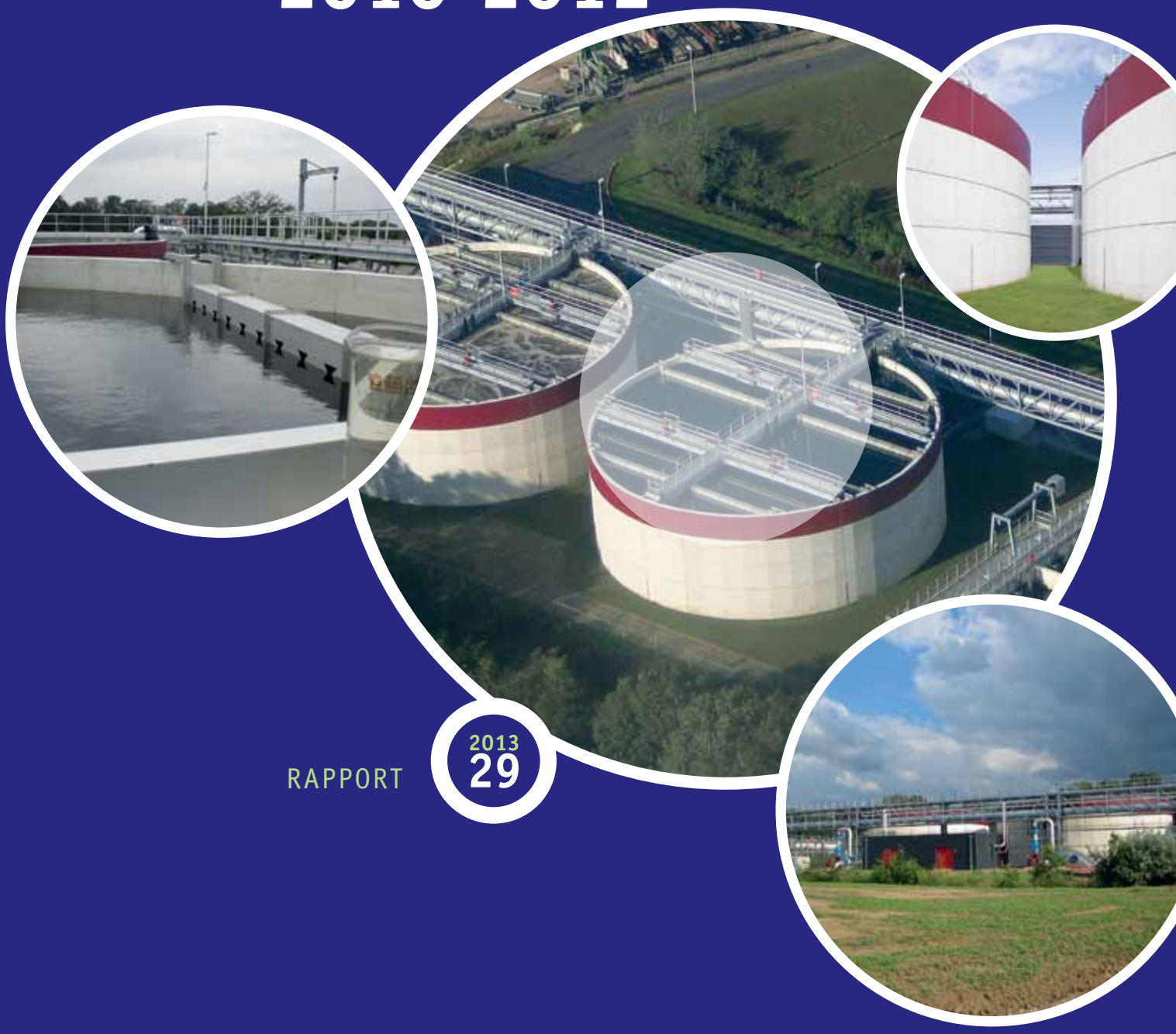
stowa

NEREDA®
PRAKTIJKONDERZOEKEN 2010-2012



RAPPORT 2013 29

stowa

NEREDA® PRAKTIJKONDERZOEKEN 2010-2012

RAPPORT 2013 29

ISBN 978.90.5778.604.9

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

stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 033 460 32 00 FAX 033 460 32 01
Stationsplein 89 3818 LE Amersfoort
POSTBUS 2180 3800 CD AMERSFOORT

COLOFON

UITGAVE Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer
Postbus 2180
3800 CD Amersfoort

PROJECTUITVOERING

L.M.M. de Bruin, Royal HaskoningDHV
B. de Bruin, Royal HaskoningDHV
H. van der Roest, Royal HaskoningDHV
A. van Bentem, Royal HaskoningDHV
D. Berkhof, Royal HaskoningDHV
E. van Dijk, Royal HaskoningDHV
H. van Gool, Royal HaskoningDHV
R. Kraan, Royal HaskoningDHV
J. Krijgsman, Royal HaskoningDHV
R. van der Kuij, Royal HaskoningDHV
M. van Loosdrecht, TU Delft
K. Meinema, Royal HaskoningDHV
V. Miska, Royal HaskoningDHV
M. Pronk, TU Delft
J. Verschoor, Royal HaskoningDHV (thans Waterschap Vallei & Veluwe)
M. Winkler, TU Delft (thans promovendus Universiteit Gent)

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

R. van Dalen, Waterschap Vallei en Veluwe
J. den Elzen, Hoogheemraadschap van Rijnland
M. de Kreuk, TU Delft
A. de Man, Waterschapsbedrijf Limburg
M. Oosterhuis, Waterschap Regge en Dinkel
E. Rekswinkel, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden
P. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel
C. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau
STOWA STOWA 2013-29
ISBN 978.90.5778.604.9

COPYRIGHT De informatie uit dit rapport mag worden overgenomen, mits met bronvermelding. De in het rapport ontwikkelde, dan wel verzamelde kennis is om niet verkrijgbaar. De eventuele kosten die STOWA voor publicaties in rekening brengt, zijn uitsluitend kosten voor het vormgeven, vermenigvuldigen en verzenden.

DISCLAIMER Dit rapport is gebaseerd op de meest recente inzichten in het vakgebied. Desalniettemin moeten bij toepassing ervan de resultaten te allen tijde kritisch worden beschouwd. De auteurs en STOWA kunnen niet aansprakelijk worden gesteld voor eventuele schade die ontstaat door toepassing van het gedachtegoed uit dit rapport.

TEN GELEIDE

Na het eerste succesvolle pilotonderzoek naar de Nereda® aëroob korrelslibtechnologie op de rwzi Ede heeft de Nederlandse watersector de handen ineen geslagen met het doel om de technologie verder te ontwikkelen tot een duurzaam alternatief voor de conventionele actief slibtechnologie. Het Nationaal Nereda® Ontwikkelings programma (NNOP) vormde daarbij de leidraad voor een samenwerkingsverband tussen STOWA, zes waterschappen, TU te Delft en Royal HaskoningDHV.

In 2010 brachten de consortiumpartners gezamenlijk een eerste STOWA rapportage uit (2010-29) waarin het pilotonderzoek op de verschillende Nederlandse rioolwaterzuiveringsinstallaties is beschreven. Door de gelijktijdige uitvoering van wetenschappelijk en toegepast onderzoek konden in deze fase van de ontwikkeling grote en belangrijke stappen worden gemaakt. Mede op grond van de veelbelovende resultaten besloot een aantal deelnemende waterschappen de sprong naar praktijktoepassing te zetten. De eerste grootschalige praktijkinstallatie te Epe was een belangrijke mijlpaal voor de opschaling van de Nereda® technologie. In 2011 is de installatie opgestart en vervolgens in mei 2012 feestelijk geopend door ZKH de Prins van Oranje. In 2013 zullen de Nereda® ...installaties te Utrecht (Hoogheemraadschap de Stichtse Rijnlanden), Garmerworlde (Waterschap Noorderzijlvest, Dinxperlo (Waterschap Rijn en IJssel en Vroomshoop (Waterschap Regge en Dinkel) worden opgestart. Meerdere waterschappen nemen de nieuwe technologie mee als mogelijkheid rwzi's in hun beheersgebied aan te passen.

In 2011 en 2012 is met ondersteuning van AgentschapNL een uitgebreid praktijkonderzoek op de rwzi Epe uitgevoerd. Dit onderzoek is vooral gebruikt om op praktijkschaal de belangrijke ontwerpaspecten van de technologie nader te verifiëren. In dit rapport wordt naast een uitgebreid verslag van deze onderzoeken, nader ingegaan op het ontwerp en functioneren van de rwzi Epe. De resultaten worden vertaald naar algemene ontwerpgrondslagen en tenslotte vergeleken met die van een actief slibsysteem.

Met de ontwikkeling van Nereda hebben de waterschappen nieuwe mogelijkheden voor behandeling van huishoudelijk afvalwater met laag chemicaliën- en energieverbruik en een significant kleiner bouwoppervlak. Nereda draagt hierdoor bij aan de ambities van de waterschappen op gebied van kosten- en energiebesparing (Meerjarenafspraken Energie-efficiency, Klimaatakkoord).

Inmiddels maakt de aëroob korrelslibtechnologie ook wereldwijd naam en wordt verwacht dat de komende jaren vele Nereda® installaties het levenslicht zullen zien. Het is in dit kader uniek te noemen dat binnen het NNOP samenwerkingsverband afspraken zijn gemaakt over een zogenaamd "revolving fund". Een deel van de royalty's die in het buitenland worden verkregen, vloeit terug naar Nederlands wetenschappelijk en toegepast onderzoek.

Het NNOP-samenwerkingsverband blijft tot eind 2013 officieel bestaan totdat alle praktijkinstallaties naar tevredenheid functioneren. Om de praktijkervaringen en –resultaten ook in de nabije toekomst met elkaar te kunnen delen, wordt in 2013 een gebruikersplatform opgericht.

Amersfoort, oktober 2013

De directeur van de STOWA
Ir. J.J. Buntsma

SAMENVATTING

INLEIDING

Sinds de negentiger jaren van de vorige eeuw wordt onderzoek verricht naar de ontwikkeling van de aërobe korreltechnologie voor de zuivering van afvalwater. Op de TU Delft werden – ondersteund door STW – de eerste fundamentele beginselen van deze technologie blootgelegd. Na een eerste deskstudie begin deze eeuw was de belangstelling in de praktijk gewekt en werd een eerste STOWA-pilotonderzoek op de rwzi Ede uitgevoerd. In 2005 werd een technologische doorbraak bereikt en werd een breed samenwerkingsverband gevormd, dat sinds 2006/2007 het Nationaal Nereda Ontwikkelings Programma (NNOP) uitvoert. In dit samenwerkingsverband nemen naast de STOWA, TUD en Royal HaskoningDHV verschillende waterkwaliteitsbeheerders deel, te weten Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Regge en Dinkel, Waterschapsbedrijf Limburg, Waterschap Hollandse Delta, Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden en het Hoogheemraadschap van Rijnland.

Het NNOP zal eind 2013 worden afgerond en heeft tot doel om een nieuwe concurrerende afvalwaterzuiveringstechnologie - omgedoopt tot Nereda® - van Nederlandse bodem te realiseren. Belangrijk onderdeel binnen het NNOP is het pilotonderzoek, dat na het eerste onderzoek op de rwzi Ede, in de periode 2006 tot 2010 op verschillende locaties is uitgevoerd. Bij de uitvoering van de pilotonderzoeken op de rwzi's Ede, Aalsmeer, Hoensbroek, Dinxperlo en Epe hebben de volgende onderzoeksaspecten centraal gestaan.

1 korrelvorming op verschillende typen afvalwater
2 stabiliteit van gevormd korrelslib
3 optimalisatie van de stikstof- en fosfaatverwijdering, in het bijzonder in de winter
4 beheersing van het zwevendstofgehalte in het effluent
5 verkrijgen van technologische ontwerpgrondslagen voor de realisatie van praktijkinstallaties

Met het oog op steeds strengere efluenteisen is daarnaast op kleine schaal flankerend onderzoek verricht naar de nabehandeling van de afloop van Nereda® reactoren. Hierbij zijn de toepassingsmogelijkheden onderzocht van discontinue zandfiltratie, doekfiltratie en Fuzzy filtratie. Naast de verwijdering van rest-zwevendstof is ook de combinatie met de verwijdering van rest-fosfaat bestudeerd. Parallel aan het nabehandelingsonderzoek is op kleine schaal ook gekeken naar de behandeling van het surplusslib van het Nereda® proces. Hiertoe zijn de mogelijkheden van gangbare technieken onderzocht, namelijk gravitatie-indikking, mechanische indikking en ontwatering en is een eerste indruk verkregen van haalbare drogestofgehaltes, afscheidingsrendementen, vlokhulpmiddelverbruik en de afgifte van fosfaat.

PRAKTIJKINSTALLATIES IN NEDERLAND

Eind 2010 zijn de resultaten van de pilotfase in de STOWA rapportage 2010-29 gepubliceerd en is de laatste stap in de ontwikkeling van de Nereda® technologie gestart, te weten de opschaling naar Nederlandse praktijkomstandigheden.

Op basis van de resultaten van de pilotfase hadden eind 2010 al drie van de deelnemende waterbeheerders besloten tot de realisatie van een praktijkinstallatie. Redenen hiervoor waren de uitstekende prestaties met betrekking tot effluentkwaliteit en processtabiliteit, alsmede sterke indicaties voor een laag energie- en chemicaliënverbruik. Het lage energiever-

bruik wordt veroorzaakt doordat veel recirculatiestromen en mengstappen ontbreken, waardoor een besparing ten opzichte van continue actiefslibsystemen van minimaal 20% werd voorzien.

Inmiddels is de eerste Nereda® praktijkinstallatie op Epe al ruim een jaar in bedrijf en zullen in 2013 in Nederland verschillende andere praktijkinstallaties worden opgestart. Het waterschap Rijn en IJssel realiseert in Dinxperlo een nieuwe installatie met een watertuin en het waterschap Regge en Dinkel heeft op de rwzi Vroomshoop een nieuwe hybride installatie gebouwd, waarbij de helft van de capaciteit in een actiefslibinstallatie wordt behandeld en de andere helft in een Nereda® installatie.

Op de rwzi Utrecht is begin 2013 een prototype Nereda® installatie opgestart om de haalbaarheid van een verdere opschaling naar een grootte van ruim 500.000 v.e. vast te stellen. Medio 2014 wordt een besluit genomen voor de realisatie van de praktijkinstallatie. Belangrijke doelstelling van het prototype betreft onderzoek naar de verdere hydraulische optimalisatiemogelijkheden van de technologie. Deze mogelijkheden zijn al naar voren gekomen tijdens praktijkonderzoek op de rwzi Epe, dat in het kader van de KRW subsidie-regeling van AgentschapNL in de periode 2011 – 2012 is uitgevoerd.

Ten tijde van het verschijnen van deze rapportage is ook een grootschalige Nereda® installatie voor de uitbreiding van de rwzi Garmerwolde gerealiseerd. De Nereda® installatie heeft een ontwerpcapaciteit van 140.000 v.e. en is ontworpen voor een maximale hydraulische capaciteit van 4.200 m^3/h. De keuze voor een Nereda® installatie is in het kader van een Europese aanbesteding door het waterschap Noorderzijlvest gemaakt. De installatie is medio 2013 opgestart en is, evenals de rwzi Vroomshoop voorzien van een influentbuffertank. Dit levert mogelijkheden voor een hogere belastbaarheid van het systeem, waardoor het volume van de Nereda® reactoren verder kan worden gereduceerd.

Een laatste interessante ontwikkeling die in dit kader in deze rapportage dient te worden genoemd, is de toepassing van de Nereda® technologie in het Modulaire Duurzame Rwzi (MDR) concept. Dit concept is door NNOP deelnemer WBL naar voren gebracht vanuit het oogmerk om toekomstige rwzi's significant goedkoper uit te voeren door deze modulair en transportabel te realiseren. De eerste toepassing van dit concept zal het levenslicht mogen aanschouwen op de rwzi Simpelveld.

ONTWERP EN PROCESVOERING RWZI EPE

De rwzi Epe is de eerste groene weide Nereda® praktijkinstallatie en is ontworpen voor een biologische capaciteit van 53.500 v.e. (150g TZV) en een maximale hydraulische aanvoer van 1.500 m^3/h. De installatie dient te voldoen aan strenge N- en P-eisen, die afhankelijk zijn gesteld van wet- en regelgeving, wenswaarden van het waterschap Vallei en Veluwe, alsmede de afgegeven garanties in relatie tot de belastinggraad van de rwzi. Voor stikstof dient te worden voldaan aan waarden variërend tussen 5 en 8 mgN/l, voor fosfor tussen 0,3 en 0,5 mgP/l.

Het influent wordt gekenmerkt door een groot aandeel afvalwater van enkele grote slachterijen. In het ontwerp is daarom een uitgebreide voorbehandeling met een perforatierooster en een zand/vetvanger gerealiseerd. Het biologisch proces vindt plaats in drie Nereda® reactoren die zijn ontworpen op een slibbelasting van 0,12 kg CZV/(kgDS.dag) bij een standaard slibgehalte van 8 g/l.
Vanwege de scherpe P-effluenteis en de destijds beperkte ervaring met diverse nabehande-

lingstechnieken voor de gelijktijdige verwijdering van zwevendstof en rest-fosfaat is tijdens de ontwerpfase uitgegaan van de inzet van (discontinue) zandfiltratie. Het spoelwater van de zandfilters wordt in principe rechtstreeks naar de spuislibbuffer afgevoerd, terwijl het bandspoelwater van de mechanische slibinindikkingsinstallatie rechtstreeks naar de zandfiltratie wordt getransporteerd. Op deze wijze wordt de hydraulische belasting van de Nereda® reactoren beperkt. Het spuislib van de Nereda® reactoren wordt opgevangen in een spuislibbuffer en gezamenlijk met het spoelwater van de zandfilters mechanisch ingedikt op twee voorontwateringsbanden. Het ingedikte slib wordt gepompt naar een ingedikt slibbuffer en getransporteerd naar de rwzi Apeldoorn waar het wordt vergist.
Sinds januari 2012 is de Nereda® installatie te Epe volledig in bedrijf en is er sprake van een robuuste procesvoering met uitstekende zuiveringsresultaten. In 2012 zijn verificatietesten uitgevoerd om de garanties ten aanzien van effluentkwaliteit, energieverbruik en slibindikking te verifiëren. Uit tabel I blijkt dat hieraan is voldaan.

TABEL I **OVERZICHT VAN EISEN EN BEHAALDE RESULTATEN VERIFICATIEPERIODE RWZI EPE**

Parameter	Eenheid	Eis	Resultaat
N_{totaal} effluent	mgN/l	≤ 5	4,0
P_{totaal} effluent	mgP/l	≤ 0,3	< 0,3
Energieverbruik	kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar)	≤ 22,7	21,2
DS-gehalte ingedikt slib	% DS	≥ 5	5,2
Polymeerverbruik slibindikking	gPE_{actief}/kgDS	≤ 5	1,2

Ten aanzien van de effluentkwaliteit dient te worden opgemerkt dat zowel op praktijk- als op pilotschaal mogelijkheden voor een verdere kwaliteitsverbetering (tot MTR kwaliteit) naar voren zijn gekomen. De in tabel I aangegeven resultaten worden bereikt bij een hogere slibbelasting dan waarop de rwzi Epe is ontworpen.
Met betrekking tot het energieverbruik dient te worden opgemerkt dat de genoemde waarde is bereikt bij de gegeven actuele belasting van de rwzi Epe, die op circa 70% van de ontwerpcapaciteit ligt. Bij een volbelaste rwzi Epe wordt een energieverbruik berekend van 16,3 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar), hetgeen lager is dan de garantiewaarde van 22,7 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar). Technische optimalisaties zullen het verbruik verder kunnen reduceren en worden hierna besproken.

KRW ONDERZOEKEN RWZI EPE

1 KRW DEELONDERZOEK HYDRAULICA

De rwzi Epe kent als eerste huishoudelijke praktijkinstallatie een forse opschaling, waarbij de H/D-verhouding van praktijkreactoren ongunstig is in vergelijking tot die van de eerder toegepaste pilotinstallaties. De noodzaak van hydraulische propstroomcondities tijdens voeden en aflaten om het moment van doorslag te vertragen, is in dergelijke praktijkreactoren daarom een belangrijk aandachtspunt. Tijdens het deelonderzoek hydraulica is hiernaar uitgebreid gekeken en zijn de effecten van de belangrijkste invloedsfactoren onderzocht. Daaruit zijn de volgende resultaten en conclusies naar voren gekomen:

- De reactoren van Epe voldoen hydraulisch aan de ontwerp uitgangspunten;
- Het aantal effluentgoten (2 – 4), de wijze van recirculatie (gat in de wand of via effluentgoot) en de oppervlaktebelasting geven geen significant verschil ten aanzien van het moment van doorslag en de maximale hydraulische belastbaarheid;
- De aanwezigheid van jong korrelslib blijkt een verlaging van de maximale Exchange Ratio (volumetrisch deel Nereda® reactor dat in één cyclus wordt ververst) op te leveren. Het ver-

moeden dat onregelmatigheden in het influentverdeelsysteem hierbij een rol spelen, wordt bevestigd door uitgevoerde CFD berekeningen. De effecten kunnen afwijken bij een volwassen korrelbed.

Op basis van de resultaten van het hydraulica deelonderzoek kunnen thans ontwerpen worden gemaakt, waarbij hogere exchange ratio's haalbaar zijn en waarbij het ontwerp van de internals is geoptimaliseerd. Exchange ratio's tot 70% zijn haalbaar gebleken op de Nereda® installatie Frielas (Portugal) en maken het Nereda® ontwerp aanzienlijk kleiner.
Op grond van de resultaten zijn in 2013 enkele eenvoudige technische aanpassingen op de rwzi Epe doorgevoerd, om de exchange ratio te vergroten. Tevens zijn aanpassingen aan het beluchtingssysteem doorgevoerd die tot een verdere reductie van de energiebehoefte zullen leiden.

2 KRW DEELONDERZOEK ENERGIE

Het energieverbruik van de rwzi Epe is weergegeven in Tabel I en is verkregen na enkele technische optimalisaties en aanpassingen aan de procesbesturing. Vanaf augustus 2012 is er sprake van een structureel lager energieverbruik, waarbij de belangrijkste verbruikers de blowers (52%), het influent- en tussengemaal (16%) en de mechanische slibindikking (12%) zijn. Bij deze cijfers dient in ogenschouw te worden genomen dat het afvalwater op de rwzi Epe 2 m. extra wordt opgepompt, en dat op deze rwzi zandfiltratie en mechanische slibindikking wordt toegepast. Door de eerder genoemde technische aanpassing van het beluchtingssysteem wordt verwacht dat het energieverbruik verder zal dalen. Het verbruik van moderne Nederlandse installaties met effluent-nabehandeling, maar vaak zonder influentgemaal en mechanische slibindikking bedraagt gemiddeld 37,5 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar). De rwzi Epe ligt hier met 21,2 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar) ruim 40% onder.

Een uitgebreid meetprogramma heeft laten zien dat α-factoren van korrelslib in vergelijking tot CAS en MBR slibben in dezelfde orde van grootte liggen, e.e.a. in afhankelijkheid van de slibconcentratie. De spreiding van de meetresultaten is echter groot om hieruit absolute waarden te destilleren. Uit de procesdata van de rwzi Epe is een gemiddelde α-factor van 0,8 afgeleid, een waarde die goed overeen komt met het gemeten energieverbruik van de rwzi Epe.

3 KRW DEELONDERZOEK KORRELVORMING

De opstart van de Nereda® installatie in termen van korrelvorming is nauwlettend door TU te Delft gevolgd. Deze blijkt ten tijde van het onderzoek al goed op gang te zijn gekomen en is bij afsluiting van de monitoringsperiode nog in volle gang. Door een tijdelijk lagere selectiedruk heeft de korrelvorming tijdens de opstartperiode enige vertraging opgelopen. Een relatief lage slibbelasting a.g.v. de hoge effluenteisen en de regelmatige lozing van (industrieel) influent met een hoge zuurgraad zorgt ervoor dat de opbouw tot een volwassen korrelslibbed tijd de nodige tijd zal vragen.

Ten tijde van het onderzoek (april 2012) kon al een ALE (Alginate Like Exopolysaccharides) opbrengst worden gemeten van 10% (ODS basis), een waarde die echter nog nadrukkelijk lager ligt dan die van "volwassen" korrels (tot 20%) maar in overeenstemming is met het microscopisch beeld van de korrelvorming. Het geringe verschil tussen SVI_5 en SVI_{30} toont het korrelslib karakter al duidelijk aan. In dit ver-

band wordt opgemerkt dat ervaringen op de rwzi Frielas (Portugal) laten zien dat de constructie van de afvoersystemen een sterk effect heeft op de korrelselectie. In Epe is van deze ervaring geleerd en is de afvoerconstructie aangepast.

Analyse van het slib m.b.v. FISH (Fluorescente In-Situ RNA Hybridisatie) toont aan dat na de opstart de verhouding PAO/GAO (80%/20%) in overstemming is met andere biologisch defosfaterende rwzi's in Nederland. Ondanks het feit dat er voldoende PAO's in het korrelslib aanwezig zijn, is er een verdere optimalisatie m.b.t. het biologisch defosfateringsproces mogelijk. Met name de slibbelasting en processturing van de beluchting zijn daarbij belangrijke stuurparameters. Via DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) blijkt de populatie-variabiliteit van het korrelslib hoog te zijn, terwijl er gedurende de opstart sprake is van een verhoogde aanwezigheid van specifieke bacteriën.

4 KRW DEELONDERZOEK EMISSIE BROEIKASGASSEN

Nadat in 2010 en 2011 al oriënterende metingen naar de N_2O emissie op de pilotinstallatie te Epe waren verricht, zijn in juni 2012 op de praktijkinstallatie emissiemetingen naar CH_4 en N_2O uitgevoerd. Uit de metingen komt naar voren dat de specifieke CH_4-emissie van de Nereda® praktijkinstallatie 0,0009 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$ bedraagt. In vergelijking tot eerder in Nederland uitgevoerde metingen (STOWA 2010-08) blijkt deze emissie lager te zijn dan die op de rwzi's Papendrecht en Kortenoord gemeten emissies. Overigens is de informatie over dit onderwerp nog zodanig gering, dat met de interpretatie van deze constatering voorzichtig moet worden omgegaan. Ten opzichte van het kental dat het Ministerie van Infrastructuur en Milieu hanteert voor het afschatten van de methaanemissie door rwzi's zonder slibgisting ligt de op rwzi Epe gemeten waarde een factor lager.

Met betrekking tot de N_2O-emissie komt een gemiddelde specifieke waarde naar voren van 0,69% van de KjN-influentvracht met redelijk grote variaties op dagbasis. Deze resultaten komen overeen met resultaten van STOWA onderzoek naar de N_2O emissie bij actiefslibinstallaties en verschillende internationale onderzoeksresultaten. Het IPPC en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu gaan uit van specifieke N_2O-emissies van respectievelijk 0,035% en 1%.

5 KRW DEELONDERZOEK VOORBEHANDELING

Op basis van een intensief bemonsteringsprogramma is de werking van de voorbehandeling van de rwzi Epe beoordeeld. Op grond hiervan blijken de perforatieroosters een hoog rendement voor CZV en zwevendstof te hebben, terwijl een negatief rendement wordt gemeten voor de zand/vetvang. Het blijkt moeilijk om op grond van het meetprogramma tot sluitende balansen te komen, terwijl eensluidende verklaringen hiervoor niet konden worden gevonden. De voorbehandeling van de rwzi Epe blijkt echter zodanig te functioneren, dat verstopping van benedenstroomse procesonderdelen en opdrijving van materiaal op het Nereda® reactor oppervlak niet is geconstateerd.

6 KRW DEELONDERZOEK NABEHANDELING

Op basis van dit deelonderzoek zijn oriënterend de mogelijkheden van Fuzzy en Discfiltratie in vergelijking met het op de rwzi Epe geïnstalleerde discontinue zandfilter onderzocht. Met alle drie systemen kan een goede effluentkwaliteit worden geproduceerd in termen van troebelheid en P_{totaal}. De troebelheid van het effluent

is onder gemiddelde omstandigheden laag (< 1 NTU) en bij hoge hydraulische belastingen enigszins hoger (2 - 4 NTU). De standtijden onder RWA condities nemen bij alle systemen vanzelfsprekend aanzienlijk af. Een belangrijke randvoorwaarde voor lage P_{totaal}-concentraties in het effluent is dat de ingaande orthofosfaatconcentratie zo laag mogelijk is (< 1 mgP/l). Dat kan alleen als de biologische fosfaatverwijdering van hoog niveau is.

De zandfilters op de rwzi Epe functioneren naar behoren en zijn in staat om de vereiste P-effluentkwaliteit te leveren bij een relatief gunstig chemicaliënverbruik < 2 mol Al/mol PO_4-$P_{aanvoer}$. De gemiddelde standtijd van de zandfilters bedraagt ongeveer 2 dagen, waarbij wel de relatief lage oppervlaktebelasting in acht moet worden genomen (2 - 13 m/h). Het gemiddelde spoelwaterverbruik bedraagt circa 4% van het influentdebiet. Teneinde te allen tijde aan de strenge P-effluenteis < 0,3 mg P_{totaal} te kunnen voldoen, is een nauwgezette bedrijfsvoering en goede procesbeheersing noodzakelijk.

De Fuzzy filter pilotinstallatie is in staat om bij hoge en constante belastingen van 24 en 50 m/h zowel troebelheid als P_{totaal} vergaand te verwijderen. Nadere aandachtspunten zijn de standtijd van het filter en het spoelwaterverbruik. Afhankelijk van de hydraulische belasting varieert de standtijd tussen 2 en 5 uur. Deze tijden zijn verklaarbaar vanuit de hoge(re) drogestofbelasting en nopen tot een verdere optimalisatie van de spoeling, om de efficiency van het proces op peil te houden en volledig profijt te kunnen trekken van de hogere hydraulische belastingen.

Het discfilter onderzoek is vanwege technische oorzaken moeizaam verlopen, waardoor een stabiele procesvoering niet kon worden aangetoond. In de periodes dat het discfilter operationeel was, bleek wel een hoge effluentkwaliteit mogelijk. Op basis van de verkregen resultaten kan op dit moment echter niet worden geconcludeerd dat discfiltratie een alternatief is voor de nabehandeling van Nereda® effluent.
Recent zijn op de rwzi's Ede en Soest nabehandelingsinstallaties op basis van discfiltratie gebouwd voor de gecombineerde verwijdering van rest-zwevendstof en rest-fosfaat. Binnen afzienbare tijd zullen praktijkervaringen met deze technologie bekend worden.

7 KRW DEELONDERZOEK MICROVERONTREINIGINGEN

Op basis van GC-MS analyses die door Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd, is aangetoond dat het grootste deel van de gemeten influentstoffen volledig in de rwzi wordt verwijderd, behalve HHCB (polycyclische muskus), 5-trimethylsilylpent-2-en-4-yne, 1,1-dimethyl-3-chloropropanol en N-butyl-benzenesulfonamide.

Op basis van een uitgebreid analyseprogramma naar specifieke componenten blijkt dat de spreiding van verwijderingsrendementen voor de verschillende stoffen groot is. Dat houdt in dat op basis hiervan geen eenduidige conclusies kunnen worden getrokken m.b.t. eventuele verschillen tussen de verschillende zuiveringssystemen. Desondanks blijkt dat de verwijderingsrendementen van de rwzi Epe in relatie tot de resultaten van andere onderzoeken aan de bovenkant van de range liggen. De totale oestrogene activiteit (ER-calux) is laag voor rwzi Epe in vergelijking met zowel de MBR (rwzi Varsseveld) als verschillende CAS systemen en CAS plus zandfiltratie (rwzi Maasbommel).

Theoretisch kan worden beredeneerd dat er een fundamenteel verschil bestaat tussen continue volledig gemengde systemen en batchgewijs bedreven systemen, zoals de rwzi Epe. Op grond hiervan mag worden verwacht dat batchsystemen en continue propstromers in staat zijn tot hogere verwijderingsrendementen.

Met betrekking tot de verwijdering van zware metalen is op grond van beschikbare analyses van afgevoerd zuiveringsslib van zowel de oude rwzi Epe (CAS) als de nieuwe rwzi Epe (Nereda® + zandfiltratie) gebleken dat de verwijdering voor de meeste metalen vergelijkbaar is. In het slib van de Nereda® installatie is de aluminiumconcentratie echter aanzienlijk lager, hetgeen verklaard wordt door de aanzienlijk lagere aluminiumdosering. De hogere concentraties aan kalium en magnesium in het Nereda® slib zijn terug te voeren op de introductie van biologische fosfaatverwijdering.

8 KRW DEELONDERZOEK SLIBBEHANDELING

De bandindikkers op de rwzi Epe dikken het spuislib in tot een drogestofgehalte > 5,5% bij een vlokhulpmiddeldosering van 1 – 2 g actief PE/kg DS. Hogere DS-concentraties zijn bij enigszins hogere doseringen mogelijk, maar worden gelimiteerd door technische beperkingen m.b.t. de ingedikt slibpomp.
Ontwateringstesten met een mobiele Westfalia ontwateringsinstallatie leveren bij directe ontwatering van Nereda® slib vergelijkbare resultaten op in vergelijking met conventioneel spuislib, te weten > 20% DS. Het lage drogestofgehalte van het ingaande slib leidt echter tot een gevoelige procesvoering en een iets ongunstiger specifiek energieverbruik. Op grond van de bevindingen wordt een goed ontwateringsresultaat verwacht met een cascade zeefbandpers.

NEREDA® ONTWERP

De Nereda® technologie kan worden ingezet in verschillende procesconfiguraties, van groene weide variant met of zonder influentbuffer tot hybride variant of inbouw in bestaande aërobe of zelfs anaërobe installaties. De resultaten van de KRW-onderzoeken hebben aangetoond dat de ontwerpgrondslagen die op de eerste huishoudelijke praktijkinstallatie te Epe zijn toegepast, nog wezenlijk kunnen worden verscherpt.
Dit geldt vooral voor de hydraulische dimensionering in termen van exchange ratio en opvoersnelheid, waardoor installaties kleiner kunnen worden ontworpen. De aangepaste ontwerpgrondslagen zijn in de nieuwe Nereda® ontwerpen al toegepast. Een vergelijking met conventionele actief slibinstallaties laat zien dat bij verschillende RWA/DWA verhoudingen de Nereda® installaties circa 50% van het totaal volume van een CAS (AT + NBT) innemen, terwijl deze kunnen worden gerealiseerd op circa 30% van het netto oppervlak van een CAS.

TOEKOMSTPERSPECTIEF

De realisatie van 's werelds eerste grootschalige Nereda® installatie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater is een belangrijke stap in de ontwikkeling van de Nereda® technologie. De resultaten behaald met de verschillende pilotinstallaties tot en met de praktijkinstallatie in Epe geven de betrokken NNOP partners vertrouwen. Dit heeft ertoe geleid dat op dit moment in Nederland vier installaties in aanbouw zijn met capaciteiten van 8.000 tot 140.000 v.e. In Zuid-Afrika wordt na de eerste demonstratie installatie te Gansbaai een tweede Nereda® installatie gebouwd in Stellenbosch. De resultaten van de demonstratie-installatie in Portugal hebben

ertoe geleid dat één van de zes zuiveringstraten van de rwzi Frielas (700.000 v.e.) wordt omgebouwd tot een Nereda® configuratie.

Vanuit de jarenlange NNOP samenwerking heeft de Nederlandse watersector in korte tijd een robuuste en betrouwbare afvalwaterzuiveringstechnologie ontwikkeld, die gekenmerkt wordt door een goede effluentkwaliteit, minder ruimte, energie en chemicaliën en tenslotte lagere kosten.
De belangstelling vanuit Nederland en het buitenland is inmiddels zodanig groot, dat verwacht mag worden dat de verdere (internationale) uitrol van de technologie snel zal verlopen. Met de ontwikkeling van de Nereda® technologie heeft de Nederlandse watersector haar naam en faam op het gebied van watertechnologie opnieuw bewezen.

DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen, zuiveringsschappen en de provincies.

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

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

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget circa 6 miljoen euro.

STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.
Telefoon: 033-4603200
E-mail: stowa@stowa.nl
Website: www.stowa.nl

SUMMARY

INTRODUCTION

Since the nineties of last century research has been conducted on the development of the aerobic granular sludge technology for wastewater treatment. Delft University of Technology – supported by the Dutch technology foundation STW – revealed the first fundamentals of aerobic granulation. After a first desk study at the start of this century, the Dutch water sector showed its interest, which resulted in a first STOWA pilot research project at Ede WWTP. A technological breakthrough achieved in 2005 initiated the start of a broad National Nereda® Development Program (NNOP). Next to STOWA, Technical University of Delft and Royal HaskoningDHV several water boards are actively involved within this development program: Vallei & Veluwe, Rijn en IJssel, Regge en Dinkel, Limburg, Hollandse Delta, De Stichtse Rijnlanden and Rijnland.

The NNOP will be concluded by the end of 2013 and aims at the development of a new competitive biological wastewater treatment technology from The Netherlands – labeled Nereda®. Applied pilot research is an important element of the NNOP and after the Ede project, additional pilot research projects were conducted in the period 2006 – 2010 at several locations in the Netherlands. Within these pilot research projects at WWTPs Ede, Aalsmeer, Hoensbroek, Dinxperlo and Epe respectively, the following aspects were investigated.

1. granulation on different wastewater types
2. stability of granular sludge
3. optimization of nitrogen and phosphorous removal, especially during winter time
4. control of effluent suspended solids concentration
5. obtaining technological design parameters for full scale Nereda® installations

Considering the forthcoming stringent effluent requirements, supplementary small scale research was executed focusing on post treatment of Nereda® effluent. The potential applications of discontinuous sand filtration, disk filtration and Fuzzy filtration were examined. Next to the removal of residual suspended solids the combined removal of dissolved phosphate was also subject of research.

Parallel to the aforementioned post treatment projects, small scale research was carried out on the waste sludge treatment properties. In that framework the possibilities of conventional sludge treatment techniques like gravitational / mechanical thickening and dewatering were evaluated. The research activities focused on possible thickening and dewatering levels, dry solids removal efficiencies, phosphate release and use of chemicals.

FULL SCALE INSTALLATIONS IN THE NETHERLANDS

At the end of 2010 the results of the pilot phase were published in STOWA report 2010-29 and the last milestone in the development of the Nereda® technology was started: the scale up to Dutch practice. Confident with the pilot scale results three participating water boards decided to go for full scale Nereda® installations. The most important reasons were the excellent performance in terms of effluent quality, process stability as well as strong indications for lower energy and chemical use. The absence of recirculation flows and mixing equipment largely explains the low energy consumption and a minimum saving of 20% compared to conventional activated sludge systems.

Meanwhile the first full scale Nereda® plant in the Netherlands at Epe is in operation for more than one year and several other full scale installations will be started up in 2013. The water board Rijn & IJssel builds a new installation in Dinxperlo in combination with a water garden and water board Regge & Dinkel constructs a new hybrid WWTP in Vroomshoop with its flow equally split between Nereda® and an activated sludge system.
At Utrecht WWTP a prototype Nereda® installation has been taken into operation in 2013 to ascertain the feasibility of a further scale up to a plant size of more than 500,000 p.e. Mid 2014 the decision will be made by water board De Stichtse Rijnlanden to build a the full scale installation. Research with the prototype in particular aims at further hydraulic optimizations. These optimizations result from findings during full scale research at the Epe WWTP, which research was executed in 2011 – 2012 within the context of KRW subsidy of AgentschapNL.

At the time of publication of this report also a full scale Nereda® installation for the extension of Garmerwolde WWTP has been realized. This installation is designed for a capacity of 140,000 p.e. and a maximum hydraulic load of 4,200 m^3/h. The choice for a Nereda® installation was made by the water board Noorderzijlvest as the result of a European tender procedure. The installation has been started up by mid 2013 and is equipped with an influent buffer tank, like Vroomshoop WWTP. This provides opportunities to increase the hydraulic and biological load of the system and to further decrease the required volume of the Nereda® reactors.

A final interesting and remarkable development in this report shall be the application of the Nereda® technology in the Modular Sustainable WWTP, the so called MDR concept (Modulaire Duurzame Rwzi in Dutch). This concept is brought forward by water board Limburg, one of the participants in NNOP, with the purpose to make future WWTPs significantly cheaper by means of modular design and movable process parts. The first application of this MDR concept will be brought to live at Simpelveld WWTP.

DESIGN AND PROCESS OPERATION AT EPE WWTP

The Epe WWTP is the first green field Nereda® full scale installation and designed for a biological capacity of 53,500 p.e. (based on 1 p.e. = 150g TOD) and a maximum hydraulic flow of 1,500 m^3/h. The installation has to comply with stringent nitrogen and phosphorous requirements, dependent upon current rules and regulations, desired values by water board Vallei & Veluwe, and with guarantees related to the biological load of the WWTP. For nitrogen a value between 5 and 8 mgN/l has to be met, for phosphorous a value between 0.3 and 0.5 mgP/l.

The influent is characterized by a large proportion wastewater originating from some big slaughterhouses. Therefore an extensive pretreatment is constructed, existing of a perforated screen and a sand/fat removal system. The biological process takes place in three Nereda® reactors which have been designed at a sludge loading of 0.12 kg COD/(kgDS.day) and an MLSS concentration of 8 g/l.

Due to the stringent P-effluent requirement and limited experience with effluent post treatment for the combined removal of suspended solids and residual-phosphorous at that time, discontinuous sand filtration was chosen during the design phase. Backwash water from the sand filters is principally transported direct to the

waste sludge buffer, while the wash water from the mechanical sludge thickener is brought directly to the sand filters. This lowers the hydraulic load of the Nereda® reactors. The waste sludge of the Nereda® reactors is disposed in a waste sludge buffer tank and together with the backwash water from the sand filters then mechanically thickened on two belts. The thickened sludge is pumped to a thickened sludge buffer tank and afterwards transported to the nearby Apeldoorn WWTP for digestion.

Since January 2012 the Nereda® installation at Epe is fully operational and shows robustness with an excellent treatment performance. In 2012 verification tests were executed to verify the guarantees related to effluent quality, energy consumption and sludge thickening. From Table I it is obvious that all guarantees were met.

TABLE I **OVERVIEW OF REQUIREMENTS AND RESULTS DURING VERIFICATION AT EPE WWTP**

Parameter	Unit	Requirement	Result
Total N effluent	mgN/l	≤ 5	4.0
Total P effluent	mgP/l	≤ 0.3	< 0.3
Energy consumption	kWh/(p.e.$150_{eliminated}$.year)	≤ 22.7	21.2
DS thickened sludge	% DS	≥ 5	5.2
Polymer consumption sludge thickening	gPE_{active}/kgDS	≤ 5	1.2

With respect to effluent quality it shall be noticed that both at full scale and at pilot scale possibilities for further improvement (till high level MTR quality) came forward. The results mentioned in Table I have been achieved at higher sludge loadings compared with the design value.
With respect to the energy consumption it shall be noticed that the mentioned level is achieved at the actual load of Epe WWTP, which amounts to 70% of the design capacity. For the full load conditions at Epe WWTP a specific energy consumption of 16.3 kWh/(p.e.$150_{eliminated}$.year) is calculated, which is lower than the guarantee value of 22.7 kWh/(p.e.$150_{eliminated}$.year). Technical optimizations will further reduce the consumption and will be discussed hereafter.

KRW RESEARCH EPE WWTP

1 KRW RESEARCH - HYDRAULICS

Epe WWTP is known as the first municipal full scale installation with a large upscale factor, where the H/D ratio of the Nereda® reactors is unfavorable compared with the ratio of the pilot scale installations applied before. The necessity of hydraulic plug flow conditions during fill and draw in order to delay the moment of breakthrough or short circuiting, is an important point of attention in full scale reactors. During the research on hydraulics this aspect has been extensively looked at and the most important factors were investigated. From this the following results can be reported and conclusions drawn:

- The reactors of Epe WWTP comply hydraulically with the design guidelines;
- The number of effluent gutters (2 – 4), the means of recirculation (through a hole in the reactor wall or via effluent gutters) and the surface loading do not show a significant difference in moment of breakthrough and the maximum applicable hydraulic loading rate;
- The presence of pre-mature granular sludge seems to result in a reduction of

the maximum Exchange Ratio (= volumetric part Nereda® reactor which is exchanged per cycle). The presumption that irregularities in the influent distribution system could have an effect was confirmed by CFD calculations. These effects may deviate in case of a more mature granular sludge bed.

As a result of the research on hydraulics the current installations can now be designed with higher Exchange Ratios and with optimized internals. Exchange Ratios up to 70% have shown to be achievable at the Nereda® installation Frielas (P), making it possible to downsize Nereda® reactors accordingly.
In 2013 a few technical adjustments at Epe WWTP have been made to increase the Exchange Ratio. At the same time the aeration distribution system has been slightly adjusted, which measure will lead to further reduction of the energy consumption.

2 KRW RESEARCH - ENERGY

The energy consumption of Epe WWTP is shown in Table I and was achieved after some technical optimizations and adaptations of the process control.
Since August 2012 a significantly lower energy consumption is measured, with the blowers (52%), the influent and intermediate pumping station (16%) and the mechanical sludge thickening (12%) as most important energy users. When looking at the data it is important to take into account that all the wastewater at Epe WWTP is elevated an extra 2 m. and post treatment as well as mechanical sludge thickening is applied. As a consequence of the technical measures regarding the aeration system as mentioned before, it is expected that the energy consumption will be further reduced. The energy consumption of modern Dutch installations including post treatment, often without influent pumping station and mechanical sludge thickening, amounts to 37.5 kWh/(p.e.$150_{eliminated}$.year). With 21.2 kWh/(p.e.$150_{eliminated}$.year) Epe WWTP uses over 40% less energy.

A comprehensive measuring program showed an α-factor for granular sludge, depending on sludge concentration, in the same order of magnitude compared with CAS (Conventional Activated Sludge) and MBR (Membrane BioReactor) systems. However the range in measured values is too large to give exact values. From the process data of Epe WWTP an average α-factor of 0.8 has been derived. This value matches well with the measured energy consumption of the full scale installation.

3 KRW RESEARCH - GRANULATION

The start up of the Nereda® installation in terms of granulation has been carefully monitored by Delft University of Technology. During the research period the granulation already started up quite well and at the end of the monitoring period the granulation was still ongoing. Due to a temporary lower selection pressure during start up, the granulation process was somewhat delayed. A relatively low sludge loading applied to meet the stringent effluent requirements and a regular discharge of (industrial) influent with high pH values both decelerate the growth of a mature granular sludge bed.

During the research in April 2012 an ALE (Alginate Like Exopolysaccharides) revenue of 10% (as organic dry solids) was measured, a value much lower compared with mature granules (up to 20%), but in accordance with the microscopic representation of the granulation process at that time. The small difference between SVI_5 and SVI_{30} clearly shows the granular character of the sludge. In this respect it shall be noticed

that experience at Frielas WWTP (Portugal) showed that the construction of the reactor internals strongly influence the biomass selection process. This experience has led to adjustment of the weirs at Epe WWTP.

After start up FISH (Fluorescente In-Situ RNA on Hybridisation) analyses showed a PAO/GAO ratio of 80%/20%, which is a normal ratio compared with other biological P-removing WWTPs in the Netherlands. Although sufficient PAOs are present in the granular sludge, a further optimization of the P-removal process seems possible. In this regard in particular the sludge loading rate and the aeration control are important parameters.
Via DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) it was shown that the population diversity of the granular sludge is relatively high, while during start up an increased amount of specific bacteria was found.

4 KRW RESEARCH - GREENHOUSE GASES EMISSION

After in 2010 and 2011 exploratory measurements on N_2O emission in the pilot installation at Epe WWTP already had been executed, in June 2012 CH_4 and N_2O emission measurements now at the full scale installation were carried out. The measurements show a specific CH_4-emission of the Nereda® full scale installation of 0,0009 $kgCH_4/kgCOD_{influent}$.
This value is lower compared with earlier measurements executed at the Dutch WWTPs Papendrecht and Kortenoord (STOWA 2010-08). However, the still limited information regarding this subject requires careful interpretation of such an observation. Compared with the specific index number used by the Dutch Ministry of Infrastructure and Environment for the estimation of CH_4 emissions at WWTPs without sludge digestion, the measured value at Epe WWTP is definitely lower.

Concerning the N_2O emission an average value of 0.69% of the Nitrogen Kjeldahl influent load is measured, with rather large variations on a daily basis. These results correspond with the results of STOWA research on N_2O emissions at Dutch conventional activated sludge plants and with results of several international research programs. The IPPC and the Ministry of Infrastructure and Environment assume a specific N_2O emission of 0.035% and 1% respectively.

5 KRW RESEARCH - PRETREATMENT

With an intensive sampling program the performance of the pretreatment at Epe WWTP has been evaluated. The perforated screens show a high efficiency for COD and suspended solids, while negative efficiencies were measured for the sand/fat removal system. It proved difficult to obtain conclusive balances based on the measuring program and a consistent explanation could not be found. Nevertheless the pretreatment at Epe WWTP seems to operate adequately, since obstruction of downstream process steps and floating of material at the Nereda® reactor surface were never observed.

6 KRW RESEARCH - POST TREATMENT

During this part of the research the possibilities of Fuzzy and disk filtration have been investigated exploratory and findings were compared with the discontinuous sand filtration at Epe WWTP. With all three systems a good effluent quality could be obtained in terms of turbidity and total phosphorous. The effluent turbidity under average conditions was low with values < 1 NTU, increasing to 2 – 4 NTU at higher

hydraulic loading rates. For all systems the filtration time under RWF conditions obviously decreases. An important condition for obtaining low total phosphorous effluent concentrations in post treatment is a low incoming ortho phosphorous concentration, which can only be achieved with a high level biological phosphorous removal process upstream.

The sand filters at Epe WWTP operate properly and are capable of achieving the required phosphorous effluent concentration at a relatively favorable chemical use of < 2 mole Al/mole PO_4-P_{feed}. The average filtration time of the sand filters amounts to 2 days, be it that the relatively low surface load must be taken into account (2 – 13 m/h). The average wash water consumption amounts to approximately 4% of the feed flow. To guarantee the stringent phosphorous effluent limit of < 0.3 mg P_{total} at all times, accurate process operation and process control are necessary.

The Fuzzy filter installation was capable to largely remove turbidity and phosphorous at high and constant hydraulic loads of 24 and 50 m/h. Points of concern are the filtration time of the filter and the wash water consumption. The filtration time varies between 2 and 5 hours depending on the hydraulic loading rate. The high(er) dry solids load is accountable for these short filtration times and call for further optimization of the filter cleaning procedure in order to keep the process efficiency at a high level and to profit to full extent from the higher hydraulic loads.

The disk filter research was troubled by technical problems and consequently a stable process operation could not be demonstrated. During times the filter was in operation a high level effluent quality proved being possible. Based on the results so far it cannot be concluded that disk filtration offers an alternative for post treatment of Nereda® effluent.

Recently disk filtration type systems have been installed at Ede WWTP and Soest WWTP for the combined removal of residual suspended solids and residual phosphorous. In due time full scale experiences with this technology will be known.

7 KRW RESEARCH - MICRO POLLUTANTS

Based on GC-MS analyses executed by Rijkswaterstaat it was proven that largest part of the measured influent components is completely removed in Epe WWTP, apart from HHCB (polycyclic musk), 5-trimethylsilylpent-2-en-4-yne, 1,1-dimethyl-3-chloropropanol en N-butyl-benzene sulfonamide. Based on an extensive analyzing program for specific components a large spreading in removal efficiencies for the different components was shown. This means that no explicit conclusions can be drawn regarding variations between different types of treatment systems. Nevertheless it is shown that the removal efficiencies at Epe WWTP are generally higher compared with results mentioned in other studies. The total estrogen activity (ER-calux) for Epe WWTP is low compared with MBR (Varsseveld WWTP) as well as with several CAS systems and CAS systems equipped with sand filtration (Maasbommel WWTP).

Theoretically it can be argued that there is a fundamental difference between continuous, completely mixed systems and batch systems like applied at Epe WWTP. It is expected that batch systems and also continuous plug flow systems might be able to achieve higher removal efficiencies for micro pollutants.

Comparison of the available analyses of disposed sewage sludge, originating from the old Epe WWTP (CAS) and the new Epe WWTP (Nereda®) show identical removal efficiencies for most heavy metals. However, the aluminum concentration in the waste sludge of the Nereda® installation is significantly lower, which can be explained by the decreased aluminum dosing. The higher potassium and magnesium concentrations are due to the introduction of biological phosphorous removal.

8 KRW RESEARCH - SLUDGE TREATMENT

The belt thickeners at Epe WWTP thicken the surplus sludge to a dry solids (DS) concentration > 5.5% at a specific polymer dose of 1 – 2 g/kg DS (active). A higher DS concentration can be achieved at slightly higher polymer dosing, but is restricted by the technical limitations of the thickened sludge pump.
Tests with direct dewatering of Nereda® waste sludge with a mobile Westfalia decanter showed comparable results with conventional CAS sludge, namely > 20% DS. However the lower DS feed concentration leads to a sensible operation and a slightly unfavorable specific energy use. Based on the findings it is expected that good dewatering results can be achieved by applying a cascade belt press.

NEREDA® DESIGN

The Nereda® technology can be applied in different process configurations, from a green field situation with or without influent buffer tank to a hybrid configuration or integration in existing aerobic or even anaerobic installations.
The results of the KRW research program have shown that design guidelines used for the first full scale municipal installation at Epe WWTP can be significantly tightened up. This definitely concerns the hydraulic dimensioning in terms of exchange ratio and up flow velocity, which reduce the size of installations. The adjusted design guidelines are already applied in new Nereda® designs.
A comparison with CAS installations (aeration + secondary clarification) indicates that at different RWF/DWF ratios the Nereda® installations use approximately 50% of the CAS total volume, while being constructed at approximately 30% of the CAS net footprint.

FUTURE PERSPECTIVE

The realization of the world's first full scale Nereda® installation for municipal waste water treatment is an important milestone in the development of the Nereda® technology.
The results achieved with several pilot installations and the full scale installation at Epe WWTP give confidence to all NNOP partners. As a result four installations with capacities ranging from 8,000 to 140,000 p.e. are currently under construction. After the first demonstration installation at Gansbaai WWTP a second Nereda® installation is now built in South Africa at Stellenbosch.
The findings of the demonstration installation in Portugal have resulted in the upgrade of one existing treatment train of Frielas WWTP (700,000 p.e.) from activated sludge to Nereda® configuration.

During years of NNOP cooperation the Dutch water sector developed a robust and reliable waste water treatment technology, characterized by good effluent quality, small footprint, low use of energy and chemicals and last but not least: low costs.
Based on the growing interest from The Netherlands and from abroad a fast (in-

ternational) rollout of the technology is expected. With the development of the Nereda® technology the Dutch water sector has again demonstrated its name and fame in water technology.

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 million euro.

STOWA, P.O. Box 2180, 3800 CD Amersfoort.
Phone: +31 (0)33 - 460 32 00.
E-mail: stowa@stowa.nl.
Website: www.stowa.nl.

NEREDA® PRAKTIJKONDERZOEKEN 2010-2012

INHOUD

TEN GELEIDE
SAMENVATTING
DE STOWA IN HET KORT
SUMMARY
STOWA IN BRIEF

1 INLEIDING 1
1.1 Kader 1
1.2 Doelstellingen 2
1.3 Leeswijzer 3

2 NEREDA® TECHNOLOGIE 4
2.1 Korrelvorming 4
2.2 Procesvoering 4
2.3 Kenmerken korrelslib 6

3 ONTWERP EN PROCESVOERING NEREDA® RWZI EPE 8
3.1 Inleiding 8
3.2 Ontwerp en procesvoering 9
3.2.1 Influentgemaal 9
3.2.2 Roostergoedverwijdering 10
3.2.3 Zand- en vetvang 10
3.2.4 Tussengemaal 10
3.2.5 Nereda® reactoren 11
3.2.6 Zandfiltratie 13
3.2.7 Slibbuffer 13
3.2.8 Slibindikking 13
3.2.9 Ingedikt slibbuffer 14
3.2.10 Geurbeperkende maatregelen 14

4		**VERIFICATIEPERIODE**	15
	4.1	Belasting rwzi	15
	4.2	Effluentkwaliteit	18
		4.2.1 Stikstof	18
		4.2.2 Fosfor	20
	4.3	CZV en BZV en ZS	22
	4.4	Energie	22
	4.5	Slibbehandeling	23
	4.6	Conclusies	23
5		**PRAKTIJKONDERZOEK HYDRAULICA**	25
	5.1	Inleiding	25
	5.2	Opzet van het onderzoek	25
		5.2.1 Achtergrond	25
		5.2.2 Meetdoelen	26
		5.2.3 Reactor layout	27
		5.2.4 Meetprogramma	27
	5.3	Experimenten zonder korrelslib	29
		5.3.1 Inleiding	29
		5.3.2 Resultaten	29
	5.4	Experimenten met korrelsilb	32
		5.4.1 Inleiding	32
		5.4.2 Resultaten	32
	5.5	Trendanalyse neerslaggebeurtenissen	35
		5.5.1 Inleiding	35
		5.5.2 Gebeurtenissen	36
	5.6	3-D modellering	39
		5.6.1 Inleiding	39
		5.6.2 Resultaten	40
	5.7	Conclusies	41
6		**PRAKTIJKONDERZOEK ENERGIEVERBRUIK**	43
	6.1	Opzet van het onderzoek	43
	6.2	OC-metingen	43
		6.2.1 Praktijkinstallatie	43
		6.2.2 Metingen pilotinstallatie	45
	6.3	Energieverbruik	47
		6.3.1 Energiebalans	49
		6.3.2 Vergelijking met andere rwzi's	51
		6.3.3 Zuurstofbalans	52
	6.4	Conclusies	52
7		**KORRELVORMING**	54
	7.1	Inleiding	54
	7.2	Opzet van het onderzoek	54
		7.2.1 Beeldanalyse	54
		7.2.2 Zeeffracties	55
		7.2.3 Microbiële Analyse	55
		7.2.4 Dichtheidsmetingen	55

	7.3	Resultaten	55
		7.3.1 Korrelvorming	55
		7.3.2 Vezels (cellulose)	57
		7.3.3 Protozoa en schimmels	59
		7.3.4 Populatieonderzoek (FISH) en -diversiteit (DGGE)	59
		7.3.5 EPS-alginaat	60
	7.4	Conclusies	61
8		**PRAKTIJKONDERZOEK EMISSIE BROEIKASGASSEN**	62
	8.1	Opzet van het onderzoek	62
	8.2	Resultaten praktijkinstallatie	63
		8.2.1 Relatie tussen NH4 en KjN in influent	63
		8.2.2 Emissies	64
	8.3	Resultaten pilotinstallatie	67
		8.3.1 Functioneren pilotinstallatie	67
		8.3.2 Relatie tussen NH4 en KjN in influent	68
		8.3.3 N2O-emissie	68
	8.4	Conclusies	71
9		**PRAKTIJKONDERZOEK VOORBEHANDELING**	73
	9.1	Inleiding	73
	9.2	Opzet van het onderzoek	73
	9.3	Resultaten	74
		9.3.1 Online metingen Hach Lange	74
	9.4	Resultaten analyseprogramma	76
	9.5	Resultaatverwerking en conclusies	77
		9.5.1 Online metingen Hach Lange	77
		9.5.2 Analyseprogramma	77
10		**PRAKTIJKONDERZOEK NABEHANDELING**	80
	10.1	Inleiding	80
	10.2	Opzet van het onderzoek	81
		10.2.1 Onderzoeksprogramma	81
		10.2.2 Pilotinstallaties	82
		10.2.3 Analyses	83
	10.3	Resultaten	84
		10.3.1 Week 26 zonder chemicaliëndosering	84
		10.3.2 Week 27 met metaalzoutdosering	85
		10.3.3 Week 28 met metaalzout en polymeerdosering	86
		10.3.4 Week 29 met optimalisatie metaalzout en polymeerdosering	88
		10.3.5 Week 30 met verder geoptimaliseerde Me/PE-dosering	89
	10.4	Conclusies	90
11		**PRAKTIJKONDERZOEK MICROVERONTREINIGINGEN**	92
	11.1	Opzet van het onderzoek	92
	11.2	Resultaten	94
		11.2.1 GC/LC-MS screening	94
		11.2.2 Bemonstering LWGS, OMEGAM en BDS	94
		11.2.3 Zware metalen	94
	11.3	Resultaatverwerking en conclusies	97

12		**PRAKTIJKONDERZOEK SLIBBEHANDELING**	99
	12.1	Inleiding	99
	12.2	Slibindikking	99
		12.2.1 Bevindingen onderzoek 2009	99
		12.2.2 Bevindingen full scale 2012	99
	12.3	Slibontwatering	100
		12.3.1 Selectie apparatuur	100
		12.3.2 Opzet	101
		12.3.3 Uitvoering	101
		12.3.4 Resultaten	102
	12.4	Conclusies	104
13		**ONTWERPGRONDSLAGEN NEREDA®**	105
	13.1	Inleiding	105
	13.2	Procesconfiguraties	105
	13.3	Nederlandse praktijkinstallaties	107
		13.3.1 RWZI Epe	107
		13.3.2 RWZI Dinxperlo	109
		13.3.3 RWZI Vroomshoop	110
		13.3.4 RWZI Garmerwolde	111
		13.3.5 RWZI Utrecht	112
	13.4	Algemene ontwerpgrondslagen	113
	13.5	Conclusies	117
14		**EVALUATIE**	118
	14.1	Praktijkresultaten	118
	14.2	Praktijkonderzoeken	118
		14.2.1 Hydraulica	118
		14.2.2 Energie	119
		14.2.3 Korrelvorming	120
		14.2.4 Emissie broeikasgassen	121
		14.2.5 Voorbehandeling	122
		14.2.6 Nabehandeling	122
		14.2.7 Microverontreinigingen	123
		14.2.8 Slibbehandeling	124
	14.3	Ontwerp Nereda®	124
	14.4	Toekomstperspectief	125
15		**REFERENTIES**	126
		BIJLAGEN	127
	Bijlage 1	Praktijkonderzoek voorbehandeling: gedetailleerde analyseresultaten	127
	Bijlage 2	Korrelgrootteverdeling en microscopische beelden over de periode van juni 2011 tot mei 2012 van de full scale Nereda® installatie te Epe	129
	Bijlage 3	Ontwerpgrondslagen Nederlandse praktijkinstallaties	132

1

INLEIDING

1.1 KADER

Wereldwijd wordt voor de zuivering van afvalwater standaard het biologisch actiefslib proces toegepast. Dit proces kenmerkt zich door goede zuiveringsprestaties en heeft een hoge mate van operationele flexibiliteit. Door de minder goede bezinkingseigenschappen van actiefslib hebben conventionele rioolwaterzuiveringsinstallaties (rwzi) echter een relatief groot ruimtebeslag.
Eind vorige eeuw is in samenwerking tussen TU Delft en Royal HaskoningDHV en met ondersteuning van STOWA, STW en subsidies via INNOWATOR en het innovatieprogramma Kader Richtlijn Water (Agentschap NL) laboratorium- en deskonderzoek gestart naar de haalbaarheid van de aërobe korrelslibtechnologie. Deze technologie combineert de voordelen van het actiefslibproces met uitstekende bezinkeigenschappen van korrelslib. Het onderzoek mondde uit in een STOWA praktijkonderzoek op de rwzi Ede, waarin een pilotinstallatie van 2003 – 2005 met huishoudelijk afvalwater werd bedreven. De resultaten van dat pilotonderzoek zijn vastgelegd in STOWA rapportage 2005-35.

Op de rwzi Ede werd in 2005 een technologische doorbraak bereikt en kon de potentie van de inmiddels tot Nereda® omgedoopte korrelslibtechnologie voor het eerst onder praktijkcondities worden aangetoond. Dit was, samen met de toekenning van de eerste Vernufteling prijs het startsein om binnen de waterbranche een ontwikkelingstraject in gang te zetten om de jonge korrelslibtechnologie te laten groeien tot een volwassen alternatief voor conventionele actiefslibsystemen (CAS). Met betrokken partijen werd een strategie ingezet, die gebaseerd was op een gelijktijdige ontwikkeling van fundamentele en applicatie kennis, en anderzijds op een snelle realisatie van installaties op praktijkschaal. Het “Nationaal Nereda® Onderzoeks Programma” (NNOP) werd opgesteld en met een officiële samenwerkingsovereenkomst in 2007 bekrachtigd. De NNOP overeenkomst is ondertekend door STOWA, TUDelft, Royal HaskoningDHV en inmiddels een zevental waterbeheerders, te weten Waterschap Vallei en Veluwe, Waterschap Hollandse Delta, Waterschapsbedrijf Limburg, het Hoogheemraadschap van Rijnland, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Regge en Dinkel, alsmede het Hoogheemraadschap van De Stichtse Rijnlanden.

Het NNOP zal eind 2013 worden afgerond en bestaat onder meer uit de opzet en uitvoering van fundamenteel onderzoek, een aantal pilotonderzoeken en de realisatie en opstartbegeleiding van drie installaties op praktijkschaal. Het STOWA rapport 2010-29 is eind 2010 verschenen en behandelt de resultaten van de pilotonderzoeken over de periode van 2003 - 2010, uitgevoerd met huishoudelijk afvalwater van Ede, Aalsmeer, Hoensbroek, Dinxperlo en Epe. Op grond van de resultaten van het uitgevoerde pilotonderzoek hebben verschillende waterbeheerders besloten tot de realisatie van een Nereda® praktijkinstallatie. De eerste grootschalige installatie ter wereld staat binnen het beheersgebied van het Waterschap Vallei en Veluwe in Epe en is sinds begin 2012 volledig operationeel. In 2013 worden achtereenvolgens de rwzi Utrecht (prototype) van het Hoogheemraadschap van De Stichtse Rijnlanden, rwzi Vrooms-

hoop van waterschap Regge en Dinkel en de rwzi Dinxperlo van het waterschap Rijn en IJssel in bedrijf genomen. Deze installaties zullen tijdens de opstartfase vanuit het NNOP samenwerkingsverband worden ondersteund. Daarnaast zal halverwege 2013 de rwzi Garmerwolde van waterschap Noorderzijlvest worden opgestart.

Nadat de eerste praktijkinstallatie te Epe in 2011 werd opgestart, is met ondersteuning van AgentschapNL door de NNOP partners een uitgebreid KRW-onderzoek op de rwzi Epe uitgevoerd. Dit onderzoek heeft zich vooral toegelegd op ontwerpaspecten, welke op pilotschaal veel minder eenvoudig kunnen worden bekeken. De opschaling van pilot- naar praktijkschaal Epe is met een factor 3.000 aanzienlijk en is mede gemaakt met een tussenstap via Nereda® demonstratie installaties in Portugal en Zuid-Afrika.
Voorliggende STOWA rapportage wordt gewijd aan de eerste ervaringen met de Nereda® technologie op praktijkschaal. In dit rapport zal daarom worden ingegaan op het ontwerp van de rwzi Epe, de uitkomsten van in 2012 uitgevoerde verificatietesten en de resultaten van het aldaar uitgevoerde KRW-praktijkonderzoek. Vervolgens zal de vertaling van de verkregen resultaten naar een algemeen Nereda® ontwerp worden toegelicht en wordt een vergelijking gemaakt met het conventionele actiefslibsysteem. Hoewel dit rapport hoofdzakelijk is gewijd aan de rwzi Epe zal tevens een doorkijk worden gegeven naar de ontwerpen van de andere, al eerder genoemde Nederlandse Nereda® installaties. Hierbij zullen ook de consequenties worden aangegeven van de leerpunten uit het Epe praktijkonderzoek.

1.2 DOELSTELLINGEN

De hoofddoelstelling van het NNOP 2007 – 2013 is het realiseren van een nieuwe duurzame en kosten-effectieve zuiveringstechnologie van Nederlandse bodem. Door de gelijktijdige fundamentele kennis- en applicatie-ontwikkeling, evenals de toepassing ervan op praktijkschaal is invulling gegeven aan de onderstaande doelstellingen die aan het begin 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 van langjarige stabiele bedrijfsvoering en optimaliseren van de procesvoering
5. Vaststellen van de resultaten van de voorbehandeling, nabehandeling en slibverwerking
6. Evalueren van de ontwerpen en vaststellen van de noodzaak tot reservestelling
7. Vergelijken van de Nereda® technologie met conventionele afvalwaterzuiveringssystemen

In het NNOP zijn bovengenoemde doelstellingen uitgewerkt en gedefinieerd in verschillende (onderzoeks- en realisatie-)projecten. Een aantal van de genoemde subdoelstellingen is in de periode van 2003 tot 2010 op verschillende locaties in diverse pilotprojecten onderzocht. Deze projecten zijn gezamenlijk door de TU Delft, Royal HaskoningDHV en betrokken waterschappen uitgevoerd. Onderscheid is gemaakt naar pilotonderzoeken (Ede, Aalsmeer en Epe), verificatie-onderzoeken (Hoensbroek en Dinxperlo) en flankerend onderzoek. Hiervan is uitgebreid verslag gedaan in STOWA 2010-29.

Belangrijkste doelstelling van het NNOP betreft de succesvolle introductie van de Nereda® technologie bij de Nederlandse waterkwaliteitsbeheerders en het aantonen van de haalbaarheid op praktijkschaal. In 2011 is 's werelds eerste huishoudelijke Nereda® installatie in Epe opgestart en werd in eerste instantie de aandacht gericht op het verkrijgen van voldoende

korrelslib. Na de opstart in één van de drie Nereda® reactoren, konden de andere twee reactoren opeenvolgend worden bijgeschakeld en de oude rwzi Epe uiteindelijk begin 2012 uit bedrijf worden genomen.

Nog voordat de rwzi officieel door ZKH Prins van Oranje begin mei 2012 officieel werd geopend, moest de rwzi verificatietesten ondergaan, teneinde de garanties aan te tonen op het vlak van effluentkwaliteit, energie- en chemicaliënverbruik, alsmede slibindikking. Tevens is in 2012 een omvangrijk KRW-onderzoeksprogramma uitgevoerd met als doel om zoveel mogelijk inzicht te verkrijgen in het functioneren van de nieuwe rwzi Epe en mede om op basis van de verkregen resultaten verdere (ontwerp)optimalisaties te kunnen doorvoeren. Het KRW-onderzoeksprogramma omvatte daartoe deelonderzoeken op het vlak van hydraulica, energie, korrelvorming, broeikasgasemissie, voor- en nabehandeling, microverontreinigingen en slibbehandeling.

Vooral het deelonderzoek hydraulica is vanuit een oogpunt van opschaling een buitengewoon belangrijk onderdeel van het KRW onderzoek, met potentieel grote gevolgen voor het hydraulisch ontwerp van Nereda® installaties. Het deelonderzoek energie is noodzakelijk om inzicht te verkrijgen in het duurzame karakter van de Nereda® technologie op praktijkschaal en de vergelijking op dit vlak met de CAS. Het deelonderzoek naar korrelvorming was in het bijzonder ten tijde van de opstart van belang, omdat de rwzi Epe geen gebruik kon maken van entslib. Deze situatie is anders voor de in 2013 op te starten Nereda® installaties, omdat dan wel (gedeeltelijk) gebruik kan worden gemaakt van aanwezig korrelslib. Nadat al enkele keren indicaties waren verkregen aangaande de emissie van broeikasgassen uit een Nereda® pilotinstallatie, is in 2012 ook op praktijkschaal naar dit onderwerp uitgebreid onderzoek gedaan. Met het oog op het belang van een goede werking van de voorbehandeling van rwzi's in zijn algemeenheid is hiernaar ook op de rwzi Epe gekeken. Vooral het voorkomen van opdrijvend materiaal – er is immers geen nabezinking – en verstoppingen in het influent verdeelwerk zijn bij de toepassing van de Nereda® technologie de aspecten die in dit kader aandacht verdienen. Bij het deelonderzoek nabehandeling is gekeken naar de mogelijkheden van alternatieven voor de toepassing van discontinue zandfiltratie, die als processtap ná de Nereda® behandeling op de rwzi Epe noodzakelijk is, om de strenge effluenteisen te kunnen realiseren. Hierbij is op representatieve grootte en in vergelijking met het zandfilter een disfilter en Fuzzy Filter ingezet. Met betrekking tot microverontreinigingen is oriënterend gekeken naar de verwijdering van diverse componenten en een eerste vergelijking gemaakt met de verwijdering in CAS. Tenslotte is op semi-praktijkschaal onderzoek verricht naar de mogelijkheden van slibindikking en –ontwatering.

1.3 LEESWIJZER

Voorliggend rapport beschrijft in hoofdstuk 2 de Nereda® technologie in zijn algemeenheid. Van hieruit wordt ingegaan op het ontwerp van de rwzi Epe en worden belangrijke procesvoeringsaspecten nader belicht. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van de verficatietesten verwoord en vergeleken met de afgegeven garanties. In de hoofdstukken 5 t/m 12 worden de opzet, uitvoering en resultaten van de eerder genoemde KRW-deelonderzoeken uiteengezet. Gezien het belang van de resultaten is besloten hiervan uitgebreid verslag te doen. In hoofdstuk 13 worden deze resultaten vertaald naar Nereda® ontwerpgrondslagen en worden deze nader toegelicht in ontwerpen van andere Nederlandse installaties. Tenslotte volgt in hoofdstuk 14 de evaluatie waarin naast de praktijkresultaten, alle KRW deelonderzoeken aan bod komen. Dit STOWA rapport wordt afgesloten met een korte lijst van aandachtspunten en een toekomstperspectief.

2

NEREDA® TECHNOLOGIE

2.1 KORRELVORMING

Eind negentiger jaren van de vorige eeuw is aërobe korrelvorming voor het eerst in het laboratorium vastgesteld. Het onderzoek is geïnitieerd door met name de TU Delft en de TU München en sindsdien heeft het onderzoek een grote vlucht genomen. Momenteel wordt onderzoek uitgevoerd over de gehele wereld door zowel onderzoeksinstellingen als het bedrijfsleven. Dit onderzoek heeft het inzicht in aërobe korrelvorming aanzienlijk doen toenemen, maar de exacte achtergronden en de rol daarbij van specifieke micro-organismen zijn nog onvoldoende bekend. Duidelijk is wel dat de onderstaande randvoorwaarden ten aanzien van de procesvoering een belangrijke rol spelen.

1 hydraulische selectiedruk leidt tot procesomstandigheden waarbij de groei van goed bezinkbare biomassa wordt bevorderd ten opzichte van slibdeeltjes met lagere bezinksnelheden
2 initieel hoge substraatconcentraties
3 omzetting van (een deel van) het makkelijk afbreekbaar substraat in opslagproducten leidt tot de selectie van langzaam groeiende organismen
4 hoge afschuifkrachten die worden veroorzaakt door intensieve menging stimuleren de vorming van gladde, egale korrels

Met bovengenoemde randvoorwaarden is korrelvorming met huishoudelijk afvalwater mogelijk gebleken. Verder blijkt dat gevormd korrelslib onder dezelfde procescondities jarenlang in stand kan worden gehouden, waarbij de biologische activiteit van de verschillende omzettingsprocessen volledig op peil blijft.

2.2 PROCESVOERING

Aan de in de vorige paragraaf beschreven randvoorwaarden ten aanzien van korrelvorming en het instandhouden van korrelslib wordt voldaan in een batchgewijze procesvoering. De combinatie van batch-gewijze procesvoering en de uitstekende bezinkingseigenschappen zijn samengebracht in het Nereda® proces, waarvan de verschillende cyclusstappen met bijhorende processen hierna zijn beschreven (zie ook Afbeelding 1):

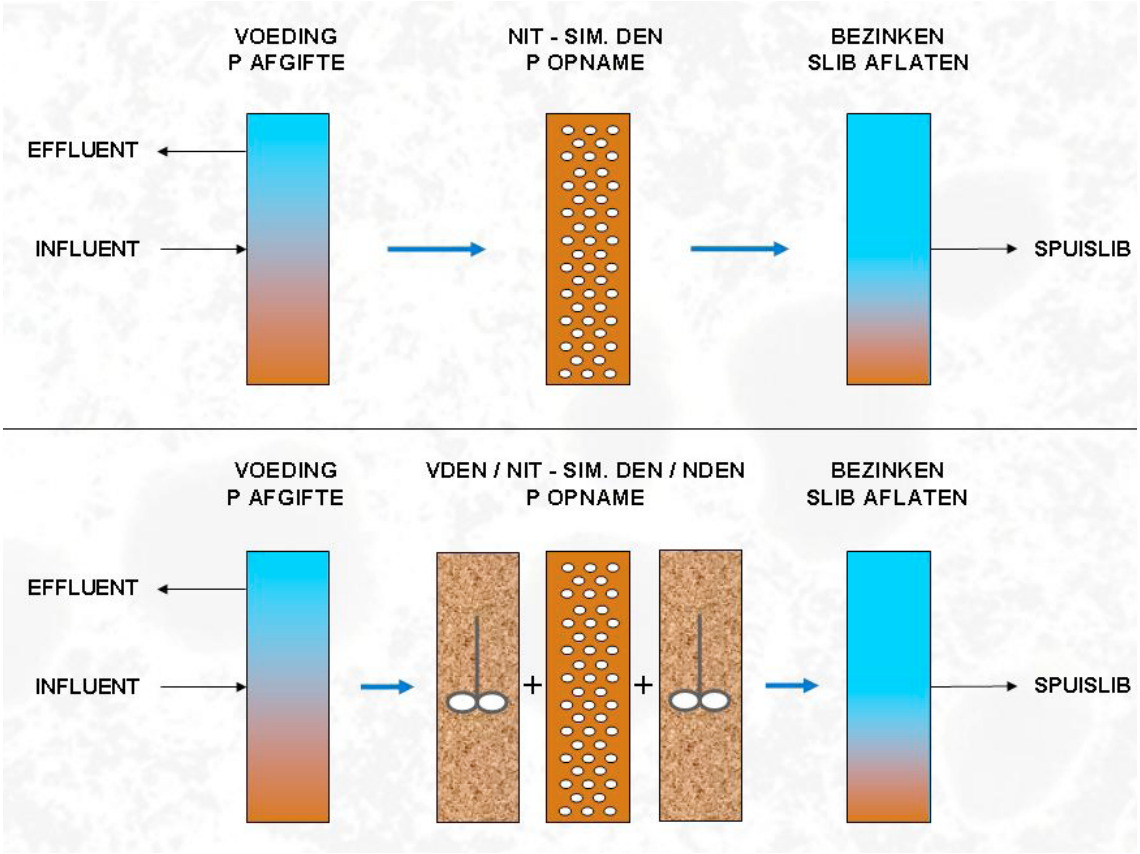
1 Vullen / aflaten. Gedurende deze fase wordt afvalwater in contact gebracht met het korrelslibbed en tegelijkertijd wordt het effluent afgelaten. Voorwaarde is dat het afvalwater onder propstroomcondities door het slibbed wordt gevoerd. Hierdoor ontstaan lokaal hoge substraatconcentraties en worden de korrels oververzadigd met substraat.
2 Beluchten. Tijdens de beluchte fase vinden meerdere biologische processen tegelijk plaats. In de korrel is sprake van een zuurstofgradiënt, waarbij de buitenkant aëroob is en de kern van de korrel zuurstofloos (anoxisch / anaëroob). In de buitenste schil treedt dientengevolge nitrificatie op en wordt het daarbij gevormde nitraat in de kern van de korrel gedenitrificeerd. Daar is bovendien voldoende substraat voor denitrificatie aanwezig, vanwege het “doordren-

ken" van de korrels met substraat gedurende de vulfase. Tot slot vindt gedurende de beluchte fase opname van fosfaat plaats.

3 Bezinken. Deze fase wordt benut voor de scheiding van korrelslib en effluent. Gezien de goede bezinkeigenschappen van het korrelslib is deze fase kort.

4 Anoxische fasen. Door de batchgewijze opzet kan de denitrificatiecapaciteit worden gestimuleerd door de introductie van anoxische fasen, zowel vòòr als ná de beluchte fase. De noodzaak van deze anoxische fasen is afhankelijk van de samenstelling van het afvalwater, de effluenteisen en de procestemperatuur.

AFBEELDING 1 **OVERZICHT NEREDA® CYCLUS**



In Nederland worden conventionele batchsystemen voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater niet toegepast. Bij conventionele batchsystemen geschiedt het vullen en aflaten meestal (semi) gescheiden en dit leidt tot een extra cyclusstap die tijd kost. Gemiddeld bedraagt de bezinksnelheid bij gangbare slibconcentraties van 4 kg/m^3 1,0 – 1,5 m/h en dat vereist lange bezinktijden. Deze twee aspecten maken conventionele batchsystemen in principe inefficiënt, vooral bij hoge RWA/DWA verhoudingen zoals in Nederland. Bij lagere RWA/DWA verhoudingen worden conventionele batchsystemen een aantrekkelijk alternatief en vooral in landen met gescheiden rioolstelsels worden conventionele batchsystemen dan ook veelvuldig toegepast.

Een batchsysteem op basis van aëroob korrelslib heeft door het gecombineerd vullen/aflaten en een korte bezinktijd genoemde nadelen niet en vormt daarmee een serieus alternatief voor actiefslibsystemen, ook bij veel hogere RWA/DWA verhoudingen. Batchsystemen hebben een belangrijk voordeel ten opzichte van continue actiefslibsystemen en dat betreft vooral de eenvoudige procesbeheersing. De biologische processen – bijvoorbeeld de stikstofverwijdering –

kunnen per cyclus optimaal verlopen, omdat de vuillast die moet worden verwerkt bij aanvang van de biologische cyclusstappen exact bekend is. Met dit gegeven kan de verhouding tussen anoxische en beluchte periodes optimaal worden ingericht.

2.3 KENMERKEN KORRELSLIB

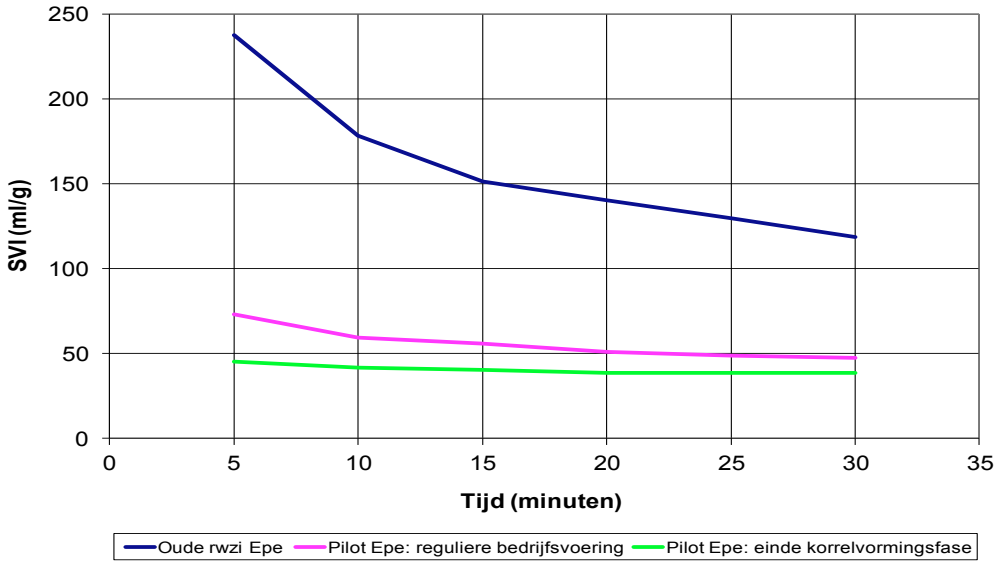
Tijdens de in september 2004 in München gehouden IWA-workshop over de aëroob korrelslibtechnologie is een éénduidige definitie voor aëroob korrelslib vastgesteld.

"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 actiefslib waar de verhouding tussen de SVI na 5 minuten en de SVI na 30 minuten ongeveer 2 bedraagt"

In alle onderzoeken is de korrelvorming gevolgd door SVI-bepalingen, het meten van korrelgrootte-verdelingen en met behulp van microscopische analyses. De korrelgrootteverdelingen zijn bepaald door verschillende zeeffracties van het slib te meten, te weten de fractie 0,2 – 0,5 mm, de fractie tussen 0,5 – 0,7 mm en de fractie > 0,7 mm. Korrels zijn hierbij gedefinieerd als deeltjes met een diameter groter dan 0,2 millimeter.
Het verloop van een SVI-curve is voor korrelslib heel anders dan voor actiefslib, waarvan Afbeelding 2 een typisch voorbeeld geeft. De weergegeven data betreffen metingen van het korrelslib uit de pilotinstallatie te Epe en het actiefslib van de oude rwzi te Epe. Voor korrelslib bestaat er weinig verschil tussen de SVI na 5 en 30 minuten wat veroorzaakt wordt door de uitstekende bezinkeigenschappen. Daarnaast kenmerkt korrelslib zich door de eigenschap dat het niet of nauwelijks indikt. In Afbeelding 2 zijn voor korrelslib de volgende twee situaties weergegeven:

- de situatie aan het einde van de korrelvorming. Onder deze omstandigheden is sprake van een hoge hydraulische selectiedruk en bedraagt de korrelfractie op drogestofbasis vrijwel 100%;
- na de korrelvorming worden de procescondities enigszins aangepast voor een optimale reguliere bedrijfsvoering. Eén en ander heeft een evenwichtssituatie tot gevolg waarbij een balans wordt gezocht tussen enerzijds een zo hoog mogelijke volumetrische belasting en anderzijds een goede, stabiele effluentkwaliteit. Zoals eerder is aangegeven, is een lagere selectiedruk voldoende om de korrelpopulatie in stand te houden. Het gevolg hiervan is dat aan de ene kant de korrelslibconcentratie toeneemt en aan de andere kant de korrelfractie enigszins terugloopt tot 70 - 90%. Het overige deel kan worden gekarakteriseerd als slib dat uit deeltjes < 0,2 mm bestaat, maar in vergelijking met conventioneel actiefslib toch nog steeds uitstekende bezinkeigenschappen heeft.

AFBEELDING 2 **KARAKTERISTIEK VOORBEELD VERLOOP SVI AËROOB KORRELSLIB EN ACTIEFSLIB**



3

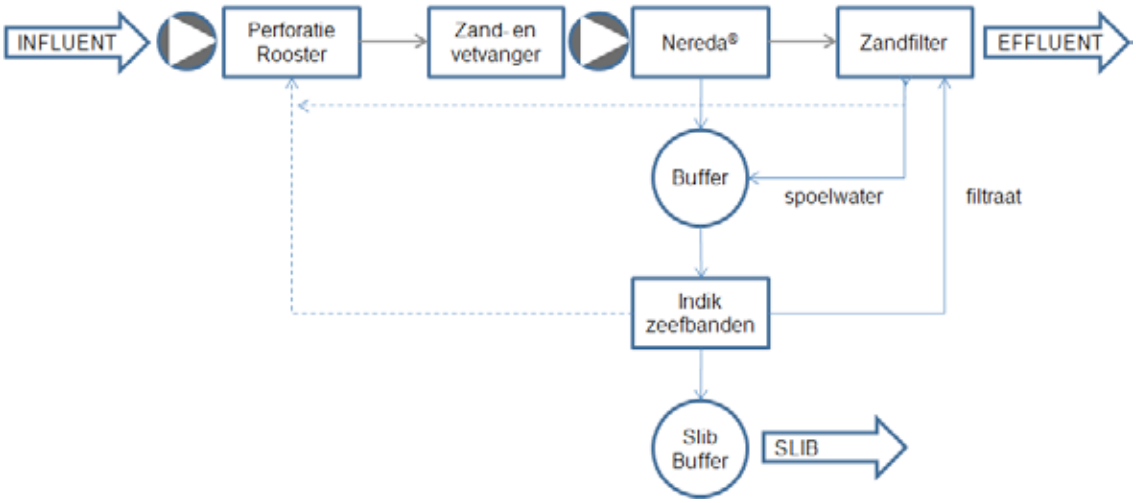
ONTWERP EN PROCESVOERING NEREDA® RWZI EPE

3.1 INLEIDING

De rioolwaterzuiveringsinstallatie Epe was een conventioneel hoogbelast actiefslibsysteem, bestaande uit vier volledig gemengde aeratietanks met puntbeluchting en een nabezinktank met vlakke bodem en vacuümpompen. Met deze ruim 40 jaar oude installatie kon niet meer aan de hedendaagse eisen worden voldaan. Het effluent wordt geloosd op een gevoelig binnenwater – de Dorpsbeek – die onderdeel uitmaakt van het stroomgebied van het Apeldoorns Kanaal en de Grift. De beken in dit stroomgebied zijn gekenmerkt door het hoogste ecologische niveau, waardoor er aanzienlijk strengere effluenteisen voor de nieuwe rwzi Epe uit voortvloeiden.

Naast de aanscherping van de effluenteisen waren ook het vóórkomen van slibuitspoelingen, het verminderen van geuroverlast en het voldoen aan de afnameverplichting belangrijke doelstellingen. De rwzi Epe is ontworpen voor een capaciteit van 53.500 v.e. à 150 gTZV en 1.500 m^3/h en behandelt het afvalwater van de kernen Epe, Oene en Zuuk. Verdere details zijn gegeven in bijlage 3. Kenmerkend voor de installatie is het relatief hoge aandeel industrieel afvalwater afkomstig van slachterijen. Conform ontwerpuitgangspunten neemt dit industriële afvalwater 30% van de vuillast op v.e.-basis in.
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. Uitgegaan is van effluenteisen ten aanzien van N_{totaal} en P_{totaal} van respectievelijk 8 mgN/l en 0,3 mgP/l, beiden als zomergemiddelde. De streefwaarden van het waterschap zijn respectievelijk 5 mgN/l en 0,2 mgP/l. Afbeelding 4 geeft een luchtfoto van de rwzi Epe weer, waarop de verschillende procesonderdelen zijn weergegeven. Een blokschema is opgenomen in Afbeelding 3.

AFBEELDING 3 BLOKSCHEMA RWZI EPE



De oude rwzi is in januari 2012 uit bedrijf genomen en vanaf dat moment behandelt de nieuwe rwzi Epe al het aangevoerde afvalwater en voldoet Waterschap aan de afnameverplichting van maximaal 1.500 m^3/h. Gezien de robuuste bedrijfsvoering en de uitstekende zuiveringsresultaten van de nieuwe installatie heeft Waterschap Vallei en Veluwe de nabezinktank van de oude rwzi gesloopt en kan deze dus niet meer worden ingezet.

AFBEELDING 4 OVERZICHT RWZI EPE

3.2 ONTWERP EN PROCESVOERING

Hierna is per hoofdonderdeel de filosofie bij het ontwerp en de procesvoering van de rwzi Epe uiteengezet. In hoofdstuk 13 wordt nader ingegaan op de leerpunten uit de praktijkonderzoeken die hebben geleid tot een verdere aanscherping van de Nereda® ontwerp- en dimensioneringsgrondslagen. De daaruit voortvloeiende consequenties zijn nader toegelicht en uitgewerkt in de verschillende procesconfiguraties en een Nereda® voorbeeld dat wordt vergeleken met een ontwerp van een conventioneel actiefslibsysteem.

3.2.1 INFLUENTGEMAAL

Het overgrote deel van het afvalwater wordt onder vrij verval aangevoerd. Alleen het afvalwater uit Oene komt via een persleiding binnen en prikt juist voor de roostergoedverwijdering in de persleiding van het influentgemaal naar de roosters. Het vrijvervalriool kon niet worden verlengd naar de voorbehandeling, omdat de aanlegdiepte van het vrijverval riool een zware bronnering zou hebben vereist. Daarom is ervoor gekozen om het influentgemaal dicht bij het oude ontvangwerk te realiseren.

Aangezien het gemaal Oene maximaal 100 m^3/h aanvoert, bedraagt de ontwerpcapaciteit van het influentgemaal 1.400 m^3/h. Om moverende redenen is gekozen voor dompelpompen in plaats van vijzels.

3.2.2 ROOSTERGOEDVERWIJDERING

De roostergoedverwijdering is een bijzonder punt van aandacht geweest bij het ontwerp, de bouw en de bedrijfsvoering. Aangezien het influent aan de Nereda® reactoren wordt gevoed via een wijd vertakt geperforeerd leidingnetwerk over de bodem (zie ook paragraaf 5.2.3), is het van groot belang dat dit leidingnetwerk robuust en hydraulisch conform ontwerp functioneert. Hierbij is het noodzakelijk om het influent onder propstroomcondities in de reactor te brengen, omdat tegelijkertijd het effluent uit de reactor wordt "gedrukt". Deze condities zijn nodig om kortsluitstromen tussen influent en effluent te voorkomen.

Een belangrijke voorwaarde voor het robuust functioneren van het influentnetwerk is dat verstopping wordt voorkomen. Daarom dient het ontwerp van het influentnetwerk te zijn afgestemd op het verwijderingsrendement van de roostergoedverwijdering met betrekking tot haren en vezels. Voor de rwzi Epe is gekozen voor perforatieroosters met een maaswijdte van 3 mm en ronde gaatjes.

Het influent inclusief het afvalwater van de persleiding uit Oene komt uit in een ontvangput, samen met de interne stromen en extern influent, dat toegevoerd kan worden via een aansluiting op de ontvangput. Vanuit deze put wordt het water verdeeld over twee perforatieroosters. Het uitgangspunt is dat de Nereda® reactoren alleen mogen worden gevoed met afvalwater dat de perforatieroosters is gepasseerd. Om deze reden zijn de roosters dan ook niet voorzien van een bypass. Omdat het influent veel vet bevat als gevolg van het hoge aandeel industrieel afvalwater is een robuust ontwerp gemaakt met extra zorg voor de reiniging van de roosters. Daartoe is in de mogelijkheid voorzien om deze te sproeien met warm water (gebroken drinkwater). Tevens is het mogelijk om de roosters schoon te sproeien met onverwarmd bedrijfswater (effluent zandfilters).

Het afgevangen roostergoed wordt gewassen met een roostergoedwasser van het type schroefwasser. Afvoer van het roostergoed naar de waspers geschiedt via een watergoot. Het gewassen en ontwaterde roostergoed wordt afgevoerd naar een dichte container die periodiek per as wordt afgevoerd.

3.2.3 ZAND- EN VETVANG

Gezien het hoge aandeel en type industrieel afvalwater maakt een beluchte zand- en vetvang onderdeel uit van de rwzi, net zoals dit bij de oude rwzi het geval was. De zand- en vetvang is van het type beluchte langszandvanger met vetvang. De stroomsnelheid is zodanig dat met name zand bezinkt en accumuleert in een sleuf in de bodem van de zandvanger. Door het toepassen van grove bellenbeluchting wordt een schroefvormig stromingspatroon gecreëerd waardoor tevens flotatie van vet plaatsvindt. Het bezonken en drijvende materiaal wordt door middel van een loopwagen, uitgerust met drijflaagruimer verwijderd. De drijflaag wordt afgevoerd naar een drijflaagput. Het zand wordt door de zandpomp - die aan de loopwagen is gemonteerd – uit de sleuf gepompt en via een interne goot en een vrijvervalleiding naar de zandwasser getransporteerd. De zandwasser bestaat uit een conisch wasreservoir met een mechanische menger. Door de agitatie van de menger komt zand los van aangehecht biologisch materiaal. Onderin de conus kan waswater worden toegelaten waardoor het zand gewassen wordt. Lichte fracties spoelen met het spoelwater uit en verlaten de zandwasser via een overloop naar het terreinriool. Het zand bezinkt in de conus en wordt met een schroeftransporteur afgevoerd naar een zandcontainer. De schroeftransporteur in de container zorgt voor interne uitvulling van het zand.

3.2.4 TUSSENGEMAAL

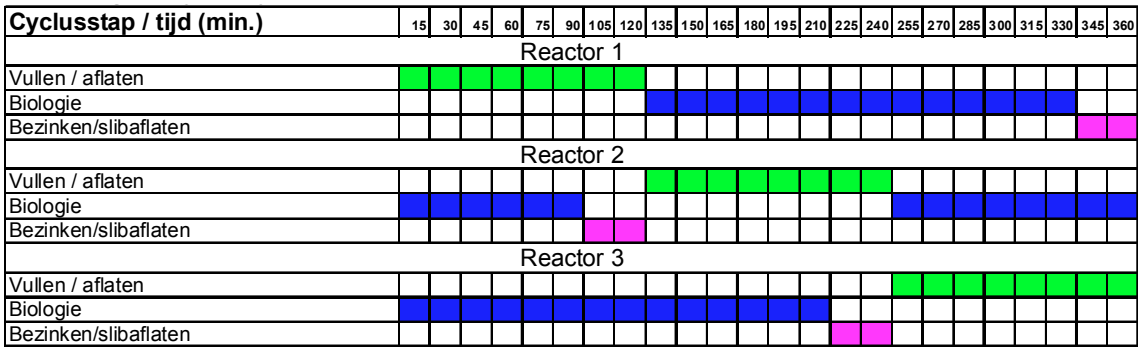
Door middel van het tussengemaal wordt het water afkomstig van de zand-/vetvang naar de Nereda® reactoren gepompt. De capaciteit van het tussengemaal bedraagt 1.740 m^3/h en

bestaat uit 4 (3+1) nat opgestelde pompen. De berging van het tussengemaal is beperkt en bedraagt 30 m^3.

3.2.5 NEREDA® REACTOREN

In de Nereda® reactoren vinden de biologische processen plaats zoals op hoofdlijnen is beschreven in paragraaf 2.2. Bij het ontwerp van de rwzi Epe is gekozen voor een opzet met drie reactoren zonder influentbuffer. Aangezien het afvalwater niet wordt gebufferd en maximaal één reactor tegelijkertijd wordt gevoed, dient de tijd voor het vullen van een reactor eenderde van de cyclustijd te bedragen – zie Afbeelding 5. Anders kan een continue verwerking van afvalwater niet worden gegarandeerd. Gekozen is voor vaste cyclustijden met een vultijd van twee uur. De tijd die nodig is voor bezinking bedraagt twintig minuten en dat betekent dat voor de biologische processen per cyclus 3:40 uur beschikbaar is.

AFBEELDING 5 CYCLUSTIJDEN RWZI EPE

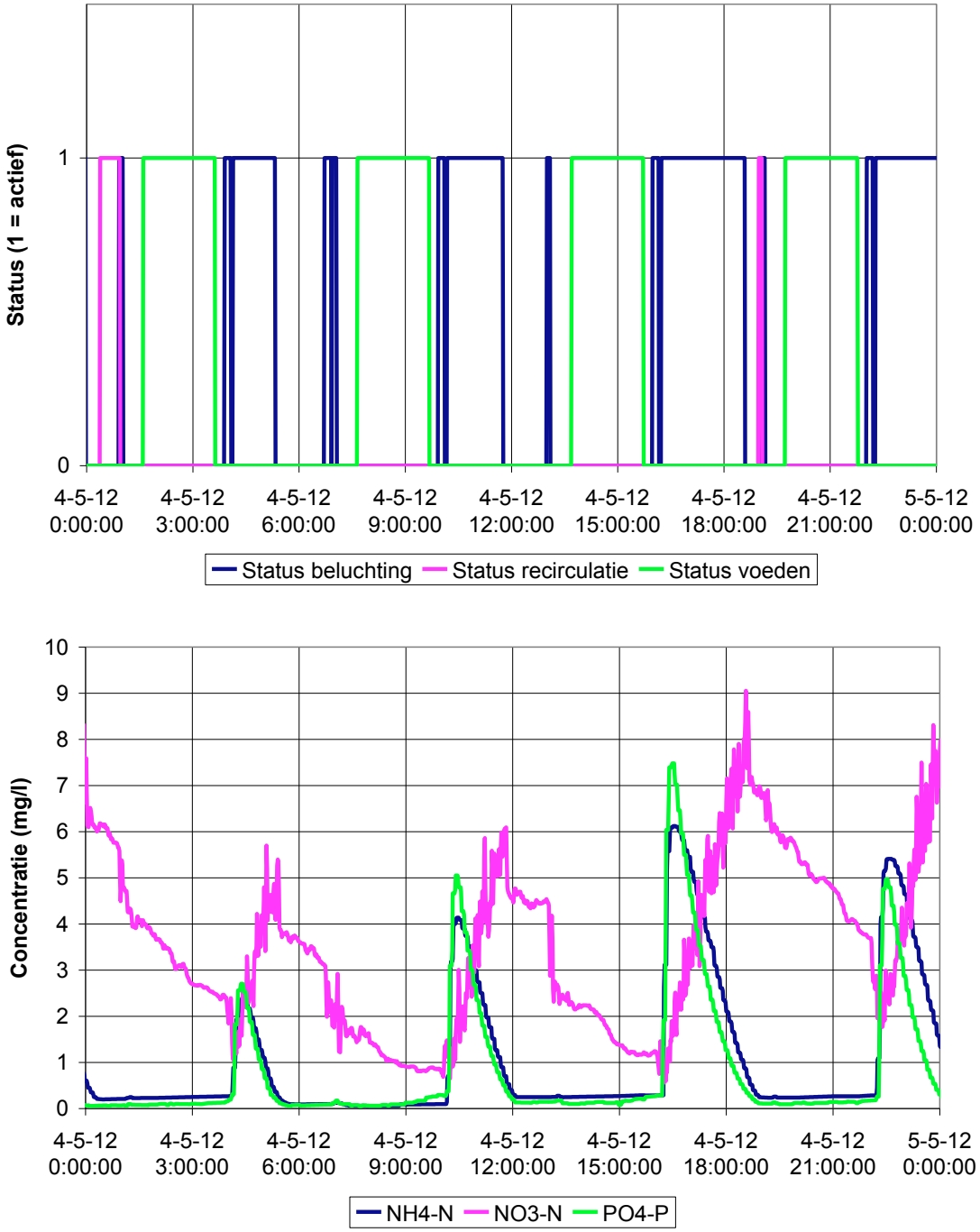


Het afvalwater wordt via de bodem in de Nereda® reactor gepompt. Tegelijkertijd wordt het effluent via overstortgoten uit de reactor gedrukt. Zoals eerder aangegeven is het voorkomen van kortsluitstromen van groot belang. In een kleinschalige pilotreactor met een grote Hoogte / Diameter verhouding is het verkrijgen van de daartoe gewenste propstroomcondities eenvoudig. Een belangrijke uitdaging bij het ontwerp van Epe betrof het zekerstellen van het propstroomgedrag tijdens voeden en aflaten. Dit aspect kon niet op pilotschaal worden getest en is op praktijkschaal uitgebreid op de rwzi Epe onderzocht (zie hoofdstuk 5).

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 de concentraties af. Een kenmerkend voorbeeld van het verloop van de processen in een reactor is weergegeven in Afbeelding 6. De gepresenteerde gegevens betreffen online data van 4 mei 2012. In het bovenste plaatje is de status van de belangrijkste cyclusstappen weergegeven, te weten voeden/aflaten, beluchting en recirculatie. Indien één van deze cyclusstappen niet actief is, staat de reactor stil. In het onderste plaatje van Afbeelding 6 is het verloop van de ammonium-, nitraat- en orthofosfaatconcentraties weergegeven. Het blijkt 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 eveneens dat de zuurstofvraag per cyclus sterk uiteenloopt, hetgeen tot uitdrukking komt in de duur van de beluchte periode. Deze wordt gestuurd op basis van beschikbare online metingen voor ammonium, fosfaat en redoxpotentiaal. Tijdens de beluchte fase wordt op een constante zuurstofconcentratie gestuurd. Deze ligt typisch in de range tussen 1 en 3 mg/l.

Het nitraatgehalte gedurende de beluchte fase loopt enigszins op, maar dat betekent niet dat er geen simultane denitrificatie plaatsvindt. Gemiddeld vindt 50 - 70% van de denitrificatie tijdens de beluchting plaats. Het resterende nitraat dient in de anoxische fasen door middel van een aanvulllende recirculatie te worden verwijderd. Het activeren van aanvullende denitrificatie vindt plaats aan de hand van de metingen van nitraat, redoxpotentiaal en de beschikbare tijd. Bij de sturing van de biologie heeft omzetting van KjN prioriteit en de tijd die overblijft, kan worden benut voor aanvullende denitrificatie.

AFBEELDING 6 **VOORBEELD VAN VERLOOP PROCESSEN IN EEN REACTOR VAN EPE**



Op basis van de online gegevens uit Afbeelding 6 zou kunnen worden geconcludeerd dat vrijwel alle ammonium wordt omgezet in nitraat. Dit geeft echter een vertekend beeld en wel om de volgende redenen:

- Stikstof in het influent bevat naast ammonium ook organisch gebonden stikstof. Deze verhouding KjN/NH_4-N in het influent van Epe ligt gemiddeld op 1,4;
- Ammonium absorbeert tijdens de voedingsfase voor een deel aan het korrelslib en wordt niet gedetecteerd door de online-analyser.

Bovenstaande aspecten zijn onderzocht tijdens het onderzoek naar de emissie van broeikasgassen. Nadere informatie hierover is terug te vinden in hoofdstuk 8.

3.2.6 ZANDFILTRATIE

Vanwege de strenge effluenteis ten aanzien van P_{totaal} is in het ontwerp van de rwzi Epe gekozen voor een effluentnabehandeling. Uit STOWA-onderzoeken is gebleken dat vlokkingsfiltratie met behulp van discontinue zandfiltratie hiervoor een betrouwbare en robuuste optie was en is daarom in het ontwerp opgenomen.

Verreweg het grootste deel van de fosfaatvracht in het influent wordt in de Nereda® reactoren verwijderd. Het resterende fosfaat wordt in de zandfilters met behulp van een geringe aanvullende aluminiumdosering verwijderd. De zandfilters worden periodiek teruggespoeld met water en lucht. Bijzonder detail betreft de luchtspoeling waarvoor één van de beluchtingscompressoren van de Nereda® reactoren wordt gebruikt. De aanvullende aluminiumdosering wordt geregeld op basis van de binnenkomende fosfaatvracht. Deze vracht wordt berekend aan de hand van de fosfaatconcentratie in de afloop van de drie reactoren en de debietmeting van het tussengemaal. De aluminiumdosering kan worden bijgesteld op basis van de online orthofosfaatmeting in de afloop van de zandfilters.

Filtraat van de zandfilters wordt afgevoerd naar de spoelwaterbuffer, alvorens het wordt geloosd. Het effluent in de spoelwaterbuffer wordt gebruikt voor het terugspoelen van de zandfilters en wordt ingezet als bedrijfswater. Vuilspoelwater wordt gebufferd in de vuilspoelwaterbuffer van waaruit het naar de slibbuffer wordt gepompt. Een andere optie voor de afvoer van het vuilspoelwater is terugvoer naar de roosters. De eerste optie heeft hierbij de voorkeur, omdat onnodig rondpompen van interne stromen tot een minimum wordt beperkt.

3.2.7 SLIBBUFFER

Het surplusslib wordt vanuit de Nereda® reactoren batchgewijs onder vrij verval afgelaten. Per cyclus duurt deze slibspui vijf tot tien minuten. Om een gelijkmatige afvoer naar de slibindikking zeker te stellen, wordt het spuislib gebufferd in de slibbuffer. Hierin wordt eveneens het vuilspoelwater van de zandfilters geloosd. De slibbuffer wordt derhalve met wisselende waterstanden bedreven. De inhoud van de slibbuffer wordt gemengd door middel van grove bellenbeluchting om naast de noodzakelijke menging hiermee ook fosfaatafgifte te voorkomen.

3.2.8 SLIBINDIKKING

Tijdens het ontwerp is een afweging gemaakt tussen gravitaire en mechanische slibindikking, waarbij de keuze op laatstgenoemde is gevallen. Gekozen is voor twee parallel opgestelde bandindikkers met verlengde banden, om tegemoet te komen aan de relatief hoge hydraulische belasting. Het filtraat kan zowel naar de zandfilters als naar de roostergoedverwijdering worden geleid. Eerstgenoemde optie heeft de voorkeur, waarbij vanzelfsprekend de samenstelling van het bandfiltraat de effluentkwaliteit niet nadelig mag beïnvloeden.

3.2.9 INGEDIKT SLIBBUFFER

Het ingedikte slib wordt naar de ingedikt slibbuffer gepompt van waaruit het slib periodiek per as wordt afgevoerd naar de rwzi Apeldoorn. Het korrelslib wordt middels vergisting en ontwatering verder verwerkt.

3.2.10 GEURBEPERKENDE MAATREGELEN

De procesonderdelen waar ruw afvalwater wordt behandeld zijn afgedekt. Dit zijn het influentgemaal, de perforatieroosters, de zand-/vetvang en het tussengemaal. Behalve het influentgemaal worden alle genoemde procesonderdelen geventileerd en de ventilatielucht wordt behandeld in een in serie geschakeld lavafilter en compostfilter. Het influentgemaal wordt niet geventileerd en de eventueel uittredende lucht wordt behandeld in een filter waarin de geurcomponenten chemisch worden geoxideerd. De bandindikkers staan opgesteld in het bedrijfsgebouw en zijn afgedekt. De ventilatielucht wordt direct in de atmosfeer geëmitteerd.

4

VERIFICATIEPERIODE

Het uitvoeren van verificatietesten was onderdeel van het realisatietraject en gebaseerd op vooraf vastgestelde eisen met betrekking tot effluentkwaliteit, energie- en chemicaliënverbruik en slibindikking. Deze testen zijn uitgevoerd in de periode tussen 1 februari 2012 en 31 mei 2012. In deze periode is het influent en effluent debietproportioneel bemonsterd en zijn analyses uitgevoerd door het laboratorium van Groot Salland. In de periode 30 april t/m 20 mei is de effluentkwaliteit vooral beoordeeld op basis van de online analysers van de rwzi. De installatie dient gedurende de verificatietest te voldoen aan de effluenteisen uit Tabel 1.

TABEL 1 **EFFLUENTEISEN VERIFICATIEPERIODE**

Parameter effluent	Eis
N_{totaal}	≤ (5 + (v.e.$_{influent,\ werkelijk}$ – 44.000) / 5.000) mg/l; v.e. à 136g TZV
	≤ (5 + (v.e.$_{influent,\ werkelijk}$ – 39.893) / 4.533) mg/l; v.e. à 150g TZV
P_{totaal}	≤ 0,3 mg/l

Met betrekking tot de N_{totaal} waarde is een range van 5 tot 8 mg/l afgesproken en afhankelijk gesteld van de influentbelasting. Bij een belasting van 39.893 v.e. of lager (150g TZV) wordt de eis van 5 mgN/l bereikt en bij een belasting van 53.500 v.e. of hoger (150g TZV) is de waarde van 8 mgN/l vereist. Conform de nieuwe lozingsvergunning dient de rwzi Epe aan de in Tabel 2 weergegeven seizoensgemiddelde waarden te voldoen.

TABEL 2 **EFFLUENTEISEN CONFORM NIEUWE LOZINGSVERGUNNING**

Parameter effluent	Eis (mgN/l of mgP/l)	
	Zomer	Winter
N_{totaal}	8	12
P_{totaal}	0,3	0,5

Naast de effluenteisen zijn ook eisen gesteld aan het energieverbruik en de slibindikking (zie Tabel 3).

TABEL 3 **OVERIGE EISEN**

Parameter	Eis
Drogestof ingedikt slib	≥ 5% bij een PE-verbruik van 5 gPE_{actief}/kg DS
Energie	≤ 22,7 kWh/v.e.$_{verwijderd}$.jaar; v.e. à 150g TZV

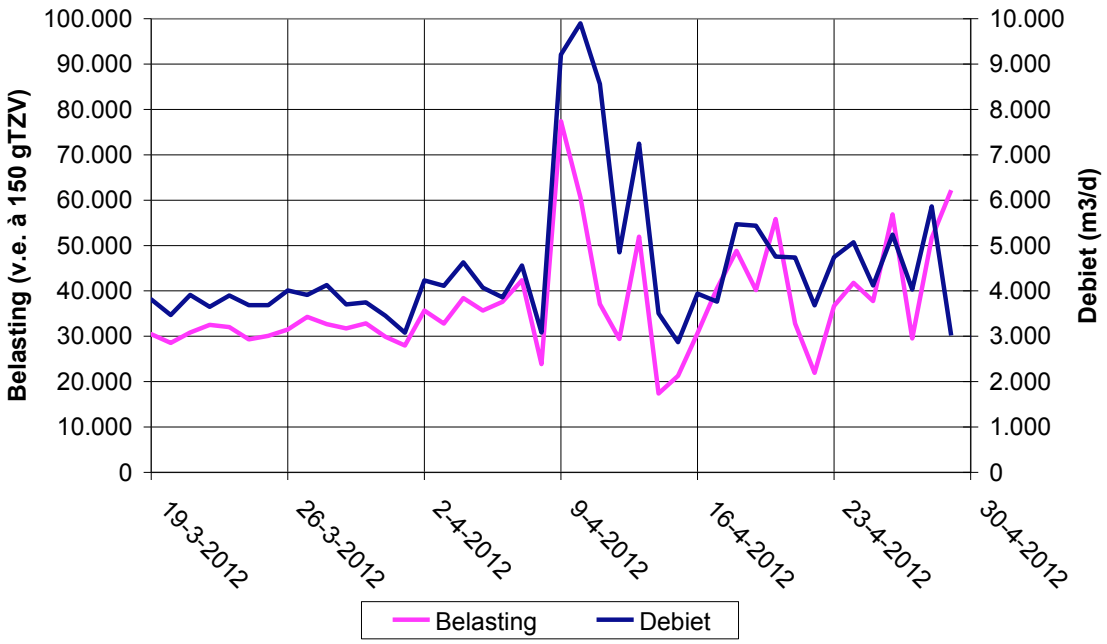
4.1 BELASTING RWZI

De gemiddelde belasting in de verifcatieperiode is weergegeven in Tabel 4. Het verloop van de belasting over de garantieperiode is voor de verschillende parameters weergegeven in Afbeelding 7 t/m Afbeelding 9. Uit deze afbeeldingen blijkt dat op dagbasis grote schommelingen in de belasting voorkomen.

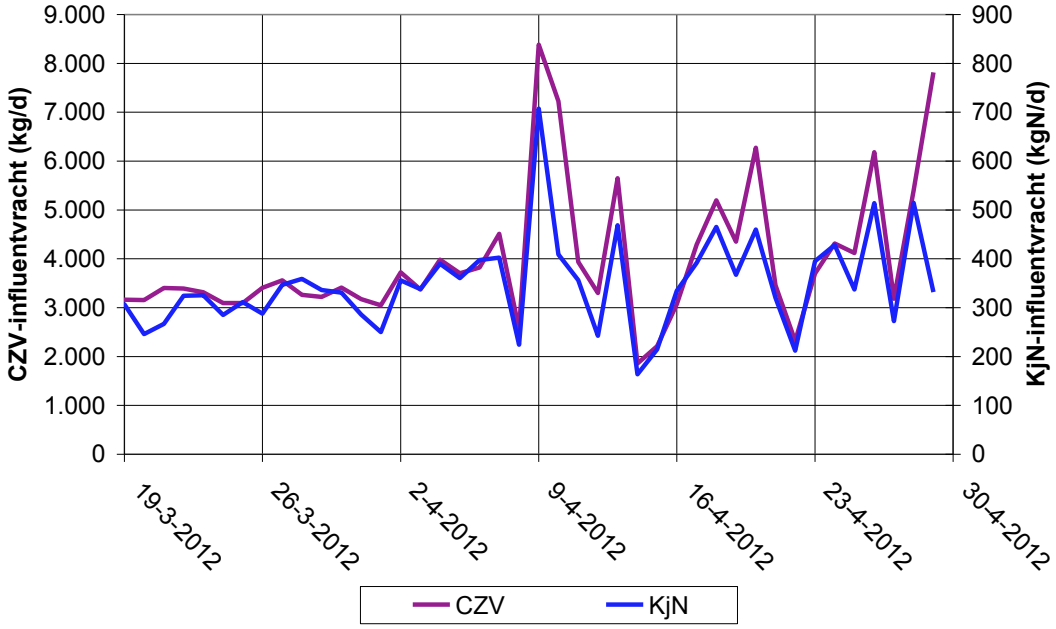
TABEL 4 **GEMIDDELDE BELASTING RWZI EPE IN DE PERIODE 19/3/2012 T/M 29/4/2012**

Parameter	Eenheid	Waarde	Ontwerp
CZV	kg/d - mg/l	3.991 - 879	5.420 - 678
BZV	kg/d - mg/l	1.499 - 330	2.230 - 279
KjN	kg/d - mg/l	349 - 77	570 - 71
P_{totaal}	kg/d - mg/l	42 - 9	61 - 8
Zwevendstof	kg/d – mg/l	1.547 - 341	2.120 - 265
Debiet	m^3/d	4.541	8.000
Vervuilingseenheden	150 gTZV	37.240	53.500

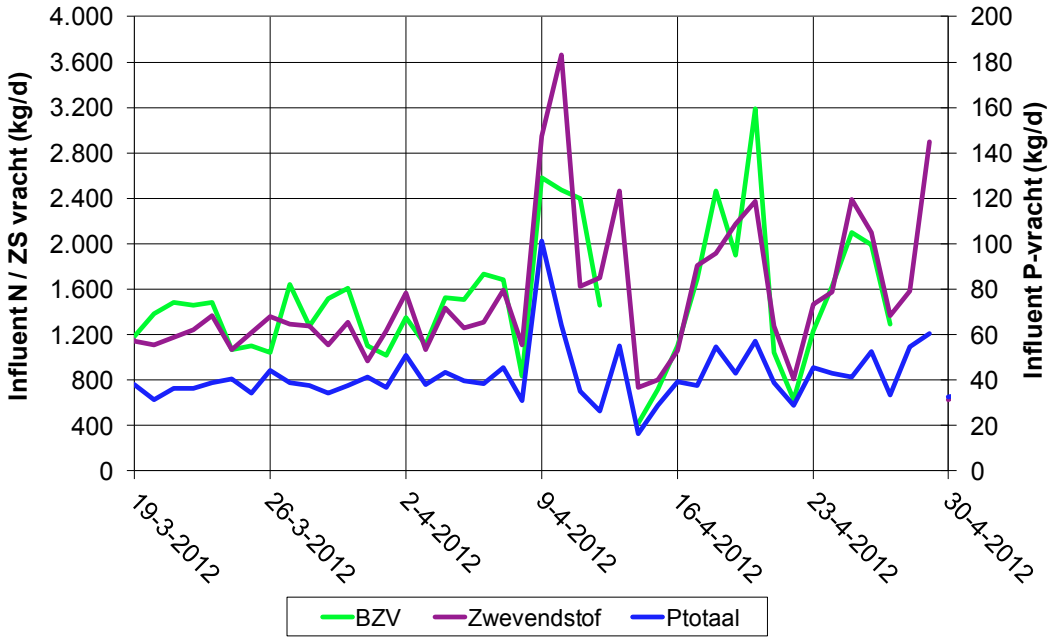
AFBEELDING 7 **DEBIET EN VERVUILINGSEENHEDEN**



AFBEELDING 8 **CZV EN KJN**

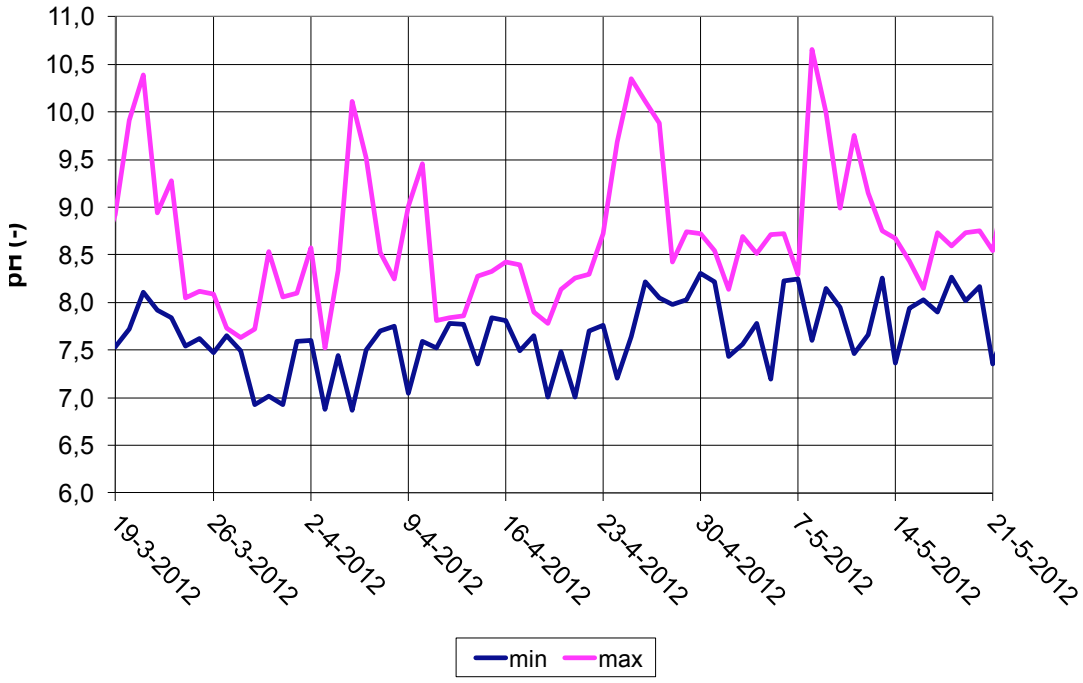


AFBEELDING 9 CZV, ZWEVENDSTOF EN PTOTAAL



De maximale en minimale zuurgraad van het binnenkomende afvalwater is weergegeven in Afbeelding 10. Deze dient zich tussen 6 en 9 te bevinden. Tijdens de verificatieperiode is dit uitgangspunt regelmatig overschreden. Ofschoon in principe afvalwater met een lage of hoge pH (tijdelijk) kan worden gebufferd in het rioolstelsel, wordt een bepaald percentage hiervan desondanks behandeld.

AFBEELDING 10 MINIMALE EN MAXIMALE PH-WAARDEN INFLUENT



4.2 EFFLUENTKWALITEIT

In deze paragraaf worden de resultaten m.b.t. de effluentkwaliteit weergegeven. Naast de verwijderingsrendementen t.a.v. stikstof en fosfor wordt ook kort ingegaan op de overige gemeten parameters.

4.2.1 STIKSTOF

LABORATORIUMGEGEVENS

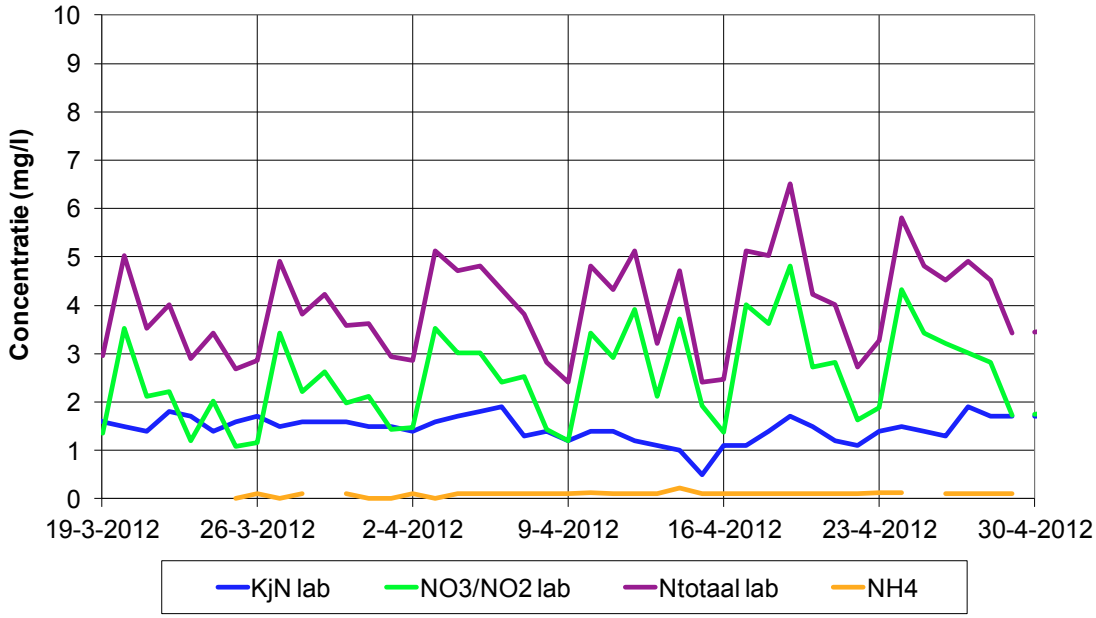
In Afbeelding 11 staan de daggemiddelde N-effluentconcentraties (laboratorium) weergegeven. Tabel 5 bevat de gemiddelde stikstofconcentraties over de gehele verificatieperiode. Uit de gegevens blijkt dat de stikstofconcentratie in het effluent hoofdzakelijk is opgebouwd uit organisch gebonden stikstof en NO_3/NO_2. De gemiddelde NH_4-N concentratie bedraagt slechts 0,1 mg/l.

TABEL 5 GEMIDDELDE STIKSTOFCONCENTRATIES EFFLUENT VERFICATIEPERIODE

Parameter	Concentratie (mgN/l)
KjN	1,5
NH_4-N	0,1
Organisch N (KjN – NH_4-N)	1,4
NO_3-N/NO_2-N	2,5
N_{totaal} (KjN + NO_3-N/NO_2-N)	4,0

Op basis van de gemiddelde belasting van 37.240 v.e. à 150 gTZV dient de effluenteis ten aanzien van stikstof aan de laagste waarde van 5 mgN/l te voldoen (zie Tabel 1). De gemiddelde stikstofconcentratie in het effluent bedroeg tijdens de verificatieperiode 4,0 mgN/l.
Hiermee is ruimschoots aan de gestelde eis ten aanzien van totaal stikstof voldaan. Met een (debietgewogen) gemiddelde influentconcentratie van 77 mgN/l wordt een stikstofverwijderingsrendement van 95% bereikt.

AFBEELDING 11 N-EFFLUENTCONCENTRATIES TIJDENS VERIFICATIEPERIODE (LABORATORIUM)



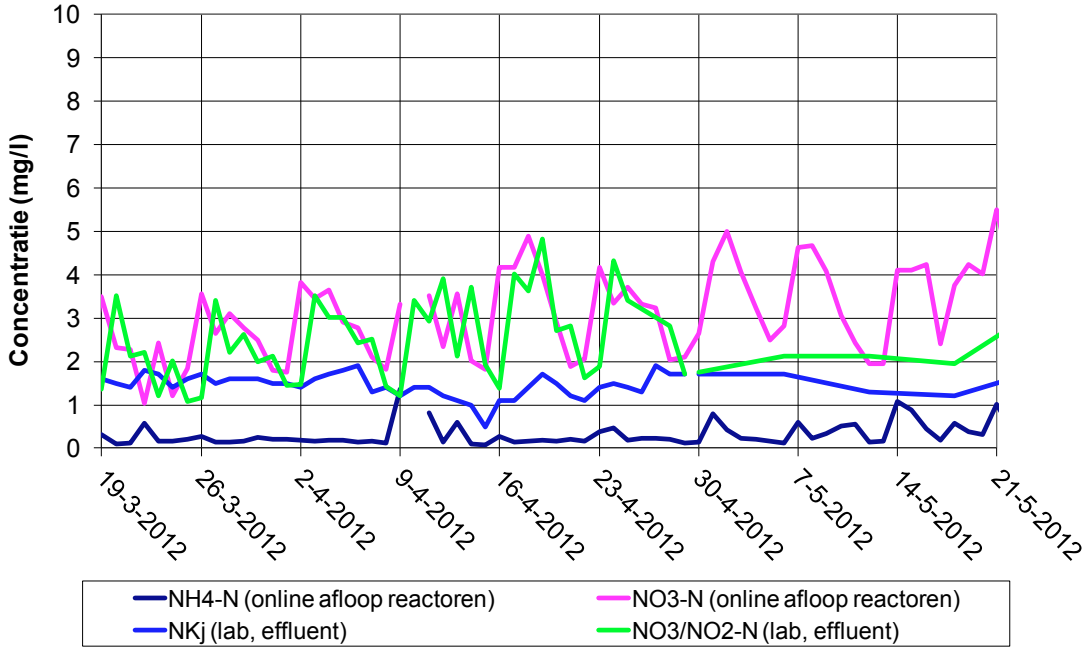
Bovenstaande resultaten zijn bereikt bij een slibbelasting die hoger ligt dan de in bijlage 3 genoemde ontwerpbelasting van 0,12 kgCZV/(kgDS.dag) op beluchte tijd. Met het oog op een belastingsgraad van circa 70% betekent dit dat in vergelijking tot de ontwerpparameter van 8 kg/m^3 het korrelslibgehalte bewust op een lager niveau wordt gehouden. Dit heeft niet alleen directe positieve consequenties voor het energieverbruik, maar heeft vooral ook effect op de biologische P-verwijdering. Doordat het systeem namelijk beschikt over een hoge N-verwijderingscapaciteit zal tijdens vele cycli de ammonium stikstof reeds zijn omgezet binnen de beschikbare tijd, zodat ruimte overblijft voor nadenitrificatie. Gedurende deze fase wordt de biologisch vastgelegde fosfor, mede door de zeer lage nitraatconcentraties weer voor een deel afgegeven en moet noodzakelijkerwijs worden belucht om aan de P-effluenteis te kunnen voldoen. Bij het aanhouden van lagere korrelslibconcentraties is deze situatie optimaler te sturen en is gebleken dat de P-verwijdering beter verloopt.

Overigens is uit de analyses naar voren gekomen dat de N-verwijderingscapaciteit zodanig is dat in combinatie met de eerder beschreven procesbesturing, een nog betere effluentkwaliteit kan worden bereikt. Zoals ook al op de pilotinstallatie te Epe werd aangetoond, kan met het Nereda® systeem de MTR kwaliteit m.b.t. stikstof worden behaald.

ONLINE ANALYSERS

Afbeelding 12 geeft de debietgewogen daggemiddelde NH_4-N en NO_3-N concentraties weer van de afloop van de Nereda® reactoren, hetgeen cijfers van de analysers betreft. Tevens zijn de laboratoriumdata van het effluent (afloop zandfiltratie!) weergegeven. Het blijkt dat de gegevens van de analysers en het laboratorium goed met elkaar overeenkomen.
De kleine “verschuiving” tussen de online data en de laboratoriumdata wordt veroorzaakt doordat de online data daggemiddelden zijn tussen 0:00 uur en 23:59 uur, terwijl de laboratoriumdata gemiddelden zijn tussen 9:00 uur en 9:00 uur. De gemiddelde NH_4-N en NO_3-N concentraties van de afloop van de Nereda® reactoren over de gehele verficatieperiode bedragen respectievelijk 0,3 en 3,1 mg/l – één en ander op basis van de online analysers.

AFBEELDING 12 NH_4-N EN NO_3-N CONCENTRATIES

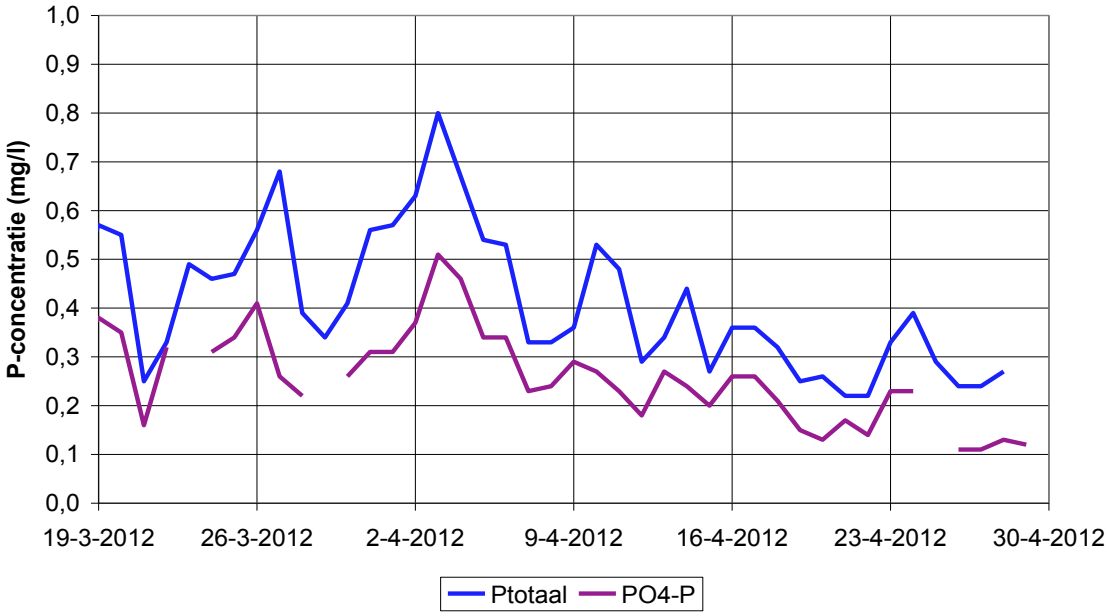


4.2.2 FOSFOR

In Afbeelding 13 zijn daggemiddelde P-effluentconcentraties (laboratorium) weergegeven. Uit deze afbeelding blijkt een debietgewogen P-effluentconcentratie van 0,41 mg/l, boven de verificatiewaarde 0,3 mg/l.

Het blijkt dat de P-effluentconcentratie naast de opgeloste Portho concentratie van gemiddeld 0,26 mg/l, is opgebouwd uit een restconcentratie van fosfaat die terug te voeren is op de som van opgelost organisch fosfaat en totaal gebonden fosfaat (= som van gebonden organisch fosfaat en metaal gebonden fosfaat).

AFBEELDING 13 P-EFFLUENTCONCENTRATIES TIJDENS VERIFICATIEPERIODE (LABORATORIUM)



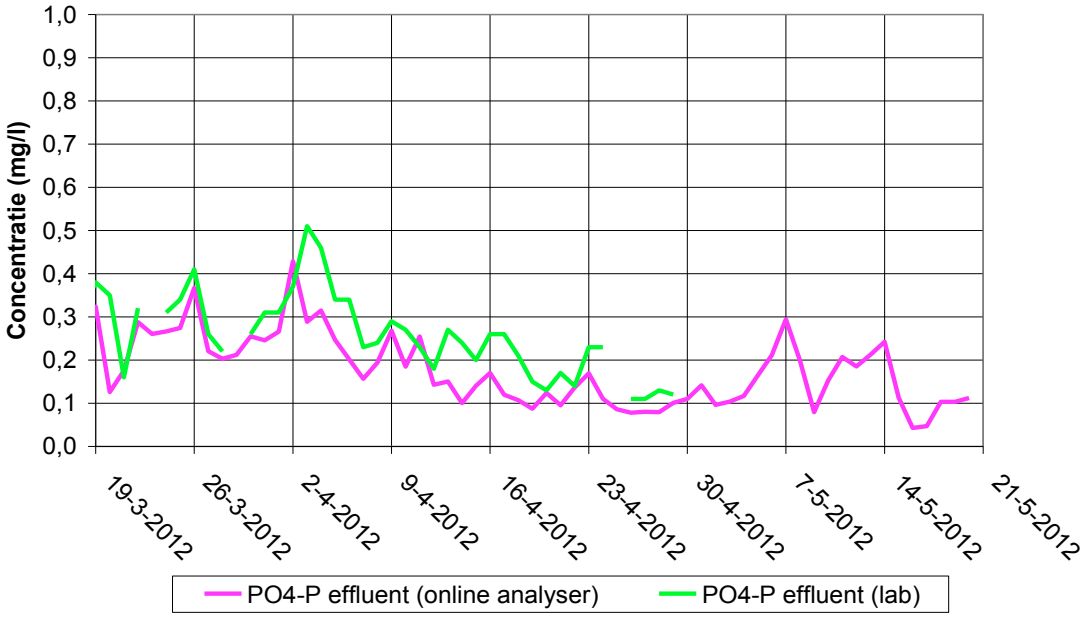
Een nadere analyse is echter op zijn plaats omdat bij de beoordeling van dit specifieke cijfermateriaal een procesgerelateerd issue een belangrijke rol speelt. De Nereda® installatie wordt met betrekking tot de P-concentratie gestuurd op online analysers van het in- en uitgaande water van de zandfilters. Deze meetinstrumenten meten de PO_4-concentraties, waarmee de aluminiumdosering op het zandfilter wordt geregeld. Omdat de analyser alleen PO_4 meet en de relatie met P_{totaal} nog onvoldoende bekend was, is gedurende de periode van 19 maart t/m 8 april een te lage hoeveelheid chemicaliën gedoseerd.

Nadat er een verschil met de eerste laboratoriumresultaten werd geconstateerd, is de dosering verhoogd. Het gevolg hiervan is direct te merken in de periode van 9 april tot het eind van de verificatieperiode, zoals mag blijken uit de in Tabel 6 weergegeven debiet gewogen gemiddelden en is af te lezen uit Afbeelding 14.

TABEL 6 GEMIDDELDE P-CONCENTRATIES EFFLUENT VERIFICATIEPERIODE

Periode van 19-03 tot 8-04-2012 (laboratorium)	P_{totaal} = 0,50 mg/l	PO_4-P = 0,32 mg/l
Periode van 9-04 tot 20-05-2012 (laboratorium)	P_{totaal} = 0,33 mg/l	PO_4-P = 0,19 mg/l
Periode van 9-04 tot 20-05-2012 (online analyzer)		PO_4-P = 0,14 mg/l

AFBEELDING 14 PORTHO-CONCENTRATIE VERIFICATIEPERIODE

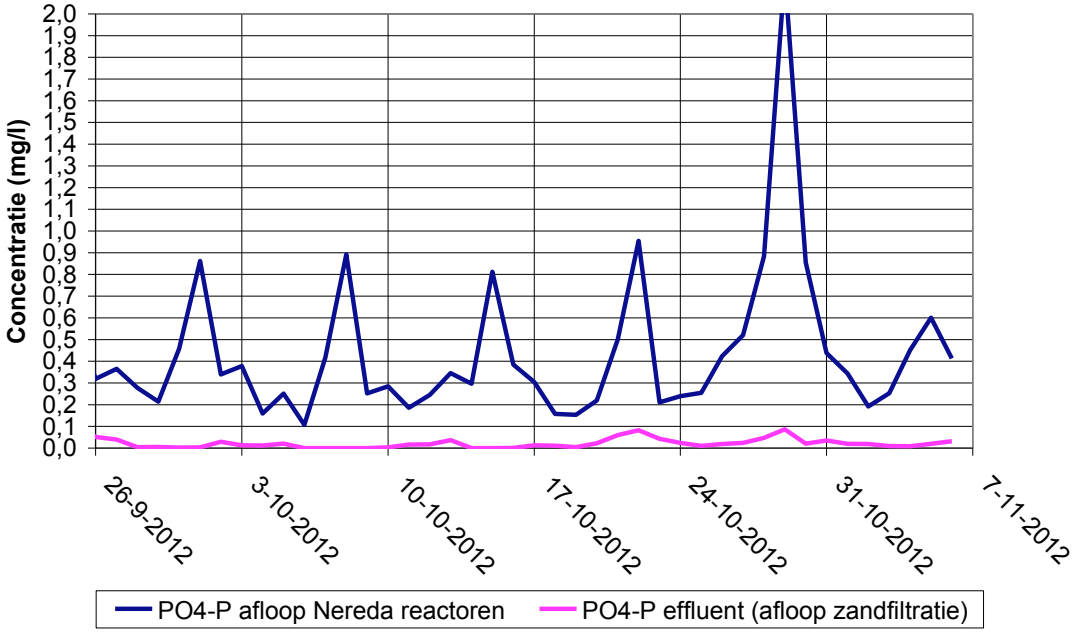


De resultaten laten zien dat ondanks de lage concentraties, het gemiddelde verschil tussen de online analyser en de laboratorium-resultaten in absolute zin beperkt is (0,05 mgP/l in de periode 9/4 – 20/5). De verificatieperiode laat zien dat gedurende een periode van 6 weken (9/4 – 20/5) sprake is geweest van stabiele en vergaande fosfaatverwijdering. Uit deze analyse mag worden geconstateerd dat de installatie in staat is tot het bereiken van de vereiste P_{totaal} concentratie < 0,3 mgP/l. Met een debietgewogen gemiddelde influentconcentratie van 9 - 10 mgP/l bedraagt het P-verwijderingsrendement over de periode van 9 april tot 20 mei 2012 ruim 95%.

Overigens kan worden opgemerkt dat het gemiddelde specifieke chemicaliënverbruik tijdens de verificatieperiode op een laag niveau lag, te weten 0,08 mol Al/mol $P_{influent}$. Uitgedrukt in het specifieke verbruik per mol P dat aan het zandfilter wordt toegevoerd, ligt deze waarde op 1,6 mol Al/mol PO_4-$P_{toevoer}$. Rekening houdend met het P-rendement van het zandfilter komt deze waarde neer op 2,1 mol Al/mol PO_4-$P_{verwijderd}$. De genoemde Me/P-verhoudingen die betrekking hebben op de zandfiltratie alleen, zijn gebaseerd op de online analysers voor PO_4-P in de Nereda® reactoren en in de afloop van de zandfiltratie.

Waterschap Vallei en Veluwe beoordeelde de resultaten met betrekking tot fosfaatverwijdering als enigszins discutabel, omdat de gemiddelde P_{totaal}-concentratie in het effluent over de verficatieperiode hoger was dan 0,30 mg/l. In gezamenlijk overleg is besloten tot een aanvullende meetperiode van zes weken waarbij is overeengekomen dat beoordeling zou plaatsvinden op basis van de online PO_4-analyser in het effluent (afloop zandfilters). De afspraak daarbij was dat het rekenkundig gemiddelde van de debietproportionele daggemiddelde waarden gelijk aan of lager moest zijn dan 0,11 mgP/l. Deze meting is uitgevoerd in de periode 26/9/2012 tot en met 06/11/2012 en Afbeelding 15 geeft de resultaten weer.

AFBEELDING 15 PORTHO-CONCENTRATIE TIJDENS DE AANVULLENDE MEETPERIODE T.B.V. DE P-VERWIJDERING (DEBIETPROPORTIONELE DAGGEMIDDELDE WAARDEN)



Hieruit blijkt duidelijk dat aan de eis van 0,11 mgP/l is voldaan. De gemiddelde waarde over de 6-weekse periode bedroeg 0,02 mgP/l. Op basis van de analysers bedroegen de specifieke aluminiumdoseringen voor de aanvullende chemische P-verwijdering in de zandfilters respectievelijk 2,5 mol Al/mol PO_4-$P_{toevoer}$ en 2,7 mol Al/mol PO_4-$P_{verwijderd}$.

4.3 CZV EN BZV EN ZS

De CZV en BZV concentraties in het effluent zijn vrij constant en liggen op een laag niveau met respectievelijk 27 en 2 mg/l. Met debietgewogen influentconcentraties van respectievelijk 879 mg CZV/l en 330 mg BZV/l kunnen verwijderingsrendementen worden berekend van 97 en ruim 99%.

De onnauwkeurigheid van de ZS bepaling ligt op 5 mg/l en is daarmee niet representatief voor het functioneren van de zandfilters op de rwzi Epe. Gedurende enkele dagen (10 en 11 april 2012) kwam de OB-waarde uit op 9 en 6 mg/l, als gevolg van een noodoverstort van de zandfilters. Tijdens de dagen voorafgaande hieraan was sprake van een hoge influentbelasting, waarbij vooral de ZS hoeveelheid opviel met 173% van de ontwerphoeveelheid. Het effect op de effluentkwaliteit was gering, alleen de P-concentratie steeg enigszins, terwijl alle andere parameters binnen de eisen bleven. De installatie laat daarmee een hoge mate van flexibiliteit en robuustheid zien.

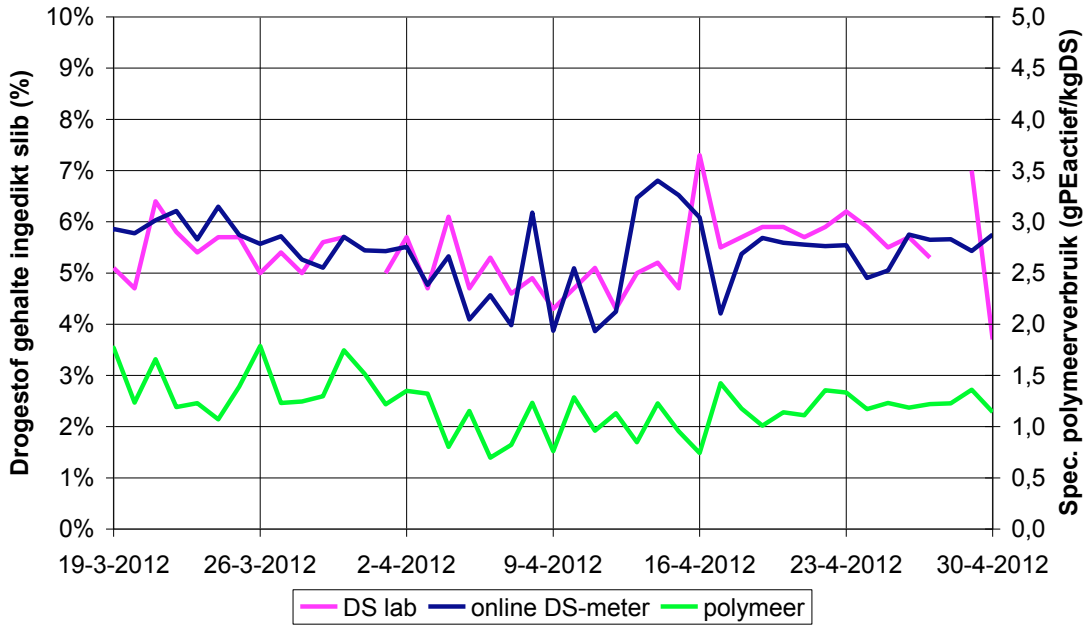
4.4 ENERGIE

Het gemiddelde specifieke energieverbruik van de rwzi bedraagt bij de huidige belasting 21,2 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$.jaar). In hoofdstuk 6 zijn de resultaten van het onderzoek naar het energieverbruik gerapporteerd. Aspecten die hierbij aan bod komen zijn de afhankelijkheid van de belasting op het specifieke energieverbruik, de invloed van een aantal technische optimalisaties, een gedetailleerde energiebalans, zuurstofoverdrachtsmetingen en een vergelijking met het energieverbruik van andere moderne actiefslib installaties in Nederland.

4.5 SLIBBEHANDELING

Voorafgaande aan de verificatieperiode is gesproken over het functioneren van de ingedikt slibpomp. Het ontwerp is uitgelegd op een drogestofgehalte van het ingedikte slib van maximaal 6% (inspanningsverplichting). In de praktijk blijkt de mechanische slibindikking met de bandfilters gemakkelijk 8% en meer drogestof te kunnen leveren. Teneinde tegemoet te komen aan de verificatie eisen, te weten ≥ 5% bij een PE-verbruik van 5 gPE_{actief}/kgDS, is door Royal HaskoningDHV het indikkingsproces voorafgaand aan de verificatieperiode geoptimaliseerd naar (minimalisatie van) PE-verbruik. In Afbeelding 16 zijn de resultaten weergegeven.

AFBEELDING 16 PRESTATIES MECHANISCHE SLIBINDIKKING TIJDENS VERIFICATIEPERIODE



De gemiddelde indikkingsgraad bedraagt 5,2% bij een PE-verbruik van slechts 1,2 g_{actief}/kg DS. Verder blijkt uit Afbeelding 16 dat de gegevens van de online metingen en het laboratorium goed overeenkomen. Een laatste interessant resultaat betreft de DS-afscheidingsgraad, waarmee wordt aangegeven de hoeveelheid drogestof die in het ingedikte slib terecht komt. Met een uitstekende filtraatkwaliteit waarin zich slechts 47 mg/l DS bevindt, is ondanks een laag inkomend drogestofgehalte van gemiddeld 2,2 g/l (a.g.v. spoelwater zandfilters) een afscheidingsrendement van 98% bereikt.

4.6 CONCLUSIES

Tabel 7 geeft een overzicht van de eisen en de resultaten die zijn behaald. Hieruit blijkt dat de nieuwe rwzi Epe aan de gestelde eisen heeft voldaan. Met deze cijfers is de technologische oplevering van de rwzi Epe een feit en laten de cijfers zien dat sprake is van een goed en stabiel functionerende installatie die (ruimschoots) binnen de duurzame kaders opereert.

TABEL 7 **OVERZICHT VAN EISEN EN BEHAALDE RESULTATEN VERIFICATIEPERIODE**

Parameter	Eenheid	Eis	Resultaat
N_{totaal} effluent	mgN/l	≤ 5	4
P_{totaal} effluent	mgP/l	≤ 0,3	< 0,3
Energieverbruik	kWh/(v.e.$_{verwijderd}$.jaar) v.e. à 150g TZV	≤ 22,7	21,2*)
DS-gehalte ingedikt slib	% DS	≥ 5%	5,2
Polymeerverbruik slibindikking	gPE_{actief}/kgDS	≤ 5	1,2

*) Specifieke energieverbruik geldt voor huidige belasting en daalt bij volbelasting tot 16,3 kWh/(v.e.$_{verwijderd}$.jaar), zie ook hoofdstuk 6

5

PRAKTIJKONDERZOEK HYDRAULICA

5.1 INLEIDING

De rwzi Epe is de eerste grootschalige Nereda® installatie ter wereld en kent een grote opschaling vanaf kleine (industriële) installaties naar een rwzi met drie grote reactoren. Elke reactor heeft een inhoud van 4500 m^3 (diameter 25 m) en is sterk hydraulisch bepaald.
De belangrijkste onderzoeksvraag aangaande de opschaling van de techologie betreft de te behalen maximale Exchange Ratio[1]. Deze bepaalt in sterke mate de benodigde omvang van de Nereda® reactoren en is daarom een kostenbepalende factor. De interesse gaat hierbij vooral uit naar de invloed van de internals (influentverdeelwerk, effluentonttrekking) op het propstroomgedrag van de reactor.
Bij het toepassen van grotere reactoren neemt de kans op turbulente stroming (hogere Reynoldsgetallen) toe en is het in stand houden van een propstroming tijdens voeden en aflaten van de reactoren minder eenvoudig. Het praktijkonderzoek hydraulica was er dan ook op gericht het hydraulisch gedrag in de reactoren van Epe waar te nemen. Onder verschillende omstandigheden is de maximale Exchange Ratio bepaald, waarbij ondermeer gevarieerd is met het aantal effluentgoten en de superficiële vulsnelheid.
In augustus en september 2011 zijn met behulp van een ammonium-tracer de eerste hydraulische experimenten uitgevoerd aan een Nereda® reactor gevuld met schoon water. In februari en maart 2012 zijn experimenten uitgevoerd aan reactoren met korrelslib, waarbij gebruik is gemaakt van het influent NH_4 als tracer. Voorts is van een groot aantal neerslaggebeurtenissen een trendanalyse gemaakt op basis van de beschikbare online data (NH_4, PO_4, debiet etc.).

5.2 OPZET VAN HET ONDERZOEK

5.2.1 ACHTERGROND

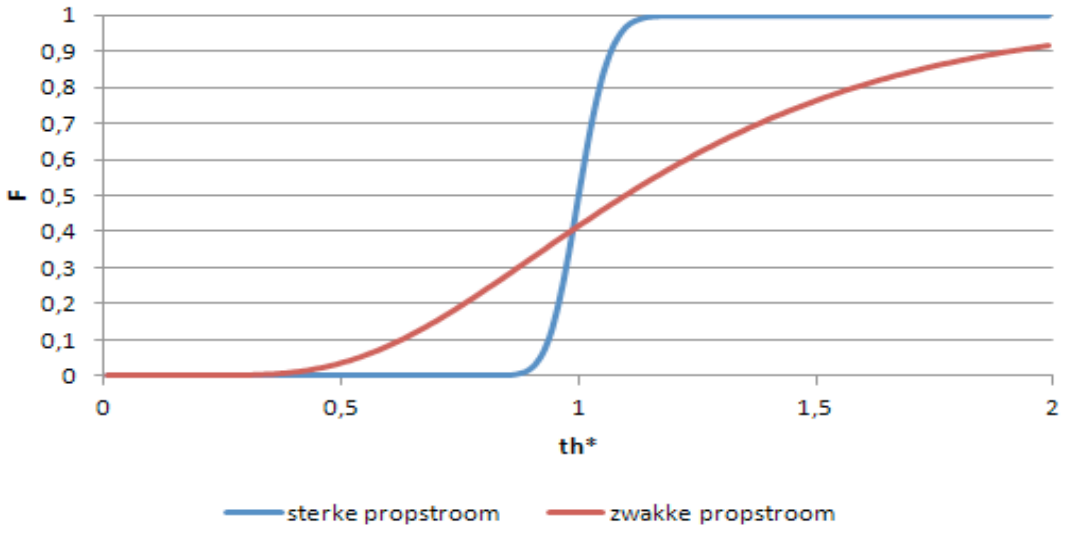
In het Nereda® proces is sprake van gelijktijdig vullen en aflaten. Dit houdt in dat een reactor gevuld wordt met influent, terwijl tegelijkertijd het effuent van de vorige cyclus uit de reactor wordt afgelaten. De mate van propstroming in de reactor bepaalt hoelang dit (vul-aflaat) proces goed gaat. Op enig moment zal influent samen met het effluent de reactor uitstromen. Dit wordt het moment van doorslag genoemd en is van groot belang voor het functioneren van de Nereda® reactor. Immers, als het moment van doorslag later komt, dan heeft dit een grotere Exchange Ratio tot gevolg en kan per cyclus méér afvalwater worden verwerkt. De metingen op rwzi Epe zijn gericht op het bepalen van dit moment van doorslag. Met behulp van een tracer (NH_4) zijn doorslagcurves bepaald onder wisselende hydraulische omstandigheden. Deze doorslagcurves zijn vervolgens gebruikt om de maximale Exchange Ratio af te leiden en te bepalen welke hydraulische omstandigheden hier invloed op hebben.

In Afbeelding 17 worden twee theoretische doorslagcurves getoond. Op de x-as staat de dimensieloze tijd (tijd gedeeld door de hydraulische verblijftijd van de reactor) en op de y-as de

1 Exchange ratio: volumetrisch deel van de reactor dat in een cyclus wordt ververst

dimensieloze tracerconcentratie (actuele concentratie gedeeld door influentconcentratie). Als de dimensieloze tijd gelijk is aan 1, dan is al het water in de reactor vervangen door influent en is de Exchange Ratio 100%. In de afbeelding vindt het moment van doorslag plaats als de curve los komt van de x-as, m.a.w. de tracerconcentratie in het effluent begint te stijgen. Dit moment is belangrijk, want het is ongewenst om onbehandeld influent in het effluent van de Nereda reactor terug te zien. Afbeelding 17 toont dat bij een sterke propstroom pas laat doorslag plaatsvindt: de curve komt laat los van de x-as en heeft een steile helling.

AFBEELDING 17 DOORSLAGCURVES VAN STERKE EN ZWAKKE PROPSTROOM



De zwakke propstroom komt snel los van de x-as, heeft een minder steile helling en er vindt snel doorslag plaats. In het geval van een sterk propstroomkarakter kunnen grotere batches worden toegepast in vergelijking tot een zwak propstroomkarakter.

5.2.2 MEETDOELEN

Op basis van een analyse van de praktische uitvoerings- en regelmogelijkheden van de Nereda® installatie in Epe is vastgesteld dat het meetplan zich kan richten op het moment waarop doorslag optreedt en de invloed die de onttrekking van het effluent heeft op het moment van doorslag.

Bij een influentdebiet van 1.200 m^3/h is de oppervlaktebelasting van de reactoren 2,44 m/h. Bij dit debiet is de hydraulische verblijftijd ongeveer 3,7 uur. Ook de recirculatiepomp is in staat het debiet van 1.200 m^3/h te leveren, zodat de oppervlaktebelasting ook door middel van recirculatie over de effluentgoten kan worden bereikt. De metingen en de trendanalyses zijn vooral gericht op de volgende onderzoeksdoelen:

1. **aantal effluentgoten:** verwacht wordt dat het aantal effluentgoten een belangrijke invloed heeft op de maximale Exchange Ratio. Een grotere afstand tussen de goten zorgt naar verwachting voor grotere dode zones in de reactor. Dit resulteert in een snellere kortsluitstroming van het influent naar het effluent met een lagere Exchange Ratio tot gevolg. Door effluentgoten af te sluiten, is het mogelijk om dit effect te kwantificeren.
2. **oppervlaktebelasting:** de oppervlaktebelasting heeft mogelijk invloed op de maximale Exchange Ratio. Een hoger influentdebiet zorgt immers voor hogere turbulente dispersie, waardoor het influent sneller bij de effluentgoot kan zijn. In de trendanalyse is hier nadrukkelijk aandacht aan besteed.

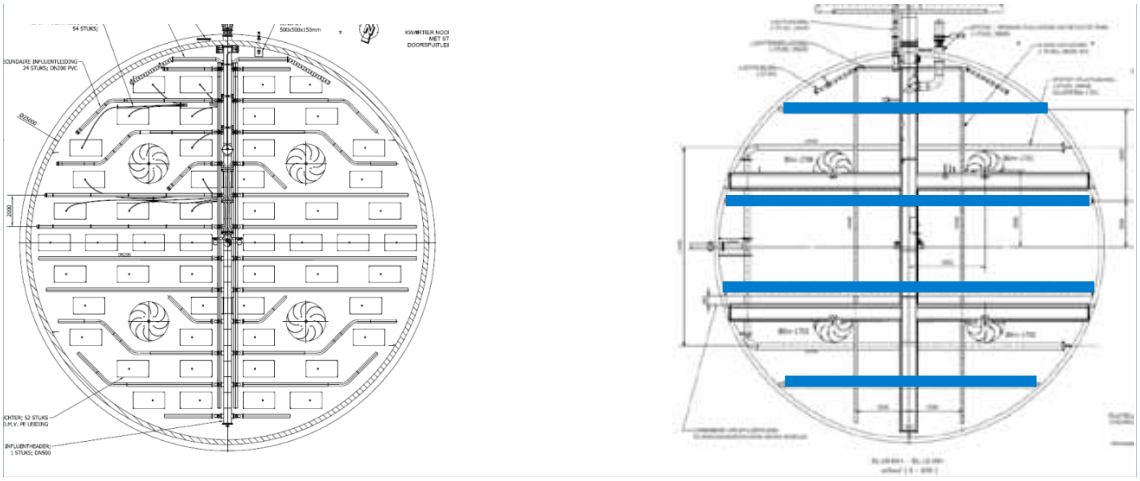
3 **aanwezigheid van korrelslib:** korrelslib kan de stroming in de reactor op meerdere manieren beïnvloeden. Op de eerste plaats neemt korrelslib een zeker volume in dat naar verwachting ongeveer 5% zal zijn. Daarnaast beïnvloedt korrelslib mogelijk de stroming, omdat er in de reactor dichtheidsverschillen ontstaan. Om deze effecten te kwantificeren, zijn metingen uitgevoerd in een reactor gevuld met schoon water en in een later stadium in een reactor gevuld met korrelslib.

4 **wijze van recirculatie:** in de reactoren kan op twee manieren worden gerecirculeerd, namelijk via de effluentgoot en via een gat in de wand. Recirculatie vindt plaats tijdens voeden en kan mogelijk het moment van doorslag beïnvloeden. Beide methoden zijn onderzocht.

5.2.3 REACTOR LAYOUT

Het influentverdeelsysteem en de effluentgoten van de reactoren zijn in Afbeelding 18 weergegeven. Het influentverdeelsysteem bestaat uit een header met secundaire leidingen, die voorzien zijn van gaten. De secundaire leidingen hebben een gemiddelde tussenafstand van 2 m en in de leidingen is om de 50 cm een gat aangebracht, waardoor het influent de reactor instroomt. Op de bodem van de reactor zijn 4 mengers aanwezig. Er zijn bochten aangebracht in de secundaire leidingen om de mengers te omzeilen. De effluentonttrekking vindt plaats door middel van 4 goten met v-notches die afvoeren naar een verzameltrog. De v-notches zijn om de 33 cm aangebracht.

AFBEELDING 18 **BOVENAANZICHT VAN HET INFLUENTVERDEELWERK (LINKS) EN EFFLUENTGOTEN (RECHTS BLAUW)**



5.2.4 MEETPROGRAMMA

Tijdens de metingen met schoon water zijn op verschillende diepten in de reactor gelijktijdig concentraties gemeten om indirect te bepalen of het snelheidsveld homogeen is. Tijdens één van de experimenten zijn eventuele concentratieverschillen nabij de effluentgoten in meer detail gemeten. Tijdens de metingen (na de opstart van de reactoren) in aanwezigheid van korrelslib zijn vergelijkbare experimenten verricht, aangevuld met een trendanalyse van maatgevende neerslaggebeurtenissen. Hierbij is ook de onderlinge vergelijking interessant voor de verwachte toenemende bezinksnelheid van het korrelslib (effect van de korrelontwikkeling op de doorslag en onttrekking van spuislib). Tabel 8 geeft een overzicht van de metingen die zijn uitgevoerd.

TABEL 8 OVERZICHT METINGEN

Experiment		Doel	Concentratie meting	Effluentgoten %
1 - Schoon water	SW1 alle goten	Doorslag	NH_4	100
	SW2 2 buitenste goten	Doorslag	NH_4	42
	SW3 alle goten	Doorslag	NH_4	100
2 - Korrelslib	KS1 alle goten	Doorslag	NH_4, PO_4	100
	KS2 2 buitenste goten	Doorslag	NH_4, PO_4	42
3 - Trendanalyse	neerslaggebeurtenissen	Doorslag	NH_4, PO_4	100

Er is op verschillende locaties in de reactor gemeten:

1 midden in de tank bij de loopbrug op circa 1 m onder de waterspiegel met een vaste analyser;
2 halverwege de linkerzijde in de tank met een mobiele NH_4-sensor tussen de effluentgoten 1 en 2 (een buitenste en binnenste goot) in;
3 ongeveer in het midden van effluentgoot 4 (een buitenste goot nabij de wand met een mobiele NH_4-sensor.

Daarnaast zijn tijdens de eerste experimenten effluentmonsters genomen, die vervolgens zijn geanalyseerd in het laboratorium. Toen bleek dat de resultaten sterk overeenkwamen met die van de vaste analyser in de reactor, is deze bemonstering in de latere experimenten achterwege gelaten.

V-OVERLAAT BIJ RECIRCULATIE

AMMONIUMDOSERING IN RECIRCULATIELEIDING

TIJDELIJKE BLOKKERING VAN 2 EFFLUENTGOTEN

AFLEZING VAN OP DIEPTE GEHANGEN NH_4-SENSOR

5.3 EXPERIMENTEN ZONDER KORRELSLIB

5.3.1 INLEIDING

De metingen zonder korrelslib zijn uitgevoerd om een referentiesituatie te verkrijgen, om in een later stadium de invloed van korrelslib te kunnen bepalen. Omdat de metingen zijn uitgevoerd voordat de reactoren in bedrijf waren genomen, kon er geen gebruik worden gemaakt van ammonium in het influent als tracer voor de meting. Daarom is er gerecirculeerd over de effluentgoten en is een geconcentreerde ammoniumoplossing in het recirculatiewater gedoseerd (200 l/h, concentratie 135 gNH_4-N/l). De recirculatiepomp leverde hierbij een debiet van 1.200 m^3/h.

De volgende drie metingen zijn in augustus en september 2011 uitgevoerd:

1 Referentie met vier effluentgoten in bedrijf;
2 Situatie met twee effluentgoten in bedrijf;
3 Duplo meting van 1.

Gemeten is met twee NH_4-sensoren (Hach Lange) op twee verschillende locaties (A = centrum tank en B = nabij effluentgoot). Eerst is gemeten op 7 m onder de waterspiegel (2,25 m boven de bodem). Na circa 2 uur zijn de sensoren opgetrokken naar 3 m onder de waterspiegel. Uit de centrale effluentgoot zijn vlak voor de instroming naar de recirculatiepomp monsters genomen en in het laboratorium geanalyseerd. Daarnaast zijn gedurende het experiment van 17 augustus 2011 monsters genomen langs de effluentgoten om te bepalen of er ruimtelijke spreiding aanwezig was in de doorslag van de tracer. Een overzicht van de metingen is weergegeven in Tabel 9.

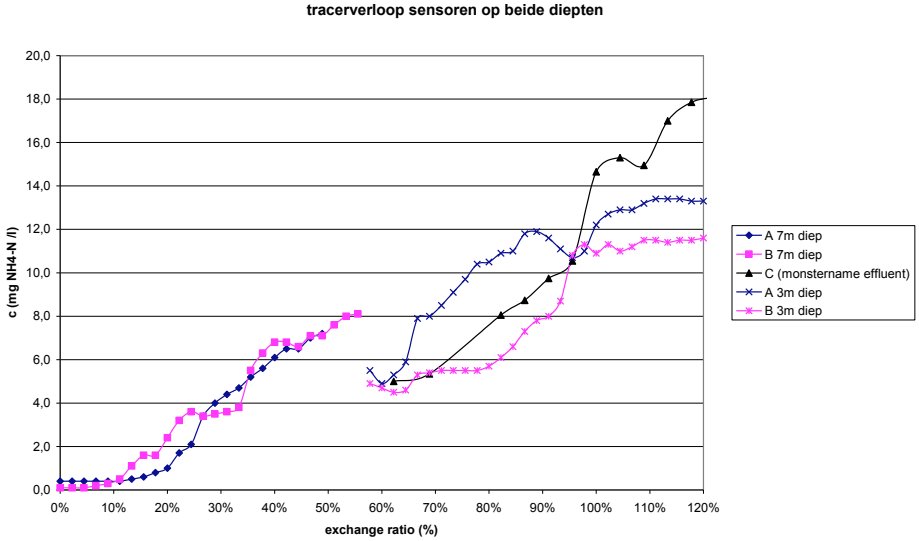
TABEL 9 OVERZICHT SCHOONWATERMETINGEN

Datum	Reactor	Influentpomp m^3/h	Recirculatiepomp m^3/h	Belasting m/h	Duur h	DS g/l
17 aug 2011	AT1601	0	1200 (4 goten)	2,44	4,5	-
19 aug 2011	AT1601	0	1200 (2 goten)	2,44	4,2	-
28 sep 2011	AT1601	0	1200 (4 goten)	2,44	4,0	-

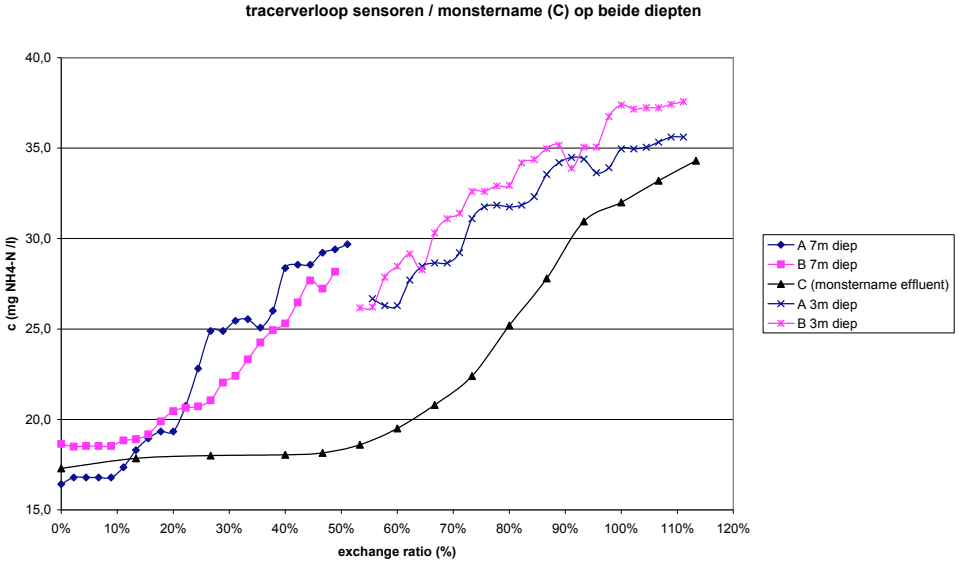
5.3.2 RESULTATEN

In Afbeelding 19 tot en met Afbeelding 21 zijn de resultaten van de metingen getoond. Op de x-as is de Exchange Ratio (= dimensieloze tijd) weergegeven en op de y-as de tracerconcentratie. De verschillende curves geven de metingen op verschillende diepte weer.

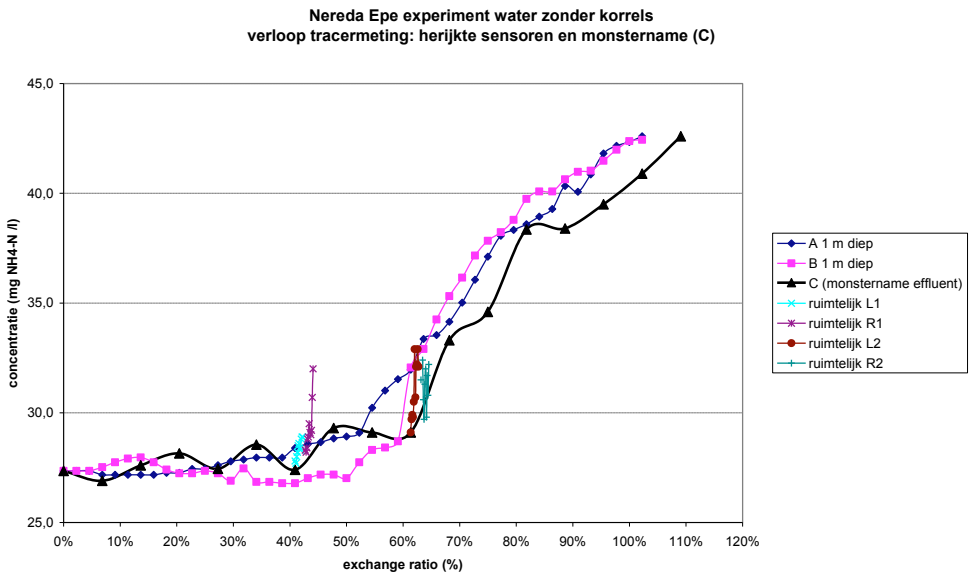
AFBEELDING 19 **SCHOON WATER ZONDER KORRELS EN ALLE 4 EFFLUENTGOTEN BIJ Q=1200 M³/H**



AFBEELDING 20 **SCHOON WATER ZONDER KORRELS EN DE 2 BUITENLIGGENDE EFFLUENTGOTEN BIJ Q=1200 M³/H**

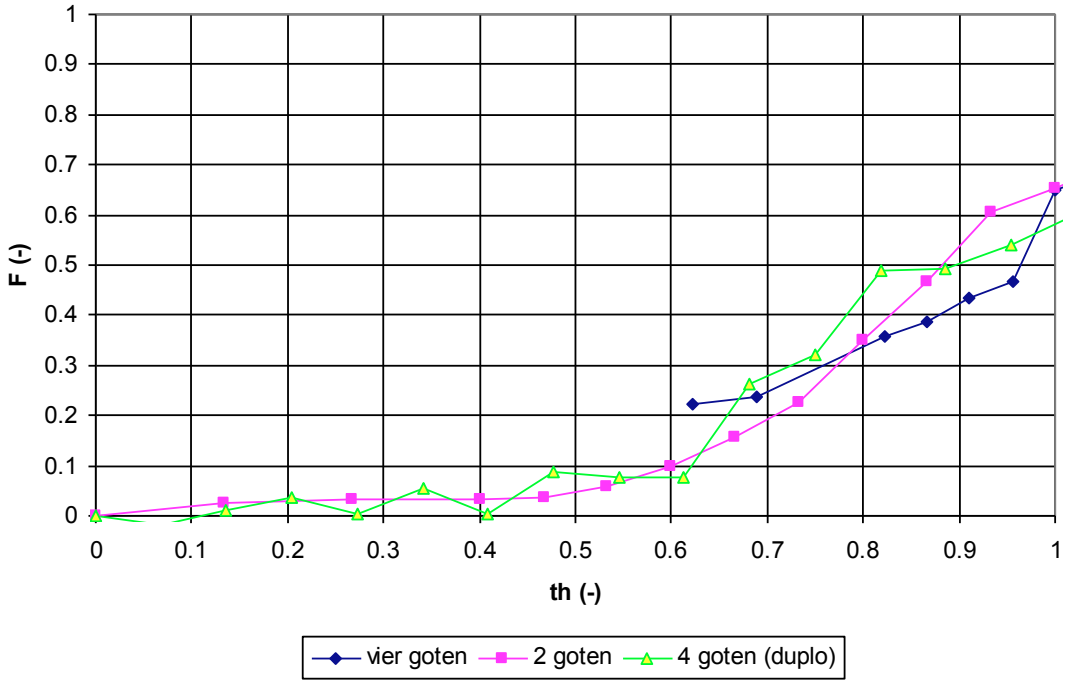


AFBEELDING 21 **SCHOON WATER ZONDER KORRELS EN ALLE 4 EFFLUENTGOTEN BIJ Q=1200 M³/H (DUPLO)**



De metingen laten allen een vergelijkbaar beeld zien. Dit is waar te nemen in Afbeelding 22, waarin de tracerconcentratie dimensieloos is gemaakt. Hierin is *F* de dimensieloze tracerconcentratie (concentratie gedeeld door de maximale concentratie) en th de dimensieloze tijd (tijd gedeeld door hydrauilsche verblijftijd, gelijk aan de Exchange Ratio).

AFBEELDING 22 DIMENSIELOZE DOORSLAGCURVE SCHOON WATER PROEVEN

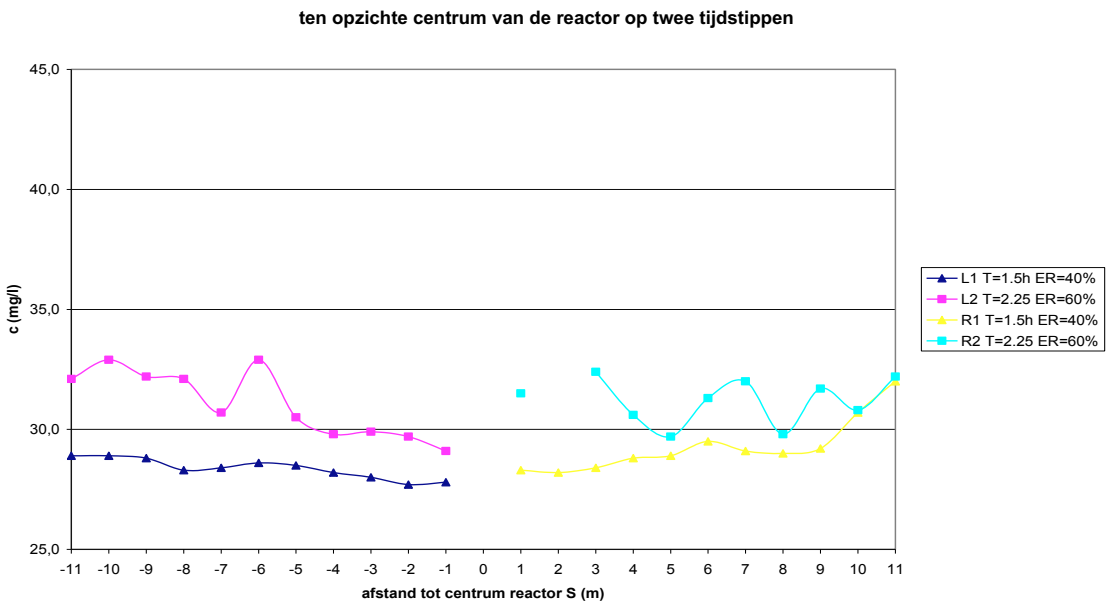


Doorslag vindt plaats bij een Exchange Ratio van ongeveer 50%. In het eerste experiment zijn de sensoren juist omhoog gehaald rondom dit punt, waardoor het doorslagmoment net is gemist. De duplo van deze meting laat een vergelijkbaar beeld zien.

De invloed van de effluentgoten lijkt in Epe beperkt te zijn. Het doorslagmoment is vergelijkbaar in de metingen met 4 goten en de metingen met 2 goten. In Afbeelding 23 is de ruimtelijke spreiding van de tracer rondom de effluentgoot weergegeven.

Er zijn op verschillende plekken langs de effluentgoten monsters genomen. Hierdoor kon bepaald worden of er grote verschillen zichtbaar zijn in de aanstroming naar de effluentgoot. Het ruimtelijke beeld is gemeten langs de goten waar er vanaf de brug een monster genomen kon worden ter plaatse van de driehoekige overstortpunten. De goot L is de tweede goot ligt links van de centrale verzamelgoot, de goot R is de derde goot rechts van de centrale verzamelgoot, beide gezien vanaf de entree aan de kant van de stuw en recirculatiepomp. Er is gemeten binnen circa 7 minuten in de volgorde L-1 tot L -11 en R-1 tot R-11.
Te zien is dat het beeld bij benadering uniform is rekeninghoudend met de meetnauwkeurigheid van circa 1 mg/l en het tijdsverloop. De afwijkende waarden 10 en 11 van meting R1 (gele lijn) duiden op een (tijdelijk) sterkere kortsluitstroming langs de wand van de tank.

AFBEELDING 23 RUIMTELIJKE SPREIDING TRACER



5.4 EXPERIMENTEN MET KORRELSILB

5.4.1 INLEIDING

Na opstart van de Nereda® reactoren zijn in februari en maart 2012 de experimenten met korrelslib uitgevoerd. Op deze manier kon een beeld worden verkregen van de invloed van korrelslib op het hydraulisch functioneren van de reactor.

Tijdens deze experimenten is opnieuw NH_4 als tracer gebruikt. Hierbij is in tegenstelling tot de schoonwatermetingen gebruik gemaakt van het NH_4 in het influent van de rwzi. De experimenten zijn uitgevoerd door zoveel mogelijk afvalwater te sparen. In het rioolstelsel van Epe is dit maar beperkt mogelijk. Hierom is er aanvullend gerecirculeerd om voldoende lang een maatgevende RWA-belasting te kunnen simuleren.
De eerste drie experimenten zijn uitgevoerd in reactor T1601 (links), het laatste experiment in reactor T1801 (rechts). Gemeten is met twee NH_4-sensoren (Hach-Lange) op twee verschillende locaties (A = centrum tank en B = nabij effluentgoot). Hierbij is op verschillende hoogtes in de tank gemeten. Een overzicht van de metingen is weergegeven in Tabel 10.

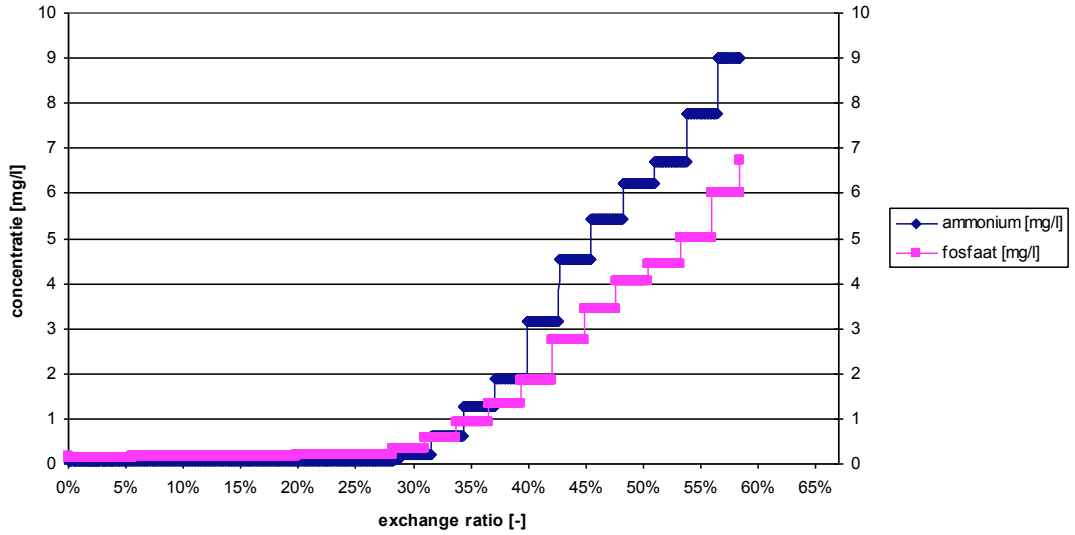
TABEL 10 OVERZICHT KORRELSLIBMETINGEN

Datum	Reactor	Influentpomp m^3/h	Recirculatie pomp m^3/h	Belasting m/h	Duur h	DS g/l
24 feb 2012	AT1601	500	1.000 (4 goten)	3,06	2,0	5,0
27 feb 2012	AT1601	500	700 (4 goten)	2,44	1,5	5,0
1 mrt 2012	AT1601	500	1.000 (4 goten)	3,06	2,0	5,0
1 mrt 2012	AT1801	500	1.000 (gat in wand)	3,06	2,0	5,4

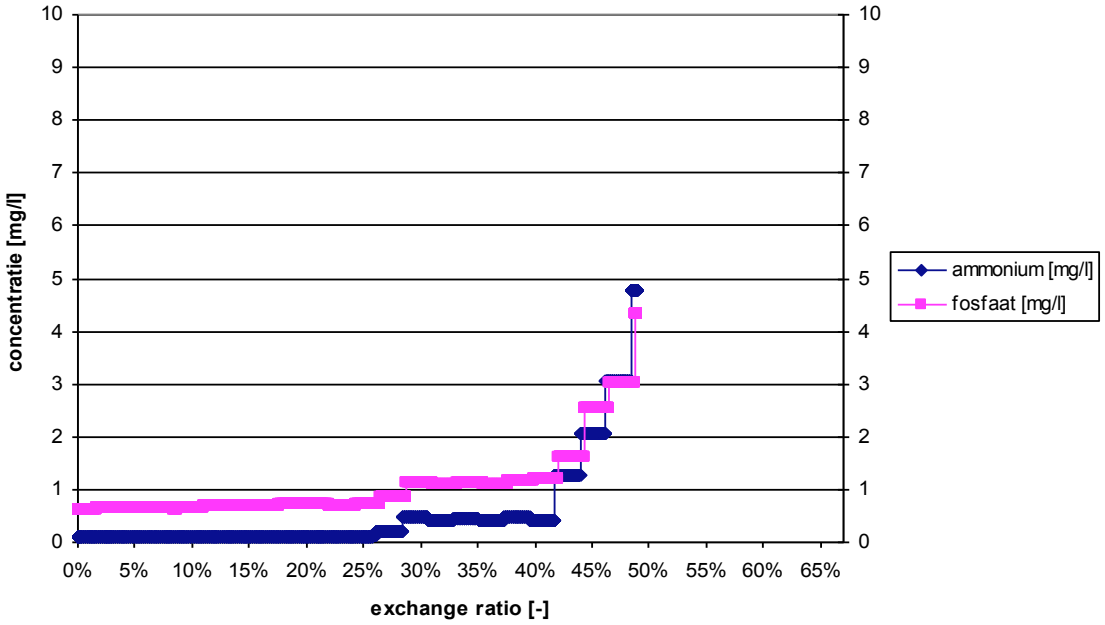
5.4.2 RESULTATEN

In volgende vier afbeeldingen worden de resultaten van de metingen getoond. Op de x-as is de Exchange Ratio weergegeven en op de y-as de tracerconcentratie. De verschillende curves geven de metingen op verschillende diepten weer. Met de Nereda® reactor in bedrijf kunnen doorslagcurves over een beperkter bereik gemeten worden (tot maximaal 60%) in verband met het waarborgen van de effluentkwaliteitseisen.

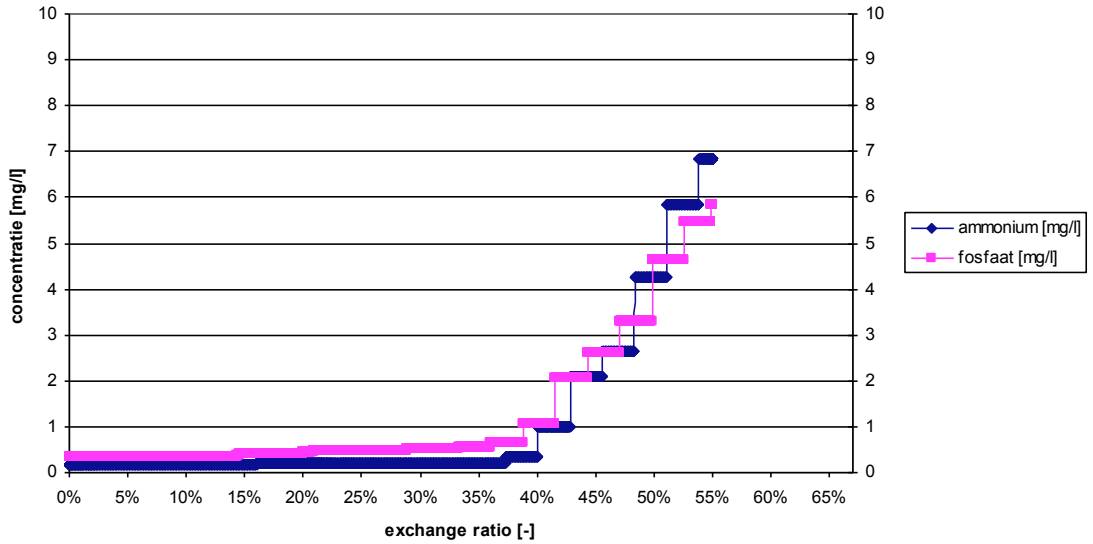
AFBEELDING 24 24 FEBRUARI 2012, AT1601, 500 M³/H, 1000 M³/H OVER DE GOOT



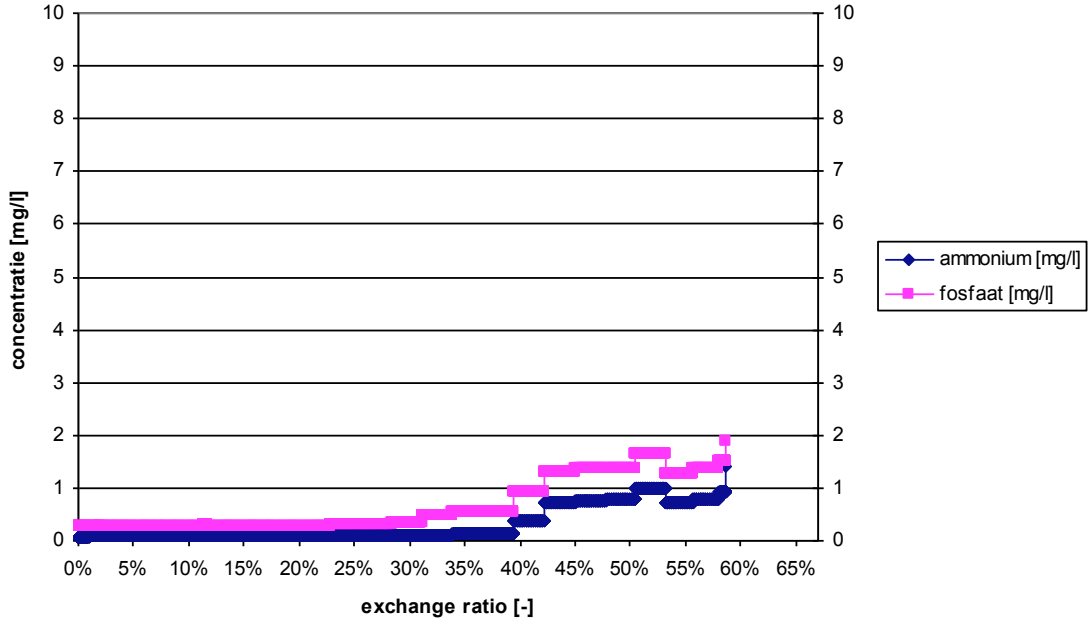
AFBEELDING 25 27 FEBRUARI 2012, AT1601, 500 M³/H, 700 M³/H OVER DE GOOT



AFBEELDING 26 1 MAART 2012, AT1601, 500 M³/H, 1000 M³/H OVER DE GOOT



AFBEELDING 27 1 MAART 2012, AT1801, 500 M³/H, 1000 M³/H DOOR GAT IN DE WAND



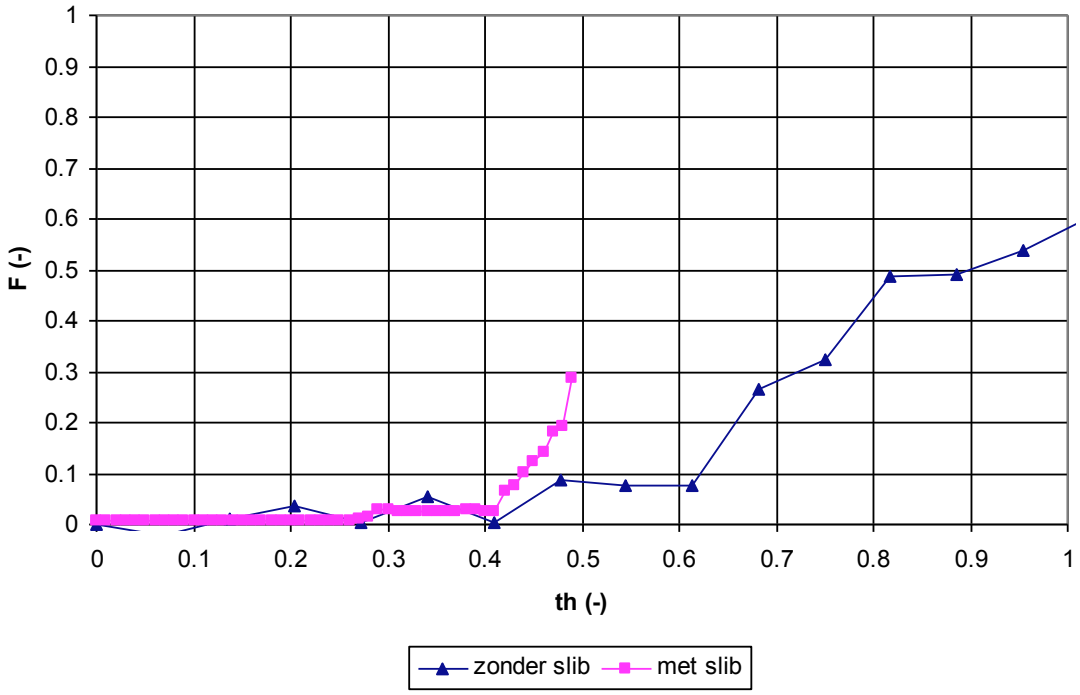
Het eerste experiment laat een afwijkend beeld zien ten opzichte van de andere drie experimenten. De Exchange Ratio waarbij in dit experiment doorslag plaatsvindt, is beduidend lager dan bij de andere experimenten. Het eerste experiment op 1 maart is een duplo van het experiment op 24 februari en ook hier zit een duidelijk verschil tussen. Klaarblijkelijk is er tijdens het experiment op 24 februari iets afwijkend geweest. Tabel 11 geeft een overzicht van de experimenten waarbij is aangegeven bij welke Exchange Ratio doorslag plaatsvond.

TABEL 11 - OVERZICHT EXCHANGE RATIO'S

Datum	Reactor	Influentpomp m³/h	Recirculatiepomp m³/h	Belasting m/h	Doorslag na circa m³	Exchange ratio %
24 feb 2012	AT1601	500	1000 (4 goten)	3,06	1500	33
27 feb 2012	AT1601	500	700 (4 gaten)	2,44	1900	42
1 mrt 2012	AT1601	500	1000 (4 goten)	3,06	1800	40
1 mrt 2012	AT1801	500	1000 (gat in wand)	3,06	1850	41

In vergelijking tot de schoonwaterexperimenten komt de doorslag eerder en sneller. In de schoonwater experimenten vindt doorslag plaats bij ongeveer 50%. In de experimenten met slib is dit bij circa 40% (zie Afbeelding 28). Verder valt op dat als er eenmaal doorslag plaatsvindt, in de situatie met korrelslib de concentraties veel sneller stijgen dan in de situatie zonder slib. Dit lijkt te duiden op een hogere mate van kortsluitstroming maar met een beter propstroomkarakter.

AFBEELDING 28 DIMENSIELOZE DOORSLAGCURVE MET EN ZONDER KORRELSLIB



5.5 TRENDANALYSE NEERSLAGGEBEURTENISSEN

5.5.1 INLEIDING

Voor de periode 10/2011 – 01/2012 is een trendanalyse uitgevoerd voor twee Nereda® reactoren (AT 1601 en AT 1701) in de opstartfase, waarbij het moment van doorslag is geanalyseerd bij RWA gebeurtenissen. Voor elke grote RWA gebeurtenis, als weergegeven in Tabel 12 is een analyse gemaakt. Het betreft grotendeels neerslaggebeurtenissen met dagsommen groter dan 20 mm.

TABEL 12 OVERZICHT TRENDANALYSES BIJ SIGNIFICANTE RWA GEBEURTENISSEN

ID gebeurtenis	reactor	datum	begintijdstip	duur	exchange ratio bij doorslag
1	1701	07-10-11	08:45	01:40	44%
2	1701	07-10-11	14:00	01:26	geen doorslag (niet verder dan 35% gevuld)
3	1701	07-10-11	19:18	01:35	35 - 45%
4	1701	08-10-11	00:25	01:50	geen doorslag (niet verder dan 35% gevuld)
5	1701	08-10-11	05:49	02:31	38 - 42%
6	**1701**	**11-10-11**	**22:20**	**02:04**	**35 - 40%**
7	**1701**	**01-12-11**	**20:51**	**01:35**	**40%**
8	1601	02-12-11	09:30	02:33	38 - 40%
9	1701	16-12-11	09:25	02:07	38 - 40%
10	1601	16-12-11	11:31	02:05	38 - 40%
11	**1701**	**16-12-11**	**15:00**	**02:06**	**40 - 45%**
12	1601	16-12-11	18:08	02:05	35 - 45%
13	1601	01-01-12	19:05	02:30	> 40%
14	1701	01-01-12	21:33	02:00	35 - 45%

De Exchange Ratio waarbij doorslag optreedt, bedraagt circa 40% met een relatief kleine variatie. De ammoniumconcentratie vertoont een vlak patroon met een geringe doorslag aan het einde van de batch. De fosfaatconcentratie vertoont iets meer variatie over de tijd. Dit is geen hydraulisch effect, maar een gevolg van biologische fosfaatafgifte.

De voedingsduur en de hoogte van het influentdebiet lijken geen invloed te hebben op het moment van doorslag (uitgedrukt in Exchange Ratio).

De temperatuurverschillen in de reactor gedurende het vullen zijn beperkt. Over het algemeen lijkt de temperatuur in de reactor tijdens het voeden te dalen. Dit betekent dat het influent kouder is dan het water in de reactor. In principe is dat gunstig, omdat het influent dan een hogere dichtheid heeft dan het water in de reactor.

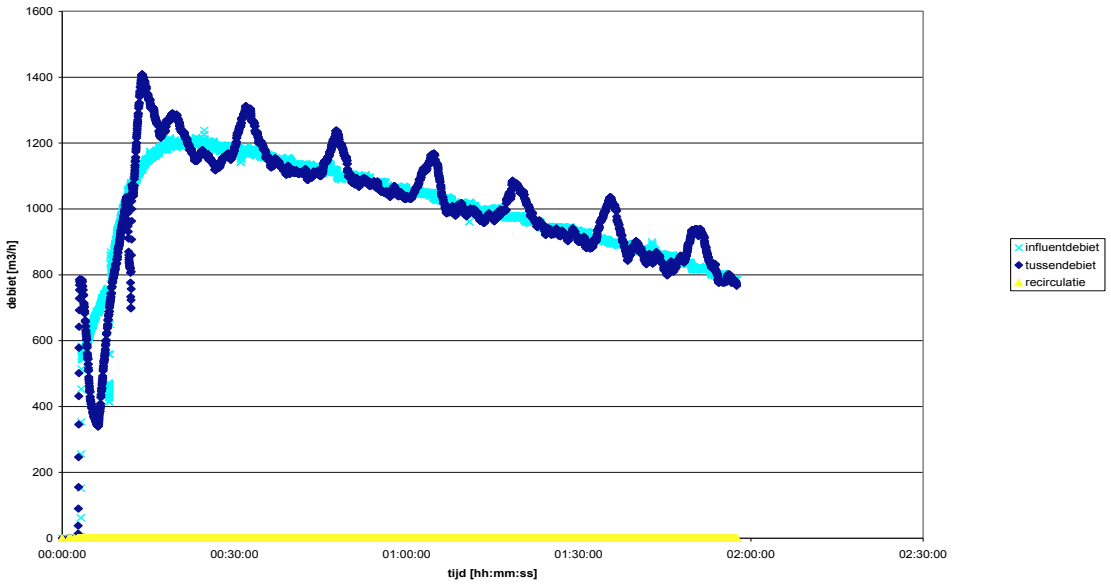
Voor een selectie van gebeurtenissen is in paragraaf 6.5.2 een uitwerking gegeven. Hiervoor zijn drie verschillende gebeurtenissen uit Tabel 12 (de vetgedrukte waarden) geselecteerd. Deze gebeurtenissen onderscheiden zich door het influentpatroon en de aanwezigheid van recirculatie. Voor elke gebeurtenis zijn twee typen grafieken weergeven. De eerste grafiek geeft het patroon van het influentdebiet (en eventueel ook het recirculatiedebiet) over de tijd weer. De tweede grafiek geeft de ammonium- en (ortho-) fosfaatconcentratie als functie van de Exchange Ratio weer.

5.5.2 GEBEURTENISSEN

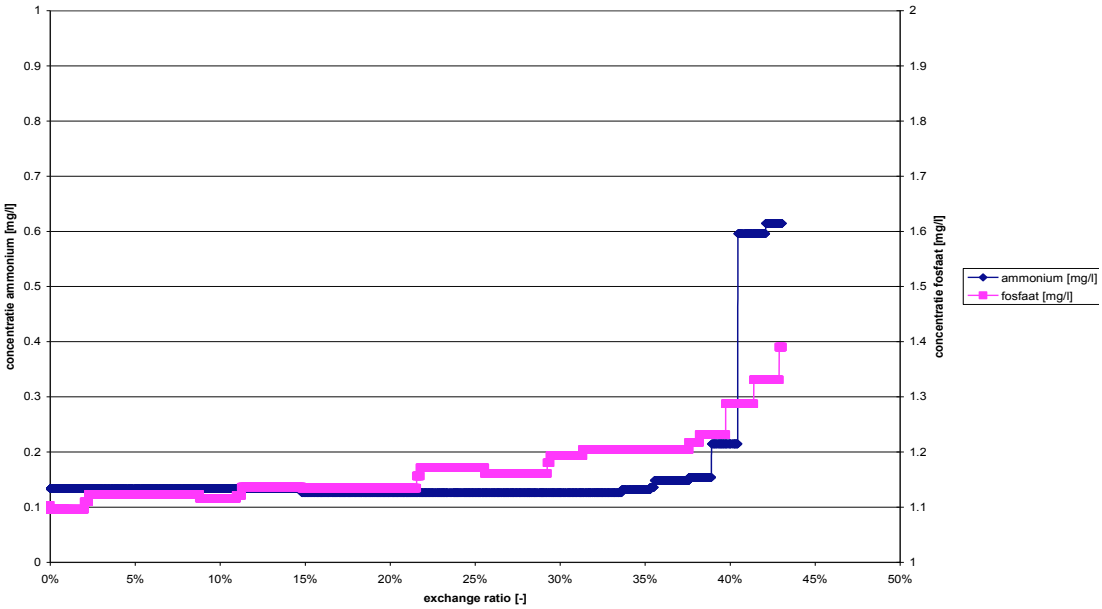
BESCHRIJVING GEBEURTENIS 6 (11-10-2011 22:20)

Gebeurtenis 6 kenmerkt zich door een vulfase met een tijdsduur van circa 2 uur en een gemiddeld debiet van 938 m^3/h. Het debiet neemt aanvankelijk snel toe tot ca. 1.200 m^3/h en neemt dan langzaam af tot 800 m^3/h naar het einde van de vulfase. In Afbeelding 29 is het verloop van het debiet weergegeven. De NH_4-concentratie begint lichte doorslag te vertonen bij 35 - 40% Exchange Ratio en net boven de 40% treedt echte doorslag op. Het verloop van de fosfaatconcentratie bevestigt deze analyse, hoewel er sprake is van enige fosfaatafgifte gedurende de vulfase. In Afbeelding 30 is het verloop van de concentraties weergegeven.

AFBEELDING 29 INFLUENTDEBIET TUSSENGEMAAL EN RECIRCULATIE ALS FUNCTIE VAN DE TIJD BIJ GEBEURTENIS 6



AFBEELDING 30 DE NH_4- EN PO_4-CONCENTRATIE ALS FUNCTIE VAN EXCHANGE RATIO BIJ GEBEURTENIS 6

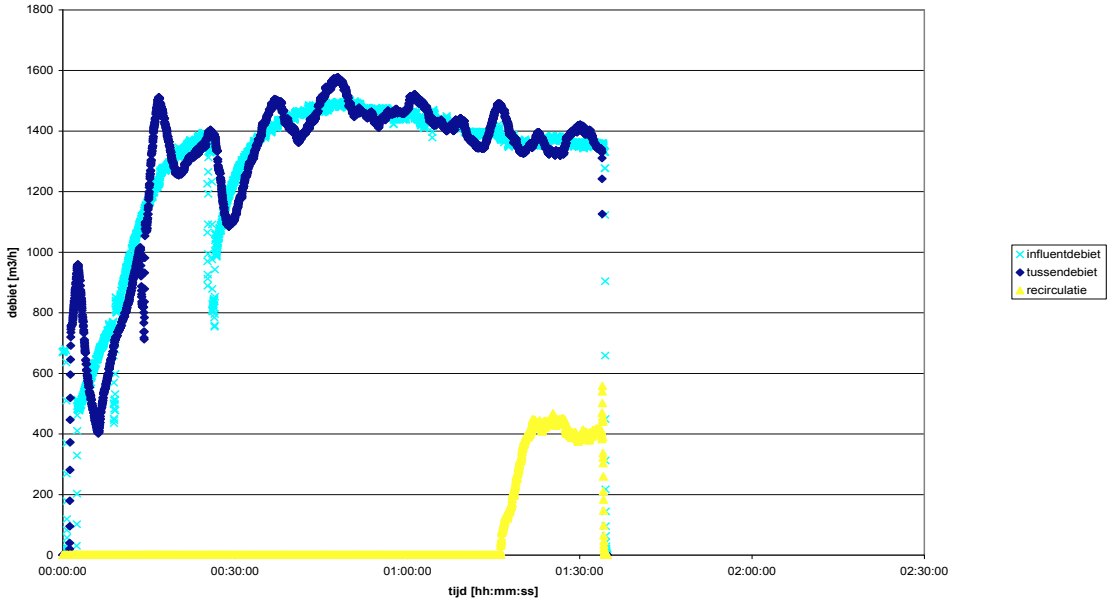


BESCHRIJVING GEBEURTENIS 7 (01-12-2011 20:51)

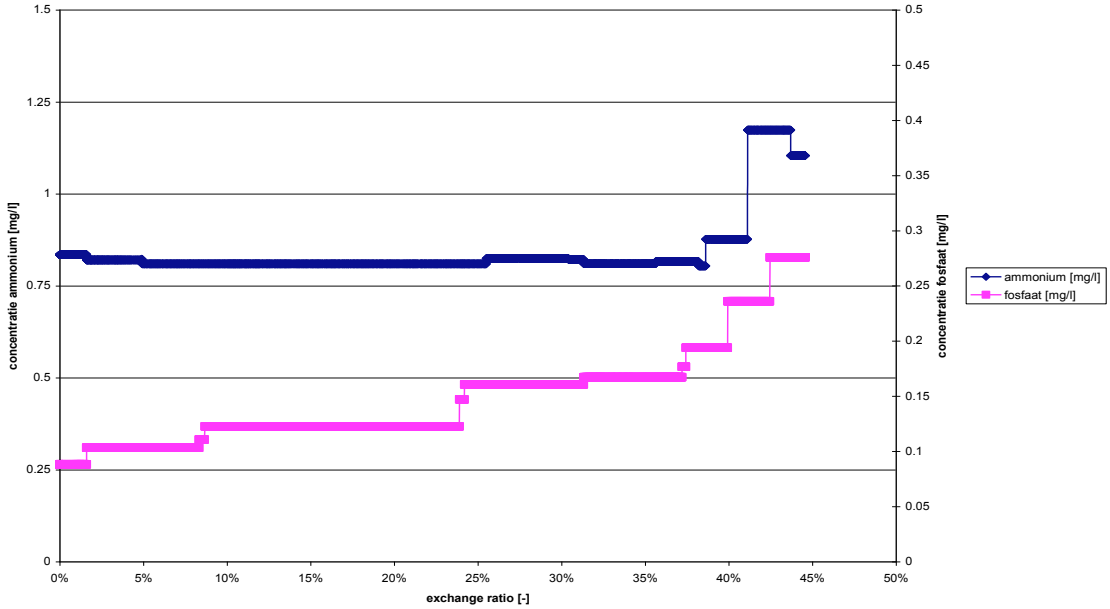
Gebeurtenis 7 kenmerkt zich door een vulfase van circa 1,5 uur en een gemiddeld debiet van 1.266 m^3/h. Het debiet fluctueert een groot deel van de tijd rond de 1400 m^3/h. Ongeveer één uur en een kwartier na het begin van de vulfase wordt een recirculatie ingezet met een debiet van circa 400 m^3/h. In Afbeelding 31 is het verloop van het debiet weergegeven.

De ammoniumconcentratie begint doorslag te vertonen bij 40% Exchange Ratio. De fosfaatconcentratie geeft een iets minder duidelijk beeld vanwege enige fosfaatafgifte. In Afbeelding 32 is het verloop van de concentraties weergegeven.

AFBEELDING 31 INFLUENTDEBIET TUSSENGEMAAL EN RECIRCULATIE ALS FUNCTIE VAN DE TIJD BIJ GEBEURTENIS 7



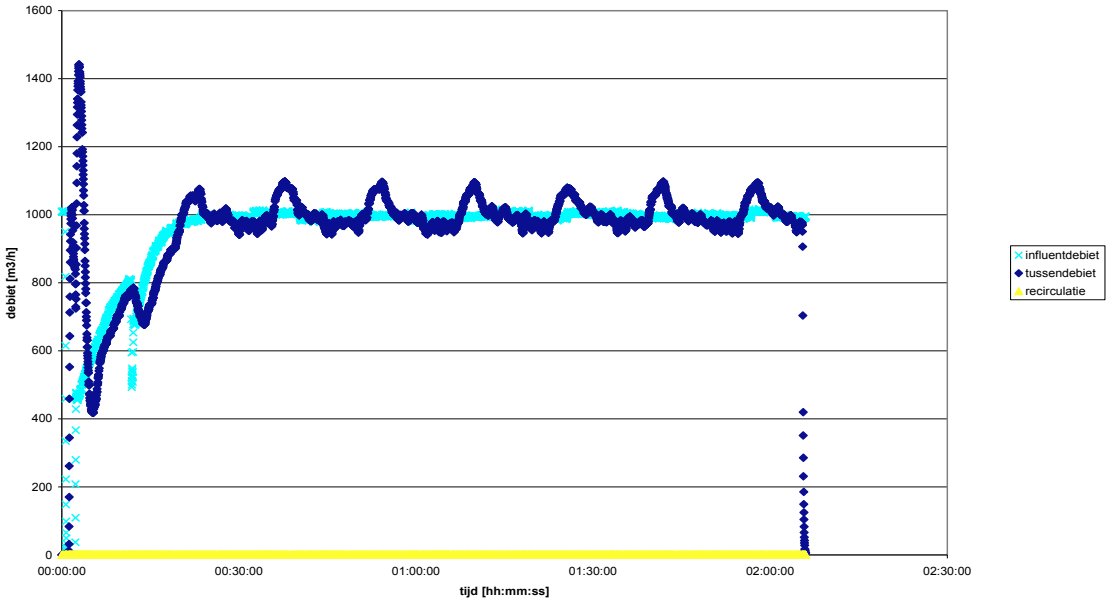
AFBEELDING 32 DE NH_4- EN PO_4-CONCENTRATIE ALS FUNCTIE VAN EXCHANGE RATIO BIJ GEBEURTENIS 7



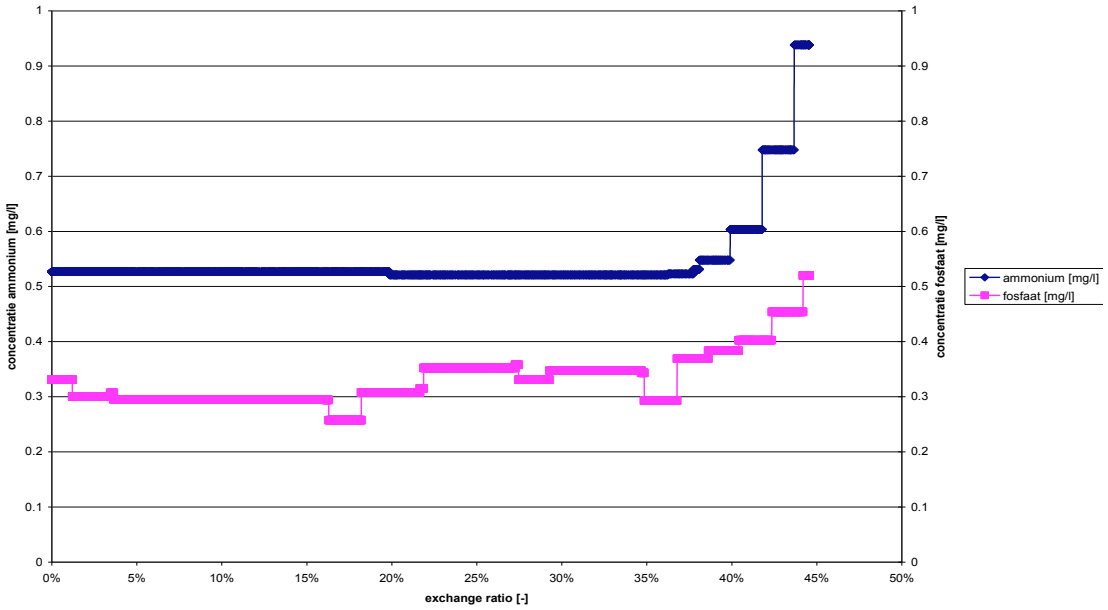
BESCHRIJVING GEBEURTENIS 11 (16-12-2011 15:00)

Gebeurtenis 11 kenmerkt zich door een vulfase met een tijdsduur van circa twee uur en een gemiddeld debiet van 954 m^3/h. Het debiet vertoont eerst enkele schommelingen en fluctueert vervolgens een groot deel van tijd rond 1000 m^3/h.

AFBEELDING 33 INFLUENTDEBIET TUSSENGEMAAL EN RECIRCULATIE ALS FUNCTIE VAN TIJD BIJ GEBEURTENIS 11



AFBEELDING 34 DE NH_4- EN PO_4-CONCENTRATIE ALS FUNCTIE VAN EXCHANGE RATIO BIJ GEBEURTENIS 11



In Afbeelding 33 is het verloop van het debiet weergegeven. De ammoniumconcentratie begint lichte doorslag te vertonen bij 38 - 40% Exchange Ratio en bij 40% treedt echt doorslag op. Het verloop van de fosfaatconcentratie bevestigt deze analyse, hoewel er sprake is van enige fosfaatafgifte gedurende de vulfase. In Afbeelding 34 is het verloop van de concentraties weergegeven.

RESUMÉ

Bij de trendanalyse van de RWA gebeurtenissen wordt gevuld tot circa 45% en treedt de doorslag op bij circa 40%. De wijze van vullen, d.w.z. de vultijd en het debiet lijken bij gelijk vulvolume geen directe invloed te hebben op het moment van doorslag.

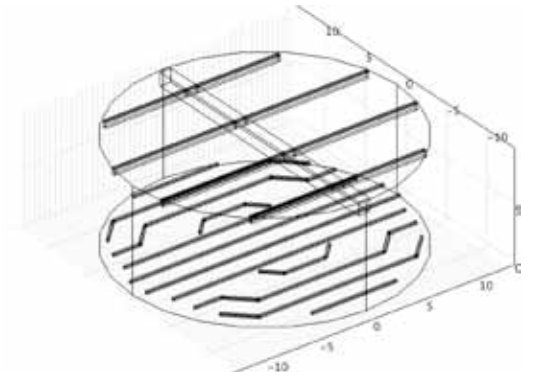
5.6 3-D MODELLERING

5.6.1 INLEIDING

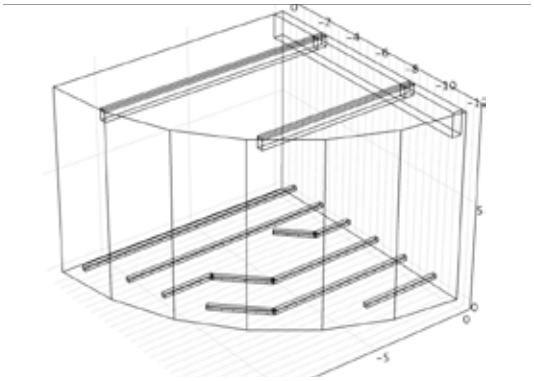
De meetresultaten waren aanleiding om een CFD (Computational Fluid Dynamics) model van de Nereda® reactor van Epe te maken om inzicht te verkrijgen in de stroming in de reactor. Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het COMSOL CFD pakket en het meest geëigende stromingsmodel (*k-epsilon* turbulentiemodel). Doel van de berekening was om een beter te begrip te krijgen op welke manier de Exchange Ratio tot stand komt en om inzicht te krijgen in eventuele optimalisaties c.q. mogelijkheden tot verhoging van de Exchange Ratio.

Afbeelding 35 (links) toont de layout van de reactor van Epe in het CFD model. Gezien de symmetrie in de reactor is een kwart hiervan geschematiseerd en doorgerekend (rechts).

AFBEELDING 35 LAY-OUT NEREDA® REACTOR EPE



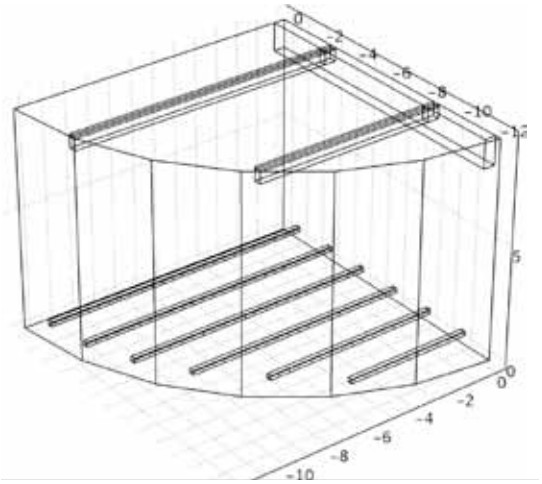
LAY-OUT REACTOR EPE



LAY-OUT UITSNEDE REACTOR EPE

Gezien het vermoeden dat de layout van het influentverdeelsysteem mogelijk tot een verbetering van de maximale Exchange Ratio kan leiden, is hiervan een alternatief bestudeerd. In dit alternatief zijn de mengers uit de reactor verwijderd en zijn de influentleidingen recht getrokken om een meer gelijkmatige (geometrische) verdeling te krijgen – zie Afbeelding 36.

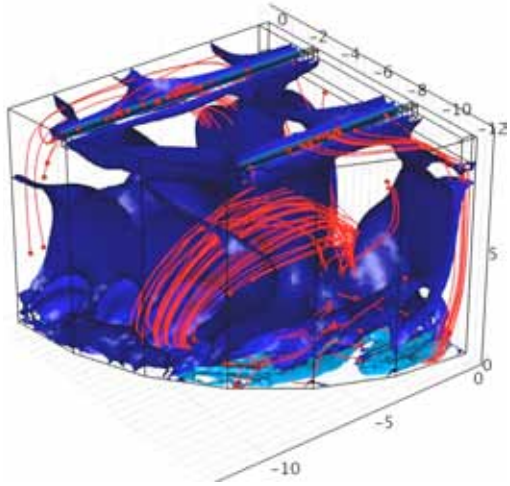
AFBEELDING 36 LAY-OUT UITSNEDE NEREDA® REACTOR EPE (AANGEPAST)



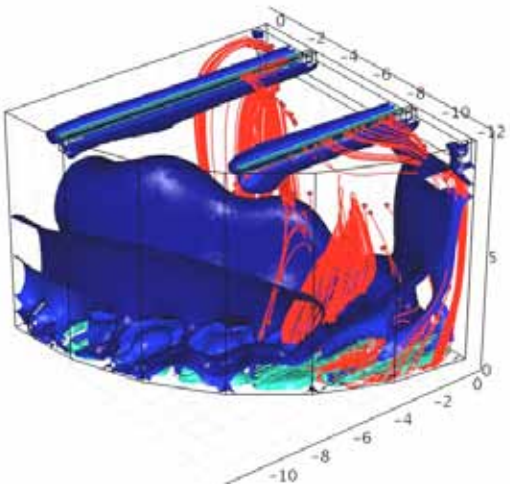
5.6.2 RESULTATEN

De volgende afbeeldingen laten de resultaten van de CFD berekeningen zien. Het linker beeld toont de bestaande geometrie en het rechter beeld de aangepaste regelmatige geometrie. Het blauwe vlak laat een isosurface zien van het snelheidsveld. De rode lijnen tonen het traject dat een tracer aflegt, losgelaten vanaf de instroompunten.

AFBEELDING 37 STROMINGPATROON EN TRACER IN DE BESTAANDE GEOMETRIE

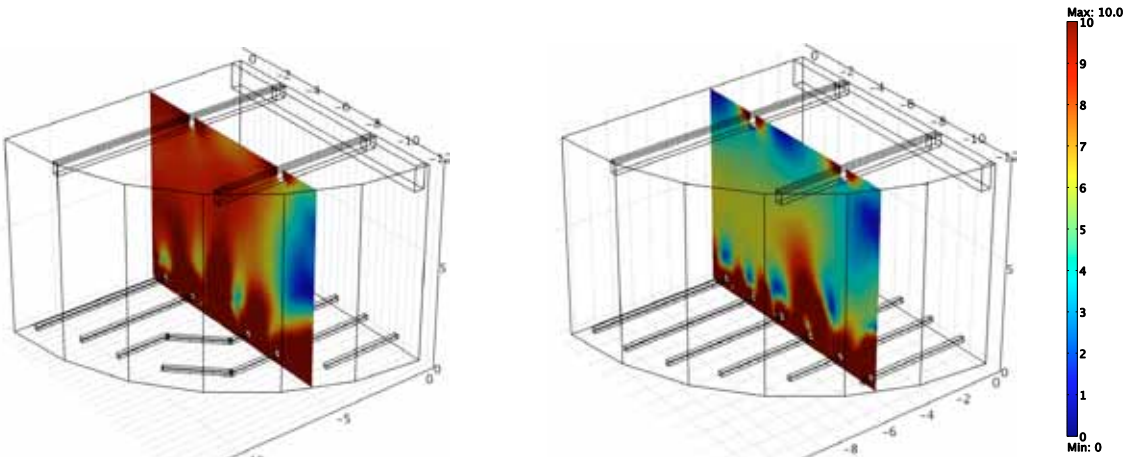


AFBEELDING 38 STROMINGPATROON EN TRACER IN DE AANGEPASTE GEOMETRIE



Afbeelding 39 en Afbeelding 40 laten voor dezelfde situaties doorsnedes van het snelheidsveld zien. Beide afbeeldingen tonen dat het stromingspatroon in de bestaande situatie een stuk turbulenter is dan in de (virtuele) aangepaste situatie. Met behulp van de tracer kan het effect op de maximale Exchange Ratio worden vastgesteld. In het model van de bestaande situatie treedt doorslag op vanaf 40% Exchange Ratio en in de aangepaste situatie vindt doorslag plaats bij ongeveer 50% Exchange Ratio.

AFBEELDING 39 SNELHEIDSVELD (M/H) IN DE BESTAANDE GEOMETRIE AFBEELDING 40 SNELHEIDSVELD (M/H) IN DE AANGEPASTE GEOMETRIE



Het lijkt erop dat de asymmetrie in het influentverdeelsysteem leidt tot turbulente wervelingen, die in de aangepaste situatie achterwege blijven. Hierdoor heeft de reactor een beter propstroomgedrag en vindt er doorslag van influent plaats bij een significant hogere Exchange Ratio.

5.7 CONCLUSIES

De hydraulische metingen hebben een schat aan informatie opgeleverd en hebben aangetoond dat de reactoren van Epe voldoen aan de hydraulische eisen die in het ontwerp gesteld zijn. De maximale Exchange Ratio bedraagt 40 - 45%. Ten aanzien van de geformuleerde meetdoelen zijn de onderstaande conclusies geformuleerd.

1 **aantal effluentgoten:** er is op Epe geen significant verschil gevonden tussen de situatie met 2 goten en de situatie met 4 goten in bedrijf. Er is geen verschil in het moment van doorslag waargenomen. Dit wil niet zeggen dat het aantal goten geen invloed heeft op de maximale Exchange Ratio. Echter in dit geval heeft een aantal andere effecten (met name de onregelmatigheden in het influentverdeelsysteem) een veel sterkere invloed op het stromingpatroon. De reactoren zijn al in enige mate gemengd, waardoor (extra) dode zones of kortsluitstromen door het aantal effluentgoten niet meer optreden.

2 **de oppervlaktebelasting:** er is op Epe geen significant effect gemeten van de hoogte van de oppervlaktebelasting. Uit de trendanalyses is gebleken dat de hoogte van het debiet en het influentpatroon geen systematisch effect hebben op de maximaal bereikbare Exchange Ratio. De maximum waarde ligt structureel tussen de 40% en 45%. Dit is onafhankelijk van de snelheid waarmee de Exchange Ratio wordt opgevuld. Dus snel voeden gedurende een korte tijd of langzaam voeden gedurende een langere tijd, leidt tot dezelfde maximaal bereikbare Exchange Ratio. Wel moet worden opgemerkt dat meer extreme situaties nog nader moeten worden onderzocht.

3 **aanwezigheid van korrelslib:** uit de metingen op Epe is gebleken dat de aanwezigheid van circa 5 g/l korrelslib een verlaging van de maximale Exchange Ratio van ongeveer 10% (absoluut) oplevert. Als er eenmaal sprake is van doorslag, stijgen de concentraties sneller dan in de situatie zonder slibbed. Vermoed wordt dat er sprake is van een versterkte kortsluitstroming van het influentverdeelsysteem naar de effluentgoot. Ook de CFD berekeningen wijzen in deze richting. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de onregelmatigheden in het influentverdeelsysteem van de rwzi Epe. Verwacht wordt dat dit effect aanzienlijk kleiner wordt, als het influentverdeelsysteem 'rechtgetrokken' wordt.
Opgemerkt moet worden dat de experimenten zijn uitgevoerd met 'jong' korrelslib. De korrels waren nog klein en in ontwikkeling. De effecten bij 'volwassen' korrelslib kunnen nog afwijken van wat nu is gemeten.

4 **invloed recirculatie:** recirculatie over de effluentgoten laat in vergelijking tot recirculatie via een gat in de wand op Epe geen wezenlijk verschil zien met betrekking tot de maximale Exchange Ratio. Recirculatie door het gat in de wand is in theorie nadelig voor het moment van doorslag ten gevolge van 'pluimvorming'. Dat er in dit specifieke geval geen verschil is gemeten, heeft mogelijk te maken met het feit dat in de situatie met recirculatie over de goot, de oppervlaktebelasting over de hele reactor is opgelegd. Dit in tegenstelling tot de situatie met recirculatie over het gat in de wand, waarbij de oppervlaktebelasting tussen het gat in de wand en de waterspiegel aanzienlijk lager is met alleen het netto debiet (zonder recirculatie). Nader onderzoek dient hiernaar nog plaats te vinden.

5 **kleine verstoringen** kunnen volgens de uitkomsten van de CFD-modellering destabilisatie van de hydraulische stroming veroorzaken. Turbulente wervelingen kunnen leiden tot menging in de reactor, wat leidt tot een verlaging van de maximale Exchange Ratio. In het proces van opschaling is een kritische grens van het Reynolds getal overschreden. De Nereda® reactor van Epe bevindt zich in het laag turbulente gebied. Dit hoeft overigens geen probleem te zijn, maar er moet wel worden gelet op mogelijke verstoringen. Tenslotte hebben de effluentgoten mogelijk een stabiliserende werking.

6

PRAKTIJKONDERZOEK ENERGIEVERBRUIK

6.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Eén van de kenmerken van de Nereda® technologie is een lager energieverbruik t.o.v. CAS. Theoretische berekeningen en oriënterende metingen op pilotschaal hebben dit laten zien. Dit moet op praktijkschaal echter ook worden aangetoond. Een belangrijk aspect hierbij is de α-factor waarvoor tot op heden een ontwerpwaarde van 0,7 is aangehouden. In dit onderzoek is uitgebreid aandacht besteed aan zuurstofoverdrachtsmetingen en α-factormetingen op pilot- en praktijkschaal. Hiertoe is een groot aantal OC-metingen op zowel de praktijk- als pilotinstallatie van Epe uitgevoerd. Op pilotschaal zijn met diverse slibsoorten metingen uitgevoerd om verschillen tussen aëroob korrelslib en actiefslib te kunnen vaststellen.

Verder is gekeken naar het totale energieverbruik van de Nereda® installatie op Epe en een vergelijking gemaakt met het energieverbruik van moderne actiefslibsystemen in Nederland. Van de rwzi Epe is hiertoe een energiebalans opgesteld, die bovendien goed inzicht geeft in het energieverbruik van de waterlijn, sliblijn en overige belangrijke verbruikers.
De evaluatie van de energiehuishouding heeft plaatsgevonden aan de hand van beschikbare kWh-metingen en metingen van amperages. Mede aan de hand van deze gegevens is het energieverbruik van de rwzi Epe geoptimaliseerd.

6.2 OC-METINGEN

6.2.1 PRAKTIJKINSTALLATIE

Op 8 en 14 juni 2011 zijn op praktijkschaal OC-metingen uitgevoerd op de rwzi Epe. Hierbij is Nereda® reactor AT1601 gevuld met effluent van de oude rwzi Epe. Bij de opzet van de metingen zijn de volgende aspecten van belang:

- De toegepaste methode is de adsorptiemeting in reinwater. Deze methode wordt vaak toegepast en is uitgebreid beschreven in de Duitse richtlijn DWA-M 209;
- Voor de uitwerking van de resultaten is gebruik gemaakt van de rekentools uit het STOWA project “Handreiking OC-meting in de praktijk (STOWA 2009-15 en STOWA 2009-W-05). Dit rapport en de bijbehorende tool zijn geënt op het Duitse merkblatt (zie eerste bolletje);
- De metingen zijn uitgevoerd bij 25%, 50%, 75% en 100% van de maximale beluchtingscapaciteit;
- Er zijn in totaal zeven metingen uitgevoerd, waarvan één bij 25%, 50% en 75% en vier bij 100%. Bij de meeste metingen zijn vijf zuurstofcurves gemeten, waarbij de O_2-sensor van de rwzi en vier extra O_2-sensors zijn gebruikt. Bij twee van de 100% metingen is alleen de O_2-sensor van de rwzi gebruikt;
- Het beluchtingsdebiet is vastgesteld door Atlas Copco op basis van de gemeten procesgegevens (o.a. temperatuur, luchtdruk, luchtvochtigheid);
- De α-factor van het medium is gemeten in de pilot-installatie (volume 1.500 liter).

α-FACTOR METINGEN

De α-factor van het medium (effluent oude rwzi Epe) is gemeten bij verschillende beluchtingscapaciteiten van 35 tot 100%. De gemeten α-factor varieert van 0,96 tot 1,00 (zie Tabel 13). In de uitwerking van de OC is uitgegaan van een α-factor van 0,97.

TABEL 13 RESULTATEN α-FACTORMETINGEN

Beluchting	Aantal metingen		K_La 20° (h^{-1})		α-factor
	Reinwater	Effluent	Reinwater	Effluent	
35%	1	1	10,51	10,08	0,96
50%	3	3	14,80 ± 0,22	14,90 ± 1,31	1,00
75%	2	1	22,68 ± 0,32	21,96	0,97
100%	2	3	25,87 ± 0,27	25,73 ± 0,68	0,99

OC-METINGEN

De resultaten van de 7 OC-metingen op praktijkschaal zijn samengevat weergegeven in Tabel 14. In Afbeelding 41 zijn de resultaten van de OC-metingen vergeleken met de gegarandeerde waarden. Hierbij is de specifieke zuurstofinbreng in g O_2/(Nm^3.m) bij verschillende beluchtingscapaciteiten getoond.

Opvallend is dat de meting bij 50% beluchtingscapaciteit sterk afwijkt van de overige metingen. De specifieke inbreng bij 50% beluchting is circa 20% lager dan op basis van de andere metingen zou mogen worden verwacht. De oorzaak van deze afwijking is onbekend. Hierbij zijn de volgende aspecten al in ogenschouw genomen:

- De 5 zuurstofcurves vertonen allen een gelijk verloop en eenzelfde OC-waarde (188,8 ± 4,1 kg O_2/h). Bovendien komt de vorm van elke curve goed overeen met die van een volledig gemengde tank. Op grond daarvan lijkt de meting goed te zijn uitgevoerd;
- De 50% meting was de eerste meting in de reeks. Ongeveer 1 uur vóór de meting is kobalt in de tank gedoseerd. Mogelijk was de menging van het kobalt onvoldoende en heeft dit de toename van de zuurstofconcentratie tijdens de meting beïnvloed.

Met uitzondering van de 50% meting, vertonen de metingen een patroon dat zou mogen worden verwacht. Hierbij leidt een verdubbeling van de belasting tot een afname van de specifieke zuurstofinbreng van 20-25%. In de gegarandeerde waarden van de rwzi Epe is uitgegaan van een daling die nadrukkelijk minder sterk is.

TABEL 14 RESULTATEN OC-METINGEN RWZI EPE

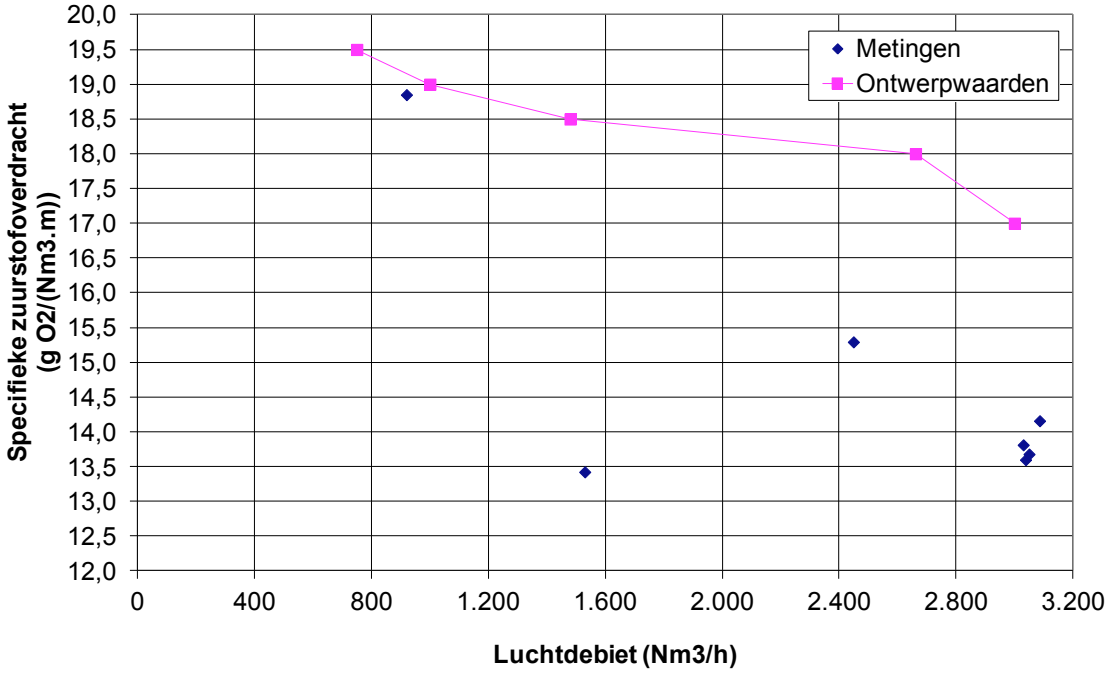
Meting		Datum	Tijdstip	Luchtdebiet	Vermogen	OC_{20}	Specifieke zuurstofinbreng	
	%			Nm^3/h	kW	kg O_2/h	g O_2/ (Nm^3.m)	kg O_2/kWh
1	50	8/6/2011	11:05	1.530	53,4	188,8	13,4	3,54
2	100	8/6/2011	13:40	3.050	108,5	384,0	13,7	3,54
3[1)]	100	8/6/2011	15:40	3.038	108,4	380,2	13,6	3,51
4[1)]	100	8/6/2011	18:30	3.030	108,4	385,2	13,8	3,55
5	100	14/6/2011	09:30	3.086	108,8	403,1	14,2	3,71
6	75	14/6/2011	11:30	2.449	88,0	345,9	15,3	3,93
7	25	15/6/2011	08:45	920	33,3	160,2	18,8	4,81

1) Meting is met één zuurstofsonde uitgevoerd

De gemeten zuurstofinbreng wijkt af van de garantiewaarden. Voor de vergelijking van de meet- en garantiewaarden kan het best de specifieke zuurstofinbreng in gO_2/(Nm^3.m)) worden gebruikt. In deze waarde zijn verschillen in de beluchtingscapaciteit en het waterniveau ver-

disconteerd. Op basis van deze waarde kan worden gesteld dat de zuurstofinbreng bij maximale beluchting niet 17,0 maar 13,9 $gO_2/(Nm^3.h)$ bedraagt. De maximale zuurstofinbreng is daarmee 18% lager dan volgens het ontwerp. Bij een lage beluchtingscapaciteit (25%) komt de meetwaarde wel goed overeen met de garantiewaarde.

AFBEELDING 41 RESULTATEN VAN DE OC-METINGEN OP DE RWZI EPE



6.2.2 METINGEN PILOTINSTALLATIE

In de Nereda® pilotinstallatie op de rwzi Epe is een groot aantal α-factor metingen met verschillende slibsoorten uitgevoerd. De volgende testmedia zijn gekozen:

- Aëroob korrelslib afkomstig van de pilotinstallatie (van hoge naar lage concentratie);
- Schoon water (drinkwater);
- Actief slib rwzi Apeldoorn;
- MBR slib rwzi Varsseveld.

UITVOERING METINGEN

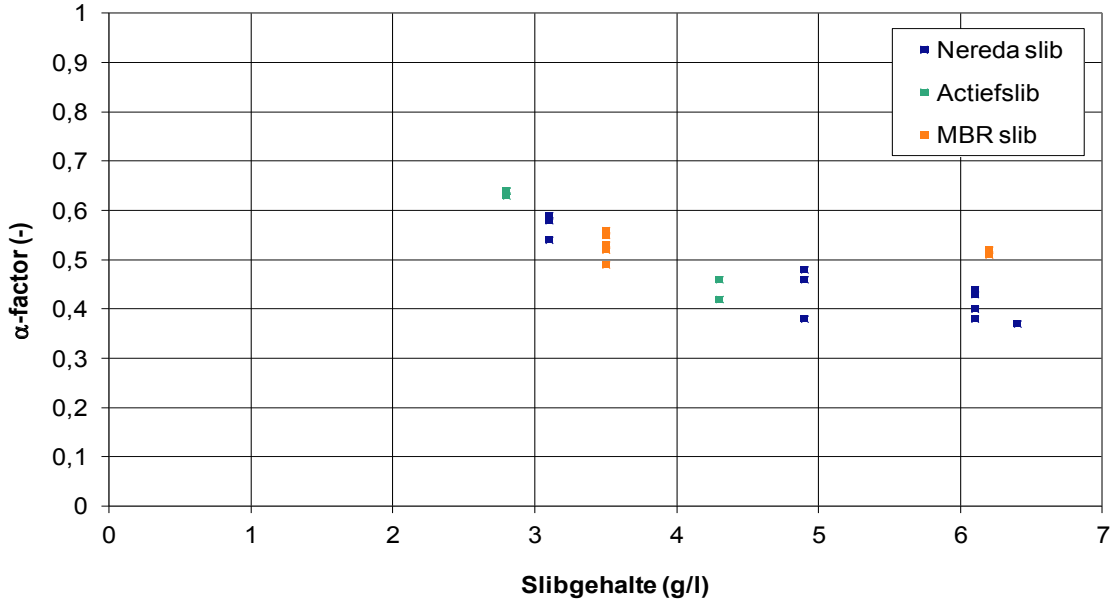
Na het bereiken van zuurstofloosheid in de reactor van de pilotinstallatie wordt tot aan het verzadigingspunt de toename van de zuurstofconcentratie geregistreerd. Zuurstofloosheid in schoon water is bewerkstelligd door dosering van een sulfietoplossing. Bij de meting in slib is zuurstofloosheid bereikt door voorafgaand aan de metingen intern te recirculeren. De zuurstofoverdrachtsmetingen zijn bij de beluchtingscapaciteiten van 35, 50, 75 en 100% uitgevoerd. Voor de uitwerking van de gegevens is evenals bij de metingen op de praktijksinstallatie gebruik gemaakt van de door STOWA ontwikkelde rekentool uit 2009. Verder is geen correctie uitgevoerd op de α-factor voor luchtdruk en luchtvochtigheid. Er is wel gecorrigeerd voor temperatuur en voor de waterhoogte in de reactor.

RESULTATEN

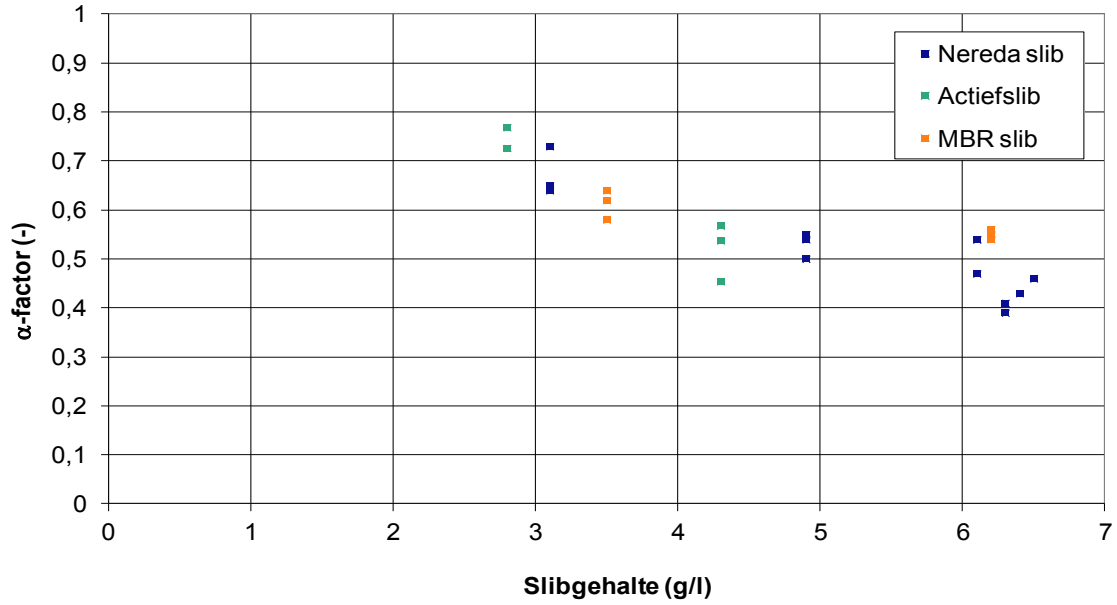
In Afbeelding 42 t/m 45 zijn de resultaten voor alle α-factoren voor de vier beluchtingscapaciteiten en de drie slibsoorten op een rijtje gezet. Uit de afbeeldingen blijkt dat de α-factoren van de drie slibsoorten vergelijkbaar zijn, met wat lagere resultaten bij 35% en minimaal

hogere resultaten bij 100% beluchtingscapaciteit ten opzichte van de resultaten bij 50% en 75%. Opvallend is de grote spreiding in de resultaten van de verschillende metingen, waarbij de spreiding bij de metingen in korrelslib het grootst zijn.

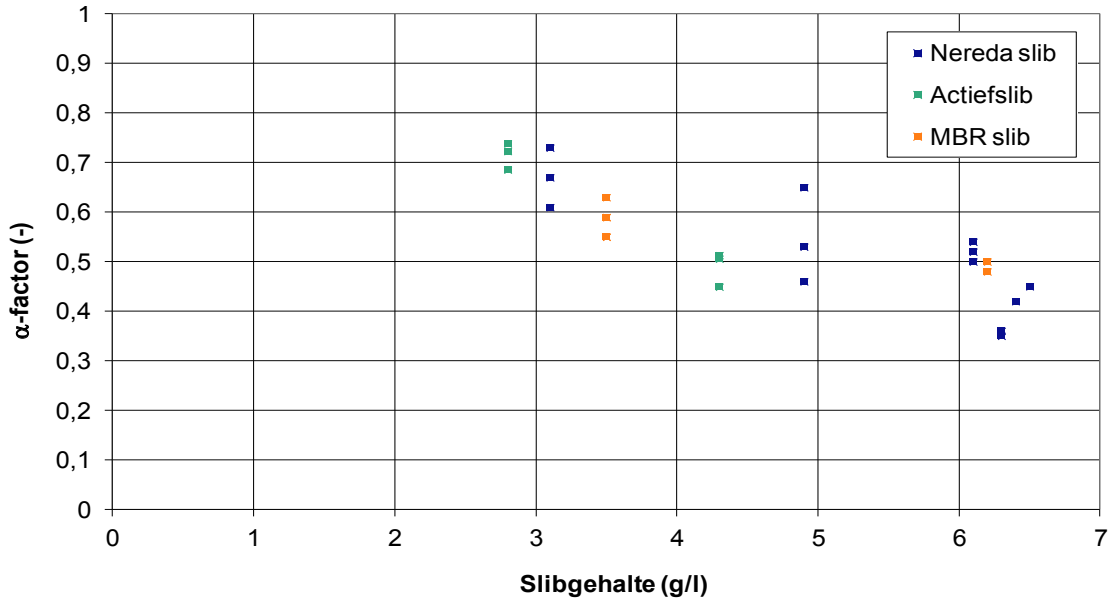
AFBEELDING 42 α-FACTOR BIJ 35% BELUCHTING



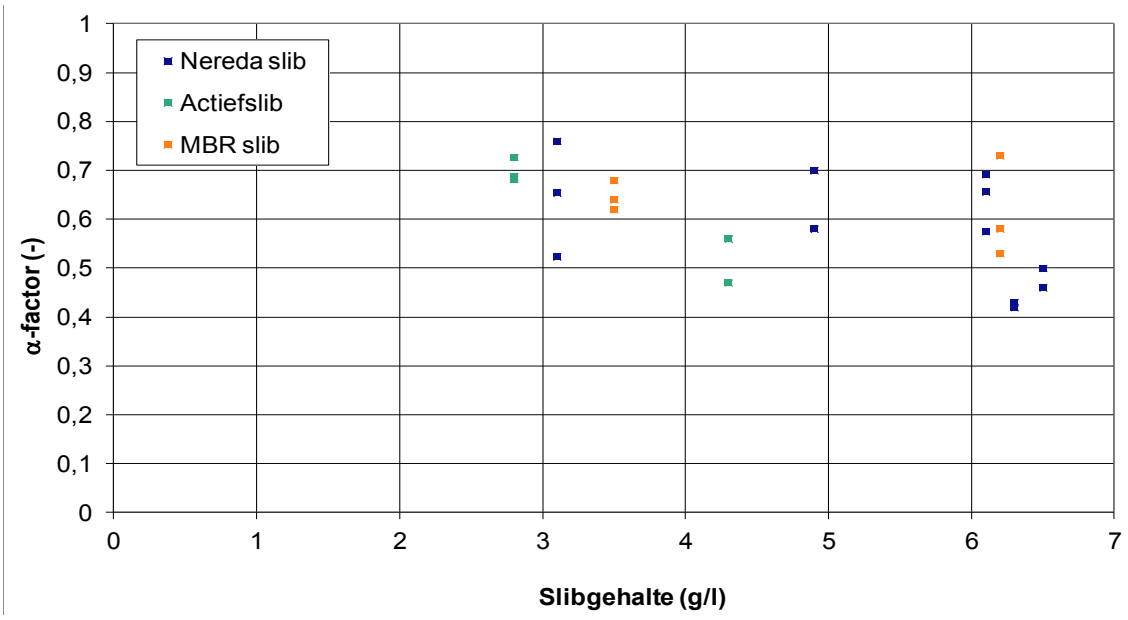
AFBEELDING 43 α-FACTOR BIJ 50% BELUCHTING



AFBEELDING 44 α-FACTOR BIJ 75% BELUCHTING



AFBEELDING 45 α-FACTOR BIJ 100% BELUCHTING



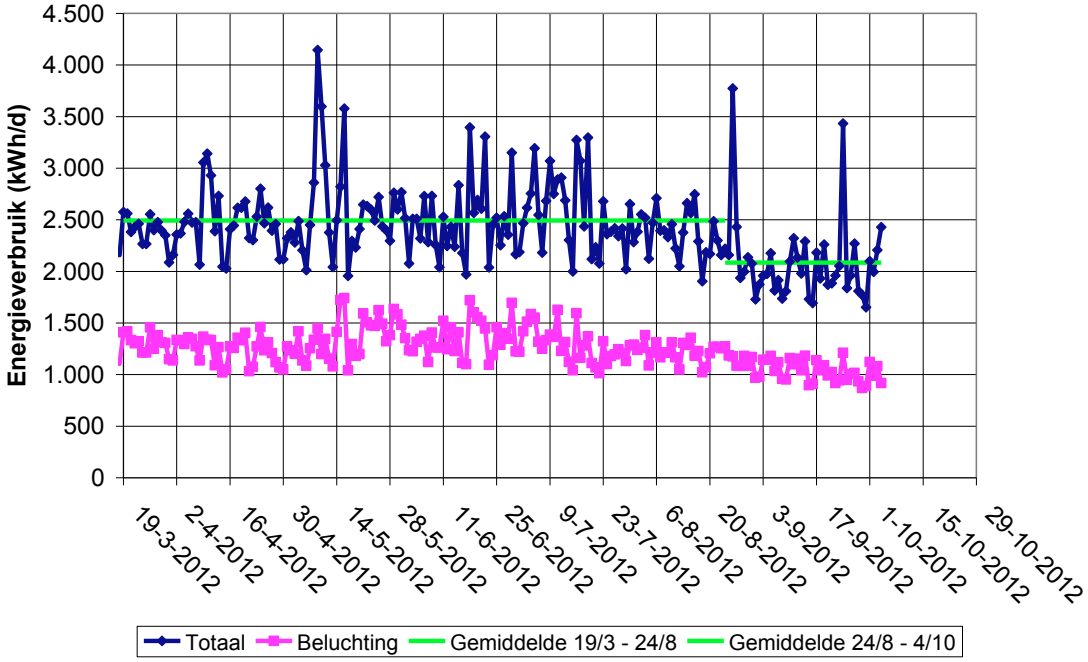
6.3 ENERGIEVERBRUIK

Afbeelding 46 toont het energieverbruik - gebaseerd zijn op kWh-metingen - van de rwzi Epe vanaf 19 maart 2012. Vanaf deze datum begon de verificatieperiode en diende de rwzi in alle opzichten volledig te functioneren. De nieuwe rwzi Epe behandelt sinds 25 januari 2012 al het afvalwater, maar de oude rwzi is daarna gedurende een paar weken in een aantal gecontroleerde stappen afgeschakeld.

Eén en ander hing ook samen met de strenge vorst in februari 2012, waarbij bevriezing van procesdelen van de oude rwzi moesten worden voorkomen. De periode daarna tot aan het begin van de verificatieperiode is gebruikt om de nieuwe installatie verder in te regelen. Met betrekking tot het energieverbruik laat Afbeelding 46 twee perioden zien:

- 19 maart tot medio augustus met een gemiddeld energieverbruik van 2.493 kWh/d;
- 24 augustus tot begin oktober 2012 met een gemiddeld energieverbruik van 2.085 kWh/d.

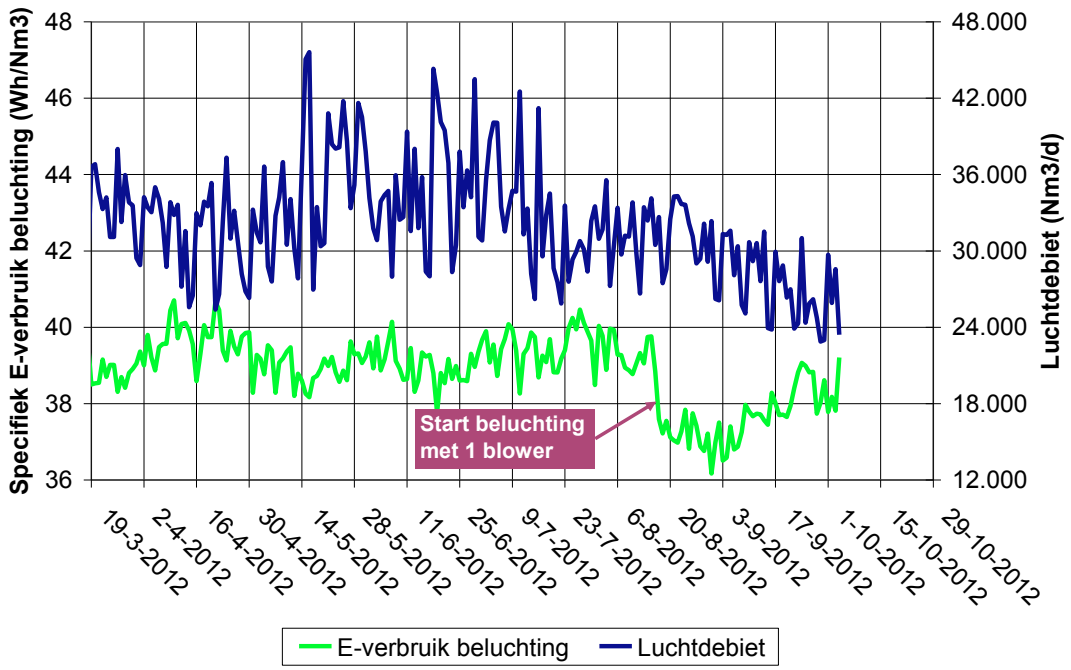
AFBEELDING 46 ENERGIEVERBRUIK RWZI EPE



Het energieverbruik van periode 2 is 16,4% lager in vergelijking tot de voorgaande periode. De oorzaak hiervoor is gelegen in een integrale toetsing van het energieverbruik van de gehele installatie. Uit deze toetsing is een aantal optimalisaties naar voren gekomen, die vervolgens zijn geïmplementeerd. De belangrijkste maatregelen zijn hieronder nader toegelicht:

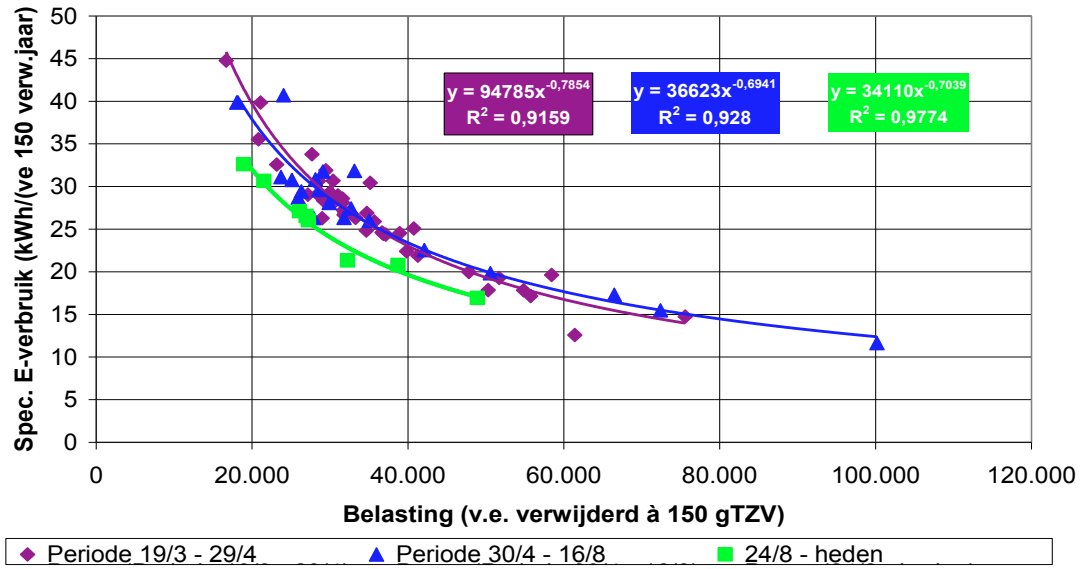
1 vanaf 16 augustus wordt de beluchtingsperiode gestart met één in plaats van twee blowers. Dit heeft de volgende effecten:
   a de blower draait veel vaker met een optimaal motorrendement, waardoor een besparing van 5% op de beluchtingsenergie wordt bereikt (zie Afbeelding **47**);
   b de specfieke luchtbelasting van de beluchtingselementen is lager aan het begin van de beluchtingsperiode, waardoor de specifieke zuurstofoverdracht toeneemt (zie Afbeelding **41**). Hierdoor hoeft minder lucht te worden ingeblazen en ontstaat een additionele besparing op de beluchtingsenergie;
   c doordat de beluchting bij een lager luchtdebiet start, duurt het wat langer voordat het zuurstofsetpoint wordt bereikt. Dit leidt tot een enigszins gunstiger zuurstofdeficiet, hetgeen opnieuw een additionele besparing tot gevolg heeft.
2 technische optimalisatie van het bedrijfswatersysteem. Het betrof in het bijzonder het vervangen van membranen in de drukketel en het repareren van een aantal lekkages in het leidingwerk;
3 optimaliseren van de instellingen van de zand/vetvanger;
4 diverse good housekeeping maatregelen.

AFBEELDING 47 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK BELUCHTING EN LUCHTDEBIET



Afbeelding 48 toont het specifieke energieverbruik als functie van de verwijderde vuillast. Drie perioden zijn te onderscheiden, te weten de verificatieperiode (19/3/2012 t/m 30/4/2012), een tweede periode (19/3/2012 t/m 16/8/2012) met een nagenoeg identieke trendlijn. Geconcludeerd wordt dat de beide trendlijnen representatief zijn voor het energieverbruik in de betreffende periode. En tenslotte een derde periode vanaf 24/8/2012 waarin alle verbetermaatregelen zijn geëffectueerd.

AFBEELDING 48 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK RWZI EPE



6.3.1 ENERGIEBALANS

Tabel 15 en Tabel 16 laten de energiebalansen zien van de rwzi Epe over twee perioden, namelijk de verificatieperiode en de periode vanaf 24 augustus 2012. Het energieverbruik van de procesonderdelen waarvan het energieverbruik niet wordt gemeten, is berekend op basis van de gemiddelde stroomsterktes die via de online data beschikbaar zijn. In totaal zijn de gege-

vens van de 36 grootste verbruikers meegenomen en gerubriceerd tot 14 hoofdverbruikers. Met deze methodiek is de energiebalans vrijwel sluitend te krijgen en wordt een goed inzicht verkregen in het energetisch functioneren van de installatie. Het blijkt verder dat conform de genomen maatregelen de belangrijkste energiebesparingen zijn bereikt bij de beluchting en de bedrijfswaterinstallatie.

TABEL 15 ENERGIEBALANS VERIFICATIEPERIODE (19/3/2012 – 29/4/2012)

Procesonderdeel		Verbruik		Debiet	Spec. verbruik	Opmerking
		(kWh/d)	(%)	(m^3/d)	(Wh/m^3)	
Waterlijn						
	influentgemaal	166	6,8%	4.099	41	berekening op basis van amperages
	compressoren zandvang	61	2,5%		13	berekening op basis van amperages
	tussengemaal	220	9,0%	4.582	48	berekening op basis van amperages
	beluchting	1.266	51,5%			meting
	recirculatiepompen	29	1,2%	3.534	8	berekening op basis van amperages
	zandfiltratie	23	0,9%			berekening op basis van amperages
Sliblijn						
	beluchting slibbuffer	45	1,8%			berekening op basis van amperages
	surplusslibpompen	90	3,6%	963	93	berekening op basis van amperages
	spoelwaterpompen	86	3,5%			berekening op basis van amperages
	ingediktslibpompen	2	0,1%			berekening op basis van amperages
	filtraatpompen	46	1,9%	776	59	berekening op basis van amperages
	menger ingediktslibbuffer	17	0,7%			berekening op basis van amperages
Utilities						
	bedrijfswaterpompen	123	5,0%	88	1.398	berekening op basis van amperages
	terreinriolering	5	0,2%			berekening op basis van amperages
Overige verbruikers		280	11,4%			restpost om balans te sluiten
Totaal		2.459	100%			meting

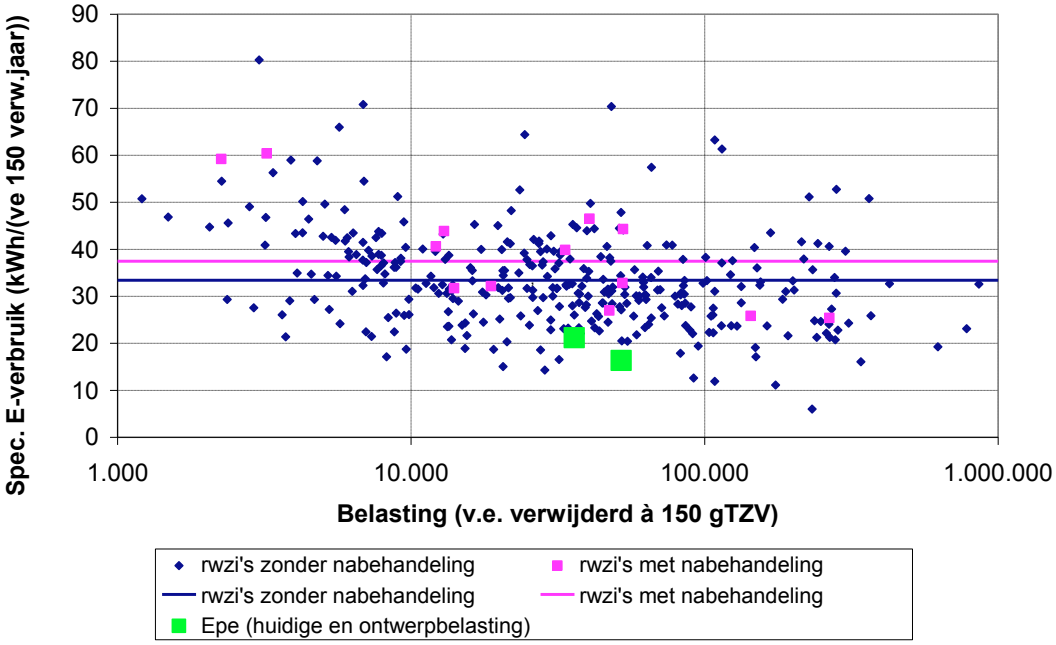
TABEL 16 ENERGIEBALANS NA OPTIMALISATIES (24/8/2012 – 4/10/2012)

Procesonderdeel		Verbruik		Debiet	Spec. verbruik	Opmerking
		(kWh/d)	(%)	(m^3/d)	(Wh/m^3)	
Waterlijn						
	influentgemaal	218	10,4%	4.085	53	berekening op basis van amperages
	compressoren zandvang	47	2,3%		10	berekening op basis van amperages
	tussengemaal	228	10,9%	4.793	47	berekening op basis van amperages
	beluchting	1.055	50,6%			meting
	recirculatiepompen	73	3,5%	10.032	7	berekening op basis van amperages
	zandfiltratie	10	0,5%			berekening op basis van amperages
Sliblijn						
	beluchting slibbuffer	37	1,8%			berekening op basis van amperages
	surplusslibpompen	75	3,6%	783	96	berekening op basis van amperages
	spoelwaterpompen	82	3,9%			berekening op basis van amperages
	ingediktslibpompen	1	0,1%			berekening op basis van amperages
	filtraatpompen	35	1,7%	629	56	berekening op basis van amperages
	menger ingediktslibbuffer	9	0,4%			berekening op basis van amperages
Utilities						
	bedrijfswaterpompen	53	2,6%	110	486	berekening op basis van amperages
	terreinriolering	3	0,1%			berekening op basis van amperages
Overige verbruikers		157	7,6%			restpost om balans te sluiten
Totaal		2.085	100%			meting

6.3.2 VERGELIJKING MET ANDERE RWZI'S

Het energieverbruik van de rwzi Epe is vergeleken met alle rwzi's in Nederland – zie Tabel 17 en Afbeelding 49. De informatie is ontleend aan de benchmark 2009 waarbij onderscheid gemaakt is tussen rwzi's met en zonder nabehandeling. De energieverbruiken van de rwzi's zijn exclusief ontwatering, maar inclusief energieterugwinning uit eventueel opgewekt biogas en inclusief een eventueel influentgemaal.

AFBEELDING 49 SPECIFIEK ENERGIEVERBRUIK RWZI'S MET EN ZONDER NABEHANDELING (BRON: BENCHMARK 2009) INCLUSIEF EPE



De energiecijfers zijn goed bruikbaar om een algemeen beeld te vormen, maar een exacte onderlinge vergelijking is om de volgende redenen niet goed mogelijk:

1 rwzi's met voorbezinking en slibgisting/energie-opwekking zijn opgenomen. Dit type rwzi heeft door de voorbezinking en elektriciteitsproductie uit het gevormde biogas een lager energieverbruik vergeleken met rwzi's zonder voorbezinking en slibgisting, zoals de rwzi Epe;
2 de belastingsituatie per rwzi is verschillend en daarmee is geen rekening gehouden. Met andere woorden, het specifieke energieverbruik van een volbelaste rwzi is gunstiger in vergelijking met een onderbelaste installatie. De rwzi Epe is thans voor circa 70% van de ontwerpcapaciteit belast;
3 er is geen onderscheid gemaakt in type beluchting en verschil in effluentkwaliteit is niet meegenomen;
4 energetische optimalisaties (verwerken van slibstromen van derden, gebruik maken van industriële warmte, etcetera) zitten in de cijfers. Dergelijke rwzi's zoals Apeldoorn scoren daarmee extra laag;
5 het energieverbruik van influentgemalen is meegenomen, terwijl er veel rwz's zijn zonder influentgemaal;
6 bij de nabehandelingsinstallaties is geen rekening gehouden met het verwijderingsrendement (alleen rest zwevendstof, aanvullende P- dan wel N-verwijdering);
7 in het ontwerp van de rwzi Epe is rekening gehouden met het eventueel ombouwen van de installatie indien de Nereda® technologie niet zou functioneren. Concreet betekent dit dat al het afvalwater 2 meter extra wordt opgevoerd.

TABEL 17 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	21,2
Rwzi Epe ontwerpbelasting	16,3

De cijfers laten zien dat het energieverbruik van de rwzi Epe tientallen procenten lager ligt in vergelijking met conventionele rwzi's.

6.3.3 ZUURSTOFBALANS

Gezien de grote variatie in de resultaten bij het meten van de α-factor in de pilotinstallatie, is getracht een gemiddelde α-factor te berekenen op basis van een zuurstofbalans over de periode van 19/3/2012 – 4/10/2012. Deze zuurstofbalans is weergegeven in Tabel 18. Deze beschouwing geeft een gemiddeld beeld van de gemiddelde zuurstofoverdracht onder praktijkomstandigheden. De hieruit voortvloeiende α-factor geeft een aanzienlijk gunstiger beeld vergeleken met de metingen in de pilotinstallatie (zie paragraaf 6.2).

TABEL 18 ZUURSTOFBALANS (MAART – OKTOBER 2012)

Paramater		Eenheid	Waarde
CZV	Toevoer beluchting	kg/d	3.736
	Afvoer effluent	kg/d	-114
	Afvoer met spuislib	kg/d	-1.501
	Zuurstofvraag (a)	kgO_2/d	2.121
Stikstof	Nitrificatiecapaciteit	kg/d	1.558
	Denitrificatiecapaciteit	kg/d	-936
	Zuurstofvraag (b)	kgO_2/d	622
Beluchting	Beluchtingscapaciteit	Nm^3/d	31.300
	Efficiency	$gO_2/(Nm^3.h)$	16
	Diepte beluchting	m	9
	Zuurstofconcentratie	mgO_2/l	2,2
	Temperatuur	°C	18,3
	Zuurstofverzadiging	mgO_2/l	9,3
	Zuurstofinbreng (c)	kgO_2/d	3.478
Zuurstofbalans	Zuurstofvraag (a+b)	kgO_2/d	2.743
	Zuurstofinbreng (c)	kgO_2/d	3.478
	α-factor ((a+b)/c)		0,79

6.4 CONCLUSIES

Vanaf de start van de verificatieperiode in maart 2012 blijkt dat het energieverbruik van de rwzi Epe significant lager te zijn in vergelijking met actiefslibsystemen in Nederland. Na een diepgaande analyse van de data bleek het energieverbruik door technische optimalisaties nog significant verder te kunnen worden teruggedrongen. De gemiddelde cijfers zijn weergegeven in Tabel 19.

TABEL 19 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	21,2
Rwzi Epe ontwerpbelasting	16,3

Bij deze cijfers dient het volgende te worden bedacht:

1 het grootste deel van het afvalwater wordt op de rwzi Epe onder vrij verval in een diepe put aangevoerd, hetgeen tot gevolg heeft dat een influentgemaal met grote opvoerhoogte nodig is;

2 bij het ontwerp is er van uitgegaan dat een ombouw tot actiefslibsysteem mogelijk zou moeten zijn. Eén van de consequenties hiervan is dat tussen de Nereda® reactoren en nabehandelingsinstallatie extra verval is gecreëerd. Dit verval was nodig om een eventuele nabezinktank in te kunnen passen;

3 afhankelijk van de beluchtingscapaciteit blijkt de OC tot 20% lager is in vergelijking met de ontwerp-uitgangspunten. Deze situatie is echter voor verbetering vatbaar. Een belangrijke invloedsfactor zijn de geïnstalleerde mengers in de Nereda® reactoren. Tot op heden zijn deze nog niet in bedrijf geweest en het is dan ook de bedoeling om de mengers in 2013 te verwijderen. De open gevallen plekken op de bodem zullen worden dicht gelegd met beluchtingsplaten, alsook influentverdeelleidingen, hetgeen waarschijnlijk zal resulteren in een stabieler beluchtingspatroon met een betere zuurstofoverdracht tot gevolg.

Met betrekking tot het meten van de α-factor van korrelslib heeft het uitgebreide meetprogramma op de pilotinstallatie laten zien dat de α-factoren van de verschillende slibsoorten in de dezelfde range liggen. Verder blijkt dat bij een toenemende slibconcentratie de α-factor af te nemen. Een opvallend gegeven bij de metingen is dat de spreiding in de resultaten tussen verschillende metingen groot is, vooral bij de metingen aan aëroob korrelslib.
Uit de bedrijfsvoeringsgegevens kan ook een α-factor worden gedestilleerd en blijkt het beeld aanzienlijk gunstiger dan op basis van de metingen in de pilotinstallatie zou mogen worden verwacht. De analyse van de bedrijfsgegevens met betrekking tot de zuurstofoverdracht strookt met het lage energieverbruik van de rwzi Epe.
De wat tegenstrijdige gegevens tussen de praktijksituatie en de metingen op de pilotinstallatie roepen dan ook vragen op. Het beeld ontstaat dat het meten van een α-factor van een slib/water mengsel lastig blijkt, zelfs als de metingen een groot aantal keren achter elkaar wordt herhaald. Het is mogelijk dat door het transport van slib en de vele metingen het slib/water mengsel minder representatief voor de praktijk is dan voor aanvang van het onderzoek werd verondersteld.

7

KORRELVORMING

7.1 INLEIDING

Gedurende de opstart van de Nereda® installatie is de korrelvorming door middel van diverse analyses gevolgd. Hiertoe zijn eens per week monsters genomen van het korrelslib uit de Nereda® installatie in Epe. Deze werden vervolgens opgestuurd naar het laboratorium in Delft waar het werd onderzocht op deeltjesgrootte en samenstelling.

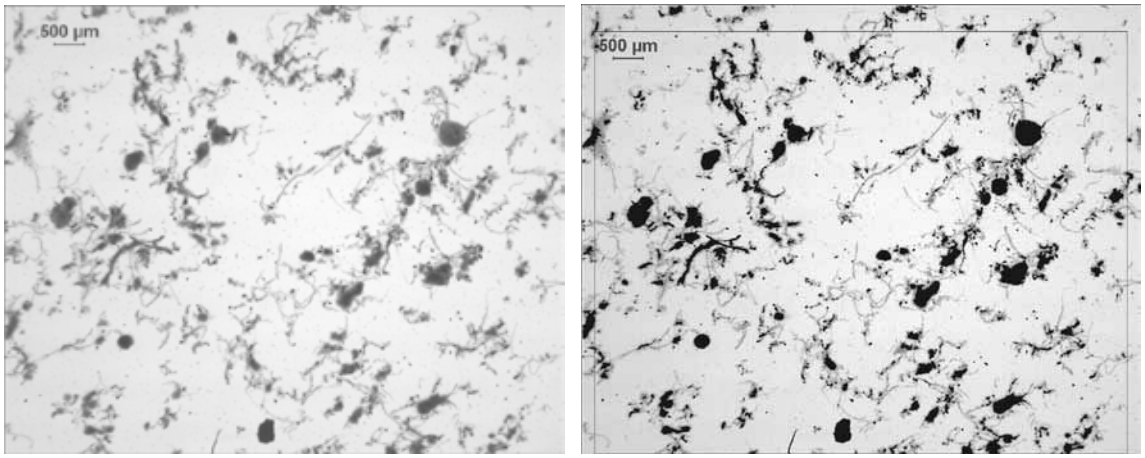
7.2 OPZET VAN HET ONDERZOEK

In de volgende paragrafen zijn de activiteiten beschreven waarmee de korrelvorming in Epe in de tijd is gevolgd.

7.2.1 BEELDANALYSE

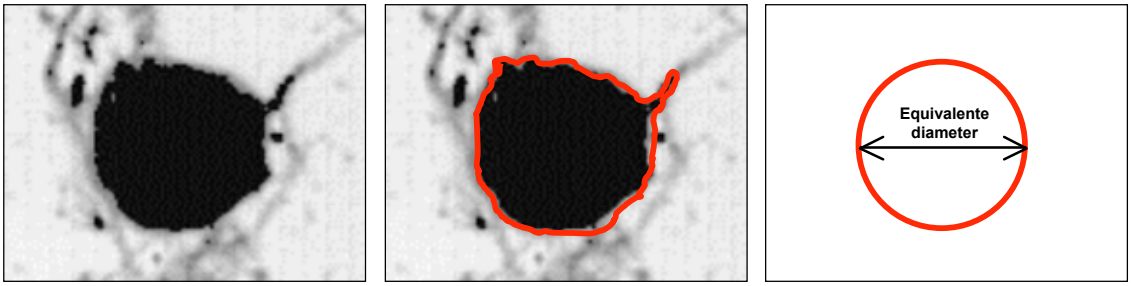
Voor de beeldanalyse wordt het slib eerst over een 0,2 mm zeef gezeefd. Alleen het slib dat op de zeef achterblijft, is gebruikt voor de bepaling van de deeltjesgrootte. Bij de beeldanalyse moet deels visueel worden vastgesteld welke deeltjes worden meegenomen. Afbeelding 50a geeft een regulier microscopisch beeld en Afbeelding 50b geeft in zwart weer welke deeltjes worden gemeten.

AFBEELDING 50 ZWART-WIT IMAGE ANALYZER BEELD (A) EN DE MEEGENOMEN DEELTJES VOOR OPPERVLAKTE BEREKENING IN HET ZWART (B)



Door middel van beeldanalyse wordt van elk slibdeeltje het oppervlak gemeten, waarna een diameter wordt berekend alsof het een rond deeltje betreft. Van deze equivalente diameter wordt een gemiddelde deeltjesstraal berekend (Afbeelding 51). Dit wordt gebruikt om het volume van de slibkorrels te bepalen.

AFBEELDING 51 BEPALING EQUIVALENTE DIAMETER VANUIT HET ZWART/WIT BEELD



7.2.2 ZEEFFRACTIES

Het slib is handmatig gezeefd in drie fracties (< 0,2 mm, 0,2 – 0,5 mm, 0,5 – 0,7 mm en > 0,7 mm). De zeven worden op elkaar gestapeld met de kleinste diameter onderaan. Kraanwater wordt gebruikt om de vlokken van de korrels te scheiden.
Dit moet nauwkeurig gebeuren omdat bij te weinig spoelkracht de vlokken en kleinere deeltje niet weggespoeld worden, terwijl bij teveel kracht de korreltjes kunnen desintegreren of door de zeef geperst worden.

7.2.3 MICROBIËLE ANALYSE

Met fluorescente in-situ RNA hybridisatie (FISH) is beoordeeld of specifieke microbiële populaties zoals nitrificeerders in het korrelslib aanwezig waren. Met DNA analyse werd de microbiële populatie en structuur daarvan onderzocht. Daarnaast werd het slib geanalyseerd op de hoeveelheid alginaat-achtige exopolymeren die voor de stabiliteit van korrelslib zorgen.

7.2.4 DICHTHEIDSMETINGEN

Dichtheidsmetingen van korrelslib kunnen pas betrouwbaar en zinvol worden ingezet op het moment dat de korrelvorming zich in een volwassen staat bevindt. Omdat hier ten tijde van het onderzoek nog onvoldoende sprake van was, is deze parameter uiteindelijk niet gemeten.

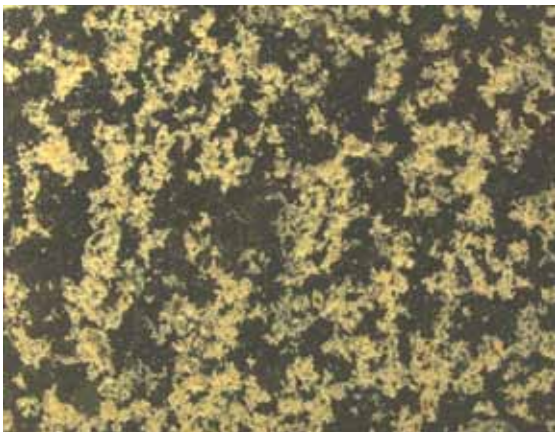
7.3 RESULTATEN

7.3.1 KORRELVORMING

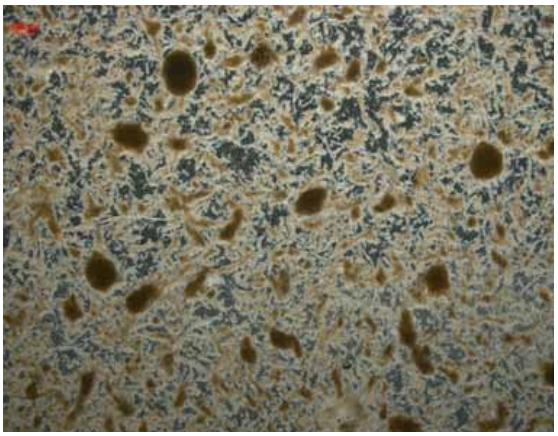
OPSTART TOT FEBRUARI 2012

De korrelvorming sinds de opstart in juni 2011 tot januari 2012 laat een sterke verandering zien van de slibkenmerken. In augustus 2011 is al te zien dat de korrelvorming sterk is aangezet. Dit beeld zet zich door tot in december 2011. In deze maand wordt overgegaan van één tank (AT1701) naar twee tanks (AT1601+AT1701) in bedrijf. Eind januari 2012 is de derde en laatste tank (AT1801) in bedrijf genomen. Beide keren is te zien dat de monsters die uit de nieuw gevulde tank zijn genomen een zwarte kleur hebben. Deze kleur is niet aanwezig in de monsters van de reeds in bedrijf zijnde tanks. Waarschijnlijk is er bij het overpompen van het slib een hoeveelheid anaërobe slibmassa van de bodem van de tanks meegekomen.
Afgezien van de aangegeven kleur van het slib is er onder de microscoop opvallend weinig verschil tussen de tanks. De korrelvorming lijkt begin februari 2012 enigszins te stagneren, hetgeen mogelijk veroorzaakt wordt door de koude winter en/of doordat (te) snel is overgegaan van één naar drie tanks in bedrijf. De monsters van 21 februari laten echter weer een duidelijke vooruitgang zien in korrelvorming, hetgeen ook visueel waarneembaar is. Wel was opvallend dat de korrels uit AT1801 er kapot geslagen uitzagen in vergelijking met de twee andere tanks.

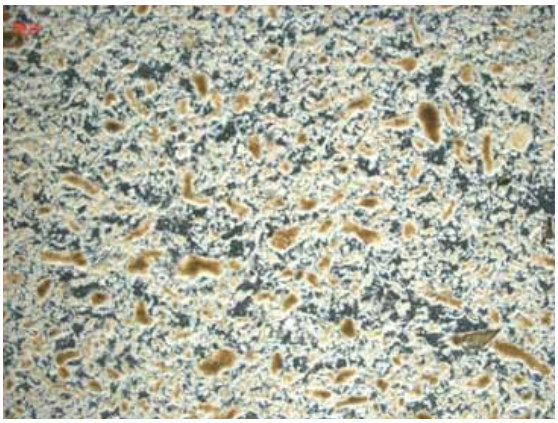
AFBEELDING 52 SELECTIE MICROSCOPISCHE BEELDEN NEREDA® SLIB VAN RWZI EPE



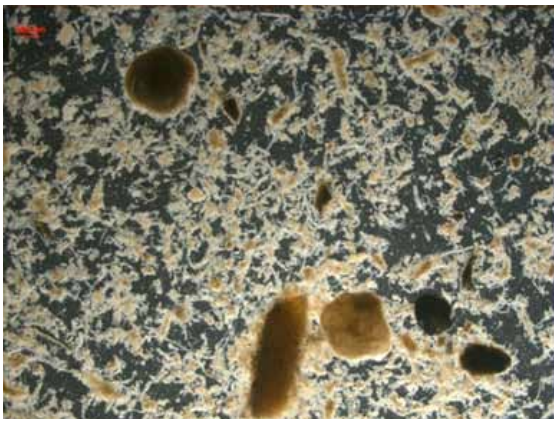
OPSTART MEI 2011



DECEMBER 2011



SPUISLIB APRIL 2012



JUNI 2012

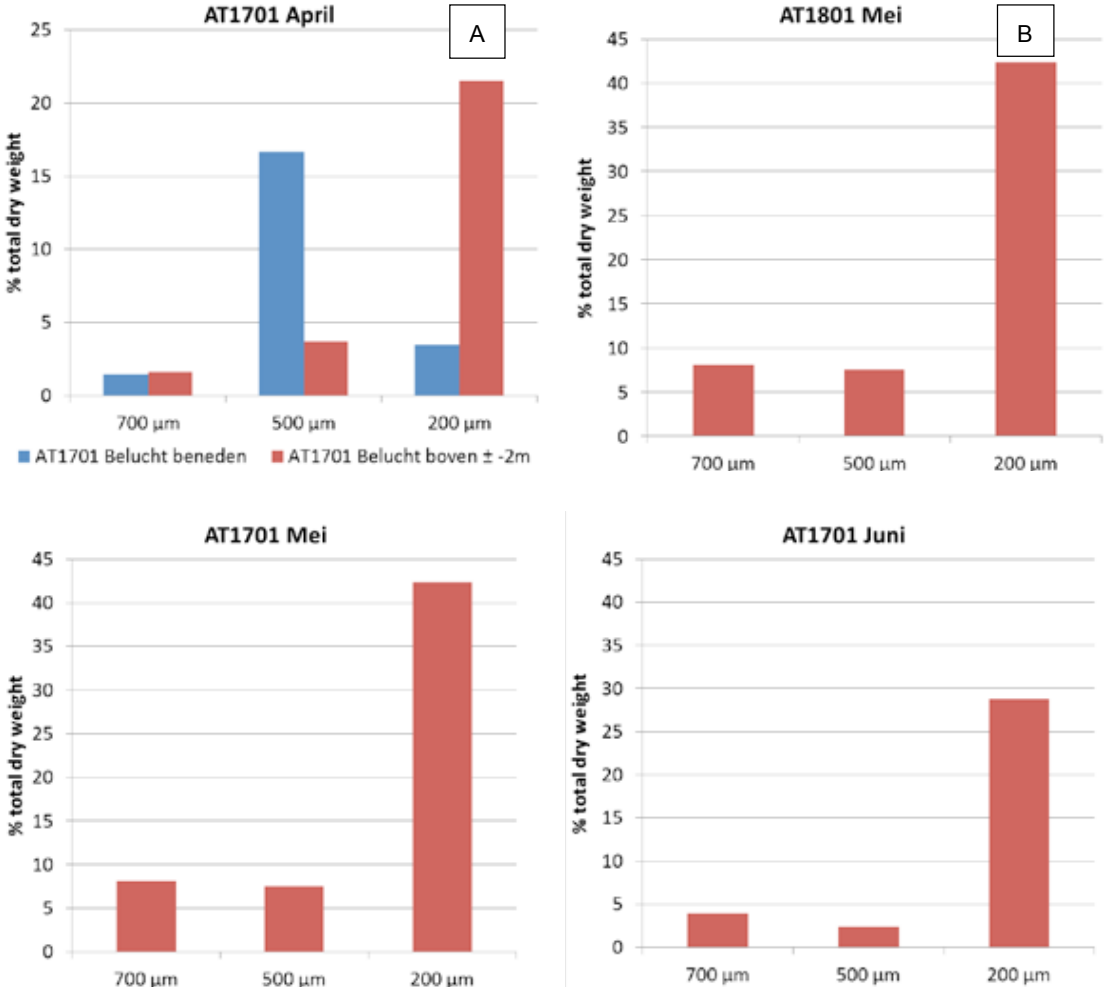
MAART 2012 TOT HALF JUNI 2012

In deze periode is er weinig voortgang in de korrelontwikkeling en bovendien een achteruitgang van de fosfaatverwijdering. Omstreeks 10 april wordt geconstateerd dat de hydraulische selectiedruk voor korrelvorming onvoldoende hoog was. In de periode januari – april is namelijk minder spuislib afgevoerd met als doel de slibconcentratie te laten oplopen. Hierbij is het selectieproces op de achtergrond gekomen waaruit de stagnatie van de korrelvorming kan worden verklaard.

Na 10 april is er een stricter selectieregime opgelegd waarna een positief effect op de fosfaatverwijdering al na 2 weken merkbaar was. Ook verbeterde de korrelvorming en was onder de microscoop een sterk verschil waarneembaar tussen slib uit de reactor en het spuislib. Er is in deze periode geen duidelijk verschil tussen de slibkorrels in de drie Nereda® reactoren.

Om te verifiëren of de monsternamehoogte van belang is, zijn er buiten de standaard bemonstering slibmonsters genomen boven (± -2m) en zo diep mogelijk in de reactor (Afbeelding 53a). Er is duidelijk verschil waarneembaar tussen deze twee monsters. Onderin de reactor is de fractie 500 – 700 μm vier maal zo hoog als bovenin. De fractie 200 – 500 μm daarentegen is bovenin 5 tot 6 maal zo hoog als onderin. Dit betekent dat de hoogte van monstername zeer bepalend is voor de resultaten m.b.t. de korrelverdeling en derhalve ook voor het vaststellen van de werkelijke slibhoeveelheid in de reactoren.

AFBEELDING 53 KORRELVERDELING DOOR MIDDEL VAN ZEEFFRACTIES IN PERIODE MEI – JUNI 2012



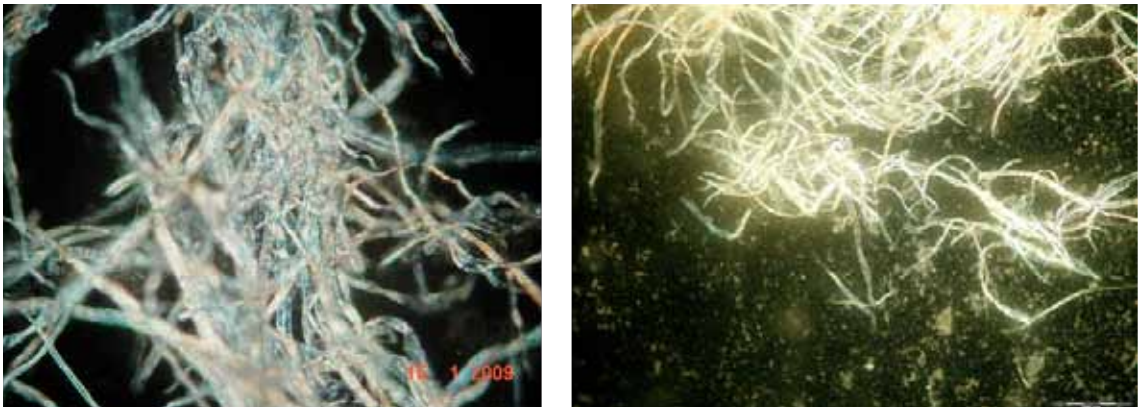
Het meten van de korrelfractie m.b.v. zeven bleek lokaal op de rwzi Epe andere resultaten te genereren dan op het laboratorium in Delft. De labmetingen kwamen in eerste instantie niet verder dan 20 - 25% korrelslib (op droge stof basis), terwijl er door de beheerder op de rwzi zelf 60% werd gemeten. In de daaropvolgende metingen werd op het lab een toename in de kleinste fractie en een toename in korrelfractie tot 50 - 55% gemeten. Deze toename van de korrelfractie lijkt te wijzen op het positief effect van de striktere selectie op korrelslib na 10 april. De metingen op de zuivering bleven constant op een niveau van 60% en gaven dus geen toename in korrelslib te zien. Het is uiteindelijk onduidelijk gebleven waardoor deze eerste verschillen zijn ontstaan. Een verschil in wastechniek of monsterbehandeling bij de uitvoering van de zeeffracties is waarschijnlijk de oorzaak.

7.3.2 VEZELS (CELLULOSE)

Veel van de kleinere slibkorreltjes grijpen in elkaar, hetgeen duidelijk is te zien in Afbeelding 54a. Bij nadere inspectie onder de microscoop blijkt dat er behoorlijk veel cellulosevezels aanwezig zijn in de monsters.

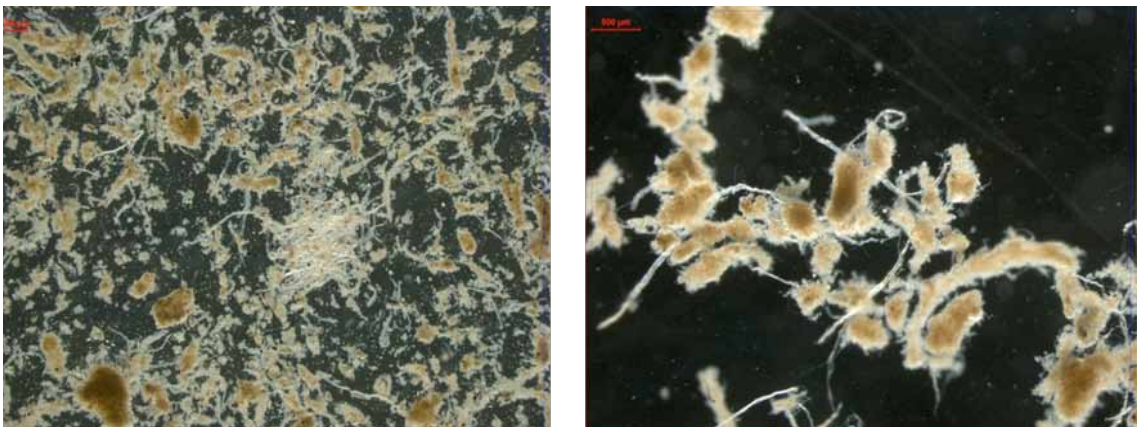
In Afbeelding 54b zijn cellulosevezels te zien afkomstig uit huishoudelijk afvalwater van een conventioneel systeem als vergelijkingsmateriaal.

AFBEELDING 54 CELLULOSEVEZELS, LINKS UIT DE NEREDA® INSTALLATIE, RECHTS UIT EEN CAS



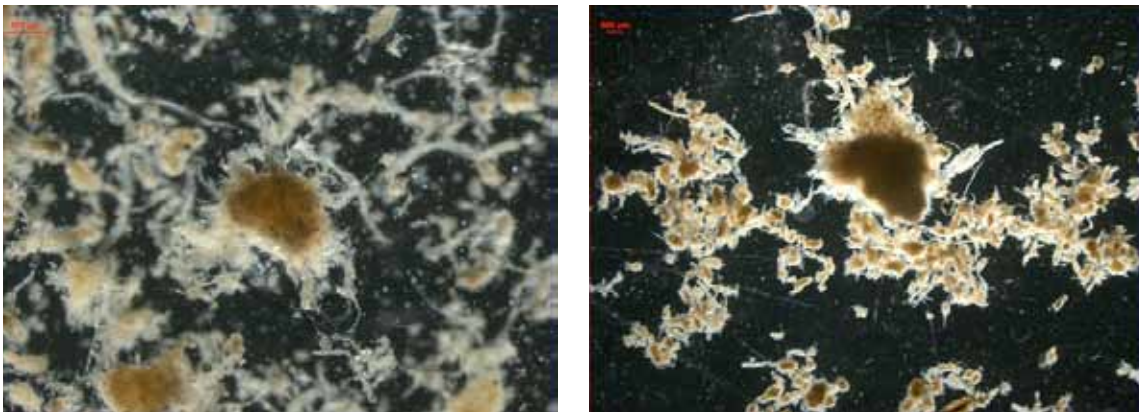
De vezels lijken er voor te zorgen dat de (relatief kleine) korrels samenklonteren. Zowel clusters van cellulosevezels (Afbeelding 55a) zijn zichtbaar als vezels omgeven door beginnende korreltjes (Afbeelding 55b). De verwachting is dat deze korreltjes bij geschikte condities zullen uitgroeien tot grotere korrels, en de SVI verder afneemt. De bezinkeigenschappen van het slib zijn overigens zeer goed.

AFBEELDING 55 CELLULOSEVEZELS IN AT1701 VAN DE NEREDA® INSTALLATIE IN EPE



Niet alleen cellulosevezels zorgen ervoor dat de korrels meer samenklonteren, ook de "wollige" structuur zorgt hiervoor (Afbeelding 56). Ook hierbij geldt dat naarmate de korrels groter/zwaarder worden ze steeds minder clusteren en dat de SVI zal afnemen.

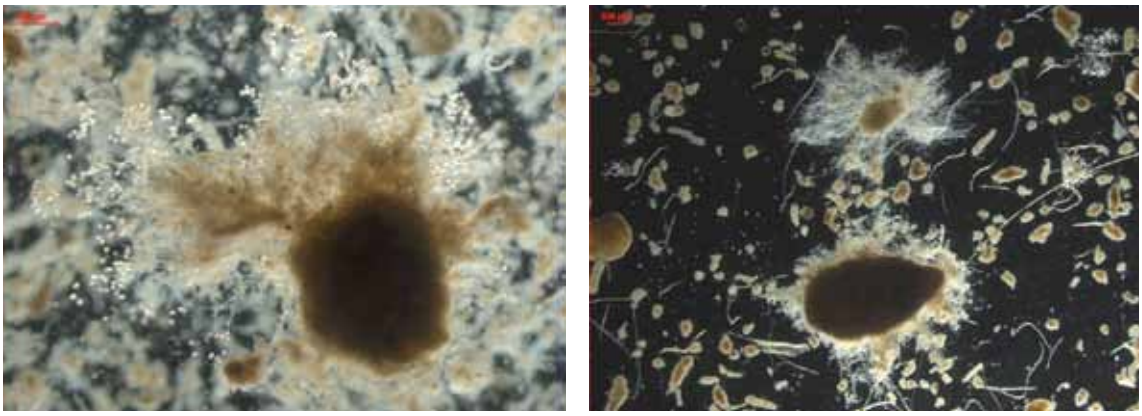
AFBEELDING 56 - "WOLLIGE BUITENKANT KORRELSLIB FEBRUARI 2012



7.3.3 PROTOZOA EN SCHIMMELS

Zoals in elke afvalwaterzuivering zijn er protozoa en schimmels in het slib te vinden. In de monsters gedurende de gehele start up zijn ze te zien (Afbeelding 57). Veel voorkomend zijn ze niet, slechts enkele korrels zijn overgroeit met protozoa en/of schimmels.

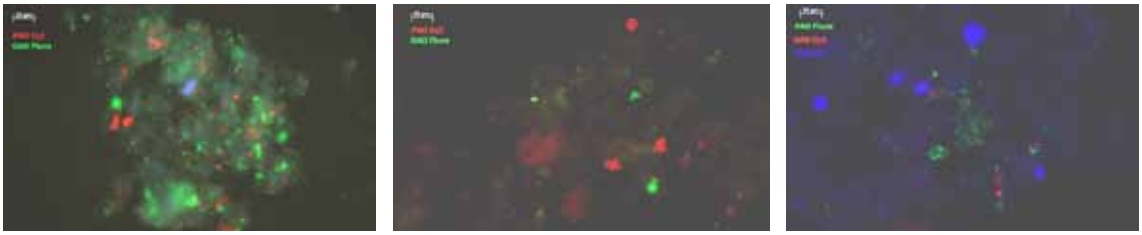
AFBEELDING 57 - PROTOZOA (LINKS) EN SCHIMMELS (RECHTS) IN KORRELSLIB (21 FEBRUARI 2012)



7.3.4 POPULATIEONDERZOEK (FISH) EN -DIVERSITEIT (DGGE)

Analyse van het slib middels FISH liet zien dat na de opstart van de bacteriën die in de anaerobe voedingsperiode CZV kunnen opnemen, 80% uit fosfaataccumulerende (PAO) bacteriën bestaat en 20% uit Glycogeenaccumulerende (GAO) bacteriën. Alle reactoren gaven gedurende de gehele periode een vergelijkbaar beeld. Bij de eerste monsters hadden de GAO bacterien nog een behoorlijke overhand. De PAO zorgen voor biologische fosfaateliminatie. De verhouding PAO/GAO is redelijk in overstemming met andere rwzi's in Nederland, er is echter wel ruimte voor optimalisatie van de fosfaatverwijdering.

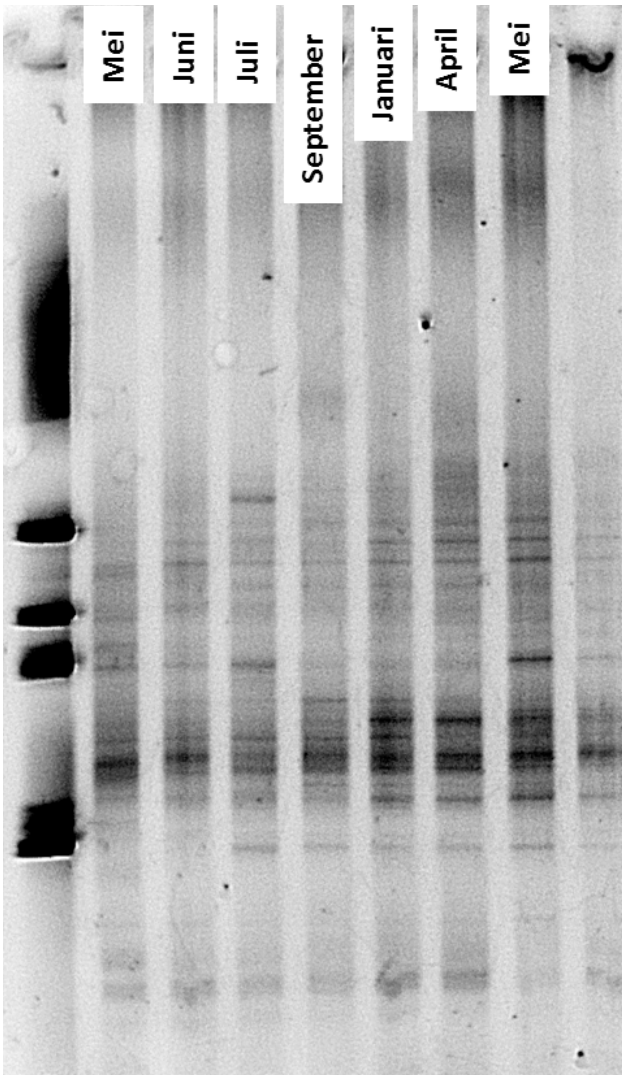
AFBEELDING 58 FISH OPNAMES



SEPTEMBER 2011 (AT1701) FEBRUARI 2012 (AT1701) MEI 2012 (AT1801)

De microbiele populatie is d.m.v. DGGE gevolgd. De DGGE profielen laten zien dat de populatie-variabiliteit (aantal zwarte bandjes) hoog is. Er is gedurende de opstart een intensivering van sommige banden waar te nemen, die kunnen duiden op een verhoogde aanwezigheid van specifieke bacteriën.

AFBEELDING 59 DGGE PROFIELVERLOOP VAN MEI 2011 TOT MEI 2012

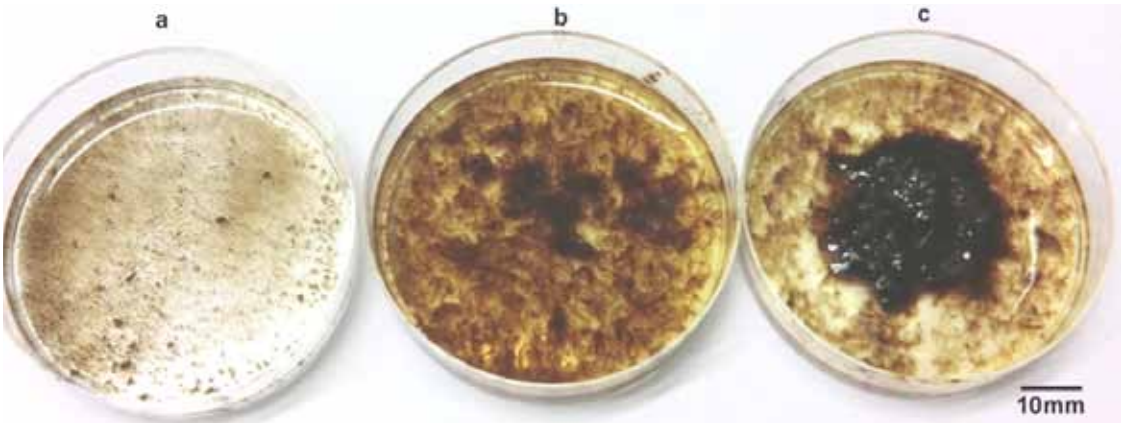


7.3.5 EPS-ALGINAAT

De extractie van alginate-like exopolysaccharides (ALE) uit slib afkomstig van de oude actief slib installatie in Epe (zie Afbeelding 60) gaf een opbrengst van 7,2% (ODS ratio), de korrels gevormd in de full scale Nereda® installatie ± 9,8% (ODS ratio) en de 'volwassen' korrels uit de pilotinstallatie op Epe rond de 16 tot 20% (ODS ratio).

De hoeveelheid en het gedrag van de ALE van de Nereda® praktijkinstallatie ligt ten tijde van de monstername (april 2012) tussen actief slib en korrelslib in, e.e.a. in overeenstemming met het microscopisch beeld van de korrelvorming (zie 7.3.1).

AFBEELDING 60 NA-ZOUT VAN ALE GEISOLEERD UIT ACTIEF SLIB OUDE RWZI EPE (A), UIT KORRELS VAN DE FULL SCALE NEREDA® INSTALLATIE TE EPE OP 11 APRIL 2012 (B) EN DE PILOTPLANT TE EPE (C)



7.4 CONCLUSIES

Ten tijde van het onderzoek is de korrelvorming al goed op gang gekomen, maar bij afsluiting van de monitoringsperiode nog in volle gang. Als gevolg van de tijdelijk lagere selectiedruk heeft de korrelvorming echter enige vertraging opgelopen. Een optimale sturing van de selectiedruk is derhalve van belang om de korrelvorming te bevorderen en door te laten zetten. In dit verband is het van belang op te merken dat de relatief lage slibbelasting er mede voor zorgt dat de opbouw van een volwassen korrelslib bed trager verloopt dan wanneer sprake is van een hoge slibbelasting. De slibbelasting op de rwzi Epe is echter nodig om de effluentkwaliteit te kunnen garanderen en ligt overigens hoger dan ontwerp slibbelasting van 0,12 kgCZV/(kg DS.d). Het ligt in de verwachting dat op termijn steeds betere korrels worden gevormd, mede doordat 'goede' korrels sneller bezinken en daardoor meer voeding krijgen. In bijlage 2 is een overzicht gepresenteerd van de microcopische beelden, alsmede de korrelgrootteverdeling over de periode van opstart tot mei 2012.

Enig zorg is er over de regelmatige periodes met een hoge influent pH (pH 8 –11). Met enige regelmaat (2 tot 3 maal per week) worden de reactoren gevoed met deze hogere pH's. Het effect van deze lozingen op de korrelvorming is niet duidelijk. Gedurende het pilotonderzoek waren er vooral lozingen met lage pH welke op termijn nauwelijks effect bleken te hebben op de korrelvorming. De hoge pH (met name onder in het bed) zou een deel van het ALE kunnen oplossen en daarmee bijdragen aan een tragere korrelvorming. De hogere pH lozingen kunnen echter ook zorgen voor extra precipitatie (fosfaat) en tot vetdoorslag leiden (regelmatige visuele waarnemingen).

Ondanks dat het slib er (tijdelijk) visueel niet sterk korrelvormig uitziet, is er wel een duidelijk korrelslib karakter. Dit blijkt uit het relatief geringe verschil tussen SVI_5 en SVI_{30} en het feit dat bij slibbezinking geen uitvlokking optreedt en er dus geen sprake is van gehinderde bezinking. Hierdoor is een goed verdeelde opwaartse influenttoevoer door het slibbed mogelijk en functioneert de installatie naar behoren.

Uit ervaringen in de rwzi Frielas (Portugal) blijkt dat de constructie van de afvoersystemen een sterk effect heeft op de korrelselectie. In Epe is van deze ervaring geleerd en is de afvoerconstructie technisch aangepast. Deze maatregel zal een positieve impact hebben op de vorming van een sterker korrelvormig slib.

8

PRAKTIJKONDERZOEK EMISSIE BROEIKASGASSEN

8.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Tijdens het Nereda® proces wordt naast (korrel)slib en effluent ook lucht geproduceerd. Bij een vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering bestaat de mogelijkheid dat broeikasgassen worden gevormd die schadelijk zijn voor het milieu. STOWA heeft in dit kader al een onderzoeksprogramma opgezet om de situatie voor actiefslibsystemen in kaart te brengen. De resultaten van dit onderzoek zijn gerapporteerd (zie STOWA-rapport 2010-08) en inmiddels is vervolgonderzoek in uitvoering. De TU Delft is bij deze onderzoeken nadrukkelijk betrokken en voert ondermeer de metingen uit.

Doel van het onderzoek op de rwzi Epe is de productie van broeikasgassen (vooral lachgas) bij aëroob korrelslibreactoren nader te onderzoeken. Voor dit onderzoek is de opstelling van de TU Delft gebruikt die ook bij het eerder genoemde onderzoek bij actiefslibsystemen is ingezet. Met deze meetopstelling wordt de samenstelling van het afgas online gemeten. Er zijn op de rwzi Epe twee meetsessies op de pilotinstallatie uitgevoerd, alsook een meting op de praktijkinstallatie. Het grote voordeel van het gebruik van de pilotinstallatie is dat de gehele reactor kan worden afgedekt, waardoor in vergelijking met een praktijkinstallatie de kans op een representatieve meting groter mag worden geacht. De meting op de praktijkinstallatie is uitgevoerd met behulp van een gaskap. Tabel 20 geeft een overzicht van uitgevoerde metingen. Bij de meting op de praktijkinstallatie is zowel N_2O als CH_4 gemeten. Bij de metingen op de pilotinstallatie is alleen N_2O gemeten.

TABEL 20 MEETPROGRAMMA

Installatie	Jaar	Periode	Componten in afgas
Praktijkinstallatie	2012	8 juni – 21 juni	N_2O, CH_4
Pilotinstallatie			
- Meting 1	2010	10 mei – 22 mei	N_2O
- Meting 2	2011	2 mei – 19 mei	N_2O

De N_2O-emissie wordt gerelateerd aan de hoeveelheid stikstof die is omgezet. Hiervoor zijn de online analysers van de praktijk- en pilotinstallaties gebruikt. Door het batchgewijze karakter van de Nereda® technologie is het mogelijk om met behulp van de online NH_4-analysers in de reactoren per zuiveringscyclus een NH_4-vracht te berekenen, die met het influent in de betreffende zuiveringscyclus in de reactor is gebracht. Met behulp van daggemiddelde KjN-influentconcentraties die periodiek door het laboratorium worden gemeten, kan een relatie worden gelegd tussen de berekende NH_4-dagvracht op basis van de online analysers en de KjN-vracht in het influent. Vervolgens wordt de specifieke N_2O-emissie op basis van de KjN-influentvracht berekend.

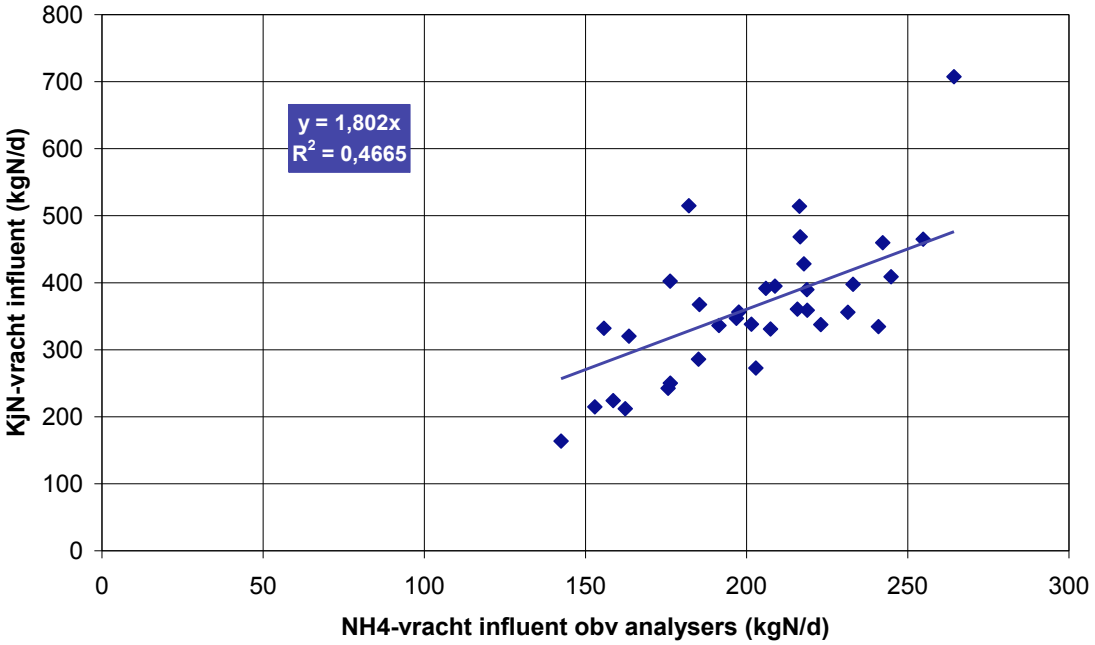
Voorafgaand aan het onderzoek is door de TU Delft aangegeven dat verhoogde NO_2-concentraties in de waterfase van invloed kunnen zijn op de N_2O-emissie. Om deze reden is van een groot aantal zuiveringscycli tijdens de beluchte fase de NO_2-concentratie in de waterfase gevolgd.

8.2 RESULTATEN PRAKTIJKINSTALLATIE

8.2.1 RELATIE TUSSEN NH_4 EN KJN IN INFLUENT

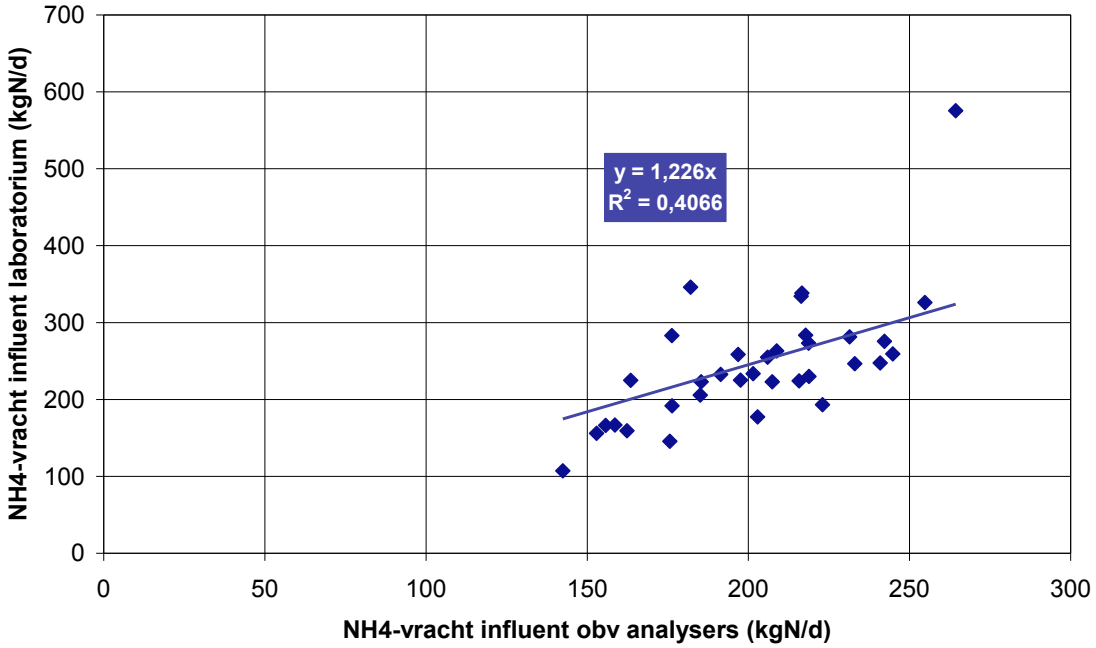
Tijdens de periode 19 maart t/m 29 april 2012 is dagelijks de influentsamenstelling van de rwzi Epe gemeten (zie paragraaf 4.1). De gemeten influentvrachten voor KjN en NH_4 zijn vergeleken met de berekende NH_4-influentvrachten op basis van de online NH_4-analysers in de drie Nereda® reactoren. Eén en ander is weergegeven in Afbeelding 61 en Afbeelding 62.
Van de periode waarin de lachgasmetingen zijn uitgevoerd, zijn slechts beperkt KjN-vrachten bekend. Om deze te kunnen berekenen zijn de NH_4-influentvrachten gebruikt die bepaald zijn op basis van de NH_4-analysers. Hiervoor is een factor 1,8 gebruikt.
Uit Afbeelding 62 blijkt dat de gemeten NH_4-vracht op basis van laboratoriumgegevens groter is dan de berekende vracht met behulp van de analysers. Het verschil is consistent en bedraagt gemiddeld 22,6%. Dit fenomeen is terug te voeren op adsorptie van NH_4 door het korrelslib. De TU Delft heeft aan dit onderwerp fundamenteel onderzoek verricht en aangetoond dat een aanzienlijk deel van de NH_4-influentvracht inderdaad door het slib wordt geadsorbeerd[2]. De door TU Delft gerapporteerde NH_4-adsorptie op basis van metingen aan korrelslib van de pilotinstallatie in Epe bevindt zich in de range van 18 tot 24%, hetgeen volledig past in het beeld van de resultaten op de praktijkinstallatie.

AFBEELDING 61 BEREKENDE NH_4-VRACHT INFLUENT O.B.V. ANALYSERS VERSUS KJN-VRACHT INFLUENT (PERIODE 19/3 – 29/4/2012)



2 Ammonium adsorption in aerobic granular sludge, activated sludge and anammox granules. J.P. Bassin et al, Water Research 45 (2011) 5257-5265

AFBEELDING 62 BEREKENDE NH_4-VRACHT INFLUENT O.B.V. ANALYSERS VERSUS NH_4-VRACHT LABORATORIUM (PERIODE 19/3 – 29/4/2012)

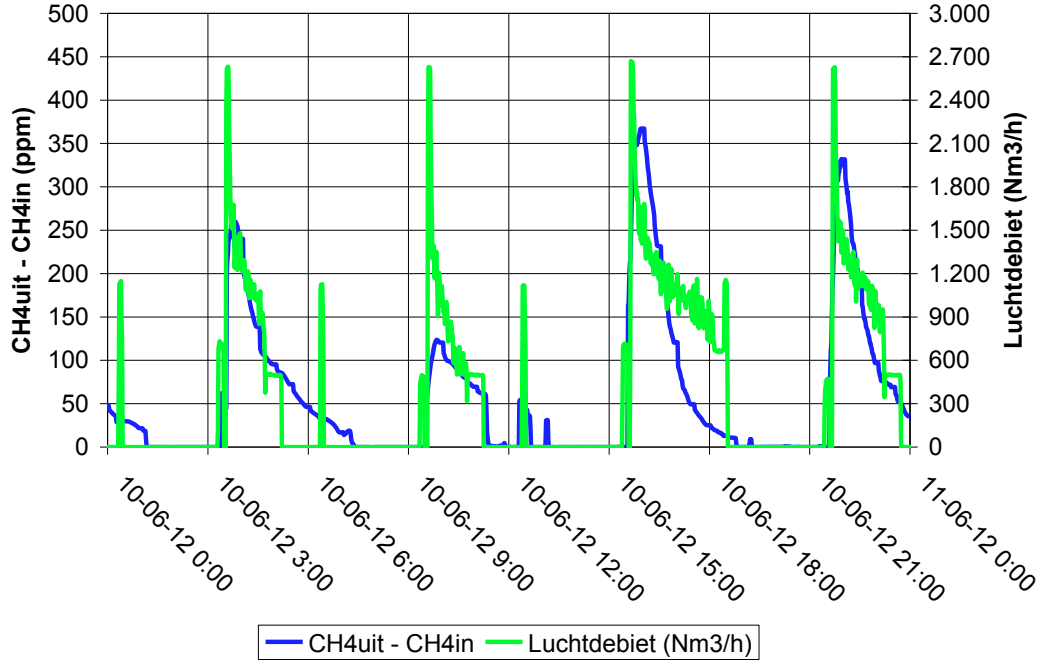


8.2.2 EMISSIES

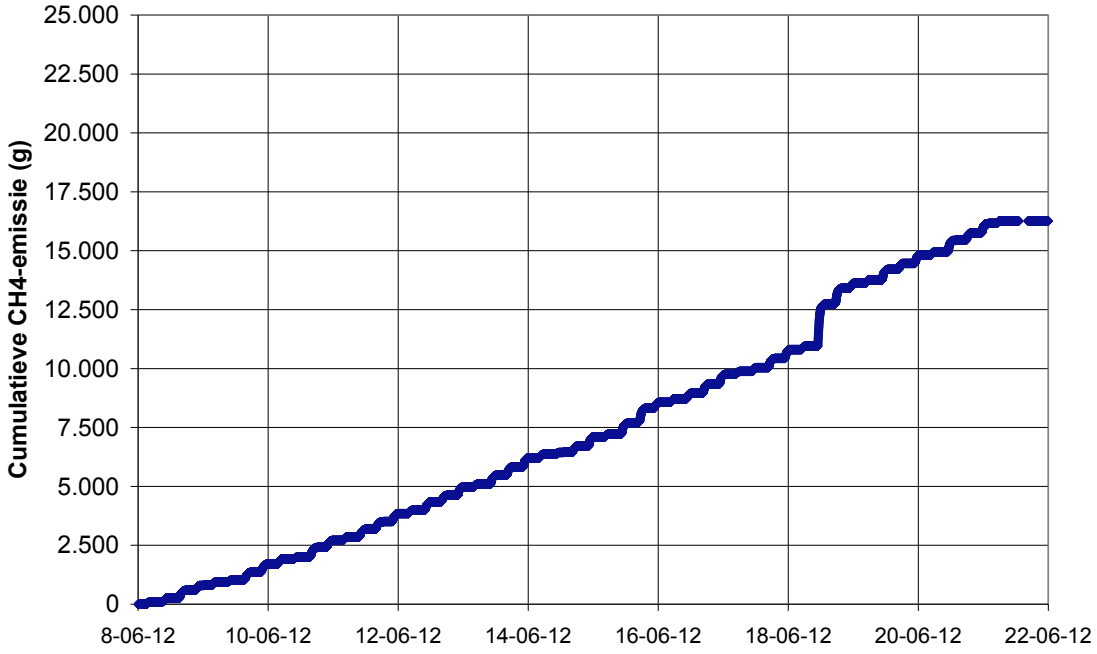
RESULTATEN CH_4

Afbeelding 63 geeft een kenmerkend voorbeeld weer van de CH_4-emissie over een dag. Afbeelding 64 laat het cumulatieve verloop over de gehele meetperiode zien. De CH_4-emissie is berekend door de CH_4-concentratie in het afgas te vermenigvuldigen met het luchtdebiet (minuutgemiddelde waarden). Uitgangspunt hierbij is dat 1 ppm overeenkomt met 0,67 $mgCH_4/m^3$. De gemiddelde CZV-belasting van de rwzi Epe over de periode 19/3/2012 – 9/10/2012 bedraagt 3.940 kg/d (drie Nereda® reactoren). De totale CH_4-emissie in AT1701 over de meetperiode van 14 dagen bedraagt 16.200 g. Eén en ander betekent dat de specifieke CH_4-emissie over de gehele meetperiode 0,0009 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$ bedraagt.

AFBEELDING 63 - VERLOOP CH_4-CONCENTRATIE EN LUCHTDEBIET OP 11/6/2012



AFBEELDING 64 CUMULATIEVE CH_4-EMISSIE

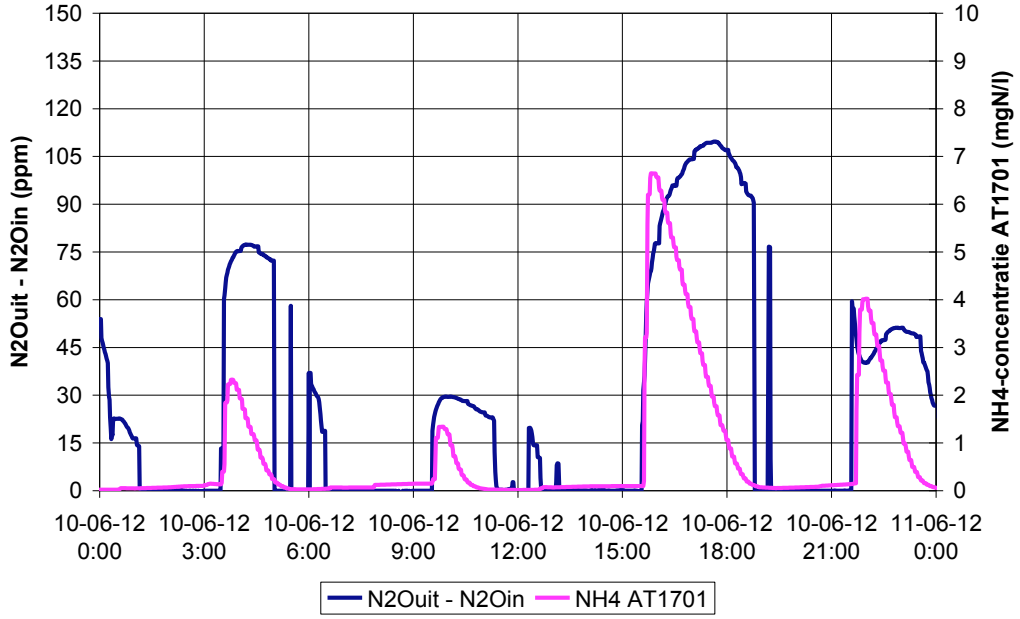


RESULTATEN N_2O

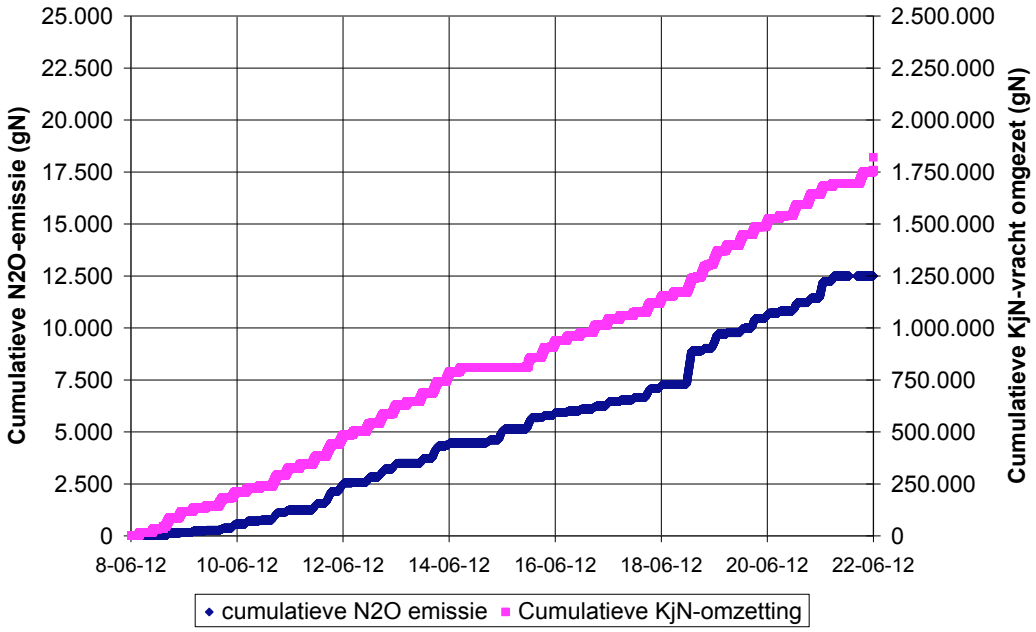
De N_2O-emissie is berekend door met een tijdstap van één minuut de gemeten N_2O-concentratie in het afgas te vermenigvuldigen met het gemeten luchtdebiet naar reactor AT1701. Uitgangspunt hierbij is dat er alleen N_2O-emissie plaatsvindt als de beluchting van de reactor aanstaat. De metingen zijn uitgevoerd bij een temperatuur van 16-18 °C en bij deze temperatuur bedraagt het molaire gasvolume 23,9 l/mol. De N_2O-concentratie is gemeten in ppm en bij het genoemde molaire gasvolume komt 1 ppm overeen met 1,17 $mgN_2O\text{-}N/m^3$. Voor de omrekening van NH_4-vrachten naar KjN-vrachten is de eerder genoemde factor 1,8 gebruikt (zie paragraaf 8.2.1).
Afbeelding 65 geeft het kenmerkende voorbeeld van het verloop over een dag weer. In Afbeelding 66 is het cumulatieve verloop van de N_2O-emissie en KjN-omzetting weergegeven. Over de gehele meetperiode bedroeg de specifieke N_2O-emissie 0,69%.

Tabel 21 geeft een samenvatting van de nitrietmetingen weer. Tijdens een groot aantal zuiveringscycli is tijdens de beluchte fase elke 15 minuten de NO_2-concentratie in de waterfase handmatig gemeten met behulp van snelkits van Hach Lange. Uit alle metingen blijkt een consistent beeld met lage nitrietconcentraties. De maximale nitrietconcentratie is kleiner dan 0,4 mgN/l is en de gemiddelde nitrietconcentratie is kleiner dan 0,2 mgN/l. Opgemerkt dient te worden dat de nitrietmetingen na de periode van afgasmetingen hebben plaatsgevonden. Gezien het consistente beeld met betrekking tot belasting, bedrijfsvoering en effluentkwaliteit mogen de nitrietmetingen als representatief worden beschouwd.

AFBEELDING 65 VERLOOP VAN N_2O- EN NH_4-CONCENTRATIES OP 10/6/2012



AFBEELDING 66 CUMULATIEF VERLOOP N_2O-EMISSIE EN KJN-OMZETTING



TABEL 21 OVERZICHT NITRIETMETINGEN

Datum	NO_2-N in waterfase (mgN/l)	
	gemiddelde	maximum
12/7/2012	0,14	0,24
28/8/2012	0,13	0,38
3/9/2012	0,11	0,28
6/9/2012	0,13	0,37
10/9/2012	0,14	0,32
13/9/2012	0,16	0,38
17/9/2012	0,11	0,22
20/9/2012	0,13	0,27
26/9/2012	0,14	0,30

8.3 RESULTATEN PILOTINSTALLATIE

8.3.1 FUNCTIONEREN PILOTINSTALLATIE

Met betrekking tot het meten van de lachgasemissie aan de pilotinstallaties zijn twee meetcampagnes uitgevoerd:

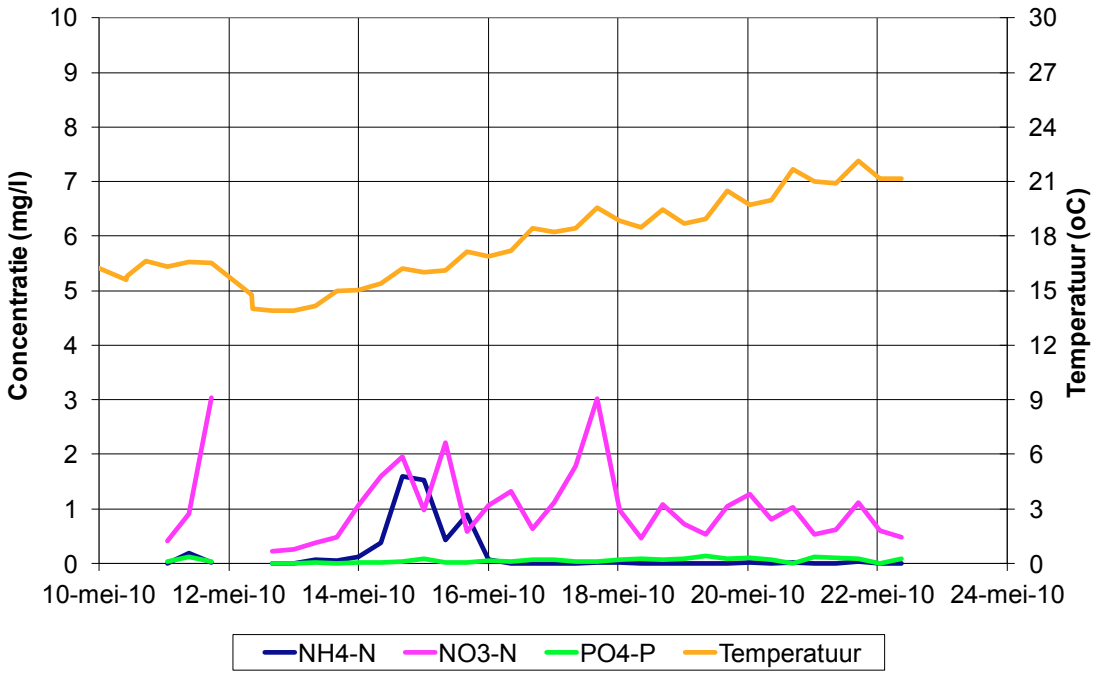
1 periode 10 mei tot 22 mei 2010 in Reactor 1. In de periode 9 mei t/m 20 mei is 10,1 m^3 afvalwater behandeld (gemiddeld 0,85 m^3/d)

2 periode 2 mei tot 19 mei 2011 in Reactor 2. In de periode 2 t/m 21 mei is 18,5 m^3 afvalwater behandeld, hetgeen neerkomt op gemiddeld 0,9 m^3/d.

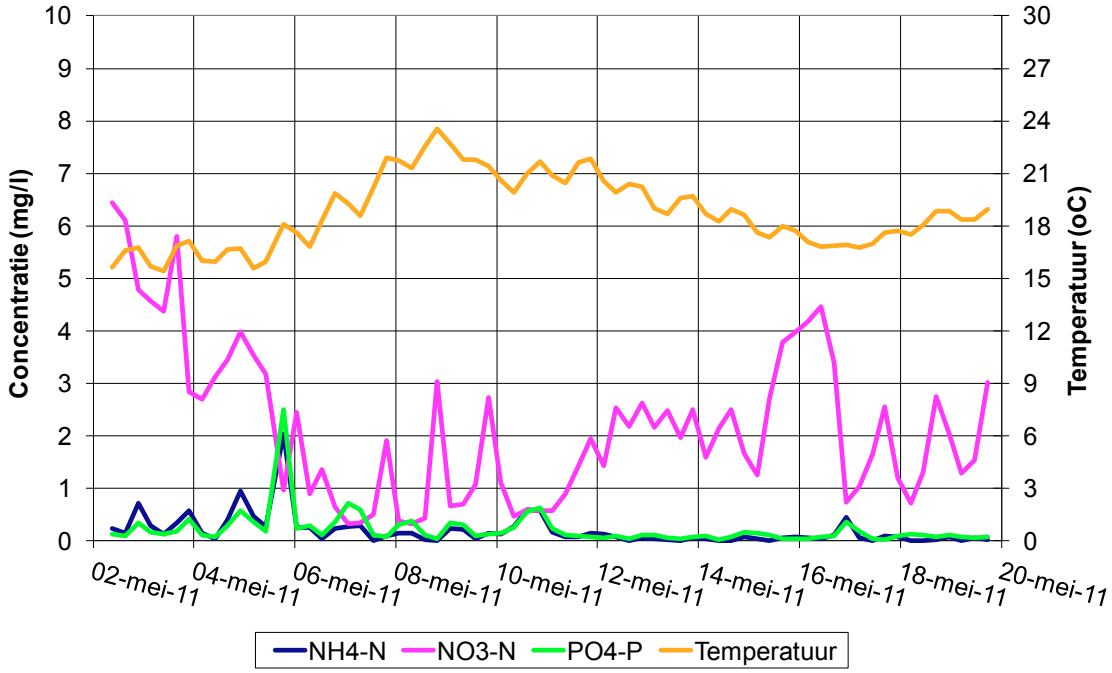
Het volume van de reactoren bedraagt 1,5 m^3 en dat betekent dat gedurende beide meetcampagnes de gemiddelde volumetrische belasting 0,6 $m^3/(m^3.d)$ bedroeg. Deze waarde komt precies overeen met de volumetrische ontwerpbelasting van de praktijkinstallatie op basis van het gemiddelde ontwerpdebiet (zijnde 8.000 m^3/d en 13.500 m^3 aan totaal reactorvolume).

De pilotinstallatie draaide in beide periodes op een min of meer vergelijkbare procesvoering, die zich vertaalde in een uitstekende stikstof- en fosfaatverwijdering (zie Afbeelding 67 en Afbeelding 68). De gegevens zijn gebaseerd op de online metingen van de pilotinstallatie.

AFBEELDING 67 EFFLUENTKWALITEIT MEETCAMPAGNE 1 (REACTOR 1)



AFBEELDING 68 EFFLUENTKWALITEIT MEETCAMPAGNE 2 (REACTOR 2)



8.3.2 RELATIE TUSSEN NH_4 EN KJN IN INFLUENT

Voor de relatie tussen de gemeten NH_4-influentvracht met de analysers en KjN-vracht in het influent is dezelfde relatie gebruikt als bij de praktijkinstallatie (zie paragraaf 8.2.1). Deze factor bedraagt 1,8 kgKjN/kgNH_4.

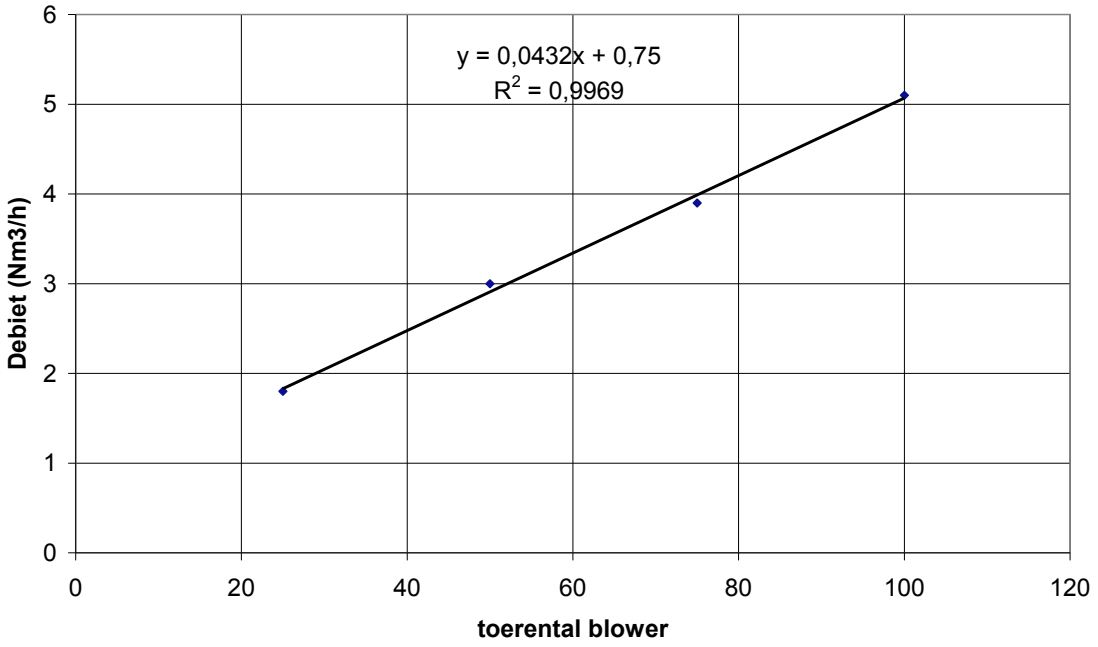
8.3.3 N_2O-EMISSIE

De resultaten zijn weergegeven in Afbeelding 70 en Afbeelding 71 (meetcampagne 1) en Afbeelding 72 en Afbeelding 73 (meetcampagne 2). Bij de omrekening van de N_2O-N-concentraties van ppm naar mg/m^3 is er van uitgegaan dat 1 ppm overeenkomt met 1,17 mg/m^3. Binnen de gehanteerde temperatuurrange van 15 tot 25°C verandert deze waarde nauwelijks, omdat het molaire gasvolume binnen deze range ook nauwelijks varieert (ca 24 l/mol). Voor de berekening van de KjN-vracht is dezelfde methodiek gebruikt in vergelijking met de praktijkinstallatie.

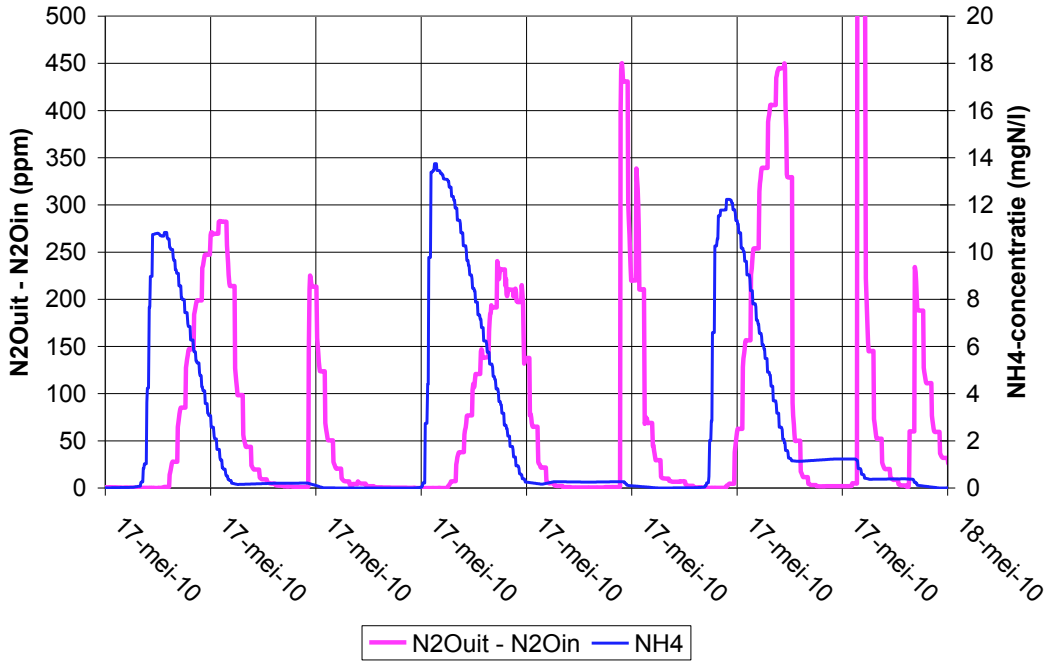
Bij de berekening van het luchtdebiet van de blowers is uitgegaan van de ijkgrafiek in Afbeelding 69. Deze is nodig omdat het toerental van de blower online werd gelogd en het luchtdebiet niet werd gemeten. Bij de berekening van de emissies is niet gecorrigeerd voor het temperatuureffect op het luchtdebiet. Dit effect wordt binnen de temperatuurrange van de metingen relatief klein geacht (< 10%). De ijklijn is bepaald door het luchtdebiet met een rotameter van TU Delft te meten aan de zuigzijde van de blower.

Uit de metingen blijkt dat de gemiddelde N_2O-emissies bij de meetcampagnes respectievelijk 2,09% en 0,89% bedroegen. De spreiding binnen de metingen is op dagbasis echter groot en ook het verschil tussen de twee meetcampagnes is ruim een factor 2.

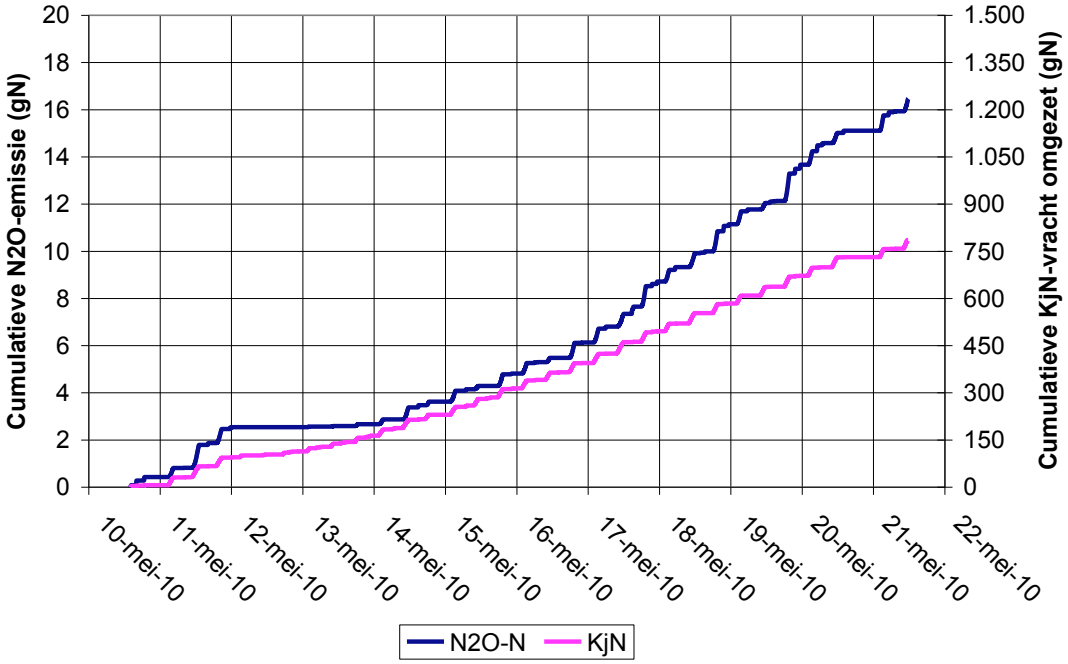
AFBEELDING 69 IJKGRAFIEK BLOWER PILOT



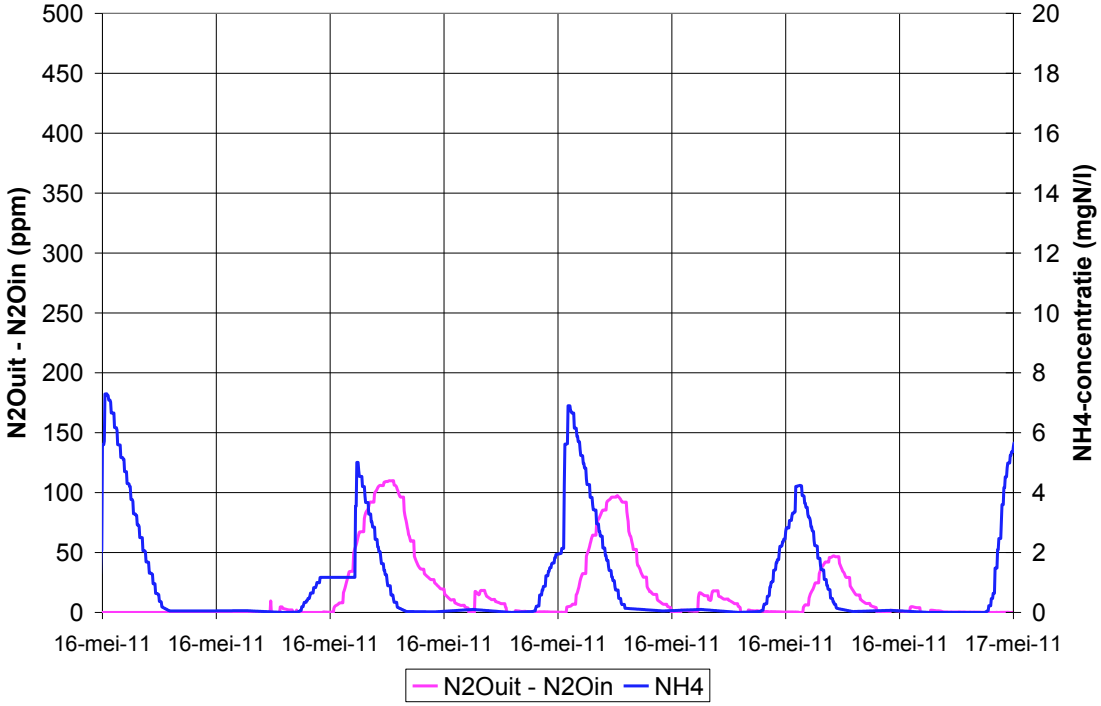
AFBEELDING 70 VERLOOP VAN N_2O- EN NH_4-CONCENTRATIES OP 17 MEI 2010 (MEETCAMPAGNE 1)



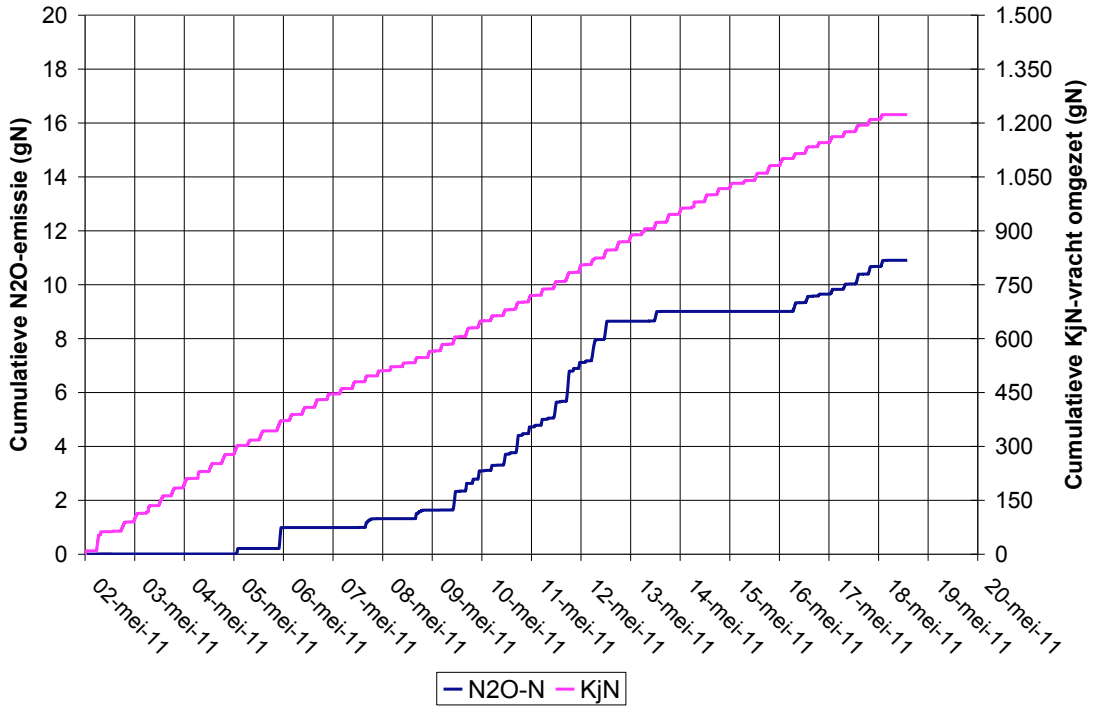
AFBEELDING 71 CUMULATIEF VERLOOP N_2O-EMISSIE EN KJN-OMZETTING (MEETCAMPAGNE 1)



AFBEELDING 72 VERLOOP VAN N_2O- EN NH_4-CONCENTRATIES OP 16 MEI 2011 (MEETCAMPAGNE 2)



AFBEELDING 73 CUMULATIEF VERLOOP N_2O-EMISSIE EN KJN-OMZETTING (MEETCAMPAGNE 2)



8.4 CONCLUSIES

De CH_4-emissie is tijdens de meetcampagne op de praktijkinstallatie meegenomen. Het beeld dat uit deze meting naar voren is gekomen, is consistent. Uit Afbeelding 64 blijkt namelijk dat de toename van de CH_4-emissie geleidelijk verloopt en min of meer lineair toeneemt met de tijd. Alleen op 18 juni is een plotselinge verhoging van de CH_4-emissie waar te nemen. Deze verhoging valt samen met een first flush – ofwel een situatie waarbij veel afvalwater met hoge concentraties in de reactor is gevoerd. Het effect van de first flush is ook waarneembaar bij de N_2O-emissie (zie Afbeelding 66).

Het blijkt dat de specifieke CH_4-emsisie van de Nereda® reactoren 0,0009 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$ bedraagt. Deze emissie kan met continue actiefslibsystemen worden vergeleken via de som van de CH_4-emissie van selector, anaërobe tank, voordenitrificatietank en beluchtingstank. Uit STOWA-onderzoek 2010-08 blijkt dat de genoemde procesonderdelen op de onderzochte rwzi's zonder slibgisting (Papendrecht en Kortenoord) circa 50% van de totale CH_4-emissie voor hun rekening nemen. De specifieke CH_4 emissies van deze onderdelen op de rwzi's Papendrecht en Kortenoord bedroegen respectievelijk 0,0043 en 0,0025 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$. Ter referentie: VROM hanteert voor rwzi's zonder slibgisting een specifieke CH_4-emissie van 0,0070 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$.

Op basis van het gepresenteerde cijfermateriaal is de CH_4-emissie in Epe lager vergeleken met de gemeten emissies op Papendrecht en Kortenoord. Gezien de nog beperkte informatie en de nog beperkte ervaring met dergelijke onderzoeken, is de conclusie nog niet gerechtvaardigd om te stellen dat de CH_4-emissie van Nereda® rwzi's lager is dan van continue actiefslibsystemen.

Met betrekking tot de N_2O-emissie zijn drie meetcampagnes onder vergelijkbare klimatologische omstandigheden uitgevoerd. De CZV-slibbelasting was in de praktijkinstallatie circa

50% hoger in vergelijking met de metingen op de pilotinstallatie. De hogere slibbelasting op de praktijkinstallatie is terug te voeren op een lager korrelslibgehalte in vergelijking met de pilotinstallatie. Tabel 22 geeft de specifieke N_2O-emissies weer.

TABEL 22 OVERZICHT SPECFIEKE N_2O-EMISSIE

Meting	Specifieke N_2O-emissie als % van KjN-influentvracht
Praktijkinstallatie Epe (2012)	0,69%
Pilotinstallatie	
Meting 1 (2010)	2,09%
Meting 2 (2011)	0,89%

Uit alle metingen in Epe blijkt dat de variaties op dagbasis groot zijn, een beeld dat overeen komt met het onderzoek dat STOWA bij actiefslibinstallaties heeft uitgevoerd. Uit dit STOWA-onderzoek blijkt dat de specifieke N_2O-emissie bij de drie onderzochte rwzi's (Papendrecht, Kortenoord, Kralingseveer) varieert tussen 0,04% en 6,2%. Vanwege de grote variaties is het niet mogelijk gebleken om te komen tot eenduidige kengetallen en is aanbevolen om vervolgonderzoek uit te voeren. Het beeld dat naar voren komt uit onderzoek in Nederland komt overeen met internationaal gerapporteerde resultaten – zie ook STOWA-rapport 2010-08. Uit de cijfers blijkt dat de gemeten N_2O-emissies in Epe zich in de range bevinden van cijfers die bij actiefslibsystemen worden gerapporteerd.

Ondanks dat kentallen voor het voorspellen van de N_2O-emissie niet kunnen worden gedestilleerd uit de verschillende (inter)nationale onderzoeken, worden er vanuit beleidsdoeleinden kentallen gehanteerd. IPPC hanteert een emissiefactor van 0,035%, terwijl het Ministerie van Infrastructuur en Milieu uitgaat van 1%. Het grote verschil tussen deze twee kentallen benadrukt alleen maar dat op het gebied van N_2O-emissies door rwzi's nog geen consensus bestaat.

9

PRAKTIJKONDERZOEK VOORBEHANDELING

9.1 INLEIDING

Een goede werking van de voorbehandeling is bij een Nereda® installatie van belang om enerzijds verstoppingen in het influentverdeelsysteem en anderzijds vorming van drijflagen aan het oppervlak van de reactor(en) te voorkomen. In vergelijking tot een conventioneel actiefslibsysteem beschikt een Nereda® installatie niet over een nabezinkstap, waardoor er in principe minder mogelijkheden zijn om gevormde drijflagen en ander materiaal te verwijderen.

Mede vanwege de specifieke influentsamenstelling van de rwzi Epe, in het bijzonder door lozing van afvalwater van twee grote slachterijen, is de voorbehandeling van de installatie uitgevoerd met een perforatierooster met openingen van 3 mm, gevolgd door een beluchte vet- en zandvanger. Het doel van het onderzoek was om het verwijderingsrendement van deze voorbehandeling in kaart te brengen. De ambitie was om tot sluitende balansen te komen: de verwijderde vuillast uit het afvalwater dient in het afgevoerde roostergoed, vet en/of zand terecht te zijn gekomen.

Het onderzoek naar de werking van de voorbehandeling is uitgevoerd tijdens de verificatiemetingen van de Nereda® installatie in de periode van 16 maart t/m 30 april 2012 (zie hoofdstuk 4). Door een relatief beperkte uitbreiding van het totale bemonsterings- en analyseprogramma ten behoeve van de verificatiemetingen kon het onderzoek naar de voorbehandeling effectief en efficiënt worden uitgevoerd.

Verder was een aanvullend deelonderzoek voorgesteld over de eventuele relatie tussen CZV-laboratorium analyses en online metingen, zoals UV adsorptie bij 254 nm (onverzadigde verbindingen), geleidbaarheid en pH. Dit onderzoek is in samenwerking met de firma Hach Lange en met door hen ter beschikking gestelde apparatuur uitgevoerd op het influent van rwzi Epe.

9.2 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Gedurende een periode van 3 weken (week 15 t/m week 17 van 2012) zijn monsters genomen op de volgende plaatsen in het proces: influent, afloop perforatieroosters, afloop zand/vetvang (bemonstering in tussengemaal).

Voor de monsterpunten afloop rooster en de afloop zandvang zijn tijdelijk volledig geautomatiseerde monsternamekasten geplaatst. Voor het influent is gebruik gemaakt van de aanwezige bemonsteringsapparatuur. De monstername bestond uit debietproportionele dagmonsters, waarbij gedurende een aaneengesloten periode van veertien dagen – te weten van 12 tot en met 25 april - monsters zijn genomen (zie ook Afbeelding 74). De analyses zijn verricht door het NEN-gecertificeerde waterlaboratorium van het Waterschap Groot Salland. Naast een aantal analyses dat al onderdeel was van de verificatiemetingen, zijn specifiek voor dit

onderzoek additionele analyses uitgevoerd, bijv. bepalingen voor zand, oliën en roostergoedsamenstelling.
Op basis van de analyseresultaten zijn balansen opgesteld ten aanzien van verwijderingsrendementen per stof of component.

AFBEELDING 74 IMPRESSIE MONSTERNAMEFLESSEN

9.3 RESULTATEN

9.3.1 ONLINE METINGEN HACH LANGE

Voor het deelonderzoek met het online meetapparaat voor UV adsorptie 254nm (UVAS) van Hach Lange, zijn de metingen gerelateerd aan andere online metingen en aan laboratoriumanalyses, voornamelijk CZV.

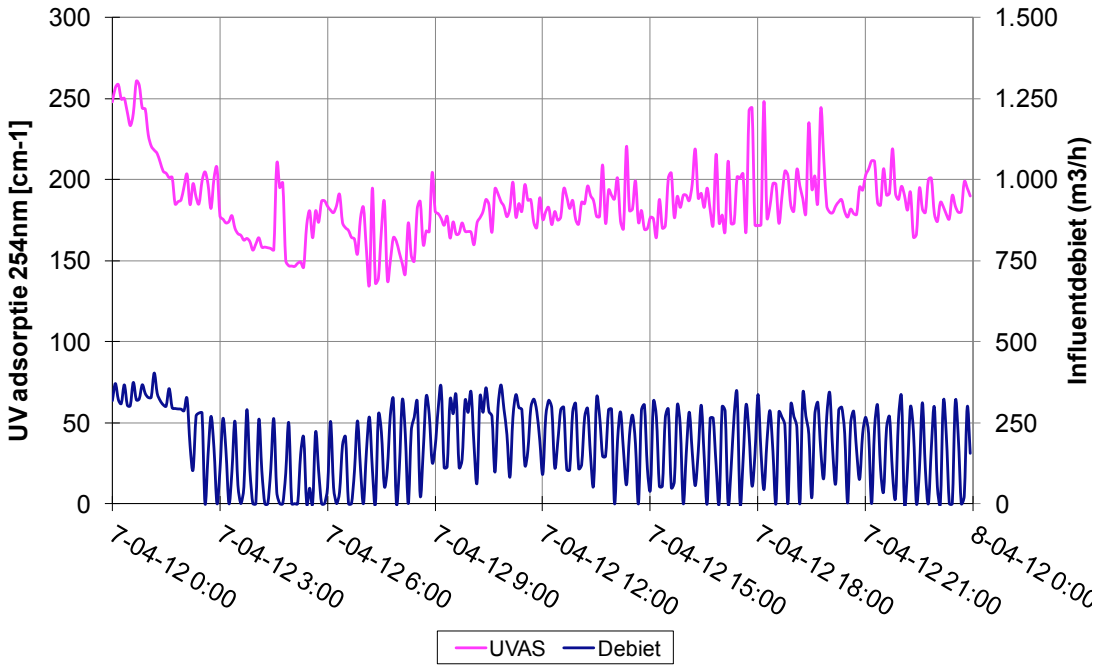
In Afbeelding 75 en Afbeelding 76 zijn voor een algemene indruk UVAS metingen weergegeven over een representatieve DWA-dag (7 april) en RWA-dag (9 april). Vervolgens is nagegaan of er een correlatie bestaat tussen de verschillende metingen. Hiervoor zijn volgende correlaties onderzocht:

1 CZV-vracht op basis van 24-uurs-analyses versus daggemiddelde debietgewogen UVAS-waarden;
2 Debietgewogen daggemiddelde UVAS-waarden versus daggemiddelde pH, temperatuur en geleidbaarheid.

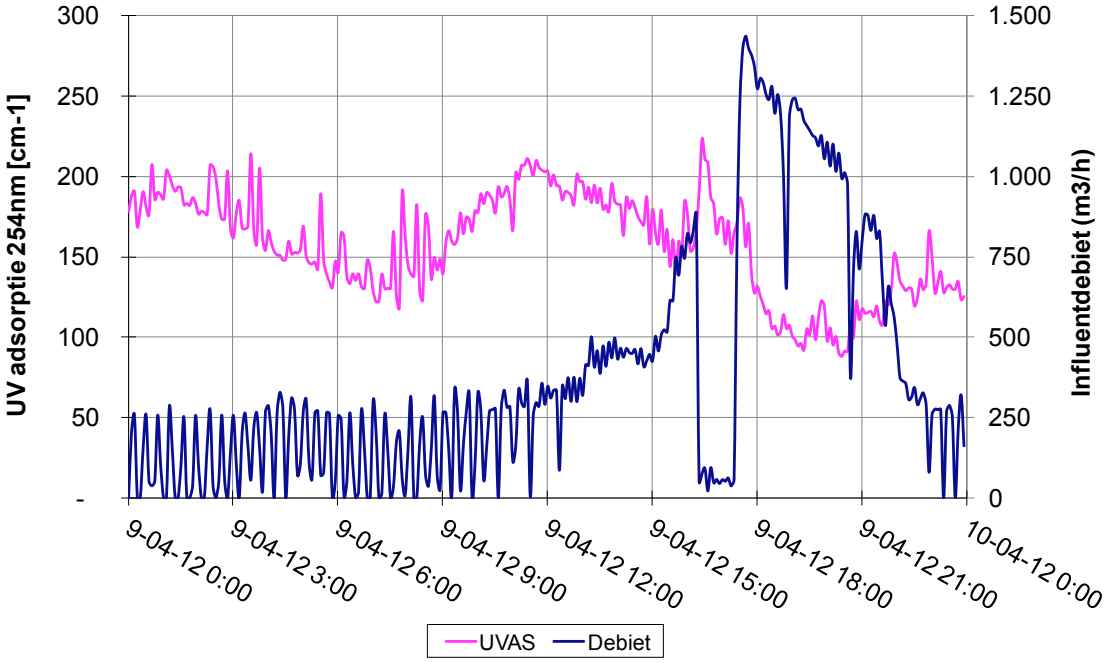
Genoemde correlaties zijn in Afbeelding 77 tot en met Afbeelding 80 weergegeven. Er blijkt geen correlatie tussen UV-adsorptie en CZV-vrachten in het influent (Afbeelding 77), noch is

er een relatie met pH en temperatuur. Wel blijkt er een goede correlatie te bestaan tussen het adsorptiesignaal en de geleidbaarheid (Afbeelding 79).

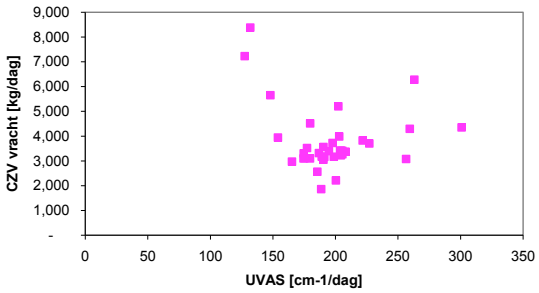
AFBEELDING 75 UVAS METINGEN BIJ DWA-CONDITIES



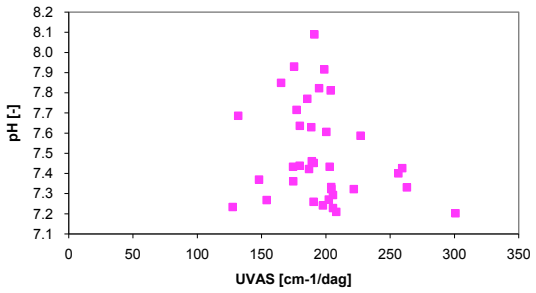
AFBEELDING 76 UVAS METINGEN BIJ RWA-CONDITIES



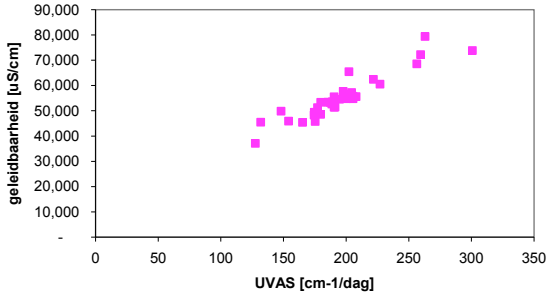
AFBEELDING 77 UVAS VERSUS CZV



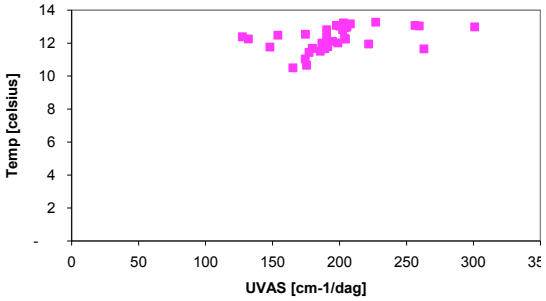
AFBEELDING 78 UVAS VERSUS PH



AFBEELDING 79 UVAS VERSUS GELEIDBAARHEID



AFBEELDING 80 UVAS VERSUS TEMPERATUUR



9.4 RESULTATEN ANALYSEPROGRAMMA

In Tabel 23 is een samenvatting gepresenteerd van de concentraties van de verschillende parameters, weergegeven als minimum, maximum en gemiddelde concentraties (min-max/gemiddeld) voor de monsterpunten van de voorbehandeling genomen op 14 meetdagen. Voor een gedetailleerd overzicht van analyseresultaten wordt verwezen naar bijlage 1 van dit rapport.

TABEL 23 CONCENTRATIES STOFFEN UITGEDRUKT IN MIN-MAX / GEMIDDELD IN MG/L

Parameter	Influent	Afloop rooster	Afloop zandvang
ZS	210 - 580 / 355	120 - 320 / 241	130 - 740 / 339
BZV	120 - 670 / 346	140 - 460 / 274	160 - 520 / 305
CZV	530 - 1320 / 866	440 - 890 / 690	470 - 1510 / 822
P_{tot}	4,7 - 12,0 / 9,0	5,4 - 11,0 / 7,8	5,4 - 13,0 / 8,5
PO_4-P	2,8 - 7,2 / 5,4	3,0 - 7,4 / 4,9	2,9 - 7,0 / 4,9
NKj	47 - 104 / 78	29 - 99 / 67	31 - 104 / 70
NH_4-N	30 - 67 / 52	2,4 - 65 / 44	2,1 - 65 / 46

Aan de hand van deze samenvatting wordt duidelijk dat voor alle gemeten stoffen de concentraties in de afloop zandvang structureel hoger zijn dan in de afloop rooster. Er is echter een verdere afname van concentraties te verwachten, naarmate er verder stroomafwaarts in het zuiveringsproces bemonsterd wordt. Mogelijke lozing van gerecirculeerde deelstromen die elders in het proces vrijkomen zouden hiervoor een verklaring kunnen leveren. Dit wordt in paragraaf 9.5 nader toegelicht.

Tabel 24 geeft een overzicht weer van vijf bemonsteringen van het roostergoed. Elk steekmonster bestaat hierbij uit vier deelmonsters en is geanalyseerd op chemisch zuurstofverbruik (CZV), indamprest, gloeirest, zand, Kjeldahl-stikstof (Nkj) en extraheerbare oliën en vetten. Opvallend is dat het roostergoed ook zand bevat. Het aandeel is ongeveer 20 tot 25% van de anorganisch droge stof gemeten als gloeirest.

TABEL 24 ANALYSE ROOSTERGOEDSAMENSTELLING

Datum		12 april 2012	15 april 2012	19 april 2012	23 april 2012	25 april 2012
CZV	g/kg ds	1110	1310	1250	1240	1490
Indamprest	%	30,6	28,4	25,5	31,0	27,7
Gloeirest	% ds	5,4	5,5	4,5	4,3	4,4
Zand	% ds	1,3	1,0	1,0	1,0	1,3
NKj	g/kg ds	17	19	13	14	14
P_{tot}	g/kg ds	1,9	2,6	2,0	1,9	1,9
Extraheerbare oliën en vetten	g/kg ds	39	65	38	55	37

9.5 RESULTAATVERWERKING EN CONCLUSIES

9.5.1 ONLINE METINGEN HACH LANGE

De bedoeling van dit deelonderzoek was het vinden van een mogelijke correlatie van een online CZV-meting (UVAS) in het influent met laboratorium CZV-analyses. Tevens is onderzoek verricht naar het vinden van correlaties met andere, eenvoudigere online metingen zoals geleidbaarheid, pH en temperatuur.

Het UV-adsorptiesignaal blijkt alleen een correlatie met de geleidbaarheid te hebben. De reden dat geen correlatie is gevonden met de CZV-concentratie heeft mede te maken met de meetmethode; de UVAS meet alleen de adsorptie bij 254 nm. Organische componenten absorberen UV-licht van 254 nm. Elke organische component heeft een eigen karakteristiek absorptievermogen. Dit wordt mede bepaald door de structuur van het organische molecuul. Zo absorberen onverzadigde bindingen (C=C) sterker UV 254 nm dan verzadigde bindingen (C-C) in een molecuul.

CZV is een analyse met chemische oxidatie van organische componenten, die niet zozeer componentspecifiek is. Met een UVAS-meting kan in veel gevallen wel een correlatie worden gevonden als sprake is van een enkele organische component of in afvalwater waarin verschillende verbindingen voorkomen maar wel in een vaste onderlinge concentratieverhouding. In huishoudelijk afvalwater komen zeer veel verschillende organische verbindingen voor, waarvan de aanwezigheid in de tijd niet constant is – laat staan in een vaste onderlinge concentratieverhouding. Het is waarschijnlijk om de laatstgenoemde oorzaak als representatief te beschouwen voor het feit dat met de UVAS-meting geen correlatie met de CZV-concentratie kon worden gevonden.

9.5.2 ANALYSEPROGRAMMA

Tabel 25 geeft een overzicht van de gemiddelde verwijderingsrendementen van de gemeten stoffen weer. Het perforatierooster heeft voor alle parameters positieve gemiddele verwijderingsrendementen. Deze liggen in dezelfde orde van grootte als het fijnrooster met een opening < 1 mm op de MBR Varsseveld (34% voor ZS, 21% voor BZV, 21% voor CZV en 18% voor P_{tot} STOWA 2006-05).

Verder is opvallend dat bij de bemonstering stroomafwaarts de concentraties van stoffen in de afloop rooster lager zijn dan in de afloop zandvang. Dit leidt tot negatieve gemiddelde verwijderingsrendementen in de afloop zandvang ten opzichte van de monsterpunten afloop rooster of influent.

TABEL 25 GEMIDDELDE VERWIJDERINGSRENDEMENTEN STOFFEN IN VOORBEHANDELING IN %

Parameter	Afloop rooster (t.o.v. influent)	Afloop zandvang (t.o.v. afloop rooster)	Afloop zandvang (t.o.v. influent)
ZS	27	-41	-9
BZV	13	-16	-4
CZV	16	-19	-2
P_{tot}	9	-10	0
PO_4-P	5	0	5
NKj	11	-7	6
NH_4-N	12	-127	10
NH_4-N	12	4	10

In Tabel 26 zijn enkele mogelijke hypothesen opgenomen ter verklaring van de gemeten negatieve verwijderingsrendementen van de zand/vetvang. Op basis van Tabel 26 wordt geconcludeerd dat er geen verklaring gevonden is voor de negatieve rendementen van de zandvanginstallatie. Het fenomeen van negatieve afscheidingsrendementen van de zand/vetvang is niet uitzonderlijk, want dit is ook geconstateerd tijdens de onderzoeken naar de werking van de voorbehandeling op de MBR Varsseveld (STOWA 2006-5).

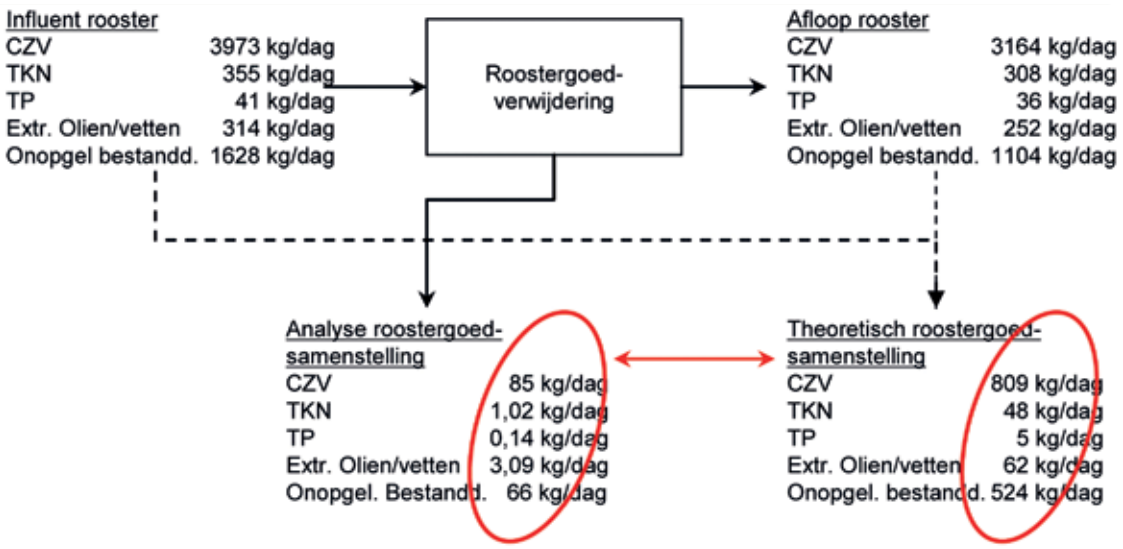
TABEL 26 MOGELIJKE HYPOTHESES EN BEVINDINGEN

Hypothese	Bevinding
Bemonstering	
- Bemonstering van influentdeelstroom en niet totaal-influent na opmenging van afvalwater Epe en Oene (wel één aanvoerpijp)	- Uitgesloten: debietsignaal voor influentbemonstering ingesteld op basis van cumulatief debiet van influentgemaal **plus** debiet rioolgemaal Oene
Indirecte stromen	
- Afloop roostergoedwaspers/zandwasser beïnvloedt rendement	- Uitgesloten: lozing vóór rooster
- Lozing extern effluent beïnvloedt rendement	- Uitgesloten: geen lozing sedert vijf jaar
- Afvalwater uit terreinriool plus zandwaswater beïnvloedt rendement	- Mogelijk maar weinig effect door laag debiet (DWA) in garantieperiode
- Vuilspoelwater zandfiltratie beïnvloedt rendement	- Uitgesloten: lozing in surplusslibkelder
- Bandfiltraat beïnvloedt rendement	- Uitgesloten: lozing op zandfilters

BALANSEN ROOSTERGOEDVERWIJDERING

De balansen voor de geanalyseerde stoffen over de roostergoedverwijdering zijn weergegeven in Afbeelding 81. Hieruit blijkt dat de vrachten voor alle geanalyseerde stoffen op basis van de gemiddelde roostergoedsamenstelling (Tabel 24) niet overeenkomen met de theoretische roostergoedsamenstelling. Deze theoretische samenstelling wordt daarbij berekend als verwijderde vracht op basis van waterzijdige analyses van het influent en afloop rooster. De verwijderde vrachten zijn hierbij vele malen hoger dan de gemeten vrachten vanuit de roostergoedanalyse. Deze balans over de roostergoedverwijdering geeft aan dat de analyses voor de genoemde stoffen niet nauwkeurig genoeg zijn om de stoffenbalansen te kunnen sluiten.

AFBEELDING 81 BALANS ROOSTERGOEDVERWIJDERING



De hoeveelheden roostergoed, zand en vet die verwijderd zijn in de voorbehandeling van de voorzuivering van de rwzi Epe kunnen in relatie worden gebracht met de afgevoerde hoeveelheden op de oude rwzi. De uitkomsten daarvan zijn samengevat in Tabel 27.

TABEL 27 SAMENVATTING HOEVEELHEDEN ROOSTERGOED, ZAND EN VET (VERIFICATIEPERIODE)

roostergoed in kg/d		zand in g/m³ afvalwater		vet in m³ per jaar	
oud	nieuw [1]	oud [2]	nieuw [1]	oud [2]	nieuw [1]
180 [3]	155 - 310	20	8 (via rooster)	30	20

[1]: gemeten in de garantieperiode en daarna
[2]: opgave volgens bedrijfsvoering
[3]: opstartperiode Nereda: oude en nieuwe voorbehandeling in gebruik

De hoeveelheden roostergoed lijken te zijn toegenomen na de inbedrijfstelling van de Nereda® installatie en de afgevoerde hoeveelheden vet blijven iets achter ten opzichte van de voorheen geproduceerde hoeveelheden. Ook deze bevindingen bevestigen een hoger afscheidingsrendement van de nieuwe perforatieroosters in vergelijking met het oude staafrooster.

De nieuwe zandvang lijkt ook met de opgave van de hoeveelheden in Tabel 27 slechts een geringe zuiveringstechnische functie te hebben. Bij de aanname dat de totale hoeveelheid zand die wordt aangevoerd op de nieuwe zuivering gelijk blijft, blijkt dat bijna de helft van het zand wordt verwijderd via het perforatierooster.

10

PRAKTIJKONDERZOEK NABEHANDELING

10.1 INLEIDING

Uit nabehandelingsonderzoek dat enige jaren geleden op laboratorium- en pilotschaal is uitgevoerd, kwam naar voren dat het effluent van een Nereda® installatie zich niet één op één laat vergelijken met effluent van een conventioneel actief slibsysteem (CAS). Door een beperkte beschikbaarheid van effluent was alleen (zeer) kleinschalig onderzoek mogelijk. Tijdens het onderzoek bleek dat destijds alleen met een zandfilter kon worden voldaan aan effluenteis van 0,3 mgP/l. Het zandfilter op de praktijkinstallatie te Epe is opgebouwd uit een bovenlaag van 1,25 m. met een korrelgrootte van 3,15 – 5,6 mm en een onderlaag van 0,75 m. met een korrelgrootte van 2,0 – 4,0 mm. Daaronder bevinden zich nog enkele steunlagen met grover zand.

Recente ontwikkelingen in Nederland laten zien dat ook alternatieve nabehandelingstechnieken ingezet kunnen worden voor een gecombineerde verwijdering van fosfaat en zwevendstof. De nieuwe rwzi Epe biedt de mogelijkheid om op (semi-)praktijkschaal deze alternatieve technieken representatief op hun technische haalbaarheid te toetsen. Naast het functioneren van de zandfilters op de rwzi Epe is derhalve ook vergelijkend onderzoek uitgevoerd met tijdelijk geplaatste proefinstallaties, te weten een Fuzzy Filter van de firma Bosman Watermanagement BV en een discfilter van Veolia Water Solutions & Technologies.
De inzet van deze alternatieve nabehandelingsinstallaties is interessant omdat hiermee potentieel hogere oppervlaktebelastingen ($m^3/(m^2.h)$) kunnen worden gerealiseerd, waardoor de installaties kleiner en investeringstechnisch aantrekkelijker kunnen zijn in vergelijking tot de op de rwzi Epe geplaatste (discontinue) zandfilters. Hierbij moet wel worden beseft dat een (significant) hogere oppervlaktebelasting zal leiden tot een hogere drogestofbelasting (kg $DS/(m^2.h)$), waardoor de looptijden van de filters zullen afnemen. De noodzakelijke spoeling van de filterinstallaties neemt als gevolg daarvan een groter aandeel in van de totale cyclus, waardoor de efficiency van het proces zal afnemen. Om dit specifieke effect van hogere oppervlaktebelastingen te reduceren, is het van wezenlijk belang de spoeling in tijd en (effluent)volume te reduceren. Hiervoor zijn goede online metingen en een adequate sturing van eminent belang.

De proefnemingen op de rwzi Epe hadden tot doel om de mogelijkheden van de twee alternatieve filterinstallaties op effluent van een Nereda® installatie te onderzoeken. De aangegeven optimalisatie behoorde hier nadrukkelijk niet toe. Daarom zijn onderwerpen zoals maximale (oppervlakte-)belasting, spoelwaterverbruik en energieverbruik van de beide alternatieven slechts (zeer) beperkt of niet onderzocht.

10.2 OPZET VAN HET ONDERZOEK

10.2.1 ONDERZOEKSPROGRAMMA

Voor een periode van vier weken (week 26 t/m 29 2012) zijn het discontinue zandfilter en de beide proefinstallaties naast elkaar beproefd. De onderzoekstermijn met het discfilter is met een week verlengd (week 30 2012). Het uitgevoerde onderzoek is gericht op de vergelijking van de technieken met betrekking tot de haalbare effluentkwaliteit. De verwijdering van zwevendstof is daarbij uitsluitend op basis van troebelheid benaderd. Voor de aangegeven proefperiode is wekelijks het voedingswater (afloop Nereda® installatie met of zonder filtraat van het bandfilter) voor de drie nabehandelingsinstallaties gevarieerd (zie Afbeelding 82). Daarbij is het volgende onderzoeksschema aangehouden:

- week 26 zwevendstofverwijdering met hetzelfde influent voor alle drie systemen;
- week 27 zwevendstof- en fosfaatverwijdering met hetzelfde voedingswater voor alle drie systemen (na dosering en menging voor het zandfilter);
- week 28 zwevendstof- en fosfaatverwijdering met aangepast voedingswater, waarbij vlok-(hulp)middelen, metaalzout en polyelectroliet per installatie zijn gedoseerd;
- week 29 voortzetting van week 28 met als doel te komen tot procesoptimalisaties;
- week 30 In verband met technische storingen is besloten om voor het discfilter de testperiode te verlengen, teneinde te komen tot meer representatieve en stabiele resultaten. Omdat de installatie t/m 6 juli 2012 zonder voedingspomp en alleen op beschikbare voordruk functioneerde, was het opzoeken van systeemgrenzen pas op een later tijdstip mogelijk.

De zandfilters van de rwzi Epe worden belast conform het aanvoerpatroon, zoals het afvalwater in de praktijk wordt aangevoerd. Dat betekent een dynamische hydraulische belasting die varieert tussen 2 m/h (bij minimum DWA-debiet) en 13 m/h bij de maximale aanvoer van 1.500 m^3/h. Onder DWA-condities - met name gedurende de nacht - is er sprake van een discontinue aanvoer naar de zandfilters, omdat het influent- en tussengemaal periodiek in en uit bedrijf gaan.

Vanwege praktische redenen is besloten om de pilotinstallaties te bedrijven bij twee constante hydraulische belastingen, te weten een belasting die de situatie bij DWA simuleert en een maximale belasting die overeenkomt met de belasting tijdens RWA:

- DWA lage filtratiesnelheid van 4 - 8 m/h voor het discfilter en 27 m/h (technisch minimum) voor het Fuzzy Filter;
- RWA hoge filtratiesnelheid van 12 - 15 m/h voor het discfilter en 50 m/h voor het Fuzzy Filter.

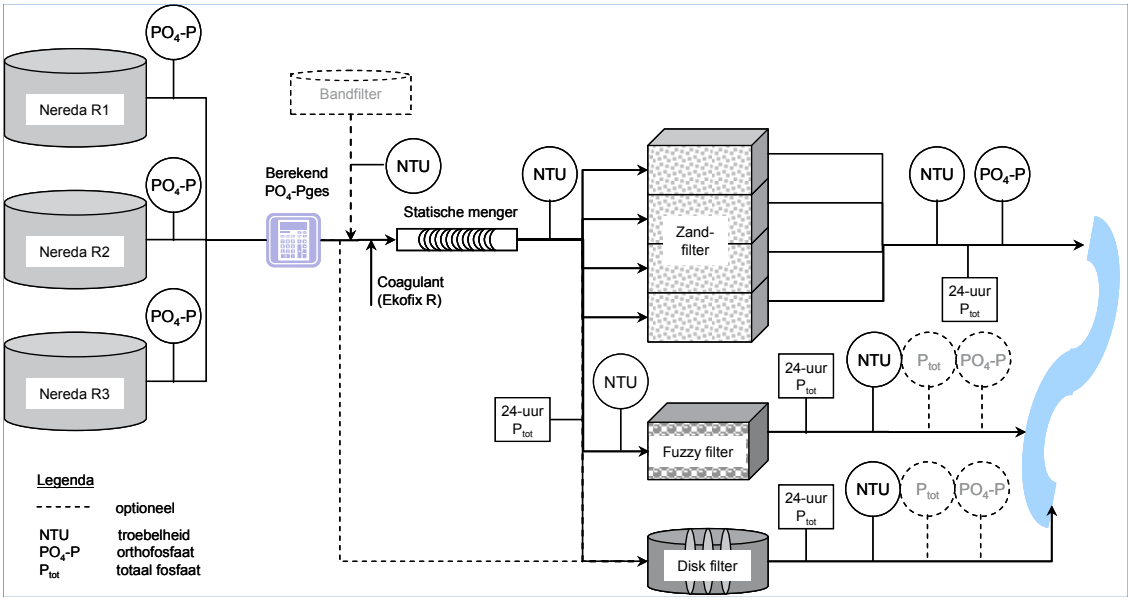
Ten aanzien van de besturing van de pilotinstallaties kan het volgende worden opgemerkt:

- De beschikbare Fuzzy Filter pilotopstelling is volledig geautomatiseerd en op afstand bestuurbaar. Dosering van chemicaliën (metaalzout Me of polyelectrolyt PE) is echter alleen mogelijk op basis van een vast ingesteld doseerdebiet. Daardoor blijft de installatie ook doseren bij een lage of geen aanvoer (gedurende nachturen) en is een proportionele sturing op basis van de ortho-fosfaatconcentratie in het voedingswater niet mogelijk;
- Het discfilter is volledig geautomatiseerd maar niet op afstand te besturen. Bij storingen en/of uitval van de installatie kan deze alleen handmatig weer in bedrijf worden genomen. Ook hier vindt de dosering van chemicaliën plaats op basis van een vast debiet. Doordat de installatie met een constant debiet wordt bedreven, blijft de dosering daarom ook doorgaan bij een lager voedingswaterdebiet (lage of geen aanvoer rwzi Epe in de nacht).

10.2.2 PILOTINSTALLATIES

Afbeelding 82 laat het processchema zien van de proefopstellingen op de rwzi Epe. De procesvoering van de zandfilters is eerder beschreven in paragraaf 3.2.6. Bij de Nereda® installatie in Epe wordt het bandfiltraat naar de zandfilters of de perforatieroosters gevoerd. Voor de eerste optie geldt dat de aanwezigheid van zwevendstof en polymeerresten de drogestofbelasting van de nabehandelingsinstallatie significant kan verhogen. Tijdens de onderzoeksperiode is het bandfiltraat t/m 18 juli rechtstreeks naar de zandfilters gevoerd. Daarna is het bandfiltraat naar de perforatieroosters gebracht.

AFBEELDING 82 PROCESSCHEMA NABEHANDELINGSONDERZOEK EPE



AFBEELDING 83 FUZZY FILTER PILOTOPSTELLING

De Fuzzy Filter pilotopstelling (Afbeelding 83) bestaat uit een filterunit met een oppervlak van 0,2 m^2 (0,45 m. x 0,45 m.) die van onderaf wordt doorstroomd. Het filter is gevuld met Fuzzy balletjes die zijn opgebouwd uit synthetische vezels. Deze Fuzzy balletjes zijn zeer poreus en samendrukbaar, waardoor filtersnelheden tot 100 $m^3/(m^2.h)$ mogelijk zijn. In het filter worden de Fuzzy balletjes met een regelbaar mechanisme samengedrukt. Met de samendrukbaarheid (compressie) wordt de poriëngrootte en het vuilbergend vermogen van het filterbed bepaald.
Zodra er tijdens een filtratierun een vooraf bepaalde drukopbouw en/of effluenttroebelheid wordt bereikt, start de wascyclus. Omdat tijdens de wascyclus de compressie wordt opgeheven, is het in principe mogelijk het Fuzzy medium met vuil water schoon te spoelen. Tijdens de wascyclus wordt zowel met lucht als water gewassen. Het waterdebiet is daarbij normaal gesproken 2 tot 3 m^3/h (watersnelheid 10 tot 15 m/h) en het luchtdebiet 1 m^3/h (luchtsnelheid 5 m/h). Tijdens de testweken vond de wateraanvoer plaats onder vrijverval, waardoor het gebruik van een pomp met regelbare aanvoer niet mogelijk was. Dit had mede tot gevolg dat er ongeveer 2,5 maal teveel spoelwater is gebruikt.

In de discfilter pilotopstelling stroomt het te behandelen effluent gravitair vanuit één centrale trommel naar het filtersegment. Zwevendstof wordt tegengehouden aan de binnenkant van de filterpanelen, die aan beide kanten van het segment gemonteerd zijn. De pilotopstelling op rwzi Epe heeft een effectief (ondergedompeld) filteroppervlak van 1,4 m^2 en een filterdoek met een poriëngrootte van 10 μm. Naarmate de vervuiling toeneemt wordt de doorstroming door de filterpanelen belemmerd en loopt het niveau in de centrale trommel op. Bij een bepaalde ingestelde waarde worden de filterelementen 180 graden gedraaid, zodat het schone filteroppervlak weer wordt ondergedompeld. Het vervuilde filteroppervlak wordt onder hoge druk gelijkmatig met filtraat gespoeld. De capaciteit van de spoelpomp bedraagt 2,6 m^3/h. Het vuile spoelwater wordt via een goot afgevoerd. Voorafgaande aan het discfilter is een flocculatietank (totaal 1 m^3) voor vlokgroei beschikbaar. Deze heeft twee compartimenten en bij een toevoerdebiet van 10 m^3/h een verblijftijd van circa 6 minuten.

10.2.3 ANALYSES

ALGEMEEN

Voor de evaluatie van de filtratiewerking van alle drie installaties zijn zowel online metingen (NTU, P_{tot}, PO_4-P) als ook 24-uurs-bemonsteringen (P_{tot}) uitgevoerd van voedingswater en filtraten. De monsterpunten binnen het processchema zijn weergegeven in Afbeelding 82.

TROEBELHEID

Om praktische redenen was het niet mogelijk om zwevende stof als parameter te monitoren, maar is de troebelheid online bepaald. M.b.t. de relatie tussen troebelheid en zwevendstof moet de volgende opmerking worden gemaakt. De zwevendstof / troebelheid ratio is vóór en na een filtratiestap niet dezelfde. Hierdoor kan de zwevendstofconcentratie bij de interpretatie van de filterwerking niet één op één worden gerelateerd aan de troebelheid.
De troebelheid in het voedingswater en het filtraat van het zandfilter is gemeten met een Solitax sc. Om technische redenen is de ingaande troebelheidswaarde bepaald in de aanvoergroot van het zandfilter. Hierdoor worden verhoogde zwevendstofconcentraties door metaalzoutdosering en/of lozing van het bandfiltraat ten opzichte van afloop van de Nereda® installatie meebepaald.
De troebelheid van het voedingswater van het Fuzzy Filter is gemeten door middel van een Ultraturb, een zijstroommeting. Deze gegevens zijn ook gebruikt als ingaande waarden voor

het discfilter. Eenzelfde type troebelheidsmeter is toegepast voor het meten van de troebelheid in de filtraten van beide proefinstallaties. Zowel Solitax sc als ook Ultraturb meten volgens dezelfde ISO standaard meetmethode.

FOSFAAT

Ter vaststelling van de fosfaatverwijdering is gebruik gemaakt van de beschikbare online meetapparatuur, te weten de meting van orthofosfaat (na monstervoorfiltratie 0,45 μm) in de afloop van de drie Nereda® reactoren en in het filtraat van het zandfilter. Vanwege technische redenen was voor online fosfaatmonitoring voor de twee pilotopstellingen slechts één meetunit beschikbaar. Er is voor gekozen om de meetsonde om de twee dagen van de ene naar de andere proefopstelling te verplaatsen.

Naast online fosfaatmetingen zijn 24-uurs bemonsteringen uitgevoerd. Deze geven een belangrijke aanvulling in de beoordeling van de filterprestaties. Mede t.b.v. een juiste vergelijking en interpretatie van de gegevens van de verschillende filterinstallaties zijn het influent en de filtraten van de pilotinstallaties tijdproportioneel bemonsterd, terwijl de afloop van de zandfilterinstallatie debietproportioneel is uitgevoerd.

Het monitoren van online totaalfosfaat was tijdens dit onderzoek slechts beperkt mogelijk. Daarom is ervoor gekozen om een beoordeling van de filterinstallaties voor fosfaatverwijdering voornamelijk te baseren op de 24-uurs bemonsteringen. In de extra testweek voor het discfilter (week 30) zijn deze bemonsteringen na 25 juli niet meer uitgevoerd.

10.3 RESULTATEN

10.3.1 WEEK 26 ZONDER CHEMICALIËNDOSERING

Alle installaties zijn gevoed met hetzelfde voedingswater, te weten de afloop van de Nereda® installaties inclusief het bandfiltraat. De installaties zijn zonder chemicaliëndosering bedreven. Onderstaand zijn de belangrijkste bevindingen samengevat weergegeven.

Resultaten Zandfilter

- Gedurende de eerste testweek ligt bij een gemiddelde filtratiesnelheid van 3,5 m/h de filtraat-troebelheid van het zandfilter constant op een waarde van < 1,0 NTU, met uitzondering van 29 juni 2012. Op deze dag is het zandfilter ‘s ochtends tijdens regenweeraanvoer nagenoeg maximaal hydraulisch belast (13 m/h). Gedurende deze fase neemt de influenttroebelheid toe tot 40 NTU en wordt een filtraattroebelheid tot 4 NTU gemeten;
- Aan het einde van de regenbui treden de bandfilters in werking, waarna gedurende 12 uur bandfiltraat met een troebelheid van 20 tot 30 NTU wordt geloosd. Dit leidt uiteindelijk tot een verhoging van de influenttroebelheid, echter zonder waarneembare verslechtering van de filtraattroebelheid;
- Zonder dosering van vlokhulpmiddel wordt alleen het aan zwevendstof gebonden deel van het totaalfosfaat verwijderd. Op 25 en 26 juni 2012 wordt totaalfosfaat niet noemenswaardig verwijderd, terwijl op 27 en 28 juni 2012 tussen 30 en 50% wordt verwijderd. De verwijdering kan worden toegeschreven aan de filtratie van organisch gebonden fosfaat;
- Het dagelijks spoelwaterverbruik varieert in week 26 tussen 0% (geen spoeling) en 11% met een gemiddelde waarde van 4%.

Resultaten Fuzzy Filter

- In de periode van 25 juni t/m 28 juni 2012 is de invloed onderzocht van de compressie (30 - 40 %) op de filterlooptijd en effluentkwaliteit. Bij een debiet van circa 5 m^3/h (filtratiesnelheid 24 m/h) heeft 10% verhoging in compressie een gering effect op de effluentkwaliteit met een absolute toename van de troebelheid van circa 0,5 NTU. De

looptijden veranderen echter significant van 1 tot 3,5 uur bij 30% naar 3 tot 6 uur bij 40%. Bij debieten > 5 m^3/h lijkt de compressie geen effect te hebben op de filterlooptijd;
- Het einde van een filterrun wordt niet bepaald door een verhoging van de effluenttroebelheid (indicatie voor zwevendstofdoorbraak), maar door het bereiken van de maximale drukopbouw over het filterbed. Daarom is de druktoename tot maximale druk als spoelcriterium gekozen. In de eerste onderzoeksweek is deze druk verhoogd van 240 naar 290 cmWK zonder dat een negatief effect op de effluentkwaliteit kon worden geconstateerd;
- Een debietsverhoging van 5 m^3/h (24 m/h) tot 12 m^3/h (60 m/h) resulteert niet in een significante verslechtering van de filtraattroebelheid. Lozing van bandfiltraat echter levert bij een debiet van 12 m^3/h een verhoging van de filtraattroebelheid op tot een waarde van ca. 2,5 NTU.

Resultaten Discfilter
- Het discfilter is gedurende week 26 met ca. 11 m^3/h (8 m/h) bedreven. Dit is het maximale debiet dat onder vrijverval kan worden aangevoerd. Een separate voedingspomp is op een later moment geïnstalleerd;
- De filtraattroebelheid is tot 28 juni gemiddeld ca. 1,5 NTU, oplopend tot 4 NTU aan het eind van de week;
- Het verwijderingsrendement voor totaalfosfaat is zonder dosering van metaalzout circa 50%.

10.3.2 WEEK 27 MET METAALZOUTDOSERING

Alle installaties zijn evenals in week 26 ook in week 27 gevoed met identiek voedingswater, te weten de afloop van de Nereda® installaties inclusief het bandfiltraat. De chemicaliëndosering van de zandfilters is gebruikt voor de aanvullende chemische fosfaatverwijdering van alle drie installaties. Onderstaand zijn de belangrijkste bevindingen samengevat weergegeven.

Resultaten Zandfilter
- De troebelheidswaarden in het voedingswater fluctueren veel sterker dan in week 26 (zonder coagulantdosering). Dit geldt ook voor de troebelheidswaarden van het zandfiltraat. Het troebelheidsniveau van het filtraat is echter vergelijkbaar met het niveau in de eerste week zonder coagulantdosering, te weten < 1 NTU. Uitzondering hierop zijn twee RWA-aanvoersituaties op 5 en 8 juli 2012. De regenbui op 8 juli veroorzaakt een verhoogde troebelheid in de afloop van de Nereda® installatie, inclusief een hoge troebelheid door lozing van het bandfiltraat. Vooral een plotselinge verhoging van de hydraulische belasting tot de maximale ontwerpwaarden zorgt voor een hogere effluenttroebelheid. Een langdurige lozing van bandfiltraat met een troebelheid van 20 tot 30 NTU leidt onder deze RWA-omstandigheden niet tot een verslechtering van de filtraattroebelheid;
- Op 3 juli en 4 juli 2012 wordt verwijderd tot onder de P-eis van 0,3 mgP/l, bij een ingaande totaalfosfaatconcentratie van circa 1 mg/l. Bij een ingaande concentratie van boven 2,0 mgP/l wordt de P-eis net niet bereikt (0,37 mgP/l). Eén van de redenen is dat de regeling van de chemicaliëndosering niet optimaal werkt. In een later stadium is deze regeling aangepast waardoor resultaten sterk zijn verbeterd. Dit laatste laat nogmaals het belang zien van een optimale procesregeling;
- Het dagelijkse spoelwaterverbruik varieerde in week 27 tussen 0% (geen spoeling) en 11% met een gemiddeld verbruik van 6%.

Resultaten Fuzzy Filter

- Effluenttroebelheid neemt toe van 1 naar 2 NTU bij een constante compressie van 40% en een debiet van 5 m^3/h;
- De looptijden lopen terug met de verhoging van de hydraulische belasting van circa 3 uur bij 5 m^3/h via circa 2 uur bij 8 m^3/h tot circa 1 uur bij 12 m^3/h bij de gehanteerde maximale druk van 250 - 280 mWk (zonder doorbraak van zwevendstof). Hierbij moet worden bedacht dat de gemiddelde DS-belasting op het Fuzzy Filter deze onderzoeksweek ruim 13 maal hoger ligt dan de belasting op het zandfilter;
- Bij een debietstoename van 5 naar 8 m^3/h in combinatie met een gelijktijdige RWA-situatie op 6 juli 2012, met lozing van bandfiltraat en een verhoogde metaalzoutdosering stijgt de effluenttroebelheid van 2 NTU naar 3 tot 4 NTU;
- Verwijdering van totaalfosfaat bedraagt 65 tot 70% voor alle geteste hydraulische belastingen met filtraatconcentraties tussen 0,2 en 0,3 mgP/l bij een ingaande concentratie tussen de 0,7 en 1,5 mgP/l.

Resultaten Discfilter

- Het discfilter is meer dan de helft van deze onderzoeksweek buiten bedrijf in verband met een storing van de thermische beveiliging van de spoelpomp. Deze storing wordt veroorzaakt doordat de spoelpomp lange tijd aanstaat a.g.v. de toename van zwevendstof in de toevoer;
- De pilotinstallatie is mogelijk na een eventuele overdosering van metaalzout bij debieten boven de 7 m^3/h geneigd tot verstopping. Deze overdosering ontstaat omdat de chemicaliëndosering niet is afgestemd op de orthofosfaatconcentratie in de afloop van de Nereda® installaties. Bij lage concentraties wordt dan de vorming van metaalhydroxides bevorderd, welke de poriën van het filterdoek doen verstoppen. Volgens de leverancier kan deze situatie worden verbeterd door de dosering van PE;
- Tijdens ongestoord bedrijf zijn een filtraattroebelheid van 2 tot 3 NTU en lage totaalfosfaat concentraties onder de effluenteis van 0,3 mgP/l bereikt.

10.3.3 WEEK 28 MET METAALZOUT EN POLYMEERDOSERING

In onderzoeksweek 28 zijn de installaties nog steeds gevoed met voedingswater, bestaande uit het effluent van de Nereda® installaties inclusief bandfiltraatwater, waaraan metaalzout (ekofix R) is toegevoegd. Er is gekozen voor een aanvullende polymeerdosering voor de twee pilotinstallaties. De bedoeling hiervan is om het gevormde neerslag na de metaalzoutdosering verder uit te vlokken, teneinde een hoger afscheidingsrendement van zwevendstof en totaalfosfaat te bereiken.
Er is gebruik gemaakt van één PE-aanmaakinstallatie (behorend bij de discfilterinstallatie). Op basis van voorafgaande bekerglasproeven is gekozen voor een geschikt type polymeer, dat in een concentratie van 0,2 g/l is aangemaakt. Na aanmaak is de polymeeroplossing via aparte doseerpompen met 10 l/h naar beide pilotinstallaties verpompt.

Resultaten Zandfilter

- In deze onderzoeksweek is een aantal RWA-situaties voorgekomen met verschillende intensiteiten. De buien op 9, 11 en 12 juli 2012 resulteerden in filtratiesnelheden van 8 tot 12 m/h. Op 13 en 14 juli werden filtratiesnelheden van 6 en 4 m/h bereikt. Gelijktijdig aan de hydraulische belasting neemt ook de lozing van bandfiltraat toe, wat vergelijkbaar met eerdere situaties tot een (lichte) verhoging van de influenttroebelheid leidt. Ook het voortdurend aan-uit-bedrijf van de metaalzoutdosering leidt tot een minimale troebelheidsverhoging. Bij een plotselinge toename van de filtratiesnelheid tot 8 - 12 m/h is de

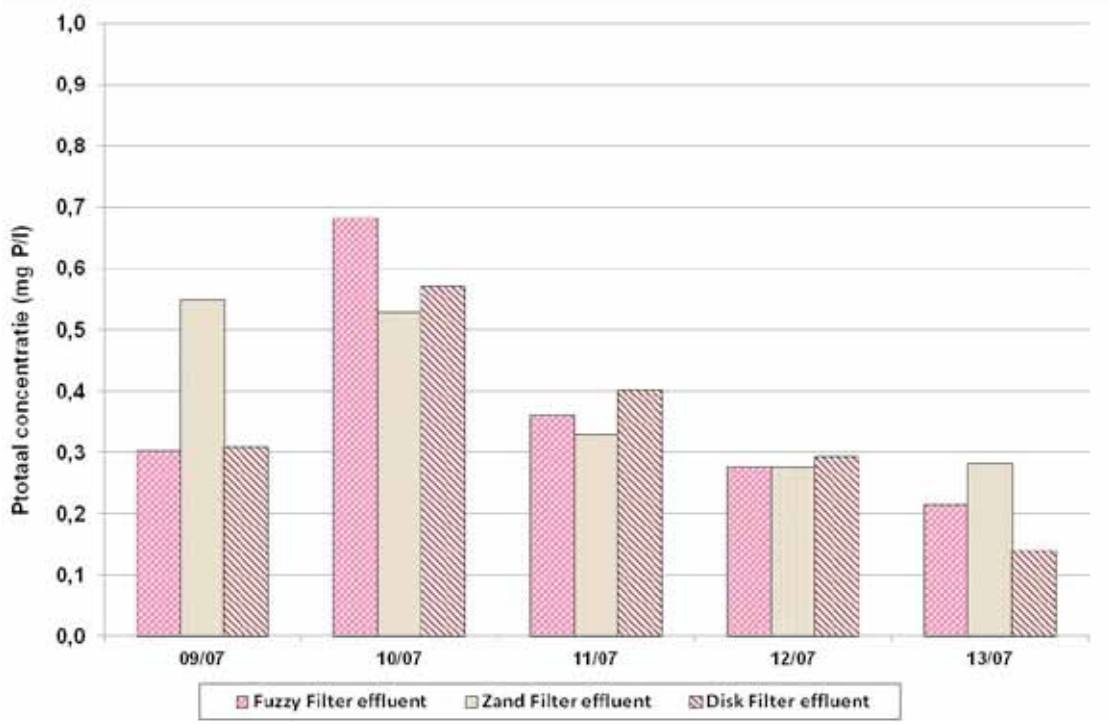
filtraattroebelheid maximaal 2 tot 3 NTU. Tussen de buien door blijven de waarden relatief constant op 1 NTU;
- De totaalfosfaatverwijdering blijft in deze onderzoeksweek ook bij influentconcentraties van 0,7 mgP/l enigszins achter. Bij concentraties > 1,0 mgP/l in het voedingswater is het verwijderingsrendement hoger, maar ook dan wordt de effluenteis van 0,3 mgP/l zoals als eerder geconstateerd net niet gehaald. Dit duidt op een niet optimale afstelling van de metaalzoutdosering (zie eerdere opmerking);
- Het dagelijkse spoelwaterverbruik varieerde in week 28 tussen 0% (geen spoeling) en 7% met een gemiddeld verbruik van 6%.

Resultaten Fuzzy Filter
- In deze onderzoeksweek is a.g.v. de aangegeven RWA-situaties de zwevendstofbelasting, gemeten als troebelheid, hoger dan in de eerdere DWA-situaties. Ook zijn de orthofosfaatconcentraties in het voedingswater tussen 9 - 10 juli en 14 - 15 juli > 1,0 mg/l, waardoor relatief veel metaalzout gedoseerd is. Dit leidt weer tot verhoging van de zwevendstofconcentratie en daarmee de troebelheid. Verder is ook veel bandfiltraat met hoge troebelheidswaardes aangevoerd;
- In de eerste helft van deze onderzoeksweek is een debiet van 10 m^3/h toegepast met looptijden tussen 1 en 2,5 uur en filtraattroebelheidswaardes tussen 2 en 4 NTU. Na een debietsverlaging tot 5 m^3/h loopt de filtraattroebelheid echter niet terug, maar blijft op een niveau van circa. 3,5 NTU bij een looptijd tussen 1,5 tot 3,5 uur;
- Het verwijderingsrendement van totaalfosfaat is vergelijkbaar met de rendementen van het zandfilter, waarbij in de tweede helft van deze onderzoeksweek zelfs wordt voldaan aan de effluenteis van 0,3 mgP/l;
- Over het algemeen lijkt het afscheidingsrendement van troebelheid en totaalfosfaat door de aanvullende PE-dosering slechts minimaal verbeterd. Dit is mogelijkerwijs te wijten aan een te korte flocculatietijd voorafgaande aan het Fuzzy Filter.

Resultaten Discfilter
- In week 28 is het discfilter alleen tussen 10 en 13 juli zonder technische storing in bedrijf geweest;
- Tussen 9 en 12 juli is het discfilter met een debiet van 8 m^3/h bedreven. In de tweede helft van deze onderzoeksweek is het debiet verhoogd naar 12 m^3/h. Uiteindelijk heeft het filter met deze laatste instelling een halve dag gefunctioneerd;
- De fosfaatverwijdering kan alleen voor de storingsvrije periode worden geïnterpreteerd. Het rendement varieert tussen 10 en 30%, waarbij op 12 juli de effluenteis van 0,3 mgP/l wordt gehaald.

Ter illustratie zijn in Afbeelding 84 de resultaten m.b.t. de dagelijkse totaalfosfaatconcentratie in de filtraten weergegeven.

AFBEELDING 84 VERGELIJKING FILTRAATKWALITEIT NABEHANDELINGSTECHNIEKEN (WEEK 28)



10.3.4 WEEK 29 MET OPTIMALISATIE METAALZOUT EN POLYMEERDOSERING

In deze onderzoeksweek wordt vanaf 18 juli het bandfiltraat geloosd via de voorbehandeling. Als gevolg hiervan is de zwevendstofbelasting voor alle drie filterinstallaties stabieler. Gedurende deze week heeft de chemicalieninstallatie van de zandfilters slechts incidenteel gedoseerd.

Voor het Fuzzy Filter is ervoor gekozen om in deze week een combinatie-product van metaalzout en vlokhulpmiddel te doseren. Het doseerdebiet is daarbij ingeregeld op basis van een vaste doseerverhouding Me/o-P (metaal-orthofosfaat) van 4,5. Dit is vergelijkbaar met de ingestelde Me/o-P verhouding van de zandfiltratie als de chemicaliendosering actief is.

Voor het discfilter is ervoor gekozen het effect van een eigen metaalzoutdosering (MelflocN) te testen. Het gekozen Me-product is qua samenstelling vergelijkbaar met ekofix R. Ook zijn vergelijkbare doseerverhoudingen (Me/o-P) gehanteerd.

Resultaten Zandfilter

- De stabiele en lage influenttroebelheid heeft een positief effect op de filtraattroebelheid. Behalve tijdens de twee regenbuien op 16/17 en 19 juli blijft de filtraattroebelheid op een niveau van circa 1 NTU;
- Op 16 juli is de ekofixdosering gestopt omdat de voorraad was verbruikt en vervolgens op 19 juli weer aangezet. Tot 19 juli was de verwijdering van totaalfosfaat daarom slechts beperkt. Tussen 19 juli en het eind van deze onderzoeksweek was de orthofosfaatconcentratie in de afloop Nereda® installatie echter dusdanig laag dat nagenoeg geen chemicaliën hoefden te worden gedoseerd. Vanaf 20 juli t/m 22 juli wordt bij een concentratie van 0,5 mgP/l in het voedingswater ook zonder Me-dosering voldaan aan de effluenteis van 0,3 mgPtot/l in het filtraat van het zandfilter;
- Het dagelijkse spoelwaterverbruik varieerde in week 29 tussen 0% (geen spoeling) en 6% (gemiddeld 4%).

Resultaten Fuzzy Filter

- Behalve tussen 17 juli (8:15 uur) en 18 juli (7:30 uur) is gedurende deze onderzoeksweek het combi-product op het Fuzzy Filter gedoseerd. Samen met de ekofixdosering t.b.v. het zandfilter is een overdosering van metaalzout en daarmee extra zwevendstofbelasting op het Fuzzy Filter geaccepteerd. Omdat in deze week slechts op een aantal momenten de ekofix-dosering voor het zandfilter in werking trad, vond slechts incidenteel een dubbele Me-dosering plaats;
- Met een influenttroebelheid van gemiddeld 10 NTU levert het Fuzzy Filter gedurende deze onderzoeksweek een filtraattroebelheid van 1 tot 2 NTU met een verhoogde waarde van 3 tot 4 NTU tijdens RWA;
- Het overall verwijderingsrendement voor P is a.g.v. de overdosering in de eerste helft van deze onderzoeksweek hoger dan die van het zandfilter. In de tweede helft van week 29 wordt ook voor het Fuzzy Filter met een concentratie < 0,2 mgP/l ruimschoots voldaan aan de effluenteis van 0,3 mgP/l.

Resultaten Discfilter

- In de eerste helft van week 29 is het discfilter bedreven met een debiet van 20 m^3/h. Op 19 juli is het filter door het aanspreken van de thermische beveiliging uitgevallen. Deze storing veroorzaakte ook hoge troebelheidswaarden >10NTU in het filtraat;
- Op 19 juli is door de leverancier geprobeerd om coagulant (MelflocN) te doseren. A.g.v. terugkerende technische storingen was de periode met interpreteerbare resultaten slechts beperkt;
- De troebelheid in het diskfiltraat is op een vergelijkbaar niveau als het zandfilter, namelijk <1,5 NTU.
- De fosfaatverwijdering gedurende storingsvrij bedrijf is laag. Dit is te wijten aan het feit dat in deze periode geen coagulant, ekofix R, was gedoseerd aan het voedingswater.

10.3.5 WEEK 30 MET VERDER GEOPTIMALISEERDE ME/PE-DOSERING

Het bandfiltraat wordt sinds 18 juli 2012 via de voorbehandeling geloosd, waardoor er geen direct verhogend effect op de troebelheid van het voedingswater wordt veroorzaakt. Vanwege regelmatige technische storingen van het discfilter is de onderzoeksperiode voor deze proefinstallatie met één extra week verlengd. Hiervoor is een nieuwe aansluiting gemaakt om het voedingswater nog vóór de ekofix-dosering te gebruiken. Dit om na te gaan of een eigen Me-dosering tot een beter filterresultaat zou leiden in termen van minder verstoppingsgevoeligheid en een beter afscheidingsrendement voor zwevendstof en fosfaat. Het zandfilter van de rwzi Epe is bij dezelfde instellingen bedreven zoals in week 28 en 29.

Resultaten Zandfilter

- Tijdens deze laatste (extra) onderzoeksweek zijn op 23 en 27 juli twee korte regenbuien opgetreden. De filtraattroebelheid is op 27 juli met 2 NTU hoger dan in de rest van de week. Voor en na de regenbui van 27 juli is relatief veel metaalzout gedoseerd (tussen 20 tot 80 l/h), veroorzaakt door de relatief hoge orthofosfaatconcentraties in de afloop van de Nereda® installatie. Ondanks de hoge dosering die een troebelheid van 20 tot 30 NTU in het voedingswater tot gevolg heeft, komt de filtraattroebelheid niet boven 1 NTU;
- De verwijdering van totaalfosfaat is vergelijkbaar met de weken daarvoor. De filtraatconcentraties schommelen rond de effluenteis van 0,3 mgP/l;
- Het dagelijkse spoelwaterverbruik varieert in week 30 tussen 0% (geen spoeling) en 13% (gemiddeld 6%).

Resultaten Discfilter

- Tussen 23 juli en 24 juli is een filtratiedebiet van 19 m^3/h toegepast en dosering van het combi-product. Met deze instellingen heeft het filter in totaal 14 uur storingsvrij gedraaid. De troebelheid is met <1,0 NTU laag, zoals ook in de weken daarvoor;
- Vanaf 24 juli is het filtratiedebiet verlaagd tot 14 m^3/h. Gelijktijdig is overgeschakeld naar de dosering van Melfloc N en PE. Onder deze instellingen heeft het discfilter iets meer dan een halve dag storingsvrij gefunctioneerd. Totaalfosfaat is ook met deze instellingen niet vergaand verwijderd. De filtraatroebelheid was met 1,5 tot 2,5 NTU hoger dan met de instellingen daarvoor;
- Op 25 juli is weer overgeschakeld naar de dosering van het combi-product. Tot 27 juli heeft het discfilter stabiel en storingsvrij gefunctioneerd. De filtraattroebelheid loopt op tot gemiddeld 2 NTU.

10.4 CONCLUSIES

Onderzoek is verricht naar drie effuentnabehandelingstechnieken, te weten zandfiltratie, Fuzzy filtratie en discfiltratie. Zandfiltratie maakt integraal onderdeel uit van de rwzi Epe, Fuzzy filtratie en discfiltratie zijn getest door middel van pilotinstallaties met een representatieve capaciteit.

Voor alle technieken is een aantal generieke observaties aan te geven. Er kan een goede effluentkwaliteit worden geproduceerd in termen van troebelheid en P. De troebelheid van het effluent is onder gemiddelde omstandigheden laag (< 1 NTU). Bij hoge hydraulische belastingen in combinatie met een hoge aanvoer van troebelheid en zwevendstof als gevolg van de chemicaliëndosering(en) neemt de troebelheid in het effluent licht toe (2 tot 4 NTU). Ook nemen de standtijden onder dergelijke condities (sterk) af.

Een belangrijke randvoorwaarde voor lage P-concentraties in het effluent is een lage ingaande orthofosfaatconcentratie (< 1 mgP/l). Dat kan alleen als de biologische fosfaatverwijdering in de Nereda® installatie te allen tijde van een hoog niveau is.

De procesvoeringsresultaten van de zandfilters van de rwzi Epe zijn goed gedocumenteerd. De gemiddelde in- en uitgaande PO_4-P-concentraties van de zandfilters bedroegen tijdens de onderzoeksperiode respectievelijk 0,67 en 0,37 mgP/l. In deze periode hebben vijf reguliere effluentbemonsteringen door Waterschap Vallei en Vallei en Veluwe plaatsgevonden. De gemiddelde P-concentratie van deze etmaalmonsters bedraagt 0,74 mgP/l. Hierbij moet worden aangetekend dat sprake was van een enkele uitschieter van 2,2 mgP/l. Zonder deze waarde bedroeg de gemiddelde P-concentratie 0,37 mgP/l, gelijk aan de overall meetwaarde uit het betreffende onderzoek. Tijdens de onderzoeksperiode bedroeg de specifieke metaalzoutdosering 1,9 mol Al/mol PO_4-$P_{aanvoer\ zandfilter}$. De gemiddelde standtijd van de zandfilters bedroeg nagenoeg 2 dagen.

Discontinue zandfiltratie op de rwzi Epe is een betrouwbare en robuuste techniek voor effluentnabehandeling, waarmee een vergaande P-verwijdering mogelijk is. Dit is ook gebleken tijdens de verificatiemetingen. Niettemin moet bij een strenge effluenteis ten aanzien van P zoals in Epe sprake zijn van een nauwgezette bedrijfsvoering en goede procesbeheersing om te allen tijde aan de effluenteis te kunnen voldoen.

Voor de Fuzzy filter pilotinstallatie geldt dat deze gedurende de hele testperiode uitstekend heeft gefunctioneerd en dat er geen technische problemen zijn opgetreden. Het blijkt goed mogelijk om vergaand troebelheid en P te verwijderen bij constante hydraulische belastingen van 24 tot 50 m/h. Het bleek dat op gezette tijden de P-concentratie zelfs lager was in verge-

lijking met de zandfilters. Hierbij werd overigens wel met een hogere chemicaliëndosering gewerkt. Aan de belangrijkste doelstelling van het onderzoek om na te gaan in hoeverre een goede effluentkwaliteit kan worden behaald, is dan ook ruimschoots voldaan. Vanzelfsprekend dient te worden gerealiseerd dat deze kwaliteit bij constante hydraulische belastingen is bereikt, waarbij het effect van dynamische belastingen niet in beeld is gebracht.
Verder blijft m.b.t. de toepassing van de technologie een aantal belangrijke aandachtspunten staan, welke niet in het onderhavige onderzoek zijn betrokken, te weten het spoelwaterverbruik en de standtijd van het Fuzzy filter.
Als gevolg van de technische opzet van de pilotinstallatie is het gemeten spoelwaterverbruik tijdens het onderzoek niet representatief voor een praktijkinstallatie. Daarvoor lag de minimum capaciteit van de speolwaterpomp te hoog.
De standtijd van het Fuzzy filter varieert - afhankelijk van de hydraulische belasting - tussen 2 en 5 uur. Uitgaande van een gemiddelde hydraulische belasting (week 26 – 29) van 36 m/h voor het Fuzzy Filter en 3,0 m/h voor het zandfilter, past de aangegeven standtijd van het Fuzzy Filter goed op de 12 x hogere oppervlaktebelasting. Zoals eerder opgemerkt neemt de spoelprocedure echter een steeds groter deel in van de cyclus naarmate de standtijd korter wordt. Hierdoor neemt de efficiency van het proces af. Een optimale benutting van de veel hogere toelaatbare oppervlaktebelasting van het Fuzzy filter vraagt derhalve om een verdere optimalisatie van de spoelprocedure en de bijbehorende processturing.

Het onderzoek met het discfilter is vanwege technische problemen met de beschikbare pilotinstallatie moeizaam verlopen, waardoor een stabiele procesvoering niet kon worden aangetoond. In de perioden dat het discfilter operationeel was, bleek een hoge effluentkwaliteit mogelijk. Op basis van de verkregen resultaten kan op dit moment niet worden geconcludeerd dat discfiltratie een goed alternatief is voor de nabehandeling van Nereda® effluent.
Recent zijn op de rwzi's Ede en Soest nabehandelingsinstallaties op basis van discfiltratie gebouwd voor de gecombineerde verwijdering van rest-zwevendstof en rest-fosfaat. In 2013 zullen de praktijkervaringen met deze praktijkinstallaties aanvullende informatie kunnen verschaffen.

11

PRAKTIJKONDERZOEK MICROVERONTREINIGINGEN

Een belangrijk aspect voor de beoordeling van de Nereda® technologie is niet alleen de verwijdering van ZS, N en P, maar ook de verwijdering van componenten, die ondermeer in het kader van de Kaderrichtlijn Water van belang worden geacht en voor de lozing op bijvoorbeeld recreatiewateren belangrijk zijn. Hierbij kan onder andere worden gedacht aan stoffen zoals zware metalen, hormonale stoffen, bestrijdingsmiddelen, restproducten van geneesmiddelen en pathogenen.
Tegenwoordig is al veel bekend over de aanwezigheid van deze stoffen in communaal afvalwater en de verwijdering daarvan in conventionele actiefslibsystemen. Daarentegen is over de verwijdering van deze stoffen binnen het Nereda® proces nog weinig bekend. Voor het vaststellen van verwijderingsrendementen van aanwezige stoffen binnen de verschillende processtappen is binnen dit onderzoek een begin gemaakt met het benodigde analysewerk. De bevindingen hiervan zijn in dit hoofdstuk gepresenteerd.
De selectie van de te analyseren componenten heeft plaatsgevonden met de NNOP-partners, waarbij ook is gekeken naar vergelijkbare analyseprogramma's die in Nederland bij andere rwzi's al zijn uitgevoerd.
De volgende paragrafen zullen ingaan op de methodiek van het onderzoek en behaalde resultaten en vervolgens afsluiten met een verwerking en interpretatie van de resultaten. Daarbij worden de verwijderingsrendementen getoetst aan de rendementen die bekend zijn voor bijvoorbeeld conventionele actiefslibsystemen en MBR's. Verder worden de resultaten vergeleken met recent in Nederland uitgevoerd onderzoek naar de verwijdering van resten van veel gebruikte pharmaceutische producten[3].

11.1 OPZET VAN HET ONDERZOEK

Tabel 28 geeft een overzicht van de geanalyseerde componenten. Omdat een aantal stoffen in standaard analysepakketten zitten, zijn uiteindelijk meer stoffen geanalyseerd dan de in Tabel 28 vermelde stoffen. Inzichten en overwegingen die bijgedragen hebben tot de betreffende selectie zijn de volgende:

- Overzicht van medicijngebruik in en om Epe, verkregen via de Stichting Farmaceutische Kentallen;
- Historische gegevens van de rwzi Epe met betrekking tot microverontreinigingen;
- Ervaringen met de door waterschap Regge & Dinkel uitgevoerde onderzoeken;
- Eisen en stoffen die binnen de Kaderrichtlijn Water worden genoemd;
- Mogelijkheden van het laboratorium van waterschap Groot-Salland dat de analyses voor waterschap Vallei en Veluwe uitvoert;
- Het beschikbare budget voor uitvoering van het analyseprogramma.

3 Prediction of concentration levels of metformin and other high consumption pharmaceuticals in wastewater and regional surface water based on sales data, M. Oosterhuis et al, Science of the Total environment 442 (2013), p. 380-388

Bij de selectie is er daarom voor gekozen om geen zware metalen mee te nemen, omdat deze al in het reguliere meetprogramma voor slib van waterschap Vallei en Veluwe zitten en er zodoende historische cijfers beschikbaar zijn. Om budgettaire redenen is besloten om andere stoffen als PCB's, PAK's en vluchtige verbindingen niet te analyseren.
In de periode van 9 april t/m 29 april 2012 zijn de volgende stromen op de rwzi Epe bemonsterd en vervolgens geanalyseerd op de in Tabel 28 genoemde componenten: influent, afloop zand/vetvang, afloop Nereda® en effluent (afloop zandfilter). Voor de monsterpunten afloop zand/vetvang en afloop Nereda® zijn tijdelijke volledig geautomatiseerde monsternamekasten geplaatst. Voor influent en effluent is gebruik gemaakt van bestaande bemonsteringsapparatuur. De bemonstering heeft debietsproportioneel plaatsgevonden.

TABEL 28 SELECTIE VAN TE ANALYSEREN COMPONENTEN

1.	Geneesmiddelen	2.	Hormoon verstorende stoffen
a.	Metformine	a.	ER-calux
b.	Metoprolol	b.	GR-calux
c.	Sotalol	c.	17-alpha-estradiol
d.	Valsartan	d.	Ethinylestradiol
e.	Irbesartan	e.	17-beta estradiol
f.	Diclofenac	**3.**	**Bestrijdingsmiddelen**
g.	Carbamazepine	a.	Glyfosaat
h.	Atenol	b.	AMPA
i.	Ibuprofen	c.	Dichlofluanide
j.	Gemfibrozil	d.	Carbendazim
k.	Naproxen	e.	Metolachlor
l.	Gabapentine	**4.**	**Vlamvertragers / weekmakers**
m.	Bezafibraat	a.	Bisfenol-A
		b.	Di(2-ethylhexyl)ftalaat
		c.	Nonylfenolethoxylate
		d.	Polygebromeerde difenylether PBDE

De uitvoering van de analyses van de in totaal 7 tot 9 monsters per monsternamepunt is uitbesteed aan het laboratorium van het Waterschap Groot Salland. Deze samenwerking was een logisch gevolg van de betrokkenheid van het laboratorium bij het reguliere analyseprogramma van het Waterschap Vallei en Veluwe. De keuze en verantwoording voor het uitbesteden van bepaalde analyses aan derden is daarbij overgelaten aan het laboratorium van Waterschap Groot Salland.
Uiteindelijk zijn alle organische stoffen door OMEGAM laboratoria geanalyseerd. BioDetection Systems BDS, geaccrediteerd voor de ISO17025 (RvA L401) methode, heeft de bepalingen voor ER/GR-CALUX uitgevoerd. Het laboratorium Waterschap Groot Salland heeft de overige analyses op zich genomen.
Verder is door Rijkswaterstaat een screening uitgevoerd m.b.v. GC/LC-MS (Gas Chromatography/Liquid Chromatography-Mass Spectrography) analyses. Deze screening is in feite een non-target-screening waarbij kwalitatief gekeken is of, en zo ja welke stoffen aangetoond kunnen worden.

Aan de hand van de analyseresultaten zijn vervolgens balansen opgesteld van de verwijderingsrendementen per stof of component over de verschillende procesonderdelen. Deze rendementen zijn vervolgens gerelateerd aan gerapporteerde cijfers voor conventionele actiefslibsystemen en membraanbioreactoren.

11.2 RESULTATEN

11.2.1 GC/LC-MS SCREENING

Voor een viertal meetdagen, te weten 12, 13, 15 en 16 april 2012 zijn monsters van zowel influent als effluent geanalyseerd door middel van GC/LC-MS-screening, uitgevoerd door Rijkswaterstaat.

Bij de resultaten is geprobeerd de gevonden stoffen toe te kennen op basis van fysische eigenschappen van de betreffende stof. Deze fysische eigenschappen worden bepaald door middel van massa-spectrometrische detectie na monstervoorbehandeling, oftewel extractie en droging. Bij de GC-MS analyse wordt vervolgens een schatting gegeven van een mogelijke concentratie voor de stoffen. Bij de resultaten van de LC-MS analyses is dit niet mogelijk. Op basis van het rapport worden de bevindingen als volgt samengevat:

- Een non-target-screening is succesvol uitgevoerd voor zowel GCMS als ook LCMS;
- Naar verwachting bevat het influent veel meer componenten dan het effluent;
- De meeste aangetroffen stoffen zijn niet opgenomen de lijst van geselecteerde stoffen (Tabel 28) en zouden daarom moeten worden opgenomen;
- Er zijn meer stoffen gevonden dan met de bestaande stofbibliotheken (ToxID en SIEVE 1.2) te identificeren waren.

11.2.2 BEMONSTERING LWGS, OMEGAM EN BDS

Op basis van de stoffenlijst in Tabel 28 zijn ook alleen voor de hierin genoemde stoffen de gemeten concentraties samengevat als minimum, maximum en gemiddelde waarde. Deze waardes zijn weergegeven in Tabel 29. In werkelijkheid zijn nog meer stoffen geanalyseerd, doordat bepaalde analysepakketten meer stoffen bevatten dan alleen de geselecteerde stoffen. De resultaten van de overige stoffen worden hier niet verder toegelicht.

In het geval dat voor een stof één of meerdere concentraties onder de meetrange lag (bijv. <0,05 µg/l), is de ondergrens van de meetmethode gebruikt als waarde ter bepaling van een gemiddelde waarde. Deze is vervolgens gemarkeerd met een “ * “.

Op basis van Tabel 29 wordt vastgesteld dat de concentraties voor de hormoonverstoorders 17-alpha-estradiol, ethinylestradiol, 17-beta estradiol, de bestrijdingsmiddelen dichlofluanide, carbendazim, metolachlor en van bijna alle vlamvertragers, behalve voor DEHP, onder de meetgrens van de meetmethode liggen.

De grootste verwijdering van alle stoffen vindt plaats in het Nereda® proces, de geringste in de voorbehandeling (rooster plus zandvang) en nabehandeling (zandfiltratie).

11.2.3 ZWARE METALEN

Waterschap Vallei en Veluwe analyseert het slib periodiek op de aanwezigheid van een groot aantal (zware) metalen. Tabel 30 geeft een overzicht van gemeten concentraties in het slib van de oude (gemiddelde van 11 metingen in 2010) en de nieuwe rwzi (gemiddelde van 5 metingen in 2012). Daarnaast zijn ook de dagvrachten berekend op basis van een geschatte slibproductie van de oude rwzi (1.800 kgDS/dag) en een gemeten slibproductie van de nieuwe Nereda® installatie (1.500 kgDS/dag).

TABEL 29 **CONCENTRATIES VOOR INFLUENT, AFLOOP ZANDVANG, AFLOOP NEREDA® EN EFFLUENT RWZI EPE, WEERGEGEVEN ALS MIN - MAX / GEMIDDELDE IN µG/L**

		Influent	Afloop zandvang	Afloop Nereda	Effluent (afloop zandfilter)
1.	Geneesmiddelen				
a.	Metformine	110 - 230 / 172	99 - 220 / 161	2,2 - 5,7 / 4,0	2,4 - 5,4 / 3,5
b.	Metoprolol	2,6 - 6,9 / 4,6	2,5 - 5,3 / 4,2	1,8 - 2,4 / 2,1	1,6 - 2,4 / 2,0
c.	Sotalol	0,47 - 1,10 / 0,75	0,49 - 1,0 / 0,73	0,29 - 0,5 / 0,4	0,31 - 0,49 / 0,41
d.	Valsartan	1,9 - 4,7 / 3,5	1,7 - 4,7 / 3,3	0,03 - 0,19 / 0,12	0,04 - 0,15 / 0,09
e.	Irbesartan	1,2 - 1,7 / 1,5	1,1 - 1,7 / 1,4	0,74 - 1,1 / 0,94	0,76 - 1,2 / 0,97
f.	Diclofenac	0,28 - 0,76 / 0,50	0,28 - 0,84 / 0,51	0,27 - 0,39 / 0,33	0,26 - 0,36 / 0,31
g.	Carbamazepine	0,39 - 0,63 / 0,55	0,42 - 0,61 / 0,55	0,39 - 0,47 / 0,44	0,42 - 0,5 / 0,46
h.	Atenol	0,34 - 0,91 / 0,53	0,31 - 0,87 / 0,55	0,10 - 0,13 / 0,12	0,10 - 0,14 / 0,12
i.	Ibuprofen	4,3 - 11,0 / 7,2	3,9 - 10,0 / 6,8	<0,01 - <0,01 / <0,01	<0,01 - <0,01 / <0,01
j.	Gemfibrozil	1,1 - 2,1 / 1,7	0,84 - 2,2 / 1,6	0,16 - 0,22 / 0,18	0,09 - 0,17 / 0,13
k.	Naproxen	1,6 - 4,3 / 2,8	1,3 - 4,2 / 2,5	<0,02 - <0,02 / <0,02	<0,02 - <0,02 / <0,02
l.	Gabapentine	1,6 - 3,7 / 2,6	1,4 - 3,7 / 2,5	0,69 - 0,96 / 0,80	0,67 - 0,92 / 0,81
m.	Bezafibraat	<0,01 - 0,08 / 0,05*	0,02 - 0,08 / 0,05	<0,01 - 0,01 / 0,01*	<0,01 - <0,01 / <0,01
2.	Hormoonverstorende stoffen				
a.	ER-calux	0,53 - 41 / 27,6	0,61 - 32,0 / 21,1	0,62 - 1,8 / 1,22	0,23 - 0,44/ 0,32
b.	GR-calux	47 - 226 / 85,8	56 - 187 / 82,5	38 - 66 / 53,1	40 - 57 / 48,6
c.	17-alpha-estradiol	<0,05 - <0,10 / <0,10	<0,05 - <0,10 / <0,10	<0,005 - <0,05 / <0,05	<0,005 - <0,05 / <0,05
d.	ethinylestradiol	<0,01 - <0,15 / <0,15	<0,01 - <0,15 / <0,15	<0,01 - <0,15 / <0,15	<0,01 - <0,05 / <0,05
e.	17-beta estradiol	<0,05 - <0,15 / <0,15	<0,05 - <0,15 / <0,15	<0,005 - <0,05 / <0,05	<0,005 - <0,10 / <0,10
3.	Bestrijdingsmiddelen (LCMS)				
a.	Glyfosaat	0,26 - 5,2 / 1,4*	0,23 - 4,2 / 1,3*	0,44 - <1,0 / 0,9*	0,25 - <1,0 / 0,9*
b.	AMPA	<1,0 - <2,0 / 1,2*	<1,0 - <1,4 / 1,0*	0,47 - <1,0 / 0,9*	0,37 - <1,0 / 0,9*
c.	Dichlofluanide	<0,05 - <0,05 / <0,05	<0,05 - <0,05 / <0,05	<0,05 - <0,05 / <0,05	0 - 0 / 0
d.	Carbendazim	<0,05 - 0,075 / <0,05	<0,05 - 0,062 / <0,05	<0,05 - <0,05 / <0,05	0 - 0 / 0
e.	Metolachlor	<0,05 - <0,05 / <0,05	<0,05 - <0,05 / <0,05	<0,05 - <0,05 / <0,05	0 - 0 / 0
4.	Vlamvertragers / weekmakers				
a.	Bisfenol-A	<0,05 - <0,35 / <0,35	<0,05 - <0,35 / <0,35	<0,01 - <0,01 / <0,01	<0,01 - <0,01 / <0,01
b.	Di(2-ethylhexyl)ftalate DEHP	9,4 - 22,0 / 16,6	11 - 27 / 18,2	<1,0 - 1,1 / 1,1	<0,01 - <0,01 / <0,01
c.1.	Nonylfenolethoxylate som	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10
c.2.	Nonylfenol-mono-ethoxylate	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10
c.3.	Nonylfenol-di-ethoxylate	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10	<10 - <10 / <10
d.	Polygebromeerde difenylether PBDE				
d.1.	2,4,4'-tribroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.2.	2,2',4,4'-tetrabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.3.	2,2',4,4',5-pentabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.4.	2,2',4,4',6-pentabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.4.	2,2',4,4',5,5'-hexabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.5.	2,2',4,4',5,6'-hexabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.6.	2,2',3,4,4',5',6-heptabroomdifenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,001 - <0,005 / <0,005	0 - 0 / 0
d.7.	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-decabroomdiphenylether	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,02 / <0,02	<0,01 - <0,05 / <0,05	0 - 0 / 0

* Berekende gemiddelde concentratie door ondergrens (bijv. <0,05) in te vullen

TABEL 30 (ZWARE) METALEN IN HET SLIB RWZI EPE

Component	Concentratie (mg/kg DS)		Vracht in slib (kg/d)		Verschil vracht
	CAS	Nereda®	CAS	Nereda®	%
IJzer (Fe)	11.600	11.400	20,9	17,1	-18
Kwik (Hg)	0,7	0,5	0,0	0,0	-41
Kalium (K)	6.300	9.600	11,4	14,3	26
Magnesium (Mg)	3.500	5.400	6,3	8,2	29
Mangaan (Mn)	300	200	0,5	0,3	-43
Molybdeen (Mo)	4,4	4,2	0,0	0,0	-20
Natrium (Na)	5.700	2.100	10,2	3,2	-68
Nikkel (Ni)	20	18	0,0	0,0	-22
Lood (Pb)	67	77	0,1	0,1	-4
Thallium (Tl)	2,0	2,0	0,0	0,0	-17
Vanadium (V)	8,1	6,5	0,0	0,0	-33
Zink (zn)	1.700	800	3,1	1,2	-60
Zilver (Ag)	5,4	5,0	0,0	0,0	-22
Tin (Sn)	15	17	0,0	0,0	-7
Aluminium (Al)	25.200	7.100	45,4	10,6	-77
Arseen (As)	5,4	4,8	0,0	0,0	-27
Calcium (Ca)	14.700	11.400	26,5	17,0	-36
Cadmium (Cd)	0,7	0,7	0,0	0,0	-18
Cobalt (Co)	5,5	5,0	0,0	0,0	-24
Telluur (Te)	1,0	1,0	0,0	0,0	-17
Chroom (Cr)	19	22	0,0	0,0	-3
Koper (Cu)	130	130	0,2	0,2	-17

Uit Tabel 30 blijkt dat:

- Voor een groot aantal metalen zijn de gemeten concentraties min of meer vergelijkbaar. Door de lagere slibproductie van de nieuwe installatie worden minder metalen afgevoerd via het slib;
- De aluminiumconcentratie in het slib van de nieuwe rwzi is aanzienlijk lager in vergelijking met de oude rwzi. Dit is verklaarbaar vanwege het feit dat bij de oude rwzi fosfaat volledig chemisch met aluminium werd verwijderd, evenals het feit dat periodiek aluminium werd gedoseerd ten behoeve van de beheersing van de slibeigenschappen. Op de nieuwe rwzi wordt alleen aluminium gedoseerd indien de biologische fosfaatverwijderingscapaciteit onvoldoende is. Ondanks de veel strengere fosfaateis wordt op de nieuwe rwzi veel minder aluminium verbruikt. In 2012 bedroeg het gemiddelde aluminiumverbruik 6,3 kgAl/d. Dit cijfer komt goed overeen met de afvoer van aluminium in het slib;
- De hogere concentraties aan kalium en magnesium zijn een gevolg van de biologische fosfaatverwijdering, want het zijn tegenionen voor polyfosfaat. Mogelijk vindt in korrelslib als gevolg van pH-gradiënten in de korrel ook meer chemische precipitatie plaats van $KMgPO_4$ en NH_4MgPO_4.

De verzamelde gegevens laten zien dat de slibconcentraties voor de meeste metalen vergelijkbaar zijn in de oude en nieuwe situatie. Voor de metalen die vooral als opgeloste metaalzouten in de slibmonsters aanwezig waren – zoals natrium – kunnen verschillen ontstaan als gevolg van verschillende DS-concentraties van de slibmonsters (indamprestbepaling). Immers, in de oude situatie werd het slib gravitair ingedikt (2 - 3%) en in de nieuwe situatie wordt het slib mechanisch ingedikt (5 - 7%). De intensiteit van de bemonstering van zware metalen is echter te beperkt om op basis van de beschikbare gegevens hier vergaande conclusies aan te verbinden.

11.3 RESULTAATVERWERKING EN CONCLUSIES

GC/LC-MS SCREENING

Op basis van de GC-MS analyses uitgevoerd door Rijkswaterstaat als onderdeel van het non-target screening kan worden geconcludeerd dat het influent van de rwzi Epe ook veel stoffen bevat die niet zijn genoemd in de voorgeselecteerde stoffenlijst (Tabel 28). De resultaten laten zien dat de grootste deel van de stoffen in de rwzi volledig wordt verwijderd behalve de stoffen HHCB (polycyclische muskus), 5-trimethylsilylpent-2-en-4-yne, 1,1-dimethyl-3-chloropropanol en N-butyl-benzenesulfonamide.

BEMONSTERING LWGS, OMEGAM EN BDS

Voor de gemeten stoffen zijn gemiddelde verwijderingrendementen per processtap en van de totale zuivering bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 31. De rendementen zijn alleen voor stoffen bepaald waar ook concentraties binnen de meetrange gevonden zijn. Stoffen met concentraties structureel beneden de ondergrens van de meetmethode zijn achterwege gelaten.

Vervolgens zijn de verwijderingsrendementen getoetst aan enkele resultaten van andere STOWA-onderzoeken en het eerder genoemde recent uitgevoerde onderzoek naar de verwijdering van geneesmiddelen (Ootmarsum en Enschede). In verband met het aantal monsters zijn overigens van het laatstgenoemde onderzoek alleen de resultaten van Ootmarsum meegenomen. De toetsing heeft uitsluitend plaats gevonden op basis van resultaten beschikbaar voor een totaal zuiveringsproces en daarvoor gerapporteerde verwijderingsrendementen.

Zoals te zien uit Tabel 31 is de spreiding van verwijderingsrendementen voor de verschillende stoffen groot. Eensluidende conclusies zijn derhalve op grond van de meetresultaten niet te verbinden m.b.t. eventuele verschillen tussen de diverse zuiveringssystemen. Desondanks is te concluderen dat de verwijderingsrendementen van de rwzi Epe in relatie tot de andere onderzoeken aan de bovenkant van de range liggen.

De totale oestrogene activiteit (ER-calux) is het laagst voor rwzi Epe in vergelijking met zowel MBR (rwzi Varsseveld), verschillende CAS systemen en CAS plus zandfiltratie (rwzi Maasbommel).

Opgemerkt wordt dat een toetsing van de verschillende systemen een indruk geeft van de prestaties van de verschillende systemen. Er is echter een fundamenteel verschil tussen continue en (vrijwel volledig) gemengde systemen enerzijds en propstroomsystemen en batchgewijs bedreven systemen zoals de rwzi Epe anderzijds.

Bij continue, gemengde systemen is de concentratie van de te verwijderen component theoretisch gezien gelijk aan de effluentconcentratie. Kinetisch gezien is dit een ongunstige situatie en zijn batchsystemen en propstromers in het voordeel. Het werkelijke verschil in verwijderingsrendement is afhankelijk van de Monod-constante van de betreffende component. Aangezien het bij microverontreinigingen over lage tot zeer lage concentraties gaat, ligt het voor de hand te veronderstellen dat met batchsystemen en propstromers hogere verwijderingsrendementen kunnen worden bereikt.

Zware metalen

Ter vergelijking van de gemiddelde rendementen van zware metalen zijn beschikbare analyses van het afgevoerde zuiveringsslib voor zowel de oude rwzi (CAS) als de nieuwe rwzi (Nereda + zandfiltratie) met elkaar vergeleken. De concentraties van de meeste metalen zijn vergelijkbaar. In het slib van de nieuwe installatie ligt de aluminiumconcentratie aanzienlijk lager en dat is goed verklaarbaar door de aanzienlijk lagere aluminiumdosering. De hogere concentraties aan kalium en magnesium zijn een gevolg van biologische fosfaatverwijdering, want het zijn tegenionen voor polyfosfaat. Mogelijk vindt in korrelslib als gevolg van pH-gradiënten in de korrel ook enigszins meer chemische precipitatie plaats van $KMgPO_4$ en NH_4MgPO_4.

TABEL 31 VERWIJDERINGSPERCENTAGE GESELECTEERDE STOFFEN PER PROCESONDERDEEL RWZI EPE IN %

	RWZI	Nereda® Epe				MBR	CAS + ZF	CAS	CAS + MBR	CAS + MBR
		Zandvanger	Nereda®	Zandfiltratie	Totaal	Varsseveld 1)	Maasbommel 2)	3)	Leeuwaarden 4)	Ootmarsum 5)
1.	**Geneesmiddelen**									
a.	Metformine	6	91	13	98	-	-	-	-	98
b.	Metoprolol	76	-91	5	57	-62	-	-	26 - 57	42
c.	Sotalol	3	45	-3	45	-	-	-	-	24
d.	Valsartan	6	96	25	97	-	-	-	-	89
e.	Irbesartan	7	33	-3	35	-	-	-	-	6
f.	Diclofenac	-2	35	6	38	-12	-	-	48 - 67	41
g.	Carbamazepine	0	20	-5	16	-28	-	-	10 - 65	10
h.	Atenol	-4	78	0	77	-	-	-		-
i.	Ibuprofen	6	> 99,9	0	> 99,9	98	-	-	52 - 96	-
j.	Gemfibrozil	6	89	89	92	74	-	-	25 - 95	-
k.	Naproxen	11	> 99	0	> 99,3	93	-	-	93 - 98	-
l.	Gabapentine	4	68	-1	69	-	-	-	-	-
m.	Bezafibraat	0	80	> 0	> 80	-	-	-	-	-
2.	**Hormoonverstorende stoffen**									
a.	ER-calux	23	94	74	99	98	94	90 - 95	-	
b.	GR-calux	4	36	9	43	-	-	-	-	-
c.	17-alpha-estradiol	-	-	-	-	-	71	100	-	-
d.	ethinylestradiol	-	-	-	-	-	7	19 - 85	-	-
e.	17-beta estradiol	-	-	-	-	-	94	85 - 100	-	-
3.	**Bestrijdingsmiddelen (LCMS)**									
a.	Glyfosaat	7	31	0	> 36	-	-	-	-	-
b.	AMPA	17	10	0	> 25	-	-	-	-	-
c.	Dichlofluanide	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.	Carbendazim	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
e.	Metolachlor	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
4.	**Vlamvertragers / weekmakers**									
a.	Bisfenol-A	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	93 - 97	-	-
b.	Di(2-ethylhexyl)ftalate DEHP	-10	94	> 99	> 99,9	91	-		-	-
c.1.	Nonylfenolethoxylate som	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	40 - 92	-	-
c.2.	Nonylfenol-mono-ethoxylate	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	80	-	-
c.3.	Nonylfenol-di-ethoxylate	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	80	-	-
d.	Polygebromeerde difenylether PBDE:									
d.1.	2,4,4'-tribroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.2.	2,2',4,4'-tetrabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.3.	2,2',4,4',5-pentabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.4.	2,2',4,4',6-pentabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.4.	2,2',4,4',5,5'-hexabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.5.	2,2',4,4',5,6'-hexabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.6.	2,2',3,4,4',5',6-heptabroomdifenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-
d.7.	2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-decabroomdiphenylether	nvt	nvt	nvt	nvt	-	-	-	-	-

* Berekende gemiddelde concentratie door ondergrens (bijv. <0,05) in te vullen

1. STOWA, 2006, Onderzoek MBR Varsseveld
2. STOWA, 2007, Effluentbehandeling op de rwzi Maasbommel
3. STOWA, 2005, Verkennende monitoring van hormoonverstorende stoffen en pathogenen op rwzi's met aanvullende zuiveringstechnieken
4. STOWA, 2007, Ervaringen met een nageschakelde MBR op rwzi Leeuwaarden
5. Prediction of concentration levels of metformin and other high consumption pharmaceuticals in wastewater and regional surface water based on sales data, M. Oosterhuis et al, Science of the Total environment 442 (2013) 380-388

12

PRAKTIJKONDERZOEK SLIBBEHANDELING

12.1 INLEIDING

In 2009 is aan het spuislib van de pilot Nereda®-installatie op rwzi Epe onderzoek verricht naar de slibverwerkingsmogelijkheden. Er is onder andere gekeken naar slibindikking en slibontwatering. De omvang van de testen is destijds beperkt vanwege de zeer beperkte spuislibproductie van de pilotinstallatie.

In 2011 is de Nereda® installatie opgestart op de rwzi Epe. Bij de rwzi komt een spuislibstroom vrij die ter plekke mechanisch wordt ingedikt en vervolgens wordt vergist op rwzi Apeldoorn. De grotere beschikbaarheid van spuislib biedt mogelijkheden om testen op een grotere schaal uit te voeren. Om in te kunnen schatten hoe het Nereda® slib ontwatert in relatie tot conventioneel slib zijn in het kader van het Nationaal Nereda® Onderzoeksprogramma (NNOP) slibontwateringstesten uitgevoerd. In dit hoofdstuk zijn de testen beschreven van indikking en ontwatering van het spuislib. Voor de indikking is gebruik gemaakt van de op de locatie aanwezige bandindikkers. Om de mogelijkheden van het spuislib voor de ontwatering te bepalen, is getest met een mobiele decanter van GEA Westfalia Seperators Nederland B.V.

12.2 SLIBINDIKKING

12.2.1 BEVINDINGEN ONDERZOEK 2009

Tijdens het onderzoek in 2009 is op laboratoriumschaal gekeken naar de mogelijkheden van mechanische indikking van het spuislib van het Nereda® zuiveringssysteem. Het werd duidelijk dat als gevolg van het lage drogestofgehalte of met andere woorden de ongunstige verhouding tussen droge stofvracht en debiet, mechanische indikking zonder PE niet goed mogelijk zou zijn. Als PE wordt gedoseerd ontstaan grote vlokken, hetgeen een indicatie is van een goede slib/waterscheiding. De intensiteit van de menging tussen PE en slib is hierbij een aandachtspunt, aangezien het slib bij te veel mengenergie gemakkelijk uit elkaar valt in kleinere vlokken. Het indikresultaat is vergelijkbaar met conventioneel rwzi slib.
De additionele testen met spoelwater laten zien dat zowel ijzerhoudend als aluminiumhoudend spoelwater mee kan worden ingedikt. Bij aluminiumhoudend spoelwater is iets meer PE nodig om een stabiele vlok te vormen.

12.2.2 BEVINDINGEN FULL SCALE 2012

Op de full scale Nereda® installatie op rwzi Epe komt spuislib vrij met een drogestofgehalte dat varieert tussen de 0,5 g/l en 2,0 g/l. Deze variatie wordt veroorzaakt doordat het spoelwater van de zandfilters in dezelfde buffer wordt gepompt als het spuislib. Om afgifte van fosfaat te voorkomen is de buffertank belucht en vindt er geen gravitatie indikking plaats. Vanuit de buffertank wordt het slib verpompt naar de bandindikkers. Bij het ontwerp van de bandindikkers is rekening gehouden met de ongunstige verhouding tussen droge stofvracht en debiet. De installatie is hierdoor geschikt om enerzijds veel water te kunnen verwerken en ander-

zijds goed om te gaan met de lage droge stofvracht. Specifieke ontwerpaspecten hierbij zijn de lengte en breedte van de band en de in te stellen bandsnelheid.

In het kader van de opstart van de installatie zijn metingen uitgevoerd om de afgegeven garantiewaarden voor indikking en PE-verbruik te controleren. Bij deze testen is bij een PE-verbruik van 1 – 2 g actief PE/kg DS een gemiddeld drogestofgehalte behaald van 5,5%. Deze resultaten passen goed in het beeld van de resulaten die zijn bereikt bij de verificatietesten (zie paragraaf 4.5).
Bij een verhoging van het PE-verbruik naar 2 - 3 g actief PE/kg DS neemt het drogestofgehalte toe naar 6,5%. Een beperkende factor van de huidige installatie is de ingedikt slibpomp. Hierdoor kan slib met een drogestofgehalte ≥ 6,5% niet verpompt worden. Momenteel wordt onderzoek gedaan om dit gehalte verder te verhogen. Het streven is om het slib te verpompen met een drogestofgehalte van 8%.

De menging van PE met het slib gebeurt door middel van een mengklep. Het slib vormt momenteel goede vlokken bij een laag PE-verbruik. Op basis van visuele observatie bevat het slib van de praktijkinstallatie minder fines dan het slib waar in 2009 mee getest is. Slib met veel fines levert over het algemeen minder stabiele vlokken na toevoeging van PE.

12.3 SLIBONTWATERING

Van 11 tot 15 juni 2012 zijn op rwzi Epe slibontwateringstesten uitgevoerd met een mobiele centrifuge (decanter) van GEA Westfalia Seperator B.V. Het doel van de testen was om de mogelijkheden en randvoorwaarden te onderzoeken van directe ontwatering van het Nereda® spuislib met een centrifuge. Hiertoe zijn de volgende aspecten in beschouwing genomen:

- hydraulische flexibiliteit van de centrifuge;
- te bereiken drogestofgehaltes van het te ontwateren slib bij verschillende instellingen;
- effect van poly-elektroliet(PE)doseringen bij diverse debieten en/of drogestofbelastingen;
- afscheidingsrendement bij de geteste instellingen.

12.3.1 SELECTIE APPARATUUR

Voor de ontwatering van slib worden zeefbandpersen, filterpersen en centrifuges toegepast. Deze machines worden meestal ingezet voor de ontwatering van spui- en uitgegist slibstromen met drogestofgehaltes van 4 - 50 g/l. Om de te ontwateren slibstroom bij directe ontwatering (bij conventionele rwzi's) te verkleinen wordt retourslib gebruikt of kan het slib gravitair worden ingedikt. Dit gebeurt echter niet bij Nereda® installaties. Het spuislib wordt belucht in een tussenbuffer om afgifte van fosfaat te voorkomen. Het lage drogestofgehalte leidt tot een ongunstige verhouding tussen de te verwerken hoeveelheid drogestof en water. Voor een optimale werking van een centrifuge en een zeefbandpers is er voldoende slib nodig in de perszone van het apparaat.

Voorafgaand aan de testen is uitgebreid overleg geweest met leveranciers van (cascade) zeefbandpersen en van centrifuges. Toepassing van een filterpers is niet verder in beschouwing genomen. Op basis van de gesprekken met de zeefbandpersleverancier kwam naar voren dat er geen mobiele zeefbandpers beschikbaar was die geschikt was voor het verwerken van het spuislib. De beschikbare installatie was niet voorzien van een cascade-indikband en had een relatief grote bandbreedte voor de slibhoeveelheid op de rwzi Epe. Hierdoor is het niet goed mogelijk om voldoende slib in de perszone te krijgen. Een installatie met een cascade (voorgeschakelde indikband) en een relatief smalle band zijn nodig om representatief onderzoek

uit te voeren. Een zeefbandpers met cascade is een goede oplossing om de ongunstige verhouding tussen de hoeveelheid drogestof en water op te heffen. In de cascade wordt het spuislib immers ingedikt, waarna het ingedikte slib op de voorontwatering en vervolgens in de perszone van de zeefbandpers komt. Daarom kan met een dergelijke installatie een goed beeld verkregen worden van de ontwateringsmogelijkheden van het Nereda® spuislib. Het heeft dan ook de sterke voorkeur om indien een dergelijke installatie beschikbaar is, hier alsnog testen mee uit te voeren. Op basis van beschikbare apparatuur is wel een representatieve test uitgevoerd met een centrifuge van GEA Westfalia.

12.3.2 OPZET

Het drogestofgehalte van het spuislib van de rwzi Epe varieert tussen de 0,5 g/l en 2,0 g/l. Deze variatie wordt veroorzaakt doordat het spoelwater van de zandfilters in dezelfde buffer wordt gepompt als het spuislib. Om afgifte van fosfaat te voorkomen is de buffertank belucht en vindt er geen indikking plaats.
Voordat de onderzoeksvragen konden worden beantwoord is eerst gezocht naar een instelling waarbij er een duidelijke scheiding tussen water en slib optrad. Vanwege de ongunstige verhouding tussen hydraulische en drogestofvracht bleek, zoals verwacht, de hydraulische doorzet eerder beperkend te zijn dan de drogestof doorzet. Voor het slib is de relatie DS versus PE dosering getest. Per doorzet is met minimaal 3 verschillende PE-doseringen gedraaid.

12.3.3 UITVOERING

SELECTIE PE

Op maandag 11-6-2012 zijn door Necarbo testen uitgevoerd op grond waarvan de PE-typen K233 en K242 werden geselecteerd als PE's waarmee een goede vlokvorming kon worden verkregen. Verschil tussen beide PE's is het moment van vlokvorming en de stevigheid van de slibvlok. K242 wordt momenteel gebruikt voor de indikking van het slib op de bandindikkers in Epe.

AFBEELDING 85 WESTFALIA CENTRIFUE OP RWZI EPE

TESTEN MET DE CENTRIFUGE

Op maandag 11-6-2012 is de installatie van het type UCF-406 van GEA Westfalia opgebouwd en zijn de slib- en watertoevoerleidingen geïnstalleerd – zie Afbeelding 85. Op dinsdag is getest met K242 bij een doorzet van 32 m^3/h. Hierbij zijn verschillende PE-doseringen getest. Op woensdag en donderdag is getest met K233. Op vrijdag is getest met K242 waarbij het toerental is gevarieerd.

SLIBTOEVOER

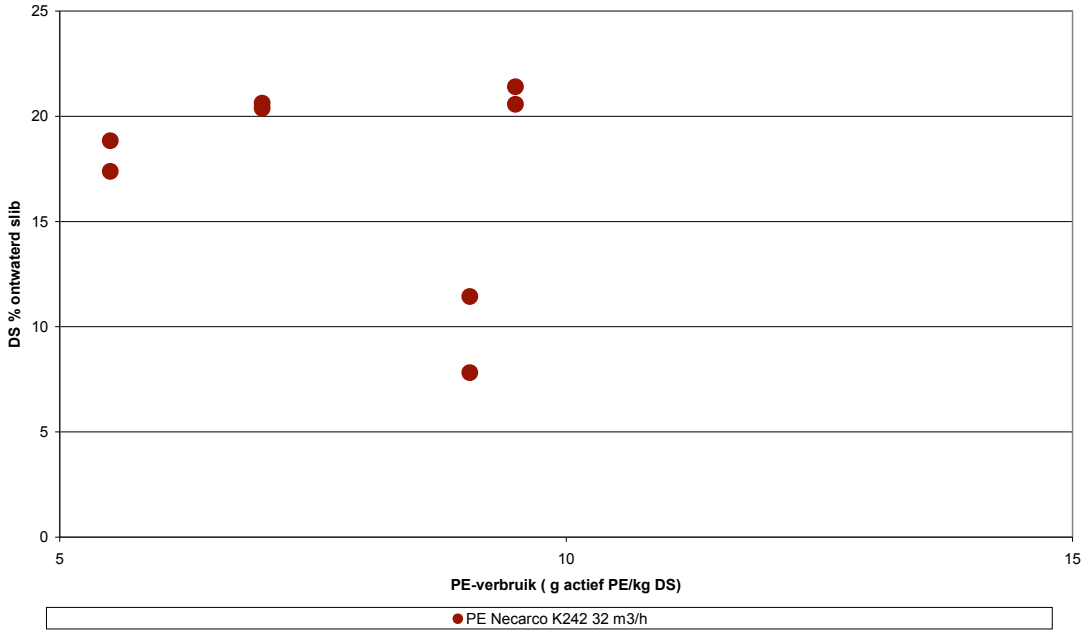
Het slib is onttrokken uit de slibbuffer. Op basis van metingen op een sneldroger is de concentratie ingeschat op basis waarvan de instellingen voor PE-dosering zijn bepaald.

12.3.4 RESULTATEN

Bij het begin van de testen kwam duidelijk naar voren dat de hydraulische belasting van de centrifuge beperkend is voor de verwerkingscapaciteit. Mede afhankelijk van de schuimvorming in het centraat is een verwerkingscapaciteit van 28 tot 32 m^3/h mogelijk. Bij deze debieten is de drogestofbelasting in de centrifuge minimaal. Waar de betreffende machine normaal 500 kg DS/h kan verwerken, wordt nu als gevolg van de lage ingangsconcentratie slechts 50 kg DS/h verwerkt. Om voldoende vulling in de perszone van de centrifuge te krijgen, is gedraaid met een minimaal verschiltoerental. In dit geval was dat slechts 0,6 tpm bij een trommeltoerental van 4136 tpm. Door de lage slibaanvoer duurt het relatief lang voordat het effect van een verandering zichtbaar is.

De slib/waterscheiding in de centrifuge bleek gevoelig voor verstoringen. Een kleine wijziging in PE-dosering leidde regelmatig tot een situatie waarbij er doorslag was van slib naar het centraat. Dit is volledig terug te voeren op de minimale slibopbouw in de machine. Op dinsdag is getest met K242, en hier bleek dat wel een stabiele situatie mogelijk was, nadat eenmaal de juiste instellingen gevonden waren. Er is vervolgens getest bij 3 verschillende PE-doseringen. In Afbeelding 86 zijn de resultaten weergegeven.

AFBEELDING 86 RESULTATEN SLIBONTWATERINGSTESTEN



Een verhoging van de PE-dosering leidde tot een verhoging van het drogestofgehalte van het ontwaterde slib. Kanttekening bij de PE-dosering is dat deze is ingesteld op basis van metingen van de sneldroger. De monsters voor de sneldroger zijn direct uit de toevoerbuffer genomen. De monsters die bij de centrifuge zijn genomen wijken hiervan af. Dit is terug te voeren op de locatie van het monsterpunt en de beperkte mogelijkheden tot een goede monstername. In Afbeelding 87 is uitgegaan van de waarden van de sneldroger.
Er zijn twee waarden die duidelijk afwijken en welke bepaald zijn tijdens het zoeken naar de juiste instellingen. Nadat de regeling voor het aansturen van het ingestelde verschiltoerental was aangepast, steeg het drogestofgehalte van ca 10% naar meer dan 20% bij een min of meer gelijk PE-verbruik.
Nadat werd overgeschakeld op K233 bleek er geen stabiele situatie meer te ontstaan. Ofwel het afscheidingsrendement was onvoldoende, ofwel het drogestofgehalte van het slib was laag (op basis van visuele inschatting). Door het lage drogestofgehalte van het slib plakte het gemakkelijk aan de uitworpopening van de centrifuge. Dit heeft tot operationele problemen geleid, waarbij de centrifuge zelfs een keer geheel geopend moest worden om deze te kunnen reinigen.
Op vrijdag 15-6-2012 is weer overgeschakeld naar K242 om bij het optimale PE-verbruik het toerental te kunnen variëren. Waar op dinsdag echter een goede ontwatering mogelijk was, is dat vrijdag niet aangetoond. Het drogestofgehalte van het ontwaterde slib was maximaal 17%. Het vermoeden is dat het rest PE uit de ruw PE-doseerleiding een storende invloed heeft gehad. De hoeveelheid ruw PE per batch is namelijk zeer beperkt en in de toevoerleiding tussen de pomp en het voorraadvat was nog K233 aanwezig.

De bovenstaande testen zijn uitgevoerd bij een toerental van 4.131 tpm. Om de invloed van de G-krachten op het ontwateringsresultaat in te schatten is ook getest bij een toerental van 3.700 en 4.600 tpm. Het verlaagde toerental leidde tot een minder goed resultaat, wat logisch is aangezien de drijvende kracht (centrifugaalkracht) voor de scheiding tussen slib en water lager is dan bij een hoog toerental. Het verhoogde toerental leidde tot een hoger koppel van de machine. Een hoger koppel geeft aan dat er meer energie nodig is om de schroef rond te draaien en duidt meestal op een hoger droge stofgehalte van het ontwaterde slib. Echter voordat er een stabiele situatie was ontstaan moest de test afgebroken worden doordat er slib vanuit de uitworp tussen de trommel en de afdekking was gekomen. Met een gewijzigd ontwerp zal een dergelijk probleem zich niet voordoen.

AFBEELDING 87 RESULTATEN SLIBONTWATERINGSTESTEN

Bij ontwatering is ook het afscheidingsrendement van belang, om te voorkomen dat slib via het centraat nogmaals het zuiveringsproces doorloopt. Omdat het ingaande drogestofgehalte laag is, zal bij een drogestofhoeveelheid van 75 mg/l in het centraat een afscheidingsrendement van 95% ontstaan. Een centraat met een dergelijk laag drogestofgehalte is lastig te behalen. In Afbeelding 87 is goed het verschil te zien tussen een optimaal werkende centrifuge (links) en één waarbij doorslag plaatsvindt naar het centraat (rechts).

12.4 CONCLUSIES

Op basis van de resultaten van de huidige zeefbandinstallatie is het slib met een dosering van 1 – 2 g actief PE/kg DS in te dikken tot een drogestofgehalte van minimaal 5,5%. Eén en ander is in lijn met de resultaten tijdens de verificatieperiode. Een verhoging van deze dosering naar 2 - 3 g actief PE/kg DS leidt tot een verhoging van het drogestofgehalte naar 6,5%.
Technische beperkingen aan de huidige ingedikt slibpomp laten een continue procesvoering met DS-concentraties > 6,5% niet toe, daar waar de mogelijkheden hiertoe met korrelslib wel mogelijk zijn.

Bij de directe ontwatering van Nereda® slib kunnen DS-percentage > 20% worden bereikt, hetgeen vergelijkbare resultaten zijn in vergelijking met conventioneel spuislib. Het lage drogestofgehalte van het ingaande slib leidt echter tot een situatie waarbij procesverstoringen een groter en sneller effect hebben op het eindresultaat.
Door de ongunstige verhouding drogestof en water is het energieverbruik voor een decanteercentrifuge ongunstig. Waar bij een slibstroom van 24 m^3/h met 4% drogestof ca. 1,6 kWh/m^3 (0,04 kWh/kg DS) nodig is, wordt bij 0,15% drogestof voor het Nereda® slib en 32 m^3/h 0,35 kWh/m^3 slib (0,22 kWh/kg DS) gevraagd.

De verwachting is dat met een cascade-zeefbandpers de ontwatering van het Nereda® slib goed zal verlopen. Deze verwachting is mede gebaseerd op de goede resultaten van de mechanische indikking van het spuislib met de zeefbandinstallatie. Tijdens het onderzoek was echter geen geschikte cascade-zeefbandpers beschikbaar om deze verwachte prestaties te verifieren.

13

ONTWERPGRONDSLAGEN NEREDA®

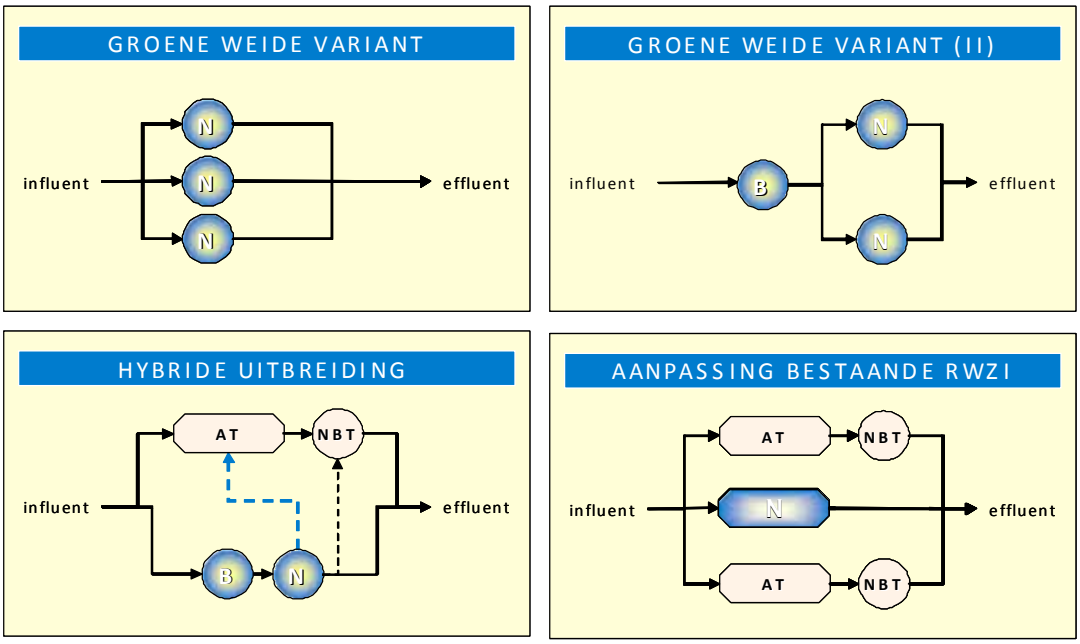
13.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk worden de verschillende procesconfiguraties voor de Nereda® technologie behandeld. Achtereenvolgens wordt ingegaan op de groene weide variant met en zonder buffer, een uitbreiding in een hybride configuratie en tenslotte de ombouw van bestaande rwzi's naar de Nereda® procesvoering. Vervolgens worden de Nederlandse praktijkinstallaties naar deze procesconfiguraties ingedeeld en worden op grond van de KRW onderzoeken en resultaten, de verdere ontwikkelingen in de loop van de tijd beschreven. Tenslotte wordt in dit hoofdstuk een vergelijking gemaakt tussen de ontwerpgrondslagen van de Nereda® technologie met die van een conventionele actiefslibinrichting. Hierbij wordt met name ingegaan op de groene weide situatie, waarbij tevens een gevoeligheidsanalyse plaats vindt op de RWA/DWA parameter. Algemene ontwerpgrondslagen voor de hybride uitvoering en ombouw van bestaande rwzi's zijn in dit hoofdstuk achterwege gelaten, omdat deze te locatie specifiek zijn.

13.2 PROCESCONFIGURATIES

Er zijn vier principieel verschillende toepassingen voor de Nereda® technologie te onderscheiden. Deze zijn hierna kort omschreven en schematisch weergegeven in Afbeelding 88.

AFBEELDING 88 TOEPASSINGSMOGELIJKHEDEN NEREDA® TECHNOLOGIE



1. GROENE WEIDE VARIANT

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.
Voorbeelden hiervan zijn de installaties te Epe en Dinxperlo (zie paragraaf 13.3.1 en 13.3.2), die beide op grond van de scherpe effluenteisen zijn voorzien van een zandfilter. Bij een installatie van grote capaciteit kunnen mogelijk meer dan 3 (standaard) reactoren worden gerealiseerd.
De bouw van een influentbuffer geeft de mogelijkheid om met minder dan drie reactoren te ontwerpen, waarbij bovendien gebruik wordt gemaakt van een efficiëntere procescyclus. 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 13.3.4).

2. HYBRIDE UITBREIDING

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 gescheiden van de bestaande installatie worden gerealiseerd. Conform de standaard opzet bij hybride installaties wordt de hydraulische capaciteit van de bestaande en nieuwe installatie geoptimaliseerd. Dit kan er overigens toe leiden dat minder Nereda® reactoren hoeven te worden gebouwd. Afhankelijk van de effluenteisen kan ook hier 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 met één Nereda® reactor, eventueel aangevuld met een DWA-buffer. Het effluent van de Nereda installatie wordt afgevoerd naar de conventionele installatie. Een voorbeeld hiervan is de rwzi Vroomshoop die in paragraaf 13.3.3 wordt toegelicht.

Een interessant aspect in een hybride uitbreiding is de benutting van het Nereda® spuislib in de bestaande installatie. Hiermee wordt een continu enteffect 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.

Aan een hybride uitbreiding van een bestaande rwzi kan ook worden gedacht bij de (extra) verwerking van (hoog geconcentreerd) industrieel afvalwater. Meestal vraagt dit om een (aanzienlijke) uitbreiding van de beschikbare biologische capaciteit, terwijl geen aanpassing nodig is van de hydraulische capaciteit. Met de bouw van een eenvoudige Nereda® reactor of zelfs 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 enteffect, waarmee niet alleen de korreleigenschappen kunnen worden overgedragen, maar tevens de zuiveringscapaciteit van een bestaande (en vol- tot overbelaste) installatie wordt vergroot. Er kan zelfs een nog eenvoudiger uitvoeringsvorm van de Nereda® installatie worden overwogen, door zowel het gezuiverde afvalwater als ook het spuislib naar de bestaande rwzi te laten afstromen, 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 nabezinktanks en retourslibgemalen worden uit bedrijf genomen. Hierdoor wordt de capaciteit vergroot of kan de effluentkwaliteit worden verbeterd. Een van de belangrijke aandachtspunten hierbij is de beschikbare waterdiepte van de bestaande beluchtingstanks, ofschoon dit bij rwzi's van grotere capaciteit meestal geen issue is.

Naast de inpassing in bestaande actief slibinstallaties is vanzelfsprekend een andere interessante optie de inpassing in bestaande anaërobe installaties. Ofschoon de hydraulische verblijftijden in dit type installaties met circa 8 uur voor Nederlandse begrippen aan de korte kant is, biedt deze optie wel degelijk grote potentie. Deze anaërobe installaties worden normalerwijs alleen in warmere landen toegepast, waar de minimale procestemperaturen beduidend hoger liggen. De ontwikkelingen in deze landen t.a.v. effluenteisen is zodanig dat op korte termijn ook inpassing in anaërobe systemen toepassing zal gaan vinden.

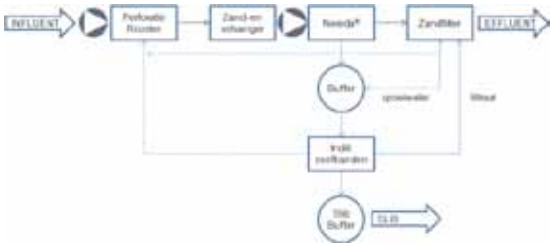
13.3 NEDERLANDSE PRAKTIJKINSTALLATIES

In bijlage 3 zijn de belangrijkste ontwerpgrondslagen voor de Nederlandse praktijkinstallaties opgenomen. Naast influentgegevens en vereiste effluentkwaliteit zijn met name de belangrijkste grondslagen van de voorbehandelingsinstallatie, de Nereda® reactoren, de eventuele nabehandeling en slibbehandeling weergegeven. In de volgende deelparagrafen wordt nader op de verschillende ontwerpen ingegaan en wordt een aantal ontwerpkeuzes nader toegelicht. Aan de hand hiervan zal tevens de verdergaande ontwikkeling van de nog jonge ontwerpfilosofie duidelijk worden. Met name de praktijkervaring van de rwzi Epe heeft hieraan sterk bijgedragen, zoals eerder verwoord in de vorige hoofdstukken.

13.3.1 RWZI EPE

De rwzi Epe is de eerste groene weide Nereda® praktijkinstallatie en ontworpen voor een biologische capaciteit van 53.500 v.e. (150g TZV) en een maximale hydraulische aanvoer van 1.500 m^3/h. In Afbeelding 89 is een foto van de sloop van de nabezinktank van de oude rwzi Epe opgenomen met op de achtergrond een deel van de Nereda® tanks. Tevens is een vereenvoudigd blokschema weergegeven.

AFBEELDING 89 FOTO EN BLOKSCHEMA RWZI EPE



Het ontwerp van de rwzi Epe is in hoofdstuk 3 toegelicht en gebaseerd op de resultaten van jarenlang intensief pilotonderzoek dat op deze installatie in de periode van 2006 tot 2010 is uitgevoerd en uitvoerig is beschreven in een STOWA rapportage (2010-29). Tijdens de realisatie van de praktijkinstallatie (april 2010 tot – mei 2011) is deze al deels in bedrijf genomen om de korrelvorming op gang te brengen. Er was immers op deze schaal geen korrelslib voorhanden om de installatie te enten. Dit proces duurde van mei tot september 2011 en is uitgebreid beschreven in H_2O. Daarna is de oude rwzi Epe uit bedrijf genomen en wordt sindsdien al het influent over de Nereda® installatie gevoerd. In hoofdstuk 4 zijn daarvan de resultaten beschreven.

Het influent van de rwzi Epe wordt gekenmerkt door een groot aandeel afvalwater van enkele grote slachterijen. Als gevolg daarvan worden regelmatig grotere hoeveelheden vet geloosd, waarbij ook de zuurgraad van het afvalwater sterk kan afwijken van wat gewenst is. In het ontwerp is hiermee dan ook rekening gehouden door in de voorbehandeling een gecombineerde gootzand / vetvanger te plaatsen. Dit procesonderdeel komt na het perforatierooster, dat ondermeer bedoeld is ter voorkoming van slijtage en verstoppingen van stroomafwaarts gelegen procesonderdelen. Hierbij is tijdens de ontwerpfase specifiek ook gedacht aan de relatie met de invoerconstructie in de Nereda® reactoren, waar verstopping moet worden voorkomen. Daarnaast is de verwijdering van influentcomponenten van belang, die in een later stadium aanleiding zouden zijn tot de vorming van een drijflaag op het wateroppervlak van de Nereda® reactoren. In tegenstelling tot een traditioneel afvalwaterzuiveringsconcept ontbreekt een nabezinkstap waar een dergelijke drijflaag mechanisch kan worden verwijderd.

Het ontwerp van de 3 Nereda® reactoren is oorspronkelijk gebaseerd op een cyclustijd van 6 uur, waarbij de voedingstijd per reactor 2 uur bedraagt. Met een 0,5 uur per cyclus voor slibbezinking en het aflaten van spuislib blijft voor de biologische processen 3,5 uur d.w.z. 58% van de totale cyclustijd over. De slibbelasting voor het bereiken van de vereiste c.q. gewenste effluentkwaliteit is gebaseerd op deze 58% en bedraagt 0,12 kg CZV/(kg. DS.d). Deze waarde is berekend als ware de Nereda® installatie een traditionele actiefslibinstallatie. Op het moment van ontwerpen ontbrak nog voldoende praktijkervaring om van dit uitgangspunt af te wijken, ofschoon er al indicaties waren dat de biologische belastbaarheid van het Nereda® systeem gebaat zou kunnen zijn bij enigszins hogere slibbelastingen.
Zoals aangegeven in hoofdstuk 3 is de cyclustijd en opbouw ervan automatisch geregeld. Op basis van praktijkervaring op Epe wordt dan ook geregeld op een optimale cyclustijd, die vooral tijdens RWA situaties afhankelijk wordt gesteld van een maximale exchange ratio. Als deze is bereikt wordt de voeding naar de specifieke reactor gestopt en worden cyclustijden automatisch aangepast.

Evenals de slibbelasting is ook de zuurstofinbreng van de Nereda® reactoren tijdens de ontwerpfase van rwzi Epe berekend met standaard ontwerpuitgangspunten voor traditionele actief slibinstallaties. Op grond van de ervaring met de pilotinstallaties enerzijds en die met de praktijkinstallatie Epe anderzijds, is duidelijk geworden dat de zuurstofopname in een batch korrelsysteem anders verloopt dan in een gesuspendeerd continu zuiveringssysteem. Verder dient te worden stilgestaan bij het feit dat de zuurstofvraag sterk bepaald wordt door de fase waarin het zuiveringsproces zich bevindt en dat deze vraag in principe door maximaal 2 van de 3 reactoren op rwzi Epe wordt bepaald. In het ontwerp wordt gesproken over een zogenaamde gelijktijdigheidsfactor, die significant lager ligt dan het aantal Nereda® reactoren.

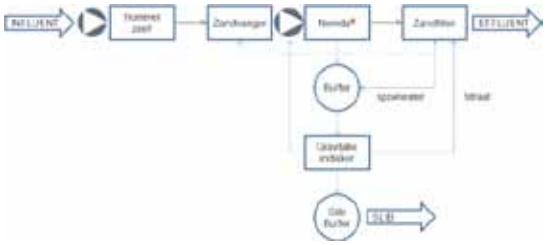
Vanwege de scherpe fosfaat-effluenteisen voor de rwzi Epe en de beperkte ervaring met diverse nabehandelingstechnieken m.b.t. de gelijktijdige verwijdering van zwevendstof en rest-fosfaat is tijdens de ontwerpfase destijds uitgegaan van de inzet van (discontinue) zandfiltratie. Het spoelwater van de zandfilters wordt in principe niet teruggevoerd via de terreinriolering naar het influent, maar rechtstreeks naar de spuislibbuffer. Omgekeerd geldt hetzelfde voor het bandspoelwater van de mechanische slibinindikkingsinstallatie dat rechtstreeks naar de zandfiltratie wordt getransporteerd. Wel moet rekening worden gehouden met de beïnvloeding van de zandfiltratie door resten vlokhulpmiddel uit de spuislibindikking en met beïnvloeding van de slibindikking a.g.v. resten vlokmiddel die (tijdelijk en additioneel) worden toegepast in de zandfiltratie.

Het spuislib van de Nereda® reactoren wordt opgevangen in een spuislibbuffer en wordt gezamenlijk met het spoelwater van de zandfilters mechanisch ingedikt op 2 voorontwateringsbanden. Omdat het mengsel met een relatief lage concentratie wordt verwerkt, zijn de banden van de installaties verlengd. Het ingedikte slib wordt gepompt naar een ingedikt slibbuffer voordat transport naar de rwzi Apeldoorn plaats vindt en het spuislib wordt vergist.

13.3.2 RWZI DINXPERLO

De rwzi Dinxperlo is de tweede groene weide Nereda® praktijkinstallatie en is ontworpen voor een biologische capaciteit van 15.730 v.e. (150g TZV) en een maximale hydraulische aanvoer van 570 m^3/h. In Afbeelding 90 is een overzicht en een vereenvoudigd blokschema van de rwzi weergegeven.

AFBEELDING 90 OVERZICHT EN BLOKSCHEMA RWZI DINXPERLO



Het ontwerp van de rwzi Dinxperlo is mede gebaseerd op de resultaten van pilotonderzoek dat op deze installatie in de periode van 2008 – 2009 is uitgevoerd en uitvoerig is beschreven in een STOWA rapportage (STOWA rapport 2010-29, “Nereda pilotonderzoeken 2003 – 2010”). De installatie wordt momenteel gebouwd en zal naar verwachting eind 2013 worden opgestart met entslib afkomstig van de rwzi Epe.

Bijzonder aan het ontwerp van de rwzi Dinxperlo is de watertuin, die mede is gerealiseerd met procesonderdelen van de oude rwzi. De huidige beluchtingstanks, nabezinktank en resterende ruimte op het zuiveringsterrein worden hiervoor gebruikt. In het effluent zal een verdere afbraak van virussen, bacteriën en verdere opname van restnutriënten plaatsvinden. De geur zal meer natuurlijk worden en meer passen bij een gezond oppervlaktewatersysteem, waarvan het ontvangende oppervlaktewater de Aa-streng zal profiteren. Tevens is de watertuin bedoeld om de belevingswaarde van het voor publiek zichtbare terrein te vergroten. Er wordt hiertoe zelfs langs onderdelen van de watertuin een wandelpad aangelegd, dat tevens kan worden aangesloten op de naastgelegen, heringerichte vuilstort van de gemeente Aalten.

De watertuin bestaat achtereenvolgens uit een vlooienvijver, een submers filter, flowformcascades en een rietmoeras. In de vlooienvijver vindt verwijdering van bacteriën en zwevende stof plaats, waarna in het submers filter met ondergedoken waterplanten en in het rietmoeras, het effluent een actieve planten- en wortelmassa passeert, waarbij vooral opgeloste stoffen worden verwijderd en omgezet. Tevens worden zwevende stoffen uitgefilterd of afgevangen. De flowformcascades verzorgen extra beluchting en ontgassing van het water, waardoor de biologische processen in de rietsloten worden gestimuleerd.

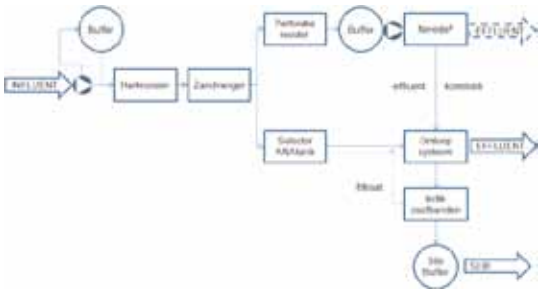
Het influent van de rwzi Dinxperlo is voornamelijk afkomstig van huishoudens. De voorbehandeling bestaat mede op basis van de ontwerpervaring van Epe uit trommelzeven en een zandvanger. In het ontwerp van de voorbehandeling is ruimte gereserveerd voor het later plaatsen van fijnzeven (0,5 mm). STOWA heeft de toepassingsmogelijkheden van dergelijke zeven in de praktijk onderzocht (STOWA rapport 2010-19 “Influent fijnzeven in rwzi’s”) en WRIJ wil voor de toekomst diverse nuttige hergebruikmogelijkheden voor geperst zeefgoed open houden.
De ontwerpgrondslagen van de 3 Nereda® reactoren zijn min of meer identiek aan die van de rwzi Epe, waarbij voor Dinxperlo op basis van de pilotresultaten is uitgegaan van een iets lagere slibbelasting. Vanwege de scherpe fosfaat-effluenteisen voor de rwzi Dinxperlo is evenals bij rwzi Epe, uitgegaan van de toepassing van discontinue zandfiltratie. De vuile spoelwaterstroom van de zandfilters wordt ook hier in principe rechtstreeks naar de spuislibbuffer gevoerd en vervolgens gravitair ingedikt, terwijl het overloopwater van de indikker wordt teruggevoerd naar het zandfilter. Ook hier is deze maatregel ingezet om de hydraulische belasting van de Nereda® reactoren te beperken.

Het spuislib van de Nereda® reactoren wordt opgevangen in een spuislibbuffer en wordt gezamenlijk met het spoelwater van de zandfilters gravitair ingedikt. Vervolgens wordt het ingedikte slib opgeslagen en getransporteerd naar één van de centrale verwerkingsinstallaties in het beheersgebied van Waterschap Rijn en IJssel.

13.3.3 RWZI VROOMSHOOP

De rwzi Vroomshoop is de eerste hybride Nereda® praktijkinstallatie en is samen met een nieuwe CAS installatie ontworpen voor een biologische capaciteit van 22.600 v.e. (150g TZV) en een maximale hydraulische aanvoer van 1.265 m^3/h. De RWA / DWA verhouding bedraagt in deze situatie ruim 8! In Afbeelding 91 is een foto van de bouw en een vereenvoudigd blokschema van de rwzi weergegeven. Op de achtergrond de bestaande oxidatiesloot met nabezinktank. Opvallend is de compacte bouw van de nieuwe oxidatiesloot met gekoppelde Nereda® installatie.

AFBEELDING 91 FOTO EN BLOKSCHEMA RWZI VROOMSHOOP



Het afvalwater van de rwzi Vroomshoop behandelt het afvalwater van Vroomshoop en de kernen Daarle, Daarlerveen en Westerhaar. Het ruwe afvalwater wordt geroosterd met een spleetwijdte van 6 mm en door een Vortex zandvanger geleid. Daarna wordt het biologisch behandeld in een hybride installatie, bestaande uit een actief-slibstraat met selector / anaerobe tank, aëratietank, nabezinktank / retourslib-gemaal. In de tweede straat wordt het afvalwater behandeld volgens het Nereda® proces in achtereenvolgens een perforatierooster met een maaswijdte van 3 mm, een tussenbuffer met tussengemaal en een enkele Nereda® reactor. Bij DWA wordt in beide straten 50% van het debiet behandeld, terwijl onder RWA omstandigheden een groter deel naar de conventionele actief slibstraat wordt gevoerd. De waterdiepte van de conventionele en Nereda® straat bedraagt respectievelijk 5,5 en 6,5 m. De nabezinktanks van de conventionele straat kunnen het totale afvalwaterdebiet verwerken. Het effluent van de Nereda® straat wordt in principe samen met het spuislib naar de conventionele straat gevoerd. Het effluent van de Nereda® straat kan ook rechtstreeks worden geloosd.
Met het oog op de continue enting van spuislib uit de Nereda® installatie aan de conventionele straat, wordt uitgegaan van biologische P-verwijdering en een SVI_{30} van 125 ml/g voor het ontwerp van de nabezinktank(s). Overigens is in het ontwerp van de CAS ook een selector / anaerobe tank opgenomen. De surplusslibproductie van beide straten wordt onttrokken uit de actief-slibstraat en vervolgens rechtstreeks mechanisch ingedikt op een indikband.

13.3.4 RWZI GARMERWOLDE

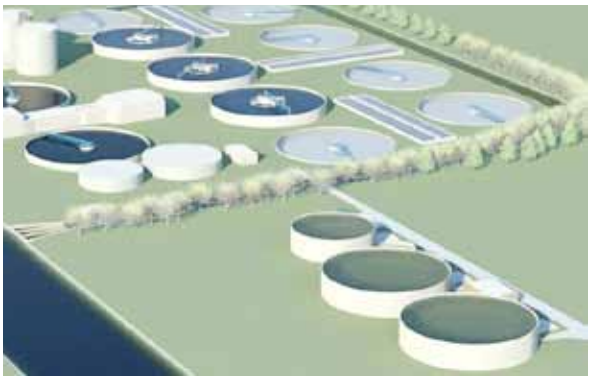
De rwzi Garmerwolde wordt uitgebreid met een tweede autonoom functionerende zuiveringsstraat, die geen uitwisseling heeft met de bestaande rwzi. Gekozen is voor een opzet met twee parallel bedreven Nereda® reactoren en een DWA-buffer. De buffer garandeert onder DWA-omstandigheden een continue afvoer naar beide zuiveringsstraten. Onder RWA-omstandigheden moet meer water worden verwerkt en wordt in eerste instantie de biologische tijd binnen een cyclus teruggebracht. Dat kan ook omdat de concentraties in het afvalwater afnemen. In de meest extreme situatie wordt in tweede instantie de cyclustijd ingekort, zodat continue verwerking van afvalwater mogelijk wordt. De besturing van de Nereda® reactoren is erop gericht om bij elke hydraulische situatie de optimale cyclustijd tussen 2 en 8 uur te kiezen. Bij de kortste cyclustijd kan maximaal 4.200 m^3/h worden behandeld. De biologische capaciteit van de Nereda® installatie bedraagt 140.000 v.e. (150 g TZV).

Door de realisatie van een influentbuffer met een inhoud van 4.200 m^3, kan worden volstaan met de realisatie van slechts 2 Nereda® reactoren met elk een inhoud van 9.500 m^3 en een waterdiepte van 7,5 m. Met het oog op de relevantie van een korte bouwtijd is gekozen voor een ronde uitvoeringsvorm.

Door de inzet van een buffer wordt de voedingstijd gereduceerd van 2 naar 1 uur, waardoor de cyclustijd nog efficiënter kan worden gebruikt voor de biologische processen. De recirculatiecapaciteit per reactor bedraagt 2.500 m^3/h voor een optimale N-verwijdering tot een jaargemiddelde waarde van 7 mg/l. Als de biologische fosfaatverwijdering tijdens het granulatieproces nog niet voldoende is om aan de vereiste P-effluentkwaliteit van 1 mgP/l te voldoen, kunnen aanvullend chemicaliën aan de Nereda® reactoren worden gedoseerd. Het effluent wordt zonder nabehandeling onder vrij verval op de effluentsloot geloosd.

In Afbeelding 92 is een schematisch overzicht en een vereenvoudigd processchema van de rwzi weergegeven. Links op het overzicht is de bestaande rwzi afgebeeld, terwijl de Nereda® installatie rechts is te zien. In bijlage 3 zijn enkele belangrijke ontwerp kentallen opgenomen.

AFBEELDING 92 OVERZICHT EN BLOKSCHEMA RWZI GARMERWOLDE



13.3.5 RWZI UTRECHT

Het prototype van de Nereda® installatie te Utrecht wordt gerealiseerd om de uiteindelijke systeemkeuze tussen de Nereda® en mUCT technologie voor de nieuwe praktijkinstallatie te onderbouwen. Daarbij wordt het prototype zodanig uitgevoerd dat de grenzen voor het biologisch en hydraulisch ontwerp kunnen worden verkend. De resultaten van het uitgevoerde praktijkonderzoek op de rwzi Epe hebben laten zien dat de hydraulische belastbaarheid van de installatie nadrukkelijk groter is. Voor de rwzi Utrecht is dat gegeven uitermate relevant vanwege de grootte van de praktijkinstallatie (15.000 m^3/h en 530.000 v.e.). De potentiële besparingen op investeringskosten zijn aanzienlijk en zullen worden vastgesteld op basis van onderzoek dat op het prototype in de periode van 2013 – 2014 zal worden uitgevoerd.

Een groot deel van het influent op de huidige rwzi Utrecht wordt aangevoerd vanuit 2 vrijverval leidingen naar het influentgemaal. Een gedeelte van deze influentstroom wordt onttrokken uit een van deze leidingen ten behoeve van het Nereda® prototype. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een vacuüm-installatie en een tweetal influentpompen. Mede met het oog op de doelstellingen van het onderzoek zal op dagbasis circa 1.000 m^3 influent worden verwerkt, maar zal de maximale aanvoer 650 m^3/h bedragen. Daarenboven bestaat ook nog de mogelijkheid om uit een van de bestaande nabezinktanks effluent te onttrekken, teneinde de maximale hydraulische opvoersnelheid nog verder te verhogen.

Het influent wordt door een perforatierooster met een opening van 6 mm geleid waar het influent ontdaan wordt van fijne en grove bestanddelen. In een later stadium kan met het oog op de verwijdering van vezelmateriaal een fijnrooster worden geplaatst. Het roostergoed wordt samengeperst en afgevoerd in rolcontainers. Deze roostergoedverwijdering wordt opgesteld in een container die tevens dienst doet als zandvang. Periodiek zal met een kolkenzuiger het zand uit de container verwijderd worden. Vanuit deze container stroomt het influent onder vrijverval naar een tussengemaal van waaruit het batchgewijs toegevoerd wordt aan de Nereda® tank. Deze is vanuit het oogpunt van ruimtegebruik rechthoekig uitgevoerd en representatief voor een latere opschaling naar de praktijkinstallatie. Het prototype heeft een waterdiepte van 7 m., maar kan ook de situatie van andere waterdieptes simuleren door de online analysers op een andere hoogte te plaatsen.

Het spuislib van de Nereda® installatie wordt naar een van de actief slibstraten van de bestaande rwzi Utrecht afgevoerd, waarbij mogelijk nog sprake zal kunnen zijn van een klein positief enteffect, ofschoon de korrelslibhoeveelheid ten opzichte van de aanwezige actief slibmassa vanzelfsprekend niet al te groot is.

In Afbeelding 93 is een foto en een vereenvoudigd blokschema van de rwzi Utrecht weergegeven. Op de foto is de industriële uitvoering van het prototype met verschillende containers duidelijk te zien. In bijlage 3 zijn enkele belangrijke ontwerp kentallen opgenomen.

AFBEELDING 93 FOTO EN BLOKSCHEMA RWZI UTRECHT

13.4 ALGEMENE ONTWERPGRONDSLAGEN

Een huishoudelijke Nereda® installatie wordt gedimensioneerd op biologische en hydraulische uitgangspunten. Zoals eerder aangegeven worden hiervoor tot op heden bekende biologische ontwerpgrondslagen aangehouden, vergelijkbaar met die voor actief slib. Dit geldt dus voor slibbelastingen, alsook voor zuurstofinbrengcapaciteit (α-factor) en slibproductie. Voor het slibgehalte wordt een ontwerpwaarde van 8 kg/m^3 aangehouden, daar waar actief slibsystemen standaard worden ontworpen op 4 kg/m^3. De genoemde aannames zullen na langjarige praktijktoepassingen mogelijk verder worden aangepast c.q. aangescherpt.

Verder dient bij het biologische ontwerp rekening te worden gehouden met de specifieke eigenschappen van een batch systeem. Mede afhankelijk van de cyclusopbouw en het aantal reactoren dient ondermeer gerekend te worden met de effectieve beluchtingstijd, zoals aangegeven in paragraaf 2.2.
In datzelfde kader is het van belang te rekenen met een zogenaamde gelijktijdigheidsfactor. Deze geeft de totaal geïnstalleerde beluchtingscapaciteit aan ten opzichte van de capaciteit per reactor. Omdat de reactoren in een sequence functioneren wordt namelijk niet tegelijkertijd in alle reactoren de maximale luchtinbreng vereist. De luchtinbreng in huishoudelijke installaties vindt plaats met een fijne bellenbeluchtingssysteem en wordt berekend voor de maximale batchgrootte onder maximale droogweercondities (DWA_{max}). Deze benadering betekent dat geen additionele piekfactoren meer nodig zijn.

De maximale procesomstandigheden voor het systeem treden derhalve 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 maar kort en wordt even later bij de maximale hydraulische capaciteit sterk verdund afvalwater aangevoerd. In deze situatie is de biologische vuillast (beduidend) lager dan tijdens maximale DWA situatie en kan het zuiveringsproces dus ook in een korter tijdsbestek worden afgerond. Hiervan wordt gebruik 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 krijgt.

Met betrekking tot de hydraulische capaciteit van een Nereda® installatie wordt verder onderscheid gemaakt naar de verschillende toepassingen. Bij een hybride uitbreiding zal er een optimalisatie plaatsvinden van de biologische en hydraulische ontwerpgrondslagen tussen

de bestaande en de nieuwe installatie. Een uitwerking tot de meest optimale variant is sterk locatie specifiek en niet algemeen aan te geven. Het ontwerp van de rwzi Vroomshoop in paragraaf 13.3.3 is een specifiek voorbeeld. Wel worden vooralsnog ook voor hybride installaties de uitgangspunten voor het ontwerp van een actief slibsysteem gehanteerd en wordt ook hier een ontwerp slibgehalte van 8 kg/m^3 aangehouden.
Voor het functioneren van elke Nereda® reactor dient verder rekening te worden gehouden met goed ontworpen en op de lokale situatie afgestemde internals.

Met betrekking tot de voorbehandeling van een Nereda® installatie dienen dezelfde richtlijnen als bij conventionele systemen te worden aangehouden. Datzelfde geldt voor de slibbehandeling waarbij vanzelfsprekend wel rekening moet worden gehouden met de hoge biologische fosfaatverwijderingscapaciteit. De inzet van mechanische indikkingsapparatuur is hierbij een voor de hand liggende optie, ofschoon ook installaties met gravitatie indikking worden ontworpen.

Als sprake is van strenge effluenteisen kan een nabehandeling noodzakelijk zijn, die op voorhand met standaard ontwerpgrondslagen kan worden berekend. Hierbij kan worden gedacht aan de toepassing van een zand-, trommel-, disk- of Fuzzy filter voor de verwijdering van rest zwevendstof, eventueel in combinatie met de gelijktijdige verwijdering van eventueel restfosfaat, zoals beschreven in hoofdstuk 10.

Hierna zijn in deze paragraaf met de hiervoor aangegeven ontwerpparameters en onderstaande uitgangspunten voorbeeldberekeningen getoond voor de groene weide variant met en zonder influentbuffering. Hierbij wordt uitgegaan van uitgangspunten die min of meer gemiddelde Nederlandse omstandigheden vertegenwoordigen en die zijn weergegeven in Tabel 32. Tevens is ook de variatie aangegeven in een belangrijke ontwerpparameter (RWA / DWA), waarvan de consequenties in de voorbeeldberekeningen naar voren komen. Tevens wordt daarbij een globale vergelijking gemaakt met de ontwerpen voor een CAS installatie. Ten behoeve van het overzicht zal hierbij alleen worden ingegaan op het hart van de installaties, d.w.z. de Nereda® reactoren enerzijds en de actiefslibinstallatie + nabezinking / retourslib anderzijds.
De voorbehandeling en slibverwerking zijn buiten beschouwing gelaten en er is uitgegaan van biologische P-verwijdering voor beide systemen. Verder wordt geen aandacht besteed aan eventuele influent- en/of tussengemalen en evenmin noodzakelijke eindgemalen, aangezien dit zeer locatie specifiek is. Dit kan vanuit kostenoogpunt en energieverbruik wel leiden tot andere keuzes t.a.v. bijvoorbeeld aanlegdieptes en waterhoogtes. Tenslotte is voor de variant met influentbuffer uitgegaan van een normaal huishoudelijk afvalwater aanvoerpatroon ten behoeve van de berekening van het benodigde buffervolume.

TABEL 32 UITGANGSPUNTEN VOORBEELDBEREKENING NEREDA® EN CAS INSTALLATIES

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	48.600	
- CZV vracht	kg/d	5.000	
- CZV / N verhouding	-	10	
- RWA / DWA	-	2,5 – 3,5	Parameter gevoeligheidsanalyse
- DWA	h/d	14	
- Gemiddelde dagaanvoer	l/(v.e.d)	150	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	10	Jaargemiddelde
Nereda®			
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,14	Op beluchte fase van de cyclus
- Slibgehalte Nereda	kg/m^3	8	Standaard
- Maximale exchange ratio	%	60	
- Maximale opwaartse snelheid	$m^3/(m^2.h)$	4	
Actief slib			
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,14	Berekend op (de)nitrificatie volume
- Slibgehalte CAS	kg/m^3	4	Standaard
- Oppervlaktebelasting nabezinking	$m^3/(m^2.h)$	0,75	
- Kantdiepte nabezinking	m	2,0	

In Tabel 33 zijn de resultaten van de ontwerpberekeningen opgenomen en vergeleken met die van een actief slibsysteem. Uit deze tabel volgt dat de berekende volumina voor de Nereda® reactoren onder vergelijkbare en gangbare Nederlandse condities ruim 20% kleiner worden gedimensioneerd in vergelijking tot de volumina voor de actief slibinstallatie. Daarbij is het ontwerp van de reactoren afhankelijk van de RWA/DWA verhouding en de gehanteerde uitgangspunten (exchange ratio en maximale opvoersnelheid), hetgeen tot uiting komt in de verschillende H/D verhoudingen. Bij een RWA/DWA verhouding van 3,5 wordt onder de gegeven uitgangspunten een waterdiepte van 5,5 m. berekend. Deze waarde kan als een minimum worden beschouwd met het oog op het risico van kortsluitstromen tussen influent en effluent (tijdens RWA situaties).

TABEL 33 RESULTATEN VOORBEELDBEREKENING NEREDA® EN CAS INSTALLATIES – GROENE WEIDE

	Eenheid	RWA / DWA					
		2,5		3,0		3,5	
Nereda®							
- Aantal influent buffertanks	-	0	1	0	1	0	1
- Volume totaal	m^3	-	1.525	-	1.525	-	1.525
- Waterhoogte	m	-	5,0	-	5,0	-	5,0
- Diameter (ronde uitvoering)	m	-	19,7	-	19,7	-	19,7
- Netto oppervlakte	m^2	-	305	-	305	-	305
- Aantal Nereda reactoren	-	3	2	3	2	3	2
- Volume totaal	m^3	7.650	5.950	7.650	5.950	7.650	5.950
- Waterhoogte	m	7,5	9,0	6,5	7,5	5,5	6,5
- Diameter (ronde uitvoering)	m	20,8	20,5	22,4	22,5	24,3	24,2
- Netto oppervlakte	m^2	1.020	660	1.180	790	1.390	920
- Cyclustijd DWA	h	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
- Cyclustijd RWA	h	3,5	2,0	2,9	2,0	2,5	2,0
- OC (DWA max)	Nm^3/h	3.300	2.650	3.600	3.000	4.100	3.320
- Gelijktijdigheidsfactor	-	1,25	1,75	1,25	1,75	1,25	1,75
Actief slib							
- Aantal reactoren	-	2					
- Volume totaal	m^3	9.970					
- Waterhoogte	m	5,0					
- Diameter (ronde uitvoering)	m	35,6					
- Netto oppervlakte	m^2	1.990					
- OC	Nm^3/h	1.740					
- Aantal nabezinktanks	-	2		2		2	
- Diameter	m	33,2		36,4		39,3	
- Netto oppervlakte	m^2	1.700		2.080		2.430	
- Volume	m^3	4.270		5.220		6.180	
- Aantal slibretourgemalen	-	2		2		2	
- Capaciteit totaal	m^3/h	350		420		490	
Samenvatting							
Nereda®							
- Totaal bouwvolume	m^3	7.650	7.475	7.650	7.475	7.650	7.475
- Totaal netto oppervlak	m^2	1.020	990	1.180	1.100	1.390	1.225
Actief slib							
- Totaal bouwvolume	m^3	14.240		15.190		16.150	
- Totaal netto oppervlak	m^2	3.690		4.070		4.420	

Door het plaatsen van een influentbuffer die voor DWA condities wordt toegepast, stijgt dit verschil in volumina tussen Nereda® en CAS. Rekening houdend echter met het volume van de influentbuffer zijn de oorspronkelijke verschillen weer geldig, met die aantekening dat een influentbuffer qua bouwkosten goedkoper is dan een Nereda® reactor, maar dat vooral de werktuigbouwkundige en elektrotechnische investeringen van de variant met buffer lager zullen zijn in vergelijking tot de variant zonder influentbuffer.

Verder moet 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 berei-

ken en biologische P-verwijdering mogelijk te kunnen maken. Verder zijn hiervoor ook verschillende recirculatiestromen noodzakelijk, welke bij de Nereda® installatie ontbreken.
Een gevolg van het batch karakter van de Nereda® technologie is dat de zuurstoftoevoer in minder tijd dient plaats te vinden in vergelijking tot een continu systeem. Dit komt tot uiting in de geïnstalleerde compressorcapaciteit – niet te verwarren met opgenomen hoeveelheid luchtzuurstof – die afhankelijk van de RWA/DWA verhouding en het wel of niet toepassen van een influentbuffer circa 1,5 tot 2,5 keer groter kan zijn.
Uit de praktijkervaring op de rwzi Epe is overigens te verwachten dat deze maximale zuurstofinbreng naar beneden kan worden bijgesteld. Verdere praktijkervaringen zijn nodig om hieraan goede ontwerpgrondslagen te ontlenen.

Verder ontbreken bij een Nereda® installatie vanzelfsprekend de nabezinktanks en een retourslibgemaal. Het volume van de nabezinktanks bij het CAS ontwerp is afhankelijk van de RWA/DWA verhouding. Ten opzichte van het totale bouwvolume nemen de nabezinktanks 30 – 38% in. Ook in het netto ruimtegebruik ontstaan juist hierdoor grote verschillen van circa 70%, ofschoon hierbij moet worden bedacht dat deze verschillen niet volledig tot uiting zullen komen in het bruto oppervlak, e.e.a. afhankelijk van ondermeer de uitvoering (rond – rechthoekig) van procesonderdelen en verdere lay out technische aspecten.

13.5 CONCLUSIES

De Nereda® technologie kan worden ingezet in verschillende procesconfiguraties. De groene weide variant zonder influentbuffer wordt toegepast op de rwzi's Epe, Dinxperlo en Utrecht, terwijl de configuratie met influentbuffer op de rwzi Garmerwolde is gedimensioneerd. Voordeel van deze laatste configuratie is de nog efficiëntere cyclus in de vorm van een procentueel groter aandeel van de beluchtingstijd en mogelijk de realisatie van minder Nereda® reactoren.
Op de rwzi Vroomshoop is een eerste hybride variant gerealiseerd, waarbij afhankelijk van de lokale situatie een optimalisatie kan plaatsvinden in de verdeling van de biologische en hydraulische belasting. Eventuele positieve neveneffecten van de enting van korrelslib op de bestaande actief slibinstallatie kunnen andere voordelen opleveren. Vooralsnog is de ervaring met de ombouw van bestaande actief slibinstallaties beperkt tot de buitenlandse demonstratie installatie in Portugal. Verwacht mag worden dat deze toepassing zowel in aërobe als anaërobe installaties ook een vlucht zal nemen, omdat de investeringen ten opzichte van een conventionele uitbreiding aanzienlijk lager zullen zijn.
De resultaten van de praktijkonderzoeken op de rwzi Epe hebben aangetoond dat de ontwerpgrondslagen die op de eerste huishoudelijke praktijkinstallatie zijn toegepast, nog kunnen worden verscherpt. Dit geldt met name voor de hydraulische dimensionering in termen van exchange ratio en opvoersnelheid. Deze ontwerpgrondslagen zijn en worden inmiddels in de nieuwe ontwerpen toegepast. Uitgaande hiervan is een vergelijking gemaakt tussen het ontwerp van Nereda® installaties en conventionele actief slibinstallaties. Hieruit komt naar voren dat bij verschillende RWA/DWA verhoudingen (2,5 – 3,5) de Nereda® installaties circa 50% van het totaal volume van een CAS (AT + NBT) innemen, terwijl deze circa 30% van het netto oppervlak van een CAS vragen.

14

EVALUATIE

14.1 PRAKTIJKRESULTATEN

De nieuwe rwzi Epe is sinds januari 2012 volledig in bedrijf en is er sprake van een robuuste procesvoering met uitstekende bedrijfsvoeringsresultaten. Voor de leden van het NNOP stond bij de ontwikkeling van de Nereda® techologie naast deze vanzelfsprekende randvoorwaarden vooral ook het duurzame karakter van de technologie centraal. In dit geval wordt met duurzaamheid vooral een laag energie- en chemicaliënverbruik bedoeld. Om deze reden zijn voor de rwzi Epe naast de effluentkwaliteit ook garantie eisen gesteld aan het energieverbruik en slibindikking.

Tabel 34 geeft een overzicht van de eisen en de resultaten die tijdens de verificatietesten in 2012 zijn bereikt. Hieruit blijkt dat de nieuwe rwzi Epe aan alle gestelde eisen heeft voldaan. Naast de cijfers uit Tabel 34 blijkt dat ook vergaande fosfaatverwijdering met een beperkt chemicaliënverbruik kan worden bereikt. Meer dan 90% van de fosfaatverwijdering vindt biologisch plaats en de resterende fosfaatvracht wordt met een lage additionele aluminiumdosering in de zandfilters bereikt. De gemiddelde Me/P verhouding op basis van de PO_4-P-vracht die naar de zandfilters wordt aangevoerd, bedraagt 2,5.

TABEL 34 OVERZICHT VAN EISEN EN BEHAALDE RESULTATEN VERIFICATIEPERIODE

Parameter	Eenheid	Eis	Resultaat
N_{totaal} effluent	mgN/l	≤ 5	4
P_{totaal} effluent	mgP/l	≤ 0,3	0,3
Energieverbruik	kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$·jaar)	≤ 22,7	21,2*)
DS-gehalte ingedikt slib	% DS	≥ 5%	5,2
Polymeerverbruik slibindikking	gPE_{actief}/kgDS	≤ 5	1,2

*) Huidige situatie (70% belasting). Bij 100% belasting wordt een verbruik berekend van 16,3 kWh/(v.e.$150_{verwijderd}$·jaar)

14.2 PRAKTIJKONDERZOEKEN

14.2.1 HYDRAULICA

De rwzi Epe betreft een opschaling met een factor 3.000 ten opzichte van de pilotinstallatie waaraan in Epe onderzoek is uitgevoerd. Consequentie is dat de H/D-verhouding van de praktijkreactoren (H/D = 0,35) veel lager is in vergelijking met die van de pilotinstallatie (H/D = 10). Het verkrijgen van propstroomcondities tijdens voeden en aflaten in praktijkreactoren is vanwege de lage H/D-verhouding een belangrijk punt van aandacht. Naar dit aspect is uitgebreid onderzoek verricht waarbij tevens het effect van invloedsfactoren als het aantal effluentgoten, de oppervlaktebelasting, de invloed van korrelslib en de wijze van recirculatie is onderzocht.

De metingen hebben een schat aan informatie opgeleverd. De reactoren van Epe voldoen aan de hydraulische eisen die hier in het ontwerp aan gesteld zijn. De maximale Exchange Ratio is tussen de 40% en 45%. De belangrijkste bevindingen zijn hierna samengevat.

1 **aantal effluentgoten:** er is in de metingen op Epe geen significant verschil gevonden tussen de situatie met 2 goten en de situatie met 4 goten in bedrijf. Er is geen verschil in het moment van doorslag waargenomen. Dit wil niet zeggen dat het aantal goten geen invloed heeft op de maximale Exchange Ratio. Echter in dit geval heeft een aantal andere effecten een sterkere invloed op het stromingpatroon;
2 **oppervlaktebelasting:** er is geen significant effect gemeten van de oppervlaktebelasting (tot 3,1 m/h). Uit de trendanalyses is gebleken dat de hoogte van het debiet en het patroon van het influent geen systematisch effect hebben op de maximaal bereikbare Exchange Ratio;
3 **korrelslib:** uit de metingen is gebleken dat in het geval van Epe de aanwezigheid van circa 5 g/l korrelslib een verlaging van de maximale Exchange Ratio oplevert. Daarbij stijgen de concentraties, als er eenmaal sprake is van doorslag, ook nog sneller dan in de situatie zonder slib. Vermoed wordt dat er sprake is van een versterkte kortsluitstroming van het influentverdeelsysteem naar de effluentgoot. Ook de CFD berekeningen wijzen hier op. Waarschijnlijk is dit een gevolg van de onregelmatigheden in het influentverdeelsysteem. Verwacht wordt dat dit effect aanzienlijk minder wordt als het influentverdeelsysteem "rechtgetrokken" wordt. Opgemerkt moet worden dat de experimenten zijn uitgevoerd met "jong" korrelslib, waarvan de korrels nog klein en in ontwikkeling waren. De effecten bij "volwassen" korrelslib kunnen afwijken van hetgeen nu is gevonden;
4 **recirculatie:** er is onderzocht of recirculatie over de effluentgoot een andere Exchange Ratio geeft dan recirculatie over een gat in de wand. Er is tijdens de metingen weinig verschil geconstateerd.

De inzichten die in het onderzoek zijn verkregen, zijn gesimuleerd met CFD-berekeningen. Op basis van deze modellen kan voor elke situatie een optimaal ontwerp van de Nereda® reactoren worden gemaakt. Op basis van de resultaten van het hydraulica onderzoek kunnen thans ontwerpen worden gemaakt waarbij veel hogere exchange ratio's haalbaar zijn en waarbij het ontwerp van de internals is geoptimaliseerd. Met deze kennis zijn op demonstratieschaal in Portugal exchange ratio's tot 70% aangetoond.
Het ligt dan ook in lijn der verwachting dat de maximaal haalbare exchange ratio in Epe aanmerkelijk kan worden vergroot als het influentverdeelsysteem wordt aangepast door een meer optimale symmetrie. Punt van aandacht blijft de invloed van het korrelslib, want in Epe is alleen onderzoek uitgevoerd met "jong" korrelslib. Verwacht wordt dat als er eenmaal sprake is van een volwassen korrelpopulatie, het propstroomgedrag in de reactoren zal verbeteren.

14.2.2 ENERGIE

Het energieverbruik van de rwzi Epe is uitgebreid onderzocht en in kaart gebracht. Tijdens de verificatietesten is in eerste instantie een specifiek energieverbruik bij gemiddelde en volbelasting gemeten van respectievelijk 24,9 en 18,3 kWh/(v.e. $150_{verwijderd}$.jaar). Een nadere analyse van de data wees uit dat nog diverse optimalisaties mogelijk waren – waaronder een andere procesvoering van de blowers. Deze optimalisaties zijn doorgevoerd in augustus 2012. Vanaf dat moment is sprake van een structureel lager specifiek energieverbruik op de rwzi Epe, die bij gemiddelde belasting en vollast respectievelijk 21,2 en 16,3 kWh/(v.e. $150_{verwijderd}$·jaar) bedraagt. De belangrijkste verbruikers zijn de blowers (52%), het influent- en tussengemaal (16%) en de mechanische slibindikking (12%).

Bij deze cijfers dient in ogenschouw te worden genomen dat op de rwzi Epe al het afvalwater 2 m. additioneel wordt opgepompt, vanwege het feit dat in het oorspronkelijke ontwerp rekening is gehouden met de realisatie van een nabezinktank en ombouw tot een conventioneel

actiefslibsysteem, indien de korreltechnologie onverhoopt niet zou functioneren. Met enkele technische en technologische aanpassingen wordt op de rwzi Epe een verdere reductie verwacht, met name voor het energieverbruik van de beluchting.

Het energieverbruik van de rwzi Epe kan met dat van een traditionele actiefslibinstallatie worden vergeleken op basis van recente benchmarkgegevens. Het energieverbruik van moderne installaties met aanvullende effluentnabehandeling (vaak zonder influentgemaal en zonder mechanische slibindikking) bedraagt gemiddeld 37,5 kWh/(v.e. $150_{verwijderd}$.jaar).

Met betrekking tot het meten van de α-factor van korrelslib heeft het uitgebreide meetprogramma op de pilotinstallatie laten zien dat de α-factoren van de verschillende slibsoorten in de dezelfde range liggen. Verder blijkt bij een toenemende slibconcentratie de α-factor af te nemen. Een opvallend gegeven bij de metingen is dat de spreiding in de resultaten tussen verschillende metingen groot is, vooral bij de metingen aan aëroob korrelslib.

Uit de gemiddelde bedrijfsvoeringsgegevens is een gemiddelde α-factor gedestilleerd en blijkt het beeld hierbij aanzienlijk gunstiger dan op basis van de metingen in de pilotinstallatie zou mogen worden verwacht. De analyse van de bedrijfsgegevens met betrekking tot de zuurstofoverdracht strookt goed met het lage energieverbruik van de rwzi Epe.
De wat tegenstrijdige gegevens tussen de praktijksituatie en de metingen op de pilotinstallatie roepen dan ook vragen op. Het beeld ontstaat dat het meten van een α-factor van een slib/water mengsel lastig blijkt, zeker als de metingen een groot aantal keren achter elkaar wordt herhaald. Het is mogelijk dat door het transport van slib en de vele metingen het slib/water mengsel minder representatief voor de praktijk is dan voor aanvang van het onderzoek werd verondersteld.

14.2.3 KORRELVORMING

Gedurende de opstart van de Nereda® installatie is de korrelvorming door TU te Delft nauwlettend gevolgd door de regelmatige bepaling van deeltjesgrootteverdeling en samenstelling. Hiervoor zijn ondermeer beeldanalyses toegepast en verschillende vormen van microbiële analyse, waaronder FISH en DGGE t.b.v. populatieonderzoek en –diversiteit. Verder is gekeken naar de hoeveelheid alginate-like exopolysaccharides (ALE) die uit het korrelslib kunnen worden geëxtraheerd.

Ten tijde van het onderzoek blijkt de korrelvorming goed op gang te komen, maar bij afsluiting van de monitoringsperiode is deze groei nog in volle gang. Geconstateerd is dat een tijdelijk lagere selectiedruk de korrelvorming enige vertraging heeft opgelopen. De relatief lage slibbelasting zorgt er bovendien voor dat de opbouw tot een volwassen korrelslibbed langzamer verloopt dan wanneer sprake is van een hogere slibbelasting.

Verder speelt in dit verband een rol de regelmatige periodes met een hoge influent pH (pH 8 –11). Tijdens het pilotonderzoek waren er lozingen met een lage pH, welke op termijn nauwelijks effect bleken te hebben op de korrelvorming. De hoge pH (met name onder in het bed) van het influent op de praktijkinstallatie kan een deel van het eerder genoemde ALE oplossen en daarmee ook bijdragen aan een tragere korrelvorming.
Ten tijde van het onderzoek (april 2012) kon een ALE-opbrengst worden gemeten van 10% van de ODS, een waarde die ligt tussen die van actief slib en van “volwassen” korrels uit de pilotinstallatie op Epe (16 - 20%). Deze waarde is in overeenstemming met het microscopisch beeld van de korrelvorming. Het geringe verschil tussen SVI_5 en SVI_{30} en het feit dat bij slibbezin-

king geen uitvlokking optreedt, laat echter zien dat er al sprake is van een duidelijk korrelslib karakter.
Ervaringen op de rwzi Frielas (Portugal) tonen echter aan dat de constructie van de afvoersystemen een sterk effect heeft op de korrelselectie. In Epe is van deze ervaring geleerd en is de afvoerconstructie technisch aangepast.

Analyse van het slib middels FISH liet zien dat na de opstart van de bacteriën die in de anaerobe voedingsperiode CZV kunnen opnemen, 80% uit fosfaataccumulerende (PAO) bacteriën bestaat en 20% uit Glycogeenaccumulerende (GAO) bacteriën. De verhouding PAO/GAO is redelijk in overstemming met andere rwzi's in Nederland, er is echter wel ruimte voor verdere optimalisatie van de fosfaatverwijdering.
De microbiele populatie is ook middels DGGE gevolgd en laten zien dat de populatievariabiliteit hoog is. Er is tijdens de opstartperiode een intensivering van sommige banden waar te nemen, die kunnen duiden op een verhoogde aanwezigheid van specifieke bacteriën.

Tenslotte wordt in dit verband geconstateerd dat de fosfaatverwijdering op de rwzi Epe regelmatig gedurende het weekend vermindert, ondanks het feit dat er voldoende PAO's in het korrelslib aanwezig zijn. De lagere influentbelasting c.q. lagere slibbelasting gedurende het weekend in combinatie met de processturing van de beluchting zijn daaraan debet en dientengevolge belangrijke stuurparameters voor een optimale biologische fosfaatverwijdering.

14.2.4 EMISSIE BROEIKASGASSEN

Op de rwzi Epe zijn in juni 2012 op één van de reactoren metingen naar de emissie van broeikasgassen methaan (CH_4) en lachgas (N_2O) uitgevoerd. Daarnaast zijn in 2010 en 2011 N_2O-emissiemetingen op de pilotinstallatie in Epe uitgevoerd.

Het blijkt dat de specifieke CH_4-emsisie van de Nereda® reactoren 0,0009 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$ bedraagt. Deze emissie is te vergelijken met de som van de CH_4-emissie van selector, anaërobe tank, voordenitrificatietank en beluchtingstank van continue actiefslibsystemen. Uit STOWA-onderzoek (rapport 2010-08) blijkt dat de genoemde procesonderdelen op de onderzochte rwzi's zonder slibgisting (Papendrecht en Kortenoord) circa 50% van de totale CH_4-emissie voor hun rekening nemen. De specifieke CH_4-emissies van deze onderdelen op de rwzi's Papendrecht en Kortenoord bedroegen respectievelijk 0,0043 en 0,0025 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$.
Op basis van het gepresenteerde cijfermateriaal is de CH_4-emissie in Epe lager vergeleken met de gemeten emissies op Papendrecht en Kortenoord. Gezien de nog beperkte informatie en ervaring met dergelijke onderzoeken, is de conclusie nog niet gerechtvaardigd om te stellen dat de CH_4-emissie van Nereda® rwzi's lager is dan van continue actiefslibsystemen.
De gemeten specifieke CH_4-emisiie op de rwzi Epe is een factor lager dan het kental dat het Ministerie van Infrastructuur en Milieu hanteert voor het afschatten van de methaanemissie door rwzi's zonder slibgisting (0,007 $kgCH_4/kgCZV_{influent}$).

Wat betreft de N_2O-emissie zijn drie meetcampagnes – waarvan één op de praktijkinstallatie en twee op de pilotinstallatie in Epe - onder vergelijkbare klimatologische omstandigheden uitgevoerd. Uit alle metingen blijkt dat de variaties op dagbasis groot zijn, een beeld dat overeen komt met het onderzoek dat STOWA bij actiefslibinstallaties heeft uitgevoerd. Uit dit onderzoek op drie rwzi's (Papendrecht, Kortenoord, Kralingseveer) blijkt dat de specifieke N_2O-emissie varieert tussen 0,04% en 6,2% van de KjN-influentvracht. Vanwege de grote variaties is het niet mogelijk gebleken om te komen tot eenduidige kengetallen en is aanbevolen om vervolgonderzoek uit te voeren. Het beeld dat naar voren komt uit de onderzoeken in

Nederland komt overeen met internationale rappporten. Uit de cijfers blijkt dat de gemeten N_2O-emissies in Epe zich in de range bevinden van cijfers die voor actiefslibsystemen worden gerapporteerd. Het IPPC en het Ministerie van Infrastructuur en Milieu gaan uit specifieke N_2O-emissies van respectievelijk 0,035% en 1%.

14.2.5 VOORBEHANDELING

De werking van de voorbehandeling is beoordeeld op basis van een bemonsteringsprogramma waarbij voor een periode van twee weken het influent, de afloop van de perforatieroosters, alsmede de afloop van de zand/vetvang debietproportioneel is bemonsterd. Tevens zijn het afgevangen roostergoed en zand bemonsterd om tot een sluitende balans voor de verschillende parameters te komen.

Waterzijdig blijkt dat de perforatieroosters een hoog rendement voor CZV en OB hebben, terwijl de zand/vetvang voor deze bestanddelen juist een negatief rendement heeft. Er blijkt geen eenduidige verklaring voor deze cijfers te zijn. Dat betekent echter niet dat de zand/vetvang niet goed functioneert, want de verwijderingsrendementen voor zand en vet zijn goed te noemen. De hoeveelheden zand en vet die worden verwijderd, zijn conform de verwachtingen op basis van bevindingen van de oude rwzi Epe. De ambitie om te komen tot sluitende massabalansen over de voorbehandeling van een rwzi blijkt opnieuw – na eerdere soortgeljke ervaringen op de rwzi Varsseveld – helaas niet mogelijk.

14.2.6 NABEHANDELING

Onderzoek is verricht naar drie effluentnabehandelingstechnieken, te weten zandfiltratie, Fuzzy filtratie en discfiltratie. Zandfiltratie maakt integraal onderdeel uit van de rwzi Epe en de procesvoering en resultaten zijn geanalyseerd. Fuzzy filtratie en discfiltratie zijn getest door middel van pilotinstallaties met een representatieve capaciteit.

Voor alle technieken is een aantal generieke observaties te noemen. Er kan een goede effluentkwaliteit worden geproduceerd in termen van troebelheid en P_{totaal}. De troebelheid van het effluent is onder gemiddelde omstandigheden laag (< 1 NTU). Bij hoge hydraulische belastingen in combinatie met een hoge aanvoer van troebelheid en neerslag als gevolg van chemicaliëndosering neemt de troebelheid in het effluent licht toe (2-4 NTU). De standtijden onder dergelijke condities nemen vanzelfsprekend af.
Een belangrijke randvoorwaarde voor lage P_{totaal}-concentraties in het effluent is dat de ingaande orthofosfaatconcentratie zo laag mogelijk is (< 1 mgP/l). Dat kan alleen als de biologische fosfaatverwijdering te allen tijde van een hoog niveau is.

De procesvoeringsresultaten van de zandfilters van de rwzi Epe zijn goed gedocumenteerd. De gemiddelde in- en uitgaande PO_4-P-concentraties van de zandfilters bedroegen tijdens de onderzoeksperiode respectievelijk 0,67 en 0,37 mgP/l. In deze periode hebben vijf reguliere effluentbemonsteringen door Waterschap Vallei en Vallei en Veluwe plaatsgevonden. De gemiddelde P_{totaal}-concentratie van deze etmaalmonsters bedraagt 0,74 mgP/l. Hierbij moet worden aangetekend dat sprake was van één uitschieter van 2,2 mgP/l. Zonder deze waarde bedroeg de gemiddelde P_{totaal}-concentratie 0,37 mgP/l. In de onderzoeksperiode bedroeg de specifieke metaalzoutendosering 1,9 mol Al/mol PO_4-$P_{aanvoer\ zandfilter}$. De gemiddelde standtijd van de zandfilters was 1,9 dagen.
Discontinue zandfiltratie op de rwzi Epe is een betrouwbare en robuuste techniek voor effluentnabehandeling, waarbij een vergaande P-verwijdering mogelijk is. Dit is ook gebleken tijdens de verificatiemetingen. Niettemin moet bij een strenge effluenteis ten aanzien van P_{totaal}

zoals in Epe sprake zijn van een nauwgezette bedrijfsvoering en goede procesbeheersing om te allen tijde aan de effluenteis te kunnen voldoen.

Voor de Fuzzy filter pilotinstallatie geldt dat deze gedurende de hele testperiode uitstekend heeft gefunctioneerd en dat er geen technische problemen zijn opgetreden. Het blijkt goed mogelijk om vergaand troebelheid en P te verwijderen bij constante hydraulische belastingen van 24 tot 50 m/h. Het bleek dat op gezette tijden de P concentratie zelfs lager was in vergelijking met de zandfilters. Aangegeven moet worden dat deze kwaliteit bij constante hydraulische belastingen is bereikt.

Belangrijke aandachtspunten voor verdere toepassing welke niet in het onderhavige onderzoek zijn betrokken, zijn het spoelwaterverbruik en de standtijd van het Fuzzy filter. De standtijd varieert - afhankelijk van de hydraulische belasting - tussen 2 en 5 uur. Deze relatief korte standtijden zijn een direct gevolg van de hoge hydraulische belasting. Het belang van een hoge effectiviteit van de spoelprocedure wordt daarmee steeds belangrijker en vraagt om een verdere optimalisatie van de processturing.

Het discfilter onderzoek is vanwege technische oorzaken moeizaam verlopen, waardoor een stabiele procesvoering niet kon worden aangetoond. In de korte periodes dat het discfilter operationeel was, bleek wel een hoge effluentkwaliteit mogelijk. Op basis van de verkregen resultaten kan op dit moment echter niet worden geconcludeerd dat discfiltratie een geschikt alternatief is voor de nabehandeling van Nereda® effluent.
Recent zijn op de rwzi's Ede en Soest nabehandelingsinstallaties op basis van discfiltratie gebouwd voor de verwijdering van rest-zwevendstof en rest-fosfaat. Binnen afzienbare tijd zullen de praktijkervaringen hiermee bekend worden.

14.2.7 MICROVERONTREINIGINGEN

Op basis van GC-MS analyses die door Rijkswaterstaat zijn uitgevoerd als onderdeel van de non-target screening, kan worden geconcludeerd dat het influent van de rwzi Epe veel stoffen bevat die niet zijn genoemd in de voorgeselecteerde stoffenlijst. De resultaten laten zien dat het grootste deel van de stoffen volledig in de rwzi wordt verwijderd, behalve HHCB (polycyclische muskus), 5-trimethylsilylpent-2-en-4-yne, 1,1-dimethyl-3-chloropropanol en N-butyl-benzenesulfonamide.

Voor de gemeten slibconcentraties zijn per processtap en van de totale zuivering gemiddelde verwijderingsrendementen bepaald. Deze zijn overigens alleen bepaald voor stoffen waarvan de concentraties binnen de meetrange vielen. Stoffen met concentraties structureel beneden de ondergrens van de meetmethode zijn achterwege gelaten. De verwijderingsrendementen zijn getoetst aan meetresultaten van andere in Nederand uitgevoerde onderzoeken. De toetsing heeft uitsluitend plaatsgevonden op basis van resultaten beschikbaar voor een totaal zuiveringsproces en daarvoor gerapporteerde verwijderingsrendementen.
De spreiding van verwijderingsrendementen voor de verschillende stoffen is groot, zodat geen eensluidende conclusies kunnen worden verbonden m.b.t. eventuele verschillen tussen de verschillende zuiveringssystemen. Desondanks blijkt dat de verwijderingsrendementen van de rwzi Epe in relatie tot de resultaten van andere onderzoeken aan de bovenkant van de range liggen.
De totale oestrogene activiteit (ER-calux) is het laagst voor rwzi Epe in vergelijking met zowel MBR (rwzi Varsseveld), verschillende CAS systemen en CAS plus zandfiltratie (rwzi Maasbommel).

Opgemerkt wordt dat theoretisch een fundamenteel verschil bestaat tussen continue en (vrijwel volledig) gemengde systemen enerzijds en propstroomsystemen of batchgewijs bedreven systemen zoals de rwzi Epe anderzijds. Bij continue, gemengde systemen is de concentratie van de te verwijderen component theoretisch gezien gelijk aan de effluentconcentratie. Kinetisch gezien is dit ongunstig en zijn batchsystemen en propstromers in het voordeel. Het ligt derhalve voor de hand te veronderstellen dat batchsystemen en propstromers in staat zijn tot hogere verwijderingsrendementen.
Ter vergelijking van de gemiddelde verwijderingsrendementen van zware metalen zijn beschikbare analyses van het afgevoerde zuiveringsslib voor zowel de oude rwzi (CAS) en de nieuwe rwzi (Nereda® + zandfiltratie) met elkaar vergeleken. De concentraties van de meeste metalen zijn vergelijkbaar. In het slib van de nieuwe installatie is de aluminiumconcentratie echter aanzienlijk lager, hetgeen goed verklaarbaar is door de aanzienlijk lagere aluminiumdosering. De hogere concentraties aan kalium en magnesium in het Nereda® slib zijn terug te voeren op de introductie van biologische fosfaatverwijdering.

14.2.8 SLIBBEHANDELING

Op basis van de resultaten van de bandindikkers op de rwzi Epe is het spuislib met een dosering van 1 – 2 g actief PE/kg DS in te dikken tot een drogestofgehalte van minimaal 5,5%. Eén en ander is in lijn met de resultaten tijdens de verificatieperiode.
Een beperkte verhoging van deze dosering leidt tot een verhoging van het drogestofgehalte naar 6,5%. Technische beperkingen laten een structurele verdere indikking op de rwzi Epe nog niet toe, ofschoon daartoe de technologische mogelijkheden wel aanwezig zijn.

Er zijn ontwateringstesten uitgevoerd met een mobiele ontwateringsinstallatie van Westfalia. Directe ontwatering van Nereda® slib levert vergelijkbare resultaten op in vergelijking met conventioneel spuislib. Het lage drogestofgehalte van het ingaande slib leidt echter tot een situatie waarbij procesverstoringen een groter en sneller effect hebben op het eindresultaat.
Door de lagere slibconcentratie in het surplusslib van de rwzi Epe is het energieverbruik wat ongunstiger. Op grond van de bevindingen wordt een goed ontwateringsresultaat verwacht met een cascade-zeefbandpers.

14.3 ONTWERP NEREDA®

De Nereda® technologie kan worden ingezet in verschillende procesconfiguraties. De groene weide variant zonder influentbuffer wordt toegepast op de rwzi's Epe, Dinxperlo en Utrecht, terwijl de configuratie met influentbuffer op de rwzi Garmerwolde is gedimensioneerd. Voordeel van deze laatste configuratie is de nog efficiëntere cyclus in de vorm van een procentueel groter aandeel van de beluchtingstijd en (mogelijk) de realisatie van minder Nereda® reactoren.

Op de rwzi Vroomshoop wordt een eerste hybride variant gerealiseerd, waarbij afhankelijk van de lokale situatie een optimalisatie kan plaatsvinden in de verdeling van de biologische en hydraulische belasting. Eventuele positieve neveneffecten van de enting van korrelslib op de bestaande actief slibinstallatie kunnen andere voordelen opleveren. Vooralsnog is de ervaring met de ombouw van bestaande actief slibinstallaties beperkt tot de buitenlandse demonstratie installatie in Portugal. Verwacht mag worden dat deze toepassing zowel in aërobe als anaërobe installaties een vlucht zal nemen, omdat de investeringen ten opzichte van een conventionele uitbreiding aanzienlijk lager zullen zijn.

De resultaten van de praktijkonderzoeken op de rwzi Epe hebben aangetoond dat de ontwerpgrondslagen die op de eerste huishoudelijke praktijkinstallatie zijn toegepast, nog wezenlijk kunnen worden verscherpt. Dit geldt met name voor de hydraulische dimensionering in termen van exchange ratio en opvoersnelheid. Deze ontwerpgrondslagen zijn en worden inmiddels in de nieuwe ontwerpen toegepast. Uitgaande hiervan is een vergelijking gemaakt tussen het ontwerp van Nereda® installaties en conventionele actief slibinstallaties. Hieruit komt naar voren dat bij verschillende RWA/DWA verhoudingen (2,5 – 3,5) de Nereda® installaties circa 50% van het totaal volume van een CAS (AT + NBT) innemen, terwijl deze kunnen worden gerealiseerd op circa 30% van het netto oppervlak van een CAS.

14.4 TOEKOMSTPERSPECTIEF

De realisatie van 's werelds eerste grootschalige Nereda® installatie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater is een belangrijke stap in de ontwikkeling van de Nereda® technologie. De goede resultaten die zijn behaald op de verschillende pilotinstallaties, de twee demonstratie-installaties alsmede de praktijkinstallatie in Epe geven de betrokken partners vertrouwen.
Dit heeft ertoe geleid dat op dit moment in Nederland vier installaties in aanbouw zijn met capaciteiten van 8.000 tot 140.000 v.e. In Stellenbosch, Zuid-Afrika wordt momenteel na Gansbaai een tweede installatie gebouwd. De goede resultaten van de demonstratie-installatie in Portugal hebben ertoe geleid dat één van de zes zuiveringstraten van de rwzi Frielas (700.000 v.e) wordt omgebouwd tot een Nereda® configuratie.

Eén en ander betekent dat op elke huishoudelijke rwzi waar de Nereda® technologie in bedrijf is (geweest) op pilot-, demonstratie- en praktijkschaal, langdurig goede resultaten zijn bereikt, op basis waarvan kan worden geconcludeerd dat sprake is van een betrouwbare, robuuste en duurzame technologie. De belangstelling vanuit Nederland en het buitenland is zodanig groot, dat verwacht mag worden dat de verdere (internationale) uitrol van de technologie alleen maar sneller zal gaan verlopen.

15

REFERENTIES

1 Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor, Water Research, Volume 31, Issue 12, December 1997, Pages 3191-3194, E. Morgenroth, T. Sherden, M. C. M. Van Loosdrecht, J. J. Heijnen and P. A. Wilderer

2 Aerobic Granular Sludge - Scaling-up a new technology (proefschrift) M.K. de Kreuk (2006), Delft University of Technology, The Netherlands. 199p. ISBN 90-9020767-8

3 STOWA 2010-29 (juli 2010) Nereda pilotonderzoeken 2003 – 2010, ISBN 978.90.5773.493.9

4 H2O 2012, nr. 7 (30 maart 2012), Officiële oplevering Nereda-installatie Epe (p. 7)

5 H2O 2012, nr. 8 (13 april 2012), STOWA en DHV tekenen unieke Nereda-contracten (p. 13)

6 H2O 2012, nr. 9 (27 april 2012)
- Opening eerste huishoudelijke Nereda-zuivering in Epe (p. 4 en 5)
- Waterschap Veluwe en DHV dragen samen de risico's van Nereda (p. 6 t/m 8)
- 's Werelds eerste huishoudelijke Nereda-praktijkinstallatie in Epe presteert beter dan verwacht (p. 33 t/m 35)
- Ontwerpvoorbeelden en –grondslagen van de Nereda technologie (p. 36 t/m 39)
- Meettechniek voor online sturing Nereda (p. 44 en 45)

7 H2O 2012, nr. 11 (25 mei 2012), Vuurdoop voor de Nereda-technologie (p. 4 en 5)

BIJLAGEN

BIJLAGE 1 PRAKTIJKONDERZOEK VOORBEHANDELING: GEDETAILLEERDE ANALYSERESULTATEN

TABEL 1 INFLUENT

	OB	minerale olien	Som extraheer bare oliën en vetten	BZV	CZV	NKj	Ptot	NH4	PO4
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/12/2012	350	2.4	47.5	300	680	50.0	5.40	30.0	2.9
4/13/2012	340	1.1	40		780	64.7	7.6	46.7	4.5
4/14/2012	210	1.11	22.427	120	530	46.7	4.7	30.6	2.8
4/15/2012	280	2.05	57.97	250	770	74.8	10	54.3	6.8
4/16/2012	270	2.16	49.5244	280	780	84.9	10	62.8	7.2
4/17/2012	480	1.35	41.918	450	1140	104	10	67.7	5.4
4/18/2012	350	1.66	72.4886	450	950	85	10	59.6	6
4/19/2012	400	1.12	47.598	350	800	67.6	7.9	41	4.2
4/20/2012	500	1.25	150.44	670	1320	96.7	12	58	6.1
4/21/2012	270			220	730	67.6	8.2	47.5	5.1
4/22/2012	220			170	630	57.6	7.9	43.3	5.4
4/23/2012	310			260	780	83.3	9.6	55.5	6.5
4/24/2012	310			320	850	84.4	8.5	55.9	5.1
4/25/2012	580			510	1000	81.9	10	46.9	5
min	210.0	1.1	22.4	120.0	530.0	46.7	4.7	30.0	2.8
max	580.0	2.2	150.4	670.0	1320.0	104.0	12.0	67.7	7.2
gemiddeld	355.0	1.6	68.4	345.7	866.4	77.5	9.0	51.5	5.4
standaarddeviatie	124.6	0.4	46.0	169.7	235.3	16.3	1.8	10.6	1.2

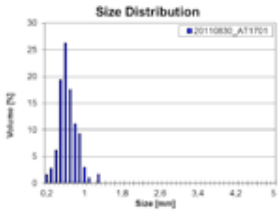
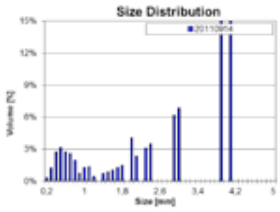
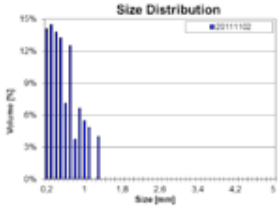
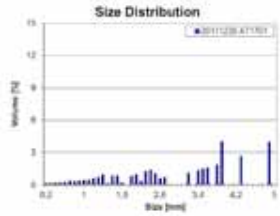
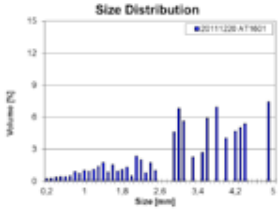
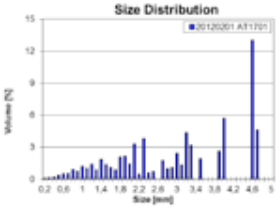
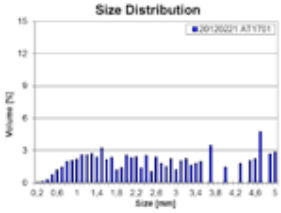
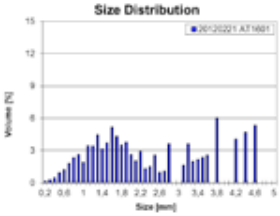
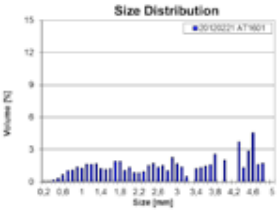
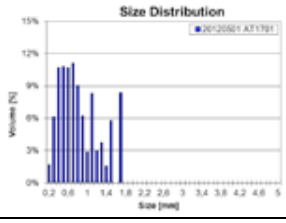
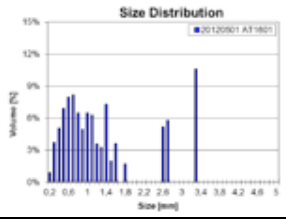
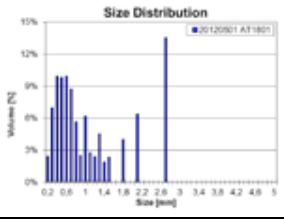
TABEL 2 AFLOOP ROOSTER

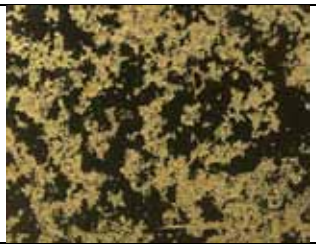
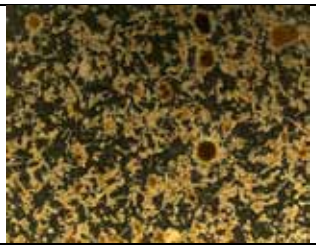
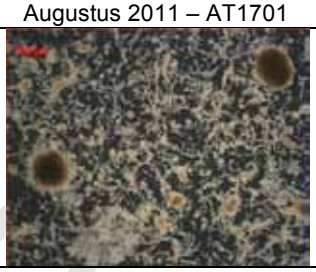
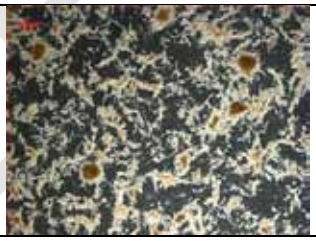
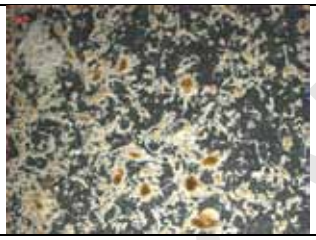
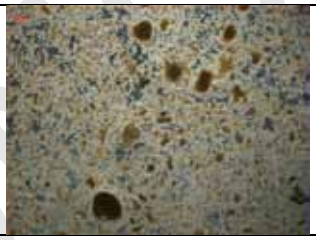
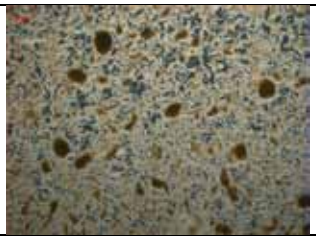
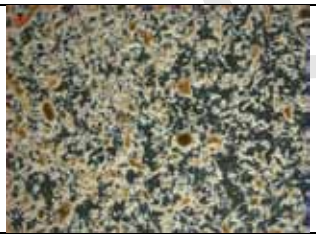
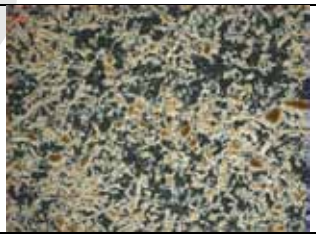
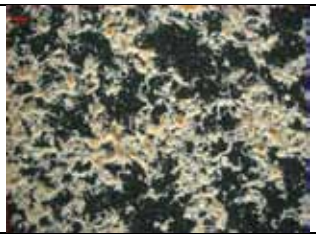
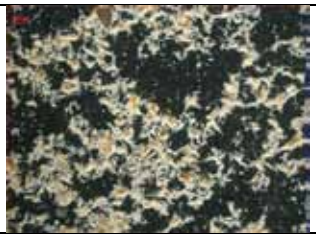
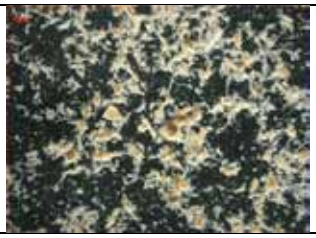
	OB	minerale olien	Som extraheer bare oliën en vetten	BZV	CZV	KjN	Ptotaal	NH4	PO4
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/12/2012	320	1.2	46.9	260	630	49.3	5.4	29.6	3.0
4/13/2012	310	2.5	54.6	250	710	63.2	7.1	45.1	4.4
4/14/2012	260	1.3	52.1	170	620	29.4	5.7	32.6	3.2
4/15/2012	200	3.1	60.4	230	680	67.3	9.1	51.8	6.4
4/16/2012	290	3.3	67.0	260	810	79.5	11.0	59.2	7.4
4/17/2012	320	1.7	50.4	440	890	99.1	9.3	64.5	5.2
4/18/2012	300	1.5	65.1	420	870	84.1	9.7	56.9	5.7
4/19/2012	150	0.7	24.6	220	500	51	5.6	33.1	3.4
4/20/2012	240	1.3	90.7	460	820	85.5	8.9	54.8	5.5
4/21/2012	130	1.0	46.7	170	550	64.6	6.9	2.4	4.9
4/22/2012	120	1.1	43.9	140	440	53.2	6.9	42.3	5.1
4/23/2012	250	1.2	61.1	230	670	67.7	8.8	51.4	5.9
4/24/2012	230	1.0	49.7	260	720	79.1	7.4	51.4	4.5
4/25/2012	250	1.3	55.3	330	750	65.9	7.3	38.7	4.3
min	120.0	0.7	24.6	140.0	440.0	29.4	5.4	2.4	3.0
max	320.0	3.3	90.7	460.0	890.0	99.1	11.0	64.5	7.4
gemiddeld	240.7	1.6	54.9	274.3	690.0	67.1	7.8	43.8	4.9
standaarddeviatie	68.3	0.8	14.7	101.6	134.7	17.9	1.7	16.0	1.2

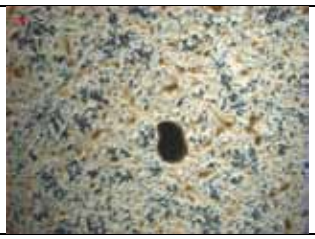
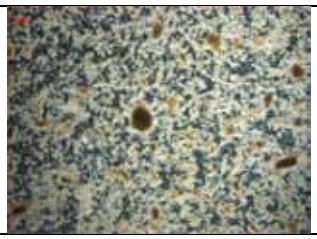
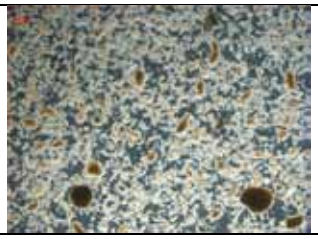
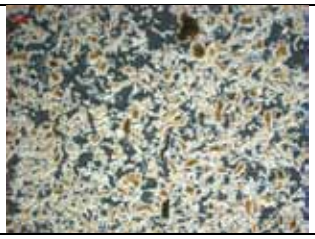
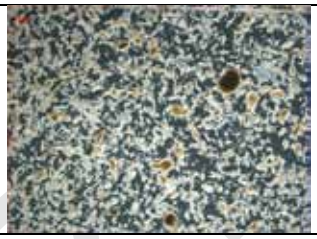
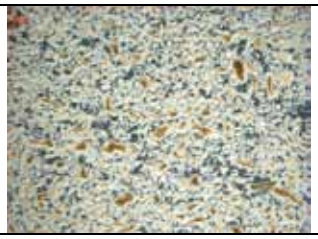
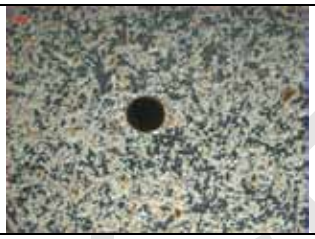
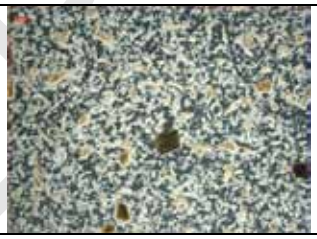
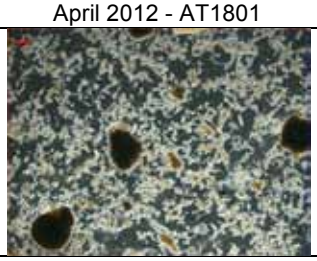
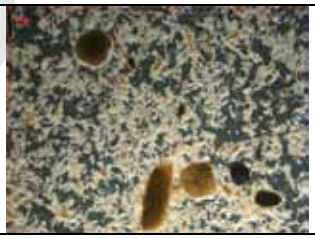
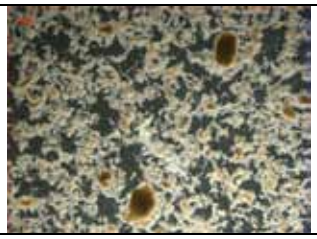
TABEL 3 **AFLOOP - ZANDVANG**

	OB	minerale olien	Som extraheer bare oliën en vetten	BZV	CZV	KjN	Ptotaal	NH4	PO4
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
4/12/2012	580	2.9	63.0	290	700	53.7	5.40	29.7	2.9
4/13/2012	350	1.2	49.7	280	960	73.6	10.0	48.7	4.8
4/14/2012	560	1.5	44.8	220	900	31.0	7.0	28.6	2.9
4/15/2012	410	3.3	69.7	310	990	73.1	11.0	52.3	6.6
4/16/2012	740	3.8	88.1	520	1510	92.4	13.0	65.4	7.0
4/17/2012	210	1.4	36.2	390	790	104.0	8.2	61.3	5.1
4/18/2012	290	1.5	64.5	420	840	nb	9.6	58.3	5.6
4/19/2012	220	0.8	41.7	260	570	60.5	6.6	38.5	3.6
4/20/2012	310	0.9	60.4	470	900	84.3	9.4	58.8	5.6
4/21/2012	190	1.03	50.98	180	650	65.3	7.5	46.2	4.9
4/22/2012	130	1.0	52.5	160	470	51.8	7		5.1
4/23/2012	170	1.1	60.6	190	610	67.2	8.6	53	6
4/24/2012	220	1.1	44.5	270	690	79.8	7.3	50.7	4.3
4/25/2012	370	1.6	83.3	nb	930	74	8.6	43.5	4.4
min	130.0	0.8	36.2	160.0	470.0	31.0	5.4	28.6	2.9
max	740.0	3.8	88.1	520.0	1510.0	104.0	13.0	65.4	7.0
gemiddeld	339.3	1.7	57.9	304.6	822.1	70.1	8.5	48.8	4.9
standaarddeviatie	179.0	1.0	15.2	113.7	254.2	18.8	2.0	11.4	1.2

BIJLAGE 2 KORRELGROOTTEVERDELING EN MICROSCOPISCHE BEELDEN OVER DE PERIODE VAN JUNI 2011 TOT MEI 2012 VAN DE FULL SCALE NEREDA® INSTALLATIE TE EPE

AT 1701	AT 1601	AT 1801
		
		
		
		
		
		
		

		
Juni 2011 – AT1701	Juli 2011 – AT1701	Augustus 2011 – AT1701
		
Augustus 2011 – AT1701	Oktober 2011 – AT1701	November 2011 – AT1701
		
2 December 2011 – AT1701	2 December 2011 – AT1601	20 December 2011 – AT1701
		
20 December 2011 – AT1601	29 December 2011 – AT1601	29 December 2011 – AT1701
		
18 Januari 2012 – AT1601	18 Januari 2012 – AT1701	
		
3 Februari 2012 – AT1601	3 Februari 2012 – AT1701	3 Februari 2012 – AT1801

		
21 Februari 2012 – AT1601	21 Februari 2012 – AT1701	21 Februari 2012 – AT1801
		
Maart 2012 – AT 1601	Maart 2012 – AT 1701	Maart 2012 – AT 1801
		
April 2012 - spuislib	April 2012 - AT1701	April 2012 - AT1801
		
Mei 2012 - spuislib	Mei 2012 - AT1701	Mei 2012 - AT1801
		
Juni 2012 - spuislib	Juni 2012 - AT1601	Juni 2012 - AT1701

BIJLAGE 3 ONTWERPGRONDSLAGEN NEDERLANDSE PRAKTIJKINSTALLATIES

TABEL 1 ONTWERPGEGEVENS NEREDA® INSTALLATIE EPE – GROENE WEIDE

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	53.500	Incl. circa 30% aandeel slachterijen
- CZV vracht	kg/d	5.420	
- N vracht	kg/d	570	
- P vracht	kg/d	61	
- ZS vracht	kg/d	2.120	
- Hydraulische capaciteit	m^3/h	1.500	
- Gemiddelde dagaanvoer	m^3/d	8.000	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	5 - 8	Jaargemiddelde (zomer / winter)
- Totaal P	mg/l	0,3 – 0,5	Voortschrijdend gemiddelde (zomer / winter)
Voorbehandeling (perforatierooster + zand/vetvanger)			
- Perforatierooster	-	2	Warm waterspoeling
- Maaswijdte	mm	3	
- Capaciteit elk	m^3/h	1.500	
- Zand/vetvangers	-	1	Type goot i.v.m. slachterijen
- Capaciteit elk	m^3/h	1.500	
Nereda® installatie			
- Aantal reactoren	-	3	
- Volume per reactor	m^3	4.500	Ronde uitvoering
- Diameter	m	25,0	
- Waterhoogte	m	9,15	
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,12	Berekend op beluchte tijd
- Cyclustijd DWA	h	6	Variabel onder RWA condities
- Korrelslibgehalte	kg/m^3	8	
- Aantal compressoren	-	3	
- Capaciteit per compressor	Nm^3/h	1.500	
Nabehandeling			
- Zandfilters	-	4	Discontinu
- Oppervlakte per filter	m^2	30	
- Maximale oppervlaktebelasting	$m^3/(m^2.h)$	12,5	
Slibbehandeling			
- Spuislibbuffer	-	1	
- Volume	m^3	225	Spuislib + filtraatwater zandfilter
- Zeefbandfilters	-	2	Verlengde voorontwateringsband
- Capaciteit elk	m^3/h	60	

TABEL 2 ONTWERPGEGEVENS NEREDA® INSTALLATIE DINXPERLO – GROENE WEIDE MET WATERTUIN

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	15.730	
- CZV vracht	kg/d	1.560	
- N vracht	kg/d	175	
- P vracht	kg/d	24	
- ZS vracht	kg/d	700	
- Hydraulische capaciteit	m^3/h	570	
- DWA capaciteit	m^3/h	200	
- Gemiddelde dagaanvoer	m^3/d	3.100	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	7	Jaargemiddelde
- Totaal P	mg/l	0,5	Voortschrijdend gemiddelde (10)
Voorbehandeling			
- Trommelzeef	-	2	Type Contec – voorkeur WRIJ
- Maaswijdte	mm	3	
- Capaciteit elk	m^3/h	570	
- Zandvanger	-	1	Type Vortex
- Capaciteit elk	m^3/h	620	Inclusief interne stromen
- Fijnzeef	-	1	Optioneel i.v.m. hergebruik
- Maaswijdte	mm	0,5	
Nereda® installatie			
- Aantal reactoren	-	3	
- Volume per reactor	m^3	1.250	Rechthoekige uitvoering
- Oppervlakte per reactor	m^2	167	
- Waterhoogte	m	7,5	
- Minimale procestemperatuur	°C	7,5	
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,11	Berekend op beluchte tijd
- Cyclustijd	h	2 - 9	
- Korrelslibgehalte	kg/m^3	8	
- Aantal compressoren	-	3	
- Capaciteit per compressor	Nm^3/h	425	
Nabehandeling			
- Zandfilters	-	3	Discontinu
- Oppervlakte per filter	m^2	15	
- Maximale oppervlaktebelasting	$m^3/(m^2.h)$	13	
Slibbehandeling			
- Spuislibbuffer	-	1	
- Volume	m^3	100	Belucht
- Aantal slibindikkers	-	1	Gravitatie indikker
- Diameter elk	m	7,4	Kantdiepte 3 m.
- Aantal ingedikt slibbuffers	-	1	
- Volume elk	m^3	260	HVT = 8 d

TABEL 3 ONTWERPGEGEVENS NEREDA® INSTALLATIE VROOMSHOOP – HYBRIDE INSTALLATIE

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	22.600	
- CZV vracht	kg/d	2.417	
- N vracht	kg/d	213	
- P vracht	kg/d	37	
- ZS vracht	kg/d	1.114	
- Hydraulische capaciteit	m^3/h	1.265	Begrensd op 1.000 m^3/h door buffer
- DWA capaciteit	m^3/h	156	
- Gemiddelde dagaanvoer	m^3/d	2.808	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	10	Jaargemiddelde
- Totaal P	mg/l	2	Voortschrijdend gemiddelde (10)
Influentbuffer			
- Aantal	-	1	Bestaande tank
- Volume	m^3	1.530	
Voorbehandeling (rooster + zand/vetvanger)			
- Aantal roosters	-	2	
- Maaswijdte	mm	6	
- Capaciteit elk	m^3/h	750	Voor totale afvalwaterstroom
- Aantal zandvangers	-	1	
- Capaciteit elk	m^3/h	1.100	Voor totale afvalwaterstroom
- Perforatierooster	-	1	
- Maaswijdte	mm	3	
- Capaciteit elk	m^3/h	200	Voor Nereda® deel
Nereda® installatie (hybride deel 50% biologische belasting)			
- Aantal reactoren	-	1	
- Volume per reactor	m^3	1.350	
- Oppervlakte	m^2	225	
- Waterhoogte	m	6,0	
- Minimale procestemperatuur	°C	8	
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,15	Berekend op beluchte tijd
- Cyclustijd	h	6	Beluchte tijd 4,5 uur
- Korrelslibgehalte	kg/m^3	8	
- Aantal compressoren	-	2	
- Capaciteit per compressor	Nm^3/h	470	940 Nm^3/h totaal
Slibbehandeling			
- Zeefbandfilters	-	1	Totale slibstroom en via CAS
- Capaciteit elk	m^3/h	15	
- Ingedikt slibbuffer	-	1	
- Volume	m^3	80	HVT = 5 d

TABEL 4 ONTWERPGEGEVENS NEREDA® INSTALLATIE GARMERWOLDE – PARALLEL AAN BESTAANDE INSTALLATIE

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	140.000	41% totale belasting
- CZV vracht	kg/d	14.635	
- N vracht	kg/d	1.387	
- P vracht	kg/d	211	
- ZS vracht	kg/d	8.000	
- Hydraulische capaciteit	m^3/h	4.200	
- DWA capaciteit	m^3/h	1.312	
- Gemiddelde dagaanvoer	m^3/d	19.680	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	7	Jaargemiddelde
- Totaal P	mg/l	1	Jaargemiddelde
Voorbehandeling (perforatierooster + zand/vetvanger)			
- Aantal roosters	-	6	Bestaande installatie rwzi Garmerwolde
- Maaswijdte	mm	6	
- Capaciteit elk	m^3/h	2.250	
- Aantal zandvangers	-	1	Bestaande installatie rwzi Garmerwolde
- Capaciteit elk	m^3/h	13.500	
Nereda® installatie			
- Aantal reactoren	-	2	
- Volume per reactor	m^3	9.500	
- Diameter	m	42,0	
- Waterhoogte	m	7,5	
- Minimale procestemperatuur	°C	10	
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,12	Berekend op beluchte tijd
- Cyclustijd DWA - RWA	h	8 - 2	Variabel afhankelijk van influentdebiet
- Korrelslibgehalte	kg/m^3	8	
- Aantal compressoren	-	4	
- Capaciteit per compressor	Nm^3/h	3.500	
Slibbehandeling			
- Slibbuffer	-	1	
- Volume	m^3	400	

TABEL 5 ONTWERPGEGEVENS NEREDA® INSTALLATIE UTRECHT - PROTOTYPE

	Eenheid	Waarde	Opmerkingen
Influent			
- Biologische capaciteit	v.e.-150	6.400	
- CZV vracht	kg/d	660	
- N vracht	kg/d	65	
- P vracht	kg/d	13	
- ZS vracht	kg/d	250	
- Hydraulische capaciteit	m^3/h	650	
- DWA capaciteit	m^3/h	150	
- Gemiddelde dagaanvoer	m^3/d	1.000	
Effluent			
- Totaal N	mg/l	5	
- Totaal P	mg/l	0,5	
Voorbehandeling (perforatierooster + zandvanger)			
- Aantal roosters	-	1	Mogelijkheid plaatsen fijnrooster
- Maaswijdte	mm	6	
- Capaciteit elk	m^3/h	650	
- Aantal zandvangers	-	1	
- Capaciteit elk	m^3/h	650	
Nereda® installatie			
- Aantal reactoren	-	1	
- Volume per reactor	m^3	1.050	
- Lengte x breedte	m	15 x 10	
- Waterhoogte	m	7,0	
- Minimale procestemperatuur	°C	9	
- Slibbelasting	kg CZV/(kg DS.d)	0,135	
- Cyclustijd DWA - RWA	h	2 – 8	
- Korrelslibgehalte	kg/m^3	8,0	
- Aantal compressoren	-	2	
- Capaciteit per compressor	Nm^3/h	400	