

stowa

# NEREDA PILOTONDERZOEKEN 2003-2010



RAPPORT

2010  
29

stowa

NEREDA PILOTONDERZOEKEN 2003 - 2010

STOWA

2010

29

ISBN 978.90.5773.493.9



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

Publicaties van de STOWA kunt u bestellen op [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl)

# COLOFON

Amersfoort, 2010

UITGAVE STOWA, Amersfoort

## PROJECTUITVOERING

D. Berkhof, DHV  
B. de Bruin, DHV  
M. Kerstholt, DHV  
R. Kraan, DHV  
V. Miska, DHV  
T. Peeters, DHV  
H. van der Roest, DHV  
J. Verschoor, DHV  
M. de Kreuk, TUD (thans Waterschap Hollandse Delta)  
M. van Loosdrecht, TUD

## BEGELEIDINGSCOMMISSIE

R. van Dalen, Waterschap Veluwe  
† W. Dijkma, Hoogheemraadschap van Rijnland  
M. de Kreuk, Waterschap Hollandse Delta  
A. de Man, Waterschapsbedrijf Limburg  
J.W. Mulder, Waterschap Hollandse Delta (thans Evides)  
M. Oosterhuis, Waterschap Regge en Dinkel  
P. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel  
C. Uijterlinde, STOWA  
P. Versteeg, Hoogheemraadschap van Rijnland

DRUK Kruyt Grafisch Adviesbureau

STOWA rapportnummer 2010-29  
ISBN 978.90.5773.493.9

# TEN GELEIDE

Na het eerste succesvolle onderzoek naar de mogelijkheden van de aëroob korrelslibtechnologie op de rwzi Ede hebben verschillende belanghebbenden de handen ineen geslagen met het doel om deze nieuwe zuiveringstechnologie – inmiddels omgedoopt tot Nereda - zo snel mogelijk te ontwikkelen zodat toepassing op praktijkschaal mogelijk is. Dit bijzondere samenwerkingsverband heeft een langdurige en duurzame samenwerking van de verschillende belanghebbenden zoals onderzoeksinstituten, waterkwaliteitsbeheerders, de TU Delft en DHV tot stand gebracht. Door deze wijze van samenwerken is fundamenteel onderzoek en toegepast praktijkonderzoek in nauwe samenhang uitgevoerd en dat heeft geleid tot een snelle ontwikkeling van deze nog jonge technologie.

In dit rapport zijn alle uitgevoerde pilotonderzoeken beschreven en de resultaten zijn zo veelbelovend dat drie van de vijf deelnemende waterschappen inmiddels hebben besloten om één van hun rwzi's aan te passen op basis van de Nereda-technologie. Aan de ene kant betekent dit dat inhoudelijk gezien heel veel progressie is geboekt en aan de andere kant is door de nauwe samenwerking een breed draagvlak gecreëerd waardoor de sprong naar toepassing in de praktijk goed mogelijk blijkt te zijn.

Naar verwachting zullen binnen enkele jaren drie Nereda-rwzi's in Nederland operationeel zijn. Het genoemde samenwerkingsverband blijft in stand totdat de praktijkinstallaties naar tevredenheid zullen functioneren. Wij gaan er van uit dat dan sprake zal zijn van een volwassen en duurzaam alternatief voor conventionele actiefslibsystemen.

Amersfoort, juli 2010

De directeur van de STOWA  
Ir. J.M.J. Leenen

# SAMENVATTING

## INLEIDING

Sinds de negentiger jaren van de vorige eeuw wordt onderzoek verricht aan 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 breder samenwerkingsverband gevormd dat sinds 2006 het Nationaal Nereda Ontwikkelings Programma (NNOP) uitvoert. In dit samenwerkingsverband zijn naast de STOWA, TUD en DHV inmiddels zes waterkwaliteitsbeheerders vertegenwoordigd, te weten Waterschap Veluwe, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Regge en Dinkel, Waterschapsbedrijf Limburg, Waterschap Hollandse Delta en Hoogheemraadschap van Rijnland.

Het NNOP heeft tot doel om in een kort tijdsbestek een nieuwe concurrerende zuiveringstechnologie -inmiddels 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 een viertal locaties is uitgevoerd. Bij deze pilotonderzoeken op achtereenvolgens 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 praktijksinstallaties

Bij de korrelvorming is ondermeer gekeken naar de invloed van de voorbehandeling, het gebruik van anaëroob korrelslib als entslib, de hydraulische selectiedruk, de dosering van acetaat en de proces temperatuur. De optimalisatie van de effluentkwaliteit heeft plaatsgevonden door een vergaande flexibilisering van de procesvoering mogelijk te maken, waarbij het gebruik van on-line analysers en innovatieve besturingssoftware belangrijk is gebleken. Deze flexibilisering van de procesvoering heeft plaatsgevonden op de rwzi's Epe en Dinxperlo. Op de andere onderzoekslocaties is hiervan geen gebruik gemaakt.

Naast onderzoek aan het hoofdproces is flankerend pilotonderzoek verricht aan de nabehandeling van de afloop van Nereda-reactoren. De tendens in Nederland is dat de effluenteisen voor rwzi's steeds strenger worden, met name voor stikstof en fosfaat. Eisen ten aanzien van stikstof en fosfaat van N-totaal < 5 mg/l en P-totaal < 0,5 mg/l zijn geen uitzondering meer. Dit betekent dat bij het ontwerp van conventionele actiefslibsystemen een aanvullende nabehandeling vereist is. Met betrekking tot Nereda doet de vraag zich voor in hoeverre met een nabehandlingsstap de genoemde strenge effluenteisen ten aanzien van stikstof en fosfaat haalbaar zijn.

Omdat het resterend zwevendstof in de afloop van een Nereda-reactor anders van karakter is dan in het effluent van een actiefslibstelsel, is te verwachten dat nabehandlingsystemen anders moeten worden ontworpen, dan wel anders moeten worden bedreven. Om deze reden zijn voor de nabehandeling van Nereda-effluent de volgende onderzoeken uitgevoerd:

- 1 een uitgebreid pilotonderzoek naar de toepassingsmogelijkheden voor discontinue zandfiltratie. Dit onderzoek is gericht op de verwijdering van het rest-zwevendstof en het laatste opgeloste fosfaat
- 2 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van het toepassen van doekfiltratie. Hierbij is gekeken naar:
  - a. de verwijdering van alleen zwevendstof
  - b. de verwijdering van zwevendstof in combinatie met aanvullende fosfaatverwijdering
- 3 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van de verwijdering van zwevendstof met Fuzzy Filtratie

Parallel aan het nabehandelingsonderzoek is onderzoek verricht aan de behandeling van het surplusslib van het Nereda-proces. Hiertoe zijn de mogelijkheden van gangbare technieken onderzocht, namelijk gravitatie-indikking, mechanische indikking en ontwatering. Het slibbehandelingsonderzoek is gericht op haalbare drogestofgehaltes van het ingedikte en ontwaterde slib, het afscheidingsrendement, het chemicaliënverbruik en de eventuele afgifte van fosfaat.

### **RESULTATEN KORRELVORMING EN KORRELSTABILITEIT**

In Ede, Aalsmeer, Hoensbroek en Epe is aangetoond dat korrelvorming mogelijk is, zowel op voorbehandeld als ruw afvalwater. De bedrijfsvoeringsfilosofie om tot korrelvorming te komen is eenduidig. Het betreft een combinatie van biologische fosfaatverwijdering, een hoge slibbelasting, een zuurstofgehalte van minimaal 2 mg/l en een hoge hydraulische selectiedruk (maximaal 7-9 m/h). Het type reactor – airlift-reactor versus bellenkolom – heeft in Ede onder praktijkomstandigheden geen invloed op de korrelvorming gehad. Vanwege de eenvoud is vanaf dat moment al het onderzoek uitgevoerd in bellenkolommen. Het onderzoek in Aalsmeer laat zien dat korrelvorming kan worden gestimuleerd door een aanvullende acetaatdosering. Een belangrijk aandachtspunt is dat gedurende de korrelvormingsfase de slibconcentratie niet te ver mag dalen. Bij te lage slibconcentraties – in feite een te lage slibleeftijd - hebben beginnende korrels te weinig mogelijkheden om uit te groeien.

Het blijkt goed mogelijk om het gevormde korrelslib langdurig in stand te houden. Op de rwzi Epe zijn de korrelslibeigenschappen over een periode van 2,5 jaar uitstekend op peil gebleven. Het korrelslib heeft zich ook robuust getoond tegen incidentele zuurlozingen.

### **AFLOOP NEREDA-REACTOREN**

Met aëroob korrelslib blijkt vergaande nutriëntenverwijdering mogelijk. Dit is aangetoond in Ede en gedurende een korte periode in Aalsmeer, maar vooral in Epe en Dinxperlo zijn goede resultaten bereikt. Hier is echter sprake geweest van een uitgebreider instrumentarium – on-line analysers en geavanceerde besturingssoftware – waardoor een goede procesbeheersing mogelijk is gebleken onder alle procesomstandigheden in termen van belasting- en temperatuurvariaties. Lage effluentconcentraties voor ammonium (< 1 mg/l) en nitraat (< 5 mg/l) over lange periodes zijn bij gangbare CZV-belastingen goed mogelijk, ook bij lage procestemperaturen. De hiervoor vereiste slibbelasting is vergelijkbaar met actiefslibsystemen.

De biologische fosfaatverwijderingscapaciteit in Epe is de gehele onderzoeksperiode van een hoog niveau, hetgeen tot jaargemiddelde orthofosfaatconcentraties van 0,3 - 0,6 mg/l leidt. In Dinxperlo zijn met alleen biologische fosfaatverwijdering orthofosfaatconcentraties van 2-3 mg/l haalbaar gebleken. Een aanvullende (simultane) ijzerdosering in de reactor leidt tot vergaande fosfaatverwijdering, zonder dat dit ten koste gaat van de effluentkwaliteit met betrekking tot stikstof en zwevendstof. Ook de korrelslibeigenschappen blijven goed op peil. De onderzoeken in Epe en Dinxperlo laten zien dat stabiele, lage zwevendstofconcentraties

in het effluent mogelijk zijn. Gekoppeld aan de goede resultaten voor nutriëntenverwijdering kan worden gesteld dat met korrelslibreactoren *zonder* nabehandeling de effluentkwaliteit kan voldoen aan de reguliere effluenteisen in Nederland (N-totaal = 10 en P-totaal = 1 mg/l). Dit laat zien dat de potentie van de technologie groot is, ook voor toepassingen in het buitenland.

De invloed van de procestemperatuur op de nutriëntenverwijdering is uitgebreid onderzocht. De gepresenteerde cijfers van Epe betreffen de periode van januari 2009 tot en met januari 2010 en omvatten dus de winterperiodes van 2009 en 2010. In Dinxperlo heeft de winter van 2009 onderdeel uitgemaakt van het onderzoek. Het is gebleken dat stikstof- en fosfaatverwijdering bij temperaturen lager dan 10 °C nog steeds goed mogelijk is.

In de praktijk zal de waterhoogte van Nereda-reactoren zes tot negen meter bedragen. Dit is dieper dan de meeste actiefslibtanks zodat het tankoppervlak van Nereda-reactoren vergelijkenderwijs enigszins kleiner zal zijn. Dit zal leiden tot wat hogere minimum procestemperaturen, omdat het warmte-uitwisselend wateroppervlak met de atmosfeer kleiner is. Hogere minimumtemperaturen leiden vanzelfsprekend tot een eenvoudigere nutriëntenverwijdering of een hogere toelaatbare slibbelasting.

### SLIBPRODUCTIE

Op grond van de beschikbare gegevens moet worden geconcludeerd dat de slibproductiecijfers van de pilotinstallaties en de rwzi's niet één op één met elkaar kunnen worden vergeleken. Dit komt doordat de procesconfiguraties van de rwzi en pilotreactor niet goed vergelijkbaar zijn. Op vier rwzi's wordt fosfaat chemisch verwijderd (Epe, Dinxperlo, Aalsmeer en Hoensbroek) en liggen de slibproductiecijfers vanzelfsprekend beduidend hoger dan die van de pilotinstallaties. Op de rwzi Ede wordt fosfaat biologisch verwijderd, maar daar wordt het slib vergist en worden periodiek chemicaliën gedoseerd voor het beheersen van de slibbezinkingseigenschappen.

Wel kan op grond van de gegevens en theoretische berekeningen voorzichtig worden geconcludeerd dat de specifieke *biologische* slibproductie van de Nereda technologie vergelijkbaar zal zijn met die van een conventioneel actiefslibstelsel. De vergelijking kan pas nauwkeurig worden gemaakt nadat een aantal Nereda praktijkinstallaties in bedrijf is gesteld.

### NABEHANDELING

Voor de verwijdering van zwevendstof van de Nereda-afloop kunnen alle drie beproefde technieken (zandfiltratie, Fuzzy Filtratie en doekfiltratie) worden toegepast. Ze leiden tot een acceptabele filtraat-troebelheid < 2 NTU, waarbij met zandfiltratie waarden < 1,0 NTU kunnen worden bereikt.

In de testopstelling is een gelijktijdige verwijdering van zwevendstof en fosfaat met doekfiltratie niet mogelijk gebleken, omdat kleine metaalfosfaatdeeltjes - ook met de kleinst mogelijke maaswijdte van 10 µm - onvoldoende worden tegengehouden. Vanwege de technische opzet en schaalgrootte van de testopstelling is het effect van een aanvullende flocculantdosering niet getest. Toepassing hiervan op praktijkschaal ligt echter voor de hand. Door de vorming van grotere vlokken enerzijds en een extra filtratiewerking door koekvorming anderzijds, mag een beter resultaat worden verwacht. Mede omdat praktijkreferenties van een gelijktijdige zwevendstof en vergaande fosfaatverwijdering met doekfiltratie ontbreken, is nader onderzoek nodig. Hierin is in het NNOP voorzien.

Fuzzy Filtratie kan zowel zwevendstof als fosfaat vergaand verwijderen, waarbij het fosfaatverwijderingsrendement bij een filtratiesnelheid van 75 m/h wel sterk afneemt na een looptijd van ongeveer 1 uur. Dan vindt doorbraak van kleine deeltjes met gebonden fosfaat plaats,

hetgeen de mogelijkheden voor een praktijktoepassing onder deze condities zal beperken. Vervolgonderzoek is nodig voor optimalisatie van de effluentkwaliteit en de standtijden.

Met zandfiltratie en voorafgaande coagulantdoserings worden afhankelijk van de bedconfiguratie en de uitvoeringsvorm in een één- of tweetraps-systeem goede verwijderingsrendementen voor zwevendstof behaald. Met de toepassing van polyaluminiumchloride als meest optimale coagulant (Me/oP 4,5), is voor verschillende bedconfiguraties een fosfaateis van 0,3 mgP<sub>tot</sub>/l haalbaar. Hierbij dient op grond van de verkregen resultaten wel te worden uitgegaan van voldoende bedhoogte. Verder moet rekening worden gehouden met de keuze van de filtermaterialen, één en ander in relatie tot de benodigde fluidisatiesnelheden voor terugspoeling en daaraan gerelateerd het benodigde energieverbruik.

De resultaten van de uitgevoerde testen met zandfiltratie en alternatieve filtratietechnieken laten vooral conclusies toe voor de situatie op de rwzi Epe en in mindere mate voor de rwzi Dinxperlo. Uitspraken over de vertaalbaarheid van deze resultaten naar andere locaties zijn gezien de ervaringen nog slechts beperkt mogelijk.

### **SLIBBEHANDELING**

Op basis van de proefnemingen komt naar voren dat zowel gravitatie als mechanische indikking mogelijk zijn. De indikresultaten van mechanische indikking zijn, conform verwachting beter dan die van gravitatie-indikking. Vanwege het feit dat de spuislibstroom relatief sterk kan variëren in zowel debiet als drogestofvracht, heeft mechanische indikking van Nereda spuislib de voorkeur. Dit komt doordat een stabiel afscheidingsrendement onder wisselende omstandigheden beter mogelijk is en de kans op fosfaatafgifte is kleiner.

De mechanische indikking van surplusslib geeft resultaten die volledig vergelijkbaar zijn met conventioneel actiefslib. In combinatie met aluminium- of ijzerhoudend spoelwater moet bij de slibverwerking rekening worden gehouden met het behouden van een stabiele vlok. Hierbij is de hoeveelheid mengenergie van belang.

### **PRAKTIJKINSTALLATIES IN NEDERLAND**

De volgende stap in de ontwikkeling van de Nereda-technologie is opschaling naar Nederlandse praktijkomstandigheden. Het ligt in lijn der verwachting dat in Nederland de komende jaren een aantal praktijkinstallaties zal worden gebouwd. Bij het verschijnen van deze rapportage is de eerste praktijkinstallatie in aanbouw, namelijk de rwzi Epe van Waterschap Veluwe. Inmiddels heeft Waterschap Rijn en IJssel op bestuurlijk niveau besloten om op de rwzi Dinxperlo een nieuwe installatie op basis van de Nereda-technologie te bouwen. Waterschap Regge en Dinkel gaat op de rwzi Vroomshoop een nieuwe hybride installatie bouwen, waarbij de helft van de capaciteit in een actiefslibinstallatie wordt behandeld en de andere helft in een Nereda-installatie.

Naast de uitstekende presentaties met betrekking tot effluentkwaliteit en processtabiliteit, is het lage energieverbruik een belangrijke reden voor alle drie genoemde waterkwaliteitsbeheerders om voor Nereda te kiezen. Het lage energieverbruik wordt veroorzaakt doordat veel recirculatiestromen ontbreken (retourslib, recirculatie naar voordennitrificatietank, recirculatie naar anaërobe tank etcetera) en het ontbreken van menging in onbeluchte tanks. Nereda vraagt iets meer energie ten behoeve van de slibindikking vanwege het feit dat de concentratie van het surplusslib lager is. Afhankelijk van de lokale situatie en effluenteisen kan extra energie benodigd zijn om het water naar de Nereda-reactoren op te voeren alsmede extra energie voor anoxische cyclusstappen. De totale energiebesparing ten opzichte van continue actiefslibsystemen bedraagt echter minimaal 20%.



# DE STOWA IN HET KORT

De Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer, kortweg STOWA, is het onderzoeksplatform van Nederlandse waterbeheerders. Deelnemers zijn alle beheerders van grondwater en oppervlaktewater in landelijk en stedelijk gebied, beheerders van installaties voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en beheerders van waterkeringen. Dat zijn alle waterschappen, hoogheemraadschappen en 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 adviesbureaus, zijn van harte welkom. Deze suggesties toetst de STOWA aan de behoeften van de deelnemers.

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

Het geld voor onderzoek, ontwikkeling, informatie en diensten brengen de deelnemers samen bijeen. Momenteel bedraagt het jaarlijkse budget zo'n 6,5 miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 033 - 460 32 00.

Ons adres luidt: STOWA, Postbus 2180, 3800 CD Amersfoort.

Email: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://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 – showed the first fundamentals of aerobic granulation. After a first desk study early this century, the water market in the Netherlands showed its interest and as a result a first STOWA pilot research project was executed at Ede WWTP. In 2005 a technological breakthrough was accomplished and was the starting sign for a broader national development program (NNOP). Next to STOWA, Delft University of Delft, DHV six waterboards are actively involved within this development program: Waterschap Veluwe, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Regge en Dinkel, Waterschapsbedrijf Limburg, Waterschap Hollandse Delta en Hoogheemraadschap van Rijnland.

Main goal of the NNOP is to develop a new competitive biological wastewater treatment technology – meanwhile labeled as Nereda® - as soon as possible. Applied pilot research is an important part of the NNOP and after the Ede project, additional pilot research projects were conducted at four locations in the Netherlands. Within these pilot research projects on 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 phosphate removal, especially during winter time
- 4 control of effluent suspended solids concentration
- 5 obtain technological design parameters for full scale WWTPs

The effects on granulation of pretreatment, the use of anaerobic granular sludge as inoculum, hydraulic selection pressure, dosing of acetate and process temperature were researched. Effluent quality optimization took place by introducing a high degree of operational flexibility, which is based on the use of on-line analysers and innovative software. This operational optimization was only introduced in the pilot plants at the WWTPs Dinxperlo and Epe.

Next to the focus on the Nereda process, the possibilities of post treatment of Nereda reactor effluent were investigated. The tendency in the Netherlands with respect to effluent requirements is towards more strict limits, especially for nitrogen and phosphate. Permit values for  $N_{\text{total}} < 5 \text{ mg/l}$  and  $P_{\text{total}} < 0,5 \text{ mg/l}$  are no exception any more. At conventional activated sludge systems these stricter permit values imply tertiary treatment, often sand filtration.

Since the properties of the remaining suspended solids in Nereda reactor effluent are different from effluent suspended solids in activated sludge systems, it is expected that post treatment systems should be dealt with differently, either from an operational and/or design point of view. Because of this, the following post treatment pilot research projects were conducted:

1. an extensive pilot research into the applicability of discontinuous sand filtration. This project focused on the removal of the remaining suspended solids and dissolved phosphate in Nereda reactor effluent

2. an exploratory research was conducted in order to evaluate the possibilities of disk filtration. The following treatment options were considered:
  - a. suspended solids removal
  - b. removal of both suspended solids and phosphate
- 3 the possibilities of the suspended solids removal with Fuzzy Filtration were explored

Parallel to the aforementioned post treatment projects, research was done into the sludge treatment properties. Within this respect, the possibilities of conventional sludge treatment techniques were evaluated. The sludge treatment research activities focused on feasible thickening and dewatering levels, dry solids removal efficiency, phosphate release and use of chemicals.

#### **RESULTS GRANULATION AND STABILITY OF GRANULAR SLUDGE**

Granulation proved to be possible in Ede, Aalsmeer, Hoensbroek and Epe, both on pretreated and raw wastewater. The operational philosophy for granulation is clear. It is a combination of biological phosphate removal, a high sludge loading rate, a minimum dissolved oxygen concentration of 2 mg/l and a high hydraulic selection pressure. In Ede, the reactor type – airlift reactor versus bubble column – did not influence the granulation performance. Because of its simplicity, after the Ede project all research was executed in bubble columns. The Aalsmeer project showed that granulation can be stimulated by dosing acetate. An important issue during granulation is the minimum sludge concentration in the reactor. If the sludge concentration becomes too low, small granules do not have the possibility to grow into larger granules.

Once granulation is achieved, the granular sludge proves to be very stable. In Epe the granular sludge was stable for a period of 2.5 years, keeping its properties and activity at stable high levels. The granular sludge showed its robustness towards incidental low pH values in the reactor.

#### **EFFLUENT NEREDA REACTOR**

With aerobic granular sludge extensive nitrogen and phosphate removal proves to be possible. This was shown in Ede and to some extent in Aalsmeer, but especially the Epe and Dinxperlo plants showed excellent performance. These good results in Epe and Dinxperlo were made possible by installing additional on-line analysers and the introduction of innovative software, allowing a much higher operational flexibility under all process conditions in terms of loading rate and temperature variations. Low effluent concentrations for ammonium (< 1 mg/l) and nitrate (< 5 mg/l) proved to be possible for long periods at normal sludge loading rates, even at low temperatures. The required sludge loading rate for granular sludge is comparable with activated sludge.

In Epe, the biological phosphate removal efficiency was high during the whole research period, resulting in yearly ortho phosphate effluent concentration averages of 0.3-0.6 mg/l. In Dinxperlo, with biological phosphate removal an ortho phosphate effluent concentration of 2-3 mg/l was possible. An additional simultaneous iron dosing in the reactor resulted in extensive phosphate removal efficiencies, without having an impact on nitrogen removal, sludge characteristics or the suspended solids effluent concentration.

Low effluent suspended solids concentrations proved to be possible in Epe and Dinxperlo. This in combination with the excellent results with respect to nutrient removal leads to the conclusion that Nereda *without post treatment* can comply with the current effluent standards in the Netherlands ( $N_{\text{total}} < 10 \text{ mg/l}$ ,  $P_{\text{total}} < 1 \text{ mg/l}$ ).

The sensitivity of process temperature with respect to nutrient removal was investigated thoroughly. The figures presented for Epe relate to the period January 2009 until February 2010 and thus include the winter periods of both 2009 and 2010. The 2009 winter was part of the research period in Dinxperlo. Nitrogen and phosphate removal at temperatures under 10 °C is well possible.

The water depth of Nereda reactors at full scale will vary between six and nine meters. This is deeper compared to most aeration tanks at activated sludge plants. This leads comparatively to a somewhat smaller tank surface and therefore a smaller heat exchanging surface with the atmosphere. The effect is a higher process temperature, making nutrient removal easier.

### **SLUDGE PRODUCTION**

Based on the available data, it can be concluded that the sludge production figures of the Nereda pilot plants can not be compared with the corresponding WWTP. This is caused by the different process configuration of pilot plant and WWTP. On four WWTPs – Epe, Dinxperlo, Aalsmeer and Hoensbroek - phosphate is removed chemically, which results in significant higher specific sludge production figures. At Ede WWTP phosphate is removed biologically, but the sludge is digested and periodically chemicals are dosed in order to control sludge settling properties.

Nevertheless, a preliminary conclusion is that specific sludge production of Nereda and activated sludge systems are comparable. This preliminary conclusion is to be confirmed at the first Nereda full scale installations.

### **POST TREATMENT**

The remaining suspended solids removal from Nereda reactor effluent can be removed with the techniques tested (discontinuous sand filtration, disk filtration and Fuzzy Filtration). Turbidity figures of less than 2 NTU are possible, whereas sand filtration leads to turbidity levels < 1 NTU.

With the disk filtration test unit a simultaneous removal of suspended solids and phosphate proved not to be possible, because the small metal phosphate particles – even with the smallest mesh size of 10 µm – can not be filtrated. Because of the technical set-up and scale of the disk filtration test unit, the effect of dosing an additional flocculant could not be tested. This can be a full scale solution for optimizing the filtration efficiency, because the addition of a flocculant will result into larger particles that can easier be removed. At this point, full scale disk filtration references for simultaneous removal of suspended solids and phosphate are not available. Follow up research on this topic at full scale plants is foreseen in the NNOP.

With Fuzzy Filtration both suspended solids and phosphate can be removed, but at a surface loading rate of 75 m/h the phosphate removal efficiency strongly decreases after a filtration time of one hour. From that point, small metal phosphate particles start to wash out, which makes practical application under these conditions unlikely. More research is to be done for optimization of effluent quality and filtration time.

High suspended solids removal efficiencies are possible with discontinuous sand filtration in combination with additional coagulant dosing. The removal efficiency is dependant of bed configuration – sand fractions, one or two stages. Total phosphorous effluent concentrations of 0.3 mg/l are possible in several sand bed configurations when poly aluminium chloride is used as a coagulant (Me/P ratio 4.5). Point of attention is bed height and a proper selection of filtration materials. Both aspects are related to the required specific back wash flows and energy consumption.

The results with respect to the post treatment techniques mainly refer to the Epe situation and to a lesser extent Dinxperlo. Given the experience so far, translation of the research results to other applications is still limited.

#### **SLUDGE TREATMENT**

Based on the tests both gravitational and mechanical thickening of Nereda sludge is possible. As expected, the mechanical thickening performance is better compared to gravitational thickening. Because relatively large variations in flow and dry solids concentration may occur, mechanical thickening is preferred. Main advantages of mechanical thickening are a stable dry solids removal efficiency and a low chance of phosphate release.

The performance of mechanical thickening of Nereda surplus sludge is comparable with activated sludge. If sludge treatment is combined with metal sludge containing wash water from sand filters, attention should be paid to keep stable flocs. Proper mixing is essential here.

#### **FULL SCALE INSTALLATIONS IN THE NETHERLANDS**

The next step in the development of the Nereda technology is scale up to practice in the Netherlands. It is expected that several Nereda WWTPs are going to be constructed. When this report is published, the first full scale plant in the Netherlands is under construction, namely the WWTP Epe from Waterschap Veluwe. Next to this, Waterschap Rijn decided to realize a Nereda WWTP at Dinxperlo. Waterschap Regge en Dinkel is going to build a hybrid WWTP at Vroomshoop with a capacity division 50% Nereda and 50% activated sludge.

# DE STOWA IN BRIEF

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

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

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

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

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

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

E-mail: [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl).

Website: [www.stowa.nl](http://www.stowa.nl).



# NEREDA PILOTONDERZOEKEN 2003 - 2010

## INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>1</b>
	1.1 Kader	1
	1.2 Doelstellingen	2
<b>2</b>	<b>NEREDA TECHNOLOGIE</b>	<b>5</b>
	2.1 Korrelvorming	5
	2.2 Procesvoering	5
	2.3 Kenmerken korrelslib	7
<b>3</b>	<b>OPZET NEREDA PILOTONDERZOEK</b>	<b>9</b>
	3.1 Overzicht	9
	3.2 Onderzoeksprogramma	10
	3.2.1 Korrelvorming en korrelstabiliteit	10
	3.2.2 Stikstof- en fosfaatverwijdering	12
	3.3 Beschrijving pilotinstallaties	13



<b>4</b>	<b>RESULTATEN NEREDA PILOTONDERZOEK</b>	<b>15</b>
4.1	Korrelvorming en korrelstabiliteit	15
4.2	Effluentkwaliteit	26
4.3	Gloeirest korrelslib en slibproductie	33
4.4	Conclusies	34
	4.4.1 Korrelvorming en korrelstabiliteit	34
	4.4.2 Effluentkwaliteit	35
	4.4.3 Slibproductie	35
<b>5</b>	<b>NABEHANDELING</b>	<b>36</b>
5.1	Inleiding	36
5.2	Meetopstelling	37
5.3	Meetprogramma	39
5.4	Proces- en bedrijfsvoering	39
5.5	Resultaten	40
5.6	Conclusies	42
<b>6</b>	<b>SLIBBEHANDELING</b>	<b>43</b>
6.1	Inleiding	43
6.2	Meetopstelling	44
6.3	Meetprogramma	45
6.4	Proces- en bedrijfsvoering	45
6.5	Resultaten	46
6.6	Conclusies	47
<b>7</b>	<b>EVALUATIE</b>	<b>48</b>
7.1	Pilotonderzoek	48
	7.1.1 Nereda pilotonderzoek	48
	7.1.2 Nabehandeling	48
	7.1.3 Slibbehandeling	49
7.2	Doorkijk naar de praktijk	49
7.3	Opschaling	50
7.4	Situatie in Nederland	51
7.5	Opstart	51
<b>8</b>	<b>REFERENTIES</b>	<b>52</b>
	<b>BIJLAGEN</b>	
1	FREQUENTIEVERDELINGEN EFFLUENTKWALITEIT AFLOOP NEREDA-REACTOREN EPE EN DINXPERLO	53
2	FREQUENTIEVERDELINGEN PROCESTEMPERATUREN NEREDA-REACTOREN IN EPE EN DINXPERLO	57
3	VOORBEELD VAN CONTROLEMETINGEN ON-LINE ANALYSERS	59

# 1

## INLEIDING

### 1.1 KADER

Wereldwijd wordt al meer dan een eeuw voor de zuivering van afvalwater het biologisch actiefslib proces toegepast. Dit proces kenmerkt zich door goede zuiveringsprestaties en 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 TUD en DHV en met ondersteuning van STOWA, STW en subsidies via INNOWATOR en het innovatieprogramma Kader Richtlijn Water (Agent-schap NL) laboratorium- en deskonderzoek gestart naar de haalbaarheid van de aërobe korrelibtechnologie. Deze technologie combineert de voordelen van het actiefslibproces met de uitstekende bezinkeigenschappen van korrelib. Het onderzoek mondde uit in een STOWA praktijkonderzoek op de rwzi Ede, waarin een pilotinstallatie enkele jaren met huishoudelijk afvalwater werd bedreven. De resultaten van het onderzoek in Ede zijn vastgelegd in STOWA rapportage 2005-35.

In 2005 werd in Ede een technologische doorbraak bereikt en is de potentie van de aërobe korrelibtechnologie voor het eerst onder praktijkcondities aangetoond. De meest in het oog springende resultaten hebben naast de compactheid van de technologie, betrekking op de goede effluentkwaliteit, het gunstige chemicaliën- en energieverbruik en het lage kosten-niveau. Met deze combinatie van kenmerken vertegenwoordigt de nieuwe technologie een nieuwe stap in de zuivering van afvalwater.

In juni 2005 werd de technologie de innovatieprijs “De Vernufteling” toegekend. Samen met de genoemde doorbraak is dat het startsein om binnen de branche een breed gedragen ontwikkelingstraject in gang te zetten. Hiermee wordt beoogd om de jonge, tot Nereda omgedoopte korrelibtechnologie binnen een zo kort mogelijke periode te laten groeien tot een volwassen alternatief voor het huidige conventionele actiefslibstelsel. Met betrokken partijen is een strategie ontwikkeld, die enerzijds gebaseerd is op een gelijktijdige ontwikkeling van fundamentele en applicatie kennis, en anderzijds op een snelle realisatie van installaties op praktijkschaal.

Teneinde de geformuleerde doelstellingen te bereiken is een “Nationaal Nereda Onderzoeks Programma” (NNOP) opgesteld, dat in 2007 met een samenwerkingsovereenkomst bekrachtigd werd. Deze overeenkomst loopt tot eind 2012 en is ondertekend door STOWA, TUD, DHV en een zestal waterbeheerders, te weten Waterschap Veluwe, Waterschap Hollandse Delta, Waterschapsbedrijf Limburg, het Hoogheemraadschap van Rijnland, Waterschap Rijn en IJssel alsmede Waterschap Regge en Dinkel.

Het NNOP bestaat onder meer uit de opzet en uitvoering van fundamenteel onderzoek, een aantal pilotonderzoeken en de realisatie van enkele installaties op praktijkschaal. Op grond van de resultaten van het uitgevoerde pilotonderzoek hebben drie betrokken waterbeheer-

ders inmiddels besloten tot de realisatie van een Nereda -installatie. De eerste grootschalige installatie ter wereld wordt begin 2011 binnen het beheersgebied van Waterschap Veluwe in Epe in bedrijf genomen. Met het bereiken van deze mijlpaal is de tijd aangebroken om de resultaten van het STOWA pilotonderzoek naar buiten te brengen. Het voorliggende rapport gaat in op dit onderzoek en behandelt de resultaten van de pilotonderzoeken over de periode van 2003 tot heden, uitgevoerd met huishoudelijk afvalwater van Ede, Aalsmeer, Hoensbroek, Dinxperlo en Epe.

Nadat de eerste praktijkschaalinstallatie in Epe is opgestart, zal een STOWA rapportage worden gewijd aan de ervaringen op praktijkschaal. In dit rapport zal worden ingegaan op diverse ontwerpaspecten van praktijkinstallaties, de resultaten van praktijkonderzoek op de rwzi Epe, de belangrijke proces- en bedrijfsvoeringsaspecten alsmede de kosten. Tenslotte zal de Nereda-technologie op alle relevante aspecten worden vergeleken met het conventionele actiefslibstelsysteem.

## 1.2 DOELSTELLINGEN

De hoofddoelstelling van het NNOP is het realiseren van een nieuwe duurzame en kosteneffectieve zuiveringstechnologie van Nederlandse bodem. De introductie van een nieuwe technologie op praktijkschaal brengt risico's met zich mee. Eén van de manieren om de risico's te beperken is om gedurende de verschillende ontwikkelingsstadia – laboratorium-, pilot- en praktijkschaal – onderzoek uit te voeren. Dit onderzoek vult de kennisleemtes zoveel mogelijk op zodat de kans op ongewenste resultaten bij praktijkinstallaties zo beperkt mogelijk is. Op basis hiervan is een aantal subdoelstellingen geformuleerd die hieronder zijn weergegeven.

- 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 onderzoeksprojecten. Een aantal van genoemde subdoelstellingen is de laatste jaren in diverse projecten en op verschillende locaties onderzocht. De verschillende typen onderzoeken zijn in Afbeelding 1 weergegeven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen applicatiegericht onderzoek en fundamenteel onderzoek. Alle onderzoeken worden gezamenlijk door de TU Delft, DHV en betrokken waterschappen uitgevoerd. DHV is hierbij verantwoordelijk voor het applicatie-onderzoek, terwijl de eindverantwoordelijkheid voor het fundamentele onderzoek bij de TU Delft ligt.

Uit Afbeelding 1 is verder op te maken dat bij het applicatie-onderzoek onderscheid is gemaakt tussen pilotonderzoeken (Ede, Aalsmeer en Epe), verificatie-onderzoeken (Hoensbroek en Dinxperlo) en flankerend onderzoek. In de pilotonderzoeken en verificatie-onderzoeken is onderzoek verricht aan het Nereda-proces, terwijl het flankerend onderzoek gericht is geweest op de na- en slibbehandeling voor zover dat op pilotschaal representatief kan worden uitgevoerd.

## PILOTONDERZOEK

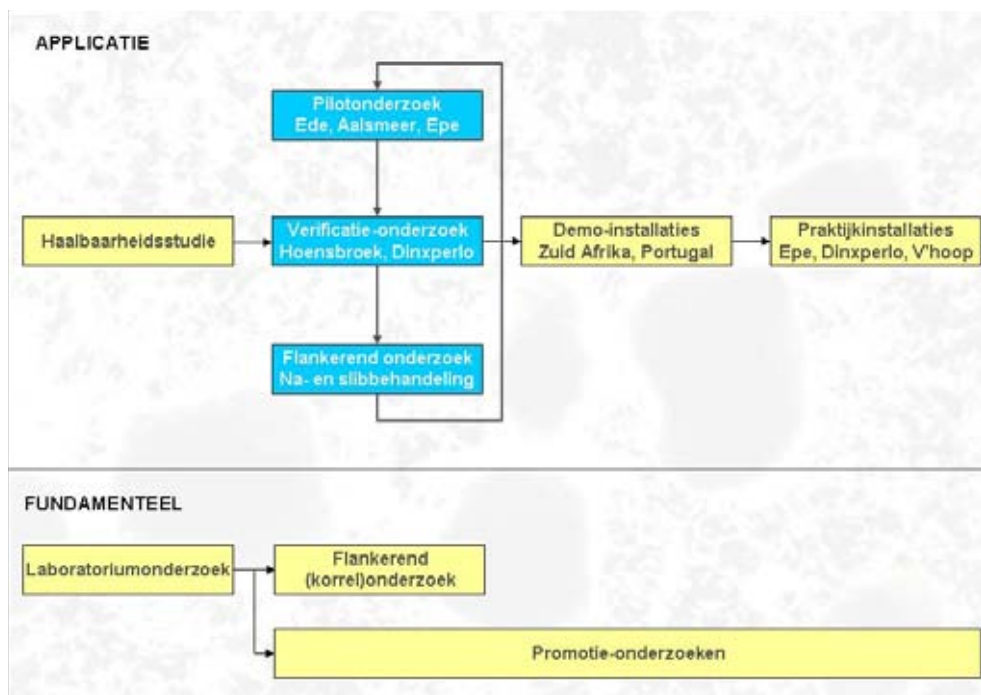
De pilotonderzoeken zijn erop gericht om de technologie verder te ontwikkelen. Hiertoe is in de verschillende projecten een aantal aspecten gestructureerd en met een duidelijke onderlinge samenhang onderzocht. Dat betekent ondermeer dat de looptijden van pilotonderzoeken in vergelijking met de verificatie-onderzoeken veel langer zijn geweest om diepgaand op verschillende onderzoeksaspecten te kunnen ingaan. Bij de pilotonderzoeken hebben de volgende onderzoeksaspecten centraal gestaan.

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

Voor de pilotonderzoeken is een installatie gebouwd waarvan het hart bestaat uit twee parallel bedreven Nereda-reactoren. De keuze voor twee reactoren heeft een onderzoektechnische achtergrond. Om het effect van een maatregel goed te kunnen vaststellen, is voor veel onderzoeksaspecten een referentie vereist. Bij de gekozen opzet was één van de reactoren de referentie-reactor waarvan de bedrijfsvoering zo min mogelijk is gewijzigd, terwijl de andere reactor als “proeftuin” heeft gefungeerd.

AFBEELDING 1

OPZET ONDERZOEKEN



## VERIFICATIE-ONDERZOEK

Het doel van het verificatie-onderzoek is het bevestigen van de toepassingsmogelijkheden van Nereda op de rwzi's Hoensbroek en Dinxperlo en niet zozeer het verder ontwikkelen van de technologie. Voor de verificatie-onderzoeken is eenzelfde installatie gebouwd als voor de pilotonderzoeken, behalve het feit dat de installatie met één in plaats van twee reactoren is uitgevoerd. De verificatie-onderzoeken zijn niet gericht op korrelvorming en uitgangspunt is geweest dat de installaties zijn opgestart met aëroob korrelslib. Kernwoorden bij de

onderzoeken zijn korrelstabiliteit en het zuiveringsrendement. Inzicht is verkregen onder welke omstandigheden een hoog zuiveringsrendement en stabiel korrelslib haalbaar zijn en welke (lokale) factoren daarbij een rol spelen. De pilotonderzoeken zijn in vergelijking met de verificatie-onderzoeken diepgaander van aard. Naast het inperken van de risico's voor een eventueel realisatietraject leveren de verificatie-onderzoeken waardevolle informatie op voor het opstellen van een accuraat ontwerp van een praktijkinstallatie. De uitvoering inclusief de bedrijfsvoering en analyses van de verificatie-onderzoeken zijn samen met de betreffende waterkwaliteitsbeheerder uitgevoerd.

### **NABEHANDELING**

Met de Nereda-technologie is vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering mogelijk en hierop is in paragraaf 4.2) nader ingegaan. De tendens in Nederland met betrekking tot de effluent-eisen voor rwzi's is dat deze steeds strenger worden, vooral voor stikstof en fosfaat. Eisen ten aanzien van stikstof en fosfaat van  $N_{\text{totaal}} < 5 \text{ mg/l}$  en  $P_{\text{totaal}} < 0,5 \text{ mg/l}$  zijn geen uitzondering meer. Dit betekent dat bij het ontwerp van conventionele actiefslibsystemen een aanvullende nabehandeling vereist is. In veel gevallen is de nabehandeling gericht op de verwijdering van zwevendstof, fosfaat en soms ook nitraat. Voor de verwijdering van fosfaat en nitraat dienen chemicaliën te worden gedoseerd, respectievelijk een coagulant (ijzer- of aluminiumproduct) en/of een koolstofbron. In Nederland wordt voor deze toepassing als nageschakelde techniek vaak voor (meertraps) zandfiltratie gekozen. Met betrekking tot Nereda doet de vraag zich voor in hoeverre met een nabehandelingsstap de genoemde strenge effluenteisen ten aanzien van stikstof en fosfaat haalbaar zijn.

Omdat het resterend zwevendstof in de afloop van een Nereda-reactor anders van karakter is dan het zwevendstof in het effluent van een actiefslibstelsysteem, is te verwachten dat nabehandelingssystemen anders moeten worden ontworpen, dan wel anders moeten worden bedreven. Om deze reden is voor de nabehandeling van Nereda-effluent een aantal onderzoeken uitgevoerd:

- 1 een uitgebreid pilotonderzoek naar de toepassingsmogelijkheden voor discontinue zandfiltratie. Dit onderzoek is gericht op de verwijdering van het rest-zwevendstof en het laatste opgeloste fosfaat
- 2 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van het toepassen van doekfiltratie. Hierbij is gekeken naar:
  - a de verwijdering van alleen zwevendstof
  - b de verwijdering van zwevendstof in combinatie met aanvullende fosfaatverwijdering
- 3 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van de verwijdering van zwevendstof met Fuzzy Filtratie

### **SLIBBEHANDELING**

Parallel aan het nabehandelingsonderzoek is onderzoek verricht aan de behandeling van het surplusslib van het Nereda-proces. Hiertoe zijn de mogelijkheden van gangbare technieken onderzocht, namelijk gravitatie-indikking, mechanische indikking en ontwatering. Het slibbehandelingsonderzoek is gericht op haalbare drogestofgehaltes van het ingedikte en ontwaterde slib, het afscheidingsrendement, het chemicaliënverbruik en de eventuele afgifte van fosfaat.

# 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 (zie ref. 1 en ref. 2) 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 volgende randvoorwaarden ten aanzien van de procesvoering een belangrijke rol spelen:

1. hydraulische selectiedruk. Hydraulische selectiedruk leidt tot procesomstandigheden waarbij de groei van goed bezinkbare biomassa wordt bevorderd ten opzichte van slibdeeltjes met lagere bezinksnelheden. In een batch-reactor met een separate vul- en aflatfase vindt hydraulische selectiedruk plaats via het manipuleren van de bezinktijd. Een korte bezinktijd leidt tot de selectie van goed bezinkbare biomassa, want slibdeeltjes met lagere bezinksnelheden worden uit de reactor gespoeld. Voorbeeld: een reactor heeft een waterhoogte tijdens beluchting van 6 meter en de aflat is op 4 meter hoogte gesitueerd. Als de bezinkfase voorafgaand aan de aflatfase 30 minuten duurt, bedraagt de hydraulische selectiedruk in dit geval  $(6-4)/(30/60) = 4$  m/h
2. initieel hoge substraatconcentraties
3. de omzetting van (een deel van) het makkelijk afbreekbaar substraat in opslagproducten, hetgeen leidt tot de selectie van langzaam groeiende organismen
4. de vorming van gladde, egale korrels wordt gestimuleerd als de korrels worden blootgesteld aan hoge afschuifkrachten die worden veroorzaakt door intensieve menging

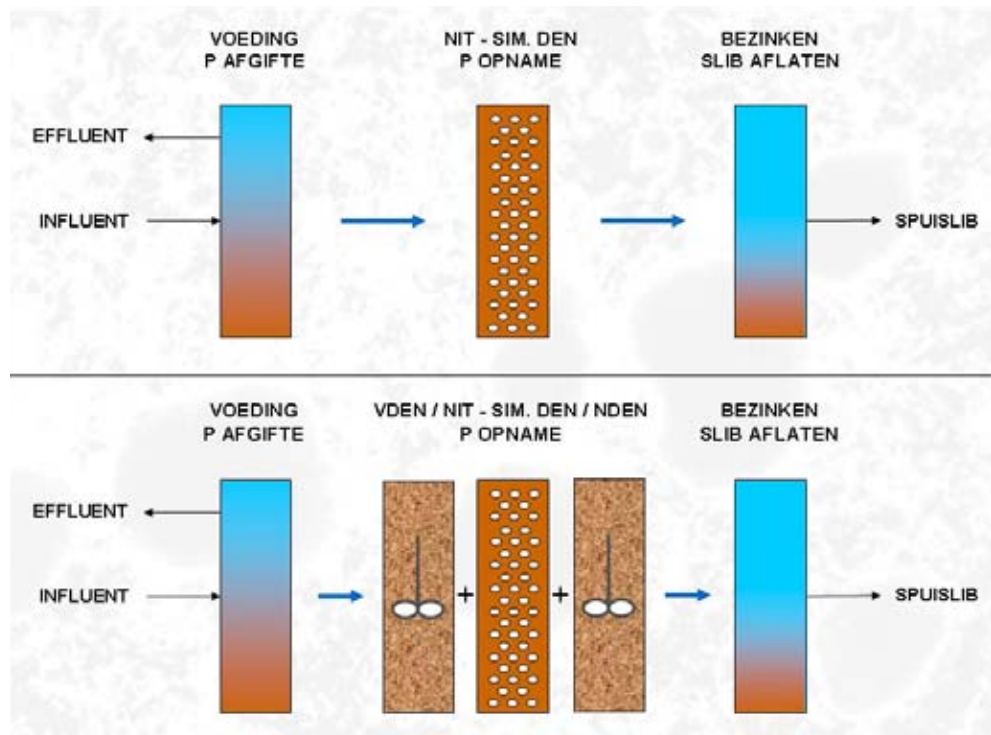
Met bovengenoemde randvoorwaarden is korrelvorming met huishoudelijk afvalwater mogelijk (zie paragraaf 4.1). Verder blijkt dat gevormd korrelslib onder dezelfde procescondities jarenlang in stand kan worden gehouden, waarbij de biologische activiteit van de verschillende omzettingsprocessen op peil 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 batchgewijze procesvoering en de uitstekende bezinkingseigenschappen zijn samengebracht in het Nereda-proces, waarvan de verschillende cyclusstappen met bijhorende processen hieronder zijn beschreven (zie ook Afbeelding 2):

- 1 Vullen / aflaten. Gedurende deze fase wordt het 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. De vulfase is onbelucht en doet daarmee tevens dienst als anaërobe fase ten behoeve van de selectie van Phosphate Accumulating Organisms (PAO's). Deze zetten gedurende de anaërobe vultijd makkelijk afbreekbaar CZV om in polyhydroxyalkanoaten (PHA) waarbij fosfaatafgifte plaatsvindt
- 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 hopen zich de nitrificerders op en treedt dientengevolge nitrificatie op. Het daarbij gevormde nitraat wordt in de kern van de korrel gedenitrificeerd. In de kern van de korrel is voldoende substraat voor denitrificatie vanwege het "doordrenken" 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 bezinkingseigenschappen 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 2 OVERZICHT CYCLUS



In Nederland worden conventionele batch-systemen 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  $4 \text{ kg/m}^3$   $1,0 - 1,5 \text{ m/h}$  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 met name in landen met gescheiden rioolstelsels worden conventionele batchsystemen 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 korrelslib-technologie 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.”*

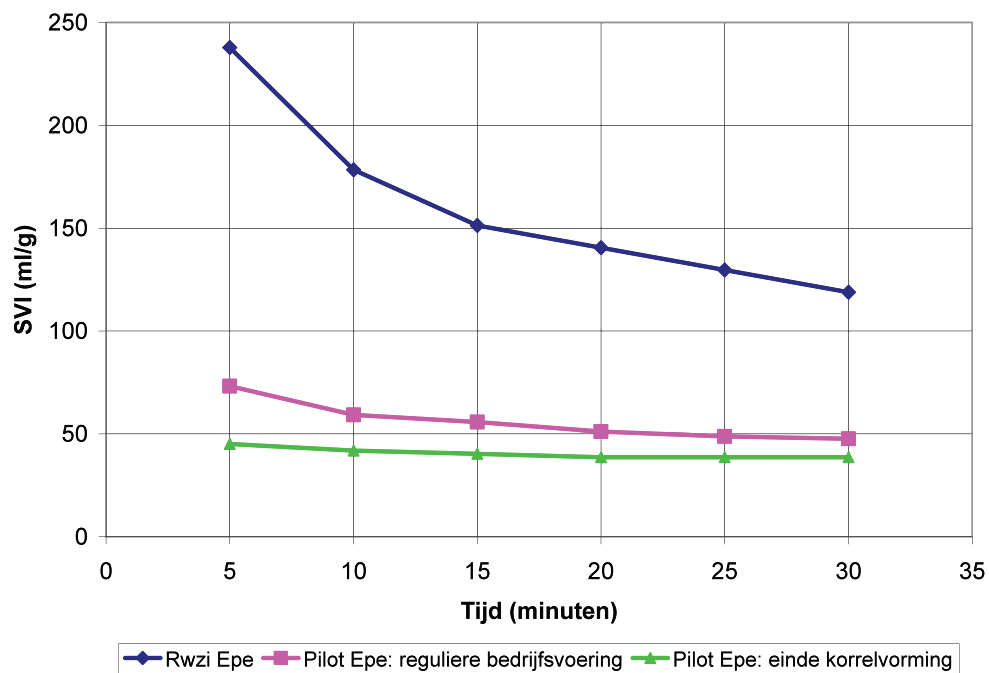
In alle onderzoeken is de korrelvorming gevolgd door SVI-bepalingen, het meten van korrelgrootte-verdelingen, alsmede met behulp van microscopische analyses. De korrelgrootteverdelingen zijn bepaald door verschillende zeeffracties van het slib te meten, te weten de fractie 0,212 – 0,425 mm, de fractie tussen 0,425 – 0,6 mm en de fractie > 0,6 mm. Korrels zijn hierbij gedefinieerd als deeltjes met een diameter groter dan 0,212 millimeter.

Het verloop van een SVI-curve is voor korrelslib heel anders dan voor actiefslib, waarvan Afbeelding 3 een typisch voorbeeld geeft. De weergegeven data betreffen metingen van het korrelslib uit de pilot Epe en het actiefslib van de rwzi Epe. Het blijkt dat er weinig verschil is tussen de SVI na 5 en 30 minuten, hetgeen wordt veroorzaakt door de uitstekende bezinkings-eigenschappen van korrelslib. Daarnaast kenmerkt korrelslib zich door de eigenschap dat het niet of nauwelijks indikt. In Afbeelding 3 zijn voor de pilot twee situaties weergegeven:

1. 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%;
2. na de korrelvorming worden de procescondities enigszins aangepast die optimaal zijn voor de 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 < 0,212 mm bestaat, maar desalniettemin in vergelijking met conventioneel actiefslib nog steeds uitstekende bezinkingseigenschappen heeft.



AFBEELDING 3 ILLUSTRATIEF VOORBEELD VERLOOP SVI AËROOB KORRELSLIB EN ACTIEFSLIB



## 3

## OPZET NEREDA PILOTONDERZOEK

## 3.1 OVERZICHT

Zoals in paragraaf 1.2 is aangegeven, zijn verschillende onderzoeken op diverse locaties uitgevoerd. Tabel 1 geeft hiervan een overzicht met de belangrijkste kenmerken per project. Bij de verificatie-onderzoeken in Hoensbroek en Dinxperlo is het uitgangspunt geweest om de reactoren met aëroob korrelslib op te starten en geen onderzoek naar korrelvorming uit te voeren. Bij aanvang van het onderzoek in Hoensbroek was echter geen aëroob korrelslib beschikbaar en is dit onderzoek derhalve toch met een korrelvormingsfase gestart. Bij het verificatie-onderzoek in Dinxperlo is de reactor opgestart met aëroob korrelslib uit de pilot Hoensbroek. Uit Tabel 1 blijkt dat in de verschillende projecten een aantal aspecten is onderzocht waarvan de achtergronden en resultaten in de volgende paragrafen nader uiteengezet zijn.

TABEL 1 OVERZICHT ONDERZOEKEN EN HOOFDKENMERKEN

Rwzi	Ede	Aalsmeer	Epe*)	Hoensbroek	Dinxperlo
Aspect / Periode	okt 2003 – juli 2005	jan. – sept 2006	dec 2006 – jan. 2010	maart – sept. 2007	okt 2007 – juli 2009
Type onderzoek	pilot	pilot	pilot	verificatie	verificatie
Korrelvorming	ja	ja	ja	ent met anaëroob korrelslib / actiefslib	ent met aëroob korrelslib
Substraat	voorbehandeld afvalwater	ruw influent	ruw influent	ruw influent	ruw influent
Selectiedruk korrelvorming	Hoog	laag	hoog	n.v.t.	n.v.t.
Invloed acetatdosering op korrelvorming	nee	ja	nee	n.v.t.	nee
Type reactor	bellenkolom en airlift reactor	bellenkolom	bellenkolom	bellenkolom	bellenkolom
Beheersing N-verwijdering	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> / NH <sub>4</sub> / NO <sub>3</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> / NH <sub>4</sub> / NO <sub>3</sub>
Duur cyclustijd	vast	vast	vast / dynamisch	vast	vast / dynamisch
Duur cyclusstappen	vast	vast	dynamisch	vast	dynamisch
Aanvullende simultane P-verwijdering (ijzerdosering)	nee	nee	nee	nee	ja
Nabehandelingsexperimenten en -experimenten	doekfiltratie	Fuzzy Filtratie	zandfiltratie / doekfiltratie / Fuzzy Filtratie	nee	nee
Slibbehandelingsexperimenten	nee	nee	ja	nee	nee

\*) De gerapporteerde periode voor Epe is tot en met januari 2010. De pilotinstallatie blijft echter in bedrijf totdat de praktijkinstallatie in Epe is opgestart (medio 2012).

## 3.2 ONDERZOEKSPROGRAMMA

### 3.2.1 KORRELVORMING EN KORRELSTABILITEIT

De verschillende aspecten rondom korrelvorming, alsmede het instandhouden van gevormd korrelslib hebben een belangrijk onderdeel van de onderzoeken gevormd. De bedrijfsvoeringsfilosofie om tot korrelvorming te komen is eenduidig. Het betreft een combinatie van het zekerstellen van biologische fosfaatverwijdering, een hoge slibbelasting (0,3-0,7 kgCZV/(kgDS.d)), een zuurstofgehalte van 2-3 mg/l, alsmede het stapsgewijs opvoeren van de hydraulische selectiedruk.

Het nut van een hoge slibbelasting is tweeledig. Op de eerste plaats leidt een hoge slibbelasting tot een hoge slibproductie en kortere slibleeftijden. Bij kortere slibleeftijden kunnen korrelvormende bacteriën makkelijker de overhand krijgen. Er is echter ook een ondergrens aan de slibleeftijd omdat de korrelvormende bacteriën de tijd moeten krijgen om tot korrels te kunnen uitgroeien. Een tweede consequentie van een hoge slibproductie is de onderdrukking van het nitrificatieproces. Bij hoge slibbelastingen kunnen nitrificeerders niet in de biomassa groeien. Het achterwege blijven van nitrificatie betekent automatisch dat denitrificatie niet hoeft plaats te vinden. Tijdens de opstart is sprake van gesuspendeerd slib met een fractie kleine korrels en is de simultane denitrificatiecapaciteit beperkt. Dit houdt in dat nitrificatie tijdens de opstartperiode leidt tot ophoping van nitraat, dat op haar beurt de korrelvorming negatief beïnvloedt. De aanwezigheid van nitraat kan leiden tot denitrificatie tijdens de voedingsfase omdat vers afvalwater in contact komt met slib en nitraat. Dit heeft tot gevolg dat vetzuren direct worden aangewend voor denitrificatie en derhalve niet beschikbaar zijn voor de P-accumulerende organismen die nodig zijn voor goede korrelvorming op dit type afvalwater.

In vergelijking met de korrelvormingsfase kan éénmaal gevormd korrelslib met een mildere hydraulische selectiedruk in stand worden gehouden en uitgroeien tot hoge slibconcentraties. Tijdens de opstart wordt al het surplusslib met het effluent afgevoerd, hetgeen tot relatief hoge zwevendstofconcentraties in het effluent leidt. Bij de eerste praktijkinstallaties waarbij korrelvorming nog noodzakelijk is en niet kan worden geënt met aëroob korrelslib van andere installaties, dienen (tijdelijke) voorzieningen te worden getroffen om het uitgespoelde zwevendstof niet op het oppervlaktewater te lozen. Hiervoor zijn diverse alternatieven denkbaar, waaronder de mogelijkheid om tijdens de opstart het Nereda-effluent af te voeren naar de bestaande installatie.

Op verschillende locaties is onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van korrelvorming alsmede de stabiliteit van eenmaal gevormd korrelslib, waarbij de invloeden van voorbehandeling, entslib, hydraulische selectiedruk, dosering van acetaat en proces temperatuur zijn onderzocht (zie ook Tabel 1). De achtergronden bij deze aspecten zijn hierna toegelicht.

#### VOORBEHANDELING

Vóór aanvang van het onderzoek in Ede was er alleen ervaring met korrelvorming op basis van acetaat als koolstofbron, hoofdzakelijk uitgevoerd op laboratoriumschaal. Bij aanvang van het eerste pilotonderzoek was de gedachte dan ook, dat korrelvorming met afvalwater als substraat het beste zou verlopen als de fractie aan lagere vetzuren zo hoog mogelijk zou zijn. Hieraan wordt tegemoet gekomen door een voorbehandeling van het afvalwater te introduceren, waarbij zoveel mogelijk zwevendstof wordt verwijderd. Onderzoekstechnisch is dit een logische keuze, maar een dergelijke voorbehandeling ligt vanwege het kostenaspect bij praktijkinstallaties niet voor de hand. De latere onderzoeken zijn er dan ook op gericht geweest om korrelvorming tot stand te brengen onder omstandigheden die in praktijkinstallaties

goed uitvoerbaar zijn en tot zo min mogelijk extra kosten leiden. Tabel 2 geeft een overzicht van de voorbehandeling in de verschillende projecten tijdens de korrelvorming.

TABEL 2 VOORBEHANDELING AFVALWATER PILOTONDERZOEKEN GEDURENDE KORRELVORMINGSFASE

Project	Voorbehandeling
Ede	Voorbezinking in combinatie met nageschakelde zandfiltratie
Aalsmeer	Zeefbocht (spleetwijdte 1 mm)
Epe	Beluchte zand- en vetvang (van de rwzi Epe zelf) Roostergoedverwijdering (gaatjes 2 mm)
Hoensbroek	Zandvang (van de rwzi Hoensbroek zelf) Roostergoedverwijdering (gaatjes 2 mm)
Dinxperlo	Zandvang (van de rwzi Dinxperlo zelf) Roostergoedverwijdering (gaatjes 2 mm)

### ENTSLIB

Een potentieel nadeel van de Nereda-technologie is de relatief lange opstarttijd die voor de korrelvorming nodig is. In principe geldt dit nadeel alleen maar voor de eerste praktijkinstallaties. Nadat er op praktijkschaal een aantal rwzi's is gerealiseerd, kunnen de volgende installaties worden geënt met aëroob korrelslib van reeds opgestarte rwzi's. Naar analogie met de ontwikkeling van de anaërobe korrelslibtechnologie lijkt enting met korrelslib grote mogelijkheden te hebben en is derhalve onderzoek uitgevoerd naar het effect van enting met zowel aëroob als anaëroob korrelslib (zie Tabel 3).

TABEL 3 ENTSLIB

Project	Reactor 1	Reactor 2
Ede	Actiefslib	Actiefslib
Aalsmeer	Aëroob korrelslib Ede	Actiefslib
Epe	Vervuild aëroob korrelslib Aalsmeer / actiefslib	Vervuild aëroob korrelslib Aalsmeer / actiefslib
Hoensbroek	Anaëroob korrelslib brouwerij	Niet van toepassing
Dinxperlo	Aëroob korrelslib Hoensbroek	Niet van toepassing

De beide reactoren van de pilotinstallatie in Ede zijn opgestart met actiefslib van de rwzi Ede omdat op dat moment simpelweg geen aëroob korrelslib voorhanden was. Bij het volgende onderzoek in Aalsmeer is één reactor met korrelslib opgestart en de andere reactor met actiefslib. Zodoende is het effect hiervan op de opstarttijd onderzocht. Na afloop van het onderzoek in Aalsmeer was het slib tijdelijk opgeslagen, maar kwam door onvoorziene omstandigheden in een olie-afscheider terecht. Een aanzienlijk deel van het korrelslib ging hiermee verloren en het resterende slib was vervuild met olie en zand. Met dit verontreinigde slib en een hoeveelheid actiefslib is de pilotinstallatie in Epe opgestart.

De installatie in Hoensbroek is niet volgens plan opgestart met aëroob korrelslib. Reden hiervoor is dat ten tijde van het begin van het onderzoek nog onvoldoende aëroob korrelslib voorhanden was. Als alternatief is gekozen voor een opstart met anaëroob korrelslib van een brouwerij. De installatie in Dinxperlo is geënt met het aëroob korrelslib van de pilotinstallatie in Hoensbroek.

### HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK

Een tweede factor waarvan de invloed op de korrelvorming is onderzocht, betreft de hydraulische selectiedruk. De hydraulische selectiedruk kan op verschillende manieren worden

gecreëerd. Tijdens de korrelvorming is een hoge hydraulische selectiedruk nodig om de korrelvorming tot stand te brengen. Tijdens deze fase is de effluentkwaliteit minder belangrijk en kan de hydraulische selectiedruk hierop worden afgestemd. Als korrels eenmaal zijn gevormd, kan met een mildere hydraulische selectiedruk worden volstaan om de korrelpopulatie in stand te houden. De hoogte van de benodigde hydraulische selectiedruk om tot vergaande korrelvorming te komen, wordt empirisch bepaald en hangt samen met de influentsamenstelling, de ontwikkeling van de slibeigenschappen en de slibaanwas. In Tabel 4 is een overzicht gegeven van de ranges van de hydraulische selectiedruk tijdens de korrelvorming. Tijdens de reguliere bedrijfsvoering is juist een hoge effluentkwaliteit belangrijk en worden derhalve andere randvoorwaarden gesteld aan het opleggen van de hydraulische selectiedruk. Deze bedraagt dan circa 5 m/h.

TABEL 4 OVERZICHT HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK TIJDENS KORRELVORMING

Project	Hydraulische selectiedruk (m/h)	
	Reactor 1	Reactor 2
Ede	2,5 – 8,0	2,5 – 7,0
Aalsmeer	2,5 – 4,0	2,5 – 4,0
Hoensbroek	2,0 – 11,0	n.v.t.
Dinxperlo	3,0 – 8,8	n.v.t.
Epe	2,0 – 9,8	2,0 – 7,8

#### ACETAATDOSERING

Uit diverse laboratoriumonderzoeken blijkt dat korrelvorming onder gecontroleerde condities en met synthetisch afvalwater goed verloopt. In Aalsmeer is getracht om korrelvorming te bewerkstelligen met een relatief lage hydraulische selectiedruk (zie Tabel 4). Het is gebleken dat hiermee gedeeltelijke korrelvorming kan worden gerealiseerd, maar voor vergaande korrelvorming is dit niet toereikend. In Aalsmeer is de invloed van een aanvullende acetaatdosering aan het afvalwater onderzocht om zodoende de korrelvorming succesvol af ronden.

#### PROCESTEMPERATUUR

Laboratoriumonderzoek van de TU Delft heeft laten zien dat vergaande korrelvorming bij een procestemperatuur 20 °C probleemloos verloopt (zie ref. 2). Ditzelfde onderzoek heeft aangetoond dat gevormd korrelslib goed bestand is tegen temperatuurswisselingen. Daarentegen bleek korrelvorming bij een procestemperatuur van 8 °C niet goed mogelijk.

Op basis van deze ervaringen is ervoor gezorgd dat de korrelvorming in de pilotonderzoeken bij een procestemperatuur van minimaal 15 °C is verlopen. Indien korrelvorming bij dergelijke procestemperaturen mogelijk blijkt te zijn, is het vervolgens de vraag of de korrelslibstabiliteit wordt beïnvloed door temperatuurschommelingen als gevolg van wisselende klimatologische omstandigheden.

#### 3.2.2 STIKSTOF- EN FOSFAATVERWIJDERING

De onderzoeken in Ede, Aalsmeer en Hoensbroek hebben in eerste instantie in het teken gestaan van korrelvorming. Een tweede hoofddoelstelling betrof het aantonen van de potentie voor stikstof- en fosfaatverwijdering. De mogelijkheden voor de optimalisatie van de stikstof- en fosfaatverwijdering zijn in deze onderzoeken relatief beperkt geweest. Debet hieraan waren het ontbreken van on-line analysers voor stikstof en fosfaat, alsmede een onvoldoende flexibele procesbesturing. Dit betekent dat de aansturing van de zuurstofvraag heeft plaatsgevonden op basis van een vaste zuurstofconcentratie met eenvoudige PI-regeling en er waren geen mogelijkheden voorhanden om de duur van de biologische processen per cyclus flexibel in te richten. Er is sprake geweest van vaste tijden van de cyclusstappen.

Met de genoemde technische beperkingen is het desondanks mogelijk gebleken om tot vergaande biologische fosfaatverwijdering te komen (0,6 – 1,6 mgPO<sub>4</sub>-P/l, zie Tabel 7). Ook de potentie voor een stabiele stikstofverwijdering is aangetoond. Voor de onderzoeken in Epe en Dinxperlo zijn de ambities op het gebied van stikstof- en fosfaatverwijdering hoger gesteld. Hierbij zijn de mogelijkheden nagegaan van verdergaande stikstof- en fosfaatverwijdering ( $N_{\text{totaal}} \ll 10 \text{ mgN/l}$  en  $P_{\text{totaal}} \ll 1 \text{ mgP/l}$ ) gedurende een lange periode inclusief één of meerdere winters. Om dit doel te bereiken, zijn beide pilotinstallaties op enkele punten aangepast. In de eerste plaats zijn on-line analysers voor stikstof en fosfaat geplaatst en is nieuwe besturingssoftware geïnstalleerd die vergaande flexibilisering van de cyclusbouw mogelijk maakte. Met de nieuwe software is een flexibele opzet van de cyclus mogelijk en is het eenvoudig om de volgorde van cyclusstappen aan te passen of nieuwe toe te voegen. Tevens is het mogelijk om de duur van de cyclusstappen te variëren op basis van on-line metingen.

Met genoemde maatregelen is het mogelijk gebleken om de stikstof- en fosfaatverwijdering sterk te verbeteren en te stabiliseren. Het karakter van het onderzoek op de rwzi Dinxperlo veranderde hiermee van een verificatie-onderzoek in een pilotonderzoek. Zoals aangegeven onderscheidde de procesvoering van Epe en Dinxperlo zich door de getroffen maatregelen van de andere onderzoeken. Door de technische aanpassingen is het ondermeer mogelijk geweest aanvullende denitrificatieperiodes te introduceren. Deze blijken voor de Nederlandse situatie nodig te zijn om de beschikbare denitrificatiecapaciteit ten volle te benutten om de sterk wisselende stikstofvrachten per cyclus te allen tijde optimaal te kunnen verwerken.

De biologische fosfaatverwijdering is in alle onderzoeken goed tot zeer goed te noemen. Alleen in Dinxperlo bleef de biologische fosfaatverwijdering enigszins achter (effluentconcentratie 2-3 mgPO<sub>4</sub>-P/l) en zijn de mogelijkheden nagegaan van een aanvullende ijzerdosering in de reactor. Achtergrond hierbij is om de mogelijkheden van zeer vergaande fosfaatverwijdering aan te tonen (effluentconcentratie 0,5 mgPO<sub>4</sub>-P/l), zonder dat dit ten koste gaat van de korrelslibeigenschappen en de effluentkwaliteit ten aanzien van stikstof en zwevendstof.

### 3.3 BESCHRIJVING PILOTINSTALLATIES

De onderzoeken in Ede, Aalsmeer en Epe zijn met nagenoeg dezelfde pilotinstallatie uitgevoerd. Uitzondering hierop is de voorbehandeling die voor elk project specifieke eisen had en hiervan is een overzicht gegeven in Tabel 2. Voor wat betreft de mate van monitoring en automatisering heeft de installatie in Epe een duidelijke ontwikkeling doorgemaakt ten opzichte van Ede en Aalsmeer. Deze verschillen zijn eerder toegelicht in paragraaf 3.2.2 en betreffen met name het aantal on-line analysers alsmede de besturingssoftware.

De pilotinstallatie omvat de volgende procesonderdelen:

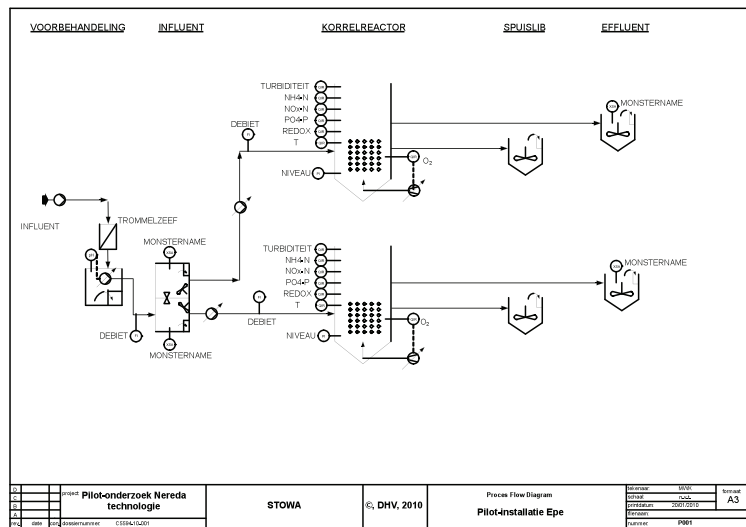
- 1 voorbehandeling (zie Tabel 2)
- 2 influentpomp met een capaciteit van 1-5 m<sup>3</sup>/h
- 3 verdeelwerk
- 4 twee gemengde influentbuffers. In elke buffer is een voedingspomp geplaatst met een capaciteit van 0-2 m<sup>3</sup>/h. Het afvalwater in de influentbuffers kon worden verwarmd
- 5 twee parallel bedreven bellenkolommen met elk een hoogte van 6 m en diameter van 0,6 m. Zuurstof is ingebracht door het inblazen van fijne bellen met een compressor (capaciteit 5 Nm<sup>3</sup>/h). De luchtinbreng is geregeld op basis van het zuurstofgehalte. De bepaling dan wel instelling van het zuurstofsetpoint verschilt per project
- 6 twee gemengde effluentbuffers
- 7 het surplusslib is opgevangen in buffers

Het effluent stroomt onder vrij verval via de effluentbuffers naar de terreinriolering. Vanuit de buffertanks is het effluent tijdsproportioneel bemonsterd. De overige waterstromen (ruw influent, influenten reactoren) zijn debietsproportioneel bemonsterd.

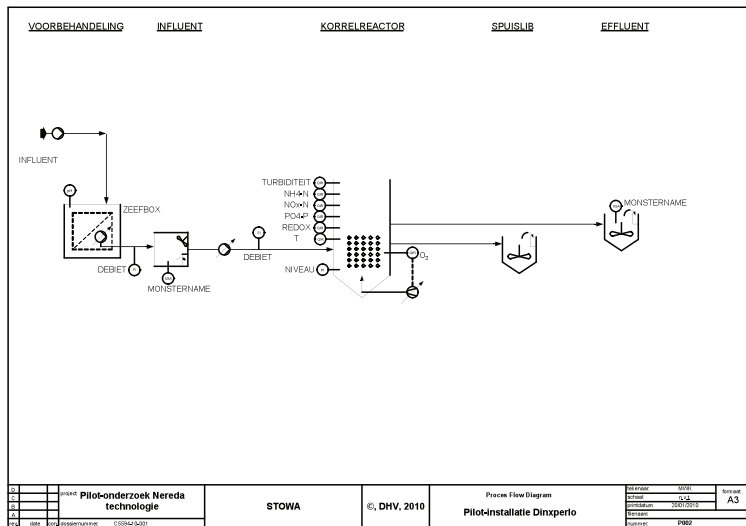
Het ontwerp, dimensionering en functionaliteit van de pilotinstallatie die voor de verificatie-onderzoeken is gebouwd, komt overeen met de hierboven beschreven installatie. Enig verschil tussen de twee installaties is het aantal Nereda-reactoren. De installatie voor de pilotonderzoeken is uitgevoerd met twee reactoren en de installatie voor de verificatie-onderzoeken met één.

Afbeelding 4 en Afbeelding 5 bevatten foto's en processchema's van de pilotinstallaties op de rwzi's Epe en Dinxperlo.

AFBEELDING 4 FOTO EN PROCESSHEMA PILOTINSTALLATIE OP RWZI EPE



AFBEELDING 5 FOTO EN PROCESSHEMA PILOTINSTALLATIE OP RWZI DINXPERLO



## 4

## RESULTATEN NEREDA PILOTONDERZOEK

## 4.1 KORRELVORMING EN KORRELSTABILITEIT

Bij de korrelvorming spelen in de verschillende onderzoeken zijn onderzocht de volgende factoren een rol (zie ook paragraaf 3.2.1): de invloed van de voorbehandeling, het type entslib en de hydraulische selectiedruk. Deze paragraaf beschrijft de resultaten met betrekking tot de korrelvorming en korrelstabiliteit. De slibeigenschappen zijn bepaald door het meten van deeltjesgrootteverdelingen, de drogestofconcentratie en de slibbezinkingseigenschappen (zie Afbeelding 6 tot en met Afbeelding 17). Een aspect dat bij de afbeeldingen opvalt, betreft de relatief grote variaties bij het verloop van de drogestofconcentratie. Door de goede bezinkingseigenschappen van korrelslib is een representatieve monsternamen moeilijk. Door voldoende metingen uit te voeren is het verloop van de slibconcentratie over langere tijd goed zichtbaar, maar de variatie tussen opéénvolgende metingen is relatief groot. Dit effect is ook zichtbaar in de grafieken van de korrelfracties en de slibbezinkingseigenschappen (SVI).

Voor de korrelvorming is de samenstelling van de koolstofbron in het afvalwater van belang. De fractionering is op hoofdlijnen bepaald. Van alle influentmonsters zijn de totale en opgeloste CZV-concentraties bepaald. Tabel 5 geeft hiervan een overzicht, waarbij de volgende kanttekeningen kunnen worden gemaakt. De lage CZV<sub>totaal</sub>-concentratie in Ede is terug te voeren op de voorbehandeling van het afvalwater. Een lage CZV<sub>totaal</sub>-concentratie is opvallend in Hoensbroek. Ook de pilotinstallatie in Aalsmeer is gevoed met ruw afvalwater en hierbij valt de lage CZV<sub>opgelost</sub>-concentratie op voordat acetaat is gedoseerd. De acetaatdosering heeft de CZV-concentratie in het influent met circa 50% verhoogd. Daarnaast heeft in Aalsmeer de aanwezigheid van vezels in het afvalwater mogelijk een rol gespeeld bij de korrelvorming.

TABEL 5 CZV-CONCENTRATIES TOEVOER NEREDA IN MG/L

Project	CZVtotaal	CZVopgelost	CZVtotaal / CZVopgelost	Opmerking
Ede	330	250	1,3	korrelvormingsfase
Aalsmeer	400	180	2,2	voor acetaatdosering
Aalsmeer	585	446	1,3	na acetaatdosering
Epe	575	313	1,8	december 2006 – januari 2010
Hoensbroek	315	227	1,4	april 2007 – augustus 2007
Dinxperlo	460	285	1,6	oktober 2007 – juli 2009

Hierna is per project ingegaan op de specifieke kenmerken en de invloedsfactoren tijdens de korrelvorming.

**EDE**

Uit laboratoriumonderzoek van de TU Delft is ten tijde van de opstart van het pilotonderzoek in Ede bekend dat korrelvorming in airlift reactoren sneller verloopt in vergelijking met beltenkolommen en dat korrelvorming bij lage temperaturen niet lukt. Korrelvorming in het laboratorium is veelal gerealiseerd bij hoge – verzadigde – zuurstofconcentraties.



In Ede lukte het voor de eerste keer om korrelvorming onder praktijkomstandigheden te bewerkstelligen. Dit onderzoek startte in september 2003 en in eerste instantie is gezocht naar de optimale bedrijfsvoering. Daarnaast heeft de winterperiode 2003/2004 tot heel lage temperaturen in de reactor geleid. Vanaf begin 2004 is voor een bedrijfsvoering gekozen met een hoge slibbelasting en een gemiddelde hydraulische selectiedruk van ongeveer 3 m/h. Deze strategie leidt tot redelijke bezinkingseigenschappen, maar vergaande korrelvorming blijft achterwege. Tot juni 2004 is reactor 2 uitgevoerd met een airlift maar door onvoldoende verschil in resultaten met reactor 1 (bellenkolom) is reactor 2 eveneens omgebouwd tot beltenkolom. Een ander verschil tussen reactor 1 en 2 is dat beide reactoren een groot deel van de opstartperiode bij een verschillend zuurstofgehalte zijn bedreven: respectievelijk 2 en 5 mg/l. Om de korrelvorming te stimuleren en de fractie aan vetzuren te verhogen, is in juli 2004 de voorbehandeling uitgebreid met een nageschakeld zandfilter. De slibbezinkingseigenschappen verbeterden en de korrelfractie nam toe. Vergaande korrelvorming kwam tot stand door in september/oktober 2004 in beide reactoren de hydraulische selectiedruk stapsgewijs te verhogen tot 7 m/h. Eind oktober 2004 was sprake van volledige korrelvorming bij een slibgehalte van 3-4 kg/m<sup>3</sup>, waarna de hydraulische selectiedruk werd verlaagd en als gevolg daarvan de slibconcentratie snel toenam. Ondanks de verlaging van de selectiedruk bleef de korrelfractie goed op peil. Tot het einde van het onderzoek in juli 2005 was sprake van stabiel korrelslib bij een concentratie van 8 tot 12 kg/m<sup>3</sup>, terwijl de voorbehandeling aan het begin van 2005 is aangepast. Teneinde de mogelijkheden van nutriëntenverwijdering na te gaan is vanaf januari 2005 reactor 1 gevoed met voorbezonden afvalwater en reactor 2 met ruw afvalwater.

#### **AALSMEER**

Het onderzoek in Ede betekent een doorbraak omdat voor het eerst korrelvorming onder praktijkomstandigheden is aangetoond. In Aalsmeer is vervolgens onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van korrelvorming met ruw afvalwater en een lagere hydraulische selectiedruk. Reactor 1 werd opgestart met korrelslib van Ede dat vier maanden zonder enige behandeling vorstvrij was opgeslagen. Door de TU Delft zijn voorafgaand aan het onderzoek activiteitsmetingen aan het opgeslagen korrelslib uitgevoerd. Hiertoe zijn monsters korrelslib genomen en is bij een temperatuur van 20 °C de respiratiesnelheid bepaald, zonder toevoeging van een koolstofbron. De respiratiesnelheid bedroeg 7,7 mgO<sub>2</sub>/(kgDS.h), hetgeen een normale waarde is voor actiefslib. Deze meting geeft aan dat de activiteit van het slib in orde leek. De korrelvorming op basis van ruw afvalwater verliep minder makkelijk in vergelijking met Ede. De redenen hiervoor zijn waarschijnlijk terug te voeren op een lagere hydraulische selectiedruk en de samenstelling van het afvalwater. Tijdens de gehele onderzoeksperiode was de hydraulische selectiedruk relatief beperkt (overwegend 2 m/h en een korte periode 4 m/h), omdat een dergelijke opstartstrategie in de praktijk eenvoudig realiseerbaar zou zijn. De mogelijke invloed van de influentsamenstelling betreft de hoge CZVtotaal/CZVopgelost-verhouding alsmede de aanwezigheid van vezelig materiaal – waarschijnlijk afkomstig van de plaatselijke grote bloemenveiling. Bij de gegeven procescondities – met name de lagere hydraulische selectiedruk – hadden de vezels waarschijnlijk invloed op het bezinkgedrag van het slib. Vermoedelijk zou bij een hogere hydraulische selectiedruk de invloed van de vezels in het afvalwater veel minder zijn geweest.

De resultaten laten zien dat de korrelvorming in reactor 1 gestaag toenam. Dit komt overeen met het beeld in Ede dat gevormd korrelslib doorgroeit, ook bij een lagere hydraulische selectiedruk.

Reactor 2 laat een ander beeld zien. Doordat deze reactor niet met korrelslib was geënt, blijken genoemde procesomstandigheden onvoldoende om tot vergaande korrelvorming te

komen. Ondanks een aanpassing van de voorbehandeling, waardoor het vezelig materiaal in het afvalwater kon worden verwijderd, bleef de korrelfractie steken op 50% en de SVI 5 bleef aan de hoge kant. Door tijdens de voedingsfase aanvullend acetaat te doseren, kwam hier vanaf medio augustus 2006 verandering in. Vanaf dit moment verbeterden de omstandigheden voor korrelvorming en bedroeg de korrelfractie aan het einde van het onderzoek 70%.

### **HOENSBROEK**

Het onderzoek in Hoensbroek startte eind maart 2007 en is de reactor met anaëroob korrelslib geënt. Deze enting heeft de verwachtingen niet ingelost. Na twee tot drie maanden was vrijwel al het anaërobe korrelslib verdwenen, hetgeen vooral blijkt uit de slibbezinkingseigenschappen. Vlak na de opstart bepaalde het entslib nog de slibeigenschappen en dat vertaalde zich in zowel een lage SVI 5 als SVI 30, maar al snel liep met name de SVI 5 op en daalde de slibconcentratie. De korrelvorming kwam voor het grootste deel autonoom tot stand, waarbij een hoge selectiedruk (5-12 m/h) van doorslaggevend belang was. Uit microscopisch onderzoek bleek dat er aërobe korrels waren met een anaërobe kern, maar het zijn er te weinig voor een substantiële bijdrage. Belangrijk aandachtspunt bij de korrelvorming was dat bij een te hoge hydraulische selectiedruk de hoeveelheid korrelslib niet toenam. Onder deze condities worden teveel (kleine) korrels uitgespoeld die derhalve geen kans krijgen uit te groeien. Het onderzoek heeft laten zien dat het dan beter is om de selectiedruk enigszins te verlagen.

### **DINXPERLO**

Het onderzoek in Dinxperlo startte twee weken na afsluiting van het onderzoek in Hoensbroek. De reactor in Dinxperlo is opgestart met korrelslib van Hoensbroek. Gedurende de periode vanaf de opstart tot medio november 2007 is de pilot bedreven bij een hoge hydraulische selectiedruk (maximaal 9 m/h), hetgeen tot een daling van de drogestofconcentratie leidde. Evenals bij Hoensbroek was bij Dinxperlo in het begin van het onderzoek sprake van een fragiel evenwicht tussen een hoge selectiedruk en een lage drogestofconcentratie. In de loop van het onderzoek is een aantal technische aanpassingen – bijvoorbeeld het verlagen van de beluchtingsschotel – aan de reactor doorgevoerd. Hierdoor kon het korrelslib makkelijker in suspensie worden gehouden en bleken hogere concentraties mogelijk. Genoemde technische aspecten hebben vermoedelijk een negatieve rol gespeeld bij de korrelvorming in Hoensbroek.

Vanaf het moment dat in Epe korrelslib voldoende voorhanden was, is de installatie in Dinxperlo twee keer bijgeënt met korrelslib. Vanaf april 2008 is slibconcentratie hoger dan 5 kg/m<sup>3</sup> en is sprake van een stabiel korrelslibstelsel.

### **EPE**

Het onderzoek op de rwzi Epe onderscheidt zich van de andere onderzoeken omdat de vuillast vanuit de industrie hoog is. Het betreft met name bedrijven vanuit de voedingsmiddelensector en het aandeel op vuillast hiervan bedraagt 25% van het totaal. Eén van de consequenties hiervan is dat de hoeveelheid vet in het afvalwater hoog is. De rwzi Epe is om deze reden uitgevoerd met een beluchte zand-/vetvang en de pilotinstallatie is gevoed met de afloop van de zandvang.

Beide reactoren in Epe zijn opgestart met vervuild korrelslib van de installatie in Aalsmeer. De reactoren zijn vlak na de opstart bijgeënt met goed bezinkbaar actiefslib van een awzi bij een voedingsmiddelenbedrijf. Conform de aanpak in Aalsmeer is in eerste instantie de hydraulische selectiedruk beperkt en dit resulteerde erin dat de korrelfracties niet toenamen. Vanaf april 2007 is in reactor 1 de hydraulische selectiedruk opgevoerd en in juni 2007 was sprake van vergaande korrelvorming. Bij reactor 1 valt op dat de korrelfractie in augustus/

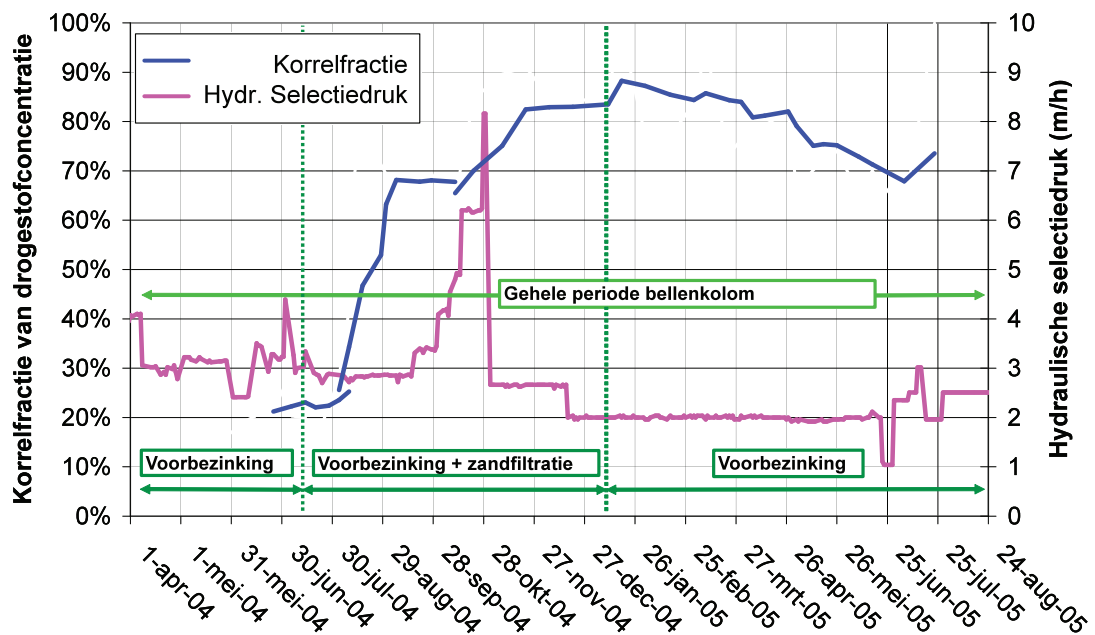
september 2007 kortstondig terugliep. De reden is gelegen in een te hoge hydraulische selectiedruk waardoor de korrels onvoldoende kans krijgen om uit te groeien. In oktober 2007 is de hydraulische selectiedruk tot normale waarden teruggebracht (2-6 m/h), hetgeen leidde tot herstel van de korrelslibpopulatie.

In de periode april tot juni 2007 is de hydraulische selectiedruk in reactor 2 niet verhoogd, waardoor de korrelvorming niet toenam. Vanaf juli 2007 werd de hydraulische selectiedruk opgevoerd, hetgeen net als in reactor 1 tot een verbetering van de korrelvorming leidde en in oktober 2007 was sprake van vergaande korrelvorming.

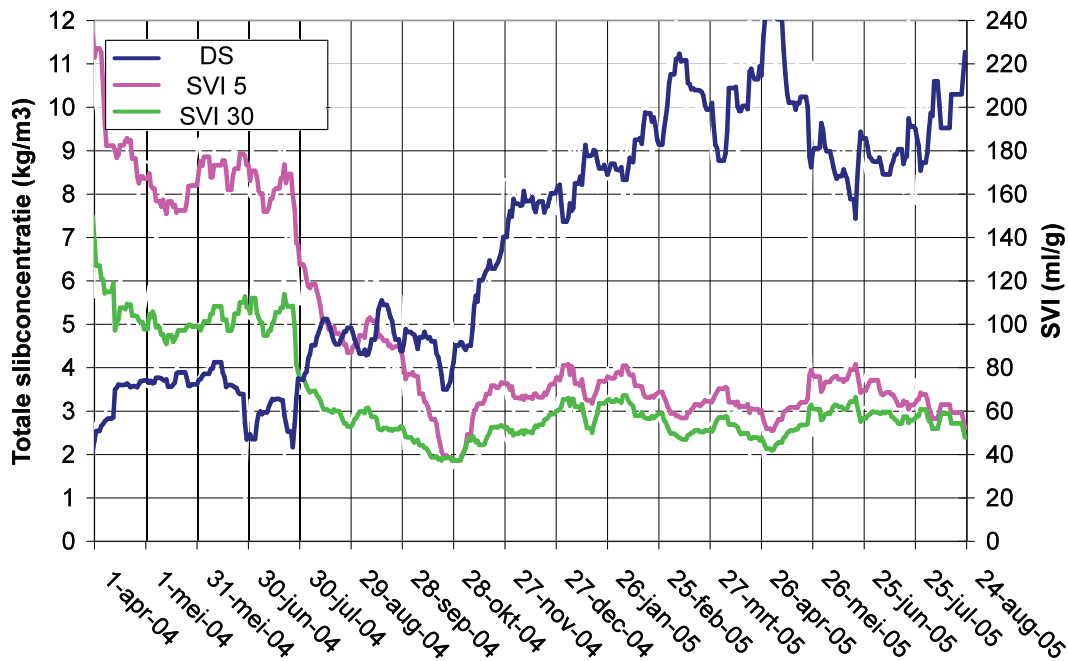
Na de korrelvorming was het onderzoek gericht op een verdere groei van het korrelslib en het optimaliseren van het zuiveringsrendement. Eind 2008 was in beide reactoren sprake van hoge korrelslibconcentraties. Om het proces te allen tijde goed te kunnen beheersen, is in 2009 de slibconcentratie doelbewust enigszins verlaagd. Hierbij is een gemiddelde concentratie van 8 kg/m<sup>3</sup> nagestreefd.

Het blijkt derhalve dat volledige korrelvorming in beide reactoren is gerealiseerd. Uit de resultaten blijkt verder dat na de korrelvorming het korrelslib voor een periode van 2,5 jaar in beide reactoren goed in stand kon worden gehouden. Dit betekent dat gevormd korrelslib goed bestand is tegen wisselende procesomstandigheden (influent samenstelling, proces temperatuur) zoals die op rwzi's voorkomen.

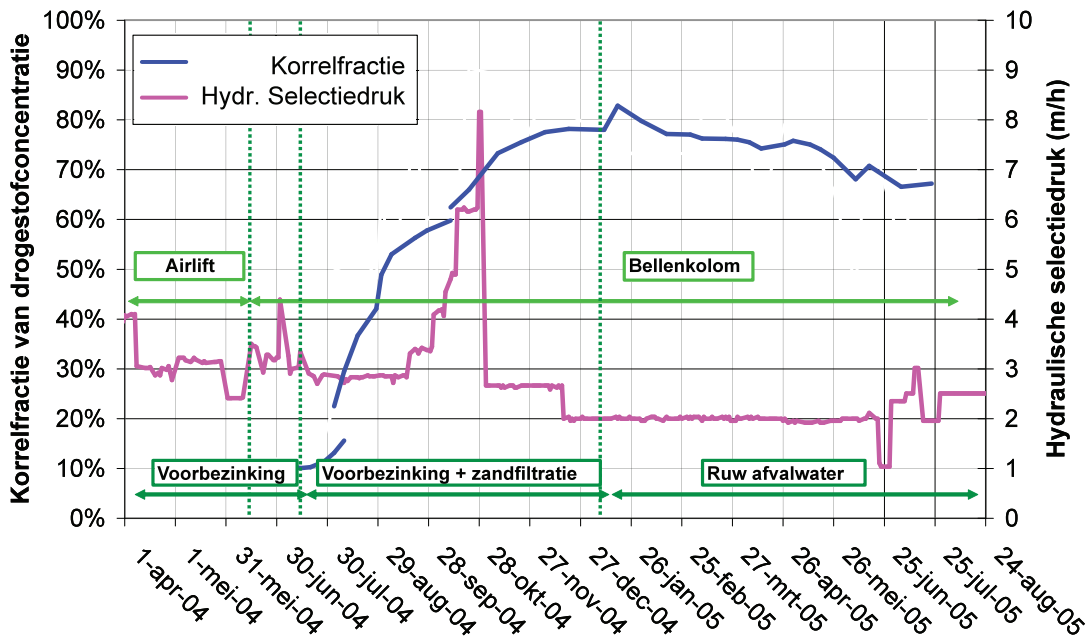
AFBEELDING 6 EDE REACTOR 1: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELTE VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



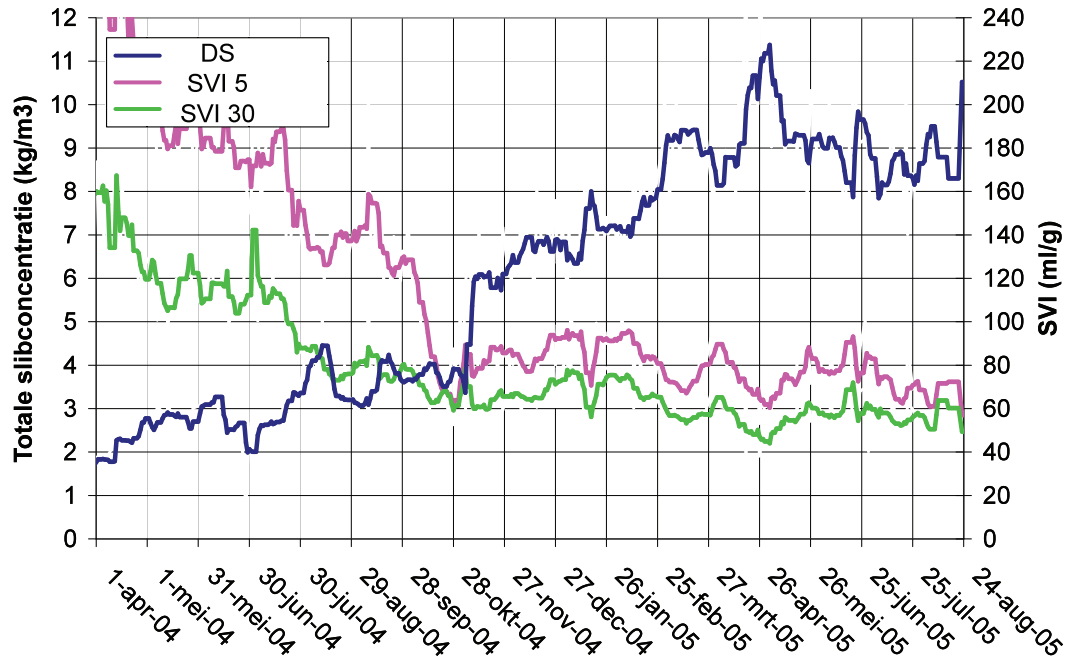
AFBEELDING 7 EDE REACTOR 1: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



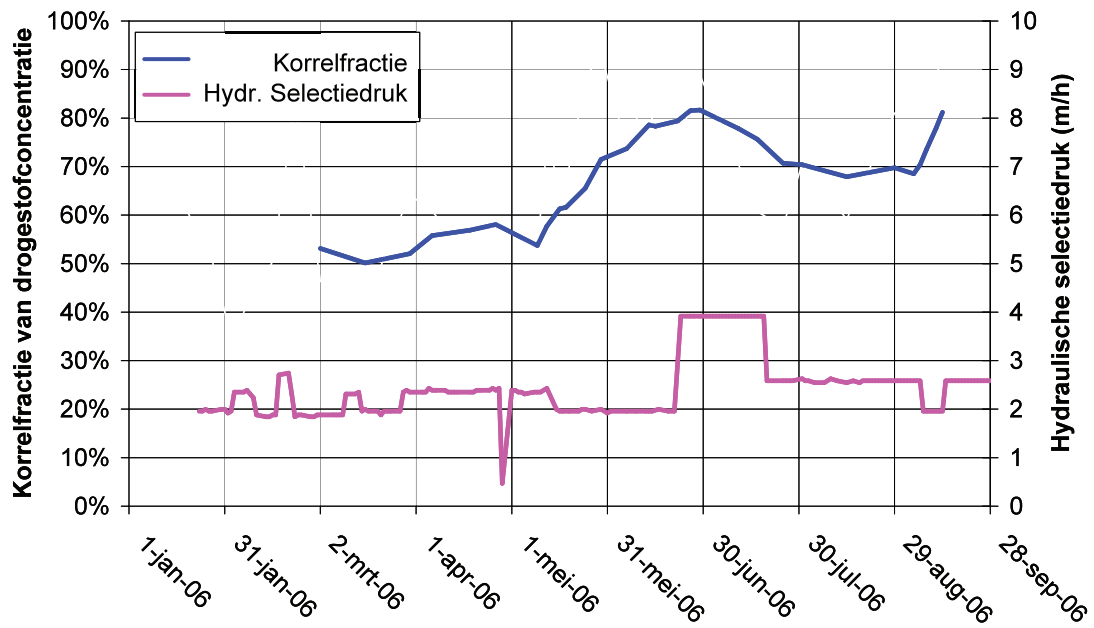
AFBEELDING 8 EDE REACTOR 2: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRJDEND GEMIDDELD VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



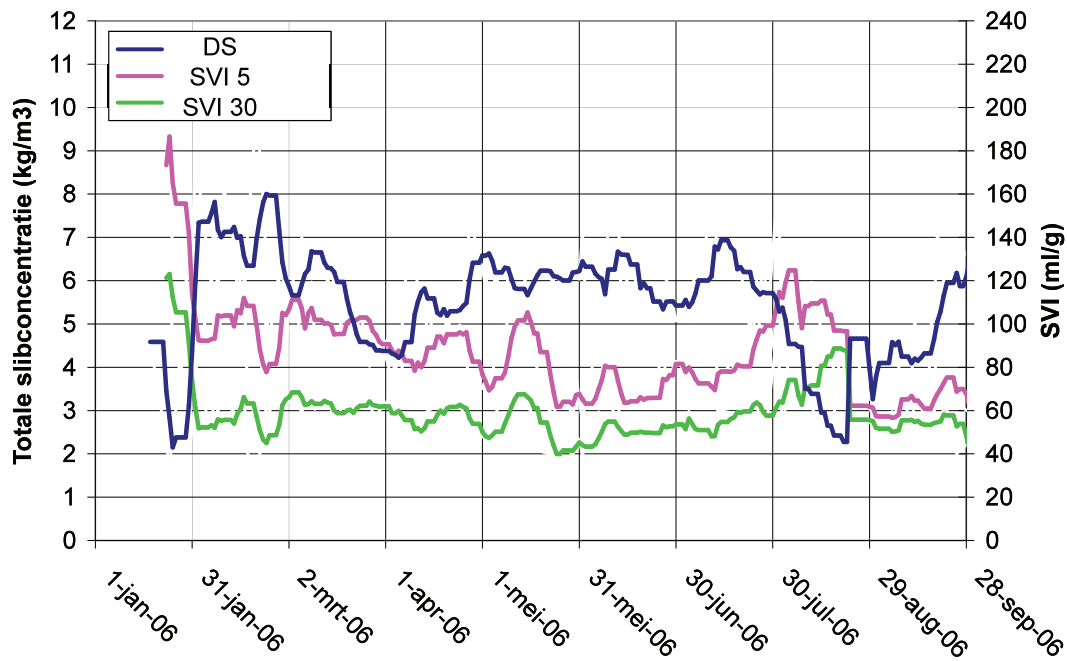
AFBEELDING 9 EDE REACTOR 2: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



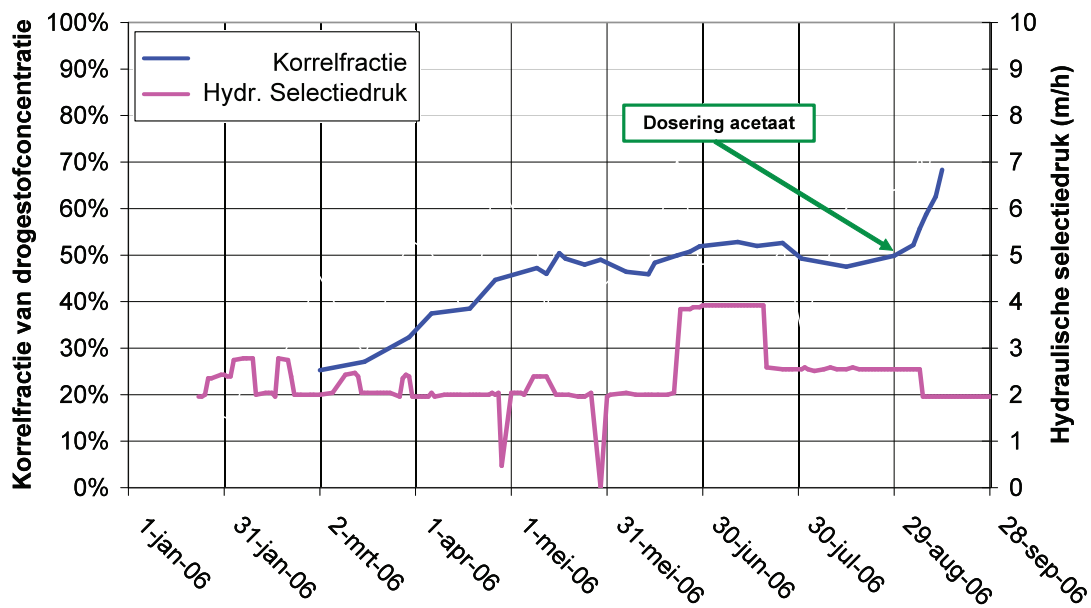
AFBEELDING 10 AALSMEER REACTOR 1: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELD VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



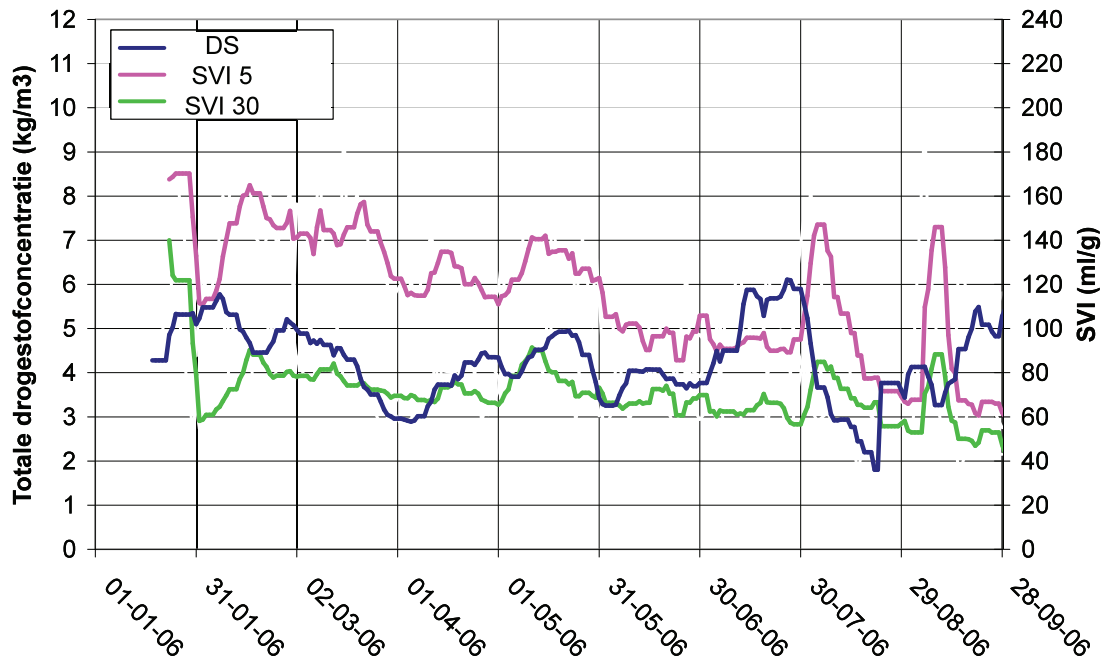
AFBEELDING 11 AALSMEER REACTOR 1: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



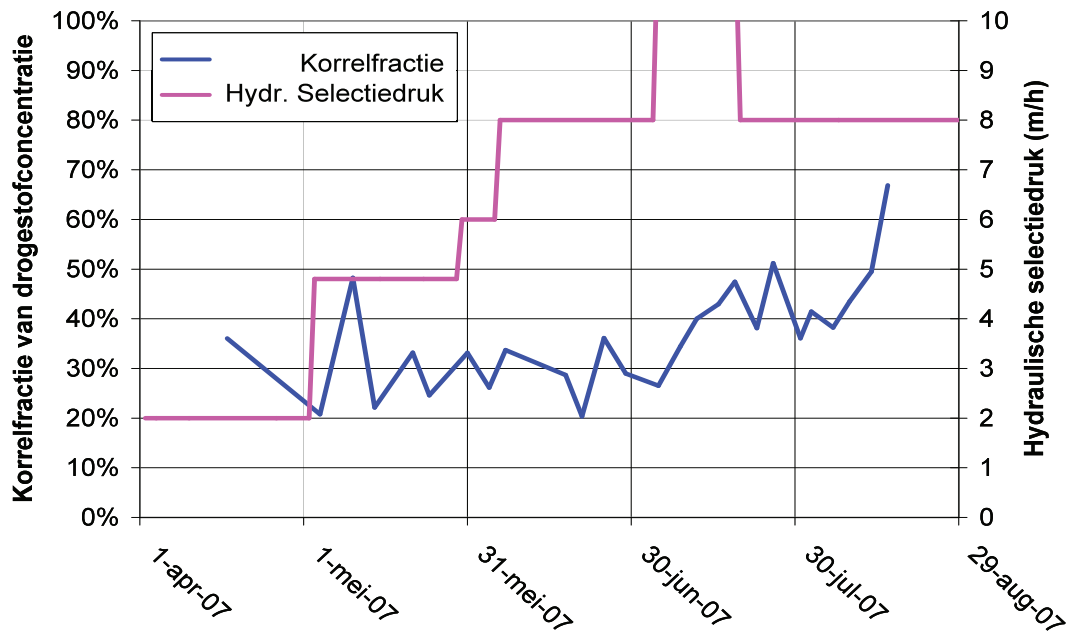
AFBEELDING 12 AALSMEER REACTOR 2: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRIJDEND GEMIDDELD VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



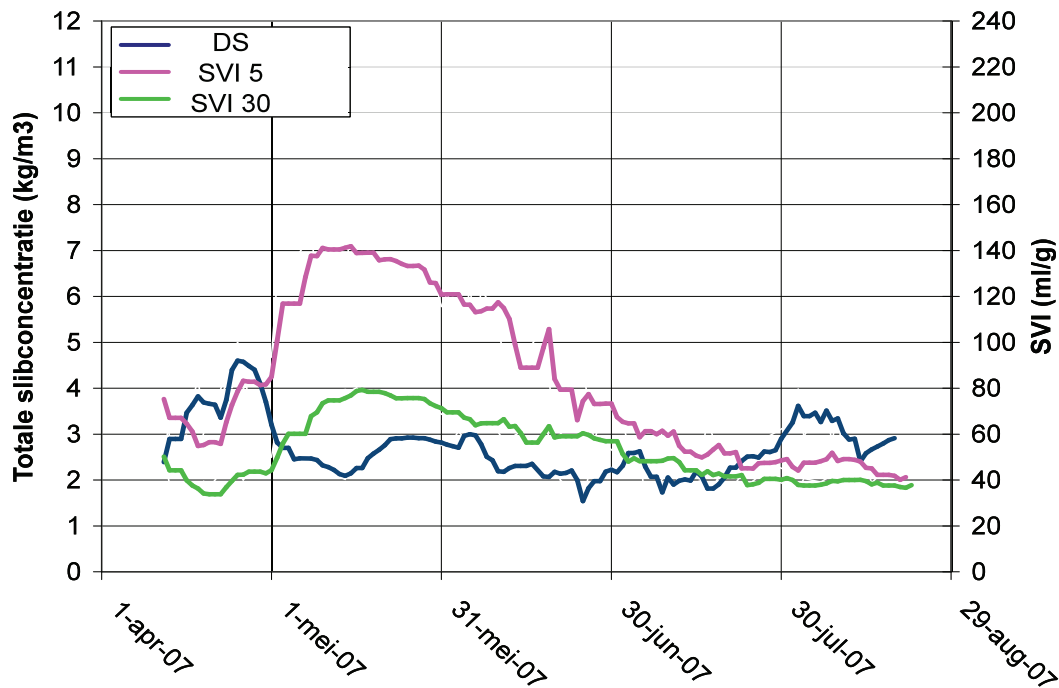
AFBEELDING 13 AALSMEER REACTOR 2: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



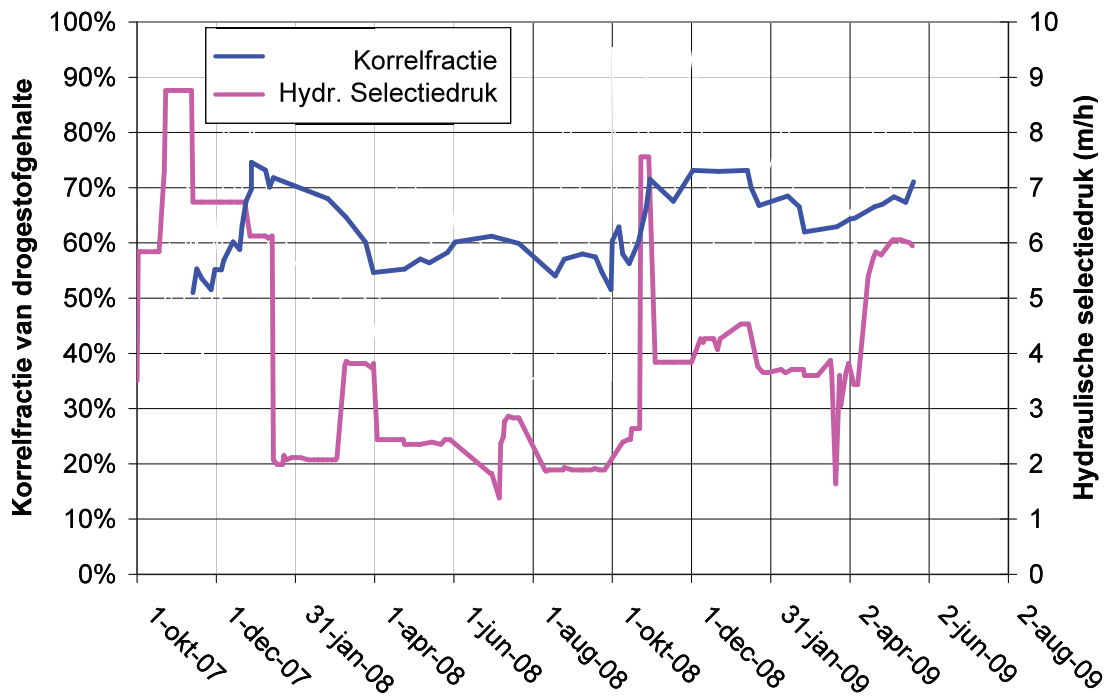
AFBEELDING 14 HOENSBROEK: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRIDDEND GEMIDDELD VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



AFBEELDING 15 HOENSBROEK: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)

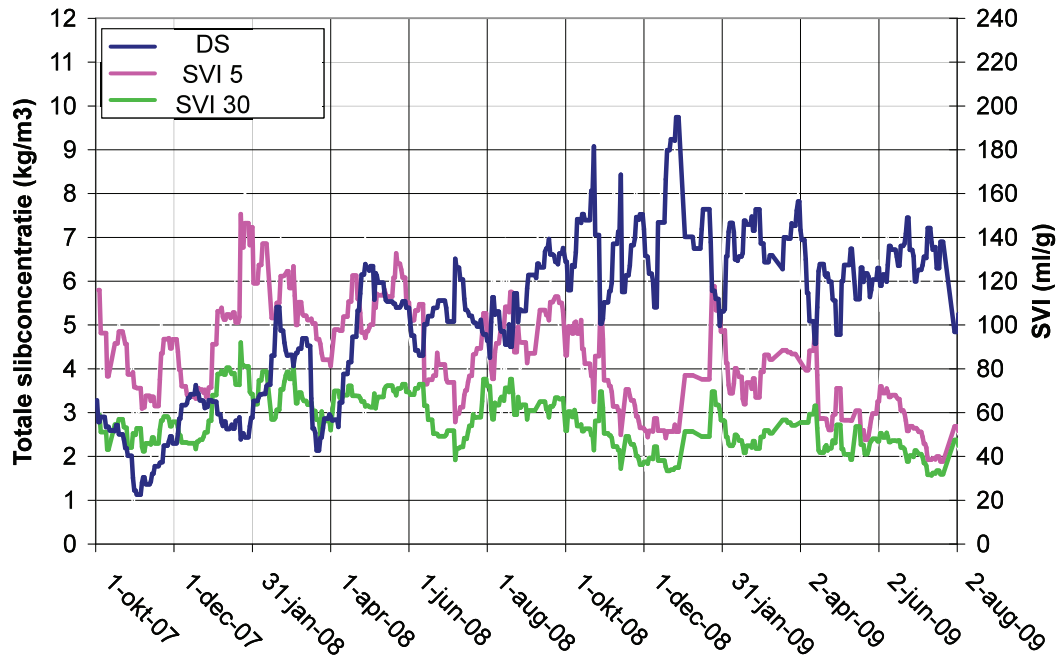


AFBEELDING 16 DINXPERLO: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRIDDEND GEMIDDELDE VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK

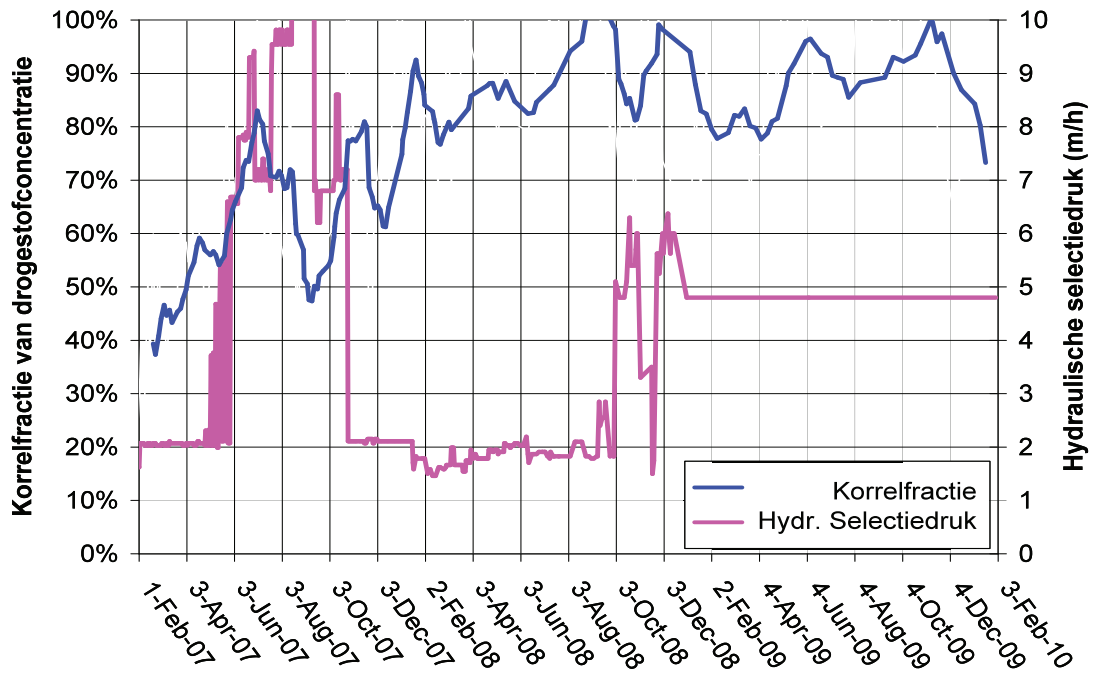




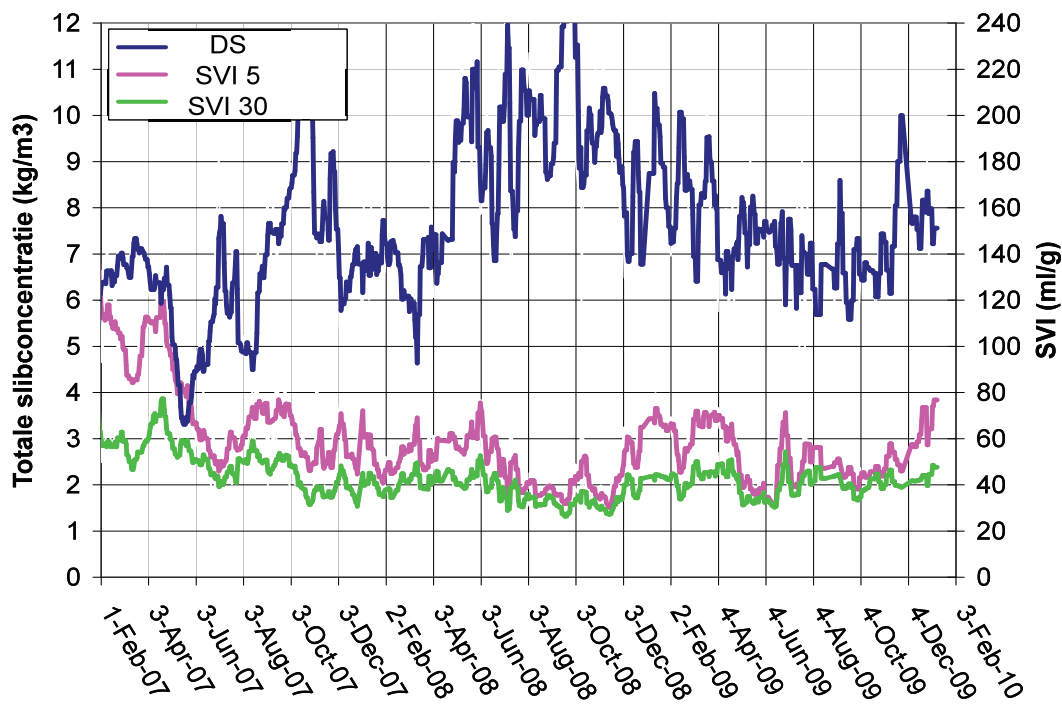
AFBEELDING 17 DINXPERLO: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



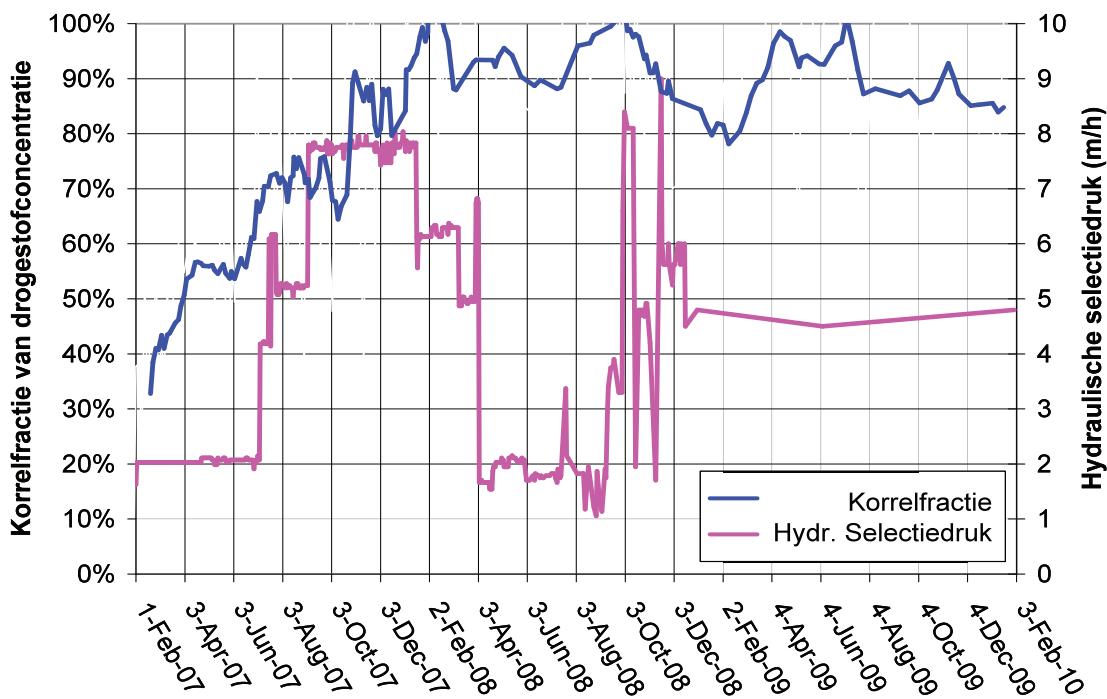
AFBEELDING 18 EPE REACTOR 1: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRJDEND GEMIDDELDE VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



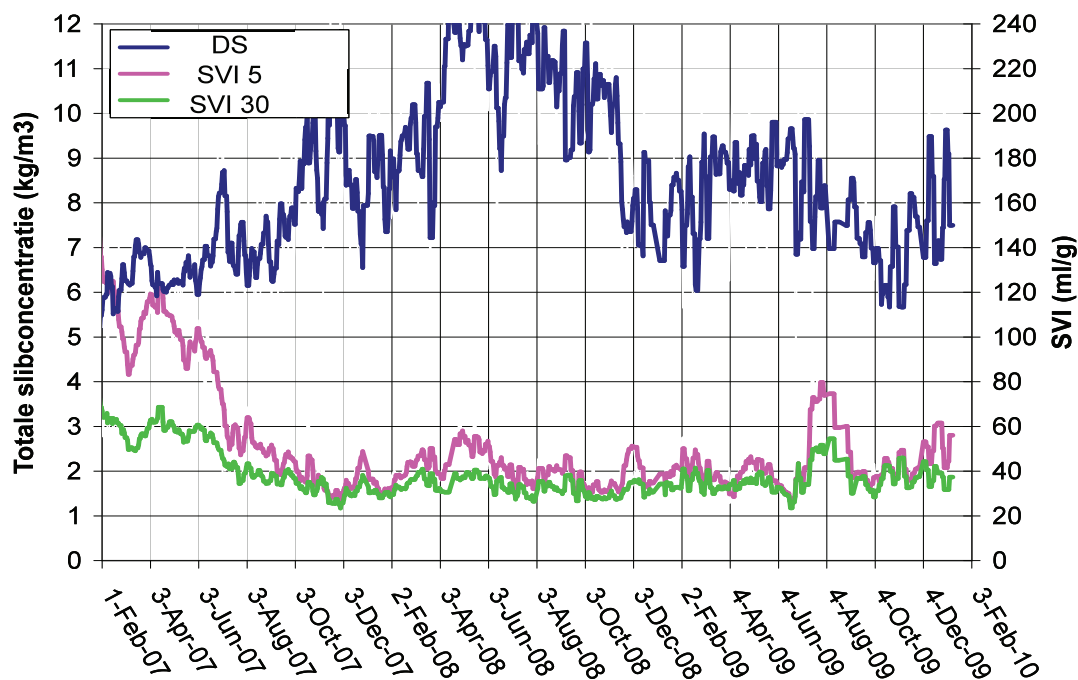
AFBEELDING 19 EPE REACTOR 1: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



AFBEELDING 20 EPE REACTOR 2: KORRELFRACTIE (VOORTSCHRJDEND GEMIDDELDE VAN 7 METINGEN) EN HYDRAULISCHE SELECTIEDRUK



AFBEELDING 21 EPE REACTOR 2: DROGESTOFCONCENTRATIE EN SVI (VOORSCHRIJDENDE GEMIDDELDEN VAN 7 METINGEN)



#### 4.2 EFFLUENTKwaliteit

Alle onderzoeken hebben aangetoond dat korrelvorming mogelijk is waarbij de invloed van belangrijke procesparameters duidelijk is gemaakt. De volgende stap in de onderzoeken betrof het optimaliseren van de effluentkwaliteit. Met name tijdens de onderzoeken in Epe en Dinxperlo is veel aandacht besteed aan het optimaliseren van de stikstof- en fosfaatverwijdering. Door de implementatie van on-line analysers en de nieuwe besturingssoftware zijn vergaande mogelijkheden voor optimalisatie gecreëerd.

De mogelijkheden van stikstof- en fosfaatverwijdering zijn ondermeer afhankelijk van de afvalwatersamenstelling die is weergegeven in Tabel 6. Vanuit kostenoverwegingen en snelheid van analyses zijn gedurende het hele onderzoek in plaats van  $Kj-N$  en  $P_{\text{totaal}}$  de concentraties voor ammonium en orthofosfaat bepaald. De verhoudingen voor zowel  $Kj-N/NH_4-N$  als  $P_{\text{totaal}}/PO_4-P$  bedroegen in de toevoer van de Nereda-reactoren ongeveer 1,5.

Tabel 7 geeft de gemiddelde effluentkwaliteit en slibbelasting van de onderzoeken in Aalsmeer, Ede en Hoensbroek weer. Op de resultaten van Epe en Dinxperlo wordt apart ingegaan. Tabel 7 laat zien dat een goede stikstof- en fosfaatverwijdering alsmede lage zwevendstofconcentraties in het effluent mogelijk zijn. Gezien de lange perioden voor de korrelvorming in Aalsmeer en Hoensbroek is hier weinig tijd beschikbaar geweest voor optimalisatie van het zuiveringsrendement. Hierna is per onderzoek een aantal specifieke aspecten weergegeven.

##### EDE

De korrelvorming is doorlopen met vergaand voorbehandeld afvalwater (voorbezinking en nageschakeld zandfilter). De periode januari 2005 t/m september 2009 is gebruikt voor het optimaliseren van de effluentkwaliteit. Reactor 1 is in deze periode gevoed met voorbezonden afvalwater, terwijl reactor 2 vanaf hetzelfde tijdstip is gevoed met ruw afvalwater. Gezien de technische beperkingen van de installatie heeft optimalisatie van de nutriëntenverwijdering plaatsgevonden door het variëren van de slibbelasting en alsmede het zuurstofgehalte tijdens de beluchte fase. De in Tabel 7 weergegeven stikstof- en fosfaatcijfers hebben betrekking op de

periode januari 2005 – september 2005. De effluentkwaliteit met betrekking tot het zwevendstofgehalte in het effluent is in de laatste fase geoptimaliseerd door de introductie van een separate slibaflaat. De cijfers voor zwevendstof in Tabel 7 hebben betrekking op de periode juli – september 2005.

### AALSMEER EN HOENSBROEK

De onderzoeken in Aalsmeer en Hoensbroek hebben vooral in het teken gestaan van korrelvorming. Hierdoor is weinig tijd beschikbaar geweest voor optimalisatie van het zuiveringsrendement. Niettemin zijn de gepresenteerde cijfers voor nutriëntenverwijdering in Aalsmeer goed te noemen. Genoemde cijfers hebben betrekking op de laatste drie maanden van het project (augustus – oktober 2006). Dit geldt ook voor de slibbelasting. Bij de cijfers van reactor 2 dient een nuancering te worden gemaakt omdat in deze periode een aanvullende acetaatdosering ten behoeve van de korrelvorming heeft plaatsgevonden (zie paragraaf 4.1). De fosfaat- en zwevendstofconcentraties in het effluent zijn in Aalsmeer de gehele onderzoeksperiode laag geweest en de gepresenteerde gemiddelde waarden hebben betrekking op de periode maart – oktober 2006.

In Hoensbroek is de reactor het gehele onderzoek bij een hoge slibbelasting bedreven en dit verklaart de hoge ammoniumconcentraties in het effluent. Net als in Aalsmeer zijn de fosfaat- en zwevendstofconcentraties in het effluent laag. De gemiddelde waarden hebben betrekking op de periodes april t/m augustus respectievelijk juni 2007 t/m augustus 2007.

TABEL 6 SAMENSTELLING AFVALWATER IN MG/L

Project	Periode	CZV <sub>totaal</sub>	Zwevendstof	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Opmerking
Aalsmeer	jan – sept 2006	395	164	33,6	5,3	Zonder acetaatdosering
Dinxperlo	sept 2007 – jul 2009	460	147	40,1	6,4	Ruw afvalwater
Ede reactor 1	jan - jun 2005	366	102	33,4	5,9	Voorbezonden
Ede reactor 2	mrt – jun 2005	577	230	36,1	6,8	Ruw afvalwater
Epe	dec 2006 – jan 2010	585	193	52,2	6,3	Ruw afvalwater
Hoensbroek	apr – aug 2007	315	78	23,6	3,3	Ruw afvalwater

TABEL 7 SAMENSTELLING EFFLUENT IN MG/L, CZV-BELASTING (KG/(KGDS.D) BETROKKEN OP BELUCHTE FASE) EN PROCESTEMPERATUUR IN °C

Project	NH <sub>4</sub> -N		NO <sub>3</sub> -N		PO <sub>4</sub> -P		Zwevendstof		CZV-belasting		Temperatuur
	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	R1	R2	
Aalsmeer	2,6	0,9	8,7	6,3	1,6	1,4	10	11	0,36	0,50	18 - 22
Ede	0,9	2,4	8,3	6,5	1,5	1,2	18	33	0,16	0,24	12-18
Hoensbroek	18		1,7		0,6		4,4		0,61		15 - 21
Epe	zie Afbeelding 22 t/m Afbeelding 27 en Tabel 8										
Dinxperlo											

## EPE/DINXPERLO

Na de introductie van de nieuwe besturingssoftware en de installatie van de on-line analysers werd het mogelijk de nutriëntenverwijdering te optimaliseren. In Epe en Dinxperlo zijn anoxische cyclusstappen vóór en na de beluchte fase toegevoegd, waarbij de duur van de biologische cyclusstappen werd geregeld op basis van de on-line analysers. Met uitzondering van het voedingsregime is de bedrijfsvoering van de twee reactoren in Epe op hoofdlijnen hetzelfde geweest. Reactor 1 is tijdens de vulfase altijd gevoed met een constant debiet, terwijl het debiet van reactor 2 tijdens de vulfase proportioneel varieerde met het influentdebiet van de rwzi. Dat betekent dat de batchgrootte voor reactor 1 bij een bepaalde cyclusinstelling constant was en voor reactor 2 variabel. In reactor 1 was sprake van een andere belasting als de cyclusinstellingen handmatig werden aangepast. De reactor in Dinxperlo is net als reactor 1 in Epe bedreven met een vaste batchgrootte.

Tabel 8 en Afbeelding 22 tot en met Afbeelding 27 geven de effluentkwaliteit, procestemperatuur en belasting weer. De cijfers voor ammonium, nitraat en fosfaat zijn gebaseerd op de on-line analysers. Dat houdt in dat de gemiddelde effluentwaarden van **elke** cyclus zijn meegenomen. De punten in de grafieken geven elk meetpunt weer en de doorgetrokken lijnen betreffen voortschrijdende weekgemiddelde waarden. Bijlage 1 bevat de frequentieverdelingen van de effluentconcentraties voor ammonium, nitraat en fosfaat en hiermee wordt de spreiding van de cijfers goed weergegeven. De frequentieverdelingen laten zien dat de effluentkwaliteit in de verschillende reactoren heel stabiel is geweest.

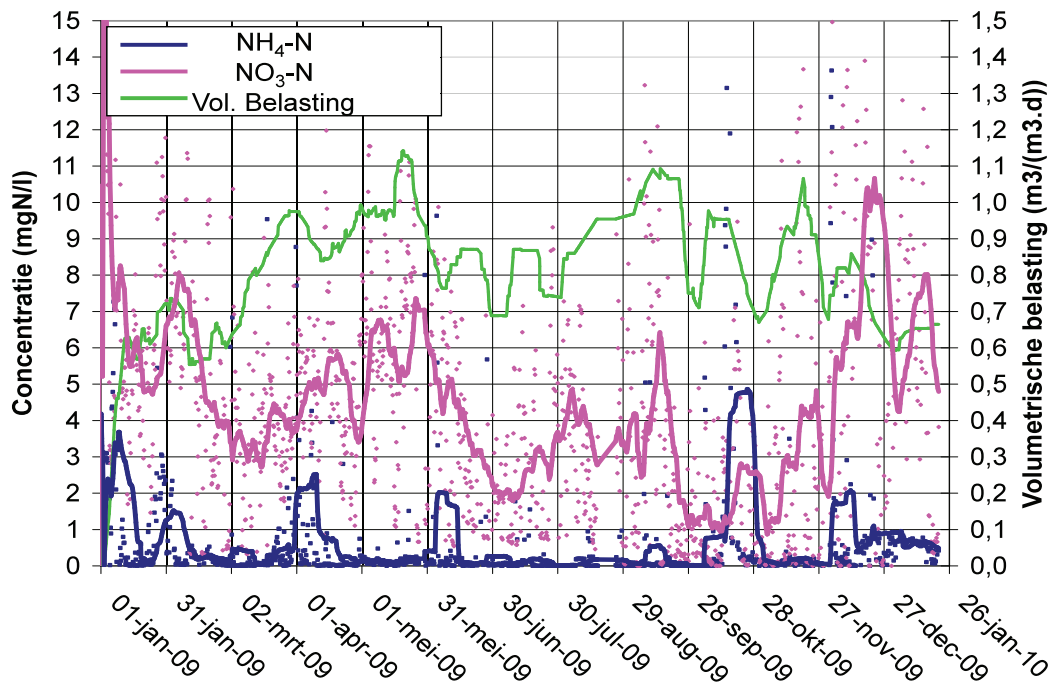
Voor reactor 1 in Epe gaat het bijvoorbeeld in totaal om 1.438 cycli (= gemiddeld 3,7 cycli/dag). Gedurende deze periode zijn allerlei soorten cyclusinstellingen en procesregelingen onderzocht. Daarnaast zijn de grenzen van de slibbelasting opgezocht, hetgeen bijvoorbeeld in Epe in oktober 2009 kortstondig tot hogere ammoniumgehalten in het effluent heeft geleid. Verder is incidenteel sprake geweest van technische storingen die in alle gevallen een negatief effect op de effluentkwaliteit hebben gehad. Desondanks zijn de cijfers voor stikstofverwijdering in Epe en Dinxperlo uitstekend te noemen. Kenmerkend voor het beheersgebied van de rwzi Epe is het relatief hoge aandeel van industrieel afvalwater – circa 25% van de vuillast – en dit leidt incidenteel tot zeer lage pH-waarden van het influent. Deze incidenten zijn veelal kortstondig maar in een enkel geval heeft de aanvoer urenlang een pH < 3 gehad. Het gevolg van deze incidenten is dat de zuiveringscapaciteit en met name de nitrificatie (zeer) sterk afnam. Het korrelslib toonde zich robuust tegen deze zuurlozingen en afhankelijk van de omvang van de zuurlozing was de zuiveringscapaciteit na maximaal enkele dagen weer op het oude niveau terug.

Gedurende het gehele onderzoek is de fosfaatverwijdering in Epe van een hoog niveau geweest. Wel is gebleken dat de fosfaatverwijderingscapaciteit wat terugloopt bij te lage zuurstofgehalten tijdens de beluchte fase (< 1 mg/l). Verder treedt enige mate van fosfaatafgifte op indien de anoxische periode na de beluchte fase te lang duurt.

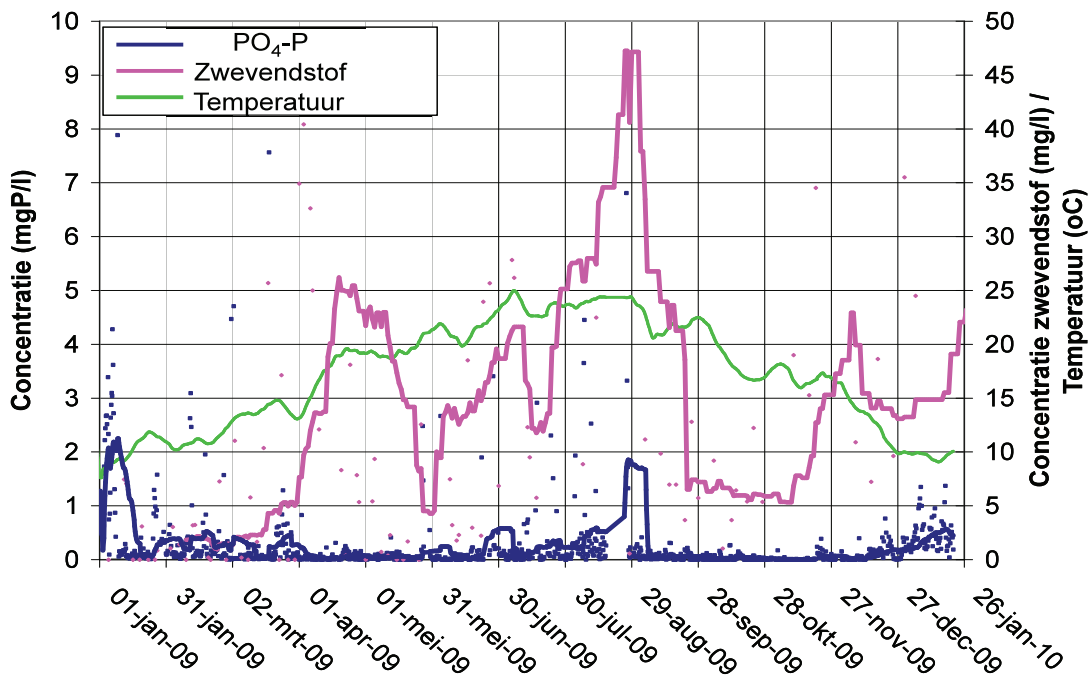
In Dinxperlo blijft de fosfaatverwijdering enigszins achter, hetgeen hoogstwaarschijnlijk is terug te voeren op een ongunstigere influentsamenstelling. Op basis van een beperkt aantal analyses kan voorzichtig worden geconcludeerd dat het vetzuurgehalte aan de lage kant was. Het biologische fosfaatverwijderingsproces verliep redelijk en leidde tot orthofosfaatconcentraties in het effluent van 2 tot 3 mg/l. Teneinde de mogelijkheden van verdergaande fosfaatverwijdering na te gaan, heeft vanaf eind april 2009 tot het einde van het onderzoek een aanvullende ijzerdosering tijdens de beluchte fase plaatsgevonden. Dit heeft geleid tot

stabile, lage orthofosfaatgehalten in het effluent <math>< 0,5 \text{ mgP/l}</math> bij een  $\text{Me/P}_{\text{influent}}$ -verhouding van 0,3 -0,4. Naast de verbetering van de fosfaatverwijdering had de aanvullende ijzerdosering geen negatieve neveneffecten tot gevolg.

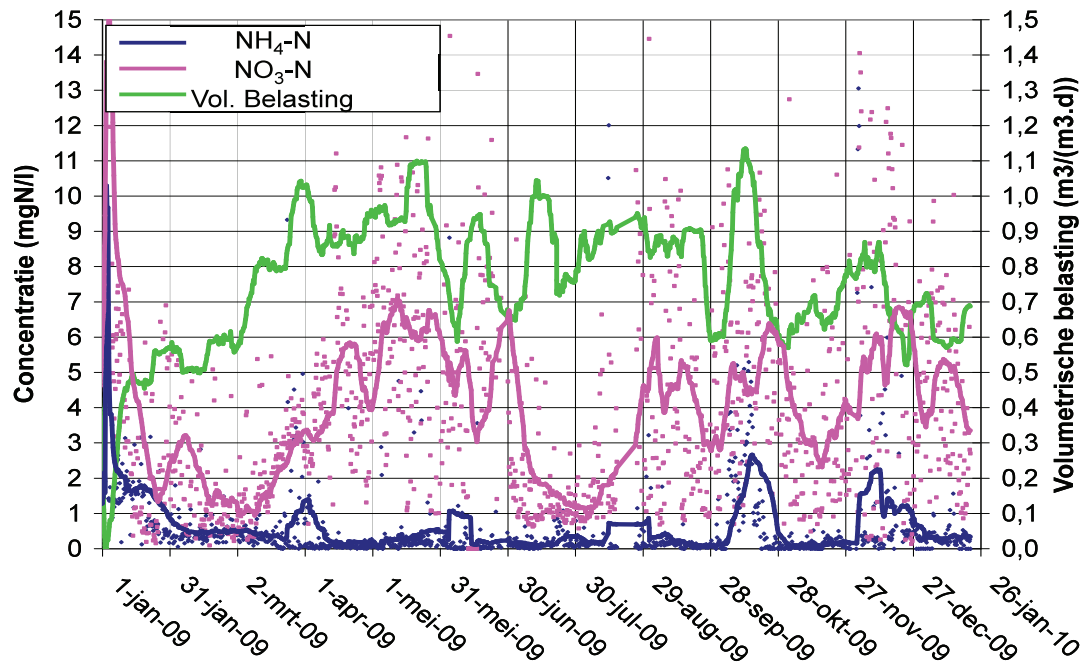
AFBEELDING 22 EPE REACTOR 1: EFFLUENTCONCENTRATIES STIKSTOF EN VOLUMETRISCHE BELASTING



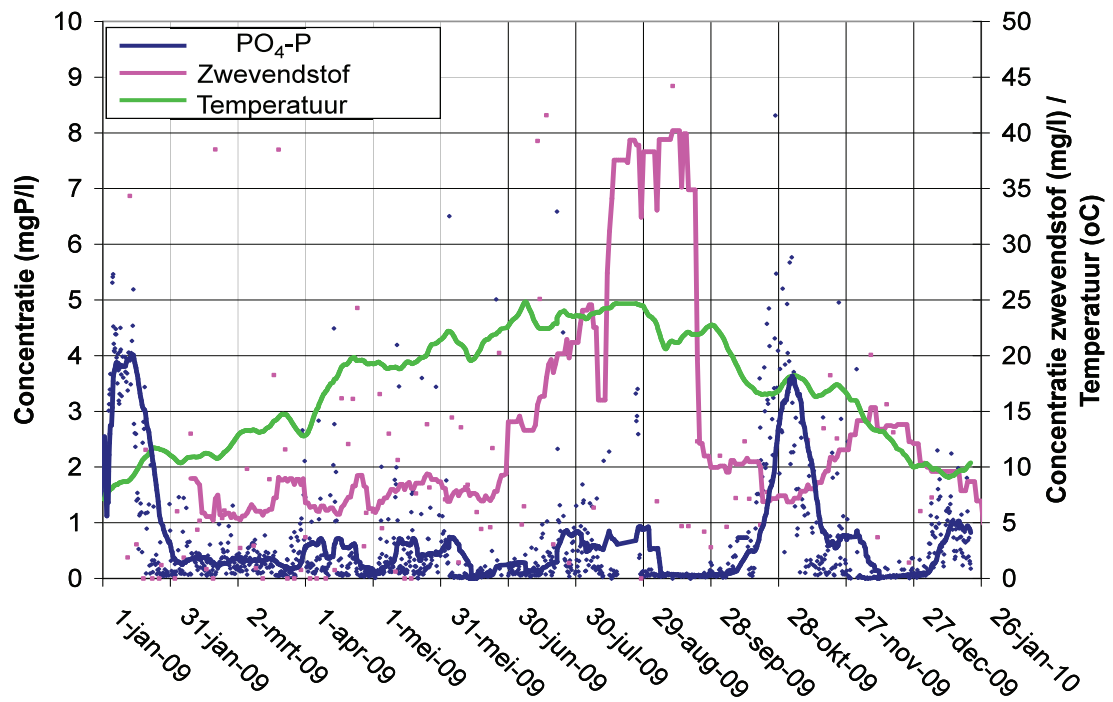
AFBEELDING 23 EPE REACTOR 1: EFFLUENTCONCENTRATIES FOSFAAT EN ZWEEVEND STOF EN TEMPERAATUUR



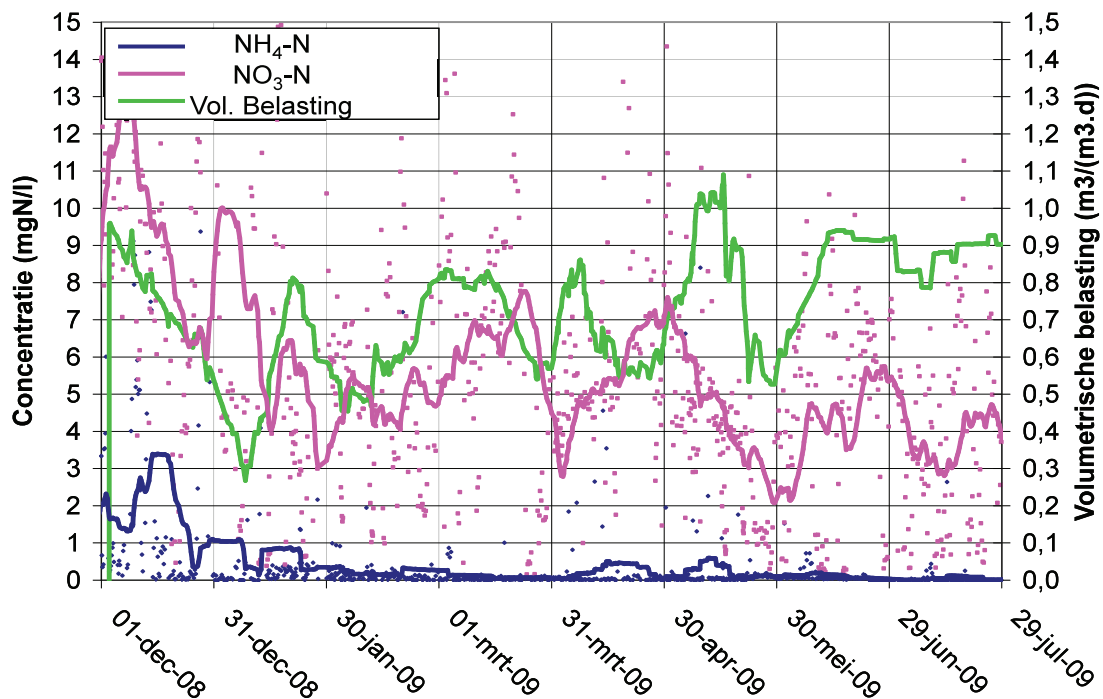
AFBEELDING 24 EPE REACTOR 2: EFFLUENTCONCENTRATIES STIKSTOF EN VOLUMETRISCHE BELASTING



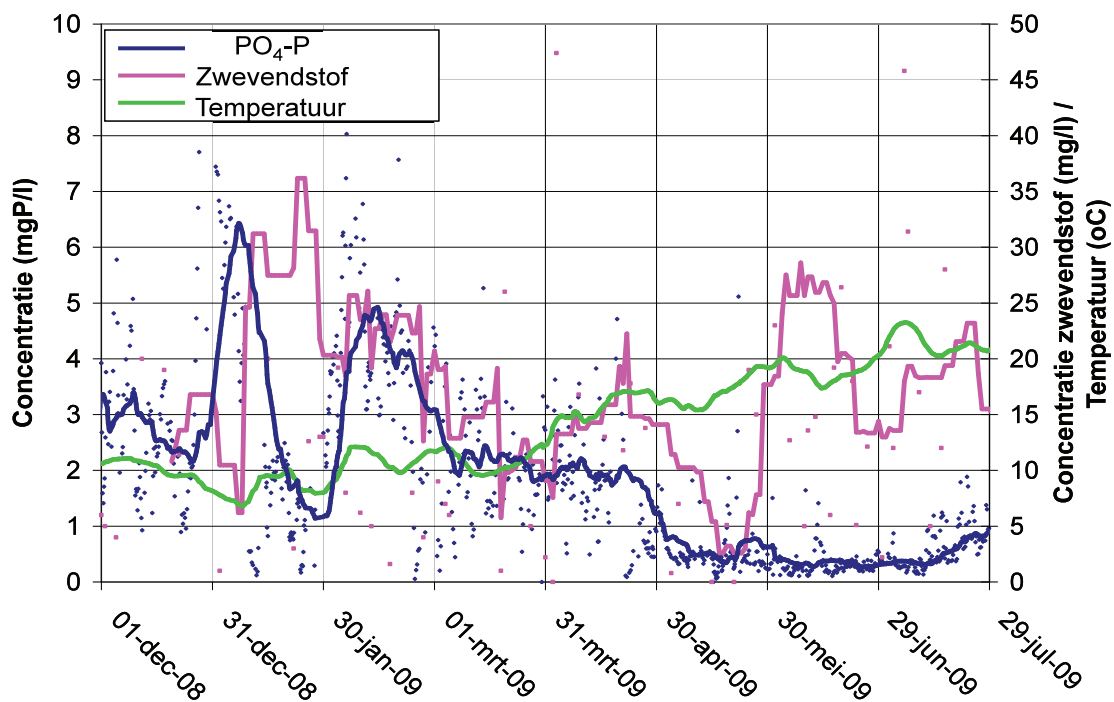
AFBEELDING 25 EPE REACTOR 2: EFFLUENTCONCENTRATIES FOSFAAT EN ZWEEVENDSTOF EN TEMPERAATUUR



AFBEELDING 26 DINXPERLO: EFFLUENTCONCENTRATIES STIKSTOF EN VOLUMETRISCHE BELASTING



AFBEELDING 27 DINXPERLO: EFFLUENTCONCENTRATIES FOSFAAT EN ZWEEVEND STOF EN TEMPERatuur





TABEL 8 GEMIDDELDE EFFLUENTKWALITEIT EN BELASTING EPE EN DINXPERLO

Parameter	Epe reactor 1	Epe reactor 2	Dinxperlo
Ammonium (mgN/l)	0,6	0,5	0,2
Nitraat (mgN/l)	4,2	3,7	4,9
Orthofosfaat (mgP/l)	0,3	0,6	1,7
N-totaal (mgN/l) *	5,8	5,0	6,2
P-totaal(mgP/l) **	0,9	1,1	2,3
Zwevendstof (mg/l)	17	14	18
Volumetrische belasting (m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .d))	0,86	0,82	0,84
CZV-belasting (kgCZV/(kgDS.d))	0,10 – 0,14	0,10 – 0,14	0,10 – 0,14
Periode	jan 2009 – jan 2010	jan 2009 – jan 2010	dec 2008 – jul 2009
	* N-totaal = som van NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N en stikstof fractie zwevendstof (N = 6% DS)		
	** P-totaal = som van PO <sub>4</sub> -P en fosfaat fractie zwevendstof (P = 3,5% DS)		

De resultaten met betrekking tot het zwevendstofgehalte in het effluent zijn in Epe en Dinxperlo vergelijkbaar. De onderzoeken laten zien dat de gemiddelde concentraties laag en stabiel waren. De zwevendstofconcentraties in het effluent van de reactoren in Epe waren in de zomer van 2009 enigszins hoger, hetgeen is veroorzaakt door de hoge korrelslibconcentraties in de reactoren (zie Afbeelding 19 en Afbeelding 21). Nadat de slibconcentraties in de reactoren waren verlaagd, namen de zwevendstofconcentraties af.

#### INVLOED PROCESTEMPERATUUR

Een belangrijk onderzoeksaspect was de temperatuurgevoeligheid van de stikstof- en fosfaatverwijdering. Gezien de duur van onderzoeken is dit aspect uitgebreid onderzocht. De gepresenteerde cijfers van Epe betreffen de periode van januari 2009 tot en met januari 2010 en zijn dus inclusief de winterperiodes van 2009 en 2010. In Dinxperlo heeft de winter van 2009 onderdeel uitgemaakt van het onderzoek. Bijlage 2 bevat de frequentieverdelingen van de procestemperaturen in Epe en Dinxperlo. Hieruit komt het beeld van periodiek lage procestemperaturen naar voren: in Epe en Dinxperlo was de procestemperatuur respectievelijk 10% en 20% van de waarnemingen lager dan 10 °C.

#### BELASTING

Bij de beoordelingen van de toelaatbare slibbelasting speelt een aantal factoren zoals influentsamenstelling, de korrelslibconcentratie en de procestemperatuur een belangrijke rol. Aangezien de influentsamenstelling handmatig is gemeten, zijn hiervan veel minder gegevens voorhanden in vergelijking met de beschikbare data ten aanzien van ammonium, nitraat en fosfaat in de reactoren. Vanwege de goede bezinkings eigenschappen van het slib zijn de variaties van de handmatig gemeten korrelslibconcentratie hoog (zie ook paragraaf 4.1) en de on-line drogestofmeting bleek niet altijd even nauwkeurig.

Niettemin zijn voldoende gegevens voorhanden om vast te stellen dat de benodigde slibbelasting voor een goede effluentkwaliteit vergelijkbaar is met die van actiefslibsystemen. Ervaringen met praktijkinstallaties zullen hierin het inzicht vergroten.

#### CONTROLE ON-LINE ANALYSERS

Zoals eerder is aangegeven zijn de gepresenteerde effluentcijfers van ammonium, nitraat en fosfaat gebaseerd op de on-line analysers. De betrouwbaarheid van de on-line analysers is veelvuldig gecontroleerd door middel van handmatige metingen. Bijlage 3 geeft een typisch voorbeeld van de resultaten van controlemetingen aan één van de ammoniumanalysers in

Epe. Behoudens een enkele uitbijter waren de verschillen tussen de handmatige metingen en de on-line analyser klein. De controlemetingen aan de overige analysers in Epe en Dinxperlo geven vergelijkbare resultaten.

#### 4.3 GLOEIREST KORRELSLIB EN SLIBPRODUCTIE

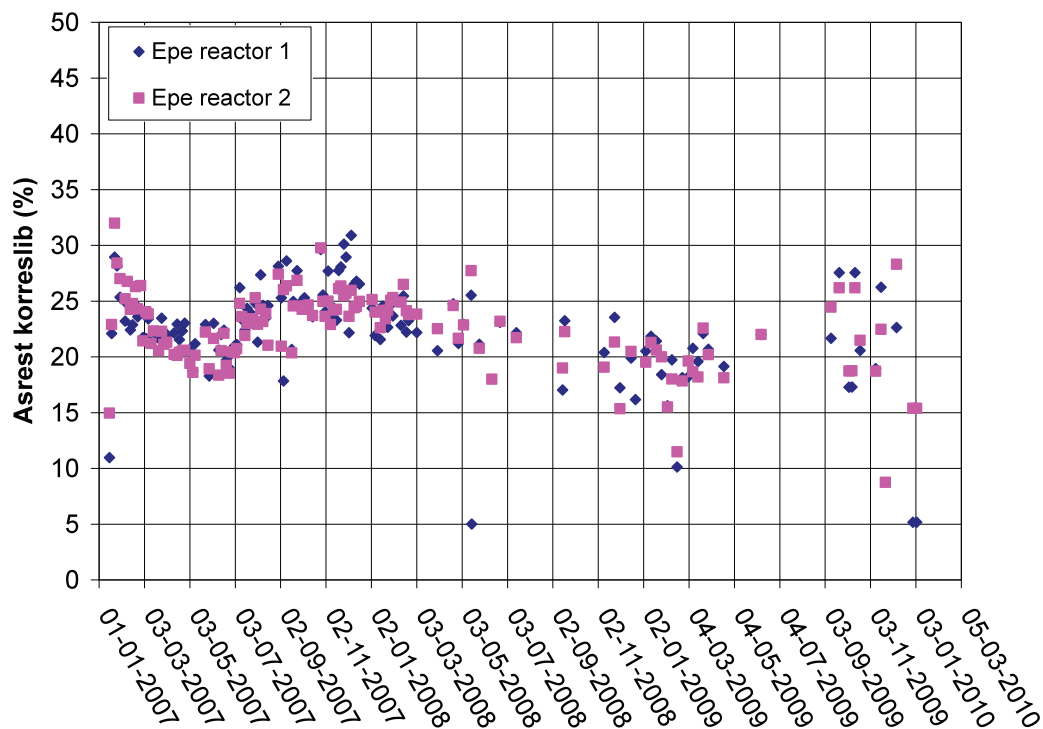
Uit de gepresenteerde resultaten blijkt dat een stabiel korrelslibstelsysteem in combinatie met een goed zuiveringsrendement mogelijk is. In dit verband springen de resultaten van Epe in het oog omdat hier vanaf medio 2007 tot begin 2010 sprake is van stabiel korrelslib in termen van korrelfractie en bezinkingseigenschappen. Eén en ander wordt bevestigd door de gloeirest van het slib dat gedurende de gehele onderzoeksperiode min of meer constant is. (zie Afbeelding 28).

Een belangrijk aspect van de Nereda-technologie betreft de slibproductie. De slibproductie van de pilotinstallaties is berekend aan de hand van de som van de slibaanwas in de reactor en de hoeveelheid zwevendstof die met het surplusslib en het effluent is afgevoerd. Tabel 9 geeft de gemiddelde specifieke slibproducties weer die zijn vergeleken met de cijfers van de rwzi's. De slibproductiecijfers van de rwzi's zijn exclusief de hoeveelheid zwevendstof in het effluent. Verder moet bij de gepresenteerde cijfers worden bedacht dat op de rwzi's Epe en Dinxperlo fosfaat chemisch wordt verwijderd door middel van simultane precipitatie. De hiertoe benodigde metaalzoutdosering leidt tot extra slibproductie, hetgeen waarschijnlijk de belangrijkste oorzaak is voor de hogere slibproductie van de rwzi's. Een tweede factor die de slibproductie beïnvloedt, is de slibbelasting. De pilotreactoren zijn op een enigszins lagere slibbelasting bedreven en dat leidt tot een lagere slibproductie, maar het absolute effect hiervan is klein.

Op grond van de beschikbare gegevens kan worden geconcludeerd dat de slibproductiecijfers van de pilotinstallaties en de rwzi's niet één op één met elkaar kunnen worden vergeleken. Wel kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de specifieke biologische slibproducties van de pilots en rwzi's vergelijkbaar zijn. De vergelijking van de slibproductie tussen de Nereda-technologie en conventionele actiefslibsystemen kan pas nauwkeurig worden gemaakt indien een aantal praktijkinstallaties in bedrijf is.

Naast de korrelslibeigenschappen zijn de eigenschappen van het surplusslib van belang, waarop in hoofdstuk 6 nader is ingegaan.

AFBEELDING 28 GLOEIREST KORRELSLIB EPE



TABEL 9 SPECIFIEKE SLIBPRODUCTIE

Installatie	Specifieke slibproductie (gDS/kgCZV <sub>verwijderd</sub> )
Rwzi Epe (gemiddelde 2002-2006) <sup>1)</sup>	550
Epe pilotreactoren	450
Rwzi Dinxperlo (gemiddelde 2002-2007) <sup>1)</sup>	500
Dinxperlo pilot (exclusief periode met aanvullende ijzerdosering)	390

<sup>1)</sup> met simultane chemische P-verwijdering

## 4.4 CONCLUSIES

### 4.4.1 KORRELVORMING EN KORRELSTABILITEIT

In de afgelopen jaren is op diverse locaties onderzoek uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van de aërobe korrelslibtechnologie. In Ede, Aalsmeer, Hoensbroek en Epe is aangetoond dat korrelvorming mogelijk is, zowel op voorbehandeld als ruw afvalwater. De bedrijfsvoeringsfilosofie om tot korrelvorming te komen is eenduidig. Het betreft een combinatie van het zekerstellen van biologische fosfaatverwijdering, een hoge slibbelasting, een zuurstofgehalte van minimaal 2 mg/l en een hoge hydraulische selectiedruk (maximaal 7-9 m/h). Het type reactor – airlift-reactor versus bellenkolom – heeft in Ede onder praktijkomstandigheden geen invloed op de korrelvorming gehad. Vanwege de eenvoud is vanaf dat moment al het onderzoek uitgevoerd in bellenkolommen. Het onderzoek in Aalsmeer laat zien dat korrelvorming kan worden gestimuleerd door een aanvullende acetaatdosering. Een belangrijk aandachtspunt is dat gedurende de korrelvormingsfase de slibconcentratie niet te ver mag dalen. Bij te lage slibconcentraties – in feite een te lage slibleeftijd – hebben beginnende korrels te weinig mogelijkheden om uit te groeien.

Het blijkt goed mogelijk om éénmaal gevormd korrelslib langdurig in stand te houden, waarbij de periode in Epe het langst was (2,5 jaar). In deze periode zijn de korrelslibeigenschap

pen goed op peil gebleven. Het korrelslib heeft zich ook robuust getoond tegen incidentele zuurlozingen op de rwzi Epe. Hoewel als gevolg van de zuurlozingen de zuiveringscapaciteit tijdelijk afnam, bleef het korrelslib intact.

#### 4.4.2 EFFLUENTKWALITEIT

Met gevormd korrelslib blijkt vergaande nutriëntenverwijdering mogelijk. Dit is aangetoond in Ede en gedurende een korte periode in Aalsmeer, maar met name in Epe en Dinxperlo zijn goede resultaten geboekt. In Epe en Dinxperlo is sprake geweest van een uitgebreid instrumentarium – on-line analysers en andere besturingssoftware – waardoor een goede procesbeheersing onder alle omstandigheden in termen van variaties in belasting en temperatuur mogelijk was. Lage effluentconcentraties voor ammonium (< 1 mg/l) en nitraat (< 5 mg/l) over lange periodes inclusief de winter waren bij gangbare CZV-belastingen goed mogelijk. De hiervoor vereiste slibbelasting is vergelijkbaar met actiefslibsystemen.

De biologische fosfaatverwijderingscapaciteit in Epe was de gehele onderzoeksperiode van een hoog niveau, hetgeen tot jaargemiddelde orthofosfaatconcentraties van 0,3 - 0,6 mg/l leidde. In Dinxperlo waren met alleen biologische fosfaatverwijdering orthofosfaatconcentraties van 2-3 mg/l haalbaar. Een aanvullende ijzerdosering in de reactor leidde tot vergaande fosfaatverwijdering, zonder dat dit ten koste ging van de effluentkwaliteit met betrekking tot stikstof en zwevendstof. Ook de korrelslibeigenschappen bleven goed op peil.

De onderzoeken in Epe en Dinxperlo laten zien dat stabiele, lage zwevendstofconcentraties in het effluent mogelijk zijn. Gekoppeld aan de goede resultaten voor nutriëntenverwijdering kan worden gesteld dat met korrelslibreactoren zonder nabehandeling de effluentkwaliteit dicht in dit onderzoek heeft voldaan aan de reguliere effluenteisen in Nederland (N-totaal = 10 en P-totaal = 1 mg/l). Dit laat zien dat de potentie van de technologie groot is, ook voor toepassingen in het buitenland.

De invloed van procestemperatuur op de nutriëntenverwijdering is uitgebreid onderzocht. De gepresenteerde cijfers van Epe betreffen de periode van januari 2009 tot en met januari 2010 en zijn dus inclusief de winterperiodes van 2009 en 2010. In Dinxperlo heeft de winter van 2009 onderdeel uitgemaakt van het onderzoek. Het is gebleken dat stikstof- en fosfaatverwijdering bij temperaturen lager dan 10 °C nog steeds goed mogelijk is. In de praktijk zal de waterhoogte van Nereda-reactoren zes tot negen meter bedragen. Dit is dieper dan de meeste actiefslibtanks en dit betekent dat het tankoppervlak van Nereda-reactoren wat lager zal zijn. Dit zal leiden tot hogere minimum procestemperaturen, omdat het warmte-uitwisselend wateroppervlak met de atmosfeer kleiner is. Hogere minimumtemperaturen leiden vanzelfsprekend tot een makkelijkere nutriëntenverwijdering.

#### 4.4.3 SLIBPRODUCTIE

Op grond van de beschikbare gegevens kan worden geconcludeerd dat de slibproductiecijfers van de pilotinstallaties en de rwzi's niet één op één met elkaar kunnen worden vergeleken. Dit komt doordat de procesconfiguraties van de rwzi en pilotreactor niet goed vergelijkbaar zijn. Op een aantal rwzi's wordt fosfaat chemisch verwijderd (Epe, Dinxperlo, Aalsmeer en Hoensbroek). Op de rwzi Ede wordt fosfaat biologisch verwijderd, maar daar wordt het slib vergist en worden periodiek chemicaliën gedoseerd voor het beheersen van de slibbezinkings-eigenschappen.

Wel kan voorzichtig worden geconcludeerd dat de specifieke biologische slibproducties van de pilots en rwzi's vergelijkbaar zijn. De vergelijking van de slibproductie tussen de Nereda-technologie en conventionele actiefslibsystemen kan pas nauwkeurig worden gemaakt indien een aantal praktijkinstallaties in bedrijf is.

# 5

## NABEHANDELING

### 5.1 INLEIDING

Zoals in de inleiding is aangegeven, worden effluenteisen voor rwzi's in de toekomst steeds strenger. Hierbij gaat in eerste instantie de aandacht uit naar stikstof en fosfaat en zijn eisen van  $N_{\text{totaal}} < 5 \text{ mg/l}$  en  $P_{\text{totaal}} < 0,5 \text{ mg/l}$  geen uitzondering meer. Zo gelden voor de uit te breiden rwzi's Epe en Dinxperlo  $P_{\text{totaal}}$ -eisen van respectievelijk 0,3 mg/l en 0,5 mg/l. Voor conventionele actiefslibsystemen is dan een aanvullende nabehandeling vereist, die in de meeste situaties gericht is op de verwijdering van zwevendstof en fosfaat. In Nederland wordt voor deze toepassing meestal voor (meertraps) zandfiltratie gekozen.

Omdat het karakter c.q. de samenstelling van de afloop van een Nereda-reactor anders is dan de afloop van een actiefslibstelsysteem, is te verwachten dat nabehandelingssystemen anders moeten worden ontworpen, dan wel anders moeten worden bedreven. Bovendien doet de vraag zich voor in hoeverre met een aanvullende nabehandelingsstap strengere effluenteisen met een Nereda installatie daadwerkelijk haalbaar zijn. Om op deze vraag antwoord te krijgen is een aantal onderzoeken uitgevoerd met de afloop van de Nereda pilotinstallaties te Epe en Dinxperlo.

- 1 een uitgebreid pilotonderzoek naar de toepassingsmogelijkheden van discontinue zandfiltratie. Dit onderzoek is gericht op de verwijdering van de rest zwevende stof en fosfaat. Tevens is in dit onderzoek aandacht besteed aan de interacties met de Nereda-slibbehandeling
- 2 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van het toepassen van doekfiltratie. Hierbij is zowel gekeken naar de verwijdering van zwevendstof, als ook de gecombineerde verwijdering van zwevendstof en fosfaat
- 3 een oriënterend onderzoek naar de mogelijkheden van de verwijdering van zwevendstof met Fuzzy Filtratie.

Vanwege de schaal waarop de pilotonderzoeken op de twee genoemde locaties zijn uitgevoerd, was de beschikbare hoeveelheid effluent gering. Dat betekent dat met name de onderzoeken naar de toepassing van doekfiltratie en Fuzzy Filtratie kortdurend en op kleine schaal zijn uitgevoerd. Hierdoor zijn de resultaten indicatief en moeten dan ook als zodanig worden beoordeeld. Dit geldt in veel mindere mate voor het onderzoek naar discontinue zandfiltratie, ofschoon de schaal waarop dit onderzoek is uitgevoerd ook relatief klein is. De zeggingskracht hiervan is echter groter, omdat op grond van eerdere ervaringen een vergelijking met praktijkschaal toepassingen is uitgevoerd.

De kwaliteit van de Nereda-afloop afkomstig van de pilotinstallatie op rwzi Epe heeft in de onderzoeksperiode 2009 als uitgangspunt gediend voor de het nabehandelingsonderzoek naar discontinue zandfiltratie. De gemiddelde concentraties van  $< 30 \text{ mgSS/l}$  zwevendstof en  $<< 1 \text{ mgPO}_4\text{-P/l}$  orthofosfaat zijn hierbij als kwaliteitsparameter vastgesteld. Met het oog op de toepassing van de Nereda technologie op locaties met minder strenge eisen is naast

zandfiltratie ook aandacht geschonken aan de mogelijkheden van Fuzzy Filtratie en doekfiltratie. De compactheid van deze twee technieken is aantrekkelijk in vergelijking met zandfiltratie. Ook is de vergelijking naar het principe van de verschillende technieken interessant. In tegenstelling tot dieptefiltratie met een zand- of Fuzzy filter, waar zwevendstofdeeltjes tot in de diepte van het filterbed worden afgevangen, is koekfiltratie het hoofdmechanisme bij de toepassing van een doekfilter. Voorafgaand aan alle filtratietesten is met bekeerglasproeven het optimale type en de juiste hoeveelheid coagulant bepaald. De beoordeling van de verschillende technieken vond plaats op basis van looptijden en verwijderingsrendementen voor fosfaat en troebelheid (als indicator voor zwevendstof).

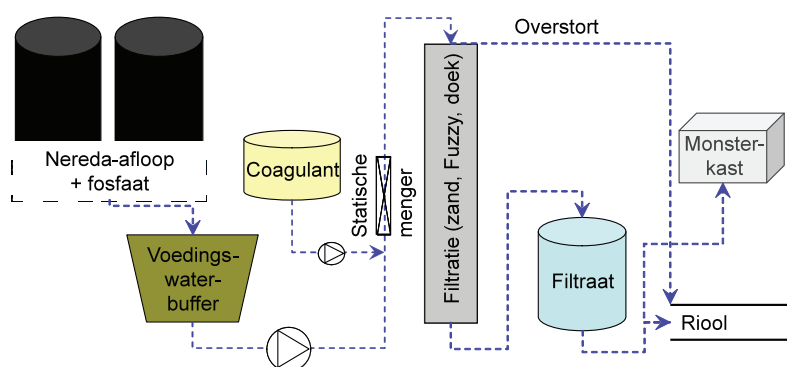
## 5.2 MEETOPSTELLING

Vanwege het batch karakter van het proces is de Nereda-afloop opgevangen in een buffer, ter egalisatie van het voedingswater van de filtratieproeven. Additioneel wordt natriumdiwaterstoffosfaat toegevoegd om de concentratie kunstmatig tot 1 mg  $PO_4\text{-P/l}$  te verhogen. Het voedingswater wordt met slangenpompen opgepompt naar de filterinstallaties. Na toevoeging van coagulant passeert het geconditioneerde voedingswater een statische menger en komt via het leidingwerk in de filteropstellingen (verblijftijd leidingwerk + bovenwaterstand 20-30 min). De afloop van het filtratieproces (filtraat) wordt voor monsternamen opgevangen in een filtraatbuffer en stroomt vervolgens naar de terreinrioleiding. Alle filteropstellingen zijn manueel bedreven.

De opstelling ter beproeving van zandfiltratie bestaat uit twee parallel te bedrijven kolommen ( $\varnothing = 11$  cm en  $H = 3$  m), elk uitgerust met een doseereenheid voor de toevoeging van coagulant, een statische menger en monsterkast voor de 24-uurs bemonstering van het filtraat. Deze opstelling is weergegeven in Afbeelding 29 en Afbeelding 30.

De filtratietesten zijn in verschillende bedconfiguraties als één-traps en als twee-traps uitgevoerd. Als filtermateriaal zijn zowel antraciet als zand met sterk uiteenlopende korreldiameters gebruikt, met als doel te komen tot een optimale bedconfiguratie, resulterend in lange looptijden en een goede zwevendstof en fosfaatverwijdering.

AFBEELDING 29 SCHEMATISCHE WEERGAVE FILTRATIE-OPSTELLING



AFBEELDING 30 ZANDFILTER



Voor de doekfiltratieproeven is een testkit gebruikt die door de firma Rossmark ter beschikking is gesteld en regulier gebruikt wordt voor het dimensioneren van trommel- of diskfilters. Deze kit bestaat uit een verticale ronde pijp met een diameter van 75 mm waarin centraal in een T-stuk filterdoek met verschillende maaswijdtes kan worden bevestigd. De testkit wordt ondergedompeld in het te behandelen water, waardoor dit door het geselecteerde filterdoek gaat stromen en het gedeelte van de pijp onder het T-stuk dienst doet als filtraatreservoir. Door het geheel in een kort tijdsbestek onder te dompelen en daarna de hoeveelheid water in het reservoir te bepalen kan het (specifieke) filtratiedebiet worden berekend. Aanvullende orthofosfaatverwijdering is getest door het toevoegen een coagulant (ijzer, aluminium). Het effect van een aanvullende flocculantdosering (bijvoorbeeld poly-electrolyet) is niet onderzocht, omdat dat op deze schaal niet goed mogelijk is. Afbeelding 31 toont een foto van de testkit.

AFBEELDING 31 TESTKIT DOEKFILTRATIE (ROSSMARK)



AFBEELDING 32 TESTKIT FUZZY FILTER BOSMAN



Fuzzy Filtratie staat bekend om de toepassing van hoge hydraulische belastingen. Indicatief zijn proeven uitgevoerd met een opstelling van de firma Bosman, bestaande uit een buis van 80 cm lengte en 6 cm diameter. De filterbedhoogte is bepaald door het aantal filterballetjes (80 stuks) en de gekozen compressie. De opstelling wordt met een pomp gevoed, waarbij het voedingswater de kolom opwaarts doorstroomt. De filtratietesten zijn in een korte periode (< 6 uur) uitgevoerd, vanwege de beperkte beschikbaarheid van voedingswater. Afbeelding 32 toont een foto van de testeenheid.

### 5.3 MEETPROGRAMMA

Voor de beoordeling van de filtratieprocessen en de haalbaarheid van de verschillende kwaliteitseisen zijn de volgende parameters bepaald.

- 1 Troebelheid als maat voor zwevendstof (NEN 872) in de Nereda-afloop, vóór en na coagulant dosering en in de filtraten (bepaling on-line voor zandfiltratie en handmatig). De resultaten van zwevendstof metingen in de filtraten laten geen reproduceerbare resultaten zien vanwege de lage gehalten, waardoor de beoordeling van de resultaten indicatief aan de hand van troebelheidmetingen is verricht;
- 2 Zwevendstof in de Nereda-afloop;
- 3 Fosfaatconcentraties ( $PO_4\text{-P}$ ,  $P_{\text{anorg}}$ ,  $P_{\text{tot}}$ ) in het voedingswater (Nereda-afloop) en de filtraten. De fosfaatbepalingen zijn uitgevoerd met Hach-Lange cuvetten. Op basis van NEN 6663 en NEN ISO 15681-2 is orthofosfaat bepaald na een monster voorfiltratie van  $0,45\ \mu\text{m}$ . Het verschil met de bepaling  $P_{\text{anorg}}$  ( $PO_4\text{-P}$  bepaling in een ongefilterd monster) is het orthofosfaat dat vastgelegd is als metaalgebonden fosfaat.

Voor de proeven met het Fuzzy Filter en zandfiltratie zijn verder de looptijden bepaald, vanaf de laatste spoeling tot het moment van doorbraak van zwevendstof en metaalgebonden fosfaat. Voor het monitoren van het doorslagmoment zijn twee monsterkasten geplaatst. Het rendement van de zwevendstof- en fosfaatverwijdering wordt vervolgens op basis van de analyses in het voedingswater (afloop Nereda) en de filtraten bepaald.

### 5.4 PROCES- EN BEDRIJFSVOERING

Tijdens alle filtratietesten is vanwege de vorming van stevige en filtratiebestendige vlokken voornamelijk gepolymeriseerd aluminiumzout als coagulant gebruikt. De dosering is afgesteld op een metaal-orthofosfaat verhouding (Me/oP) van 4,5 mol/mol en een orthofosfaatconcentratie van 1 mg  $PO_4\text{-P/l}$  in het filtervoedingswater. Zoals eerder aangegeven is de orthofosfaatconcentratie in de Nereda-afloop kunstmatig verhoogd tot 1 mg/l door het toevoegen van een natriumdiwaterstoffosfaat-oplossing.

De zandfiltratieproeven zijn voornamelijk uitgevoerd met een filtratiesnelheid van 5 of 10 m/ uur, waarbij het voedingswater de filteropstellingen neerwaarts doorstroomt. Voor de reiniging van de filteropstellingen is een korte luchtspoeling (2 min) toegepast, gevolgd door een gecombineerde lucht/water spoeling (5 min) en een afsluitende waterspoeling. Deze manier wordt vaak toegepast bij de filtratie van de afloop van actief slibsystemen (STOWA, 2006). Omdat de wandeffecten op kleine schaal groter zijn dan voor een praktijkinstallatie, zijn de toegepaste snelheden niet representatief en derhalve niet weergegeven. De verkregen looptijden zijn enerzijds bepaald door het moment van overstort en anderzijds door de doorslag van zwevendstof.

Voor de beproeving van de zwevendstofverwijdering met doekfiltratie is conform het meetprotocol de testkit voor 20 seconden in de voedingsbuffer ondergedompeld, zodanig dat het doekfilter zich 20 cm onder het wateroppervlak bevindt. De testen zijn uitgevoerd met maaswijdtes van  $10\ \mu\text{m}$  -  $60\ \mu\text{m}$ . Na elke filterrun zijn de doekfilters schoongespoeld met leidingwater. Met de opgevangen hoeveelheid filtraat is de filtratiesnelheid bepaald.

Voor de beproeving van de zwevendstofverwijdering gecombineerd met aanvullende fosfaatverwijdering is de hoeveelheid en wijze van coagulantdosering identiek aan die tijdens de zandfiltratieproeven.



Ter indicatieve beproeving van de zwevendstofverwijdering met het Fuzzy filter zijn runs uitgevoerd met een oppervlaktebelasting van 75 tot 100 m/h en een filterbedcompressie van 20 tot 30%, één en ander op basis van door de leverancier aangegeven instellingen. Filtratie voor zwevendstofverwijdering in combinatie met fosfaatverwijdering is getest bij een filtratiesnelheid van 75 m/h en een bedcompressie van 30% en is de uitvoering identiek aan die tijdens de zandfiltratieproeven. Aanvullend is ook een run uitgevoerd waarbij ijzerchloride is gedoseerd aan het Nereda-proces. Het filtratiemateriaal werd na elke filterrun met leidingwater schoongespoeld.

## 5.5 RESULTATEN

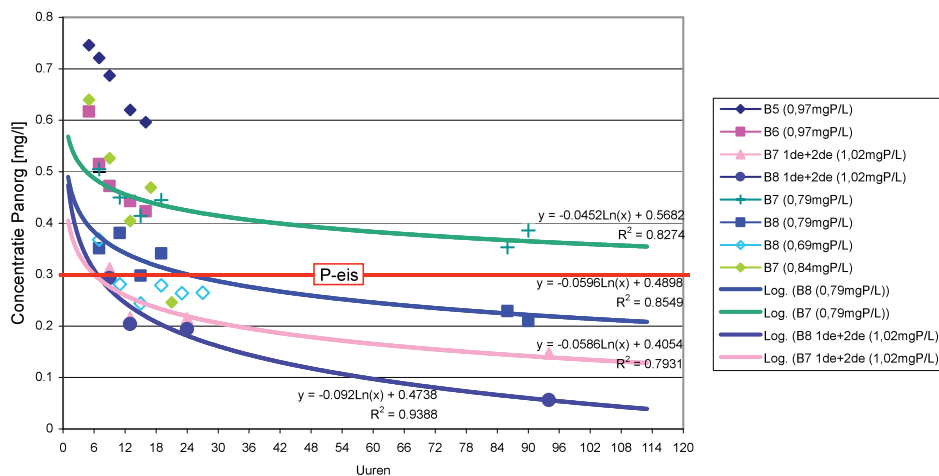
Tijdens het zandfiltratie-onderzoek kwam naar voren dat de filtratie-eigenschappen van de Nereda-afloop (na coagulantdosering) significant verschilt van de afloop van een actiefslibstelsysteem. De toepassing van conventionele filterbedconfiguraties resulteert dan ook in korte looptijden en daarom zijn proeven uitgevoerd met grove filtratiematerialen in de volgende bedconfiguraties.

Bedconfiguratie 1 1,0 m grind (Ø 5 – 8 mm) plus 0,5 m grind (Ø 2 -3,15 mm)  
 Bedconfiguratie 2 1,0 m antraciet (Ø 3 – 6 mm) plus 0,5 m zand (Ø 1-2 mm)

Met deze configuraties zijn zowel lange looptijden als ook een goede fosfaatverwijdering haalbaar gebleken. De filtratieresultaten qua fosfaatverwijdering leveren voor beide bedconfiguraties in een twee-traps opstelling een beter resultaat dan in een één-traps opstelling. Dit is verklaarbaar vanuit de toegepaste hoogte van de filterlagen (twee-traps filtratie: 0,7 m fijn en 1,5 m grof; één-traps filtratie: 0,5 m fijn en 1,0 m grof) en zijn veroorzaakt door de beperkte hoogte van de proefopstelling. Verder is rekening te houden met een inlooptijd (“ripening”), die 1,5 uur bedraagt voor een tweetraps opstelling tot 5 uur voor de ééntraps opstelling. Op grond van de resultaten zijn filtraat-fosfaatconcentraties  $< 0,3 \text{ mgP}_{\text{tot}}/\text{l}$  mogelijk gebleken bij looptijden van  $> 15$  uur bij 5 m/h en  $> 6$  uur bij 10 m/h. Een Me/oP verhouding van 4,5 levert hierbij de beste resultaten.

In Afbeelding 33 zijn resultaten van enkele runs schematisch weergegeven waaruit het bovenstaande blijkt. Fosfaatconcentratie van het voedingswater staat hierbij tussen haakjes vermeld, terwijl 1de en 2de staat voor een twee-traps configuraties.

AFBEELDING 33 P-PROFIELEN ALS FUNCTIE VAN DE TIJD



De zwevendstofverwijdering, indirect aangetoond met troebelheidsmetingen, vertoont een vergelijkbaar verloop. In de één-traps filtratie opstelling is na een inlooptijd van 3,5 uur, de troebelheid in het filtraat van Bed 1 met gemiddeld 1,15 NTU iets hoger dan in het filtraat van Bed 2 (0,9 NTU). Dit komt overeen met de bevindingen voor de fosfaatverwijdering, waarbij Bed 1 iets meer metaalgebonden fosfaat doorlaat in vergelijking tot Bed 2.

Tijdens de doekfiltratie testen is met een doekfilter van 10  $\mu\text{m}$  de filtratiesnelheid vergelijkbaar met die welke wordt toegepast bij zandfiltratie. Grotere maaswijdtes leveren aanzienlijk hogere filtratiesnelheden, waarbij het verwijderingsrendement voor zwevendstof vanzelfsprekend afneemt. Het verwijderingsrendement voor fosfaat is zonder de dosering van een coagulant voor alle beproefde maaswijdtes onvoldoende. In Tabel 10 zijn de resultaten voor zwevendstofverwijdering bij verschillende maaswijdtes samengevat. De gemiddelde zwevendstofconcentratie van het behandelde water bedraagt 20 mg/l.

Bij testen met coagulantdosering is gebleken dat zich een moeilijk verwijderbare koeklaag op het filter afzet. In hoeverre op een praktijkinstallatie een dergelijke koeklaag is te verwijderen en welk (lange termijn) effect dit heeft, is onduidelijk. Het toevoegen van polyaluminiumchloride heeft met de testkit geen negatief effect op de haalbare filtratiesnelheid, maar leidt ook niet tot een significant verbeterde fosfaatverwijdering. Hiervoor wordt nog teveel metaalgebonden fosfaat doorgelaten.

In Tabel 11 zijn resultaten gepresenteerd waarbij de vergelijking met en zonder coagulantdosering is gemaakt. De ingaande zwevendstofconcentratie van het te behandelen water bedraagt bij deze proeven 40 mg/l.

TABEL 10 RESULTATEN DOEKFILTRATIEPROEVEN ALS FUNCTIE VAN FILTERMAASWIJDTE

Parameter	Eenheid	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4
Maaswijdte	[ $\mu\text{m}$ ]	10	18	25	30
Troebelheid in	[NTU]	5,5	5,2	5,0	4,9
Troebelheid uit	[NTU]	1,2	1,4	1,5	2,1

TABEL 11 RESULTATEN DOEKFILTRATIEPROEVEN VOOR ZWEVENDSTOF- EN FOSFAATVERWIJDERING MET EN ZONDER COAGULANTDOSERING

Meting	Eenheid	1	2	3	4
Maaswijdte	[ $\mu\text{m}$ ]	10		60	
Coagulantdosering	[-]	Nee	ja	nee	ja
Troebelheid in	[NTU]	5,0	5,2	4,9	5,4
Troebelheid uit	[NTU]	2,3	2,0	3,4	4,2
$P_{\text{tot}}$ in	[mg/l]	> 1,50	1,33	1,34	> 1,50
$P_{\text{tot}}$ uit	[mg/l]	1,10	1,03	1,29	1,20

Ook de uitgevoerde testen met Fuzzy Filtratie dienen als “proof of principle” te worden beoordeeld. Er is een zestal filtratieruns uitgevoerd met de afloop van het Nereda-proces. De resultaten van de uitgevoerde testen voor zwevendstof- en fosfaatverwijdering kunnen als volgt worden samengevat.

Bij opvoersnelheden van 100 m/h zijn rendementen voor zwevendstofverwijdering van 70 % haalbaar (3,3 NTU naar 1 NTU). Ofschoon de exacte looptijden nog onbekend zijn door het indicatieve karakter en de duur van de testen lijkt op basis van drukmetingen een looptijd langer dan 4 uur mogelijk. Fosfaatverwijdering met behulp van een additionele coagulant-

dosering lijkt mogelijk bij een opvoersnelheid van 75 m/uur, ofschoon de filtraatconcentratie hoger is dan  $0,3 \text{ mgP}_{\text{tot}}/\text{l}$  vanwege de doorbraak van metaalgebonden fosfaat. De looptijd met coagulantdosering is echter beduidend korter en bedraagt  $< 1$  uur. Over het gedrag van het filter tijdens terugspoelen is geen informatie verkregen, omdat één en ander met de testunit technisch niet mogelijk was.

## 5.6 CONCLUSIES

Voor de verwijdering van zwevendstof van de Nereda-afloop kunnen alle drie beproefde technieken (zandfiltratie, Fuzzy Filtratie en doekfiltratie) worden toegepast. Ze leiden tot een acceptabele filtraat-troebelheid  $< 2$  NTU, waarbij met zandfiltratie waarden  $< 1,0$  NTU kunnen worden bereikt.

In de testopstelling is een gelijktijdige verwijdering van zwevendstof en fosfaat met doekfiltratie niet mogelijk gebleken, omdat kleine metaalfosfaatdeeltjes - ook met de kleinst mogelijke maaswijdte van  $10 \mu\text{m}$  - onvoldoende worden tegengehouden. Vanwege de technische opzet en schaalgrootte van de testopstelling is het effect van een aanvullende flocculantdosering niet getest. Toepassing hiervan op praktijkschaal ligt echter voor de hand. Door de vorming van grotere vlokken enerzijds en een extra filtratiewerking door koekvorming anderzijds, mag een beter resultaat worden verwacht. Mede omdat praktijkreferenties van een gelijktijdige zwevendstof- en vergaande fosfaatverwijdering met doekfiltratie ontbreken, is nader onderzoek nodig. Hierin is in het komende onderzoeksprogramma voorzien.

Fuzzy Filtratie kan zowel zwevendstof als fosfaat vergaand verwijderen, waarbij het fosfaatverwijderingsrendement bij een filtratiesnelheid van 75 m/h wel sterk afneemt na een looptijd van ongeveer 1 uur. Dan vindt doorbraak van kleine deeltjes met gebonden fosfaat plaats, hetgeen de mogelijkheden voor een praktijktoepassing onder deze condities zal beperken. Vervolgonderzoek is nodig voor optimalisatie van de effluentkwaliteit en de standtijden.

Met zandfiltratie en voorafgaande coagulantdosering worden afhankelijk van de bedconfiguratie en de uitvoeringsvorm (één- of tweetraps) goede verwijderingsrendementen voor zwevendstof behaald. Met de toepassing van polyaluminiumchloride als meest optimale coagulant (Me/oP 4,5), is voor verschillende bedconfiguraties een fosfaateis van  $0,3 \text{ mgP}_{\text{tot}}/\text{l}$  haalbaar. Hierbij dient op grond van de verkregen resultaten wel te worden uitgegaan van voldoende bedhoogte. Verder moet rekening worden gehouden met de keuze van de filtermaterialen, één en ander in relatie tot de benodigde fluïdisatiesnelheden voor terugspoeling en daaraan gerelateerd het benodigde energieverbruik.

De resultaten van de uitgevoerde testen met zandfiltratie en alternatieve filtratietechnieken laten met name conclusies toe voor de situatie op rwzi Epe en in mindere mate voor de rwzi Dinxperlo. Uitspraken over de vertaalbaarheid van deze resultaten naar andere locaties zijn gezien de ervaringen nog slechts beperkt mogelijk.

# 6

## SLIBBEHANDELING

### 6.1 INLEIDING

Zoals aangegeven in de inleiding is parallel aan het nabehandlingsonderzoek tevens onderzoek verricht naar de behandeling van het surplusslib van het Nereda-proces. Indicatief zijn de mogelijkheden onderzocht van gravitatie-indikking, mechanische indikking en ontwatering. Het slibbehandelingsonderzoek is gericht op haalbare drogestofgehaltenes, afscheidingsrendement, chemicaliënverbruik en de eventuele afgifte van fosfaat. In dit onderzoek is – naar analogie met het nabehandlingsonderzoek – ook aandacht besteed aan de interactie met de nabehandeling. In de Nereda configuratie voor de praktijkinstallatie Epe is namelijk voorzien dat het spoelwater van de nageschakelde zandfiltratie samen met het spuislib wordt behandeld.

Vanwege de schaal waarop de pilotonderzoeken zijn uitgevoerd, was de beschikbare hoeveelheid spuislib gering. Dat betekent dat de verschillende onderzoeken op kleine schaal zijn uitgevoerd. Hierdoor zijn de resultaten indicatief en moeten dan ook als zodanig worden beoordeeld. Op grond van eerdere vergelijkingen van resultaten tussen kleine schaalproeven en praktijkinstallaties kunnen echter wel conclusies aan het voorliggend onderzoek worden verbonden.

Het spuislib van Nereda installaties kenmerkt zich in vergelijking tot conventionele actiefslibsystemen door relatief lage drogestofgehaltenes. Tijdens pilotonderzoek zijn drogestofgehaltenes bepaald van 1,4 tot 2,2 g/l. Deze spuislibstroom is met de gangbare slibverwerkingstechnieken op kleine schaal beproefd, waarbij tevens is gekeken naar de kwaliteit van het slibwater. De wijze waarop hiermee in een Nereda installatie moet worden omgegaan, wordt enerzijds bepaald door de afgifte van fosfaat en anderzijds door de zwevendstofconcentratie. Onderstaand is een overzicht van het onderzoeksprogramma kort gepresenteerd.

- 1 gravitatie indikking
  - kwaliteitsverandering van slibwater bij het bufferen van spuislib
  - indikking zonder of met vlokhulpmiddel
- 2 mechanische indikking
  - indikking zonder of met vlokhulpmiddel
  - invloed van spoelwater zandfiltratie op slibwaterkwaliteit
- 3 mechanische ontwatering

Proefnemingen zijn in eerste instantie op labschaal uitgevoerd, zodat indicatief het indikresultaat (DS-percentages), de invloed van hulpstoffen (type en hoeveelheid PE) en de kwaliteit van het slibwater kon worden vastgesteld. Op basis van deze resultaten zijn proeven op pilotschaal uitgevoerd.

## 6.2 MEETOPSTELLING

### ALGEMEEN

Voor alle proeven op laboratorium en pilotschaal is surplusslib van de Nereda pilotinstallatie(s) opvangen in een slibbuffer (1 m<sup>3</sup> inhoud). Deze buffer wordt gemengd en bij elke cyclus van het Nereda-proces ververst.

Voor de proefnemingen met gravitatie indikking op labschaal is een opstelling gebruikt bestaande uit drie maatcilinders, waarin het slib gravitair kan bezinken of indikken. Aan de onderzijde van elke maatcilinder kan via een aquariumbeluchter zuurstof worden ingebracht, om anaërobe omstandigheden te voorkomen. Op een praktijkinstallatie wordt het spuislib, voorafgaand aan het slibindikkingsproces opgeslagen en kan derhalve fosfaatgifte plaatsvinden. De proeven met gravitatie-indikking zijn zowel zonder als met vlokhelpmiddelen uitgevoerd.

Voor de ontwatering van het surplusslib zijn persproeven op laboratoriumschaal uitgevoerd met een minipers, zoals weergegeven in Afbeelding 34. In deze minipers wordt het slibmonster in een ontwateringskamer gebracht en met behulp van een perscilinder ontwaterd. Er zijn zowel ontwateringsproeven zonder als met voorafgaande vlokmiddeldosering uitgevoerd. Voor de mechanische indikking van het surplusslib is dezelfde laboratoriumopstelling (minipers) gebruikt, waarbij de ontwateringskamer niet horizontaal, maar verticaal is opgesteld. Op deze manier kan slibwater zonder opgelegde persdruk met behulp van zwaartekracht door het filter wegstromen. De indikking van het surplusslib – zie Afbeelding 35 – is zowel zonder als met dosering van een vlokhelpmiddeldosering getest.

AFBEELDING 34 MINIPERS VOOR SLIBONTWATERING

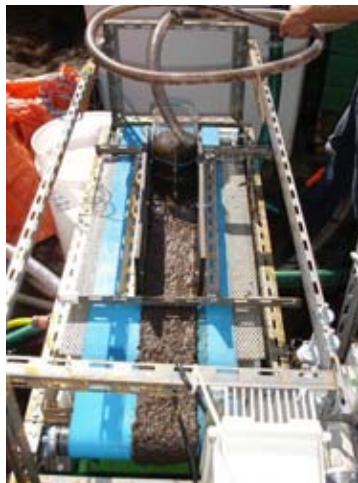


AFBEELDING 35 MECHANISCH INGEDIKT SURPLUSLIB



Om mechanische slibindikking op pilotschaal te beproeven is een bandfilteropstelling gebruikt zoals weergegeven in Afbeelding 36. De opstelling is voorzien van een slib-inlaatconstructie, een roteerbare filterband met sproeierconstructie voor de reiniging en een slibwaterbuffer.

AFBEELDING 36 PILOTSCHAAL BANDFILTER



### 6.3 MEETPROGRAMMA

Tijdens de labschaal- en pilotproeven is een aantal metingen uitgevoerd om de effectiviteit van de verschillende slibverwerkingstechnieken te beoordelen. Het indikresultaat van de verschillende proeven is bepaald door het meten van drogestofconcentraties in ingedikt en ontwaterd slib, alsmede drogestofconcentraties in het slibwater. Voor het vaststellen van eventuele fosfaatafgifte tijdens slibbuffering is naast de meting van het orthofosfaatgehalte ( $\text{PO}_4\text{-P}$ ) ook nitraat bepaald, één en ander na voorafgaande filtratie van het monster over een  $0,45\ \mu\text{m}$  glasvezelfilter. Additioneel zijn CZV-bepalingen uitgevoerd.

### 6.4 PROCES- EN BEDRIJFSVOERING

Voor alle proefnemingen op laboratoriumschaal is de benodigde hoeveelheid slib proefondervindelijk bepaald. Verschillen in slibkwaliteit zijn meegenomen door spuislib te gebruiken dat onder DWA- en RWA-omstandigheden is onttrokken. Verder is gezorgd voor een regelmatige verversing van het surplusslib in de slibbuffer en menging ter homogenisatie van de slibsamenstelling. Aluminium- of ijzerhoudend spoelwater afkomstig van zandfiltratieproeven is gebufferd voor indicatieve proeven.

Voor de beoordeling van de mogelijke fosfaatafgifte zijn procesomstandigheden van belang. Om dit te testen zijn in de drie maatcilinders verschillende omstandigheden gecreëerd (0 tot 3 uur beluchten). Vervolgens zijn op meerdere tijdstippen na het stoppen van de beluchting analyses uitgevoerd. Hierbij zijn in de bovenstaande waterlaag het CZV, DS, nitraat en orthofosfaat gemeten en het DS gehalte in de sliblaag.

Voor de gravitatieproeven is het surplusslib, zonder en met voorafgaande dosering van PE in een Imhoffglas ingedikt. Zonder PE-dosering is het droge stofgehalte van het ingedikt slib op verschillende tijdstippen over een periode van maximaal 6 uur gemeten. Met PE-dosering is de droge stofconcentratie bepaald voor verschillende doseringen.

Voor de ontwateringsproeven met de eerder beschreven minipers is een persdruk van 7 bar aangelegd.

Voor de mechanische indikking op pilotschaal zijn proeven met en zonder PE uitgevoerd. Alle geteste PE's zijn van het merk Praestol en 70 tot 90 % kationisch met een activiteit van 42 tot 48 %. De gebruikte filterband is een standaard band. Belangrijk bij de uitvoering van deze pilotproeven is de wijze waarop spuislib op de filterband wordt gebracht, zodat een representatieve laagdikte wordt gevormd.

## 6.5 RESULTATEN

Testen met gravitatie indikking op laboratoriumschaal laten zien dat het Nereda spuislib na 5 minuten is ingedikt tot 0,8 %, terwijl het spuislib van de rwzi Epe dit percentage pas na een uur heeft behaald. Opvallend is dat na 24 uur bezinken het Nereda slib tot 1,5 % is ingedikt, terwijl het rwzi slib dan 2,0 % (in de praktijk 3 %) heeft bereikt.

Het doseren van PE (circa 2,0 g/kg DS) leidt bij het Nereda slib tot een verbetering naar 2,5 %, terwijl bij het rwzi slib geen verandering optreedt.

Na een onbeluchte periode van 2 uur begint de fosfaatconcentratie in de sliblaag sterk toe te nemen tot concentraties  $> 5 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$ . Zolang er geen menging plaatsvindt tussen de sliblaag en het bovenstaande water is de toename in het slibwater gering.

Op laboratoriumschaal wordt 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 is. Als PE wordt gedoseerd ontstaan, evenals bij gravitatie-indikking, grote vlokken en derhalve 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 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.

Ook bij ontwatering op labschaal zorgt het lage drogestofgehalte van het surplusslib voor een ongunstige verhouding in hydraulische belasting ten opzichte van de droge stofbelasting. Op praktijkschaal zal dit aspect bij de keuze van een ontwateringsprincipe een belangrijke rol spelen. De resultaten van de proefnemingen laten een vergelijkbaar resultaat zien met het beproefde rwzi slib, te weten ontwateringspercentages van 16 tot 18,5 % bij een verbruik van circa 10 g PE/kg DS. Bij de ontwatering van (grote) korrels blijkt het PE-verbruik te kunnen worden gereduceerd.

Op grond van de hiervoor beschreven resultaten zijn aanvullend testen uitgevoerd met een zeefband op pilotschaal.

Het drogestofgehalte van het mechanisch ingedikt slib bedraagt 5 tot 6 % bij een PE-verbruik van 3 g/kg DS en een goed afscheidingsrendement. Deze resultaten zijn vergelijkbaar met die van conventioneel rwzi slib. De verwerking van het spuislib in combinatie met ijzerhoudend spoelwater geeft een vergelijkbaar indikresultaat. De variatie in indikresultaat en specifiek de

filtraatkwaliteit is het grootst bij de verwerking van aluminiumhoudend spoelwater. Hierbij is ook de menging van PE en slib een aandachtspunt, aangezien de vloksterkte in deze combinatie sterk wordt beïnvloed door de mengenergie.

## 6.6 CONCLUSIES

Op basis van de indicatieve proefnemingen komt naar voren dat zowel gravitatie als mechanische indikking mogelijk zijn. De indikresultaten van mechanische indikking zijn, conform verwachting beter dan die van gravitatie-indikking. Vanwege het feit dat de spuislibstroom sterk kan variëren in zowel hydraulische als drogestof vracht, heeft mechanische indikking van Nereda spuislib de voorkeur. Dit komt door een belangrijk vereiste van een hoog afscheidingsrendement onder wisselende omstandigheden en de rol van de afgifte van orthofosfaat.

De mechanische indikking van surplusslib geeft resultaten die volledig vergelijkbaar zijn met de resultaten van conventioneel actief slib. In combinatie met aluminium- of ijzerhoudend spoelwater moet bij de verwerking rekening worden gehouden met het behouden van een stabiele vlok. Hierbij is de hoeveelheid mengenergie van belang.



# 7

## EVALUATIE

### 7.1 PILOTONDERZOEK

In het NNOP zijn heldere doelstellingen ten aanzien van de ontwikkeling van de Nereda-technologie verwoord. Deze hebben onder meer betrekking op de mogelijkheden van korrelvorming op verschillende typen afvalwater, de stabiliteit van éénmaal gevormd korrelslib, de optimalisatie van de effluentkwaliteit en het verkrijgen van technologische ontwerpgrondslagen voor praktijkinstallaties.

#### 7.1.1 NEREDA PILOTONDERZOEK

Geconcludeerd kan worden dat met de uitvoering van de beschreven pilotonderzoeken alle relevante onderzoeksdoelstellingen zijn gerealiseerd. Op meerdere locaties is korrelvorming aangetoond, zowel met voorbehandeld als met ruw afvalwater. Het onderzoek in Epe laat zien dat gedurende een periode van 2,5 jaar in beide reactoren sprake was van stabiel korrelslib, waarvan de specifieke activiteiten voor de verwijdering van stikstof en fosfaat in de tijd goed op peil zijn gebleven. De effluentkwaliteit ten aanzien van zwevendstof en nutriënten is in de verschillende opeenvolgende onderzoeken vergaand geoptimaliseerd. Een belangrijk onderzoeksaspect is de temperatuurgevoeligheid van de stikstof- en fosfaatverwijdering geweest. Gezien de duur van onderzoeken is dit aspect uitgebreid onderzocht. De gepresenteerde cijfers van Epe betreffen de periode van januari 2009 tot en met januari 2010 en derhalve inclusief de winterperiodes van 2009 en 2010. In Dinxperlo heeft de winter van 2009 onderdeel uitgemaakt van het onderzoek.

De onderzoeken in Epe en Dinxperlo laten zien dat stabiele, lage zwevendstofconcentraties in het effluent mogelijk zijn. Gekoppeld aan de goede resultaten voor nutriëntenverwijdering kan worden gesteld dat met korrelslibreactoren zonder nabehandeling de effluentkwaliteit heeft voldaan aan de reguliere effluenteisen in Nederland (N-totaal = 10 en P-totaal = 1 mg/l). Dit laat zien dat de potentie van de technologie groot is, ook voor toepassingen in het buitenland.

Cijfers met betrekking tot de slibproductie van de verschillende onderzoeken laten zich moeilijk vergelijken met de rwzi's waar de onderzoeken zijn uitgevoerd. Dit is terug te voeren op verschillende wijze van fosfaatverwijdering (biologisch dan wel chemisch) of de slibbehandeling (al of niet slibgisting).

#### 7.1.2 NABEHANDELING

Vanwege de enigszins verhoogde zwevendstofconcentraties in het effluent kan er van worden uitgegaan dat in het geval van zeer vergaande stikstof- en fosfaatverwijderingseisen (N-totaal = 5 mg/l, P-totaal < 0,5 mg/l) een nabehandeling van het Nereda-effluent noodzakelijk is. Hierbij wordt gedacht aan nabehandelingstechnieken die in dergelijke gevallen ook achter conventionele actiefslibinstallaties worden geschakeld. Het onderzoek naar de mogelijkheden van discontinue zandfiltratie voor de verwijdering van zwevendstof en fosfaat laat zien dat behandeling van Nereda-effluent goed uitvoerbaar is.

Verder zijn met korte testen de mogelijkheden van de verwijdering van zwevendstof door

middel van Fuzzy Filtratie en doekfiltratie onderzocht. De resultaten hiervan zijn veelbelovend. De mogelijkheden voor vergaande fosfaatverwijdering met Fuzzy Filtratie en doekfiltratie zijn eveneens kortstondig beproefd en leiden tot de conclusie dat bij een vergelijkbare coagulantdosering als bij het zandfiltratie-onderzoek vooralsnog mindere fosfaatverwijderingsrendementen worden behaald. Mogelijk kan dit rendement worden verbeterd door optimalisatie van de procesvoering, een hogere coagulantdosering en/of het aanvullend doseren van een flocculant.

### 7.1.3 SLIBBEHANDELING

Indicatief zijn de mogelijkheden onderzocht van gravitatie-indikking, mechanische indikking en ontwatering. Het slibbehandelingsonderzoek is gericht op haalbare drogestofgehalten, afscheidingsrendement, chemicaliënverbruik en de eventuele afgifte van fosfaat.

Op basis van de proefnemingen komt naar voren dat zowel gravitatie als mechanische indikking mogelijk zijn. De indikresultaten van mechanische indikking zijn, conform verwachting beter dan die van gravitatie-indikking. Vanwege het feit dat de spuislibstroom sterk kan variëren in zowel hydraulische als drogestof vracht, heeft mechanische indikking van Nereda spuislib de voorkeur. Dit komt door een belangrijk vereiste van een hoog afscheidingsrendement onder wisselende omstandigheden en de rol van de afgifte van orthofosfaat.

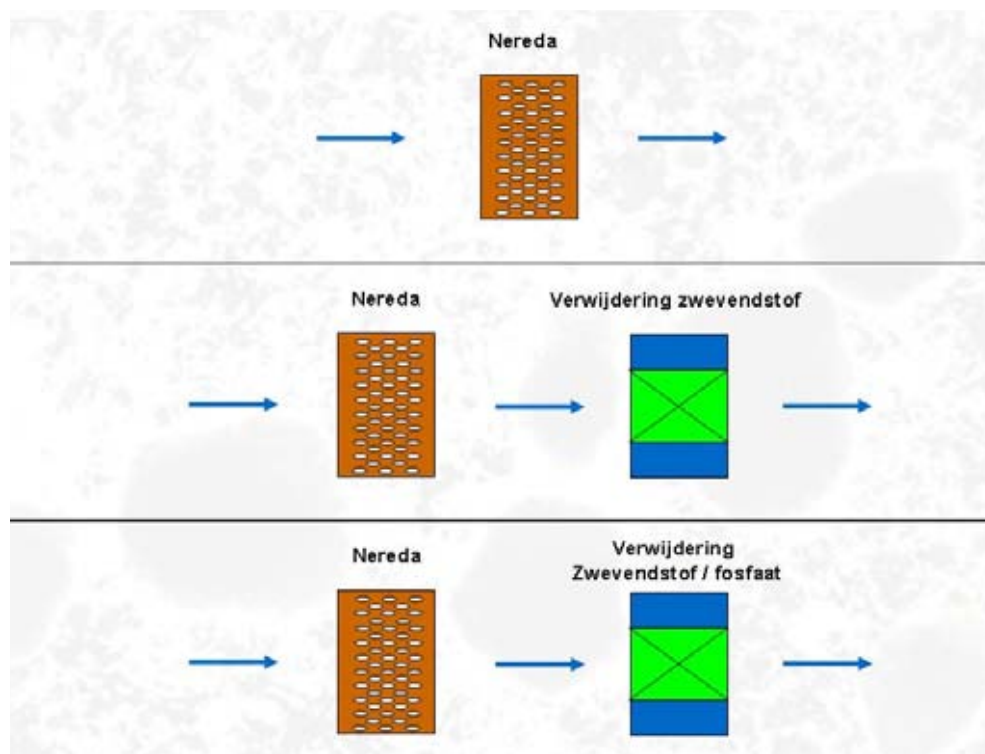
De mechanische indikking van surplusslib geeft resultaten die volledig vergelijkbaar zijn met de resultaten van conventioneel actiefslib. In combinatie met aluminium- of ijzerhoudend spoelwater moet bij de verwerking rekening worden gehouden met het behouden van een stabiele vlok. Hierbij is de hoeveelheid mengenergie van belang.

## 7.2 DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK

Op basis van de goede onderzoeksresultaten ligt het voor de hand om over procesconfiguraties op praktijkschaal na te denken. Indien de onderzoeksresultaten naar de praktijk worden vertaald, kan – afhankelijk van de effluenteisen – in principe aan drie procesconfiguraties worden gedacht (zie Afbeelding 37). Het onderscheid tussen de procesconfiguraties betreft het al of niet toepassen van een nabehandlingsstap. Indien de Nereda-technologie zonder nabehandeling wordt toegepast, kan wellicht worden voldaan aan de reguliere effluenteisen in Nederland (N-totaal = 10 mg/l en P-totaal = 1 mg/l). De bepalende factor hierbij is in hoeverre het zwevendstofgehalte in het effluent van Nereda-praktijkinstallaties in de hand wordt gehouden. De onderzoeken in Epe en Dinxperlo hebben laten zien dat dit goed mogelijk is.

De eerste ervaringen met de Nereda-technologie op grotere schaal zijn op grond van de resultaten van een eerste demonstratie-installatie in Zuid-Afrika positief te noemen. Het betreft een installatie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater met een maximale capaciteit van 4.000 m<sup>3</sup>/d. Vanwege de lage hydraulische belasting is slechts één van de drie Nereda-reactoren in bedrijf. De rwzi heeft geen nabehandeling, maar laat naast een uitstekende nutriëntenverwijdering ook lage zwevendstofgehalten in het effluent zien met een gemiddelde waarde van 12 mg/l over de periode oktober 2009 tot januari 2010. Verder neemt de korrelvorming gestaag toe en bedroeg eind maart 2010 53% bij een SVI<sub>30</sub> van 40-50 ml/g. Deze resultaten bevestigen het beeld van de in Nederland verrichte pilotonderzoeken. De Zuid-Afrikaanse situatie kan echter niet zomaar worden vergeleken met de Nederlandse situatie, omdat nadrukkelijk andere omstandigheden heersen. Hierbij kan worden gedacht aan de RWA/DWA-verhouding, de minder zware effluenteisen en duidelijk hogere procestemperaturen.

AFBEELDING 37 PROCESCONFIGURATIES NEREDA



De vraag of in Nederland bij de reguliere effluenteisen (N-totaal = 10 mg/l, P-totaal = 1 mg/l) een nabehandeling noodzakelijk is, kan op dit moment nog niet goed worden beoordeeld. De eerste praktijkinstallaties zullen de noodzaak hiervan moeten uitwijzen. Indien een nabehandeling noodzakelijk mocht blijken te zijn, hoeft alleen zwevendstof te worden verwijderd. Eventuele aanvullende chemische fosfaatverwijdering kan plaatsvinden met simultane fosfaatverwijdering conform de opzet in het pilotonderzoek op de rwzi Dinxperlo.

Indien wordt gekozen voor een nabehandeling met aanvullende fosfaatverwijdering, wijst het pilotonderzoek uit dat dit goed mogelijk is met discontinue zandfiltratie.

### 7.3 OPSCHALING

Eén van de grootste aandachtspunten bij de opschaling is de veel lagere Hoogte/Diameter-verhouding (veelal  $H/D < 0,5$ ) in vergelijking tot de pilotinstallaties ( $H/D = 10$ ). Een lagere  $H/D$ -verhouding zorgt onder meer voor een ander hydrodynamisch gedrag in praktijkreactoren. Hiervan dienen de effecten goed in kaart moeten worden gebracht. In het NNOP is in dergelijke onderzoeken bij praktijkinstallaties voorzien.

De mogelijkheden voor nabehandeling zoals doekfiltratie en Fuzzy Filtratie alsmede de mogelijkheden voor slibindikking en -ontwatering kunnen op praktijkschaal veel beter op hun merites worden beoordeeld. Onder praktijkomstandigheden is de beschikbare hoeveelheid water en slib geen belemmering en kan derhalve onderzoek op representatieve schaal plaatsvinden. Ook dit type onderzoek is onderdeel van het NNOP en zal bij de eerste praktijkinstallaties worden gedefinieerd en uitgevoerd.

#### 7.4 SITUATIE IN NEDERLAND

De volgende stap in de ontwikkeling van de Nereda-technologie is opschaling naar Nederlandse praktijkomstandigheden. Het ligt in lijn der verwachting dat in Nederland de komende jaren een aantal praktijkinstallaties zal worden gebouwd. Bij het verschijnen van deze rapportage is de eerste praktijkinstallatie in aanbouw, namelijk de rwzi Epe van Waterschap Veluwe (53.500 v.e. à 150 gTZV, RWA 1.500 m<sup>3</sup>/h). Inmiddels heeft Waterschap Rijn en IJssel op bestuurlijk niveau besloten op rwzi Dinxperlo een nieuwe installatie te bouwen die op basis van de Nereda-technologie (15.700 v.e. à 150 gTZV, RWA 570 m<sup>3</sup>/h). Waterschap Regge en Dinkel gaat op de rwzi Vroomshoop een nieuwe hybride installatie bouwen (21.700 v.e. à 150 gTZV, RWA 1.250 m<sup>3</sup>/h), waarbij de helft van de capaciteit in een actiefslibinstallatie wordt behandeld en de andere helft in een Nereda-installatie.

Een belangrijke reden voor alle drie genoemde waterkwaliteitsbeheerders om voor Nereda te kiezen is het lage energieverbruik. Het lage energieverbruik wordt veroorzaakt doordat veel recirculatiestromen ontbreken (retourslib, recirculatie naar voordennitrificatietank, recirculatie naar anaërobe tank etc) en het ontbreken van menging in onbeluchte tanks. Nereda vraagt iets meer energie ten behoeve van de slibindikking vanwege het feit dat de concentratie van het surplusslib wat lager is. Afhankelijk van de lokale situatie en effluenteisen kan extra energie benodigd zijn om het water naar de Nereda-reactoren op te voeren alsmede extra energie voor anoxische cyclusstappen. De totale energiebesparing ten opzichte van continue actiefslibsystemen bedraagt minimaal 20%.

#### 7.5 OPSTART

De eerste praktijkinstallaties kunnen niet met aëroob korrelib van een andere installatie worden opgestart. Dat betekent dat de eerste praktijkinstallaties rekening moet worden gehouden met een opstartperiode waarin de korrelvorming zal plaatsvinden. In deze periode kan de Nereda-installatie niet aan de gestelde effluenteisen voldoen. De in Nederland geplande Nereda-installaties hebben alledrie het kenmerk dat een volledig nieuwe installatie wordt gebouwd. Dat betekent dat de huidige installaties in bedrijf blijven tot het moment dat de korrelvorming op een voldoende niveau is dat de Nereda-installatie in gebruik kan worden genomen. Tijdens de opstart van de Nereda-reactoren zal de afloop van Nereda op de bestaande installatie worden geloosd.

# 8

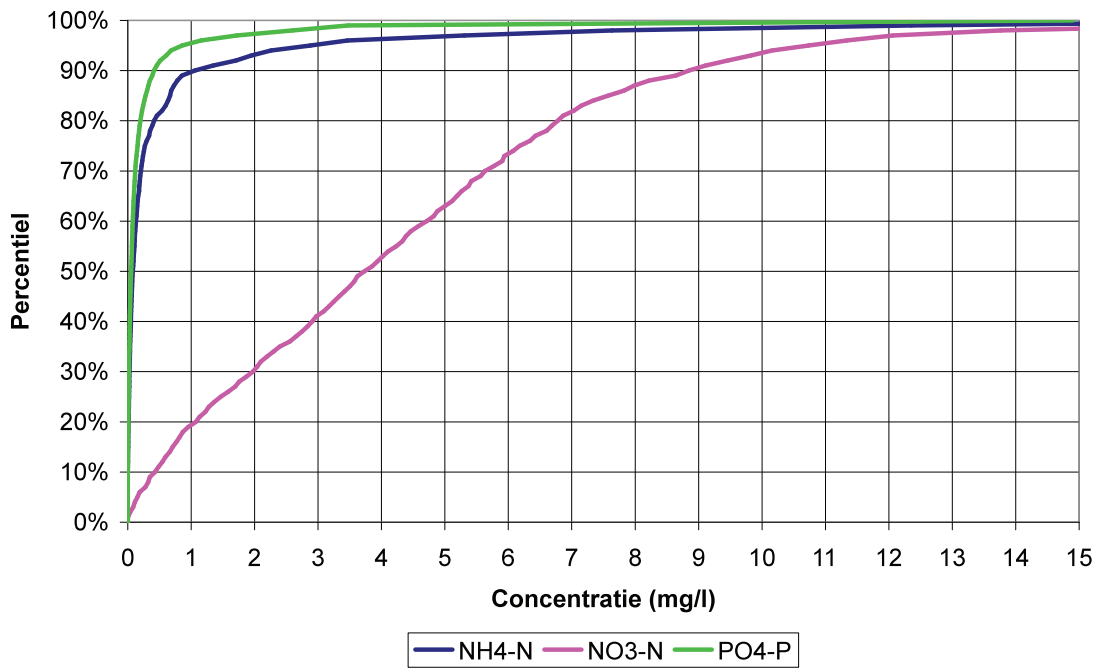
## REFERENTIES

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 [Dissertation].  
M.K. de Kreuk (2006), Delft University of Technology, The Netherlands. 199p.  
ISBN 90-9020767-8

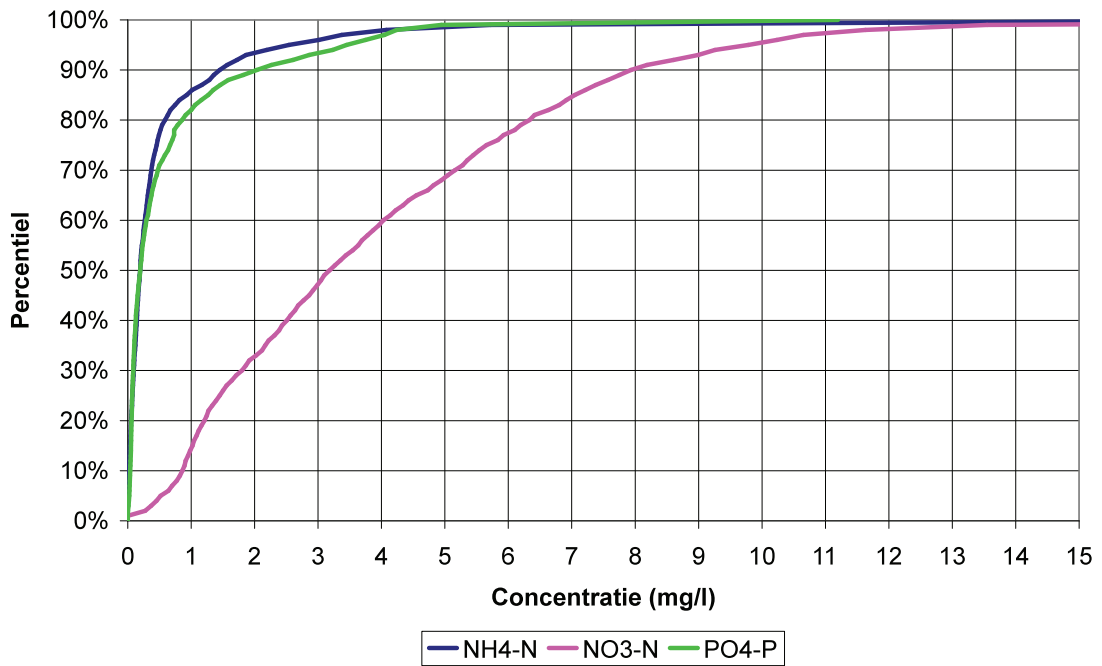
BIJLAGE 1

FREQUENTIEVERDELINGEN  
EFFLUENTKWALITEIT AFLOOP  
NEREDA-REACTOREN EPE EN DINXPERLO

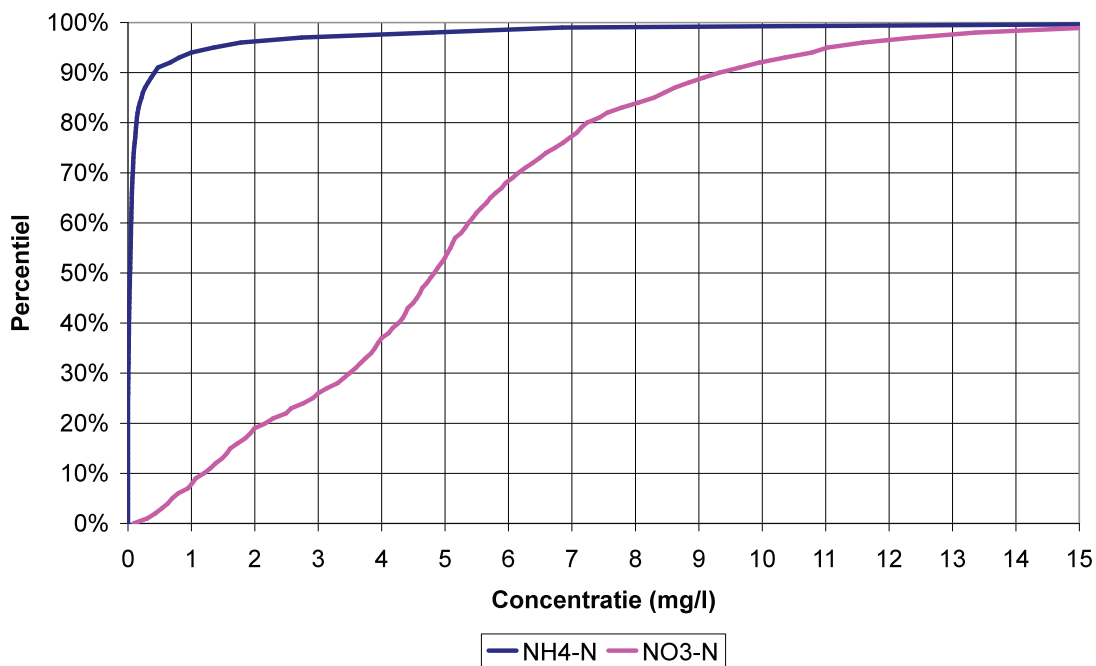
AFBEELDING 1 FREQUENTIEVERDELINGEN EFFLUENTCONCENTRATIES REACTOR 1 EPE GEBASEERD OP PERIODE JANUARI 2009 T/M JANUARI 2010 (1.438 CYCLI)



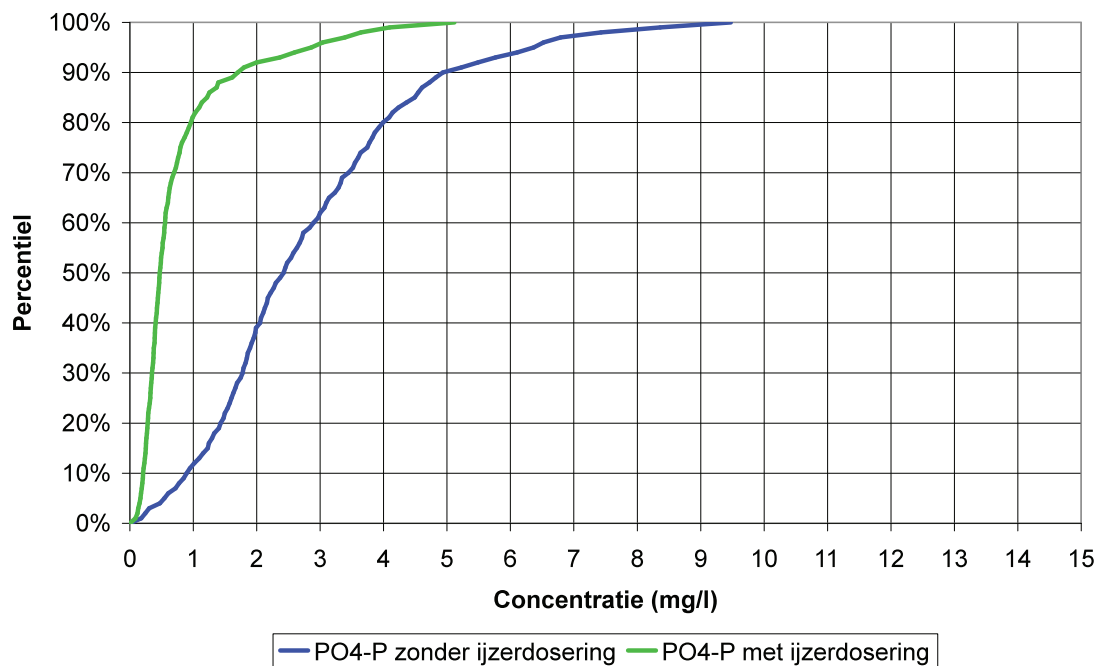
AFBEELDING 2 FREQUENTIEVERDELINGEN EFFLUENTCONCENTRATIES REACTOR 2 EPE GEBASEERD OP PERIODE JANUARI 2009 T/M JANUARI 2010 (1.427 CYCLI)



AFBEELDING 3 FREQUENTIEVERDELINGEN EFFLUENTCONCENTRATIES DINXPERLO GEBASEERD OP PERIODE DECEMBER 2008 T/M JULI 2009 (1.154 CYCLI)



AFBEELDING 4 FREQUENTIEVERDELINGEN EFFLUENTCONCENTRATIES DINXPERLO GEBASEERD OP PERIODEN DECEMBER 2008 T/M APRIL 2009 (GEEN IJZERDOSERING, 530 CYCLI) EN MEI 2009 T/M JULI 2009 (AANVULLENDE IJZERDOSERING, 627 CYCLI)





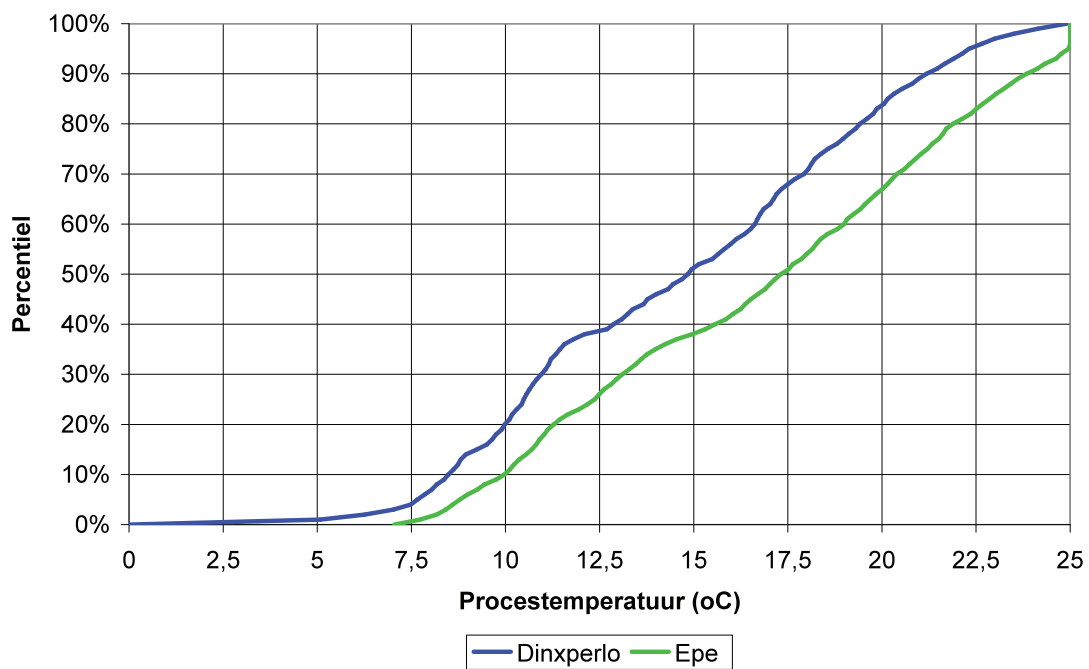


BIJLAGE 2

FREQUENTIEVERDELINGEN

PROCESTEMPERATUREN

NEREDA-REACTOREN IN EPE EN DINXPERLO



**BIJLAGE 3**

# VOORBEELD VAN CONTROLEMETINGEN ON-LINE ANALYSERS

AFBEELDING 1      CONTROLE FUNCTIONEREN ON-LINE AMMONIUMANALYSER REACTOR 1 EPE

