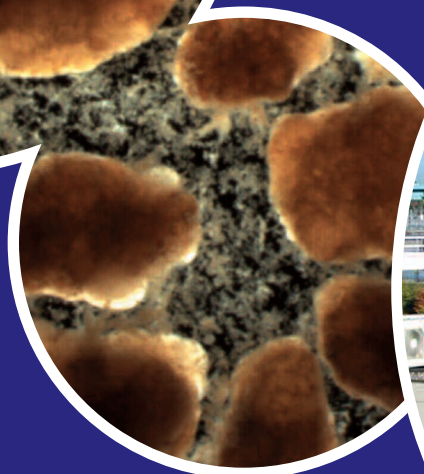
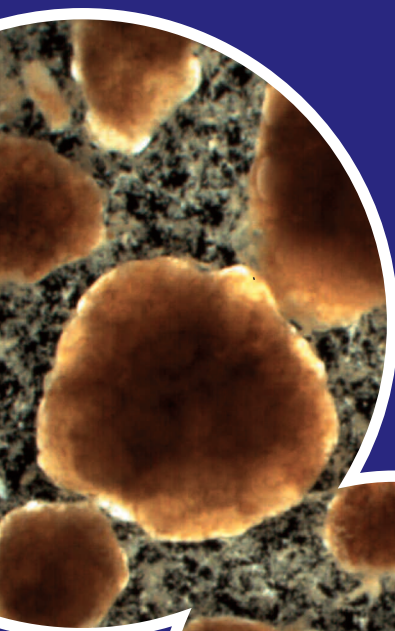


AEROOB KORRELSLIB- TECHNOLOGIE



RAPPORT

2005
35

AËROOB KORRELSLIBTECHNOLOGIE

PILOT-ONDERZOEK NAAR DE TOEPASSING VOOR
DE BEHANDELING VAN HUISHOUELIJK AFVALWATER

RAPPORT

2005

35

ISBN 90.5773.324.2



COLOFON

Utrecht, 2006

UITGAVE STOWA, Utrecht

PROJECTUITVOERING

ir. L.M.M. de Bruin, DHV Water BV
drs. M.W. Kraan, DHV Water BV
ing. J. Verkuijlen, DHV Water BV
ir. H.F. van der Roest, DHV Water BV
ir. M.K. de Kreuk, TU Delft
prof. dr. ir. M.C.M. van Loosdrecht, TU Delft

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. T.W.M. Wouda, Waterschap Aa en Maas)
ing. F.A. Brandse, Waterschap Reest en Wieden
dr. ir. C. Marcelis, STW
ir. J.W. Mulder, Waterschap Hollandse Delta
dr. ir. H. Temmink, Universiteit Wageningen
drs. J.L.P.M. van der Pluijm, Innowater BV
dr. ir. W.M. Wiegant, Royal Haskoning
ir. R. Mulder, Paques BV
ir. C.A. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2005-35
ISBN 90.5773.324.2

TEN GELEIDE

Op basis van laboratoriumonderzoek heeft de STOWA besloten tot een pilot-onderzoek naar de mogelijkheden van de aëroob korrelibslibtechnologie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. Dit pilot-onderzoek is een flinke stap voorwaarts in de opschaling van de technologie.

Gezien de resultaten van het pilot-onderzoek lijkt de aëroob korrelibslibtechnologie een serieus alternatief voor actiefslibsystemen te kunnen gaan vormen. De potentie van de technologie is ook buiten de watermarkt niet onopgemerkt gebleven, getuige de prijsvraag “De vernufteling 2005” die DHV en de TU Delft hebben gewonnen. De STOWA wil graag verder gaan met de ondersteuning van de ontwikkeling van de aëroob korrelibslibtechnologie. Dit wordt versterkt door de actualisatie van de economische haalbaarheid uit 2003, waaruit een aantrekkelijk financieel plaatje naar voren komt.

Momenteel wordt met diverse partijen overlegd op welke wijze gestalte kan worden gegeven aan de verdere ontwikkeling van de technologie.

Utrecht, januari 2006

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

SAMENVATTING

In de periode oktober 2003 tot en met de zomer van 2005 is op de rwzi Ede een grootschalig pilot-onderzoek uitgevoerd naar de toepassingsmogelijkheden van de aëroob korrelslibtechnologie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater onder Nederlandse omstandigheden. De aëroob korrelslibtechnologie is een proces dat batch-gewijs wordt bedreven. Het precieze selectiemechanisme voor korrelvorming is niet bekend, maar de volgende randvoorwaarden ten aanzien van de procesvoering spelen een belangrijke rol: een korte bezinktijd – deze leidt tot de selectie van goed bezinkbare biomassa, want slibdeeltjes met lagere bezinksnelheden worden uit de reactor gespoeld; initieel hoge substraatconcentraties; de omzetting van (een deel van) het makkelijk afbreekbaar substraat in opslagproducten, hetgeen leidt tot de selectie van langzaam groeiende organismen. Bij de behandeling van huishoudelijk afvalwater gaat het hierbij om fosfaat accumulerende organismen (Phosphate Accumulating Organisms, PAO's); de vorming van gladde, egale korrels wordt gestimuleerd als de korrels worden blootgesteld aan hoge afschuifkrachten die worden veroorzaakt door intensieve menging.

Een belangrijk kenmerk van korrelslib is de lage verhouding tussen de SVI na 5 en 30 minuten. Deze bedraagt voor aëroob korrelslib 1 - 1,3 terwijl deze voor actief ongeveer 2 bedraagt. Dit betekent dat aëroob korrelslib veel sneller bezinkt dan actiefslib en niet of nauwelijks indikt.

ONDERZOEKSPROGRAMMA

Het onderzoek was opgesplitst in twee deelonderzoeken. In het eerste deelonderzoek zijn de mogelijkheden van korrelvorming onderzocht. Belangrijk hierbij was onder welke omstandigheden korrelvorming tot stand kon worden gebracht. Het ging hierbij om aspecten met betrekking tot de voorbehandeling, biologische fosfaatverwijdering en de invloed van afschuifkrachten. Dit laatste aspect is onderzocht door de korrelvorming in twee typen reactoren te onderzoeken: een bellenkolom en een air-lift reactor.

Het tweede deelonderzoek richtte zich op de optimalisatie van de procesvoering. De randvoorwaarden ten aanzien van vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering zijn onderzocht. Hierbij moet worden gedacht aan de stabiliteit van de korrels, de effecten van een dynamisch aanvoerpatroon en de noodzaak tot voor- en nabehandeling.

KORRELVORMING

De vorming van korrelslib heeft om diverse redenen lang geduurd. Gebleken is dat de selectie van PAO's een belangrijke sleutel is om tot korrelvorming te komen. Gedurende de opstart dient nitrificatie onderdrukt te worden, om zodoende biologische fosfaatverwijdering zoveel mogelijk te stimuleren. Nitrificatie leidt tot nitraatvorming en dit is nadelig gebleken voor het op gang komen van de korrelvorming. Het laatste zetje tot volledige korrelvorming wordt gegeven door het opvoeren van de bezinkdruk. Als deze vervolgens wordt verlaagd, blijft het korrelslib stabiel. Factoren die niet onderscheidend zijn gebleken bij de korrelvorming zijn afschuifkrachten (bellenkolom versus air-lift reactor) en het zuurstofgehalte (combinatie van afschuifkrachten en zuurstofgehalte). Vanaf halverwege het onderzoek naar korrelvorming is uitsluitend onderzoek verricht in bellenkolommen, want deze zijn in vergelijking met air-lift reactoren makkelijker toe te passen bij grootschalige rwzi's.

In de stationaire situatie bedraagt de korrelslibconcentratie 9-10 kg/m³. De gemiddelde SVI's na 5 en 30 minuten bedragen respectievelijk 77 ml/g en 60 ml/g. Uit activiteitsmetingen blijkt dat de fosfaatgifte van aëroob korrelslib op basis van drogestof aanzienlijk hoger is in vergelijking met actiefslib.

OPTIMALISATIE PROCESVOERING

Nadat volledige korrelvorming in combinatie met hoge korrelslibconcentraties zijn bewerkstelligd, is het nitrificatieproces gestimuleerd en de nitrificatie is na korte tijd volledig. De nitrificatiecapaciteit van het korrelslib is groot: over een brede range van belastingen is geen plafond in de nitrificatiecapaciteit waargenomen. Dit betekent dat de nitrificatiecapaciteit van het korrelslib robuust is en daardoor goed bestand tegen grote veranderingen van de belasting.

Stikstofverwijdering, dat wil zeggen de som van ammonium en nitraat < 10 mg/l, blijkt mogelijk tot een minimum maandgemiddelde temperatuur van 12,9 °C. De bijbehorende CZV-belasting met voorbezonken afvalwater is 0,143 kgCZV/(kgDS.d). Onderzoek bij lagere temperaturen heeft niet plaatsgevonden, maar verwacht mag worden dat stikstofverwijdering bij lagere temperaturen geen probleem is. Hiervoor is waarschijnlijk een lagere slibbelasting een vereiste.

Bij ruw afvalwater is sprake van een gunstigere CZV/N-verhouding en is vergaande stikstofverwijdering mogelijk bij hogere slibbelastingen: 0,212 kgCZV/(kgDS.d) bij een maandgemiddelde temperatuur van 13,7 °C.

Voornoemde waarden zijn vergelijkbaar met slibbelastingen in actiefslibsystemen, waarbij bij dezelfde temperatuur stikstofverwijdering kan plaatsvinden. Korrelslibreactoren kunnen echter bij een aanzienlijk hogere drogestofconcentratie worden bedreven, waardoor het benodigde volume in vergelijking met actiefslibsystemen kleiner is.

Sinds de periode dat sprake is van vergaande stikstofverwijdering, is het biologisch fosfaatverwijderingsrendement vrijwel continu op een hoog peil geweest. Verslechtering van het rendement treedt op bij een (aanzienlijke) verlaging van de belasting. Hoewel de maandgemiddelde orthofosfaatconcentraties in het effluent van beide reactoren elkaar niet veel ontlopen, bestaat de indruk dat de biologische fosfaatverwijdering makkelijker verloopt in de reactor die een belangrijk deel van de tijd gevoed werd met ruw afvalwater.

Het onderzoek laat zien dat bij constante vuldebieten lage gehalten aan zwevend stof in het effluent van gemiddeld 10-20 mg/l kunnen worden bereikt. De voorbehandeling heeft hierop geen invloed.

Een verdere reductie van de lozing van zwevend stof kan effectief worden bewerkstelligd met behulp van een nageschakelde techniek. Verkennend onderzoek is uitgevoerd naar het rendement van een nageschakelde trommelzeef. Bij een maaswijdte van de trommelzeef van 10 µm bedraagt het gemiddelde zwevend stofgehalte in het filtraat gemiddeld 4 mg/l.

Bij debietvariaties treedt uitspoeling van slib op, maar deze is vooral het gevolg van technische beperkingen van de pilot-installatie. Bij een verlaging van het debiet hoopt zich zwevend stof op in de reactor dat vervolgens uitspoelt bij een verhoging van het debiet.

EINDOORDEEL

Het onderzoek laat zien dat de aëroob korrelslibtechnologie veelbelovend is met het oog op de toepassing voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. De opstart heeft om verschillende redenen lang geduurd, maar vanaf het moment van dat sprake is van vergaande

korrelvorming is de stabiliteit van de korrels groot geweest. Tegen de invloed van wisselende samenstellingen, temperatuur en debietvariëaties is eenmaal gevormd korrelslib goed bestand. Daarbij komt dat de stabiliteit van het korrelslib en de effluentkwaliteit niet verslechtert als de voorbehandeling wordt uitgeschakeld. Sterker: de stikstofverwijdering loopt makkelijker als gevolg van een gunstigere CZV/N-verhouding in het afvalwater.

Voor de Nederlandse situatie bestaat de noodzaak voor een nabehandeling voor de verwijdering van zwevend stof. De potentie voor vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering is aangetoond en afhankelijk van de nabehandeling die wordt gekozen, lijken lage stikstof- en fosfaatgehalten goed mogelijk.

Gezien de eenvoud en daarmee samenhangend de te verwachten lage kosten, het lage energieverbruik en de robuustheid van het systeem lijkt de technologie een wezenlijke bijdrage te kunnen gaan leveren aan de behandeling van huishoudelijk afvalwater op praktijkschaal. Dat neemt niet weg dat er bij de introductie van deze technologie nog onzekerheden bestaan. Belangrijke onderzoeksaspecten voor de verdere ontwikkeling van de technologie betreffen de opstart op basis van ruw afvalwater, het voorkomen van uitspoeling van zwevend stof bij debietwisselingen, het hydraulisch ontwerp van praktijkinstallaties en de slibverwerking. Veel van de genoemde onzekerheden zouden kunnen worden weggenomen door de bouw en bedrijfsvoering van een demonstratie-installatie op praktijkschaal.

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 kennisinstututen 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 zes miljoen euro.

U kunt de STOWA bereiken op telefoonnummer: 030 -2321199.

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

Email: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl

AËROOB KORRELSLIBTECHNOLOGIE

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
1	INLEIDING	1
	1.1 Kader	1
	1.2 Doel	1
	1.3 Leeswijzer	2
2	ONDERZOEKSOPZET	3
	2.1 Inleiding	3
	2.2 Beschrijving technologie	3
	2.2.1 Randvoorwaarden voor korrelvorming	3
	2.2.2 Procesvoering	3
	2.2.3 Kenmerken korrelslib	5
	2.3 Onderzoeksprogramma	6
	2.4 Pilot-installatie	8
	2.5 Bemonsteringsprogramma	9
3	KORRELVORMING	11
	3.1 Inleiding	11
	3.2 Opstart	11
	3.3 Invloed bezinkdruk	16
	3.4 Invloed zuurstofconcentratie	17
	3.5 Gelijktijdig vullen en aflaten	17

4	OPTIMALISATIE VAN DE PROCESVOERING	19
4.1	Inleiding	19
4.2	CZV	20
4.3	Zwevende stof	21
4.4	Stikstof	22
	4.4.1 Bedrijfsvoering	22
	4.4.2 Concentratieverloop	23
	4.4.3 Nitrificatie	25
4.5	Fosfaat	26
	4.5.1 Concentratieverloop	26
	4.5.2 Fosfaatafgifte en -opname	28
4.6	Korrelslib	28
	4.6.1 Concentraties en bezinkingseigenschappen	28
	4.6.2 Samenstelling	30
	4.6.3 Slibproductie	30
	4.6.4 Fosfaatgehaltenes	31
4.7	Dynamische voeding	31
	4.7.1 Variatie op dagbasis	31
	4.7.2 Debietvariatie binnen een dag	32
	4.7.3 Uitspoeling van zwevende stof	33
	4.7.4 Maximale hydraulische belasting	33
4.8	Nabehandeling	33
4.9	Slibverwerking	34
	4.9.1 Vlokproeven	34
	4.9.2 Persproeven	35
5	CONCLUSIES	37
5.1	Korrelvorming	37
5.2	Optimalisatie procesvoering	37
	5.2.1 CZV	37
	5.2.2 Zwevende stof	37
	5.2.3 Stikstofverwijdering	38
	5.2.4 Fosfaatverwijdering	38
	5.2.5 Dynamisch voedingspatroon	39
	5.2.6 Slibproductie	39
	5.2.7 Slibbehandeling	39
5.3	Ontwerpcriteria	39
6	AANBEVELINGEN	41
6.1	Korrelvorming	41
6.2	Uitspoeling zwevende stof	41
6.3	Microverontreinigingen	41
6.4	Hydraulische aspecten	42
6.5	Slibverwerking	42
7	DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK	43
7.1	Procesconfiguraties	43
7.2	Energieverbruik	44
7.3	Haalbaarheid	45
7.4	Eindoordeel	45

1

INLEIDING

1.1 KADER

Sinds de jaren negentig voert de TU Delft onderzoek uit naar een nieuwe technologie voor de zuivering van afvalwater: de aëroob korrelslibtechnologie. Deze technologie maakt het mogelijk dat bacteriën korrels vormen in plaats van vlokkig slib waarin bacteriën bij het conventionele actiefslibstelsysteem voorkomen. Bij de technologie wordt *geen* gebruik gemaakt van een drager waaraan de bacteriën zich kunnen hechten. De uitstekende bezinkingseigenschappen van korrelslib maken het mogelijk dat de zuivering van afvalwater plaats kan vinden in veel compactere installaties, hetgeen potentieel leidt tot grote besparingen op investeringen, operationele kosten en ruimte.

Vanaf 2000 werken TUD en DHV nauw samen aan de ontwikkeling van de aëroob korrelslibtechnologie. In het eerste samenwerkingsproject heeft de TUD laboratoriumonderzoek uitgevoerd en heeft DHV de haalbaarheid van de technologie onderzocht. De resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in STOWA-rapport 2003-7. Het komt er op neer dat:

1. het met de aëroob korrelslibtechnologie mogelijk is om op basis van synthetisch afvalwater vergaande biologische stikstof- en fosfaatverwijdering te realiseren bij een stabiele korrelvorming. Dit onderzoek is uitgevoerd in reactoren met een inhoud van drie liter;
2. de haalbaarheidsstudie laat zien dat besparingen tot 15% op de totale jaarlijkse lasten mogelijk zijn en het ruimtegebruik met 75% afneemt. Referentie hierbij is het conventionele actiefslibstelsysteem.

Op basis van bovengenoemde resultaten heeft STOWA besloten een pilot-onderzoek uit te voeren. Het onderzoek is financieel en inhoudelijk ondersteund door STOWA en STW. Waterschap Vallei en Eem heeft het mogelijk gemaakt dat het praktijkonderzoek op de rwzi Ede kon worden uitgevoerd. Het onderzoek is opgestart in oktober 2003 en afgerond in de zomer van 2005.

1.2 DOEL

Het doel van het onderzoek is het aantonen van de toepasbaarheid van de aëroob korrelslibtechnologie voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. De belangrijkste aspecten hierbij zijn:

1. de stabiliteit van de korrelvorming;
2. het zuiveringsrendement met een doorkijk naar toekomstig te verwachten effluenteisen;
3. de mogelijkheden van het gelijktijdig vullen en aflatens van de reactoren;
4. de invloed van de reactorconfiguratie (air-lift reactor versus bellenkolom);
5. de invloed van de dynamiek waarmee afvalwater wordt aangevoerd;
6. de invloed van voorbehandeling van afvalwater;
7. de eigenschappen van het korrelslib (stabiliteit, robuustheid);
8. de dimensioneringsgrondslagen inclusief een actualisatie van de kostenberekeningen uit de haalbaarheidsstudie;
9. de noodzaak tot nabehandeling.

1.3 LEESWIJZER

In hoofdstuk 2 is de opzet van onderzoek inclusief een beschrijving van de achtergronden van de aëroob korrelibtechnologie uiteengezet. Hoofdstuk 3 beschrijft de eerste onderzoeksfase waarin korrelib is gevormd. Nadat de korrelvorming op gang is gekomen, is de procesvoering geoptimaliseerd (zie hoofdstuk 4). De belangrijkste bevindingen en conclusies inclusief de ontwerpcriteria zijn samengevat in hoofdstuk 5. Aanbevelingen voor de verdere ontwikkeling van de technologie zijn uiteengezet in hoofdstuk 6. Tot slot is een doorkijk naar de toepassing in de praktijk gegeven (hoofdstuk 7).

2

ONDERZOEKSOPZET

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk is de technologie op hoofdlijnen beschreven. Voorts is het onderzoeksprogramma uiteengezet en tot slot is de pilot-installatie omschreven.

2.2 BESCHRIJVING TECHNOLOGIE

2.2.1 RANDVOORWAARDEN VOOR KORRELVORMING

Hoewel het precieze selectiemechanisme voor korrelvorming niet bekend is, spelen de volgende randvoorwaarden ten aanzien van de procesvoering een belangrijke rol:

1. een korte bezinktijd leidt tot de selectie van goed bezinkbare biomassa, want slibdeeltjes met lagere bezinksnelheden worden uit de reactor gespoeld;
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.

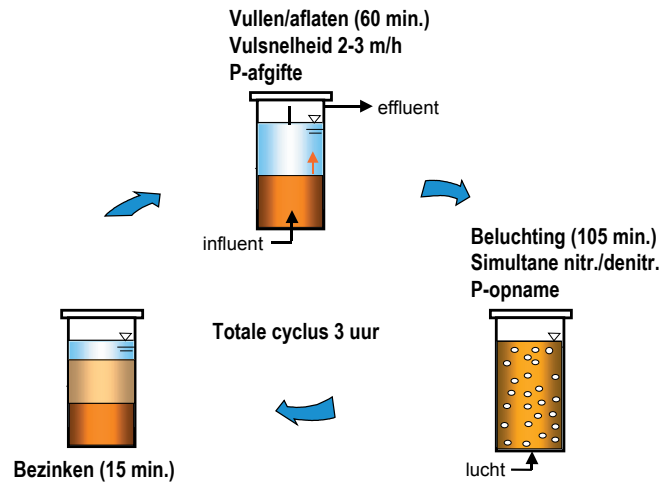
2.2.2 PROCESVOERING

Aan de vorige paragraaf beschreven randvoorwaarden ten aanzien van korrelvorming kan worden voldaan in een batch-gewijze procesvoering. Hieronder zijn de verschillende cyclusstappen beschreven in combinatie met de processen die plaatsvinden (zie ook Afbeelding 1 en Afbeelding 2).

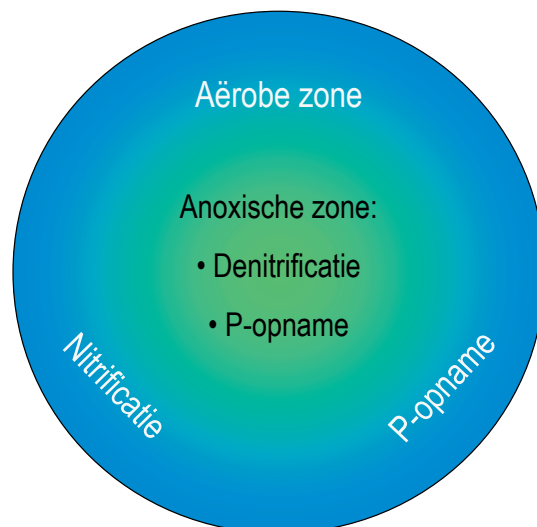
1. Vullen. Gedurende deze fase wordt het afvalwater via de bodem van de reactor in contact gebracht met het bezonken korrelslibbed. Voorwaarde is dat het afvalwater onder propstroomcondities door het slibbed wordt gevoerd. Hierdoor ontstaan onderin de reactor hoge substraatconcentraties en worden de korrels oververzadigd met substraat. De vulfase is onbelucht en doet daarmee tevens dienst als anaërobe fase ten behoeve van de selectie van langzaamgroeiende Phosphate Accumulating Organisms (PAO's). Deze zetten gedurende de anaërobe vultijd acetaat om in polyhydroxybutyraat (PHB) 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. Aflaten. Nadat effluent en korrelslib zijn gescheiden wordt effluent afgelaten. Eén van de onderzoeksvragen was of het mogelijk was om het aflaten van effluent en vullen met influent met elkaar te combineren. Tijdens de vulfase wordt dan het afvalwater onder propstroomcondities onderin de reactor gebracht. Hierdoor treedt geen menging op met de rest van de inhoud van de reactor en wordt tegelijkertijd het effluent boven uit de reactor “gedrukt”.

AFBEELDING 1 OVERZICHT CYCLUS



AFBEELDING 2 SCHEMATISCHE WEERGAVE STIKSTOF- EN FOSFAATVERWIJDERING IN DE KORREL (TIJDENS BELUCHTE FASE)



2.2.3 KENMERKEN KORRELSLIB

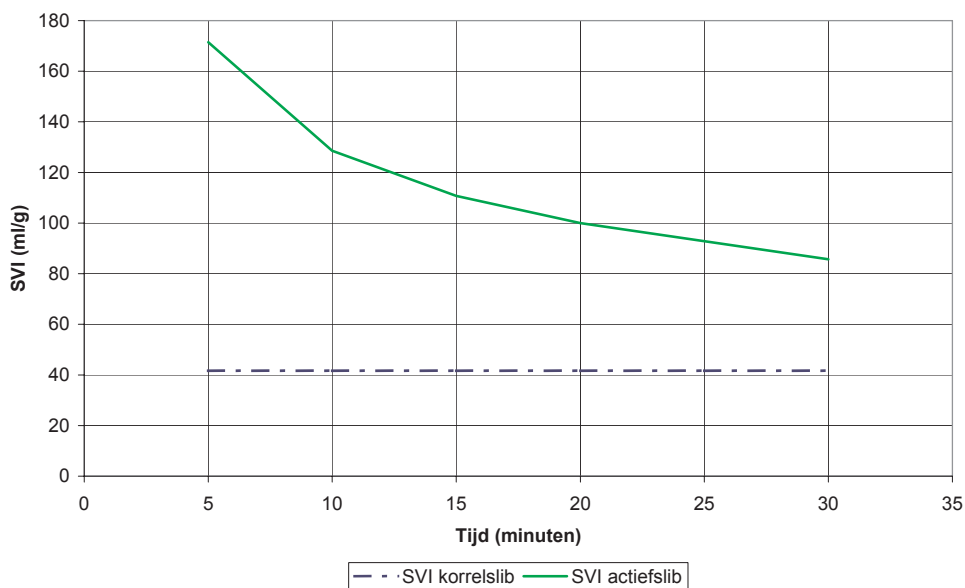
Tijdens een in september 2004 in München gehouden IWA-workshop over de aëroob korrelslibtechnologie is een éénduidige definitie voor aëroob korrelslib vastgesteld:

Korrels die worden gevormd op basis van actiefslibvlokken zijn aggregaten van microbiële oorsprong, die niet coaguleren bij lage afschuifkrachten en die significant sneller bezinken dan actiefslibvlokken. Kenmerk van korrelslib is dat de SVI na 5 minuten vrijwel gelijk is aan de SVI na 30 minuten, dit in tegenstelling tot actiefslib waar de verhouding tussen de SVI na 5 minuten en de SVI na 30 minuten ongeveer 2 bedraagt.

De korrelvorming is gevolgd door SVI-bepalingen en in later stadium ook door het meten van korrelgrootteverdelingen. Deze laatste 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 voorbeeld geeft. Het betreft metingen van korrelslib uit de pilot-installatie van 20 oktober 2004. Op dat moment was sprake van 100% korrelvorming in de pilot. Het blijkt dat er geen verschil is tussen de SVI na 5 en 30 minuten, hetgeen wordt veroorzaakt door de uitstekende bezinkingseigenschappen van korrelslib. Daarnaast kenmerkt korrelslib zich door de eigenschap dat het niet indikt.

AFBEELDING 3 VERLOOP SVI VAN KORRELSLIB EN ACTIEFSLIB (RWZI EDE)



2.3 ONDERZOEKSPROGRAMMA

De TU Delft heeft in de eerste jaren uitsluitend onderzoek uitgevoerd in air-lift reactoren. Het idee was dat korrelvorming in bellenkolommen niet goed mogelijk was vanwege onvoldoende mengintensiteit. Uit later uitgevoerd laboratoriumonderzoek blijkt dat korrelslib ook in bellenkolommen kan worden verkregen, met het verschil dat de opstart wat langer duurt (zie STOWA-rapport 2003-7). Bij vorming van korrelslib op basis van huishoudelijk afvalwater is de configuratie van de reactor wellicht een belangrijke factor en daarom is de invloed hiervan onderzocht. Het hart van de pilot-installatie bestond uit twee parallel opgestelde reactoren, waarbij in eerste instantie de ene reactor als bellenkolom en de andere als air-lift reactor was uitgevoerd. Op deze manier kon het effect van beide reactorconfiguraties worden onderzocht, omdat een identieke afvalwateraanvoer en procesomstandigheden waren gewaarborgd. Naast de reactorconfiguratie was de voorbehandeling van het afvalwater als belangrijk onderzoeksaspect opgenomen.

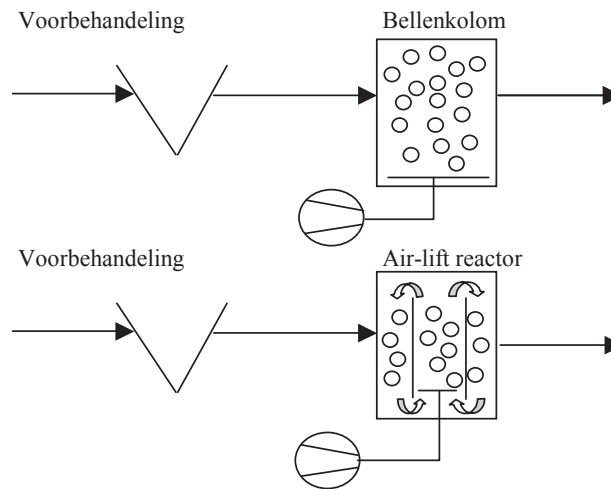
Het onderzoeksprogramma is in twee perioden te onderscheiden die hierna kort zijn beschreven:

1. Korrelvorming

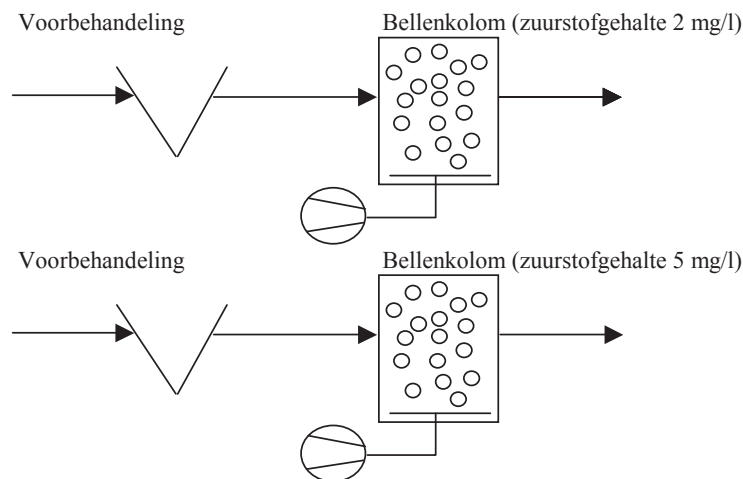
Gedurende de eerste periode van het onderzoek diende een stabiel korrelvormingsproces op gang te worden gebracht om vervolgens het zuiveringsrendement te kunnen optimaliseren. Belangrijke onderzoeksaspecten hierbij waren de procesvoering en de reactorconfiguratie. Duidelijk moest worden welke reactorconfiguratie de voorkeur verdient, waarbij vanaf juni 2004 t/m augustus 2005 uitsluitend onderzoek heeft plaatsgevonden in bellenkolommen. Na het vaststellen van de optimale reactorconfiguratie, is mede op grond van laboratoriumonderzoek bij de TUD de invloed van het zuurstofgehalte op de korrelvorming onderzocht. Vervolgens zijn de mogelijkheden onderzocht voor het gelijktijdig vullen en aflaten. De fase-ring van het onderzoek naar de korrelvorming is schematisch weergegeven in Afbeelding 4. Om het aantal variabele procescondities enigszins te beperken is gedurende dit deel van het onderzoek uitgegaan van een constant debiet tijdens de vulfase. De dynamiek van de afvalwateraanvoer kenmerkte zich in dit stadium door variaties in samenstelling en temperatuur.

AFBEELDING 4 FASERING ONDERZOEK NAAR KORRELVORMING

FASE 1



FASE 2



2. Optimalisatie zuiveringsrendement

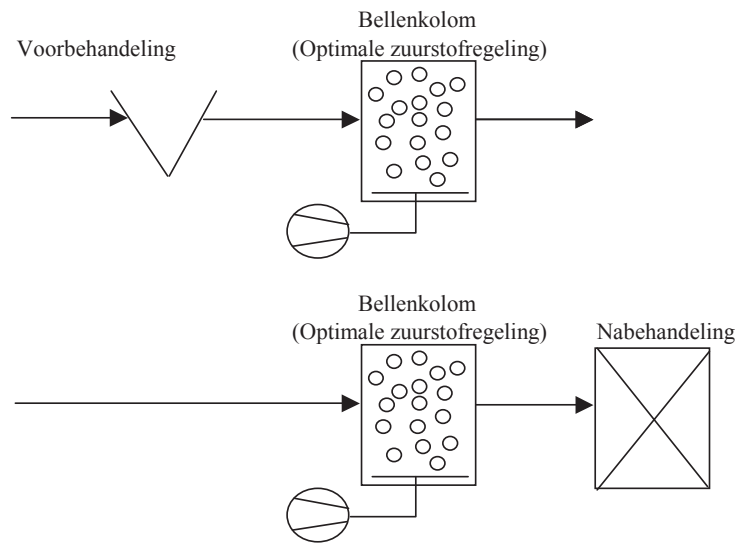
Deze fase van het onderzoek stond in het teken van de optimalisatie van het zuiveringsrendement. Hierbij was de invloed van de voorbehandeling van het afvalwater belangrijk. Eén reactor is gevoed met voorbehandeld afvalwater en de andere met ruw afvalwater. Daarnaast is het effect onderzocht van een eenvoudige nabehandeling achter de korrelibreactor die is gevoed met ruw afvalwater. Eén en ander is weergegeven in Afbeelding 5. Verdere kenmerken van deze onderzoeksfase zijn:

- zowel een periode met een constant debiet als een periode waarbij de voeding is gevarieerd op basis van het voedingspatroon van de rwzi Ede;
- optimalisatie van de cyclustijden;
- optimalisatie van de belasting;
- optimalisatie van de beluchtingsregeling;
- onderzoek naar de slibproductie.

Randvoorwaarde bij de optimalisatie van het zuiveringsrendement was dat de stabiliteit van het korrelib intact bleef en dat derhalve de goede bezinkingseigenschappen op peil bleven.

AFBEELDING 5 FASERING ONDERZOEK NAAR OPTIMALISATIE ZUIVERINGSRENDEMENT

FASE 3



2.4 PILOT-INSTALLATIE

De pilot-installatie is gebouwd door Logisticon Water Treatment en de meet- en regelapparatuur is geleverd door Hach Lange en Siemens. Afbeelding 6 geeft het processchema van de pilot-installatie weer en Afbeelding 7 laat een foto van de installatie zien. De installatie is gevoed met ruw afvalwater door middel van een pomp (10 m³/h) na passage van de bestaande roostergoedverwijdering (spleetwijdte 6 mm) van de rwzi Ede. Het afvalwater kwam via een verdeelwerk binnen. Voeding van de reactoren was mogelijk met voorbehandeld afvalwater en/of ruw afvalwater. De voorbehandeling bestond uit een voorbezinktank. Het rendement hiervan kon worden verbeterd door het naschakelen van een zandfilter.

Vanuit het verdeelwerk of via de voorbehandeling stroomde het afvalwater naar twee buffertanks (0,5 m³ elk) waarin de voedingspompen (capaciteit 0 – 5 m³/h) van de reactoren (hoogte 6 m, diameter 0,6 m) waren geplaatst. De reactoren konden als beltenkolom of als air-lift reactor worden bedreven. Het afvalwater werd onderin de reactor gelijkmatig over het grondoppervlak verdeeld. Beluchting vond plaats door inblazing van fijne belten (beltenkolom) of grove belten (air-lift reactor). De luchtinbreng werd geregeld op basis van het zuurstofgehalte. Aflaten van effluent was mogelijk op twee manieren:

- op een hoogte van 4 m. Het vullen en aflaten met (gezuiverd) afvalwater geschiedde in dit geval gescheiden;
- via een overloop bovenin de reactoren. Vullen en aflaten vonden tegelijkertijd plaats.

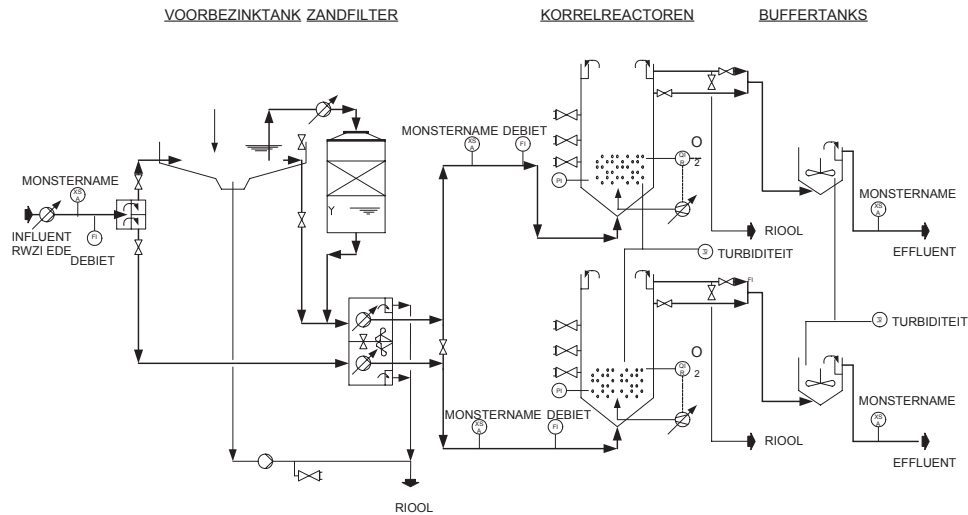
Het effluent stroomde onder vrij verval via buffertanks (0,5 m³ elk) naar de riolering. Vanuit de buffertanks werd het effluent tijdsproportioneel bemonsterd. De overige waterstromen (ruw influent, influenten reactoren werden debietproportioneel bemonsterd).

De volgende parameters zijn online gemeten:

- influentdebiet;
- voedingsdebieten reactoren;
- zuurstofconcentratie, waterniveau en temperatuur in beide reactoren;
- turbiditeit in één reactor;
- turbiditeit effluent van één reactor.

De turbiditeitsmeters zijn periodiek van reactor gewisseld (meestal één keer per week) zodat in beide reactoren de turbiditeit in de reactor en van het effluent regelmatig online is gemeten.

AFBEELDING 6 PROCESSHEMA PILOT-INSTALLATIE



AFBEELDING 7 FOTO PILOT-INSTALLATIE



2.5 BEMONSTERINGSPROGRAMMA

Gedurende het onderzoek is de samenstelling van verschillende waterstromen intensief bemonsterd en geanalyseerd. Het gaat hierbij om ruw influent, voorbehandeld afvalwater en de effluents van de korrelslibreactoren. Voorts zijn veelvuldig de bezinkingseigenschappen, korrelgrootteverdelingen alsmede de samenstelling van de korrelslibben gemeten. Het actief slib van de rwzi Ede heeft hierbij als referentie gefungeerd. De belangrijkste activiteiten van het analyseprogramma zijn weergegeven in Tabel 1.

TABEL 1

ANALYSEPROGRAMMA

Monster	Influent rwzi	Korrelreactoren		Korrelstib	Actiefstib rwzi Ede
		influent	Effluent		
CZV total	X	X	X		
CZV gefiltreerd	X	X	X		
Kj-N	X	X	X		
NH ₄ -N	X	X	X		
NO ₃ -N			X		
Ptotaal	X	X	X		
Portho	X	X	X		
Zwevend stof	X	X	X		
pH	X	X	X		
Drogestofgehalte				X	X
Indamprest/gloeirest				X	
SVI				X	X
Deeltjesgrootteverdeling				X	X
N-gehalte				X	
P-gehalte				X	

3

KORRELVORMING

3.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zijn de achtergronden van de korrelvorming beschreven, waarbij een indeling in een aantal fasen is gemaakt. Het gaat hierbij om de periode september 2003 t/m december 2004.

3.2 OPSTART

Op 24 september 2003 is de installatie opgestart met actiefslib van de rwzi Ede. In de eerste maanden is gezocht naar de juiste omstandigheden om de korrelvorming op gang te krijgen. Uitgegaan is van een hoge slibbelasting ($> 1 \text{ kgCZV}/(\text{kgDS.d})$) betrokken op de beluchte fase) en een hoge bezinkdruk¹ (5,7 m/h). Aanvankelijk daalde de SVI 30 snel tot 50-60 ml/g, maar medio november begon de SVI snel te verslechteren.

Vervolgens is in december 2003 de bedrijfsvoering aangepast naar zowel een lagere slibbelasting ($0,15 \text{ kgCZV}/(\text{kgDS.d})$) betrokken op de beluchte fase) als een lagere bezinkdruk (2-3 m/h). Aanvankelijk leken de slibconcentraties in de reactoren toe te nemen maar na verloop van tijd bleek de biologische activiteit sterk af te nemen vanwege lage procestemperaturen in de reactoren ($< 5 \text{ }^\circ\text{C}$). Door de kleine diameter van de reactoren was de verhouding tussen wandoppervlak en inhoud hoog, waardoor de procestemperatuur zeer gevoelig was voor schommelingen van de buitentemperatuur. Gedurende deze periode was de inblazing van lucht in de reactoren niet geregeld.

Naar aanleiding van de lage biologische activiteit zijn maatregelen genomen teneinde de minimumtemperatuur in de reactoren niet onder $10 \text{ }^\circ\text{C}$ te laten dalen. Deze maatregelen betroffen enerzijds het isoleren van de wanden van de reactoren en anderzijds het verwarmen van influent. Tevens is besloten om de zuurstofregeling te implementeren, hoewel het aanvankelijk de bedoeling was dit pas te doen nadat de korrelvorming op gang zou zijn gekomen. Redenen voor de versnelde implementatie van de beluchterregeling zijn onderstaand weergegeven:

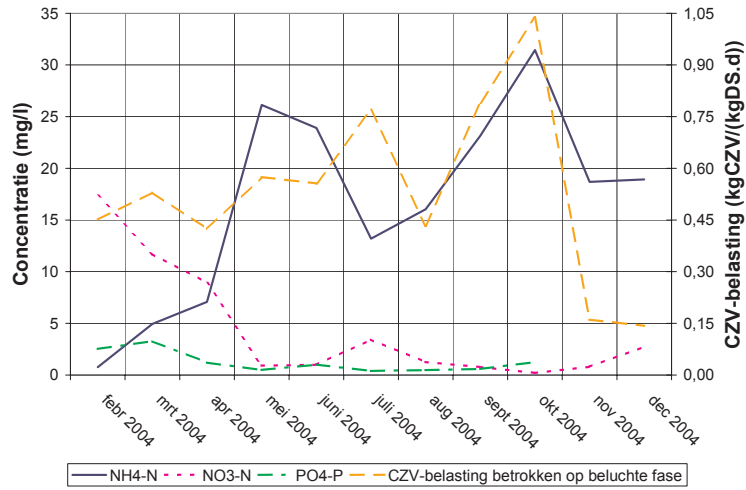
- in de periode december 2003 – januari 2004 namen de slibbezinkingseigenschappen sterk af ten opzichte van de voorgaande periode. Het bleek overigens vaak lastig om de SVI goed te kunnen meten vanwege slibopdrijving tijdens de bepaling. Deze opdriving kan worden toegeschreven aan denitrificatie, die kan optreden door hoge nitraatgehaltes in het effluent. Deze worden weer veroorzaakt door te hoge zuurstofgehaltes tijdens de beluchte fase.

Daarnaast kunnen hoge zuurstofgehaltes leiden tot ontgassing bij de SVI-bepalingen;

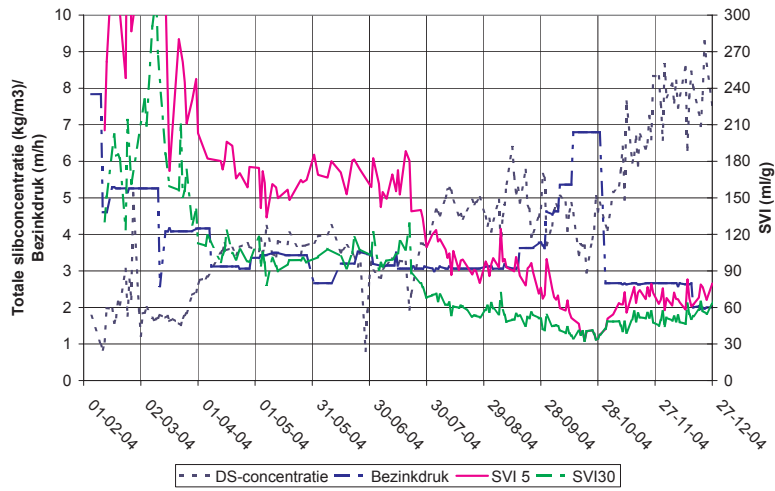
- hoge zuurstof- en nitraatgehaltes leiden tot een mogelijk te korte anaërobe tijd tijdens de onbeluchte vulfase.

¹ Bezinkdruk: het quotiënt van de vloeistofkolom die elke batch wordt afgelaten (waterniveau tijdens de beluchting minus het waterniveau na aflaten) en de bezinktijd.

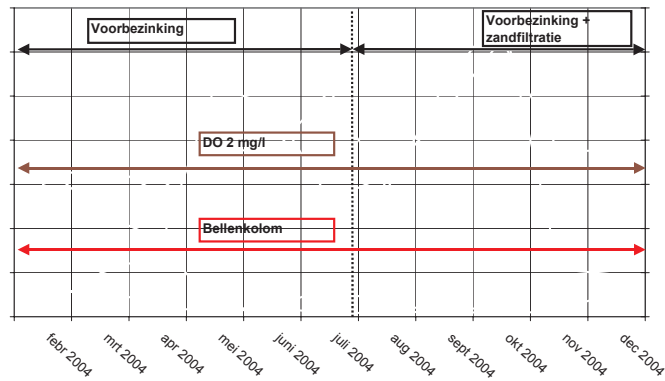
AFBEELDING 8 MAANDGEMIDDELDE EFFLUENTKWALITEIT EN SLIBBELASTING REACTOR 1



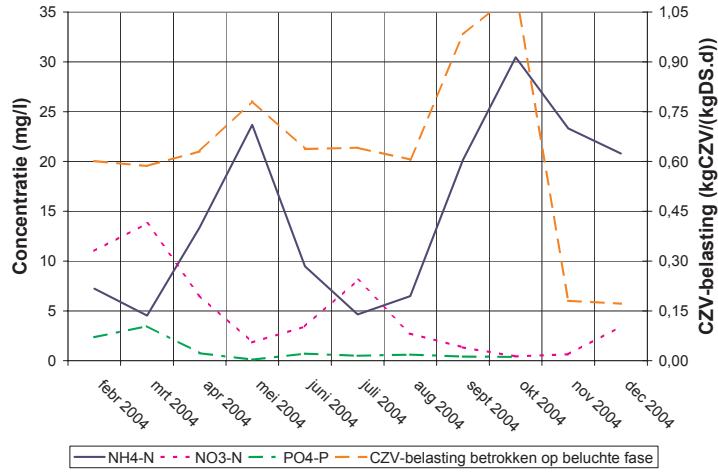
AFBEELDING 9 VERLOOP SVI EN KORRELSLIBCONCENTRATIE REACTOR 1



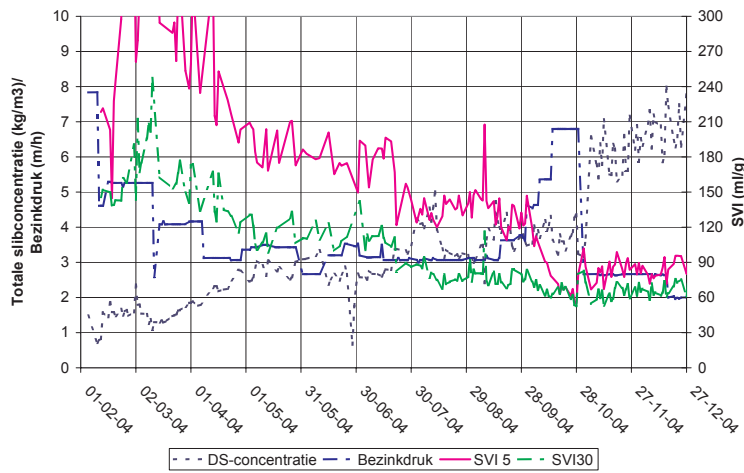
AFBEELDING 10 FASERING ONDERZOEK REACTOR 1



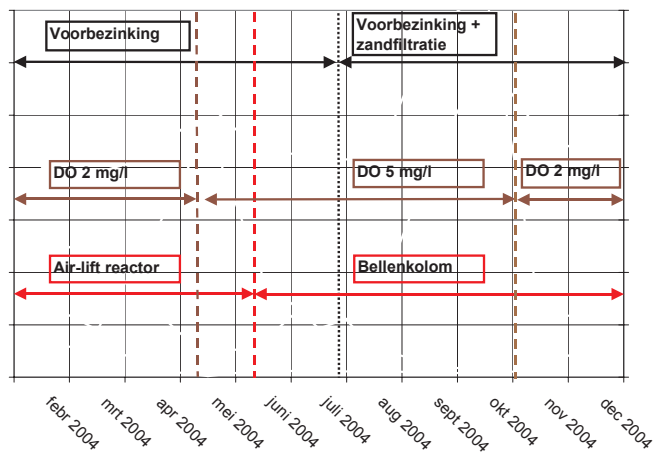
AFBEELDING 11 MAANDGEMIDDELTE EFFLUENTKwalITEIT EN SLIBBELASTING REACTOR 2



AFBEELDING 12 VERLOOP SVI EN KORRELSLIBCONCENTRATIE REACTOR 2



AFBEELDING 13 FASERING ONDERZOEK REACTOR 2



Begin februari 2004 zijn de reactoren opnieuw opgestart bij vergelijkbare condities als voorheen (0,15-0,25 kgCZV/(kgDS.d) betrokken op beluchte fase). Hierbij werd gestreefd naar zowel een goede biologische fosfaatverwijdering als een stabiele en vergaande nitrificatie. Dit doel werd niet bereikt. Volledige nitrificatie leidt tot hoge nitraatgehalten in het effluent, waardoor het biologisch fosfaatverwijderingsrendement verslechtert: omdat nog geen sprake is van korrels, is simultane denitrificatie gedurende de beluchte fase niet mogelijk. Gevolg hiervan is dat gedurende de onbeluchte vulfase onderin de reactoren nitraat wordt gedenitricificeerd, vooral ook door de aanwezigheid van voorbezonden afvalwater. De hoeveelheid makkelijk afbreekbaar CZV neemt hierdoor af, terwijl dat juist noodzakelijk is voor de selectie van PAO's. Eén en ander blijkt ondermeer uit Afbeelding 8 t/m Afbeelding 13. In februari en maart 2004 was sprake van hoge nitraatgehalten in het effluent en van slechte bezinkings-eigenschappen. Hierdoor was de slibaanwas beperkt en kwam de korrelvorming niet op gang. Eén en ander noopte tot een herziening van de bedrijfsvoering en daarom is besloten vanaf eind maart 2004 om de slibbelasting sterk te verhogen (> 0,5 kgCZV/(kgDS.d) betrokken op beluchte fase) en tegelijkertijd de bezinkdruk (van > 5 m/h tot 3 m/h) te verlagen. Door de hogere slibbelasting werd nitrificatie onderdrukt. Een lagere bezinkdruk leidde tot minder slibuitspoeling, waardoor de biologische omzettingen op een voldoende hoog peil bleven. Afgezien van de reactorconfiguratie was de bedrijfsvoering van beide reactoren identiek: voeding met voorbezonden afvalwater, een constant voedingsdebiet, dezelfde cyclustijden en dezelfde beluchtingsregeling (zuurstofgehalte 2 mg/l).

De aanpassing van de bedrijfsvoeringsstrategie leidde tot een stabiel fosfaatverwijderingsproces, hoge ammonium- en lage nitraatconcentraties (zie Afbeelding 8 en Afbeelding 11). Tevens verbeterden de slibbezinkings-eigenschappen aanmerkelijk, waardoor de korrelslibconcentraties in de reactoren toenamen (zie Afbeelding 9 en Afbeelding 12).

De instelling van de cyclustijden zijn regelmatig aangepast. In april 2004 begonnen de slibconcentraties in beide reactoren toe te nemen. Om de slibbelasting op hetzelfde peil te houden werd meer afvalwater toegevoerd en/of de beluchtingstijd worden verkort. Tabel 2 geeft een overzicht van de ranges van de duur van de verschillende cyclusstappen.

TABEL 2

OVERZICHT CYCLUSTIJDEN PERIODE FEBRUARI – OKTOBER 2004

Cyclusstap	Duur (minuten)	Opmerkingen
Vullen	40-60	Voorwaarde is anaërobe omstandigheden onderin de reactor
Beluchten	30-367	Hiermee wordt de CZV-belasting ingesteld
Bezinken	12-45	Afhankelijk van de hoeveelheid water per batch en de bezinkdruk
Aflaten	10-35	Afhankelijk van de hoeveelheid water die moet worden afgelaten

Op 7 mei 2004 is het zuurstofsetpoint van de air-lift reactor (reactor 2) verhoogd van 2 naar 5 mg/l, terwijl het setpoint van de bellenkolom (reactor 1) gehandhaafd bleef op 2 mg/l. Aangezien de verschillen tussen de korrelvorming van bellenkolom en air-lift reactor beperkt waren, is besloten om op deze wijze de invloed van de zuurstofconcentratie te toetsen. De veronderstelde invloed van de zuurstofconcentratie is tweeledig: aan de ene kant leiden hogere zuurstofgehalten tot een intensievere menging en aan de andere kant is de kans op lokale zuurstoftekorten bij hogere zuurstofconcentraties lager. Een absolute randvoorwaarde bij het verhogen van de zuurstofconcentratie was dat het rendement van de biologische fosfaatverwijdering intact bleef.

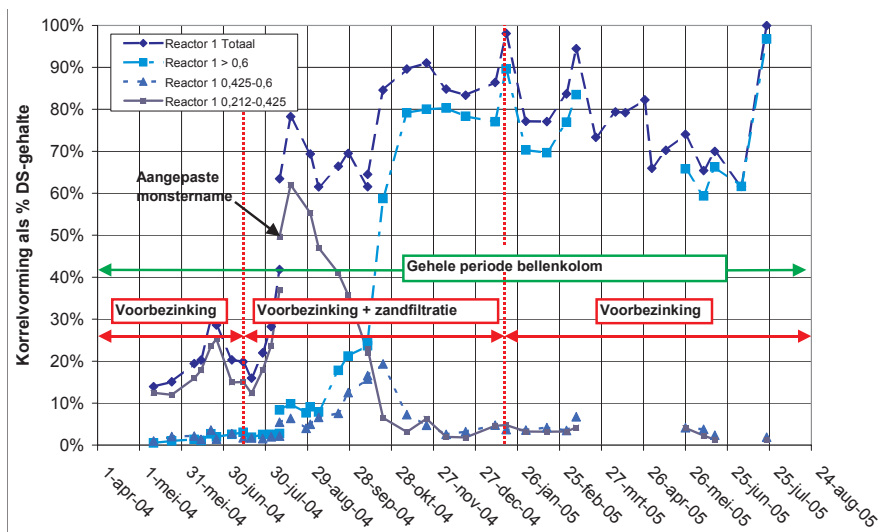
Vanaf mei 2004 zijn vrijwel wekelijks de deeltjesgrootteverdelingen in de reactoren gemeten. Medio mei bedroeg de korrelvorming (uitgedrukt als aandeel van de totale slibconcentra-

tie op drogestofbasis) in reactor 1 14% en deze nam in de periode tot eind juni toe tot 29% (zie Afbeelding 14). In reactor 2 bleef de korrelvorming wat achter en stabiliseert rond de 10%² (zie Afbeelding 15). Vanwege de kleine verschillen in prestaties tussen de bellenkolom en de air-lift reactor is op 11 juni 2004 de air-lift reactor omgebouwd tot bellenkolom. De keuze viel op bellenkolommen omdat deze bij de bouw van grootschalige rwzi's eenvoudiger zijn toe te passen dan air-lift reactoren.

Eind juni 2004 is door een technische storing meer dan 75% van het slib uit beide reactoren gespoeld, hetgeen het onderzoek aanzienlijk heeft vertraagd. Begin juli 2004 zijn de reactoren bijgeënt met actiefslib van de rwzi Ede. Vanaf dat moment is periodiek een deel van het slib uit de reactoren gezeefd met het doel om het uitspoelen van korrels te voorkomen en daarmee de korrelvorming te bevorderen. Het idee hierbij was dat kleine korrels worden ingevangen in een matrix van actiefslibvlokken zodat tijdens de bezinkfase de korrels niet ongehinderd konden bezinken. Door het slib te zeven, werd mogelijke uitspoeling van korrelslib voorkomen. Op 21 juli is een zandfilter achter de voorbezinktank geplaatst met het doel om het verwijderingsrendement voor zwevende stof van de voorbehandeling te vergroten. Achterliggende gedachte hierbij was dat zwevende stof in het influent mogelijk een versturende factor bij de korrelvorming kan zijn. Vanaf het moment dat het zandfilter is geplaatst, is het slib uit de reactoren niet meer gezeefd.

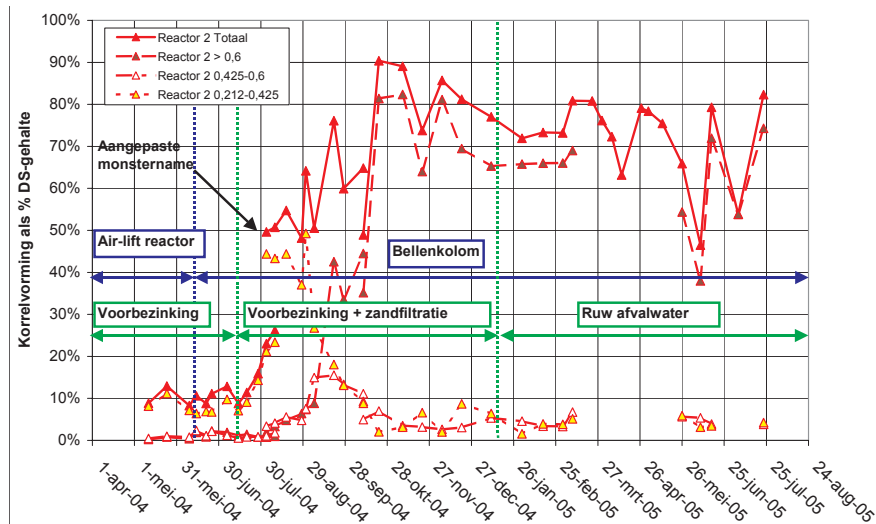
Afbeelding 14 en Afbeelding 15 laten zien dat het korrelvormingsproces na de slibuitspoeling zich snel herstelde. De korrelvorming neemt snel toe tot 60-70% in beide reactoren. Verder is te zien dat de korrelvorming begin augustus 2004 een sprongsgewijze toename vertoont. Dit wordt veroorzaakt door een andere wijze van monsternamen van het slib vòòr augustus 2004, waardoor te lage korrelfracties zijn gemeten. Het blijkt dat bij de oorspronkelijke monstername via kranen aan de wanden van de reactoren een deel van de korrels wordt "gekraakt" door een samenspel van enerzijds hoge afschuifkrachten bij de kraanopening en anderzijds een instantaan drukverschil (ca. 0,5 bar). Vanaf begin augustus 2004 zijn slibmonsters van bovenuit de reactoren genomen met een dospelmonsterfles. Kenmerk bij deze monsterfles is dat bij de monstername de bodem en deksel geopend worden. Hierdoor treedt bij monstername op waterdiepte geen drukverschil op.

AFBEELDING 14 VERLOOP KORRELVORMING REACTOR 1



² Tweemaal zijn deeltjesgrootteverdelingen van het actiefslib van de rwzi Ede bepaald en de resultaten hiervan waren vrijwel hetzelfde. Dit houdt in dat op drogestofbasis meer dan 98% van de deeltjes kleiner is dan 0,212 mm.

AFBEELDING 15 VERLOOP KORRELVORMING REACTOR 2



3.3 INVLOED BEZINKDRUK

Om de korrelvorming extra te stimuleren is in de periode 17 september t/m 20 oktober 2004 de invloed van de bezinkdruk onderzocht. Hierbij is de bezinkdruk in een aantal stappen verhoogd van 3,1 naar 6,8 m/h.

De bedrijfsvoering van beide reactoren was identiek aan de voorgaande periode. De voeding bestond uit voorbehandeld afvalwater (voorbezinking + zandfiltratie) en de cyclustijden waren voor beide reactoren hetzelfde. Het verschil zijn de zuurstofgehalten: 2 mg/l in reactor 1 en 5 mg/l in reactor 2.

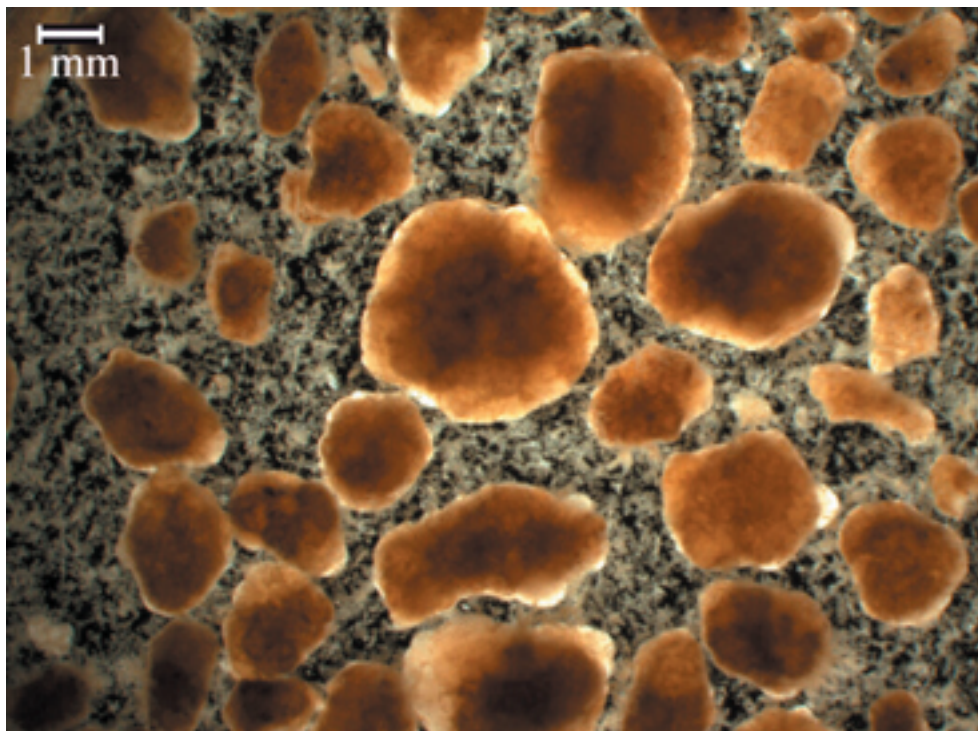
Afbeelding 9 en Afbeelding 12 laten zien dat als gevolg van de verhoging van de bezinkdruk met name de SVI5 sterk is gedaald. De SVI30 is ook afgenomen maar minder sterk. Vanaf 15 oktober waren de SVI5 en de SVI30 gelijk aan elkaar (zie Tabel 3). Uit de korrelgrootteverdelingen blijkt dat de korrelfractie in deze periode hoger was dan 90% (zie Afbeelding 14 en Afbeelding 15). Geconcludeerd kan worden dat vanaf oktober 2004 sprake is geweest van vergaande korrelvorming (zie ook Afbeelding 16).

TABEL 3 SVI EN KORRELSLIBCONCENTRATIES BIJ EEN BEZINKDRUK VAN 6,8 M/H (15 - 27 OKTOBER 2004)

Paramter	Reactor 1	Reactor 2
SVI 5 (ml/g)	39	66
SVI 30 (ml/g)	38	64
DS (kg/m ³)	3,8	3,7

AFBEELDING 16

FOTO KORRELSLIB VAN 29 JUNI 2005



3.4 INVLOED ZUURSTOFCONCENTRATIE

Vanaf begin mei tot eind oktober 2004 zijn beide reactoren bedreven bij verschillende zuurstofgehaltenes (2 en 5 mg/l voor respectievelijk reactor 1 en 2). Medio juni 2004 is reactor 2 van air-lift reactor omgebouwd naar bellenkolom. Dit betekent dat het grootste deel van deze periode het enige verschil tussen de reactoren het zuurstofgehalte is geweest. Het proces van de korrelvorming is in beide reactoren vergelijkbaar verlopen, maar de resultaten in reactor 1 zijn altijd enigszins in het voordeel geweest. Hierin is de slibbezinkbaarheid het beste geweest en dat heeft geleid tot hogere korrelslibconcentraties.

Op basis van het bovenstaande is besloten om vanaf eind oktober 2004 beide reactoren op een zuurstofgehalte van 2 mg/l te gaan bedrijven. Extra argument hiervoor was dat naar verwachting de stikstofverwijdering (lees denitrificatie) in de korrels beter zou verlopen bij een lager zuurstofgehalte.

3.5 GELIJKTIJDIG VULLEN EN AFLATEN

Als gevolg van de verhoging van de bezinkdruk nam de korrelvorming toe van 60 tot 90% en daarmee verbeterden de slibbezinkings eigenschappen aanzienlijk. De korrelslibconcentratie nam niet echt toe. Dit werd veroorzaakt door uitspoeling van korrelslib met het effluent. Uit drogestofprofielen blijkt dat de drogestofconcentratie ter hoogte van de aflat (op 4 m hoogte) bij het begin van de aflatfase circa 0,5 kg/m³ bedroeg. Teneinde de uitspoeling van slib te voorkomen is eind oktober 2004 besloten om de reactoren gelijktijdig te gaan vullen en aflaten. De superfiële snelheid³ waarmee de reactoren gedurende de vulfase werden gevoed (de vulsnelheid) bedroeg 2-3 m/h. Vanaf dit moment werd de bezinkdruk niet meer bepaald door alleen de bezinktijd, maar door de vulsnelheid in combinatie met een korte

³ superfiële snelheid: quotiënt van debiet en bodemoppervlak

bezinktijd. Het gelijktijdig vullen en aflatens had tot gevolg dat gedurende het vullen en aflatens van de reactoren behalve zwevende stof geen korrelslib meer uitspoelde. Dit werd veroorzaakt door een lagere bezinkdruk: deze was 5,8 m/h en is verlaagd naar 2-3 m/h. Niettemin werd geconstateerd dat veel korrelslib uitspoelde en wel aan het begin van de beluchte fase. Als gevolg van gas hold-up in de reactor werd aan het begin van de beluchte fase circa 20 cm waterkolom uit de reactoren gedrukt. Dit probleem is op 25 november 2004 verholpen door voorafgaand aan de beluchte fase een hoeveelheid extra effluent bovenin de reactoren af te laten (de zogenaamde “drain”).

Vanaf eind oktober tot 25 november 2004 is het uitgespoelde korrelslib opgevangen in de overstortgoten en in de effluentvaten. In deze periode zijn de mengers in de effluentvaten uitgezet en is het korrelslib op de bodem bezonken. Het korrelslib uit de effluentvaten en de overstortgoten is periodiek (gemiddeld 2 keer per week) verzameld en terug bovenin de reactoren gebracht. Gedurende deze periode zijn de slibbezinkingseigenschappen van het korrelslib teruggelopen die waarschijnlijk het gevolg zijn van (een combinatie van) onderstaande aspecten:

- door de ophoping van korrelslib in de overstortgoten en effluentvaten nam de kwaliteit van dit korrelslib af, hetgeen zijn weerslag heeft gehad op de overall slibkwaliteit;
- door het gelijktijdig vullen en aflatens werd de “bezinkdruk” een stuk lager en hoopten zich meer “fines” in de reactoren op;
- in de periode tussen 5 en 12 november is slib van de rwzi Ede bijgeënt met doel het nitrificatieproces te stimuleren.

Afbeelding 9 en Afbeelding 12 laten zien dat als gevolg van het gelijktijdig vullen en aflatens alsmede door het oplossen van het “gas hold-up probleem” de slibconcentraties in november en december aanzienlijk toenamen. Ondanks dat de bezinkdruk eind oktober 2004 sterk is verlaagd, bleef korrelpopulatie goed in stand (zie ook Afbeelding 14 en Afbeelding 15).

4

OPTIMALISATIE VAN DE PROCESVOERING

4.1 INLEIDING

Na het tot stand brengen van vergaande korrelvorming en een optimalisatie van de korrelslibconcentraties tot circa 8 kg/m³ in 2004, heeft de periode januari – juli 2005 in het teken gestaan van de optimalisatie van het zuiveringsrendement. Hierbij is sprake geweest van enige mate van overlap want met het stimuleren van nitrificatie is in november 2004 begonnen.

Het effect van de voorbehandeling op het zuiveringsrendement maakte nadrukkelijk onderdeel uit van het onderzoek. Besloten is om op 16 januari 2005 het zandfilter buiten bedrijf te stellen en beide reactoren te voeden met voorbezonden afvalwater. Het blijkt dat de korrelstabiliteit hierdoor nauwelijks werd beïnvloed en vervolgens is vanaf 9 maart 2005 reactor 2 gevoed met ruw afvalwater.

Tabel 4 geeft een overzicht van de verschillende onderzoekstappen inclusief de optimalisaties die zijn doorgevoerd.

TABEL 4 OVERZICHT ONDERZOEK

Periode	Activiteiten/Kenmerken
januari 2005 - februari 2005	constant debiet tijdens vullen zandfiltratie buiten bedrijf gesteld => beide reactoren gevoed met voorbezonden afvalwater twee bellenkolommen verhoging procestemperatuur (temperatuur 10-15 °C) stimuleren groei nitrificeerders (temperatuur, belasting, O ₂ -setpoints)
maart 2005-mei 2005	constant debiet tijdens vullen reactor 1 voeding met voorbezonden afvalwater, reactor 2 voeding met ruw afvalwater optimalisatie zuurstofregeling (beluchte fase onderverdeeld in drie periodes met eigen zuurstofgehalte) nadenitrificatiestap in cyclus ingebouwd (effect van flexibelere bedrijfsvoering nagaan). optimalisatie nabehandeling (onderzoek met trommelzeef als nabehandeling)
juni 2005 – juli 2005	reactor 1 voeding met voorbezonden afvalwater, reactor 2 voeding met ruw afvalwater debiet tijdens vullen proportioneel met debiet rwzi Ede onderzoek naar eigenschappen surpluslib (indikken, ontwateren) optimalisatie nabehandeling (effect van verschillende maaswijdtes trommelzeef)

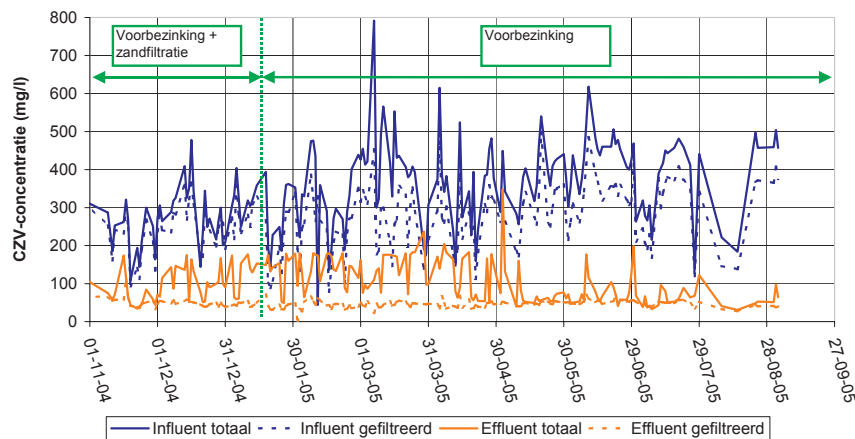
4.2 CZV

Afbeelding 17 en Afbeelding 18 geven de verlopen van de CZV-concentraties in beide reactoren weer. De gemiddelde waarden van de CZV-totaal concentraties inclusief de waarden van het ruwe influent van de rwzi Ede zijn opgenomen in Tabel 5. Het blijkt dat de CZV_{opgelost} -concentraties in het effluent laag waren (40-60 mg/l). De CZV_{totaal} -concentraties in het effluent waren een stuk hoger met aanzienlijke variaties die sterk samenhangen met de uitspoeling van zwevende stof (zie ook paragraaf 4.3). Vanaf mei 2005 zijn de CZV_{totaal} -concentraties in het effluent sterk gedaald, hetgeen is veroorzaakt doordat vanaf dat moment de drain niet meer met het effluent is afgevoerd (zie ook paragrafen 3.5 en 4.3).

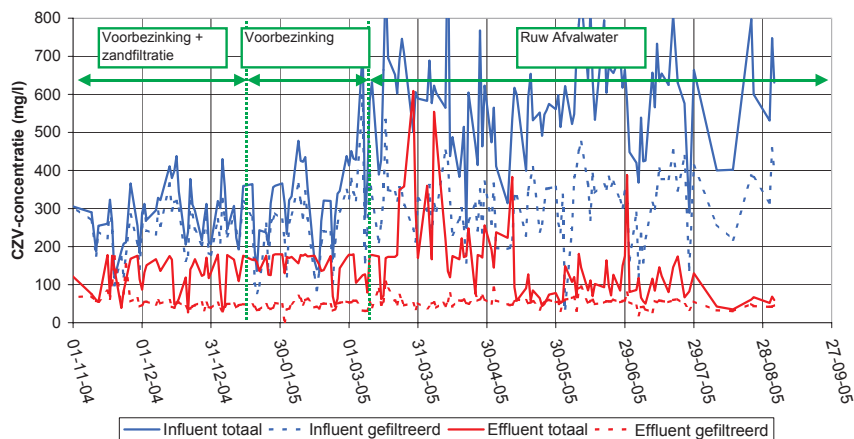
Uit de gegevens kan worden opgemaakt dat het CZV-rendement van de voorbehandeling bestaande uit voorbezinking en zandfiltratie gemiddeld 47% bedroeg. Nadat het zandfilter is uitgeschakeld, nam het gemiddelde CZV-verwijderingsrendement van de voorbehandeling af tot 30-35%.

Het CZV-verwijderingsrendement blijkt afhankelijk van de CZV-belasting. Afbeelding 19 geeft de relaties weer tussen de CZV-belasting en de CZV_{opgelost} -concentratie in het effluent. Er is hierbij bewust geen gebruik gemaakt van CZV_{totaal} -concentraties in het effluent omdat hierin de uitspoeling van zwevende stof is inbegrepen. Het blijkt dat de relaties tussen de CZV-belasting en de CZV_{opgelost} -concentratie in het effluent voor beide reactoren min of meer hetzelfde zijn. Er is bij de cijfers geen onderscheid gemaakt tussen de mate van voorbehandeling.

AFBEELDING 17 CZV-CONCENTRATIES REACTOR 1



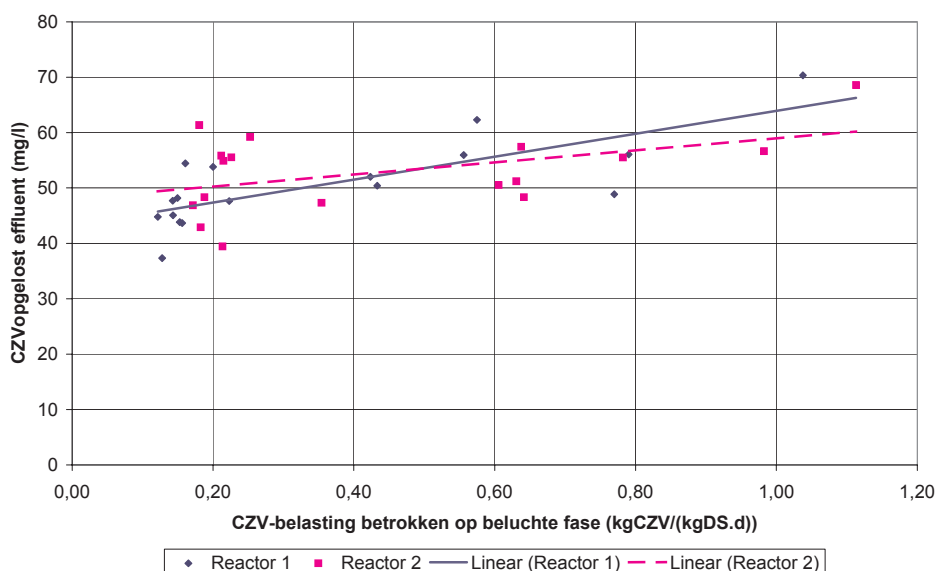
AFBEELDING 18 CZV-CONCENTRATIES REACTOR 2



TABEL 5 GEMIDDELDE INGAANDE CZV-CONCENTRATIES IN MG/L

Periode	Rwzi Ede	Reactor 1	Reactor 2	Voorbehandeling
1 nov. 2004–16 jan. 2005	602	278	285	voorbezinking + zandfiltratie
17 jan.–8 mrt. 2005	469	323	326	voorbezinking
9 mrt.–31 aug 2005	602	385	579	Reactor 1: voorbezinking Reactor 2: geen

AFBEELDING 19 RELATIE TUSSEN CZV-BELASTING EN OPGELOST CZV-GEHALTE EFFLUENT (MAANDGEMIDDELDEN OVER DE PERIODE APRIL 2004 – AUGUSTUS 2005)



4.3 ZWEVENDE STOF

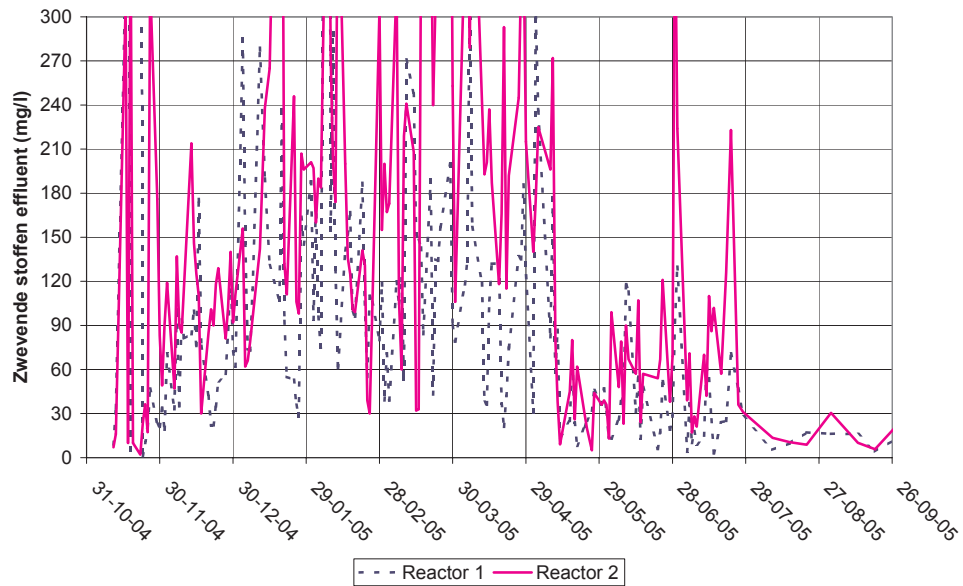
Voorafgaand aan het onderzoek was de verwachting dat de hoeveelheid zwevende stof in het effluent min of meer hetzelfde zou zijn als de concentratie aan zwevende stof in het influent⁴. Dit is gebaseerd op ervaringen met soortelijke systemen (anaëroobe korrelreactoren, continu bedreven air-lift reactoren). De verwachting was dan ook dat de mate van voorbehandeling een belangrijke factor zou zijn bij de hoeveelheid zwevende stof in het effluent en gedurende lange tijd hebben de resultaten hiertoe aanleiding gegeven (zie Afbeelding 20). Tot begin mei 2005 is er min of meer een relatie tussen de voorbehandeling en de hoeveelheid zwevende stof in het effluent.

Vanaf 11 mei 2005 is de drain niet meer met effluent afgevoerd, hetgeen tot gevolg had dat aanzienlijk minder zwevende stof met het effluent uitspoelde (zie Afbeelding 20). In 2005 daalde hierdoor in reactor 1 het zwevende stofgehalte in de periode met voorbezinking van 134 mg/l naar gemiddeld 40 mg/l, hetgeen een daling is van 70%. In de periode waarin reactor 2 werd gevoed met ruw afvalwater daalde de uitspoeling van zwevende stof van 244 mg/l naar 69 mg/l (afname 72%). Hierbij wordt aangetekend dat in juni en juli extra slib uitspoelde door het onderzoek naar het effect van een dynamisch aanvoerpatroon (zie paragraaf 4.6.4).

In de maanden augustus en september zijn de reactoren gevoed met een constant debiet (vulsnelheid 2,5 m/h) en hierdoor is de uitspoeling van zwevende stof gedaald tot 10-15 mg/l. Kanttekening hierbij is dat vanaf augustus de bemonsteringsfrequentie is teruggebracht tot 1 keer per week en dat het steekmonsters betrof.

⁴ De aard van zwevende stof dat uitspoelt is echter anders dan het ingaande omdat het uitgaande zwevende stof biologisch actief materiaal is (zie ook paragraaf 4.6.4).

AFBEELDING 20 VERLOOP CONCENTRATIES ZWEVENDE STOF IN EFFLUENT



4.4 STIKSTOF

4.4.1 BEDRIJFSVOERING

Vanaf november 2004 is de belasting sterk verlaagd om het nitrificatieproces op gang te brengen. Dit is extra gestimuleerd door in de koude maanden de temperatuur van het influent kunstmatig te verhogen tot een procestemperatuur van circa 15 °C. Achtergrond hierbij is dat bij deze temperatuur sprake is van een goed evenwicht tussen enerzijds een redelijk snelle groei van nitrificeerders en anderzijds van gemiddelde procesomstandigheden.

In de periode november 2004 – mei 2005 is gedurende de vulfase gevoed met een constant debiet. Verder zijn uit Tabel 4 gegevens te halen met betrekking tot de voorbehandeling van het afvalwater. Tabel 6 geeft een overzicht van de cyclustijden.

TABEL 6 OVERZICHT CYCLUSTIJDEN PERIODE NOVEMBER 2004 – JULI 2005

Cyclusstap	Duur (minuten)	Opmerkingen
Vullen	60-70	Voorwaarde is anaërobe omstandigheden onderin de reactor
Drainfase	5	Voorafgaand aan de beluchting werd een kleine hoeveelheid waterkolom bovenin de reactoren onttrokken om de expansie van de reactorinhoud door beluchting te compenseren.
Beluchten	100-165	Vanaf april 2005 was deze fase oververdeeld in drie instelbare fasen met een eigen setpoint
Nadenitrificatiefase	0-10	Onbeluchte periode
Bezinken	10-25	
Aflaten	0	De gehele periode is gelijktijdig gevuld en afgelaten

Op 4 april 2005 is in de beluchtingsregeling van de reactoren extra flexibiliteit ingebouwd:

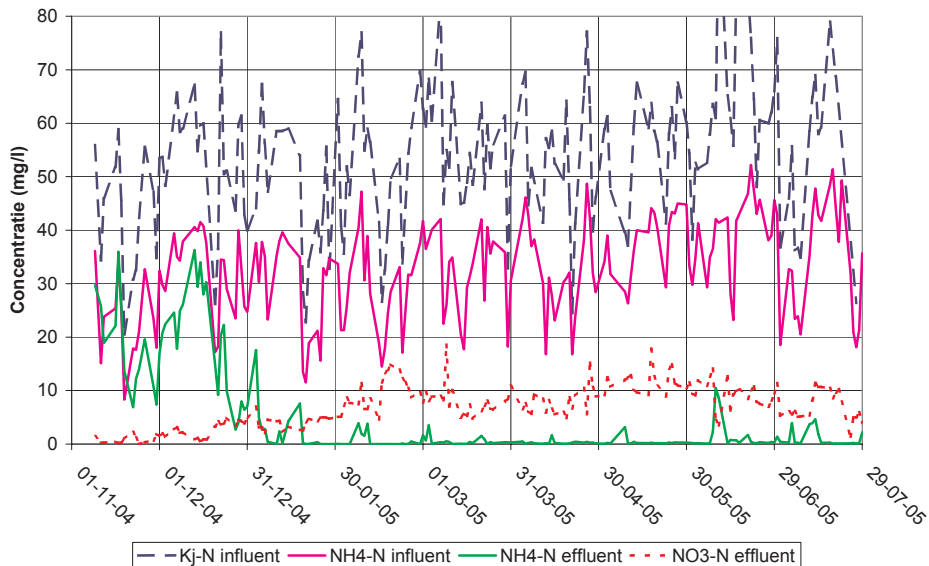
1. Gedurende de beluchte fase konden drie zuurstofsetpoints worden ingesteld in plaats van één. Hiermee kon naar verwachting de stikstofverwijdering verder worden geoptimaliseerd.
2. In de cyclus is een nadenitrificatiestap na de beluchte periode met een instelbare tijd opgenomen. Dit betrof een onbeluchte periode. Doel hierbij was eveneens het nastreven van extra flexibiliteit in de bedrijfsvoering.

Juni 2005 heeft in teken gestaan van het bepalen van de maximale hydraulische belasting. In de maand juli is de invloed onderzocht van een variabel debiet tijdens de vulfase. Het vuldebiet is hierbij proportioneel gevarieerd met het aanvoerpatroon van de rwzi Ede.

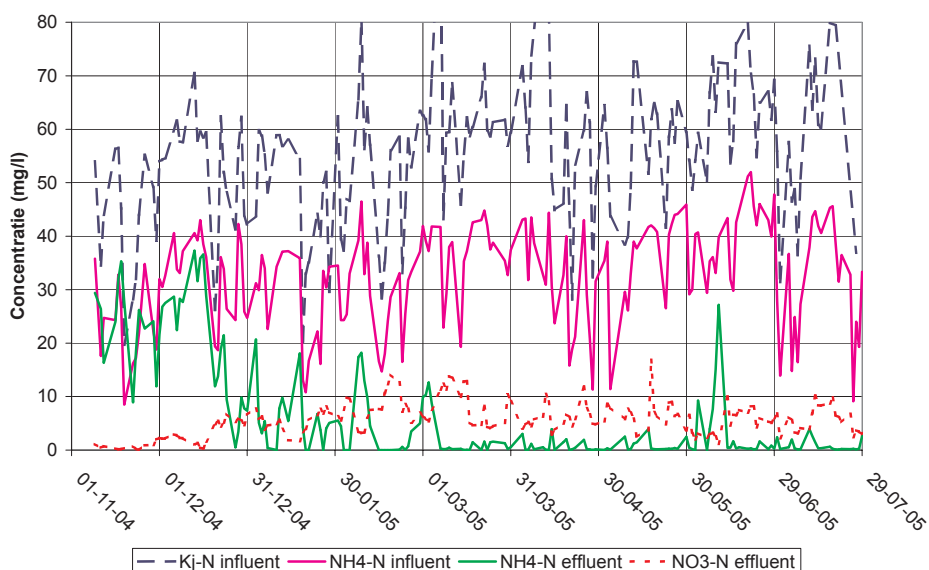
4.4.2 CONCENTRATIEVERLOOP

Afbeelding 21 en Afbeelding 22 laten het verloop van de verschillende stikstofconcentraties in beide reactoren zien. De Kj-N-concentraties in het effluent zijn niet weergegeven omdat deze worden vertroebeld door het zwevende stofgehalte in het effluent (zie paragraaf 4.3).

AFBEELDING 21 STIKSTOFCONCENTRATIES REACTOR 1



AFBEELDING 22 STIKSTOFCONCENTRATIES REACTOR 2



Door de verlaging van de CZV-belasting kwam het nitrificatieproces snel op gang en vanaf januari was sprake van volledige nitrificatie. Incidenteel kwamen in beide reactoren hoge ammoniumeffluentconcentraties voor, met name in reactor 2. Deze zijn terug te voeren op technische problemen met de zuurstofmeters en/of door een niet optimale beluchtingsregeling. Deze periode had ook tot hoofddoel om te streven naar vergaande stikstofverwijdering en dat betekent dat een goed evenwicht tussen nitrificatie en denitrificatie moest worden gezocht. Aangezien beide processen tegelijkertijd plaatsvinden, had een aanpassing van zuurstofsetpoints zowel invloed op het nitrificatie- als het denitrificatieproces. Bovendien werd gezocht naar de maximaal toelaatbare belasting. De ammoniumpieken hebben echter weinig invloed op de maandgemiddelde resultaten (zie Tabel 7 en Tabel 8).

TABEL 7

MAANDGEMIDDELTE GEGEVENS REACTOR 1

Maand	Influent (mg N/l)		CZV-bel.*) kgCZV/(kgDS.d)	Effluent (mg N/l)			Temp ° C
	N _{totaal}	NH ₄		NH ₄	NO ₃	NH ₄ +NO ₃	
nov. 2004	42,8	23,0	0,161	18,7	0,8	19,5	13,0
dec. 2004	54,5	32,6	0,143	18,9	2,8	21,7	13,5
jan. 2005	48,3	29,6	0,157	2,3	4,1	6,3	14,1
feb. 2005	50,0	28,3	0,153	0,6	9,7	10,3	13,5
mrt. 2005	55,5	32,6	0,143	0,6	8,1	8,6	12,9
apr. 2005	53,5	32,9	0,122	0,3	7,8	8,1	13,7
mei 2005	55,5	37,6	0,149	0,4	11,7	12,1	15,4
juni 2005	63,9	39,4	0,200	1,4	9,3	10,7	19,5
juli 2005	52,2	33,5	0,223	1,1	7,0	8,0	20,6

*) betrokken op de beluchte fase

TABEL 8

MAANDGEMIDDELTE GEGEVENS REACTOR 2

Maand	Influent (mg N/l)		CZV-bel.*) kgCZV/(kgDS.d)	Effluent (mg N/l)			Temp ° C
	N _{totaal}	NH ₄		NH ₄ -N	NO ₃ -N	NH ₄ +NO ₃	
nov. 2004	42,9	23,2	0,180	23,3	0,6	24,0	13,0
dec. 2004	53,1	33,1	0,172	20,8	3,5	24,2	13,5
jan. 2005	48,4	28,7	0,183	5,5	5,4	10,9	14,1
feb. 2005	50,3	28,6	0,188	3,9	7,8	11,7	13,5
mrt. 2005	62,0	37,1	0,226	2,3	8,3	10,7	12,9
apr. 2005	58,3	31,3	0,212	0,8	6,1	6,8	13,7
mei 2005	56,8	36,3	0,214	0,8	6,9	7,7	15,4
juni 2005	63,8	39,4	0,253	3,3	5,1	8,4	19,5
juli 2005	57,2	31,3	0,354	0,8	5,6	6,3	20,6

Tabel 7 en Tabel 8 laten verder zien dat de CZV-belasting in reactor 2 aanzienlijk hoger was, hetgeen met name werd veroorzaakt doordat reactor 2 vanaf maart 2005 is gevoed met ruw afvalwater. Daarnaast was de drogestofconcentratie in reactor 2 lager dan in reactor 1 en dat leidde bij hetzelfde vuldebiet en dezelfde voorbehandeling tot een hogere CZV-belasting.

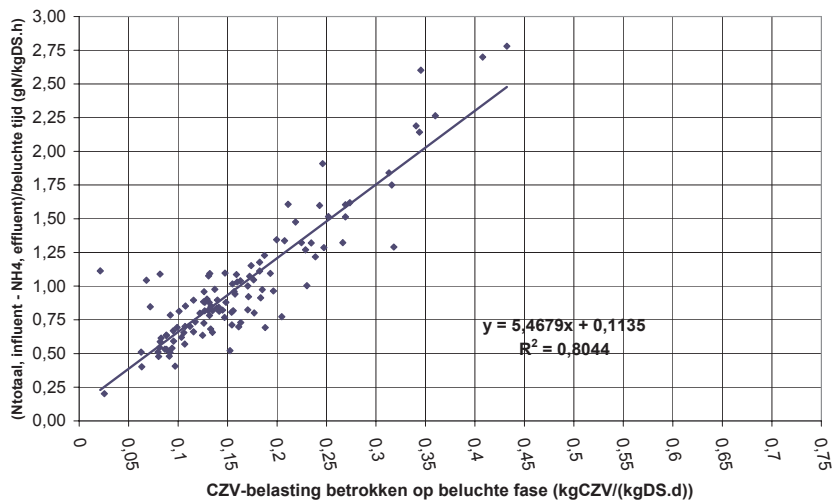
Het blijkt dat in beide reactoren vergaande stikstofverwijdering goed mogelijk is. In beide reactoren is gedurende langere perioden aangetoond dat de som van de ammonium- en nitraatconcentraties ruim onder 10 mgN/l kan bedragen. Hierbij valt op dat vanaf het moment dat reactor 2 werd gevoed met ruw afvalwater de stikstofverwijdering hierin beter

verloopt dan in reactor 1, ondanks dat de CZV-belasting in reactor 2 aanzienlijk hoger is. Reden hiervoor is dat de CZV/N-verhouding van het ruwe afvalwater gunstiger is dan die van voorbezonden afvalwater: 9,6 versus 6,9.

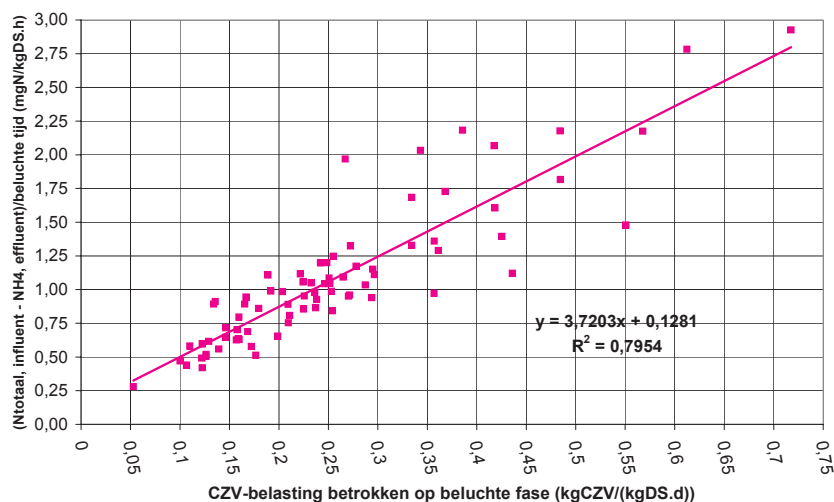
4.4.3 NITRIFICATIE

Om een indruk te krijgen van de nitrificatiecapaciteit van het korrelslib zijn in Afbeelding 23 en Afbeelding 24 de relaties uitgezet tussen de Kj-N-verwijdering en de CZV-belasting. Hierbij is gerekend met de NH_4 -concentraties in het effluent waardoor de Kj-N-verwijdering niet wordt beïnvloed door de uitspoeling van zwevende stof. De invloed van de voorbehandeling is buiten beschouwing gelaten en dat betekent dat voor beide reactoren verschillende periodes zijn gehanteerd.

AFBEELDING 23 AMMONIUMVERWIJDERING VERSUS CZV-BELASTING REACTOR 1 (PERIODE 16 JANUARI – JULI 2005, VOEDING MET VOORBEZONKEN AFVALWATER)



AFBEELDING 24 AMMONIUMVERWIJDERING VERSUS CZV-BELASTING REACTOR 2 (PERIODE 9 MAART – JULI 2005, VOEDING MET RUW AFVALWATER)



Verder dienen bij de grafieken de volgende opmerkingen te worden gemaakt;

1. Een deel van de stikstofvracht in het influent wordt in het surplusslib vastgelegd en wordt derhalve niet verwijderd via simultane nitrificatie/denitrificatie. Dit aandeel is ongeveer 20% van de influentvracht. In de afbeeldingen is geen rekening gehouden met de hoeveelheid die in het slib terechtkomt, waardoor de nitrificatiecapaciteit wordt overschat;
2. Bij het berekenen van de activiteit is uitgegaan van de beluchte tijd. Hiermee wordt de nitrificatiecapaciteit onderschat omdat bij lage ammoniumconcentraties in het effluent het waarschijnlijk is dat de tijd waarbinnen ammonium is omgezet, korter is dan de beluchte tijd.

Het netto-effect van bovengenoemde aspecten is niet helemaal duidelijk, maar het blijkt dat er in beide reactoren een rechtsevenredig verband bestond tussen de nitrificatiecapaciteit en de CZV-belasting, ondanks dat geen correctie voor de temperatuur heeft plaatsgevonden. Met andere woorden: binnen een ruime range waren meer dan voldoende nitrificeerders aanwezig om de ter beschikking gestelde ammoniumvracht om te zetten, waarbij de maximale nitrificatiecapaciteit niet werd bereikt. Kennelijk werd gemiddeld gezien lang niet alle nitrificatiecapaciteit aangesproken. Dit heeft te maken met parameters die de omzettingssnelheid van nitrificeerders beïnvloeden. Over de achtergronden hiervan zou meer (modelmatig) onderzoek kunnen worden uitgevoerd.

Verder valt op dat de nitrificatiecapaciteit van het korrelslib uit reactor 1 hoger was dan uit reactor 2. Dit verschil wordt veroorzaakt door de verschillende voorbehandeling van de reactoren, hetgeen leidde tot verschillende CZV/N-verhoudingen van de afvalwaterstromen. De gemiddelde CZV-concentraties in de afvalwaterstromen van reactor 1 en 2 bedroegen over de periode maart 2005 – juli 2005 respectievelijk 385 en 579 mg/l (zie Tabel 5), terwijl de ingaande Kj-N-concentraties nauwelijks verschilden. Dit betekent dat de nitrificatiecapaciteit niet werd beïnvloed door de hoeveelheid CZV die in de korrels werd omgezet.

4.5 FOSFAAT

4.5.1 CONCENTRATIEVERLOOP

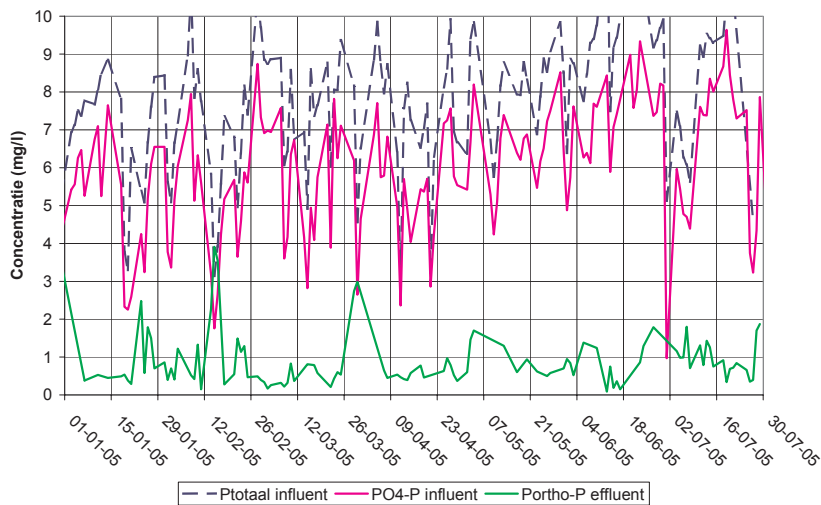
Het verloop van de fosfaatconcentraties in beide reactoren is weergegeven in Afbeelding 25 en Afbeelding 26. Maandgemiddelde gegevens zijn opgenomen in Tabel 9. Het blijkt dat lage orthofosfaatconcentraties (1 mg/l) gedurende een lange periode in beide reactoren mogelijk waren. Periodiek kwamen orthofosfaatpieken in het effluent voor. Deze vielen vrijwel allemaal samen met perioden met veel regen en het gevolg hiervan was dat de influentconcentraties van alle componenten sterk daalden. Aangezien het overgrote deel van het onderzoek de batchgrootte⁵ constant was, leidde dat bij regenweer tot heel lage influentvrachten. Bij lage CZV-vrachten gaat het biologisch fosfaatverwijderingsrendement achteruit.

In de praktijk zal dit fenomeen zich minder manifesteren omdat bij regenachtig weer de batchgrootte zal toenemen en daarmee ook de influentvracht. Dit effect wordt bij actiefslibinstallaties ook waargenomen: bij onderbelasting neemt het biologisch fosfaatverwijderingsrendement af. De reden hiervoor is dat bij onderbelasting substraat dat intern is vastgelegd (zoals glycogeen), wordt verbruikt. Als de belasting vervolgens weer op het normale niveau komt, dient het verbruikte celinterne substraat te worden aangevuld. Daardoor is tijdelijk te weinig energie beschikbaar om fosfaat vast te leggen.

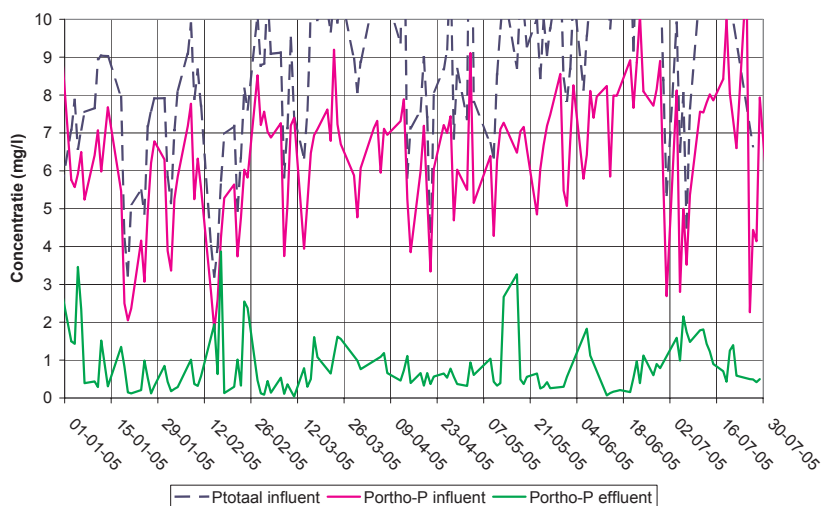
⁵ Batchgrootte: de hoeveelheid afvalwater die per cyclus wordt toegevoerd.

De maandgemiddelde gegevens laten zien dat orthofosfaatconcentraties in het effluent van ruim onder 1 mg P/l gedurende langere periodes werden bereikt. Op basis van deze cijfers was er nauwelijks verschil tussen beide reactoren.

AFBEELDING 25 FOSFAATCONCENTRATIES REACTOR 1



AFBEELDING 26 FOSFAATCONCENTRATIES REACTOR 2



TABEL 9 MAANDGEMIDDELTE ORTHO-FOSFAATCONCENTRATIES IN MG P/L

Maand 2005	Reactor 1			Reactor 2		
	Portho in	Portho uit	Rend.	Portho in	Portho uit	Rend.
januari	5,3	0,8	84%	5,3	0,9	83%
februari	5,1	1,1	78%	5,1	1,0	81%
maart	5,6	0,7	87%	6,5	0,7	90%
april	5,6	0,6	90%	6,3	0,7	90%
mei	6,5	0,9	86%	6,6	0,8	88%
juni	7,4	0,8	89%	7,6	0,6	92%
juli	6,2	1,0	84%	6,4	1,1	82%
gemiddeld	6,0	0,9	85%	6,3	0,8	87%

4.5.2 FOSFAATAFGIFTE EN –OPNAME

Verschillende activiteitsmetingen voor het bepalen van de fosfaatafgifte op basis van acetaat zijn uitgevoerd van de korrelslibben en het actiefslib van de rwzi Ede (zie Tabel 10). Het blijkt dat de fosfaatafgifte van de korrelslibben aanzienlijk hoger was vergeleken met actiefslib van de rwzi Ede, waarbij dient te worden opgemerkt dat de fosfaatafgifte van het actiefslib al hoog te noemen is (zie ook STOWA-rapport Handleiding biologische fosfaatverwijdering, rapportnummer 2001-15). Verder valt op dat de fosfaatafgifte van het korrelslib uit reactor 2 hoger was dan dat van reactor 1.

TABEL 10 FOSFAATAFGIFTESNELHEDEN OP BASIS VAN ACETAAT EN EEN TEMPERATUUR VAN 20 °C

Datum	Fosfaatafgifte (gP/(kgDS.h))		
	Reactor 1	Reactor 2	Rwzi Ede
28/10/2004	23	29	13
11/11/2004	35	47	10
18/11/2004	46	55	17
24/11/2004	30	51	niet gemeten
07/01/2005	34	37	niet gemeten
19/01/2005	25	35	niet gemeten
23/03/2005	40	64	niet gemeten
26/05/2005	19	19	niet gemeten
Gemiddeld	28	38	13

4.6 KORRELSLIB

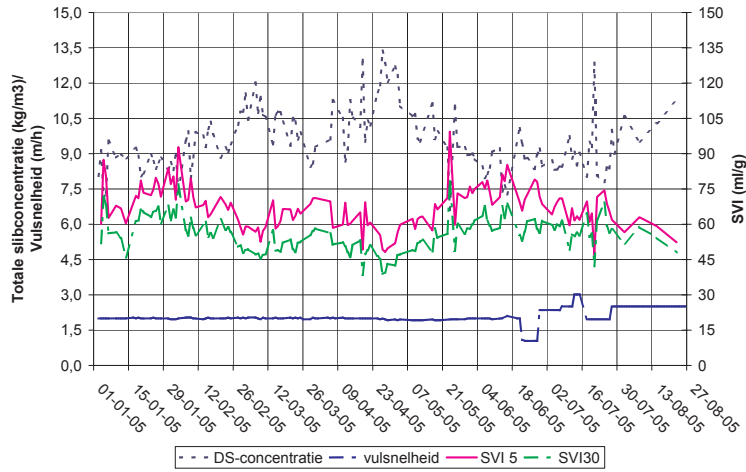
4.6.1 CONCENTRATIES EN BEZINKINGSEIGENSCHAPPEN

In de periode waarin de stikstofverwijdering is geoptimaliseerd, zijn de korrelslibconcentraties in beide reactoren niet wezenlijk veranderd en was sprake van een min of meer stationaire situatie. Het verloop hiervan alsook het verloop van de bezinkingseigenschappen zijn weergegeven in Afbeelding 27 en Afbeelding 28. Het blijkt dat de korrelslibconcentraties zich bewogen in de range van 8 tot 12 kg/m³. De korrelvorming is gedurende de gehele periode in beide reactoren op een hoog peil gebleven (zie Afbeelding 14 en Afbeelding 15).

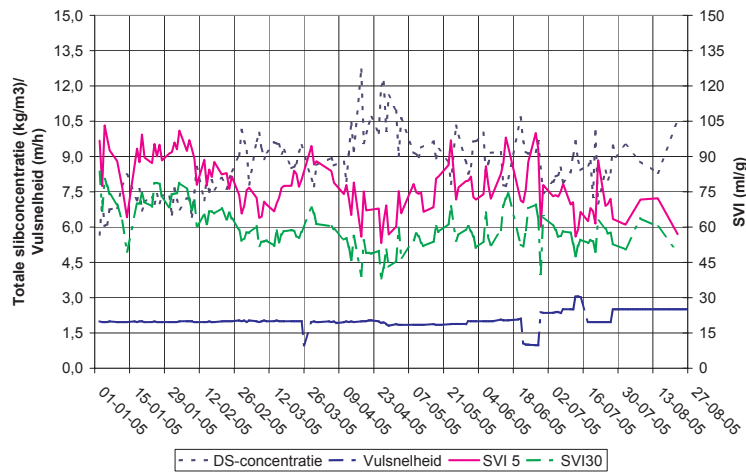
De gemiddelde korrelslibconcentraties over de periode januari – augustus 2005 zijn voor reactor 1 en 2 respectievelijk 9,7 en 8,7 kg/m³. De korrelslibconcentratie in reactor 2 was lager dan in reactor 1, hetgeen werd veroorzaakt door de enigszins lagere SVT's.

De SVI van het korrelslib varieerde periodiek. Deze variaties hangen vermoedelijk samen met de (on)regelmaticheid van het korreloppervlak die van seizoen tot seizoen wat verschillend was als gevolg van veranderingen in de bacteriepopulatie. Het blijkt dat er een duidelijk verband bestaat tussen de korrelslibconcentratie en de slibbezinkingseigenschappen (zie Afbeelding 29). Derhalve kan worden geconcludeerd dat de maximaal haalbare korrelslibconcentratie wordt bepaald door de bezinkingseigenschappen en dat deze niet afhankelijk is van de voorbehandeling die het afvalwater ondergaat. De bezinkingseigenschappen worden vooral bepaald door de hoeveelheid CZV in het afvalwater die via PHB kan worden verademd.

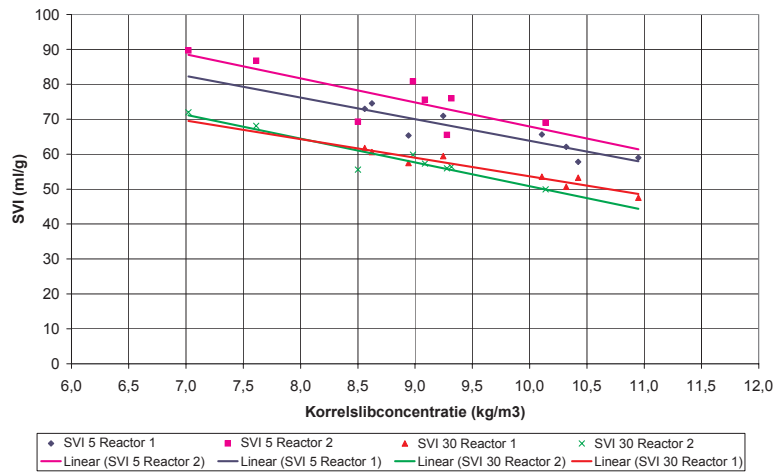
AFBEELDING 27 SVI EN KORRELSLIBCONCENTRATIE REACTOR 1



AFBEELDING 28 SVI EN KORRELSLIBCONCENTRATIE REACTOR 2



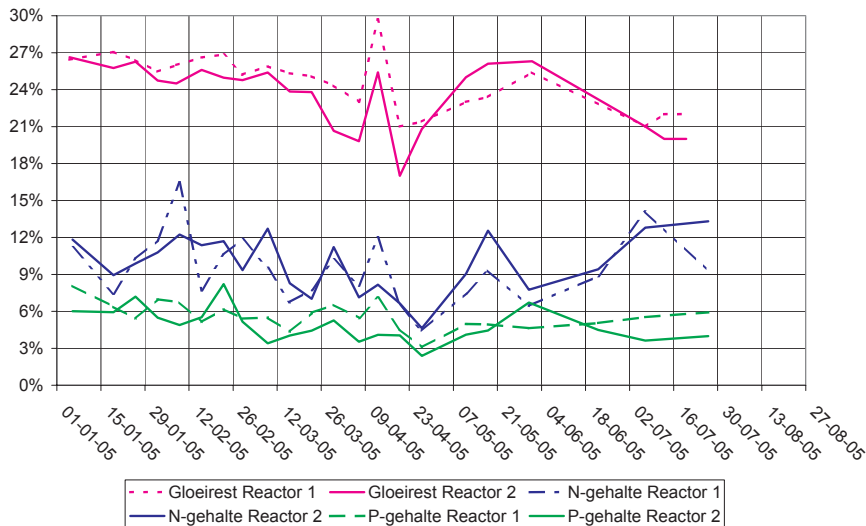
AFBEELDING 29 KORRELSLIBCONCENTRATIE VERSUS SVI 5 EN SVI 30 (MAANDGEMIDDELDEN, JANUARI – AUGUSTUS 2005)



4.6.2 SAMENSTELLING

Vanaf het moment dat sprake was van volledige korrelvorming is periodiek een aantal parameters van de korrelslibben bepaald. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Afbeelding 30. De verschillende curven hebben een min of meer hetzelfde verloop, dat wil zeggen dat de gloeirest en de P en N-gehaltes gelijk bleven in de tijd. De verschillen tussen de reactoren zijn klein. Het beeld dat hieruit naar voren komt is dat de gemiddelde samenstelling van de korrelslibben stabiel was.

AFBEELDING 30 SAMENSTELLING KORRELSLIB



4.6.3 SLIBPRODUCTIE

De slibproductie is de som van de slibaanwas in de reactoren en de hoeveelheid zwevende stof die met het effluent alsmede de drain zijn afgevoerd. Vanaf januari 2005 was sprake van een min of meer constante korrelslibconcentratie in beide reactoren en kan de specifieke slibproductie worden berekend aan de hand van de hoeveelheid zwevende stof die met effluent en de drain zijn afgevoerd:

$$\text{Specifieke slibproductie} = \frac{ZSvracht, \text{effluent} + ZSvracht, \text{drain}}{(CZVvracht, \text{totaal, in} - CZVvracht, \text{gefiltreerd, uit}) / 1000}$$

De maandgemiddelde specifieke slibproducties over 2005 zijn weergegeven in Tabel 11. Hieruit blijkt dat de specifieke slibproductie in reactor 1 lager was vergeleken met die in reactor 2 (27%). Dit verschil in slibproductie mag worden verwacht op basis van de voorbehandeling die het afvalwater bij reactor 1 onderging, terwijl reactor 2 werd gevoed met ruw afvalwater. De orde van grootte van de specifieke slibproductie komt overeen met die van actiefslibsystemen.

TABEL 11 GEMIDDELDE SPECIFIEKE SLIBPRODUCTIE IN G SS/ KG CZV, AFGEBOKEN

Maand 2005 Substraat	Reactor 1		Reactor 2	
	voorbezonden afvalwater		ruw afvalwater	
16 –31 januari	520			
februari	270			
maart	390		450	
april	390		520	
mei	570		580	
juni	300		540	
juli	340		470	
Gemiddeld	400		510	

4.6.4 FOSFAATGEHALTES

De fosfaatgehalten van verschillende fracties van het korrelslib zijn bepaald. Het gaat hierbij om de korrelfractie (zeef fractie > 0,212 mm) en de slibfractie (zeef fractie < 0,212 mm). Tabel 12 bevat de resultaten. Het blijkt dat de fosfaatgehalten van de korrels enigszins hoger waren dan van de fijne fractie van het korrelslib. De fosfaatgehalten van de fijne fracties laten zien dat het ging om biologisch actief materiaal en niet om zwevende stof uit het influent dat direct uitspoelt.

TABEL 12 FOSFAATGEHALTES KORRELSLIB

Datum	Reactor 1		Reactor 2	
	Korrels	Slib	Korrels	Slib
23/03/2005	4,7%	3,1%	4,4%	3,8%
12/05/2005	5,5%	3,4%	5,0%	4,0%

4.7 DYNAMISCHE VOEDING

In juli 2005 is het effect van een dynamische aanvoer van afvalwater onderzocht. Om technische redenen is geen actieve koppeling met de rwzi Ede gemaakt.

4.7.1 VARIATIE OP DAGBASIS

In eerste instantie zijn op weekbasis verschillende belastingen getest. Binnen een week is het vuldebiet per cyclus constant gehouden. Op basis de verschillende belastingen die op weekbasis zijn onderzocht, kon de invloed van een DWA-patroon worden vastgesteld. Tabel 13 geeft het gevolgde onderzoeksprogramma weer. Hieruit blijkt dat op basis van het dagdebiet grote variaties zijn onderzocht (1,5-6,2 m³/d). Uit Tabel 7 en Tabel 8 blijkt dat de maandgemiddelde waarden van de som van ammonium en nitraat in juni enigszins hoger waren vergeleken met de voorgaande maanden. Belangrijkste reden hiervoor lijkt niet de variatie van de dagdebieten maar waarschijnlijker moet de oorzaak worden gezocht in een hogere CZV-belasting (zie ook Tabel 7 en Tabel 8).

TABEL 13 ONDERZOEKSPROGRAMMA VOOR BEPALEN INVLOED DYNAMISCHE VOEDING OP DAGBASIS

Parameter	30 mei	31 mei	7 juni	22 juni	29 juni	7 juli	12 juli	13 juli
Vultijd (min)	60	60	60	60	80	80	80	60
Beluchten (min)	149	205	115	165	145	145	145	165
Bezinken (min)	15	15	15	15	15	15	15	15
Tot. cyclus (min)	224	280	190	240	240	240	240	240
Cycli/dag	6,4	5,1	7,6	6	6	6	6	6
Vulsnelheid (m/h)	2	2	2	2	2,4	2,5	3	3
Dagdebiet (m ³ /d)	3,2	2,6	3,8	1,5	4,8	5,1	6,2	4,6
Dagdebiet (%)	100%	80%	118%	47%	149%	159%	192%	144%

4.7.2 DEBIETVARIATIE BINNEN EEN DAG

Gedurende een week (18 t/m 22 juli 2005) is in beide reactoren het effect van debietvariaties binnen een dag onderzocht. Hiertoe is het vuldebiet per cyclus aangepast volgens het schema in Tabel 14. Alle overige instellingen zoals cyclustijden, setpoints en dergelijke zijn niet aangepast. De in- en effluentgegevens zijn weergegeven in Tabel 15. De CZV-belastingen in reactor 1 en 2 bedroegen respectievelijk 0,168 en 0,272 kgCZV/(kgDS.d) bij een gemiddelde procestemperatuur van 20 °C. Uit de gegevens blijkt dat de effluentkwaliteit in termen van stikstof- en fosfaatverwijdering goed is te noemen. Wel was sprake van een verhoogde uitspoeling van zwevende stof, waarover in de volgende paragraaf nader is ingegaan.

Dit deelonderzoek laat zien dat debietvariaties binnen een korte periode goed kunnen worden verwerkt, maar effecten hiervan op lange termijn zijn niet onderzocht.

TABEL 14 ONDERZOEKSPROGRAMMA VOOR BEPALEN INVLOED DYNAMISCHE VOEDING BINNEN EEN DAG

Parameter	Cyclus					
	0:00-4:00	4:00-8:00	8:00-12:00	12:00-16:00	16:00-20:00	20:00-0:00
Vulsnelheid (m/h)	2	1	1,4	3,0	2,5	2
Debiet (m ³)	0,52	0,26	0,36	0,77	0,64	0,52

TABEL 15 IN- EN EFFLUENTKwaliteit IN PERIODE MET DYNAMISCHE VOEDING BINNEN EEN DAG (18-22 JULI 2005)

Parameter	Reactor 1 (voorbezonden afvalwater)	Reactor 2 (ruw afvalwater)
Influent		
CZVtotaal (mg/l)	466	688
Zwevende stof (mg/l)	102	271
Ntotaal (mgN/l)	74	80
Ptotaal (mgP/l)	10,6	10,9
Effluent		
CZVopgelost (mg/l)	54	59
Zwevende stof (mg/l)	40	135
NH ₄ (mg N/l)	0,1	0,3
NO ₃ (mg N/l)	9,4	7,3
PO ₄ (mg P/l)	0,7	0,9

4.7.3 UITSPOELING VAN ZWEVENDE STOF

Bij variatie van het vuldebiet vond uitspoeling van zwevende stof plaats, waarbij het volgende gebeurde. Als het vuldebiet werd verlaagd, daalde bij een gelijkblijvende vultijd het slibniveau in de reactor aan het einde van de vultijd. Het slibniveau wordt bepaald door de fractie zwevende stof. De korrels bezinken snel en bevinden zich lager in de reactor. Door de verlaging van het vuldebiet werd gedurende een aantal cycli geen slib via de drain afgevoerd en hoopte zich zwevende stof in het korrelslib op (zie ook paragraaf 3.5). Hierdoor nam de slibconcentratie toe en steeg bij de volgende cyclus het slibniveau aan het einde van de vultijd totdat bij een bepaalde cyclus het niveau van de drain werd bereikt. Vanaf dat moment werd weer slib via de drain afgevoerd en stelde zich een evenwicht in.

Als het vuldebiet werd verhoogd, spoelde bij de eerstvolgende cyclus zwevende stof uit omdat gedurende de vultijd het slibniveau tot boven de drain steeg. Als het teveel aan slib was uitgespoeld, stelde zich een nieuw evenwicht in en was vervolgens de slibuitspoeling tot een minimum beperkt. In deze nieuwe evenwichtssituatie is de fractie aan zwevende stof in het korrelslib afgenomen.

Door de technische beperkingen van de pilot-installatie was de uitspoeling van slib bij hogere vuldebieten en de ophoping van zwevende stof in het korrelslib bij lagere vuldebieten niet te voorkomen.

4.7.4 MAXIMALE HYDRAULISCHE BELASTING

Het onderzoek laat zien dat een dynamisch aanvoerpatroon leidde tot slibuitspoeling (zie vorige paragraaf). Deze slibuitspoeling had echter een tijdelijk karakter en heeft te maken met de wijze waarop slib aan de reactoren werd onttrokken. Als de ophoping van de fijne slibfractie in het korrelslib kan worden voorkomen, zijn hoge hydraulische belastingen mogelijk. Dit blijkt bijvoorbeeld uit de gegevens over augustus 2005, waarin de vulsnelheid niet is aangepast en 3,0 m/h bedroeg (zie Afbeelding 27 en Afbeelding 28). De uitspoeling van zwevende stof was minimaal en de maandgemiddelde waarde bedroeg 11 mg/l in beide reactoren (zie ook Afbeelding 20).

4.8 NABEHANDELING

In mei 2005 is een trommelzeef volgens het "inside-out principe" van de firma Multivis geïnstalleerd als nabehandelingsstap achter reactor 2 (zie Afbeelding 31). Het doekoppervlak bedroeg 0,9 m² en het filter werd gespoeld met effluent van de trommelzeef. Spoeling vond automatisch plaats op het moment dat een waterniveau in de trommelzeef werd overschreden. Afbeelding 32 geeft de resultaten ten aanzien van de verwijdering van zwevende stof weer. Het blijkt dat het functioneren van de trommelzeef vanaf medio juli sterk verbeterde en de redenen hiervoor zijn:

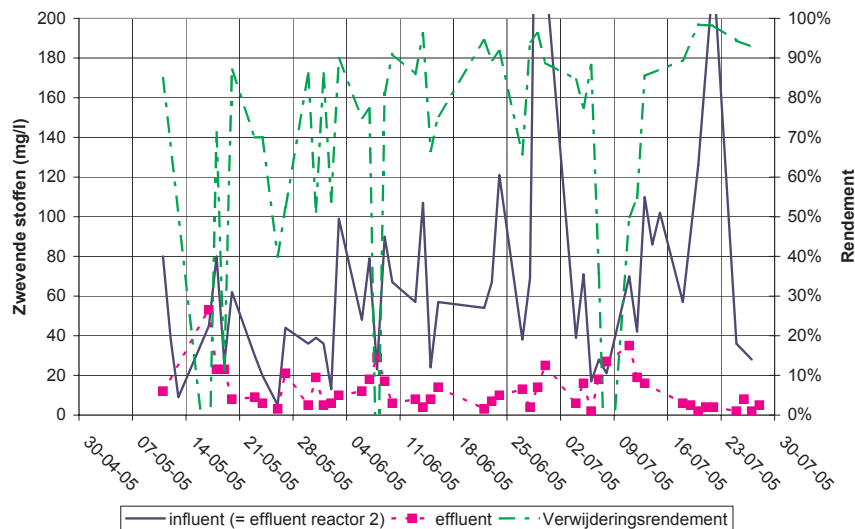
1. Op 14 juli is een doek met een kleinere maaswijdte geïnstalleerd (van 30 naar 10 µm);
2. Gebleken is dat sprake was van algengroei in de trommel en in het effluentopvangvat achter de trommel. Vanaf 14 juli is wekelijks handmatig chloor in de trommel gedoseerd om deze aangroei te voorkomen.

Het blijkt dat na bovengenoemde aanpassingen de trommelzeef zwevende stof met een hoog rendement verwijderde. Bij een maaswijdte van 10 µm bedroeg het gemiddelde zwevende stofgehalte in het filtraat 4 mg/l.

AFBEELDING 31 FOTO TROMMELZEEF



AFBEELDING 32 VERWIJDERING VAN ZWEVENDE STOF IN TROMMELZEEF



4.9 SLIBVERWERKING

In een oriënterend onderzoek dat op het Water Research Laboratorium van DHV is uitgevoerd, zijn de slibindikkings- en slibontwateringseigenschap onderzocht. Referentie hierbij is actiefslib van de rwzi Ede. Het onderzoek is in september 2005 uitgevoerd.

4.9.1 VLOKPROEVEN

Teneinde een indruk van de slibindikkingseigenschappen te krijgen, zijn met verschillende typen poly-electrolyet (PE) vlokkingstesten in bekgelazen uitgevoerd. De geteste PE's waren allemaal hoogmoleculair, waarbij de onderlinge verschillen zijn terug te voeren op vertakingsgraad.

De resultaten zijn weergegeven in Tabel 16, waarbij de waardering van de vlokkinggraad goed (+) en slecht (-) zijn toegekend op basis van visuele waarnemingen. Het bleek dat bij verschillende PE's de slibben goed uitvlokten. De bovenstaande visueel heldere vloeistof kon makkelijk worden gedecanteerd tot maximaal 90% van de inhoud van het bekgelas.

TABEL 16

RESULTATEN VLOKKINGSTESTEN MET SLIB

Type PE	Drain		Rwzi Ede
	Reactor 1 (voorbezonden AW)	Reactor 2 (ruw AW)	
7878FS40	+	+	+
8868	+	+	+
C2290	-	+/-	
SD2081	+	+	
SD2085	+	+	+
4812 RS	-	-	
C1590	+/-	+	

4.9.2 PERSPROEVEN

In aansluiting op de vlokkingstesten zijn verschillende persproeven uitgevoerd met een minipers (zie Afbeelding 33). In deze minipers wordt het slibmonster in de ontwateringskamer gebracht (links op de foto). Vervolgens wordt met behulp van een cilinder (rechts op de foto) het volume van de ontwateringskamer verkleind en wordt het slibwater via filters uit de ontwateringskamer geperst.

Bij de persproeven zijn verschillende PE's gebruikt die goede resultaten gaven bij de vlokkingstesten. PE is op dezelfde wijze gedoseerd als bij de vlokkingstesten. Vervolgens is de heldere bovenstaande vloeistof gedecanteerd en is het ingedikte slibmonster in de minipers ontwaterd.

Tabel 17 geeft de resultaten weer. Het blijkt dat het slib uit reactor 2 het beste ontwaterde, hetgeen tot uitdrukking komt in de maximaal toelaatbare persdruk en de drogestofgehaltes van het ontwaterde slib. Als de maximale persdruk wordt overschreden, gaan de vlokken kapot en wordt het slib door de filters van de ontwateringskamer geperst.

Het actiefslib van de rwzi Ede liet minder hoge persdrukken toe gevolgd door het slib uit reactor 1.

TABEL 17

RESULTATEN PERSPROEVEN

Monster	Aantal metingen	Aantal PE's	Ingaande DS	Maximaal toelaatbare persdruk (atm)	Uitgaande DS
Drain reactor 1	2	2	2,0-3,5%	1,5	8,7-9,1%
Drain reactor 2	2	2	1,0-2,0%	7	14,3-14,5%
Rwzi Ede	2	2	3,0-5,0%	4	10,0-14,6%

AFBEELDING 33 FOTO MINIPERS



5

CONCLUSIES

5.1 KORRELVORMING

De periode vanaf de opstart in oktober 2003 t/m december 2004 heeft in het teken gestaan van korrelvorming. Hierin zijn de effecten van de reactorconfiguratie, de selectie van PAO's, het zuurstofgehalte en de bezinkdruk onderzocht. Gebleken is dat de selectie van PAO's een belangrijke sleutel is om tot korrelvorming te komen. Gedurende de opstart dient nitrificatie onderdrukt te worden, om zodoende biologische fosfaatverwijdering zoveel mogelijk te stimuleren. Nitrificatie leidt tot nitraatvorming en dit is nadelig gebleken voor het op gang komen van de korrelvorming.

Volledige korrelvorming wordt bereikt door het opvoeren van de bezinkdruk. Als deze vervolgens wordt verlaagd (bijv. door het gelijktijdig vullen en aflaten), blijft de korrelvorming op een hoog peil. Factoren die niet onderscheidend zijn gebleken bij de korrelvorming zijn afschuifkrachten (bellenkolom versus air-lift reactor) en het zuurstofgehalte (combinatie van afschuifkrachten en zuurstofgehalte).

5.2 OPTIMALISATIE PROCESVOERING

5.2.1 CZV

Het blijkt dat hoge CZV-verwijderingsrendementen haalbaar zijn, waarbij de $CZV_{opgelost}$ -concentraties in het effluent vergelijkbaar zijn met die in actiefslibinstallaties. De CZV-belasting blijkt van invloed op het CZV-verwijderingsrendement: naarmate de CZV-belasting daalt, neemt de $CZV_{opgelost}$ -concentratie in het effluent af. De voorbehandeling van het afvalwater is niet van invloed op de gefiltreerde CZV.

In de periode van het onderzoek met vergaande stikstofverwijdering (januari – juli 2005) bedragen de gemiddelde $CZV_{opgelost}$ -concentraties in het effluent van reactor 1 respectievelijk 45 en 50 mg/l. De bijbehorende CZV-slibbelastingen (betrokken op de beluchte fase) zijn 0,159 en 0,231 kgCZV/(kgDS.d). De CZV_{totaal} -concentraties in het effluent hangen sterk samen met de hoeveelheid zwevend stof. Het onderzoek heeft laten zien dat lage concentraties in het effluent haalbaar zijn. Uitgaande van een specifiek CZV-gehalte voor zwevende stof van 1 mgCZV/mgZS kunnen bij een zwevend stofgehalte van minder dan 10 mg/l in het effluent CZV_{totaal} -concentraties < 60 mg/l worden behaald.

5.2.2 ZWEVENDE STOF

Het onderzoek laat zien dat bij constante vuldebieten in combinatie met het apart afvoeren van de "drain" lage gehalten aan zwevende stof in het effluent van gemiddeld 10-20 mg/l kunnen worden bereikt. De voorbehandeling heeft hierop geen invloed.

Een verdere reductie van de lozing van zwevende stof kan effectief worden bewerkstelligd met behulp van een nageschakelde techniek. Onderzoek is uitgevoerd naar het rendement van een nageschakelde trommelzeef. Bij een maaswijdte van de trommelzeef van 10 µm bedraagt het gemiddelde zwevende stofgehalte in het filtraat gemiddeld 4 mg/l.

Bij debietvariaties treedt uitspoeling van slib op, maar deze is vooral het gevolg van technische beperkingen van de pilot-installatie. Bij een verlaging van het debiet hoopt zich zwevende stof op in de reactor dat vervolgens uitspoelt bij een verhoging van het debiet.

5.2.3 STIKSTOFVERWIJDERING

Nadat volledige korrelvorming in combinatie met hoge korrelslibconcentraties zijn bewerkstelligd, is het nitrificatieproces gestimuleerd. Na korte tijd is sprake van volledige nitrificatie en vergaande simultane denitrificatie. De nitrificatiecapaciteit van het korrelslib is groot: over een brede range van belasting blijkt alle Kj-N in het influent te worden omgezet. Er is geen maximum in de nitrificatiecapaciteit waargenomen. Dit betekent dat de nitrificatiecapaciteit van het korrelslib robuust is en daardoor goed bestand tegen grote veranderingen van de belasting. De nitrificatiecapaciteit van het korrelslib onafhankelijk te zijn van de voorbehandeling. Daarentegen verloopt het denitrificatieproces moeizamer bij een lagere CZV/N-verhouding van het afvalwater.

Vergaande stikstofverwijdering, dat wil zeggen de som van ammonium en nitraat < 10 mg/l, blijkt mogelijk tot een minimum maandgemiddelde temperatuur van 12,9 °C. De bijbehorende CZV-belasting met voorbezonden afvalwater is 0,143 kgCZV/(kgDS.d). Onderzoek bij lagere temperaturen heeft niet plaatsgevonden, maar verwacht mag worden dat stikstofverwijdering bij lagere temperaturen geen probleem is. Hiervoor is waarschijnlijk een lagere slibbelasting een vereiste.

Bij ruw afvalwater is sprake van een gunstigere CZV/N-verhouding en is vergaande stikstofverwijdering mogelijk bij hogere slibbelastingen: 0,212 kgCZV/(kgDS.d) bij een maandgemiddelde temperatuur van 13,7 °C.

Voor genoemde waarden zijn vergelijkbaar met slibbelastingen in actiefslibsystemen, waarbij bij dezelfde temperatuur vergaande stikstofverwijdering kan plaatsvinden. Korrelslibreactoren kunnen echter bij een aanzienlijk hoger drogestofconcentratie worden bedreven, waardoor het benodigde volume in vergelijking met actiefslibsystemen kleiner is.

Voor de vertaling naar Ntotaal-concentraties dient te worden gecorrigeerd voor het deel van Kj-N in het influent dat niet afbreekbaar is. Tevens moet worden gecorrigeerd voor het stikstofgehalte van de zwevende stof dat in het effluent terecht komt. Als wordt uitgegaan van een Kj-N-concentratie van 1,5 mg/l dat niet afbreekbaar is en zwevende stof met een stikstofgehalte van 5%, bedraagt bij een zwevend stofgehalte van 4 mg/l de minimum Ntotaal-concentratie in het effluent $1,5 + 4 \cdot 0,05 = 1,7$ mg/l.

5.2.4 FOSFAATVERWIJDERING

Sinds de periode dat sprake is van vergaande stikstofverwijdering, is het biologisch fosfaatverwijderingsrendement vrijwel continu op een hoog peil geweest (Portho in het effluent 0,8-0,9 mgP/l). Verslechtering van het rendement treedt op bij een (aanzienlijke) verlaging van de belasting. Hoewel de maandgemiddelde orthofosfaatconcentraties in het effluent van beide reactoren elkaar niet veel ontlopen, bestaat de indruk dat de biologische fosfaatverwijdering makkelijker verloopt in de reactor 2. Deze is een belangrijk deel van de tijd gevoed met ruw afvalwater.

Activiteitsmetingen laten zien dat de fosfaatafgifte van korrelslib aanzienlijk hoger is dan dat het actiefslib van de rwzi Ede. Hierbij kan worden opgemerkt dat de fosfaatafgifte van het actiefslib van de rwzi Ede hoog is in vergelijking met veel andere actiefslibsystemen met biologische fosfaatverwijdering.

De Ptotaal-concentratie in het effluent hangt sterk samen met het zwevende stofgehalte in het effluent. Ervan uitgaande dat het fosfaatgehalte van de zwevende stof in het effluent 3,5% bedraagt, kan bij een zwevendstof gehalte in het effluent van 4 mg/l een minimum Ptotaal-concentratie van $4 \cdot 0,035 = 0,14$ mgP/l worden verwacht.

5.2.5 DYNAMISCH VOEDINGSPATROON

Het variëren van het voedingspatroon leidt niet tot een slechtere effluentkwaliteit in termen van stikstof- en fosfaatverwijdering. Geconcludeerd kan worden dat het korrelslib goed bestand is tegen schommelingen van de influentvrachten per cyclus. Wel trad als gevolg van debietvariaties uitspoeling van zwevende stof op. De uitspoeling van slib had een kortstondig karakter (meestal één cyclus). Dit fenomeen werd veroorzaakt door technische beperkingen van de pilot-installatie waardoor de ideale procesvoering om slibuitspoeling te voorkomen, niet kon worden onderzocht (zie ook paragraaf 5.2.2). Het onderzoek heeft laten zien dat in perioden met een constant vuldebiet toelaatbare vulsnelheden tot 3,0 m/h mogelijk zijn. Voornoemde resultaten zijn behaald op basis van een kort onderzoek naar de invloed van een dynamisch aanvoerpatroon. Effecten op lange termijn zijn niet onderzocht.

5.2.6 SLIBPRODUCTIE

Zoals mocht worden verwacht, is de slibproductie afhankelijk van de voorbehandeling. De specifieke slibproductie bedraagt op basis van voorbezonden afvalwater gemiddeld $400 \text{ gZS/kgCZV}_{\text{afgebroken}}$ en voor ruw afvalwater bedraagt $510 \text{ gZS/kgCZV}_{\text{afgebroken}}$. Deze waarden komen goed overeen met de specifieke slibproductie in actiefslibsystemen.

5.2.7 SLIBBEHANDELING

Oriënterend onderzoek is uitgevoerd naar de slibindikkings- en slibontwateringseigenschappen van reactor 1 en 2, waarbij actiefslib van de rwzi Ede als referentie heeft gediend. Het blijkt dat het slib dat via de drain uit de korrelslibreactoren wordt afgevoerd, goed uitvlokt en daarmee goed in te dikken lijkt. De ontwateringstesten laten zien dat het slib uit reactor 2 beter lijkt te ontwateren dan het actiefslib van de rwzi Ede, terwijl dat bij het slib uit reactor 1 juist minder is. Het ging hierbij om een indicatieve testen en nader onderzoek is gewenst.

5.3 ONTWERPCRITERIA

Het onderzoek laat zien dat de aëroob korrelslibtechnologie kan worden toegepast voor de behandeling van zowel ruw als voorbezonden afvalwater. De ontwerp slibbelasting is echter afhankelijk van de voorbehandeling want deze heeft invloed op de CZV/N-verhouding van het te behandelen afvalwater. In dit onderzoek is de temperatuurrange waarbinnen de stikstofverwijdering is onderzocht smaller dan in de praktijk. Bij het vaststellen van de ontwerp slibbelasting is gebruik gemaakt van de temperatuursafhankelijkheid die bij actiefslibsystemen wordt gehanteerd. Hierbij is uitgegaan van een actiefslibstelsysteem met voordennitrificatie. Op basis hiervan zijn de ontwerp CZV-slibbelastingen (betrokken op de beluchte tijd) terugerekend naar een ontwerp temperatuur van 10 °C. Hieronder volgen de belangrijkste ontwerpcriteria;

- | | | |
|---|-----------|----------------|
| 1) CZV-slibbelasting ruw afvalwater | : 0,16 | kgCZV/(kgDS.d) |
| 2) CZV-slibbelasting voorbezonden afvalwater | : 0,12 | kgCZV/(kgDS.d) |
| 3) Vultijd | : 1 | uur |
| 4) Bezinktijd | : 10-15 | minuten |
| 5) maximale hydraulische belasting bij gelijktijdig vullen en aflat | : 2,5-3,0 | m/h |

6

AANBEVELINGEN

6.1 KORRELVORMING

De opstart van het onderzoek heeft plaatsgevonden met voorbezonden afvalwater. Op basis van de verkregen inzichten kan er van worden uitgegaan dat een volgende opstart met voorbezonden afvalwater sneller zal verlopen.

In het onderzoek is ervaring verkregen met de behandeling van ruw afvalwater in een reeds opgestarte korrelreactor, hetgeen heeft geleid tot goede resultaten. De mogelijkheden van een opstart met ruw afvalwater verdient nader onderzoek.

Een ander aspect bij de korrelvorming met huishoudelijk afvalwater op andere locaties is een eventuele procesverstoring door specifieke componenten. Dit is op zich geen specifiek probleem voor de aëroob korrelslibtechnologie, maar geldt voor alle biologische processen. Naarmate op meerdere locaties een succesvolle vorming van korrelslib is aangetoond, zal hierover meer inzicht worden verkregen.

6.2 UITSPOELING ZWEVENDE STOF

Uit het onderzoek is gebleken dat bij een constant vuldebiet lage zwevend stofgehalten in het effluent van de korrelslibreactoren kunnen worden behaald.

Bij debietvariaties treedt uitspoeling van slib op, maar deze is vooral het gevolg van technische beperkingen van de pilot-installatie. Bij een verlaging van het debiet hoopt zich zwevende stof op in de reactor die vervolgens uitspoelt bij een verhoging van het debiet. Nader onderzoek dient te worden verricht naar de mogelijkheden tot het voorkomen van slibuitspoeling als gevolg van debietvariaties. De afvoer van slib dient op (een) ander(e) moment(en) binnen de cyclus plaats te vinden.

6.3 MICROVERONTREINIGINGEN

Voor dit onderzoek is een bewuste keuze gemaakt om geen onderzoek te doen naar microverontreinigingen zoals bacteriën en virussen, zware metalen en prioritaire stoffen. Over de verwijderingsrendementen hiervan zou nader onderzoek moeten worden uitgevoerd, bij voorkeur in combinatie met nageschakelde technieken. Aangezien de sibleeftijd van de korrels veel hoger is in vergelijking met de sibleeftijd in actiefslibsystemen, is het niet denkbeeldig dat bij de verwijdering van microverontreinigingen verschillen zullen optreden. Een ander verschil is dat de hydraulische verblijftijd in korrelreactoren korter is in vergelijking met actiefslibsystemen.

6.4 HYDRAULISCHE ASPECTEN

Het pilot-onderzoek is uitgevoerd in reactoren met een H/D-verhouding van 10. In de praktijk zullen veelal reactoren met een aanzienlijke lagere H/D-verhouding (< 1) worden gebouwd. Naast de H/D-verhouding zijn de volgende aspecten inclusief de onderlinge samenhang van belang bij het hydraulisch ontwerp van een korrelibslibreactor:

- 1) het verdeelsysteem over de bodem;
- 2) de aflatconstructie. Verschillende typen zijn mogelijk: overstorten, verdronken aflaten etc.
- 3) de exchange ratio. Dit is het deel van de reactor dat per batch wordt ververst. Naarmate de exchange ratio hoger is, is de kans op kortsluitstromen groter. Hierdoor worden hogere eisen aan het hydraulisch ontwerp gesteld.

Opgemerkt wordt dat met bovengenoemde aspecten reeds ruime ervaring is opgedaan met anaërobe korrelibslibtechnologieën, maar dienen nader te worden onderzocht.

6.5 SLIBVERWERKING

Er is oriënterend onderzoek verricht naar de slibverwerkingseigenschappen van het surplus-slib afkomstig van de korrelreactoren. Het beeld dat hieruit naar voren komt, is dat deze niet wezenlijk verschillen met die van actiefslib. Toch is nader onderzoek wenselijk om de slibverwerkingseigenschappen nader te onderzoeken. Naast het onderzoeken van de indikkings- en ontwateringseigenschappen op semi-praktijkschaal kan worden gedacht aan:

- 1) de vergistbaarheid;
- 2) de verwerkingseigenschappen in combinatie met actiefslib. In Nederland worden vrijwel geen nieuwe rwzi's meer gebouwd en worden overwegend bestaande installaties uitgebreid. Het is daarom waarschijnlijk dat de eerste toepassingen uitbreidingen van actiefslibsystemen zijn, waardoor een hybride systemen ontstaan. Het surplus-slib zal in veel gevallen echter gezamenlijk worden verwerkt en dat kan leiden tot andere eigenschappen van de totale surplus-slibstroom.

7

DOORKIJK NAAR DE PRAKTIJK

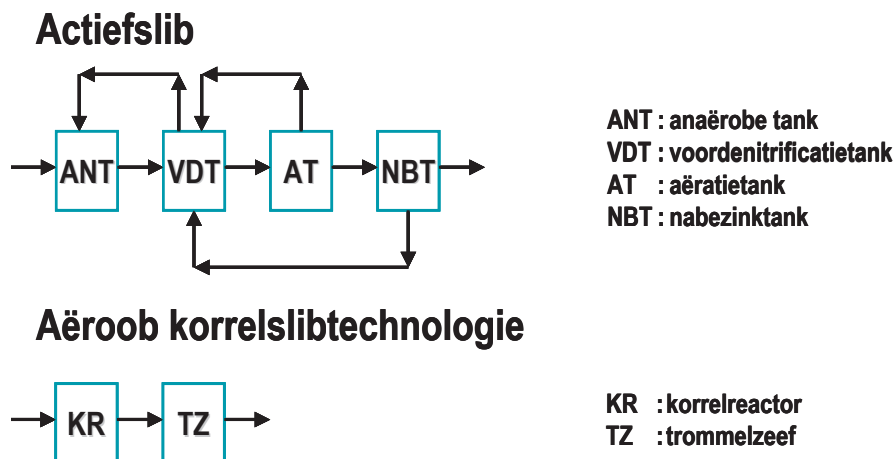
7.1 PROCESCONFIGURATIES

Uit het onderzoek is gebleken dat de aëroob korrelslibtechnologie toepasbaar is voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater onder omstandigheden zoals die in Nederland gebruikelijk zijn. Groot voordeel van de technologie is dat alle processen in één reactor plaatsvinden. De continue verwerking van afvalwater wordt gewaarborgd door meerdere, parallel bedreven reactoren te bouwen.

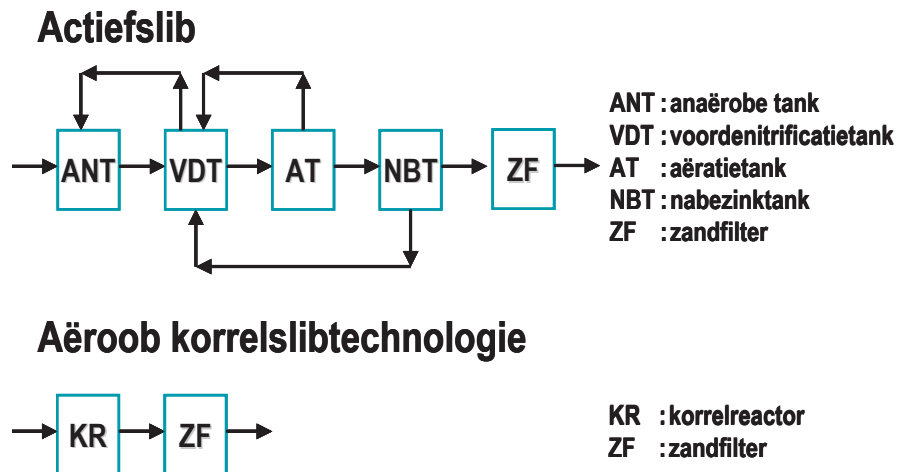
Door de specifieke eigenschappen van het korrelslib zijn hoge korrelslibconcentraties mogelijk en kunnen praktijkinstallaties compact worden gebouwd. Hoewel lage concentraties aan zwevende stof in het effluent kunnen worden behaald, is een nabehandlingsstap voor aanvullende verwijdering van zwevende stof in de Nederlandse situatie noodzakelijk. Deze is naar verwachting eenvoudiger en goedkoper dan nabezinktanks.

Afbeelding 34 en Afbeelding 35 geven een doorkijk naar de praktijk. Hierin zijn procesconfiguraties van de aëroob korrelslibtechnologie vergeleken met veel voorkomende procesconfiguraties van het actiefslibstelsel. Onderscheid is gemaakt tussen de huidige effluenteisen (Lozingenbesluit Stedelijk afvalwater) en strengere eisen ten aanzien van stikstof- en fosfaatverwijdering.

AFBEELDING 34 CONFIGURATIES VOOR HET LOZINGENBESLUIT STEDELIJK AFVALWATER



AFBEELDING 35 CONFIGURATIES VOOR VERDERGAANDE STIKSTOF- EN FOSFAATVERWIJDERING



Het blijkt dat de procesconfiguratie voor de aëroob korrelslibtechnologie niet hoeft te veranderen bij verschillende effluenteisen ten aanzien van stikstof en fosfaat. In het geval dat met de verwijdering van zwevende stof kan worden volstaan, kan de nabehandeling relatief eenvoudig worden gehouden (bijvoorbeeld trommelzeven). Gezien het eenvoudige karakter van de aëroob korrelslibtechnologie is deze een aantrekkelijk alternatief voor uitbreidingen van rwzi's waarbij het Lozingenbesluit voor stedelijk afvalwater geldt.

Als verdergaande stikstof- en fosfaatverwijdering wordt vereist, kan worden overgestapt naar bijvoorbeeld zandfiltratie waarmee naast de verwijdering van zwevende stof aanvullend nitraat en fosfaat kan worden verwijderd.

Bij het actiefslibstelsysteem daarentegen, leiden strengere effluenteisen tot een nageschakelde techniek zoals zandfiltratie. Als bij de uitbreiding van een rwzi strenge effluenteisen gelden en dat bij een actiefslibstelsysteem leidt tot een nageschakelde techniek, is de toepassing van de aëroob korrelslibtechnologie een extra aantrekkelijk alternatief: aangezien bij beide technologieën een nageschakelde techniek noodzakelijk is, valt deze bij de onderlinge vergelijking weg. In dit geval kan de uitbreiding van het actiefslibstelsysteem worden vergeleken met korrelslibreactoren zonder nabehandeling.

7.2 ENERGIEVERBRUIK

Uit Afbeelding 34 kan worden afgeleid dat in vergelijking met de aëroob korrelslibtechnologie bij conventionele actiefslibsystemen een aantal extra processtappen noodzakelijk is:

1. Recirculatie van voordentrificatietank naar anaërobe tank;
2. Recirculatie van aëratietank naar voordentrificatie;
3. Recirculatie van slib van nabezinktank naar aëratietank;
4. Menging cq. voortstuwing in anaërobe tank, voordentrificatietank en aëratietank.

Bovengenoemde processen leiden tot een energieverbruik in de range van 15 tot 30% van het totale verbruik, één en ander afhankelijk van het ontwerp en het type beluchting. Dit betekent dat, zonder inachtneming van de beluchting, met toepassing van de aëroob korrelslibtechnologie aanzienlijk op het energieverbruik kan worden bespaard.

7.3 HAALBAARHEID

In een vorig STOWA-project is onder andere de technische en economische haalbaarheid van de aëroob korrelslibtechnologie getoetst op basis van de toen geldende inzichten (zie STOWA-rapport 2003-07). De vraag is in welke mate de resultaten uit deze studie zich verhouden tot een berekening van de haalbaarheid op basis van de huidige inzichten.

Tabel 18 geeft een overzicht van de uitgangspunten. Tevens is in de laatste kolom een variant van de aëroob korrelslibtechnologie zonder nabehandeling weergegeven. In het geval dat bij een conventioneel actiefslibstelsysteem zandfiltratie als nageschakelde techniek wordt bijgebouwd, valt in de vergelijking met de aëroob korrelslibtechnologie de nabehandelingsstap weg (zie ook paragraaf 7.1).

De benodigde investeringen zijn voor de verschillende alternatieven weergegeven in Tabel 18 en hieruit blijkt dat de haalbaarheid van de technologie ten opzichte van de inzichten in 2003 aanmerkelijk is verbeterd. Ondanks een groter korrelreactorvolume noodzakelijk is, dalen de benodigde investeringen met name door het achterwege blijven van een effluentbuffer met pompfase, en door eenvoudigere aflatconstructies voor het afvoeren van effluent vanuit de korrelreactoren.

TABEL 18 TOETSING HAALBAARHEID OP BASIS VAN HUIDIGE INZICHTEN

Parameter	STOWA 2003-07	Huidige inzichten	
		Nabehandeling	Geen nabehandeling
Voorbehandeling	nee	nee	nee
Slibgehalte tijdens beluchten (kg/m ³)	4-6	8	8
CZV-belasting (kg/(kg.d))	0,3	0,15	0,15
Cyclustijd (uur)	1	3	3
Vullen en aflaten	separaat	gelijktijdig	gelijktijdig
Buffertank effluent korrelreactor	ja	nee	nee
Nabehandeling	lamellen	lamellen	geen
Inhoud korrelreactoren (m ³)	11.400	17.600	17.600

TABEL 19 BENODIGDE INVESTERINGEN

Alternatief	Investeringskosten	
Aëroob korrelslib met nabehandeling (lamellenbezinking, inzichten 2003)	€ 16.400.000	100%
Aëroob korrelslib met nabehandeling (lamellenbezinking, huidige inzichten)	€ 14.800.000	90%
Aëroob korrelslib zonder nabehandeling (huidige inzichten)	€ 12.000.000	73%

7.4 EINDOORDEEL

Het onderzoek laat zien dat de aëroob korrelslibtechnologie veelbelovend is met het oog op de toepassing voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater. De opstart heeft om verschillende redenen lang geduurd, maar vanaf het moment van dat sprake is van vergaande korrelvorming is de stabiliteit van de korrels groot geweest: de bezinkdruk kan worden verlaagd en de korrelpopulatie blijft goed in stand. Ook tegen de invloed van wisselende samenstellingen en temperatuur is eenmaal gevormd korrelslib goed bestand. Daarbij komt dat de stabiliteit van het korrelslib en de effluentkwaliteit niet verslechtert als de voorbehandeling wordt uitgeschakeld. Sterker: de stikstofverwijdering loopt makkelijker als gevolg van een gunstigere CZV/N-verhouding in het afvalwater.

Voor de Nederlandse situatie bestaat de noodzaak voor een nabehandeling voor de verwijdering van zwevende stof. De potentie voor vergaande stikstof- en fosfaatverwijdering is aangetoond en afhankelijk van de nabehandeling die wordt gekozen, zijn lage stikstof- en fosfaatgehalten goed mogelijk.

Gezien de eenvoud en daarmee samenhangend de te verwachten lage kosten, het lage energieverbruik en de robuustheid van het systeem lijkt de technologie een wezenlijke bijdrage te kunnen gaan leveren aan de behandeling van huishoudelijk afvalwater op praktijkschaal. Dat neemt niet weg dat er bij de introductie van deze technologie nog onzekerheden bestaan. Dat geldt niet specifiek voor deze technologie, maar voor elke nieuwe technologie die wordt gelanceerd. Inmiddels is een naam gelanceerd voor de aëroob korrelslibtechnologie: NeredaTM. Veel van de genoemde onzekerheden zouden kunnen worden weggenomen door de bouw en bedrijfsvoering van een demonstratie-installatie op praktijkschaal.

