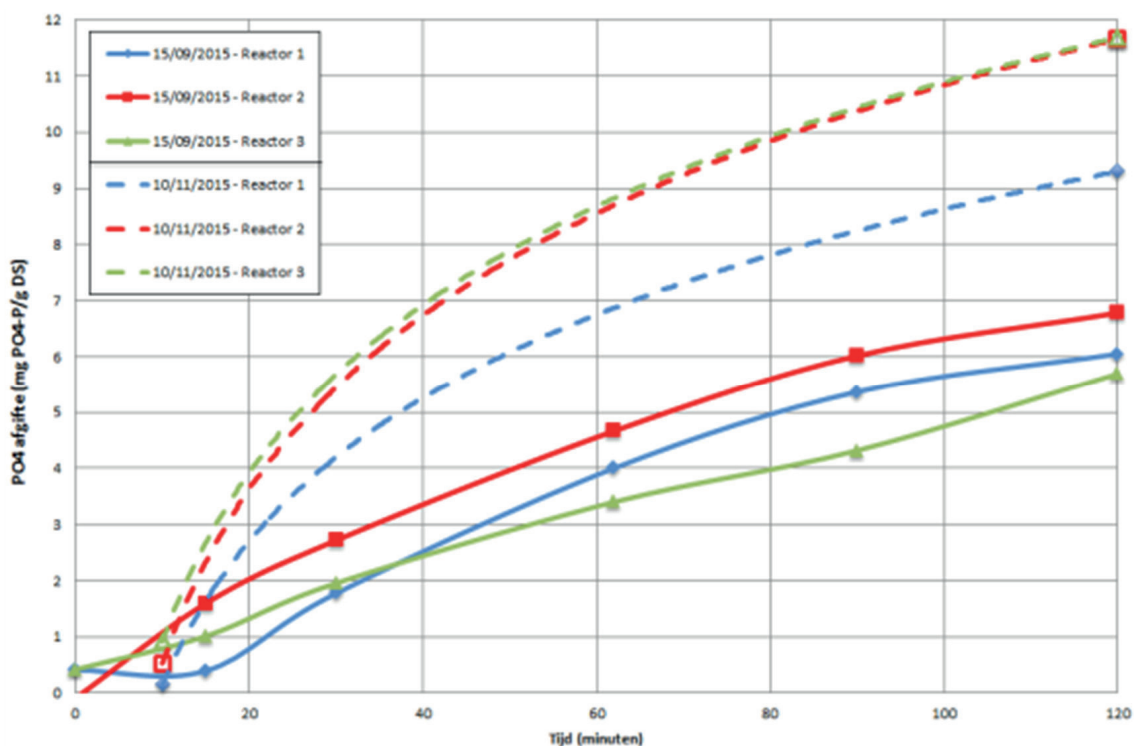
Aanvullende metingen

Voor de beoordeling van de fosfaatverwijdering en de slibeigenschappen zijn op rwzi Dinxperlo aanvullende metingen uitgevoerd, waaronder fosfaatafgiftetesten en de analyse van de concentraties van P, Fe, Ca en Mg in het slib. De resultaten van de fosfaatafgiftetesten zijn weergegeven in Afbeelding 51. Hieruit blijkt dat de fosfaatafgifte in reactor 2 en 3 is toegenomen ten opzichte van die in reactor 1. Dit duidt op een toename van de biologische fosfaatverwijderingsactiviteit van deze reactoren.

AFBEELDING 50 CHEMICALIËNVERBRUIK OP DE RWZI DINXPERLO

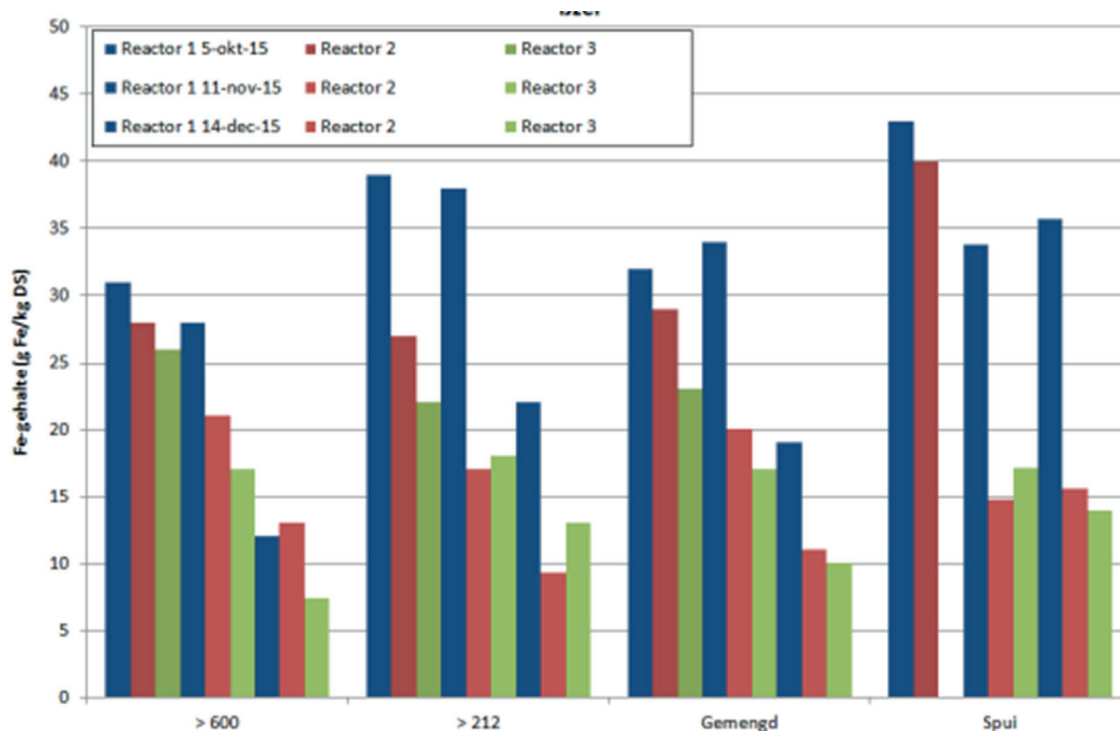


AFBEELDING 51 FOSFAATAFGIFTETESTEN RWZI DINXPERLO



Uit de resultaten van de metingen van de fosfaat- en metaalconcentraties in het slib zijn geen eenduidige conclusies te trekken. Voorzichtig kan worden geconcludeerd dat ijzer zich meer lijkt te hechten aan de slibvlokken en de kleinere korrels (en daarmee in het spuislib) dan aan de grotere korrels. Het ijzerslib zou daardoor een kortere verblijftijd hebben dan de gemiddelde slibleeftijd.

AFBEELDING 52 IJZERGEHALTE IN HET SLIB VAN DE RWZI DINXPERLO



4.6.4 CONCLUSIES

De biologische fosfaatverwijdering op de Nederlandse Nereda® installaties verloopt over het algemeen zeer goed. Dankzij de samenwerking binnen het SOON traject is de biologische fosfaatverwijdering op de rwzi's Epe en Vroomshoop geoptimaliseerd. Indien (beperkte) aanvullende chemicaliëndosering wordt toegepast komt dit door strengere effluenteisen (Epe, Dinxperlo) of door bewust kort ontworpen cyclustijden bij RWA (Garmerwolde).

De rwzi Dinxperlo is de installatie waar de biologische fosfaatverwijdering de meeste aandacht verdient. Door de strenge effluenteis (0,5 mg P/l) en de eerdere ervaringen op de pilotinstallatie is vrij snel na de opstart begonnen met het doseren van ijzerzouten in de reactoren. Hierdoor heeft de chemische fosfaatverwijdering altijd een belangrijke bijdrage geleverd en heeft deze de ontwikkeling van een goede biologische fosfaatverwijdering belemmerd. Het onderzoek op de rwzi Dinxperlo heeft aangetoond dat het stoppen van de dosering op 2 van de 3 reactoren heeft geleid tot een verbetering van de biologische fosfaatverwijdering en een aanzienlijke verlaging van het chemicaliënverbruik. De verwachting is dat door een flexibelere beluchterregeling een verdere verbetering van de biologische fosfaatverwijdering mogelijk is.

4.7 ENERGIEVERBRUIK

4.7.1 OVERZICHT

In hoofdstuk 3 is het energieverbruik van de verschillende huishoudelijke Nederlandse Nereda®-installaties op een rij gezet. Hierbij is zoveel mogelijk getracht om het energieverbruik per procesonderdeel op te splitsen. Het aantal procesonderdelen waarvan het energieverbruik wordt gemeten verschilt per installatie.

In Tabel 28 is het specifieke energieverbruik per procesonderdeel van de verschillende installaties weergegeven. Om een vergelijking tussen de installaties mogelijk te maken zijn de verbruikers geclusterd in drie groepen, te weten influenttoevoer, Nereda® en overige.

TABEL 28 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK VAN DE NEREDA® INSTALLATIES (IN KWH/(V.E._{150,VERWIJDERD} JAAR))

Rwzi	Epe	Garmerwolde	Utrecht	Vroomshoop	Dinxperlo
Onderdeel	01/'14 – 12/'14	10/'14 – 05/'15	05/'15 – 09/'15	06/'14 – 05/'15	04/'14 – 03/'15
Influenttoevoer	4,1	3,1	4,1	3,5	7,2
Influentgemaal	1,7	1,3	2,2	1,8	3,0
Tussengemaal	2,3	1,8	1,9	1,7	4,2
Nereda®	14,4	12,2	19,1	10,3	12,7
Beluchting	14,0	12,1	19,1	9,7	12,4
Recirculatiepompen	0,33	0,03	0,04	0,57	0,24
Overige	9,7	2,3	1,2	3,1	8,4
Zandfilters		-	-	-	0,5
Sliblijn	9,7		-	1,5	3,9
Utilities		2,4			0,8
Rest			1,2	1,6	3,1
Totaal	28,1	17,7	24,5	16,9	28,3

De meest opvallende verschillen tussen de installaties zijn onderstaand weergegeven.

- De influenttoevoer op rwzi Dinxperlo verbruikt relatief veel energie, terwijl die op rwzi Garmerwolde relatief weinig energie verbruikt. Op rwzi Garmerwolde wordt het influent met persleidingen op hoogte aangevoerd. De gezamenlijke opvoerhoogte van het influent- en tussengemaal is daardoor slechts 7 meter. Op rwzi Dinxperlo komt het influent onder vrij verval binnen en bedraagt de totale opvoerhoogte circa 19 meter. Daarnaast speelt nog mee dat het influent van Dinxperlo relatief dun is en dat het volume van de interne stromen op deze installatie relatief hoog is. Het vuilspoolwater van de zandfilters en het overloopwater van de slibindikker worden teruggevoerd naar het tussengemaal.
- De beluchtingsenergie van de demo-installatie op de rwzi Utrecht is relatief hoog. Dit is een gevolg van het feit dat het onderzoeksreactor is die enerzijds relatief klein is en anderzijds veel gebruikt is voor diverse onderzoeksactiviteiten.
- De beluchtingsenergie van de andere vier installaties is van een vergelijkbaar niveau. De beluchtingsenergie op de rwzi Epe is het hoogst. In 2013 was de beluchtingsenergie in Epe echter ook nog 12,2 kWh/(v.e._{verwijderd} jaar), wat vergelijkbaar is met het verbruik op de andere installaties. Het hogere energieverbruik in 2014 is een gevolg van de lagere influentbelasting en het onderzoek naar de invloed van het zuurstofgehalte op de nitrificatiesnelheid (zie paragraaf 4.5 en Afbeelding 45). Hierdoor is het jaargemiddelde zuurstofgehalte bijna 3 mg/l geweest, terwijl dit op andere installaties rond de 2 mg/l ligt.
- Het energieverbruik van de overige procesonderdelen is op de rwzi Epe het hoogst. Dit is een gevolg van de aanwezigheid van zandfilters en mechanische slibindikking. Op de rwzi Dinxperlo wordt een groot deel van het energieverbruik van de sliblijn veroorzaakt door de beluchting van de slibbuffer. Het lage energieverbruik van de overige onderdelen op de rwzi Garmerwolde komt doordat hier de slibbehandeling niet is meegenomen.

Voor een Nereda®-installatie zonder nabehandeling kan voor het energieverbruik van de waterlijn (dus exclusief de sliblijn) worden uitgegaan van 15-20 kWh/(v.e._{150,verwijderd} jaar).

4.7.2 Mengers RWZI EPE

In mei 2013 zijn de mengers uit de derde Nereda®-reactor verwijderd, om te onderzoeken of dit tot een verhoging van de beluchtingsefficiëntie zou leiden. In Tabel 29 is het specifieke energieverbruik van de beluchting van de drie reactoren met elkaar vergeleken. Hiervoor is de periode van september t/m december van de jaren 2012 (vóór de aanpassing), 2013 en 2014 (na de aanpassing) weergegeven. Op basis van deze beschouwing is niet aan te tonen dat het energieverbruik van de beluchting in reactor 3 significant is gedaald ten gevolge van de aanpassingen aan de installatie.

TABEL 29 HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE BELUCHTING VAN DE NEREDA®-REACTOREN OP DE RWZI EPE

Periode	Energieverbruik (kWh/m ³)			Verskil t.o.v. reactor 3 (%)	
	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3	Reactor 1	Reactor 2
Sept – Dec. 2012	0,196	0,207	0,188	+4,2	+10,1
Sept – Dec. 2013	0,188	0,176	0,181	+3,9	-2,8
Sept – Dec. 2014	0,258	0,258	0,249	+3,6	+3,6

4.8 CONCLUSIES

Op de Nederlandse praktijkinstallaties zijn verschillende methoden van slibspui toegepast. Dit betreft het spuien van slib na de bezinkfase of na de voedingsfase. Het onderzoek in Dinxperlo heeft aangetoond dat met beide methoden een vergelijkbare korrelslibontwikkeling wordt verkregen. Ook op de buitenlandse installaties leidt een verschillende wijze van spuislibonttrekking niet tot significante verschillen in het opstarten van een Nereda® reactor. Het is wel aannemelijk dat korrelgroei sneller verloopt naarmate de installatie hoger wordt belast. Op basis van praktijkervaring kan ook worden gesteld dat de tijd die noodzakelijk is om de vereiste effluentkwaliteit te bereiken, niet moet worden verward met de tijd die nodig is voor een volgroeid korrelbed. Al na een korte periode blijkt een Nereda® installatie te kunnen voldoen aan effluenteisen, daar waar op dat moment nog geen sprake is van een volgroeid korrelbed. In dit verband moet ook worden opgemerkt dat het enten met korrelslib van een bestaande installatie leidt tot een aanzienlijke versnelling van de opstart.

Het gemiddelde effluent zwevendstofgehalte van de Nereda®-installaties zonder nabehandeling en zonder aangepaste effluent internal ligt tussen de 10 en 20 mg/l. Hoewel met deze waarden aan de Nederlandse effluentnormen wordt voldaan, heeft met het oog op een reductie een verdere optimalisatie plaatsgevonden. De eerste resultaten van deze optimalisatiemaatregelen, zoals een aangepaste procesbesturing op rwzi Garmerwolde en technische aanpassingen op rwzi Utrecht, zijn uitermate positief en leiden tot zwevendstof effluentgehalten <10 mg/l.

Anno 2016 kan worden gesteld dat een Nereda®-installatie met uitsluitend biologische P-verwijdering onder Nederlandse condities in staat is een jaargemiddeld effluent fosfaatgehalte < 1 mg P_{totaal}/l te bereiken, zoals blijkt uit de resultaten van Garmerwolde en Vroomshoop. Verder kan worden geconcludeerd dat, afhankelijk van ontwerpkeuzes een aanvullende metaalzoutdosering op de Nereda® installatie kan worden ingezet, teneinde fosfaatpieken tijdens first flush situaties te voorkomen. Tenslotte zal op grond van de genoemde verbeteringen van het effluent zwevendstofgehalte ook een verdere verbetering van de N- en P-effluentwaarden worden verkregen.

5

NEREDA® EN ACTIEFSLIB

5.1 INLEIDING

Uitgangspunt voor het NNOP is destijds het ontwikkelen van een duurzame en kosteneffectieve zuiveringstechnologie als alternatief voor het conventioneel actief slibstelsysteem. Aan het eind van de ontwikkeling van de Nereda® technologie is het logisch om deze dan ook te vergelijken met het actief slibproces. In dit hoofdstuk wordt daartoe achtereenvolgens ingegaan op de aspecten effluentkwaliteit, procesvoering en duurzaamheid in termen van energie-, chemicaliën- en ruimtegebruik en slibproductie (paragraaf 5.2 t/m 5.5). De vergelijking zal zoveel mogelijk plaatsvinden op basis van feitenmateriaal en praktijkervaringen, die de afgelopen periode rondom de ontwikkeling van de Nereda® technologie zijn verkregen. Hierbij spelen de rwzi's Vroomshoop en Garmerwolde een belangrijke rol, omdat op deze rwzi's sprake is van een directe vergelijking van een Nereda® installatie met een één- en tweetraps actief slibstelsysteem.

Ten behoeve van de vergelijking in ruimtegebruik wordt in paragraaf 5.4.3 en bijlage 1 op basis van een standaard grootte rwzi een systeemkeuze uitgevoerd, van waaruit de dimensioneringsgrondslagen en verschillen in beeld zullen worden gebracht. Een kostenvergelijking zal hierbij niet worden gemaakt, omdat de lokale omstandigheden en wijze van realisatie zodanig kunnen verschillen, dat de uitkomsten van een dergelijke vergelijking niet als algemeen representatief mogen worden beschouwd. Om hieraan tegemoet te komen, wordt wel een vergelijking gepresenteerd van de volumina en oppervlakken van de belangrijke procesonderdelen. Met behulp van de diverse layouts en aanzichten zal tevens een visuele indruk van de verschillen in ruimtegebruik worden gegeven. Hierbij wordt niet alleen het hart van de installatie gepresenteerd, maar wordt de totale rwzi inclusief bedrijfsgebouw, voorbehandeling en slibverwerking weergegeven. Naast een vergelijking voor "groene weide" varianten wordt ook ingegaan op de hybride uitbreiding van een bestaande rwzi.

5.2 EFFLUENTKWALITEIT

Uit de gepresenteerde gegevens in hoofdstuk 3 blijkt dat de Nereda® installaties in vergelijking tot een conventionele actief slibinstallatie een vergelijkbare effluentkwaliteit laten zien. Hierbij spelen echter twee aspecten een rol die met betrekking tot dit onderwerp nader moeten worden toegelicht.

De eerste Nereda® ontwerpen voor de rwzi's Epe en Dinxperlo zijn als gevolg van de strenge effluenteisen uitgevoerd met een nageschakelde (zand-)filtratiestap.. De eisen ten aanzien van fosfaat zijn hier zo streng dat dit ook bij toepassing van klassieke actiefslibsystemen het geval zou zijn geweest. Bij het ontwerpen van deze eerste Nederlandse huishoudelijke Nereda® installaties is de uitvoering van de effluentaflaat er daarom op gericht de vorming van een drijfslaag te voorkomen. Er is immers, in tegenstelling tot bij een nabezinktank, op een Nereda® reactor geen drijfslaagruimsysteem aanwezig. Er is daarom toentertijd besloten

om een eventuele drijfslag met het Nereda® effluent af te voeren naar de zandfilters en aldaar te verwijderen.

Bij toepassingen waarbij minder scherp geformuleerde effluenteisen in vergelijking tot Epe en Dinxperlo van toepassing zijn (Garmerwolde, Vroomshoop en Utrecht) is geen nageschakelde filtratiestap toegepast. Op deze installaties is de uitvoeringsvorm van de effluentaflaat onveranderd gelaten, omdat de geldende effluenteisen zonder problemen kunnen worden bereikt. De consequentie is wel dat eventueel drijvend materiaal op de Nereda® reactor met het effluent wordt meegevoerd en kan leiden tot (enigszins) verhoogde ZS-concentraties ten opzichte van hetgeen met CAS als normaal wordt beschouwd.

Ondanks het feit dat dit op de betreffende installaties geen aanleiding geeft tot overschrijding van de effluentnormen, is op grond van de voortgaande ontwikkeling van de technologie, alsmede vanwege de in het buitenland op andere wijze geformuleerde effluenteisen (percentielwaarden), een andere effluentaflaat ontwikkeld waarbij een eventuele drijfslag niet met het effluent wordt meegevoerd. Het slib dat zich in de drijfslag bevindt, wordt tijdens de daaropvolgende beluchte fase weer geadsorbeerd aan het korrelmateriaal en kan uiteindelijk met het spuislib uit de installatie worden verwijderd.

Deze aangepaste effluentaflaat is op de rwzi Utrecht geïnstalleerd en heeft geleid tot een markante verbetering van de effluentkwaliteit. Door de beduidend lagere ZS-concentratie worden tegelijkertijd de CZV/BZV alsook de organisch gebonden nutriënten significant verlaagd. Uitgaande van een ZS-verlaging van 5 – 10 mg/l wordt CZV met eenzelfde orde van grootte verlaagd, terwijl met 6% N en 3% P ook nog eens een verbetering wordt bereikt van 0,3 – 0,6 mg N/l en 0,15 – 0,30 mg P/l. Uit paragraaf 3.4 blijkt dat naast een duidelijke verbetering in termen van concentraties, ook de stabiliteit van de effluentkwaliteit wordt verbeterd. Deze laatste verbetering is overigens niet alleen te danken aan het gewijzigde ontwerp van de effluentaflaat. De ervaringen tijdens het SOON traject hebben ook geleid tot een vermeerderd inzicht in de mogelijkheden om door andere procesregelingen het optreden van denitrificatie tijdens de voedingsfase te voorkomen. Ook deze aanpassingen hebben geleid tot een reductie van ZS concentratie in het effluent en een verdere stabiliteit in effluentkwaliteit.

Op grond van de op rwzi Utrecht bereikte resultaten is in overleg met de betrokken waterbeheerders gekeken naar de mogelijkheden om op andere Nederlandse installaties de verbetering aan de effluentaflaat aan te brengen. Op de rwzi Vroomshoop is in juli 2016 de effluentgoot aangepast en zal de verbetering in effluentkwaliteit gedurende de tweede helft van 2016 zichtbaar worden. Alle nieuwe Nereda® installaties in binnen- en buitenland worden standaard voorzien van deze technische verbetering.

Rekening houdend met de aanpassing van de effluentaflaat wordt de vergelijking van de Nereda® technologie en CAS op de rwzi's Garmerwolde en Vroomshoop anders gekleurd. Daar waar de kwaliteit in termen van N- en P-verwijdering gelijkwaardig was, komt deze na de hiervoor besproken aanpassing ook voor zwevendstof op een gelijk niveau uit. Dat een Nereda® de gewenste effluentkwaliteit bij een hogere belasting kan bereiken is op zich geen verrassing, aangezien een batch systeem met korrelslib theoretisch een betere kwaliteit levert dan een continue CAS. Dit is enerzijds een gevolg van de (1^e orde) kinetiek als gevolg van de hogere substraatconcentraties. Anderzijds biedt een "biofilm" systeem, zoals een Nereda® kan worden gekarakteriseerd, meer flexibiliteit bij wisselende belastingen. Door toepassing van een slimme regeling kan door de aanpassing van de procesomstandigheden (O₂-setpoint) een directe beschikbaarheid van (extra) nitrificeerders (en bio-P organismen) worden verkregen.

5.3 BEHEERSASPECTEN

5.3.1 INLEIDING

Mede op grond van een korte inventarisatie bij de Nederlandse waterbeheerders zijn de kenmerkende verschillen qua proces- en bedrijfsvoering en robuustheid tussen een Nereda® en CAS installatie op een rij gezet. Vanzelfsprekend wordt de vergelijking mede gekleurd doordat de ervaring met de Nereda® technologie nog kort is in vergelijking tot die met CAS. Anderzijds zijn de Nereda® installaties in het kader van de ontwikkeling voorzien van een zekere hoeveelheid meetapparatuur en heeft de technologie veel aandacht gekregen. In de volgende paragrafen wordt achtereenvolgens ingegaan op de verschillen in proces- en bedrijfsvoering, robuustheid en de opstart.

5.3.2 PROCES- EN BEDRIJFSVOERING

Met betrekking tot de sturing van Nereda® reactoren dient de bedrijfsvoerder te wennen aan het batch systeem en de omgang met de Aquasuite Nereda® Controller. De Nereda Controller® kent een receptstructuur en een relatief groot aantal in te stellen parameters. De bedrijfsvoerders die er mee werken geven aan dat het enige tijd kost om hieraan te wennen, maar dat de opzet logisch en inzichtelijk is en dat het proces eenvoudig kan worden gevolgd en ingesteld. De meetwaarden verlopen vanwege het batch karakter over een groot bereik, waardoor het N-en P-verwijderingsproces per cyclus direct te volgen zijn. Informatie aangaande het verloop over een langere tijdsspanne geeft snel inzicht in procestechnische ontwikkelingen.

Afhankelijk van de effluenteisen en de gewenste automatiseringsgraad kunnen verschillende online analyzers worden toegepast. Daar waar toepassing van deze apparatuur in eerste instantie voor vermeerderd inzicht zorgde in de zuiveringsprocessen, kunnen voor een maximale performance en scherpe effluenteisen N- en P-analyzers worden toegepast. Dit wordt echter om dezelfde redenen ook op CAS gedaan en vormt daarmee geen wezenlijk onderscheid. Overigens worden op diverse buitenlandse huishoudelijke Nereda® installaties beduidend minder analyzers toegepast dan in de Nederlandse huishoudelijke praktijk gangbaar is (bijvoorbeeld alleen zuurstof en redox). Bij gebruik van analyzers, is het belangrijk om dergelijke apparatuur op tijd en op de juiste wijze te onderhouden, zodat van betrouwbare data kan worden uitgegaan. Overigens wordt door diverse leveranciers van meetinstrumenten onderzoek gedaan om voor de genoemde parameters naast de beschikbare analyzers ook betrouwbare sensoren te kunnen aanbieden, waardoor op termijn instrumentatiekosten verder kunnen worden verlaagd.

Tijdens de opstart van een Nereda® installatie met actief slib als entmateriaal, dienen aanvullende metingen plaats te vinden, teneinde inzicht te krijgen in de groei van de korrelpopulatie. De uitvoering van korrelgrootte analyses met behulp van een zeeffractionering vormt voor de bedrijfsvoering een tijdelijke extra belasting. Als het korrelbed volwassen is, kan worden volstaan met standaard bepalingen zoals gebruikelijk op een CAS. Bij een opstart met korrelslib is het bovenstaande minder van toepassing.

Omdat een Nereda® installatie minder procesonderdelen kent dan een CAS (o.a. geen nabezinktanks en retourslibgemaal) en bovendien qua reactor relatief eenvoudig is opgebouwd (geen onderverdeling van beluchtingsruimtes naar anaerobe tanks, (voor-)denitrificatie- en nitrificatietanks, inclusief recirculatiwerken en mix- / voortstuwingsaggregaten) zal het onderhoud aan een Nereda® installatie minder zijn dan aan een CAS. Voordelen hiervan in het kader van de proces/ en bedrijfsvoering zijn met de nog relatief korte ervaring nog niet financieel uit te drukken.

5.3.3 ROBUUSTHEID

Een belangrijk onderscheid tussen een Nereda® installatie en een CAS is het aantal automatische afsluiters. Deze worden gedurende een procescyclus meerdere keren geschakeld, moeten voldoende snel reageren en zijn van belang voor een goede bedrijfsvoering van de installatie. Het type afsluiter dat in de eerste ontwerpen is toegepast, blijkt in de praktijk niet altijd robuust te functioneren. Op basis van deze ervaringen wordt in nieuwe ontwerpen aandacht besteed aan de keuze van het type afsluiters, waardoor de robuustheid van de installatie verder wordt vergroot.

De processturing van een Nereda® installatie is, evenals bij een CAS, mede afhankelijk van de beschikbaarheid van de meetsignalen. De toegepaste meetinstrumenten worden steeds betrouwbaarder en beschikken tegenwoordig zelfs over software, die de betrouwbaarheid van het meetsignaal aangeeft. Indien een storing optreedt van een cruciaal meetinstrument (b.v. O₂) wordt in een CAS overgegaan op een fall-back regeling, waarbij de beluchting op een vast ingestelde capaciteit wordt gestuurd. In de Nereda® Controller wordt op een vergelijkbare wijze omgegaan met dergelijke storingen. In eerste instantie kan het uitvallen van bijvoorbeeld een NH₄-meting worden opgevangen door direct op de redoxmeting te gaan sturen. Indien meerdere meetsignalen tegelijkertijd niet beschikbaar zijn, bijvoorbeeld doordat de netwerkcommunicatie is uitgevallen, wordt overgeschakeld op een noodrecept, waarbij op een vaste cyclustijd en vaste instellingen wordt gedraaid. Zowel bij een Nereda® als bij een CAS leidt het uitvallen van cruciale meetinstrumenten tot een sub-optimale procesregeling, afname van de energie-efficiëntie en mogelijk de effluentkwaliteit.

Op de rwzi Epe heeft de Nereda® al meerdere malen bewezen dat de biologie zich bij een toxische lozing goed kan handhaven en herstellen. De op deze locatie waargenomen lozingen leiden vaak tot sterk afwijkende pH waarden (3 - 10). In tegenstelling tot een CAS blijkt het Nereda® korrelslib zich onder deze omstandigheden snel te kunnen herstellen en zijn geen capaciteitsverlies, slibuitspoeling of verslechterde bezinkeigenschappen geconstateerd. Datzelfde beeld doet zich min of meer ook voor bij de incidentele lozingen van zout.

5.3.4 OPSTART

De opstart van de in dit rapport beschreven installaties heeft op verschillende manieren plaatsgevonden. Bij de eerste installatie in Epe was nog geen aeroob korrelslib beschikbaar en is voor de opstart gebruik gemaakt van slib van een conventionele actiefslibinstallatie. Hierbij is in eerste instantie één reactor opgestart waarbij een deel van het influent werd behandeld. Het overige influent werd door de oude installatie gezuiverd. Terwijl het korrelslib zich ontwikkelde zijn achtereenvolgens de tweede en derde reactor in bedrijf genomen en werd al het afvalwater door de Nereda® installatie gezuiverd. De andere vier in dit rapport beschreven installaties zijn allen opgestart met entslib uit Epe. Hierbij is telkens gebruik gemaakt van het mechanisch ingedikte spuslib. Hoewel dit spuslib ook kleinere korrels bevat is het natuurlijk niet het optimale entmateriaal. Zoals beschreven in paragraaf 4.2 duurt het hierbij maanden tot een jaar voordat zich een volwassen korrelpopulatie heeft ontwikkeld. Dit staat los van het feit dat kort na de opstart de vereiste effluentkwaliteit wordt bereikt.

Voor een versnelde opstart van nieuwe installaties wordt, indien beschikbaar in de nabije omgeving, bij voorkeur gebruik gemaakt van entslib van de bestaande installaties, waarbij niet het spuslib maar het korrelslib uit de reactor wordt gebruikt. In 2016 is bijvoorbeeld de installatie van Simpelveld opgestart met korrelslib uit de installaties van Garmerwolde, Utrecht en Vroomshoop. Bij een opstart met korrelslib als ent kan de opstartfase zich

beperken tot het vullen van de nieuwe installatie, waarna het biologisch proces per direct kan starten.

De ervaring op de verschillende installaties heeft geleerd dat ook bij een niet volwassen korrelpopulatie en een lager slibgehalte dan de ontwerpwaarde is, vaak al aan de effluenteisen kan worden voldaan. De installatie op Dinxperlo voldeed bijvoorbeeld aan de garantie-eisen bij een (korrel)slibgehalte van 3-4 g/l, terwijl in het ontwerp van 7 g/l was uitgegaan. De capaciteit van een Nereda® installatie blijkt groter dan oorspronkelijk gedacht en hangt samen met het feit dat in eerste instantie is uitgegaan van standaard “actief slib” dimensioneringsgrondslagen, terwijl de Nereda® technologie beter kan worden vergeleken met een “biofilm” systeem. Het gevolg is dat bij nieuwe ontwerpen van hogere belastingen kan worden uitgegaan dan is aangehouden bij de eerste installaties.

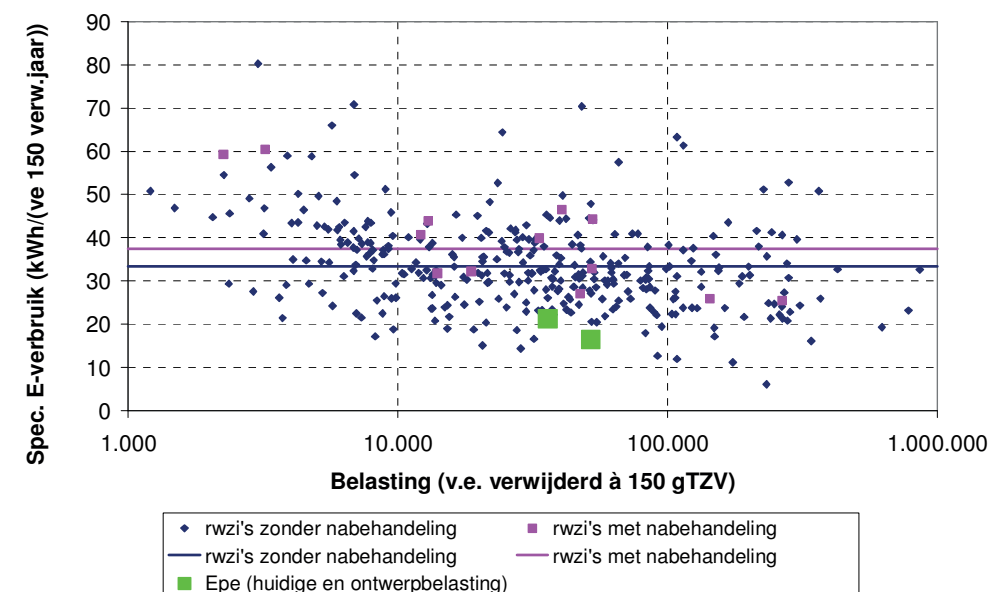
5.4 DUURZAAMHEID (ENERGIE, RUIMTE EN CHEMICALIËN)

5.4.1 ENERGIE

In STOWA 2013-29 uit 2013 [4] is het energieverbruik van de rwzi Epe in 2012 vergeleken met het verbruik van alle rwzi's in Nederland uit de benchmark 2009. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen rwzi's met en zonder effluent nabehandeling. In Tabel 30 en Afbeelding 53 zijn de resultaten van de vergelijking weergegeven. De gepresenteerde waarden betreffen het energieverbruik voor de zuivering van afvalwater, waarbij de hele waterlijn, inclusief de slib-indikking is meegenomen.

AFBEELDING 53

SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK RWZI'S MET EN ZONDER NABEHANDELING (BRON: BENCHMARK 2009) INCLUSIEF EPE



TABEL 30

GEMIDDELD ENERGIEVERBRUIK

Type rwzi	Specifiek energieverbruik (kWh/(ve ₁₅₀ , verwijderd*jaar))
Rwzi's met nabehandeling	37,5
Rwzi's zonder nabehandeling	33,4
Rwzi Epe huidige belasting (garantietest)	21,2
Rwzi Epe ontwerpbelasting	16,3

De energiecijfers zijn goed bruikbaar om een algemeen beeld te vormen, maar een exacte onderlinge vergelijking is om meerdere redenen niet goed mogelijk. Zo zijn in de benchmark rwzi's met en zonder voorbezinking / slibgisting / energieopwekking opgenomen en is de belastingsituatie per rwzi sterk verschillend. Beide factoren hebben een groot effect op de uitkomsten. Daarnaast is geen onderscheid gemaakt in type beluchting en is ook verschil in vereiste en gerealiseerde effluentkwaliteit niet meegenomen. Tenslotte spelen lokaal gebonden aspecten een rol die uit de aangegeven tabel en afbeelding ook niet naar voren komen. Met deze beperkingen laten de cijfers desondanks zien dat het energieverbruik van de rwzi Epe in 2012 tientallen procenten lager ligt in vergelijking met conventionele rwzi's.

Uit tabel Tabel 28 kan worden afgelezen dat het specifieke energieverbruik van de rwzi Epe sinds 2012 is opgelopen tot 28 kWh/(ve_{150, verwijderd}·jaar). Een significante verlaging van de belasting tot circa de helft van de ontwerpcapaciteit is hieraan debet. Daarmee is ook aangetoond dat een vergelijking van cijfermateriaal afkomstig van verschillende (onvergelijkbare) locaties minder zeggingskracht heeft. Op de rwzi's Vroomshoop en Garmerwolde kan in dit kader dan ook dankbaar gebruik worden gemaakt van een directe vergelijking tussen de Nereda® installatie en het parallel functionerende één- en tweetraps actief slibstelsysteem.

Vroomshoop

Doordat rwzi Vroomshoop is uitgevoerd als een hybride systeem is de energiebesparing minder groot dan bij een 100% Nereda® uitvoering. Toch is de rwzi als geheel energiezuinig te noemen met een totaal energieverbruik van 23,1 kWh/(ve_{150, verwijderd}·jaar). Ter vergelijking: de bedrijfsvergelijking zuiveringsbeheer 2012 laat een gemiddeld energieverbruik zien van 32 kWh/(ve_{150, verwijderd}·jaar).

Op rwzi Vroomshoop is het mogelijk om een vergelijking te maken tussen het CAS-systeem en de Nereda® reactor. Hieruit blijkt dat het energieverbruik van de Nereda® installatie 40% lager ligt dan van het CAS-systeem. Hierbij is een representatieve vergelijking gemaakt op basis van DWA-omstandigheden, aangezien het CAS een groter deel van de RWA voor haar rekening neemt. Hierbij moet worden opgemerkt dat aandacht wordt besteed aan een energie-optimalisatie van het omloopsysteem, welke waarschijnlijk een relatief lage zuurstofoverdracht heeft als gevolg van een lage omloopsnelheid. Het verschil in energieverbruik zal hierdoor naar verwachting afnemen tot circa 30%.

Garmerwolde

Zoals aangegeven in paragraaf 3.3 wordt door de bedrijfsvoering op de rwzi Garmerwolde de belasting op de Nereda® installatie tijdens DWA omstandigheden sinds eind 2014 opgevoerd ten gunste van het tweetraps CAS systeem. Achtergrond hierbij zijn de operationele kosten voor bediening, energie en chemicaliën, welke voor het Nereda® systeem aanmerkelijk lager zijn dan die voor het CAS systeem. Het gemiddelde belastingpercentage op het Nereda® systeem is daardoor in 2015 verhoogd tot 43,5%, zoals is aangegeven in Tabel 31. Het verschil in energieverbruik voor 2014 / 2015 is ruim 50% ten voordeel van de Nereda® technologie. Als hierbij rekening wordt gehouden met de beluchtingsenergie van de Sharon installatie bedraagt het verschil 40 – 45%.

TABEL 31 ENERGIEVERBRUIK RWZI GARMERWOLDE

	Eenheid	A/B systeem ¹⁾		Nereda® ²⁾	
		2014	2015	2014	2015
Specifiek energieverbruik	kWh/(v.e. ₁₅₀ -jaar)	31,3	28,2	14,8	17,0
idem	kWh/m ³	0,36	0,33	0,17	0,18
Influentbelasting ³⁾	v.e. ₁₅₀	176.000	186.000	116.000	135.000
idem	% influent	60,2	56,5	39,8	43,5

1) Inclusief Beluchttingsenergie Sharon installatie

2) Inclusief energieverbruik tussengemaal

3) Exclusief deel van "externe" stromen

5.4.2 CHEMICALIËN

Op de Nereda® installaties in Epe, Dinxperlo en Garmerwolde kan een aanvullende P-verwijdering m.b.v. metaalzouten plaatsvinden, op de installaties in Utrecht en Vroomshoop kan dit niet. Zoals eerder aangegeven in hoofdstuk 3 is hierbij de scherpe P-effluenteis op Epe en Dinxperlo de achtergrond, daar waar op Garmerwolde ook meespeelt het ontwerp met twee Nereda® reactoren en een buffertank. Bij dit ontwerp wordt de cyclustijd tijdens de first flush aanzienlijk gereduceerd, waardoor de aerobe tijd wordt verkort en P-opname niet volledig kan zijn. Zoals beschreven speelt hierbij ook het ontwerp met betrekking tot de zuurstofinbrengcapaciteit (OC) een belangrijke rol.

Op de rwzi Epe is sprake is in de zomer van 2014 gestuurd op 0,1 tot 0,15 mg PO₄-P/l, in de winter op circa 0,3 mg PO₄-P/l. Met een specifieke gemiddelde dosering van 0,16 mol Al/mol P_{inluent} is de aanvullende dosering op de zandfilters relatief gunstig te noemen. In 2015 zijn de effluenteisen voor de zomer en winterperiode op de rwzi Epe versoepeld naar respectievelijk 0,5 en 1,0 mg P_{totaal}/l en is de Al-dosering verder verlaagd.

Op de rwzi Dinxperlo vindt een aanvullende ijzerzoutdosering op zowel de Nereda® reactoren als op de zandfilters plaats. Vanaf april 2014 tot maart 2015 bedraagt de gemiddelde dosering 0,59 mol Fe/mol P en ligt daarmee op een relatief hoog niveau. In 2015 is op rwzi Dinxperlo een STOWA onderzoek uitgevoerd naar de optimalisatie van de P-verwijdering. Dit heeft geleid tot een significante verlaging van de noodzakelijke specifieke Fe-dosering naar 0,28 mol Fe/mol P, waarbij de P-effluentkwaliteit met een gemiddelde van 1,0 mg P/l voldoet aan de gestelde effluenteisen. Maatgevend voor deze verbetering is de verbeterde biologische fosfaatverwijdering in twee van de drie reactoren. De verwachting is dat een verdere optimalisatie mogelijk is waarbij het chemicaliënverbruik nog verder zal dalen.

Op de rwzi Garmerwolde wordt ijzerzout gedoseerd in de Nereda® reactoren, waarbij de hoogste doseringen plaatsvinden bij hogere influentdebieten > 30.000 m³/d. In 2015 wordt beter gebruik gemaakt van de aanwezige RWA buffers op de installatie en wordt dan ook aanmerkelijk minder ijzerzout op de Nereda® installatie gedoseerd, zoals blijkt uit Tabel 32 en visueel is weergegeven in Afbeelding 54. De specifieke gemiddelde doseringen in 2015 liggen op 0,06 en 0,75 mol Fe/mol P voor respectievelijk de Nereda® en AB-installatie.

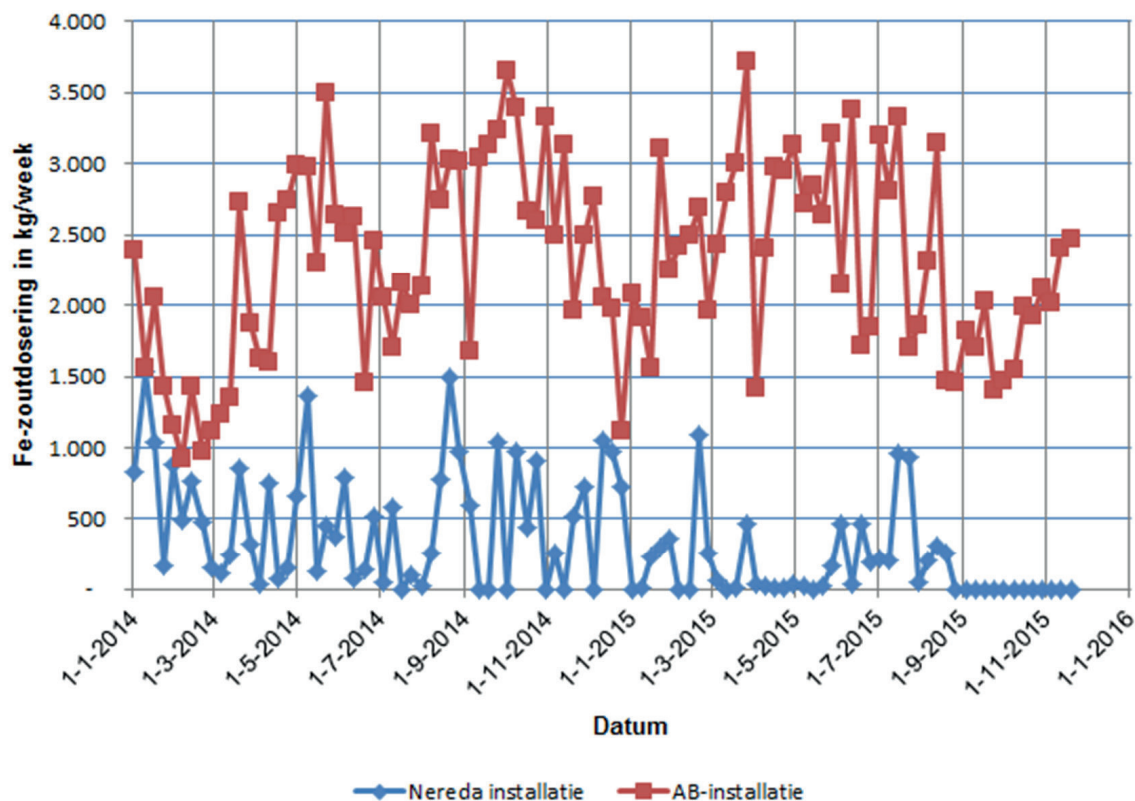
TABEL 32

CHEMICALIËNVERBRUIK VAN DE TWEE STRATEN VAN DE RWZI GARMERWOLDE

Chemicaliën	Eenheid	A/B systeem		Nereda®	
		2014	2015	2014	2015
Metaalzout	ton Fe/jaar	119	110	26	7
Coagulant	ton PE _{actief} /jaar	39	22	0	0
Flocculant	ton PE _{actief} /jaar	8.4	5.0	0	0
PAC	m ³	144	173	0	0
C-bron	m ³	715	504	0	0

AFBEELDING 54

CHEMICALIËNVERBRUIK RWZI GARMERWOLDE VOOR P-VERWIJDERING



Naast het gebruik van ijzerzout voor de P-verwijdering is op het AB-systeem op de rwzi Garmerwolde een aanzienlijke hoeveelheid chemicaliën benodigd voor het beheersen van de slibeigenschappen en het voldoen aan de gestelde Neffluenteisen. De verbruikte hoeveelheden leiden tot een significante verhoging van de operationele kosten, die worden geminimaliseerd door tijdens DWA de hoeveelheid influent naar de Nereda® installatie te vergroten.

5.4.3 RUIMTE

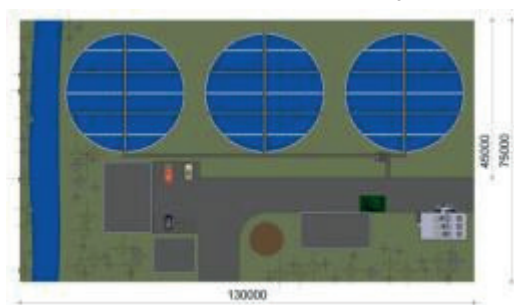
Het ruimtegebruik van rwzi's is een duurzaamheidsaspect dat vooral in dichtbevolkte stedelijke gebieden van groot belang kan zijn. De Nereda® technologie kenmerkt zich op dit vlak door het ontbreken van nabezinktanks, procesonderdelen die vooral veel ruimte vragen als sprake is van gecombineerde aanvoersystemen. In Afbeelding 16 en Afbeelding 25 is het grote verschil in ruimtegebruik van een Nereda® installatie ten opzichte van een CAS systeem goed waar te nemen. Ter vergelijking worden in bijlage 1 de ontwerpberekeningen gepresenteerd van de verschillende systemen voor een capaciteit van 100.000 v.e. Hierbij zijn de uitgangspunten voor de ontwerpen gebaseerd op CBS-gegevens van de Nederlandse rwzi's. De volgende systemen zijn hierbij onderscheiden:

- 1 Nereda® installatie – 3 tank systeem
- 2 Nereda® installatie – 2 tank systeem + DWA buffer
- 3 CAS installatie – omloopsysteem in 2 straten
- 4 Hybride uitbreiding CAS systeem met Nereda® installatie – 1 tank systeem + DWA buffer

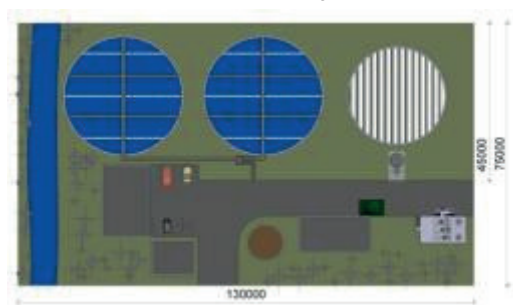
In Afbeelding 55 is het benodigde oppervlak van de verschillende systemen visueel gepresenteerd. Het benodigde oppervlak is eenvoudig af te lezen, omdat de breedte van de installaties gelijk is gehouden (130 m). In de eerste 30 meter op de verticale as zijn opgenomen het bedrijfsgebouw, de voorbehandeling en slibverwerking, alsook de wegen en het parkeerterrein. Hiermee wordt het mogelijk om de “bruto” ruimtebesparing te berekenen, daar waar de netto besparing nog beduidend groter is. Bij deze netto besparing wordt immers alleen uitgegaan van de oppervlakken van de diverse procesonderdelen en wordt geen rekening gehouden met de benodigde ruimte tussen deze onderdelen en het “wegennet”.

AFBEELDING 55 RUIMTEGEBRUIK NEREDA® EN CAS

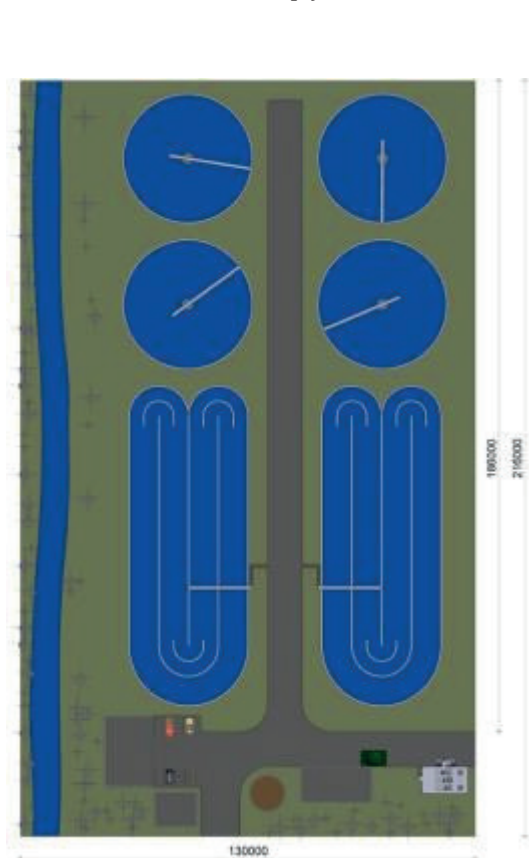
1. Nereda® installatie – 3 tank systeem



2. Nereda® installatie – 2 tank systeem + DWA buffer



3. CAS installatie – omloopsysteem in 2 straten



4. Hybride uitbreiding CAS systeem met Nereda® installatie – 1 tank systeem + DWA buffer



Uit Afbeelding 55 komt naar voren dat t.o.v. het referentie ontwerp (3) de bruto ruimtebesparing voor een 100% Nereda® installatie 65% bedraagt, terwijl voor een hybride uitbreiding de besparing uitkomt op ruim 25%. Vanzelfsprekend is deze laatste besparing minder groot, omdat in eerste instantie een CAS systeem voor 50.000 v.e. is gerealiseerd.

Uit Tabel 35 (zie bijlage 1) wordt duidelijk dat door toepassing van de Nereda® technologie de netto volume- en oppervlaktebesparing t.o.v. een standaard CAS ontwerp circa 50 en 70% bedraagt. Het verschil tussen de Nereda® variant met drie reactoren of twee reactoren en een buffertank zijn relatief gering. Op het moment dat wordt uitgegaan van een bestaande CAS installatie en een uitbreiding tot een hybride systeem wordt uitgevoerd, zijn de netto volume- en oppervlaktebesparing t.o.v. het standaard CAS ontwerp vanzelfsprekend minder groot, maar bedragen nog altijd respectievelijk 24 en 34%.

De Nereda® ontwerpen zijn gebaseerd op de realisatie van ronde tanks. Als sprake is van ruimtegebrek kan een verdergaande ruimtminimalisatie worden gevonden in de realisatie van rechthoekige reactoren, e.e.a. naar voorbeeld van de rwzi Dinxperlo, Utrecht (demo) en Vroomshoop (zie afbeeldingen in hoofdstuk 3).

De aangegeven volumebesparingen zijn gerelateerd aan een reductie van de civiele bouwkosten. Hierbij moet ook in acht worden genomen dat het Nereda® bouwvolume civieltechnisch kan worden beschouwd als een lege reactor, daar waar het bouwvolume van het CAS moet worden verdeeld in een anaërobe, anoxische en aërobe ruimte om de effluenteisen te kunnen bereiken en biologische P-verwijdering mogelijk te kunnen maken. Verder zijn dan ook verschillende recirculatiestromen noodzakelijk, welke bij de Nereda® installatie ontbreken.

Ter illustratie zijn in Afbeelding 56 de 100% Nereda® installatie als drie reactor systeem en het CAS referentie ontwerp visueel weergegeven (enigszins op schaal).

AFBEELDING 56 AANZICHT NEREDA® EN CAS INSTALLATIE VOOR CAPACITEIT VAN 100.000 V.E.

Referentie ontwerp CAS met omloopsysteem
in 2 straten

100% Nereda® installatie
in 3-tank configuratie



5.5 SLIBPRODUCTIE EN -VERWERKING

De (biologische) slibproductie van de Nereda® installaties is op verschillende manieren berekend, zoals aangegeven in hoofdstuk 3. Drogestofbalansen op een rwzi zijn in het algemeen moeilijk “kloppend” te krijgen, m.a.w. de nauwkeurigheid van de berekende slibproducties

is niet altijd even hoog. Onderstaand zijn de specifieke slibproducties van de verschillende Nereda® installaties nogmaals weergegeven.

- Epe 0,35 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 33 g DS/(v.e.₁₅₀.d)
- Garmerwolde 0,31 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 32 g DS/(v.e.₁₅₀.d)
- Utrecht 0,41 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 47 g DS/(v.e.₁₅₀.d)
- Vroomshoop Geen separate slibverwerking van Nereda® en CAS
- Dinxperlo 0,28 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 28 g DS/(v.e.₁₅₀.d)

De slibproducties liggen gemiddeld op 0,34 kg DS/kg CZV_{toevoer} en 35 g DS/(v.e.₁₅₀.d), hetgeen in vergelijking tot de slibproductie van CAS systemen (gemiddeld 45 g DS/(v.e.₁₅₀.d) - Benchmark 2012) als relatief laag mag worden bestempeld. Naast de reeds genoemde onnauwkeurigheid van slibbalansen, speelt mogelijk ook de voorbehandeling (perforatieroosters) van de verschillende installaties een rol. Data van andere en nieuwe Nereda® installaties zal licht moeten werpen op de vraag in hoeverre de slibproductie van Nereda® systemen daadwerkelijk (significant) afwijkt van die van CAS systemen.

Met betrekking tot de verdere verwerking van Nereda® spuislib kan een onderscheid worden gemaakt naar de indikking, vergistbaarheid en ontwatering. Praktijkervaringen zijn tot op heden relatief beperkt maar laten een duidelijk verschil zien met de verwerking van spuislib afkomstig van CAS systemen. Onderstaand worden meer kwalitatief dan kwantitatief de ervaringen tot op heden kort weergegeven.

Indikking

De gravitaire indikking van korrelslib verloopt relatief eenvoudig, waarbij indikpercentages van 3 à 4% DS worden bereikt. Dit zijn in vergelijking tot resultaten van spuislib van CAS systemen goede resultaten.

Met de mechanische indikking van korrelslib is een eerste praktijkervaring opgedaan op de rwzi Epe. Hierover is eerder uitgebreid gerapporteerd [4] en geconcludeerd dat met een relatief laag vlokhulpmiddelverbruik een hoog DS-gehalte kan worden behaald. Zelfs percentages > 10% zijn hierbij mogelijk gebleken. In tweede instantie zijn vergelijkbare ervaringen opgedaan op de rwzi's Vroomshoop en Garmerwolde. Op de rwzi Garmerwolde is de bandfilterinstallatie zelfs technisch aangepast om de druk op het spuislib verder te kunnen opvoeren. In vergelijking tot de situatie in het verleden, waarbij alleen B-trap slib mechanisch is ingedikt, kan thans met de combinatie van B-trap slib en spuislib van de Nereda® installatie een beduidend hoger DS-percentage (tot 12%) worden behaald bij een aanzienlijk lager PE-verbruik. Als gevolg hiervan is de hoeveelheid "secundair" slib aanzienlijk gereduceerd, de gistingstijd significant verlengd en de biogasproductie verhoogd.

Vergistbaarheid

Op praktijkschaal heeft tot op heden de gescheiden verwerking van korrelslib nog niet plaats gevonden. Het spuislib van Epe wordt getransporteerd naar de centrale slibverwerkingsinstallatie op de rwzi Apeldoorn. Ook het spuislib van de andere Nereda® installaties wordt gezamenlijk met andere slibben verwerkt. Op laboratoriumschaal is korrelslib van de demo installatie Utrecht vergist. De resultaten daarvan laten zien dat zowel de ODS-afbraak als gasproductie vergelijkbaar zijn met resultaten die bij de vergisting van CAS-slib worden gevonden. Deze resultaten zijn echter indicatief en zijn niet vergelijkbaar uitgevoerd. De zeggingskracht is derhalve niet groot. Wel is met deze proeven aangetoond dat de korrelstructuur ook na 20 dagen gistingstijd gehandhaafd blijft en een zekere structuur geeft aan het uitgegiste slib. Hoewel er geen specifiek onderzoek naar is gedaan zijn er in de praktijk geen nadelige effecten van slibkorrels in gistingstanks vastgesteld.

Ontwatering

Evenals met de vergisting van korrelslib is de praktijkervaring met de separate ontwatering van spuislib relatief gering. Op de rwzi Epe zijn de eerste ontwateringstesten met een decanteercentrifuge op praktijkschaal uitgevoerd [4]. De resultaten daarvan zijn met DS-percentages >20% bij normale PE-verbruiken niet overtuigend. Dit heeft te maken met het feit dat op rwzi Epe het spuislib met een zeer laag ingangs DS-percentage (0,1 – 0,2%) wordt ontwaterd, e.e.a. als gevolg van de aanwezigheid van de slibbuffer waarin naast (niet ingedikt) spuislib, ook het spoelwater van de zandfilters wordt opgevangen. De DS-belasting op de decanteercentrifuge is daarmee zo gering, dat er onvoldoende druk kan worden opgebouwd om significant hogere DS-percentages te kunnen bereiken.

In een later stadium zijn met ingedikt korrelslib van de rwzi Garmerwolde ontwateringsproeven uitgevoerd. Hierbij is opnieuw een decanteercentrifuge toegepast en blijken bij normale PE-verbruiken daadwerkelijk significant hogere DS-percentages tot 26% haalbaar. Hierbij is bovendien geen sprake van optimalisatie, zodat een nog betere performance mag worden verwacht. In vergelijking tot de ontwatering van spuislib van zeer laagbelaste actief slibsystemen is het genoemde ontwateringsresultaat goed te noemen. Vanzelfsprekend gaat het ook hier om een onderzoek dat niet vergelijkend is uitgevoerd, zodat het resultaat niet als algemeen geldend mag worden geïnterpreteerd.

Tenslotte moet op deze plaats worden gemeld dat ervaringen met (cascade-)zeefbandpersen, filterpersen en andere type ontwateringsapparatuur tot op heden nog niet zijn opgedaan. Deze ervaringen zullen in de loop der tijd bij de realisatie van nieuwe Nereda® installaties worden verkregen.

5.6 CONCLUSIES

In hoofdstuk 5 is de Nereda® technologie vergeleken met het actief slibproces, waarbij is ingegaan op achtereenvolgens de aspecten effluentkwaliteit, procesvoering en duurzaamheid in termen van energie-, chemicaliën- en ruimtegebruik. Tenslotte is op basis een systeemkeuze gekeken naar de verschillen in bouwvolume en benodigd oppervlak.

Op grond van de verkregen data en praktijkervaring met de vijf Nederlandse Nereda® installaties op Epe, Dinxperlo, Garmerwolde, Utrecht en Vroomshoop mag gesteld worden dat de effluentkwaliteit in vergelijking tot die van een CAS systeem gelijkwaardig is. Aspecten die met betrekking tot zwevendstof de afgelopen jaren nadrukkelijk aandacht hebben gekregen, is een aangepast ontwerp van de effluentaflaat enerzijds en de optimalisatie van de procesbesturing anderzijds. Zoals beschreven in paragraaf 4.4.4 wordt op de demo-installatie van Utrecht hierdoor inmiddels een effluentgehalte van 5-10 mg SS/l bereikt. Mede als gevolg hiervan zijn ook de organisch gebonden nutriënten in het effluent verlaagd, waardoor de voordelen van een batch systeem t.o.v. een continu systeem m.b.t. N- en P-verwijdering nu nog meer naar voren komen.

Met betrekking tot de procesvoering van een Nereda® installatie is in korte tijd veel bereikt, mede door de aandacht die in het kader van het SOON traject hieraan is besteed. Het begrip over de werking van de technologie, het omgaan met een batch systeem en de specifiek daarvoor ontwikkelde procesbesturing is in Nederland inmiddels zodanig gevorderd, dat de introductiefase als afgesloten kan worden beschouwd. De technologie kent specifieke aandachtspunten, vooral met betrekking tot de opstart vanuit een situatie waarbij geen korrelslib

als entslib ter beschikking staat. Door de opgedane ervaring van de waterbeheerders met de Nereda® technologie, alsmede de goede onderlinge uitwisseling van kennis en ervaring kan worden gesteld dat m.b.t. de procesvoering geen wezenlijke verschillen met de procesvoering van een CAS installatie kunnen worden vastgesteld. Dit betekent in de praktijk dat met uitzondering van de rwzi Garmerwolde (centrale locatie) alle andere Nereda® installaties grotendeels onbemand worden bedreven.

De Nereda® technologie wordt gekenmerkt door een duurzaam karakter qua energie- en chemicaliënverbruik, alsmede ruimtegebruik. Op grond van de verkregen (vergelijkende) praktijkdata kan worden vastgesteld dat de energiebesparing van Nereda® ten opzichte van CAS op de verschillende installaties 35 – 45% bedraagt. Deze besparing is in eerste instantie op theoretische gronden geschat op circa 25%, maar is op grond van uitgebreid praktijkonderzoek op de rwzi Epe (STOWA 2013-29) in dezelfde orde van grootte vastgesteld.

Op de Nereda® installaties in Epe, Dinxperlo en Garmerwolde wordt, indien nodig aanvullend metaalzout gedoseerd om de vereiste strenge P-effluenteis te kunnen behalen. Op Utrecht en Vroomshoop is geen dosering nodig (en ook niet mogelijk) en wordt een effluenteis van $< 1 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$ bereikt. De afgelopen jaren is onderzoek verricht om de dosering op de eerst genoemde installaties te minimaliseren. Dit heeft geleid tot een specifieke dosering in de orde grootte van $< 0,1$ tot maximaal $0,28 \text{ mol Me/mol P}_{\text{influent}}$.

Het ruimtebeslag van de Nereda® technologie ten opzichte van een CAS systeem is uitgewerkt voor een ontwerp van 100.000 v.e., waarbij verschillende configuraties zijn onderscheiden, alsook een hybride variant. Uit de berekeningen komt een bruto oppervlaktebesparing van 65% naar voren. Als wordt uitgegaan van de netto oppervlakte van de procesonderdelen wordt dit percentage met 75% nog hoger. Daar waar op basis van een bestaande CAS installatie wordt uitgebreid met een Nereda® installatie liggen deze waarden vanzelfsprekend lager. Overigens wordt in dit verband opgemerkt dat daar waar sprake is van ruimtegebrek, de uitvoering van geschakelde rechthoekige tanks een verdere ruimtebesparing kan opleveren, hetgeen in het buitenland ook vaak tot lagere totale bouwkosten leidt.

De slibproductie van de Nereda® installaties ligt in vergelijking tot die van CAS aan de lage kant. Hierbij speelt echter de onnauwkeurigheid van slibbalansen en mogelijk ook de toegepaste voorbehandeling een rol, waardoor de verkregen data met voorzichtigheid moeten worden gehanteerd. Uit de praktijk blijkt wel eenduidig dat de indikking en ontwatering van korrelslib eenvoudiger en beter verloopt dan spuislib uit een CAS. Hogere DS-percentages worden bereikt met minder vlokhulpmiddel. Als gevolg van de gecombineerde vergisting van korrelslib op centrale locaties, kan met betrekking tot de vergistbaarheid van korrelslib geen eenduidige vergelijking op basis van praktijkervaringen worden gemaakt. Een eerste onderzoek op laboratoriumschaal geeft geen aanleiding te veronderstellen dat grote verschillen tussen spuislib van CAS en Nereda® zou bestaan.

Tenslotte geven de resultaten van de uitgevoerde systeemkeuze aan dat onder gemiddelde Nederlandse condities de te realiseren volumebesparing met een Nereda® installatie circa 50% bedraagt. Dit grote verschil komt vanzelfsprekend terug in de investeringskosten voor de civiele werken.

6

DOORKIJK NAAR DE TOEKOMST

6.1 INLEIDING

De Nereda® technologie is snel doorgebroken en op meerdere plaatsen in Nederland op praktisch schaal in bedrijf. In vergelijking tot andere nieuwe technologieën is de Nereda® technologie inmiddels breder toegepast en is de uitrol naar het buitenland inmiddels in volle gang. Daar waar bijvoorbeeld de MBR technologie in eerste instantie op grond van compactheid en goede effluentkwaliteit werd ontwikkeld en ingezet, bleek het kostenniveau alsmede het energie- en grondstoffenverbruik (chemicaliën t.b.v. membraanreiniging) een bottleneck voor een verdere invoering van de technologie. Overigens doet dit niets af aan de potentie van de MBR technologie, want met name in landen waar een tekort is aan zoet water, danwel sprake is van ruimtegebrek, wordt de technologie breed en grootschalig ingezet.

Dat de Nereda® technologie in een veel korter tijdsbestek wordt ingezet, heeft alles te maken met het feit dat een goede effluentkwaliteit kan worden bereikt tegen aanzienlijk lagere kosten. Daarnaast is in vergelijking tot de meeste afvalwaterzuiveringssystemen ook sprake van een lager energie- en grondstoffenverbruik en is significant minder ruimte benodigd. De uitgangspositie voor de Nereda® technologie is daardoor beduidend gunstiger dan voor vele andere nieuwe technologieën. Dit komt ondermeer tot uiting in de snelle uitrol van de technologie in het buitenland. In 2015 / 2016 is besloten tot de realisatie van tientallen projecten met een maximale capaciteit van 2,4 miljoen v.e. Zoals aangegeven in 2.6 worden ook in Nederland nog steeds nieuwe rwzi's gerealiseerd, waarbij gebruik wordt gemaakt van de Nereda® technologie, met rwzi Utrecht (430.000 v.e.) vooralsnog als grootste.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op enkele interessante nieuwe ontwikkelingen, die de potentie en concurrentiekracht van de technologie naar de toekomst toe verder zullen vergroten.

6.2 ONTWIKKELINGEN

Teneinde de concurrentiekracht van de Nereda® technologie ook in de toekomst te kunnen blijven garanderen, zijn continu verdere ontwikkelingen noodzakelijk. Daarnaast is er bij de wereldwijde uitrol sprake van lokale situaties, waarbij eisen op het gebied van bijvoorbeeld effluentkwaliteit sterk kunnen afwijken van hetgeen in Nederland standaard wordt gehanteerd. Ook dergelijke situaties nopen tot verdergaande ontwikkelingen, waarvan enkele belangrijke onderstaand kort zijn weergegeven.

In samenspraak met Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden heeft Royal HaskoningDHV sinds 2015 de verantwoordelijkheid overgenomen voor de operationele bedrijfsvoering van de Nereda® demonstratie installatie in Utrecht. Deze installatie biedt de unieke mogelijkheid om min of meer onafhankelijk van de praktijkinstallatie onderzoek naar verdergaande ontwikkelingen te doen. Dit onderzoek wordt in samenwerking met TUD, waterbeheerder(s) en leverancier(s) uitgevoerd.

Zo wordt ondermeer gewerkt aan de verdere optimalisatie van de automatische processturing en het maximaal benutten van de zuiveringscapaciteit, teneinde een optimale effluentkwaliteit tegen minimale beluchtingsenergie te bereiken. Dat in dit verband procesomstandigheden op een rwzi aanzienlijk kunnen variëren, is genoegzaam bekend. De variaties op verschillende installaties in verschillende delen van de wereld is echter nog veel groter. Zo dient bij de geldende jaargemiddelde effluenteisen in Nederland de processturing anders in te grijpen, dan op een locatie waar in 95% van alle monsternames moet worden voldaan aan een eis $< 1 \text{ mg NH}_4\text{-N/l}$. Mede als gevolg van het batch systeem zijn de mogelijkheden voor een optimale processturing bij de Nereda® technologie meer dan aanwezig. Vanzelfsprekend is hierbij de kwaliteit van de meetopnemers en analyzers van groot belang. In samenwerking met verschillende leveranciers wordt op de rwzi Utrecht uitgebreid onderzoek verricht naar bestaande instrumentatie, maar worden tevens nieuwe en goedkopere systemen ontwikkeld, specifiek geschikt voor korrelslibsystemen.

Ook wordt aandacht besteed aan de verdere ontwikkeling van het hybride Nereda® concept. Na de eerste toepassing op de rwzi Vroomshoop wordt nu ook voor de uit te breiden rwzi Ringsend met een ontwerpcapaciteit van 2,4 miljoen v.e. de toepassing van het hybride concept onderzocht. Vanzelfsprekend is op een installatie met een dergelijke omvang verdere optimalisatie van het principe interessant. Met name de optimalisatie van het CAS-gedeelte dat wordt voorzien van spuumateriaal uit de Nereda® installatie, is hierbij van interesse. Daar waar tot op heden vooral de goede werking van de Nereda® installatie centraal staat, is thans een verdere optimalisatie van het CAS-gedeelte uitermate interessant, omdat op rwzi Vroomshoop langjarig is aangetoond dat het Nereda® slib daadwerkelijk een significante impact heeft op de werking van het CAS.

Tenslotte wordt in dit verband stilgestaan bij een verdere behandeling van effluent met het oog op hergebruik en de verwijdering van microverontreinigingen. In het buitenland wordt op steeds meer plaatsen hergebruik van effluent toegepast, omdat de schaarste aan zoet water zich steeds meer doet voelen. In sommige situaties is daarbij de inzet van specifieke technieken voorgeschreven, zoals membraanfiltratie en oxidatieve technieken. In verschillende andere delen van de wereld wordt meer gekeken naar de kwaliteit van het ontvangend oppervlaktewater en worden steeds meer eisen gesteld aan de verwijdering van microverontreinigingen en de bacteriologische / virologische kwaliteit.

In navolging van de resultaten van oriënterend (STOWA) onderzoek op de rwzi Epe wordt in 2016 een onderzoek gestart naar verschillende vormen van nabehandeling van het Nereda® effluent, waarbij tevens een verdere “integrale” opzet van toe te passen technologieën zal worden bekeken. Bij dit laatste kan bijvoorbeeld worden gedacht aan de toepassing van actief kool in combinatie met (verschillende type) membranen, waarbij gebruik wordt gemaakt van de beschikbare energie uit de hoogte van de Nereda® tank(s) en tegelijkertijd de mogelijkheid wordt benut om de slibverwerking verder te optimaliseren.

In dit verband zal ook worden getracht om een goede vergelijking te maken tussen de verwijdering van microverontreinigingen door CAS en Nereda®. Uit diverse oriënterende (vergelijkbare) metingen blijken interessante verschillen naar voren te komen, die mogelijk samenhangen met de aard van actief slib en korrelslib.

6.3 NEO-ALGINAAT

Zuiveringsslib in zijn algemeenheid is een restproduct van de afvalwaterzuivering, waarvoor de verwerking in Nederland, maar ook in grote delen van de wereld aanzienlijke kosten met zich meebrengt. Spuislib van Nereda® installaties bestaat voor een deel uit sterk op alginaat lijkende biopolymeren. Dit zijn suikers die een sterke waterbinding kennen tot wel 40 keer hun eigen gewicht, vloeistoffen kunnen verdikken of geleren, en ondermeer een basis voor coatings kunnen vormen. Korrelslib bevat op drogestof basis tot circa 20% van deze polymeren, een hoeveelheid die vergelijkbaar is met alginaat dat gewonnen wordt uit algen.

Alginaat kent veel toepassingen die momenteel vooral liggen op het gebied van medische materialen en voeding. Minder hoogwaardige toepassingen in de papier- en textielindustrie of in de chemie worden momenteel geremd door de hoge alginaatprijs. Daarnaast kan alginaat worden ingezet in bijvoorbeeld artificiële veengrond en in semi-aride gebieden ter verbetering van de waterhuishouding in de landbouw.

De mogelijkheid om een waardevolle grondstof uit het korrelslib te winnen draagt bij aan een verdere verduurzaming van de maatschappij en de ontwikkeling van een biobased economy. De grote diversiteit aan potentiële alginaat toepassingen zorgt bovendien voor een grote en variabele afzetmarkt, zodat een goede prijsvorming en zekere afzet, ook in de toekomst mogelijk zijn.

Het korrelslib kan worden gedroogd en als ruwe grondstof op de markt worden gebracht, danwel voor sommige toepassingen direct worden hergebruikt. Door het extractieproces van alginaat te integreren met het bestaande slibverwerkingsproces op rioolwaterzuiveringsinstallaties, ontstaat niet alleen een waardevolle grondstof, maar kan ook een verdere efficiency stap worden gemaakt. Het opwerkingsproces zorgt namelijk niet alleen voor een reductie van de slibhoeveelheid, maar tevens voor een slibdesintegratie, waardoor een efficiënte vergisting met hoge biogasopbrengst en een betere slibontwaterbaarheid ontstaan.

Alginaat vormt naast fosfor (struviet), PHA en cellulose een van de eerste voorbeelden van een waardevolle en hoog kwalitatieve grondstof die uit afvalwater kan worden geproduceerd. Alginaat heeft vanuit diverse marktpartijen buiten de watersector al belangstelling en zou een doorbraak kunnen betekenen in het licht van het waardevolle gedachtegoed van de “energie- en grondstoffenfabriek”. Daarnaast zal een dergelijke doorbraak het imago en de concurrentiekracht van de Nereda® technologie in het buitenland verder versterken.

Met de huidige marktprijs voor alginaat zou de slibverwerking zelfs van een kostenfactor naar een waarde-creërende-activiteit kunnen worden gevormd. Door een wereldwijde productie van een grote hoeveelheid alginaat, vergelijkbaar met of groter dan de huidige productiehoeveelheid (40.000 ton/jaar op DS-basis) zou de marktprijs echter kunnen dalen. Desondanks is het de verwachting dat een groot aantal (nieuwe) toepassingen er voor zal zorgen, dat een economisch aantrekkelijke prijs van alginaat zal kunnen worden gehandhaafd. Zelfs met marktprijzen die een fractie zijn van de huidige, blijkt op grond van enkele haalbaarheidsstudies, dat voor de Nederlandse situatie interessante business cases naar voren komen.

Dat is dan ook de achtergrond voor de oprichting van het NAOP, het Nationaal Alginaat Onderzoeks Programma, waarin naast de STOWA, Royal HaskoningDHV en TUD ook twee waterbeheerders participeren, te weten Waterschap Vallei & Veluwe en Waterschap Rijn en IJssel. Anno 2016 is de realisatie van twee Alginaat Extractie Installaties (AEI) bij deze waterbeheerders in voorbereiding en wordt onderzoek verricht naar de verdere optimalisatie van het extractieproces. Samen met marktpartijen wordt gezocht naar toepassingen en een duurzame afzet van de inmiddels tot *neo-alginaat* omgedoopte biopolymeren.

7

REFERENTIES

- 1 STOWA 2003-07 (2003)
Development of aerobic granule reactor technology, ISBN 90.5773.210.6
- 2 STOWA 2005-35 (2005)
Aeroob korrelslibtechnologie: Pilot-onderzoek naar de toepassing voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater, ISBN 90.5773.324.2
- 3 STOWA 2010-29 (2010)
Nereda® pilotonderzoeken 2003 - 2010, ISBN 978.90.5773.493.9
- 4 STOWA 2013-29 (2013)
Nereda® praktijkonderzoeken 2010 - 2012, ISBN 978.90.5778.604.9
- 5 STOWA 2011-W-08 (2011)
Toepassingsmogelijkheden en ontwerpgrondslagen Nereda® technologie
- 6 Bathe, Stephan (2005)
Aerobic granular sludge: selected proceedings of the 1st IWA-workshop aerobic granular sludge organized by the Institute of water quality control and waste management of the technical University of Munich (TUM) in cooperation with the Institute of advanced studies on sustainability of the European Academy of sciences and arts (EASA) and the international water association (IWA), Londen: IWA publishing. ISBN 978-1843395096.
- 7 J.J. Beun (2001)
PHB metabolism and N-removal in sequencing batch granular sludge reactors (proefschrift) Delft University of Technology, The Netherlands. 156p. ISBN 90-6464-257-5
- 8 M.K. de Kreuk (2006)
Aerobic Granular Sludge - Scaling-up a new technology (proefschrift) Delft University of Technology, The Netherlands. 199p. ISBN 90-9020767-8
- 9 STORA 1981
Hydraulische en technologische aspecten van het nabezinkproces, Rijswijk, 1981
- 10 Centraal Bureau voor de Statistiek
Zuivering van stedelijk afvalwater, 2013

BIJLAGE 1

ONTWERPBEREKENINGEN

(NEREDA®, CAS EN HYBRIDE)

In deze bijlage zijn aan de hand van een standaard rwzi van 100.000 v.e. de ontwerpverschillen tussen een Nereda® en CAS installatie rekenkundig uitgewerkt. Naast een 100% Nereda® installatie met 3, respectievelijk 2 reactoren met buffer is tevens gekeken naar de uitbreiding van een bestaande CAS (met de helft van de ontwerpcapaciteit) met een Nereda® installatie tot een hybride systeem. Een CAS met een omloopsysteem in twee straten is hierbij als referentie genomen. De uitgangspunten voor de ontwerpen zijn mede ontleend aan de CBS cijfers aangaande Nederlandse rwzi's uit 2013 [10] en zijn weergegeven in Tabel 33. In paragraaf 2.4 is ingegaan op belangrijke ontwerpparameters van een Nereda® installatie. Voor een meer gedetailleerde beschrijving wordt verwezen naar STOWA 2013-29 (2013) [4].

TABEL 33 UITGANGSPUNTEN VOORBEELDBEREKENING NEREDA® EN CAS INSTALLATIES

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
- Biologische capaciteit	v.e.-150	100.000	
- CZV vracht	kg/d	10.500	Afgerond
- CZV / N verhouding	-	10,8	105 en 9,8 g/(v.e.d)
- Gemiddelde DWA	l/(v.e.d)	150	
- RWA / DWA	-	3,5	
- DWA	h/d	15	

Er wordt uitgegaan van een effluentkwaliteit volgens de in Nederland geldende AmvB, te weten een TN = 10 mg N/l en TP = 1 mg P/l. In Tabel 34 zijn enkele belangrijke uitgangspunten t.a.v. de dimensionering van de verschillende systemen samengevat.

TABEL 34 CBS UITGANGSPUNTEN VOORBEELDBEREKENING NEREDA® EN CAS INSTALLATIE

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Nereda®			
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,15	Op beluchte fase van de cyclus
- Slibgehalte	kg DS/m ³	8	Standaard
- Maximale exchange ratio	%	60	
- Minimale waterdiepte	m	5,5	
CAS			
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,15	Berekend op (de)nitrificatie volume
- Slibgehalte	kg/m ³	4	Standaard
- Slibvolume index	l/kg	120	
- ANA verblijftijd	h	1	Biologische P-verwijdering
- Oppervlaktebelasting nabezinking	m ³ /(m ² .h)	0,84	Volgens STORA richtlijnen
- Kantdiepte nabezinking	m	2,0	

In Tabel 35 zijn de resultaten van de ontwerpberekeningen voor de drie verschillende Nereda® varianten en de CAS referentie opgenomen.

TABEL 35 RESULTATEN ONTWERPBEREKENINGEN NEREDA® VARIANTEN EN REFERENTIE CAS INSTALLATIE

	Eenheid	Nereda®		CAS	
		3 reactoren	2 reactoren + buffer	Uitbreiding 1 reactor + buffer	Omloopsysteem
- Buffertank(s)	- / m ³	n.v.t.	1 x 2.260	1 x 1.880	n.v.t.
- Aertietanks	m ³	3 x 5.000	2 x 5.850	1 x 9.600 (CAS) 1 x 5.850 (N)	2 x 9.600
- Afmetingen	m	Ø = 33,5 H = 5,7	Ø = 33,5 H = 6,7	65,2 x 8 x 5 Ø = 33,5 H = 6,7	L = 65,2 B = 8,0 H = 5,0
- Netto oppervlakte (totaal)	m ²	2.640	1.760	1.920 880	3.840
- Nabezinktanks (rond)	m ³	-	-	2 x 2.620	4 x 2.620
- Diameter	m	-	-	36,5	36,5
- Netto oppervlakte (totaal)	m ²	-	-	2.090	4.170
- Totaal bouwvolume	m ³	15.000	14.000	22.570	29.700
- idem percentage referentie	%	51	47	76	100
- Totaal netto oppervlak	m ²	2.640	2.350	5.320	8.020
- idem percentage referentie	%	33	29	66	100