

MBR PROEFINSTALLATIE RWZI HILVERSUM

RAPPORT

2006
16

ISBN 90.5773.336.6



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

Publicaties en het publicatie overzicht van de STOWA kunt u uitsluitend bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3300 CC Zwijndrecht,
TEL 078 623 05 00 FAX 078 610 610 42 87 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een duidelijk afleveradres.

COLOFON

Utrecht, augustus 2006

Projectuitvoering

Chris Ruiken (Waternet)

Ron Corstens (Waternet)

Jacob Pruyssers (Waternet)

Rapportage

Chris Ruiken (Waternet)

Begeleidingscommissie

Cora Uijterlinde (STOWA)

Andy Schellen (Waterschap Hollandse Delta)

Ferdinand Kiestra (Royal Haskoning)

Ruud Schemen, Hielke van de Spoel (Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier)

Stefan Weijers, Jarno de Jonge (Waterschap de Dommel)

Sybren Gerbens (Wetterskip Fryslân)

Hans de Vries (Aquario)

Prepress/ druk

Van de Garde | Jémé, Eindhoven

STOWA

Rapportnummer 2006-16

ISBN 90.5773.336.6

TEN GELEIDE

De toepassing van de membraanbioreactortechnologie (MBR) kan een belangrijke vooruitgang betekenen voor de communale afvalwaterzuivering. In vergelijking met de traditionele zuiveringstechnieken wordt op een aanzienlijk geringer oppervlak een betere effluentkwaliteit verkregen. Op dit moment is de toepassing van MBR voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater nog volop in ontwikkeling.

De weg die bewandeld moet worden om innovaties in de praktijk tot uitvoering te laten komen is doorgaans een moeilijke. Zo ook voor de MBR-technologie. De afvalwatersector is erin geslaagd om in een kort tijdsbestek deze nieuwe technologie verder te ontwikkelen tot een systeem dat onder Nederlandse omstandigheden kan worden toegepast.

In 2000/2001 heeft een omvangrijk onderzoek plaats gevonden op de RWZI Beverwijk naar de toepassing van MBR voor huishoudelijk afvalwater. Hierbij zijn vier MBR-pilotinstallaties getest onder verschillende omstandigheden. De onderzoeksresultaten hebben inmiddels geleid tot een MBR demonstratie-installatie op RWZI Varsseveld. Momenteel worden diverse pilotinstallaties ingezet om kennis op te bouwen over MBR-systemen.

Eind 2002 is STOWA in samenwerking met Waternet van het Hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht (voorheen Dienst Waterbeheer en Riolering) op de RWZI Hilversum een onderzoek gestart naar de toepasbaarheid van een membraanbioreactor. Waternet heeft een MBR voor Hilversum voorzien. Met deze MBR wordt een hoge effluentkwaliteit nagestreefd. Tijdens het bijna drie jaar durende onderzoek is veel geleerd over MBR en het bereiken van zeer lage nutriëntenconcentraties in effluent.

De samenwerking met de Nederlandse waterschappen, en in het bijzonder met Waternet in dit project is heel goed te noemen. Rondom de STOWA MBR-onderzoeksprojecten is, en wordt veel informatie uitgewisseld tijdens begeleidingscommissievergaderingen, platformbijeenkomsten, symposia en bilaterale contacten. Het vastleggen van de onderzoeksresultaten van de MBR Hilversum in het onderhavige rapport vormt daarmee een onderdeel van de kennisverankering.

De ambitie van Waternet om met pilotonderzoek een bijdrage te leveren aan het ontwerp en de bedrijfservaringen met MBR, liep goed samen met de ambitie van de Nederlandse waterschappen om meer onderzoek en ervaring met MBR vast te leggen. Deze synergie kan hopelijk tot voorbeeld dienen voor toekomstige projecten.

Utrecht, augustus 2006

De directeur van de STOWA

ir J.M.J. Leenen

SAMENVATTING

INLEIDING

Er wordt in 2007 een nieuwe rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) in Hilversum gebouwd. Het hoogheemraadschap Amstel, Gooi en Vecht heeft gekozen voor een Membraan Bio-Reactor (MBR) waarbij een MTR effluentkwaliteit voor nutriënten wordt nagestreefd. MTR staat voor maximaal toelaatbaar risico voor oppervlakte water en is voor de nieuwe RWZI geïnterpreteerd als stikstof 2,2 mg/l en fosfaat 0,15 mg/l. Het gezuiverde water zal gebruikt worden voor infiltratie. Voorafgaand aan de beslissing om een MBR met MTR effluentkwaliteit voor nutriënten te realiseren werd het noodzakelijk geacht om onderzoek met een proefinstallatie te doen. Dit rapport beschrijft het onderzoek met de proefinstallatie en de behaalde resultaten.

DOELSTELLINGEN

De doelstellingen van dit onderzoek waren:

- 1 onderzoeken van de vereiste configuratie van het actiefslibstelsysteem in een MBR toepassing voor het bereiken van de MTR kwaliteit voor eutrofiërende stoffen (N,P).
- 2 vaststellen van de technische en technologische grondslagen voor de dimensionering van de praktijk installatie die voortvloeien uit het onderzoek en bedrijfsvoering van de proefinstallatie.
- 3 uittesten van technische ontwerpaspecten die eventueel kunnen worden aangepast voor toepassing in een praktijk installatie (o.a. voorbehandelingstechnieken, metingen en regelingen, besturingsinstallatie)
- 4 ervaring opdoen met de bedrijfsvoering van de proefinstallatie met het oog op het bedrijven van een praktijk installatie.

Een uitgangspunt bij het ontwerp van de proefinstallatie was om chemicaliën voor de verwijdering van stikstof- en fosfaat zo weinig mogelijk te gebruiken. De installatie is opgestart in november 2002. Deze rapportage beslaat de periode november 2002 tot en met september 2005.

OPZET PROEFINSTALLATIE

De proefinstallatie heeft een maximale hydraulische capaciteit van 5 m³/h en het ontwerp is afgestemd op het bereiken van de MTR-kwaliteitseisen. Omdat de membranen zeer gevoelig zijn voor vervuiling wordt rioolwater eerst door een HUBER fijnzeef gepompt. De fijnzeef heeft een maaswijdte van 0,50 mm.

Het biologische zuiveringsproces is gericht op biologische fosfaat- en stikstofverwijdering. Er is gekozen voor een propstroomproces met een UCT configuratie.

De membranen zijn over twee units verdeeld met ieder 75 platen van 0,8 m² oppervlak. Dit betekent een netto flux bij droogweer van 12,5 l/(m².h) en bij regenaanvoer van 42 l/(m².h). Het spuislib wordt afgevoerd naar de rioolwaterzuivering Hilversum.

De proefinstallatie is voorzien van een Scada systeem en kan onbemand functioneren. Om voldoende informatie te verkrijgen over de procesvoering van de proefinstallatie worden alle relevante procesparameters continu gemeten en geregistreerd.

RESULTATEN

Het was niet eenvoudig om met de proefinstallatie de MTR effluentkwaliteit te realiseren. Er zijn een aantal jaren onderzoek, meermalige ombouw van de proefinstallatie en dosering van azijnzuur noodzakelijk geweest. De volgende gemiddelde resultaten zijn onder DWA condities (de proefinstallatie heeft door technische beperkingen niet onder RWA gedraaid) van april 2005 tot en met september 2005 behaald.

TABEL A RESULTATEN PROEFINSTALLATIE

CZV	mg/l	18
BZV	mg/l	<1,0
NH ₄ -N	mg/l	0,08
NO _x -N	mg/l	0,8
Totaal-N	mg/l	2,0
Totaal-P	mg/l	0,15
P-opgelost	mg/l	0,01

De haalbaarheid van de MTR effluentkwaliteit wordt voor stikstof in belangrijke mate en voor fosfaat volledig bepaald door de hoeveelheid opgelost organisch gebonden fosfaat en stikstof.

De proefinstallatie heeft met name de wisselwerking tussen MBR en MTR voor nutriënten meer inzichtelijk gemaakt. Dit heeft ertoe geleid dat een aantal belangrijke en noodzakelijke verbeteringen in het ontwerp van de toekomstige RWZI Hilversum kon worden doorgevoerd. De proefinstallatie heeft daarmee zichzelf onmisbaar getoond. Ook de gekozen technische oplossingen zoals het fijnzeef, de opgestelde meetapparatuur en de opbouw van de membraantank bleken verbetering te behoeven. Met de proefinstallatie was het mogelijk om verbeterde uitvoeringen te ontwikkelen en te testen.

Hoewel het geen doelstelling was om de procesvoering van de membranen te optimaliseren is dit op basis van de ervaringen en resultaten wel gedaan. De KUBOTA membraaninstallatie heeft tot nu toe goed gefunctioneerd en een verminderde werking door niet verwijderbare vervuiling is in deze onderzoeksperiode niet geconstateerd. Bij een daling van de permeabiliteit tot circa 300 l/(m².h.bar) wordt een chemische reiniging uitgevoerd. De membranen zijn vier maal gereinigd van opstart november 2002 tot en met september 2005.

CONCLUSIES

Inzet van een fijnzeef heeft bij de proefinstallatie vele operationele problemen gegeven. Deze zijn onder controle gebracht door wekelijks een reiniging met hoge druk en warm water uit te voeren. De afdichting van het fijnzeef en reiniging bij de HUBER fijnzeef kan worden verbeterd. De hoeveelheid zeefgoed die bij de proefinstallatie ontstond is veel groter dan normaal bij een RWZI. Het zeefgoed laat zich moeiteloos ontwateren tot 32% drogestof. De ervaring wijst uit dat fijnroosters met gaas goed functioneren en dat spleetjes geen juiste keuze zijn. De productie aan zeefgoed is een derde of meer van de gezamenlijke slibproductie van zeefgoed en spuislibproductie tesamen.

De haalbaarheid van MTR wordt in belangrijke mate bepaald door organisch gebonden fosfaat en stikstof. Het halen van de MTR concentraties voor fosfaat is hierdoor moeilijk.

Het tegengaan van overbeluchting blijkt noodzakelijk voor het bereiken van MTR-effluentkwaliteit. Om deze reden is in het onderzoek ervoor gekozen om de afmetingen van de membraantank sterk te verkleinen. De cross flow in de membraantank is verlaten door een soort plug flow en er is een meer gelijkmatige doorstroming ontstaan. Efficiënter inzetten van de beluchting is kansrijk. Zowel voor energiebesparing als ook herstel van permeabiliteit na periodes met zware belasting.

De slibproductie is lager dan wat verwacht wordt onder deze belastingcondities. De verklaring kan gezocht worden in de combinatie van zeefgoedproductie en mogelijk aanzuighoogte in het riool. De proefinstallatie heeft geen volledig representatieve influenttoevoer.

De membranen zijn ongeveer één maal per jaar chemisch gereinigd. Tot op heden zijn er na drie jaar geen aanwijzingen voor een afnemende prestatie door irreversibele vervuiling van het membraan. Netto fluxen van 40 en 50 l/(m².h) zijn bij een test temperatuur van 20 °C moeiteloos gedurende resp. 6 en 7 dagen gehaald.

Er zijn aanwijzingen dat de procesvoering van de KUBOTA membranen nog niet volledig is geoptimaliseerd.

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, de provincies en het Rijk (i.c. het Rijksinstituut voor Zoetwaterbeheer en de Dienst Weg- en Waterbouw).

De waterbeheerders gebruiken de STOWA voor het realiseren van toegepast technisch, natuurwetenschappelijk, bestuurlijk juridisch en sociaal-wetenschappelijk onderzoek dat voor hen van gemeenschappelijk belang is. Onderzoeksprogramma's komen tot stand op basis van inventarisaties van de behoefte bij de deelnemers. Onderzoekssuggesties van derden, zoals kennisinstellingen 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

MBR PROEFINSTALLATIE RWZI HILVERSUM

INHOUD

TEN GELEIDE
SAMENVATTING
DE STOWA IN HET KORT
INHOUD

1	INLEIDING	1
1.1	Doelstelling onderzoek	1
1.2	Uitgangspunten proefinstallatie	1
1.3	Ontwerp proefinstallatie	2
1.4	Onderzoeksopzet	5

2	RESULTATEN FIJNZEEF	7
2.1	Functioneren fijnzeef	7
2.2	Verwijderingsrendement fijnzeef	8
2.3	Zeefgoedproductie fijnzeef	9
3	RESULTATEN BIOLOGIE	10
3.1	Onderzoeksperiode 1 (opstart, inregelen en ombouw proefinstallatie)	10
3.2	Onderzoeksperiode 2 (herstart onderzoek)	11
3.3	Onderzoeksperiode 3 (C-bron in nadenitrificatie)	13
3.4	Onderzoeksperiode 4 (C-bron in anaerobe tank)	15
3.5	Onderzoeksperiode 5 (C-bron in anaërobe tank en nadenitrificatie)	17
3.6	Onderzoeksperiode 6 (verhoging slibbelasting)	19
3.7	Onderzoeksperiode 7 (bepaling slibproductie)	20
3.8	Onderzoeksperiode 8 (ombouw membraantank)	21
3.9	Onderzoeksperiode 9 (experimenten procesvoering membraantank)	22
3.10	Onderzoeksperiode 10 (C-bron in anaërobe tank en RWA testen)	23
4	RESULTATEN NADER ONDERZOEK	26
4.1	Opnamesnelheid fosfaat	26
4.1.1	Metingen februari 2004	26
4.1.2	September 2005 (periode 10)	29
4.2	Slibproductie	31
4.3	Drijfslagen, schuimproblemen en bezinking	33
4.4	Opgelost organisch gebonden fosfaat en stikstof	33
4.5	Humuszuren	35
4.6	Biologische beschikbaarheid fosfaat	36
4.7	Viscositeit	36
4.8	C-bron	37
4.8.1	Toegepaste doseringen	37
4.9	Microscopisch slibonderzoek	38
5	RESULTATEN MEMBRANEN	41
5.1	Inleiding	41
5.1.1	Functionele beschrijving KUBOTA installatie	42
5.1.2	Ombouw membraantank	44
5.2	Temperatuurcorrectie	45
5.3	Verloop permeabiliteit	45
5.3.1	Stijging permeabiliteit (oktober 2002 t/m december 2003)	46
5.3.2	Snelle verlaging drogestofconcentratie	47
5.3.3	Ombouw modules (september 2004 t/m februari 2005)	48
5.3.4	RWA duurtesten (maart 2005 t/m augustus 2005)	49
5.4	Vouwen op de membranen	51
5.5	Reiniging membranen	51
5.6	Gedrag bij RWA aanvoer	51
6	RESULTATEN MICROVERONTREINIGINGEN PERMEAAT	53
6.1	Metingen microverontreinigingen	53

7	EXPLOITATIEKOSTEN	54
7.1	Energieverbruik	54
7.2	Slibverwerkingskosten	54
7.2.1	Slibproductie	54
7.2.2	Zeefgoedverwerking	54
7.3	C-bron verbruik	55
8	DISCUSSIE	56
8.1	Discussie fijnzeef	56
8.2	Discussie biologie	57
8.2.1	Wisselwerking biologie en membraantank	57
8.2.2	Drijfslagen en schuimvorming	58
8.2.3	MTR en slibbelasting	58
8.2.4	Afhankelijkheid gestimuleerde biologische fosfaatverwijdering en denitrificatie	59
8.2.5	MTR effluentkwaliteit	59
8.3	Integratie membranen in het proces	59
8.3.1	Membranen en de invloed op slibkwaliteit	59
8.3.2	Het MUF concept (micro-ultra-filtratie concept)	60
8.3.3	Membraaninstallatie en inzet van buffervolume	60
8.4	Is er aan de doelstellingen van het onderzoek voldaan?	60
9	CONCLUSIES	64
10	AANBEVELINGEN	66
	BIJLAGE 1: GEGEVENS PER PERIODE	67
	BIJLAGE 2 AANVULLENDE METINGEN PERMEAAT	69
	BIJLAGE 3: METINGEN FOSFAAT- EN STIKSTOF EN CZV SLIB	72

1

INLEIDING

De stad Hilversum heeft beperkte mogelijkheden tot woningbouw. Het huidige terrein van de RWZI is om deze reden al sinds langere tijd in beeld om te worden herontwikkeld. De huidige rioolwaterzuivering (RWZI) is gebouwd in een tijd dat een efficiënt gebruik van grond minder van belang was. Het terrein beslaat circa 12 hectare en een nadrukkelijke wens bij de herontwikkeling was om het grondgebruik te minimaliseren tot circa 1 hectare. Het watersysteem in de gemeente zal daarbij worden aangepast. Dit biedt de mogelijkheid om de natuurlijke kwelwaterstroom vanuit de Gooise heuvelrug naar de lager gelegen Vechtplassen te herstellen. Hiertoe zal het water geïnfiltreerd worden. In het plangebied wordt nu “gebiedsvreemdwater” van het Amsterdam Rijnkanaal ingelaten. Voor infiltratie is een uitstekende effluentkwaliteit wenselijk. Op dit moment is nog niet bekend welke effluentkwaliteit met de nieuwe RWZI gerealiseerd moet worden. Vooruitlopend hierop is dit ingevuld als MTR (maximaal toelaatbaar risico) voor nutriënten. De eisen van een minimaal grondgebruik en een zeer goede effluentkwaliteit maken dat toepassing van compacte membraanbioreactor (MBR) technologie noodzakelijk is. Omdat er wereldwijd geen ervaring bestaat met de gecombineerde eis van MBR en MTR en bekend is dat MBR installaties in het buitenland veel problemen met de bedrijfsvoering ondervinden werd het noodzakelijk gevonden om meerjarig onderzoek met een proefinstallatie te doen.

1.1 DOELSTELLING ONDERZOEK

De doelstellingen van dit onderzoek waren:

- 1 onderzoeken van de vereiste configuratie van het actiefslibstelsysteem in een MBR toepassing voor het bereiken van de MTR kwaliteit voor eutrofiërende stoffen (N,P).
- 2 vaststellen van de technische en technologische grondslagen voor de dimensionering van de praktijk installatie die voortvloeien uit het onderzoek en bedrijfsvoering van de proefinstallatie.
- 3 uittesten van technische ontwerpaspecten die eventueel kunnen worden aangepast voor toepassing in een praktijk installatie (o.a. voorbehandelingstechnieken, metingen en regelingen, besturingsinstallatie)
- 4 ervaring opdoen met de bedrijfsvoering van de proefinstallatie met het oog op het bedrijven van een praktijk installatie.

Deze rapportage beperkt zich tot onderzoeksdoelstellingen 1 en 2.

1.2 UITGANGSPUNTEN PROEFINSTALLATIE

Kwaliteitseisen

Het onderzoek was gericht op het verwijderen van eutrofiërende stoffen. Uitgangspunt was een MTR effluentkwaliteit voor nutriënten. Deze zijn geïnterpreteerd als jaargemiddeld:

- Totaal-N = 2,2 mg/l
- Totaal-P = 0,15 mg/l

De beoogde toepassing van membranen resulteert in superieure afscheiding van gesuspendeerde stoffen. Hiermee is een kwaliteitsverbetering van het effluent mogelijk voor componenten, die zijn gebonden aan gesuspendeerde stoffen zoals organische microverontreinigen en zware metalen. Daarnaast resulteert de toepassing in verwijdering van bacteriën.

Duur van het onderzoek

Het onderzoek is in november 2002 gestart. Deze rapportage omvat de periode november 2002 tot en met september 2005.

1.3 ONTWERP PROEFINSTALLATIE

Met het oog op het volledig benutten van de denitrificatiecapaciteit is uitgegaan van een compartimenteerde voordennitrificatie, nitrificatie en nadenitrificatie, gevolgd door de membraanunit.

Op basis van indicatieve berekeningen (HSA) is een slibbelasting van 0,041 kg BZV/(kgds.dag) berekend (exclusief anaerobe tank, exclusief membraantank). Een lagere slibbelasting levert ongewenste bijeffecten op vanwege een te geringe slibaangroei voor de biologische P-verwijdering. Met de berekende slibaangroei volstaat een fosfaatpercentage in het slib van minder dan 4% voor vergaande biologische verwijdering. De reactor is gedimensioneerd op een drogestofgehalte van 10 g/l.

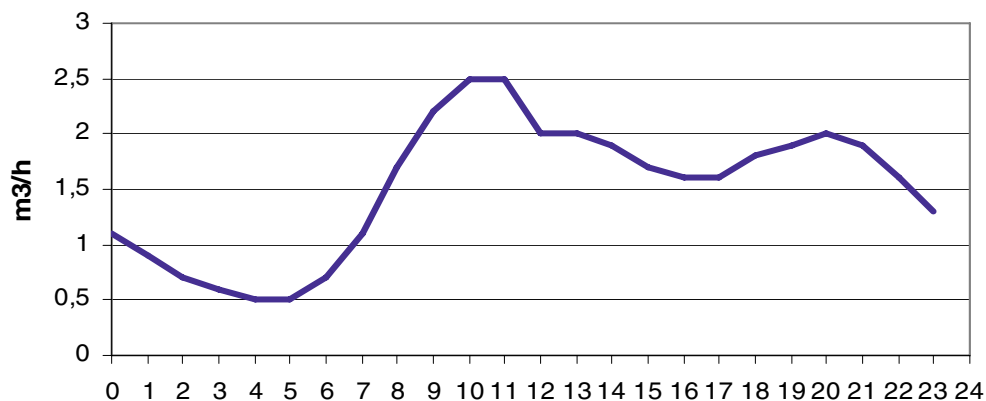
Uitgangspunt is het realiseren van MTR effluentkwaliteit met minimaal of geen C-bron en/of ijzerzouten gebruik. Het ontwerp is afgestemd op maximale biologische fosfaatverwijdering.

De retourstroom van de membraantank is teruggevoerd naar de nitrificatietanks vanwege een zuurstofgehalte van circa 5 mg/l.

De proefinstallatie wordt gevoed met ruw influent dat niet is beïnvloed door retourstromen van de RWZI Hilversum. Het water wordt met continu circa 40 m³/h naar een HUBER fijnzeef van 0,5 mm "spleetjes" verpompt. Het teveel aan water loopt na het fijnzeef weg naar het reinriool.

De proefinstallatie kan een ingesteld DWA patroon volgen. Bij RWA wordt op basis van een signaal van de RWZI Hilversum het debiet van de proefinstallatie verhoogd tot 5,0 m³/h en weer verlaagd naar DWA na een signaal van de RWZI. Het maximum influentdebiet is 5,0 m³/h. Het gemiddelde DWA debiet is vastgelegd op 1,5 m³/h en de DWA-max op 2,5 m³/h. (zie figuur 1).

FIGUUR 1 DWA PATROON OVER 24 UUR



Doorslag van eventuele drijfslagen naar het membraangedeelte is met het ontwerp voorkomen door plaatsing van het aanzuigpunt van de membraanvoedingspomp circa 1 meter onder het wateroppervlak.

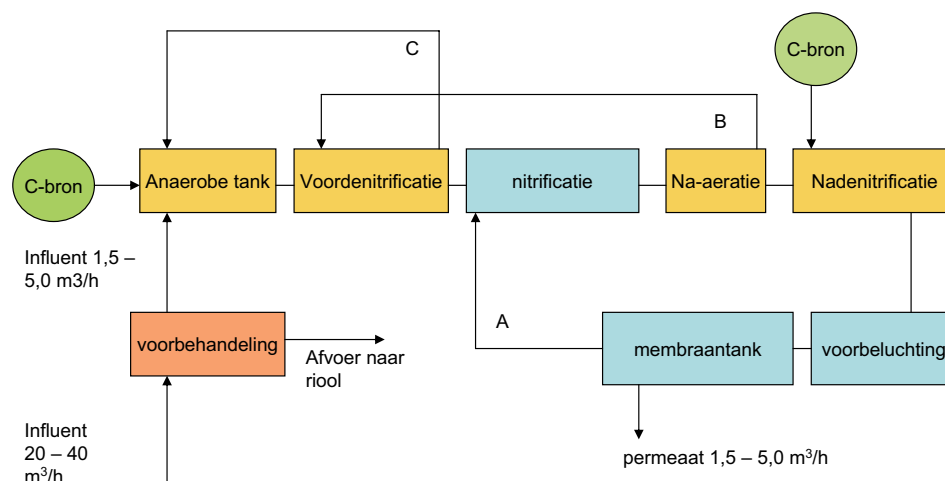
Er is gekozen voor een microfiltratiemembranen van KUBOTA type ES75 (enkeldeks) met een poriegrootte van 400 nm.

Specificaties:

Nominale poriegrootte	400 nm
Breedte	490 mm
Hoogte	1000 mm
Dikte membraanpaneel	6 mm
Effectieve membraanoppervlak	0,8 m ²
Gewicht	3 kg
Aantal platen per unit	75
Aantal units	2
Materiaal membraan	Chlorinated polyethyleen

De reden om voor KUBOTA te kiezen is ingegeven door de lage frequentie voor reiniging van één tot twee maal per jaar. Er is geen automatische reiniging noodzakelijk. De bedrijfsvoering van de membraanproefinstallatie is daarmee relatief eenvoudig en robuust.

FIGUUR 2A SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCES PROEFINSTALLATIE



TABEL 2 VOLUMINA COMPARTIMENTEN

	inhoud m ³	aantal compartimenten
Voorbehandeling / fijnzeef	nvt	nvt
Anaërobe tank	3	2
Voordenitrificatie volume	5	5
Nitrificatie volume	12	6
Na-aeratie volume	0,5	1
Nadenitrificatie volume	9	9
Voorbeluchting	0,5	1
Membraantank	11,7	1
Totaal	41,7	

TABEL 3 RECIRCULATIEDEBIETEN

	Debiet m ³ /h	Recirculatie aantal maal influentdebiet
A Afloop membraantank naar begin nitrificatie	3 - 36	2 - 23 maal
B Na-aeratie naar begin voordenitrificatie	3 - 36	2 - 23 maal
C Einde voordenitrificatie naar begin anaërobe tank	0,5 - 3	0,33 - 2 maal

Er is uitgegaan van een aantal continue procesmetingen.

- 1 Debiet: meting influent na voorbehandeling, membraanvoedingspomp, permeaatpompen.
- 2 Zuurstof: meting in ieder belucht compartiment en de afloop van de membraantank
- 3 Drogestof: metingen in de nadenitrificatie en de afloop membraantank
- 4 Nitraat: analysers in de afloop van de voordenitrificatie en het permeaat
- 5 Ammonium: analysers halverwege de nitrificatie en in het permeaat
- 6 Fosfaat: analyser in het permeaat

Procesregelingen

Ieder belucht compartiment is voorzien in een regelbare beluchting op basis van zuurstofmeters. Er is een fijnregeling van de zuurstofsetpoints in de compartimenten van de nitrificatie op basis van een ammoniumanalyser halverwege de nitrificatie mogelijk. Recirculatie van de nitrificatie naar de voordennitrificatie is geregeld met behulp van een nitraat analyser aan het einde van de voordennitrificatie. Met een instelbaar setpoint voor nitraat wordt de recirculatie tot een instelbaar maximum debiet geregeld. De spuislibregeling is geregeld op basis van een drogestofmeter in de nadenitrificatie. De regeling van de membraantanks is in hoofdstuk 5 beschreven.

In afbeelding 1 is een foto van de proefinstallatie weergegeven.

AFBEELDING 1 PROEFINSTALLATIE VOOR OMBOUW



1.4 ONDERZOEKSOPZET

Bij de opstart is de proefinstallatie geënt met retourslib van de RWZI's Huizen, Blaricum en Amstelveen. Daarmee is doorgedaan tot een slibgehalte van circa 6 g/l bereikt was. Dit slib is via de Huber fijnzeef in de proefinstallatie gebracht. Daarna is gezocht naar de juiste procesinstellingen om tot een stabiel proces te komen. De regelingen en meetapparatuur van de proefinstallatie zijn getest en de werking van de membraantanks is geoptimaliseerd. Vanwege technische beperkingen is de proefinstallatie in tegenstelling tot de opzet alleen belast met DWA en is geen RWA debiet gedraaid. Wel zijn RWA duurtesten uitgevoerd met als doel de capaciteit van de membraaninstallatie te testen.

Het onderzoek is in 10 perioden verdeeld.

TABEL 4 OPZET ONDERZOEK

	Start periode	Kenmerk periode	Variabel debiet	Setpoint DS biol. [gds/l]	Q gem [m ³ /d]	C-bron	RWA testen
1	2/10/02	Opstart en inregelen Ombouw proefinstallatie	Ja	10,0	26	-	-
2	7/07/03	Herstart onderzoek	Ja	7,0	34	-	-
3	26/08/03	C-bron in nadenitrificatie	Nee	7,0	38	Ja	-
4	31/03/04	C-bron in anaërobe tank	Nee	7,0	37	Ja	-
5	28/04/04	C-bron in anaërobe tank en in de nadenitrificatie	Nee	7,0	36	Ja	-
6	23/08/04	Verhoging slibbelasting	Nee	3,5	36	-	-
7	20/10/04	Bepaling slibproductie	Nee	7,0	36	-	-
8	06/12/04	Ombouw membraantank	Nee	7,0	36	-	-
9	24/12/04	Experimenten procesvoering membraantank	Nee	10,0	36	-	-
10	29/03/05	C-bron in anaërobe tank RWA simulatie	Nee	10,0	36	Ja	Ja

Het accent van het onderzoek lag op het halen van de MTR effluentkwaliteit.

In eerste instantie was de aandacht gericht op N-verwijdering. Door stapsgewijs de bedrijfsvoering en regelingen aan te passen werd een steeds verdergaande N-verwijdering gerealiseerd. Na de stikstof optimalisatie is de P-verwijdering verbeterd.

In een aantal fasen is een C-bron ingezet. Vanwege de gecombineerde verwijdering van stikstof en fosfaat is gezocht naar de optimale doseerplaats(en).

Nader onderzoek

Er is gemeten aan omzettingssnelheden voor nitraat, fosfaatopname- en afgifte capaciteit en de slibproductie. Vanaf medio 2004 is maandelijks een microscopisch slibonderzoek uitgevoerd.

2

RESULTATEN FIJNZEEF

2.1 FUNCTIONEREN FIJNZEEF

Geconstateerd werd dat het HUBER fijnzeef niet naar behoren functioneerde door een lekstroom onder de afdichting van de zeeftrommel en als gevolg van vervuiling door met name vet in de spleetjes.

AFBEELDING 2 OPSTELLING FIJNZEEF



Naar aanleiding hiervan is een nieuwe afdichting geplaatst en de trommel met spleetjes van 0,5 mm in juni 2003 vervangen door een fijnzeef van 0,5 mm maaswijdte. De vervanging van het rooster met spleetjes door een rooster met gaas had effect op de hoeveelheid zeefgoed die werd afgevangen. Deze hoeveelheid is verdrievoudigd als gevolg van deze aanpassing. Dit valt te begrijpen doordat papier en haren in de lengterichting wel de mogelijkheid hebben om bij een spleetje door het fijnzeef te gaan en bij gaas niet.

De afdichting “tussen het schone en vuile deel” is tijdens het onderzoek nog tweemaal vervangen, maar er bleven problemen met de afdichting. In november 2005 is de afdichting door een verbeterde versie vervangen. De ervaringen hiermee zijn niet in de rapportage opgenomen.

AFBEELDING 3 VERVUILING VAN HET FIJNZEEF

Het reinigingssysteem was onvoldoende effectief om het fijnzeef schoon te houden. Bovenstaande foto is hiervoor illustratief. Het bleek noodzakelijk om één maal per week met hoge druk en warm water (60 – 80°C) de trommel te reinigen.

Hoewel dit buiten de onderzoeksperiode valt kan gemeld worden dat de nieuwste uitvoering van reinigingssysteem van HUBER wel goed functioneert. De problemen zijn door een reiniging met koud water onder 100 bar druk opgelost.

2.2 VERWIJDERINGSRENDEMENT FIJNZEEF

Er zijn rendementmetingen aan het fijnzeef uitgevoerd. Het bleek dat de resultaten van de influentbemonstering van de proefinstallatie niet vergelijkbaar waren met de influentmeting op de rwzi zelf. Verondersteld is dat door de geringe stroming in het aanvoerriool een scheiding tussen bezinkbare en niet bezinkbare deeltjes optrad.

De aanzuigdiepte van de pomp en de menging in het aanvoerriool bij het aanzuigpunt is een aantal malen gevarieerd. Uiteindelijk is geaccepteerd dat het influent niet volledig representatief was.

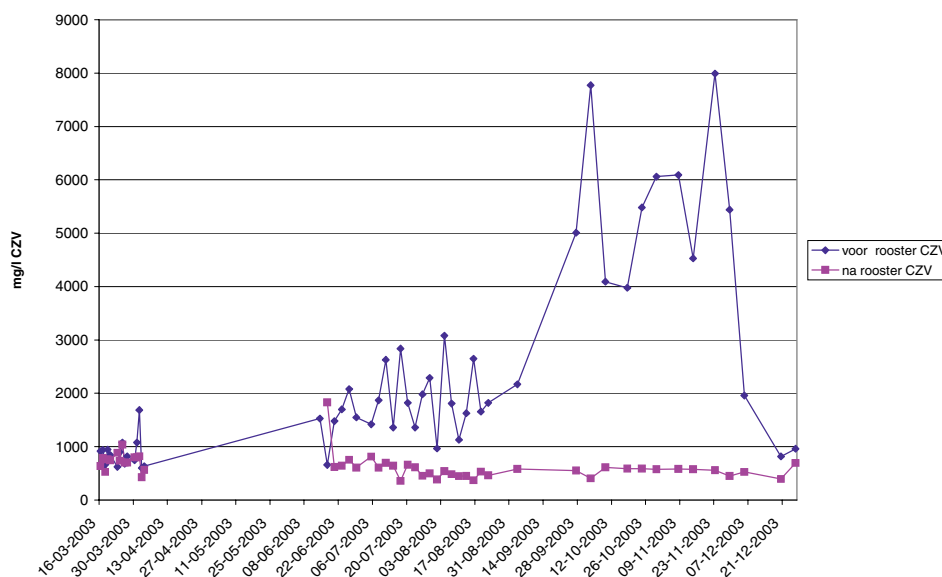
Om toch houvast te krijgen voor de vaststelling van het rendement is voor de berekening het influent van de RWZI Hilversum gebruikt. Door deze te combineren met de concentraties na het fijnzeef van de proefinstallatie is vervolgens een rendement berekend. Het resultaat hiervan is in tabel 5 weergegeven.

TABEL 5 RENDEMENT FIJNZEEF

CZV	10 %
BZV	10 %
Zwevende stof	20 %
KjN	0 %
P	0 %

In figuur 2 is over 2003 de concentratie van CZV voor en na fijnzeef gegeven. Hoewel de aanvoerconcentraties niet representatief en sterk variabel zijn, valt op dat de concentratie CZV na het rooster redelijk constant is met gemiddeld 634 mg CZV/l. Bij dieper hangen van de pomp in het aanvoerriool wordt meer papier opgepompt. De fractie CZV kleiner dan 0,5 mm wordt hierdoor niet beïnvloed.

FIGUUR 2 CZV VOOR EN NA HET FIJNZEEF



De sterke toename van CZV vanaf september 2003 in de aanvoer hangt samen met het dieper hangen van de aanvoerpomp in het riool en dus het aanzuigen van “dikkere” drab, dat onder andere uit veel papier bestaat.

2.3 ZEEFGOEDPRODUCTIE FIJNZEEF

De HUBER fijnzeef is voorzien van een pers. Het drogestofgehalte na persen is 32% drogestof. Over de periode oktober 2002 t/m augustus 2005 is gemiddeld circa 0,134 m³/dag en 43 kgds/dag geproduceerd. Aangezien het aanvoerdebiet vanwege capaciteitsproblemen van de aanvoerpomp geen 40 m³/h maar geschat wordt op circa 20 m³/h, wordt er in die periode 0,09 kgds zeefgoed geproduceerd per m³ afvalwater. Voor de slibproductie in de biologie heeft dit consequenties. In hoofdstuk 4.2 wordt hier nader op ingegaan.

Indien het verwijderde zeefgoed uitgedrukt wordt als zwevende stof in het influent dan komt dit overeen met 90 mgds/l. Dit is circa 30% en meer dan de inschatting van 20% rendement voor zwevende stof.

De samenstelling van het afvalwater is niet helemaal representatief voor de situatie van Hilversum. Door de positie van de pomp onderin het aanvoerriool wordt er relatief veel papier opgepompt en ontstaat op basis van de zeefgoedproductie een overschatting van de zwevende stof verwijdering. Ook het pompdebiet van 20 m³/h is een schatting. Er is dan ook geen aanleiding om het uitgangspunt van 20% verwijderingsrendement van zwevende stof te wijzigen.

3

RESULTATEN BIOLOGIE

De resultaten van de biologie zijn voor alle 10 perioden beschreven.

- Bijlage één: analysegegevens van onderzoeksperiode 1 t/m 10.
- Bijlage twee: aanvullende metingen in het permeaat.
- Bijlage drie: grafiek met het percentage fosfaat en stikstof in slib en het CZV gehalte van slib in periode 2 en 3.

3.1 ONDERZOEKSPERIODE 1 (OPSTART, INREGELLEN EN OMBOUW PROEFINSTALLATIE)

Om problemen met schuimvorming tijdens het opstarten van de proefinstallatie te voorkomen, is de proefinstallatie geënt met slib van andere RWZI's tot een slibgehalte van 6 gds/l bereikt werd. Het slib is aangevoerd van de RWZI's Huizen (biol P-verwijdering), Blaricum (biol-P en aanvullende chemische P-verwijdering) en Amstelveen (chemische P-verwijdering). Slib van de RWZI Hilversum was niet bruikbaar omdat dit een zuivering met oxidatiebedden is. Schuimvorming bleef volledig achterwege.

Het slib is via het fijnzeef van 0,5 mm in de proefinstallatie gebracht.

Tijdens deze periode is geconstateerd dat de biologie een tweetal problemen kende die opgelost dienden te worden alvorens verder onderzoek mogelijk was.

- 1 Er was sprake van een te groot hydraulisch verval dat deels samenhangt met een hoge viscositeit van het slib en de hydraulische vormgeving.
- 2 Drijfslagen blokkeerden de doorvoeren tussen de tanks en slib werd over de rand van de tanks gedrukt. Hierdoor was het niet mogelijk om een hoger debiet te draaien dan 1,8 m³/h.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten van periode 1 zijn in tabel 2 weergegeven.

Vanwege eerder vermelde technische problemen is er in deze periode geen inspanning gepleegd tot vergaande optimalisatie. De installatie is bedreven met vaste setpoints voor zuurstof en handmatig ingestelde recirculatie debieten. De aanvoer heeft het eerder vermelde DWA patroon gevolgd.

De MTR eisen zijn in deze periode niet gehaald.

TABEL 6 RESULTATEN GEMIDDELTE PERIODE 1

Periode 1	2 oktober 2002 t/m 29 juni 2003		
Permeaat	CZV	mg/l	20,3
	BZV	mg/l	1,4
	Totaal-P	mg/l	4,2
	Ortho-P	mg/l	3,9
	Kj-N	mg/l	1,6
	NH ₄ -N	mg/l	0,08
	NO ₃ -N	mg/l	4,0
	Totaal-N	mg/l	5,6
Slib	DS	g/l	9,6
	SVI	ml/g	102
	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	0,064
	Belasting ²	kgBZV/(kgds.d)	0,032
	Slibleeftijd ²	d	182

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank
2. gebaseerd op basis van gespuid slib

3.2 ONDERZOEKSPERIODE 2 (HERSTART ONDERZOEK)

Deze periode is gestart met het in bedrijf nemen van de omgebouwde proefinstallatie. De kunststofvaten van de anaërobie, voordennitrificatie en de nadenitrificatie zijn vervangen door een gecompartmenteerde container. Door een efficiënte werkwijze is het mogelijk gebleken de biologie actief te houden. Opnieuw enten was niet nodig.

Vanwege een te groot hydraulisch verval na de ombouw zijn de volumina iets anders verdeeld en is de nadenitrificatie onbedoeld 30% kleiner geworden. Zie tabel 3.

TABEL 7 VOLUMINA PROEFINSTALLATIE

periode	Volume	Nov 2002 tot juli 2003	Vanaf Juli 2003
Anaërobe tank	m ³	3,0	3,4
Voordennitrificatie	m ³	5,0	5,7
Nitrificatie	m ³	12,0	12
Na-aeratie	m ³	0,5	0,5
Nadenitrificatie	m ³	9,0	6,3
Voorbeluchting	m ³	0,5	0,5
Membraantank	m ³	11,7	11,7
Totaal	m³	41,7	40,1

AFBEELDING 4 PROEFINSTALLATIE NA OMBOUW



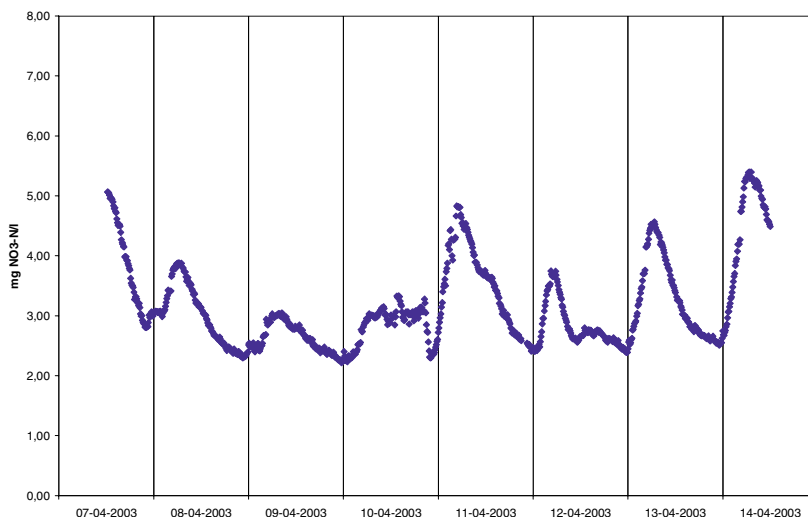
De drijfblagen op de onbeluchte compartimenten die eerder al aanleiding waren voor veel problemen namen zodanige vormen aan dat in augustus 2003 de mixers voorzien zijn van een tweede mengblad (“pitch blades”) vlak onder het wateroppervlak. Na deze aanpassing ontstonden geen nieuwe drijfblagen. Consequentie was wel dat met de “pitch blades” onbedoeld extra zuurstof is ingebracht in het actief slib.

Er is geconstateerd dat de nitraatanalysers in slib bij een drogestofgehalte van 10 g/l geen goede meetwaarden leverden. In samenwerking met de leverancier is hieraan veel aandacht besteed. In deze periode zijn deze problemen niet opgelost. Het was daarom niet mogelijk de recirculaties te sturen.

Vanwege de lage slibproductie in periode 1 en in begin van periode 2 (slibleeftijd 182 dagen) is op 25 juli besloten om de slibbelasting te verhogen. Daartoe is het slibgehalte verlaagd van 10 g/l naar 6,9 g/l. Verwacht werd dat de slibproductie zou toenemen en de fosfaat- en stikstofverwijdering zouden verbeteren. De slibproductie nam toe en de slibleeftijd nam af tot 45 dagen. Ten opzichte van periode 1 is de fosfaatverwijdering verbeterd. De stikstofverwijdering is verslechterd, mogelijk door het geringere volume van de nadenitrificatie ten opzichte van periode 1.

Om de stikstofverwijdering te verbeteren is in augustus 2003 het DWA patroon verlaten en vervangen door een constant debiet. De reden hiervoor was de constatering dat het DWA influentpatroon in het permeaat voor nitraat werd teruggevonden (zie figuur 3). Dit was aanleiding om in periode 2 de aanvoer van de proefinstallatie niet meer met het DWA aanvoerpatroon van de RWZI maar met een constant debiet te bedienen. Dit vaste debiet is gehandhaafd gedurende de gehele verdere rapportage periode.

FIGUUR 3 NITRAATVERLOOP PERMEAAT



Verondersteld werd dat een “platgeslagen” DWA patroon betere resultaten zou opleveren. Het patroon in het permeaat verdween door deze maatregel. De gemiddelde concentratie ten opzichte van periode 1 verbeterde niet.

De belasting van de biologie en de resultaten zijn in onderstaande tabel 8 weergegeven.

TABEL 8 GEMIDDELDE RESULTATEN PERIODE 2

Periode 2	7 juli 2003 t/m 27 augustus 2003		
Permeaat	CZV	mg/l	21
	BZV	mg/l	<1,0
	Totaal-P	mg/l	3,19
	Ortho-P	mg/l	3,06
	Kj-N	mg/l	1,28
	NH ₄ -N	mg/l	0,12
	NO ₃ -N	mg/l	6,9
	NO ₂ -N	mg/l	0,03
	Totaal-N	mg/l	8,2
Slib	DS	g/l	6,8
	SVI	ml/g	102
	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	0,115
	Belasting ¹	kgBZV/(kgds.d)	0,048
	Slibleeftijd ²	d	45

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

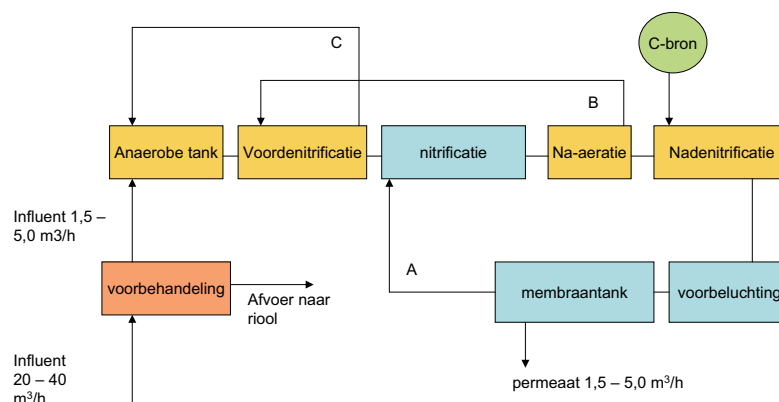
Geconcludeerd is dat de MTR effluentkwaliteit voor stikstof en fosfaat zonder dosering van chemicaliën niet haalbaar is.

3.3 ONDERZOEKSPERIODE 3 (C-BRON IN NADENITRIFICATIE)

Om MTR effluentkwaliteit te bereiken werd besloten om natriumacetaat als C-bron in te zetten. In eerste instantie een 50% oplossing die vanwege kristallisatie problemen later vervangen is door een 40% oplossing. Dit is gedoseerd in het eerste compartiment van de nadenitri-

ficatie. Omdat vooral de nitraatverwijdering als het meest problematisch werd beschouwd, was de aandacht in eerste instantie hierop gericht.

FIGUUR 4 SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCES PROEFINSTALLATIE



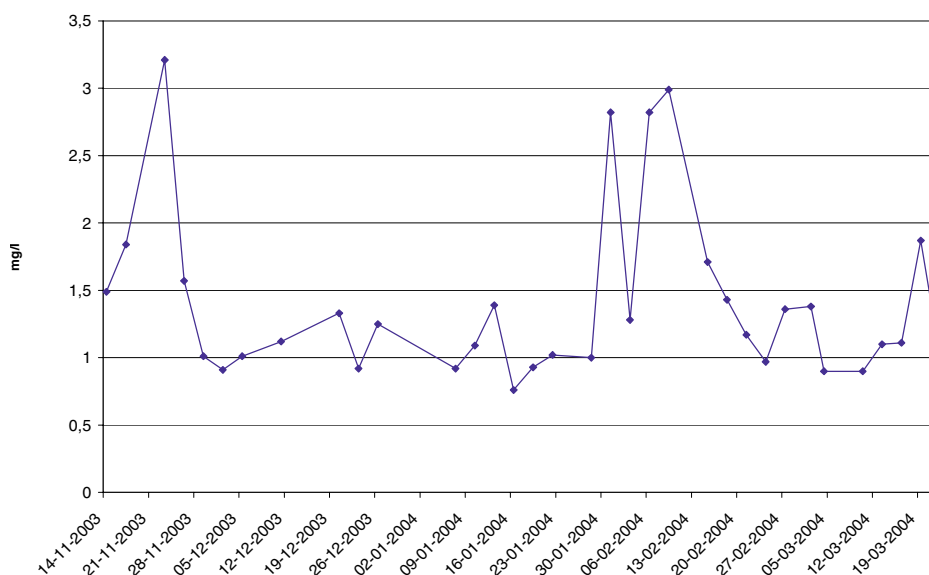
Het was met de proefinstallatie niet mogelijk om de acetaatdosering te sturen. Om deze reden is een vaste hoeveelheid per uur gedoseerd. De dosering van C-bron was niet regelbaar waardoor er sprake was van een bewuste overdosering. De CZV-vracht werd door de C-bron met circa 30% verhoogd. Uit testen met variatie van de mengintensiteit bleek dat de menging van de C-bron goed was.

Gemiddeld is in deze periode de MTR effluentkwaliteit voor stikstof niet gehaald.

Indien storende invloeden die betrekking hebben op het functioneren van de proefinstallatie, zoals de ombouw van de trommelzeef en het zoeken naar de juiste instelling van de C-bron dosering, uit de resultaten wordt weggelaten blijkt dat waarden van $<1 \text{ mgNO}_3\text{-N/l}$ haalbaar zijn.

In de periode van 27 november 2003 t/m 22 maart 2004 is een gehalte van gemiddeld $1,5 \text{ mg/l}$ totaal-N gerealiseerd. Dit kwam overeen met $0,55 \text{ mgNO}_3\text{-N/l}$. Gezien deze lange periode kan met zekerheid gesteld worden dat met C-bron gemiddeld totaal-N $< 2,2 \text{ mg/l}$ haalbaar is (zie figuur 5).

FIGUUR 5 TOTAAL-N PERMEAAT



De belasting van de biologie en de resultaten zijn in tabel 9 weergegeven.

TABEL 9 GEMIDDELDE RESULTATEN PERIODE 3

Periode 3	28 aug. 2003 t/m 30 maart 2004		
Permeaat	CZV	mg/l	20,7
	BZV	mg/l	1,18
	Totaal-P	mg/l	1,69
	Ortho-P	mg/l	1,50
	Kj-N	mg/l	0,98
	NH ₄ -N	mg/l	0,09
	NO ₃ -N	mg/l	2,1
	NO ₂ -N	mg/l	<0,015
	Totaal-N	mg/l	3,1
	Slib	DS	g/l
SVI		ml/g	157
Gloeirest		%	24
Belasting ¹		kgCZV/(kgds.d)	0,131
Belasting ¹		kgBZV/(kgds.d)	0,059
Slibleeftijd ²		d	39

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

Het resultaat van de fosfaatverwijdering is verbeterd ten opzichte van de vorige periode. De MTR effluentkwaliteit wordt met dosering van de C-bron in de nadenitrificatie niet gehaald ondanks een verwijderingspercentage van 89% voor fosfaat.

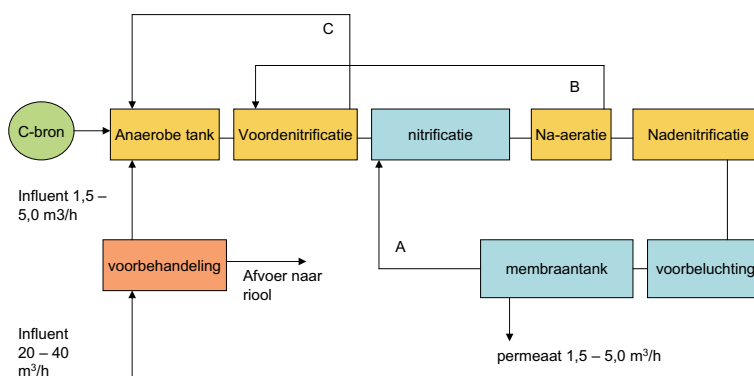
Er is geconstateerd dat in de nadenitrificatie veel fosfaat werd afgegeven en dat vervolgens niet meer volledig werd opgenomen in de voorbeluchting en membraantank. Daarom is gedurende een aantal maanden getracht om met een sterk vergroot volume van de voorbeluchting (van 0,5 tot 2,1 m³) het fosfaat dat afgegeven was weer biologisch te binden. Gebleken is dat er wel meer fosfaat opgenomen werd, maar te weinig om de eerdere afgifte van fosfaat teniet te doen.

3.4 ONDERZOEKSPERIODE 4 (C-BRON IN ANAEROBE TANK)

Om vast te stellen of het mogelijk was om door biologische fosfaatopname de MTR effluentkwaliteit voor fosfaat te halen is in deze periode de acetaatdosering in de nadenitrificatie uitgezet en verplaatst naar het eerste compartiment van de anaërobe tank.

Het doel was om uit te zoeken of het mogelijk was om het inzet van een C-bron tegelijkertijd voor fosfaat en stikstof de MTR effluentkwaliteit te halen.

FIGUUR 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCES PROEFINSTALLATIE



De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 10 weergegeven.

TABEL 10 GEMIDDELTE RESULTATEN PERIODE 4

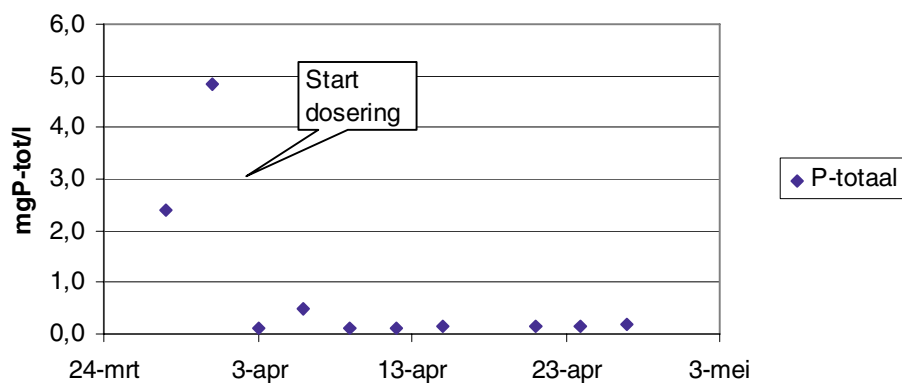
Periode 4		30 maart 2004 t/m 27 april 2004	
Permeaat	CZV	mg/l	Nb
	BZV	mg/l	<1,0
	Totaal-P	mg/l	0,87
	Ortho-P	mg/l	0,73
	Kj-N	mg/l	1,16
	NH ₄ -N	mg/l	0,09
	NO ₃ -N	mg/l	6,92
	NO ₂ -N	mg/l	0,02
	Totaal-N	mg/l	8,1
	Slib	DS	g/l
SVI		ml/g	181
Gloeirest		%	23,7
Belasting ¹		kgCZV/(kgds.d)	Nb
Belasting ¹		kgBZV/(kgds.d)	0,07
Slibleeftijd ²		d	42

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

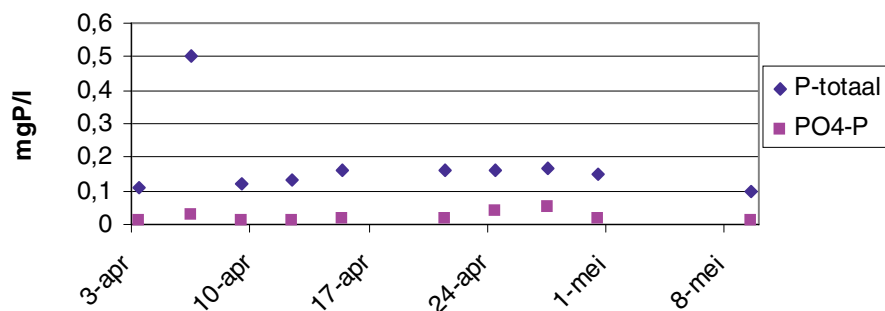
In figuur 7 is het totaal-P gehalte in het permeaat weergegeven.

FIGUUR 7 TOTAAL-P PERMEAAT (PERIODE 4)



De biologische fosfaatverwijdering reageert binnen enkele dagen op de acetatdosering. Het fosfaatgehalte daalt in enkele dagen van ongeveer 3 tot 5 mg/l totaal-P naar circa 0,15 mg/l totaal-P. Biologische capaciteit voor fosfaatverwijdering was in de voorafgaande periode 3 duidelijk voldoende aanwezig.

FIGUUR 8 FOSFAAT PERMEAAT (PERIODE 4)



De doelstelling om de biologische fosfaatverwijdering te stimuleren was succesvol. Door het grote verschil van gemiddeld 0,14 mg/l tussen ortho- en totaal fosfaat in het permeaat was het bijna onmogelijk aan de MTR norm te voldoen (zie figuur 8).

De stikstofverwijdering is in periode 4 verslechterd ten opzichte van periode 3.

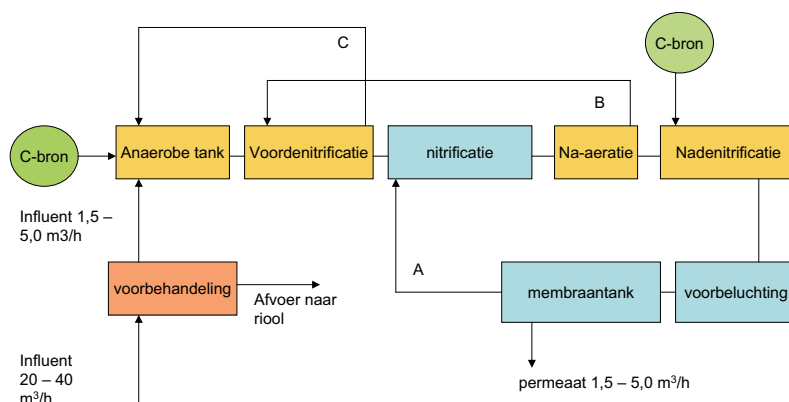
De periode 2 t/m 4 zijn echter ten aanzien van stikstofverwijdering moeilijk te interpreteren aangezien het niet mogelijk was om de recirculatiepomp vanuit de nitrificatie naar de voordenenitrificatie op het $\text{NO}_3\text{-N}$ meetsignaal aan het einde van de voordenenitrificatie te sturen.

3.5 ONDERZOEKSPERIODE 5 (C-BRON IN ANAËROBE TANK EN NADENITRIFICATIE)

In deze periode is het effect onderzocht van gelijktijdige dosering van natriumacetaat in de anaerobe tank en in de nadenitrificatie.

De doseerplaatsen zijn in onderstaand schema weergegeven:

FIGUUR 9 SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCES PROEFINSTALLATIE



Aangezien de nitraatanalyser vervangen was door een verbeterde versie en voldoende betrouwbaar bleek, is de recirculatie pomp van de nitrificatie naar de voordenenitrificatie op een setpoint van $1 \text{ mgNO}_3\text{-N/l}$ aan het einde van de voordenenitrificatie gestuurd.

De dosering van C-bron in de nadenitrificatie gaf een sterke fosfaatafgifte. Dit fosfaat werd niet meer volledig opgenomen in de voorbeluchting en de membraantank waardoor de eis voor fosfaat niet gehaald is. De eis voor stikstof is evenmin gehaald. Voor de verwijdering van nitraat is in de nadenitrificatie een hogere acetaatdosering noodzakelijk met als effect nog meer P-afgifte. Het totale C-bron verbruik was aanzienlijk hoger dan in periode 4. De hoeveelheid die gedoseerd is, had een zodanige omvang gekregen dat deze in de praktijk niet haalbaar is.

Voor een beter inzicht in de relatie tussen dosering van een C-bron en fosfaatafgifte onder anoxische condities zijn een aantal experimenten uitgevoerd op labschaal en in de proefinstallatie.

Het volgende kan hieruit geconcludeerd worden:

- 1 Zonder C-bron wordt nitraat anoxisch afgebroken onder gelijktijdige afgifte van fosfaat. Dit kan alleen verklaard worden door aan te nemen dat er sprake is van gelijktijdige endogene omzetting van nitraat en endogene afgifte van fosfaat. In de literatuur wordt vermeld dat endogene fosfaatafgifte verstoord kan worden door de aanwezigheid van nitraat. In de proefinstallatie blijkt echter dat bij een nitraatgehalte tot 16 mgNO₃-N/l er een toename van de fosfaatconcentratie gemeten is zonder C-bron.
- 2 Bij een beperkte (te lage) dosering van een C-bron blijkt dat de denitrificerders de competitie om de C-bron winnen. Er is nitraatafbraak terwijl de fosfaatafgifte gelijk blijft aan de endogene afgiftesnelheid.
- 3 Bij een hogere koolstofbron dosering dan noodzakelijk voor de nitraat afbraak neemt de fosfaatafgifte sterk toe.

Er is nagedacht over de vraag of een eventueel gebruik van methanol in de nadenitrificatie kan voorkomen dat er afgifte van fosfaat optreedt. Daarbij dient methanol wel als substraat voor de denitrificerende biomassa maar niet voor de bio-P bacteriën. Uit de verkregen informatie blijkt dat de meningen ten aanzien van fosfaatafgifte bij toepassing van methanol als C-bron niet eenduidig zijn.

Afgifte van fosfaat bij toepassing van azijnzuur als C-bron onder anoxische condities, is een bekend fenomeen.

Voor de nieuwe RWZI Hilversum heeft één en ander implicaties. Om een MTR effluentkwaliteit te halen is in de nadenitrificatie iedere koolstofbron behalve eventueel methanol, ongeschikt. Een zeer goed geregelde dosering van de koolstofbron voor de verwijdering van nitraat hoeft niet nadelig te zijn ten aanzien van de fosfaatafgifte. Aangezien de MTR effluentkwaliteit overeenkomt met circa 0,01 mg/l ortho fosfaat, is regeling van de dosering in de praktijk, problematisch. Over het effect van methanol op fosfaatafgifte na enige slibleeftijden, is geen volledige zekerheid verkregen.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 11 weergegeven.

TABEL 11 GEMIDDELTE RESULTATEN PERIODE 5

Periode 5	28 april 2004 t/m 16 augustus 2004		
Permeaat	CZV	mg/l	19
	BZV	mg/l	nb
	Totaal-P	mg/l	1,5
	Ortho-P	mg/l	1,37
	Kj-N	mg/l	1,07
	NH ₄ -N	mg/l	0,08
	NO ₃ -N	mg/l	4,45
	NO ₂ -N	mg/l	0,02
	Totaal-N	mg/l	5,5
Slib	DS	g/l	7,3
	SVI	ml/g	137
	Gloeirest	%	27,5
	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	nb
	Belasting ¹	kgBZV/(kgds.d)	0,045
	Slibleeftijd ²	d	49

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

3.6 ONDERZOEKSPERIODE 6 (VERHOOGING SLIBBELASTING)

In de vorige periode 5 is vastgesteld dat met één- of tweetraps natriumacetaatdosering onvoldoende resultaat werd bereikt.

Er waren een drietal opties:

- 1 de dosering van natriumacetaat in de nadenitrificatie vervangen door dosering met methanol. In anaërobe tank natriumacetaatdosering. Verwacht werd dat de bio-P bacteriën geen methanol gebruiken en de fosfaatafgifte achterwege blijft.
- 2 een regelstrategie toepassen waarmee de P-afgifte wordt geminimaliseerd in combinatie met een aanvullende ijzerchloride dosering. Verwacht werd dat met een goede regeling de afgifte van fosfaat in de nadenitrificatie minimaal zou zijn.
- 3 de slibbelasting en daarmee de slibproductie verhogen. Verwacht werd dat door een hogere slibproductie er een geringere hoeveelheid C-bron noodzakelijk zou zijn.

In deze periode is ervoor gekozen om de slibbelasting sterk te verhogen om een hogere slibproductie te krijgen. Het slibgehalte is daartoe verlaagd van 7 g/l naar 3,5 g/l. De dosering van natriumacetaat is stopgezet.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 12 weergegeven.

TABEL 12 GEMIDDELDE RESULTATEN PERIODE 6

Periode 6	16 augustus 2004 t/m 19 oktober 2004		
Permeaat	CZV	mg/l	20
	BZV	mg/l	nb
	Totaal-P	mg/l	6,2
	Ortho-P	mg/l	6,2
	Kj-N	mg/l	1,02
	NH ₄ -N	mg/l	0,10
	NO ₃ -N	mg/l	25,7
	NO ₂ -N	mg/l	0,02
	Totaal-N	mg/l	26,7
	Slib	DS	g/l
SVI		ml/g	104
Gloeirest		%	24,8
Belasting ¹		kgCZV/(kgds.d)	0,160
Belasting ¹		kgBZV/(kgds.d)	0,081
Slibleeftijd ²		d	67

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

Het slibgehalte is in een week tijd verlaagd van circa 7 gds/l naar 4 gds/l. Tevens was een week eerder de C-bron uitgezet.

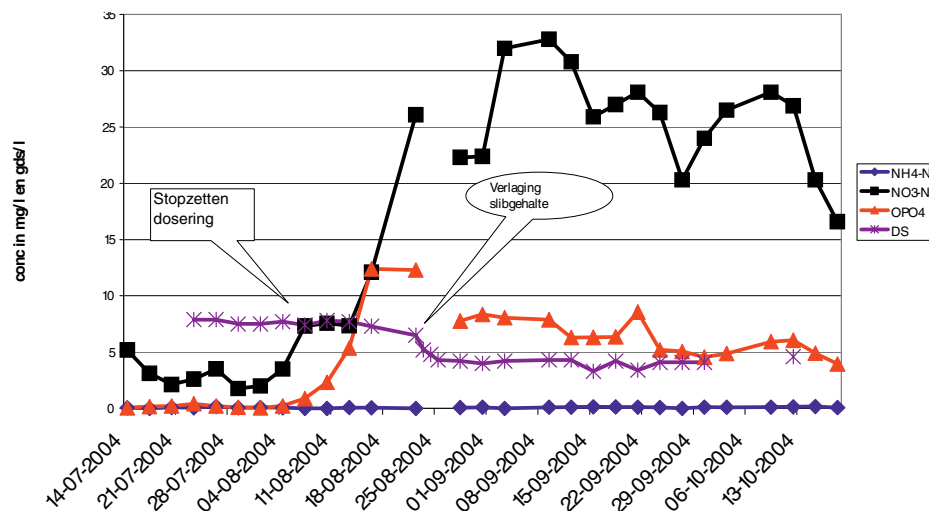
De verlaging van het drogestofgehalte bracht niet wat werd verwacht; de slibproductie nam niet toe en de prestatie van de biologie stortte in. Door de combinatie van maatregelen is de stikstof- en fosfaatverwijdering afgenomen. Het totaal-N gehalte nam toe van 5,5 mg/l naar 27 mg/l. De verwijdering van CZV en ammonium is daarentegen niet verslechterd. Tevens was het effect op de membranen zeer negatief (zie paragraaf 5.3).

Dat de slibproductie na verlaging van het slibgehalte niet toenam, hing mogelijk samen met de nog steeds zeer lage slibbelasting indien de volledig beluchte membraantank wordt mee-

gerekend. De slibbelasting inclusief membraantank is van 0,028 verhoogd naar 0,052 kgBZV/(kgds.d) hetgeen blijkbaar onvoldoende is geweest.

Bestudering van de gegevens liet zien dat de slechtere resultaten aanvangen bij stopzetten van de dosering van de C-bron en veel minder worden bepaald door de verlaging van het slibgehalte.

FIGUUR 10 VERLAGING SLIBGEHALTE EN STOPZETTEN C-BRON (PERIODE 6)



In figuur 10 zijn de resultaten (N en P) weergegeven. Het moment van uitzetten van de dosering van de C-bron op 9 augustus valt samen met het punt waarop het gehalte van ortho fosfaat sterk toeneemt. Verlaging van het slibgehalte is ruim een week later.

De meest voor de hand liggende verklaring is, dat het langdurige overdoseren met een C-bron een zeer grote invloed heeft gehad op de bacteriologische flora. De heterotrofe afbraak en de nitrificatie zijn gewoon blijven functioneren. In de nitrificatie ruimte is een ammoniumanalyser aanwezig. Deze gaf aan dat er sprake is van een normaal verlopende afbraak. Halvering van de slibhoeveelheid had geen effect op de omzetting van ammonium. De denitrificeerders en defosfateerders leken in sterke mate afgestemd geraakt op de royaal voorradige C-bron. Wegnemen van de C-bron leidde tot sterke verslechtering van fosfaat- en nitraatgehalten. In de grafiek is zichtbaar dat zich langzaam een herstel inzet. Dit gaat echter traag, wat zou kunnen passen bij de slibleeftijd.

3.7 ONDERZOEKSPERIODE 7 (BEPALING SLIBPRODUCTIE)

Besloten werd om na de vorige periode met een laag slibgehalte het slib weer te laten aangroeien tot 10 gds/l. Op deze wijze was een goede vaststelling van de slibproductie mogelijk. Dit in het licht van het besluit om in de volgende periode 8 het volume van de membraantank sterk te verkleinen om de invloed van de membraantank op de slibmineralisatie te verminderen. Ook na ombouw (periode 9) is het vaststellen van de slibproductie herhaald.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 13 weergegeven.

TABEL 13 GEMIDDELDE RESULTATEN PERIODE 7

Periode 7	20 oktober 2004 t/m 5 december 2004		
Permeaat	CZV	mg/l	17
	BZV	mg/l	nb
	Totaal-P	mg/l	6,2
	Ortho-P	mg/l	6,08
	Kj-N	mg/l	0,92
	NH ₄ -N	mg/l	0,01
	NO ₃ -N	mg/l	20,9
	NO ₂ -N	mg/l	0,03
	Totaal-N	mg/l	21,8
	Slib	DS	g/l
SVI		ml/g	nb
GDS		%	22,3
Belasting ¹		kgCZV/(kgds.d)	0,095
Belasting ¹		kgBZV/(kgds.d)	0,049
Slibleeftijd ²		d	nvt

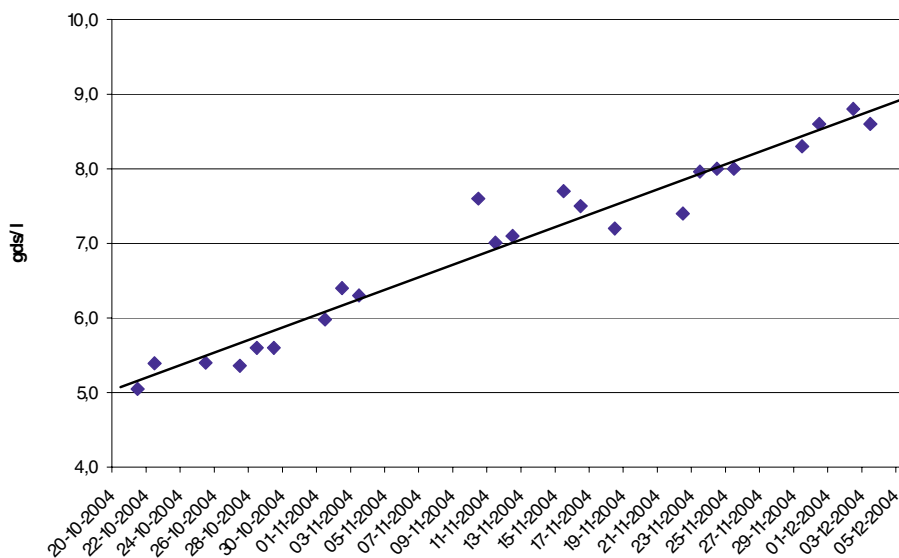
1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

De MTR effluentkwaliteit is in deze periode niet gehaald.

Onderstaand is grafisch het verloop van de slibgroei weergegeven.

FIGUUR 11 VERLOOP SLIBAANGROEI PERIODE 7



Er laat zich hieruit een slibproductie berekenen van 3,5 kgds/dag.

Dit komt overeen met een specifieke slibproductie van 0,41 kgds/kgBZV en 0,21 kgds/kgCZV.

3.8 ONDERZOEKSPERIODE 8 (OMBOUW MEMBRAANTANK)

In deze periode is de membraantank sterk verkleind. Voor details wordt verwezen naar hoofdstuk 5.

De tegenvallende resultaten zonder C-bron en de merkwaardig lage slibproducties waren aanleiding om deze ingreep te plegen. Als hypothese is gesteld dat het slib door de volledig beluchte en ook grote membraantank sterk mineraliseerde.

Het natte volume van de membraantank is teruggebracht van 11,7 m³ inhoud naar 3 m³ inhoud met twee gescheiden membraanunits. Voorheen was er sprake van één gemengd volume voor twee units. De beluchting van de membranen (45 m³ lucht/h), de relaxatie tijden (8 minuten proces, 2 minuten relaxatie) en ook het wisselbedrijf om het uur bleven ongewijzigd. De tank die uit bedrijf is, wordt om de 10 minuten gedurende 2 minuten met 45 m³ lucht/h belucht. Deze tank wordt niet doorstroomd om slibophoping te voorkomen. Het slib blijft gedurende het uur in de tank staan. De beluchting dient om anaërobie en bezinking in deze uit bedrijf zijnde membraanunit te voorkomen. Door de sterk wisselende procesomstandigheden gedurende deze ombouw periode is het niet zinvol de resultaten te vermelden.

3.9 ONDERZOEKSPERIODE 9 (EXPERIMENTEN PROCESVOERING MEMBRAANTANK)

Na periode 8, is ervoor gekozen om het slibgehalte, dat door de reconstructie van de membraantank gedaald was, opnieuw te laten toenemen. Hierdoor was een vergelijking met periode 7 ten aanzien van de slibproductie mogelijk.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 14 weergegeven.

TABEL 14 GEMIDDELTE RESULTATEN PERIODE 9

Periode 9	24 december 2004 t/m 28 maart 2005		
Permeaat	CZV	mg/l	19,4
	BZV	mg/l	nb
	Totaal-P	mg/l	3,98
	Ortho-P	mg/l	3,73
	Kj-N	mg/l	1,17
	NH ₄ -N	mg/l	0,06
	NO ₃ -N	mg/l	8,55
	NO ₂ -N	mg/l	0,02
	Totaal-N	mg/l	9,72
Slib	DS	g/l	10,3
	SVI	ml/g	nb
	Gloeirest	%	19,5
	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	0,065
	Belasting ¹	kgBZV/(kgds.d)	0,029
	Slibleeftijd ²	d	nvt

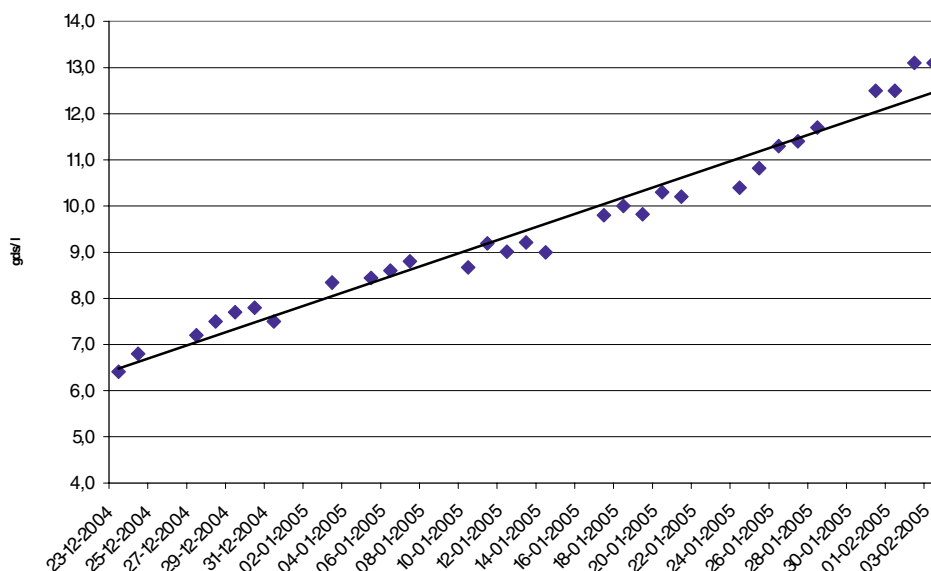
1. slibbelasting excl. anaërobie tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

Het verschil met periode 6 en 7 ten aanzien de bereikte permeaatkwaliteit was opmerkelijk. De resultaten voor fosfaat en stikstof zijn sterk verbeterd. Het lijkt er op dat het verkleinen van de membraantank succesvol is geweest. Voorkomen van overbeluchting is van wezenlijk belang.

Onderstaand is de toename van het slibgehalte weergegeven.

FIGUUR 12 TOENAME SLIBGEHALTE PERIODE 9



Berekend kan worden dat de slibproductie 4,4 kgds/dag was. Dit komt overeen met een specifieke slibproductie van 0,44 kgBZV/kg BZV en 0,26 kgds/kgCZV.

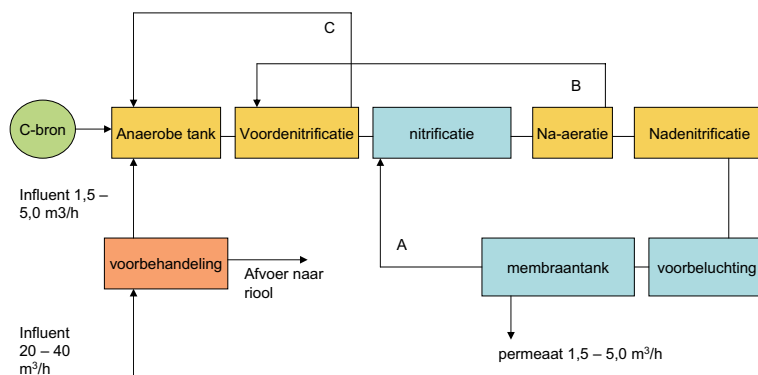
De slibproductie van het systeem was in periode 9 hoger dan in periode 7, maar nog steeds lager dan verwacht mocht worden. In hoofdstuk 4.2 wordt de slibproductie nader beschouwd.

3.10 ONDERZOEKSPERIODE 10 (C-BRON IN ANAËROBE TANK EN RWA TESTEN)

Nadat in de vorige periode vastgesteld was dat de ombouw van de membraantank succesvol was en ten aanzien van de bedrijfsvoering van de membraantanks geen bezwaren had opgeleverd, werd besloten opnieuw een C-bron te doseren.

Er is gedoseerd met azijnzuur 40% oplossing in de anaërobe tank in overeenstemming met periode 4.

FIGUUR 13 SCHEMATISCHE WEERGAVE PROCES PROEFINSTALLATIE



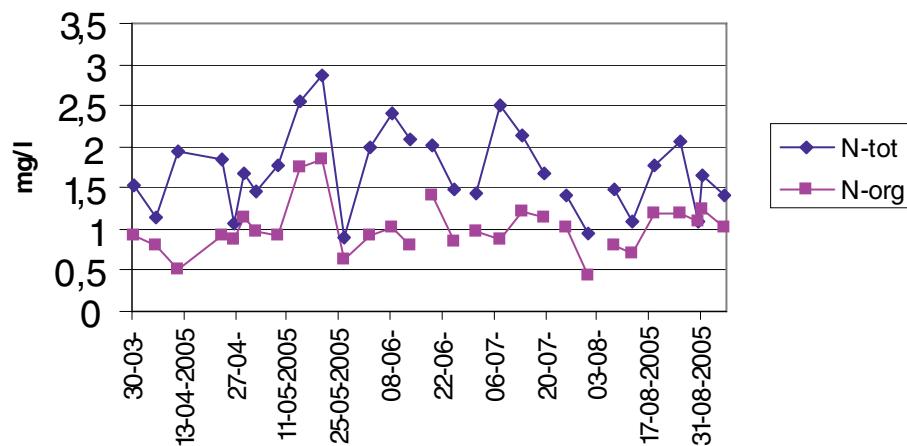
De recirculatie naar de voordennitrificatie is gestuurd met een on-line nitraatmeting aan het einde van de voordennitrificatie. Er is gestuurd op een setpoint van 1 mgNO₃-N/l. Was het in periode 4 niet mogelijk een hogere recirculatieverhouding over de voordennitrificatie in te stellen, in verband met een eis van uitgaand 1 mgNO₃-N/l, dan circa 4 maal het influentdebiet, nu was de recirculatiecapaciteit met maximaal 12 maal beperkend. De stuurparameter

van 1 mgNO₃-N/l is ook bij hoge recirculatieverhoudingen niet overschreden. De hoeveelheid C-bron was in vergelijking met periode 4 verminderd van 7,1 kgCZV/d naar 5,5 kgCZV/d. De fosfaateisen en de stikstofeisen zijn gehaald.

De resultaten maakten duidelijk dat een te grote membraantank en overbeluchting niet sa-
mengaan met het bereiken van MTR effluentkwaliteit.

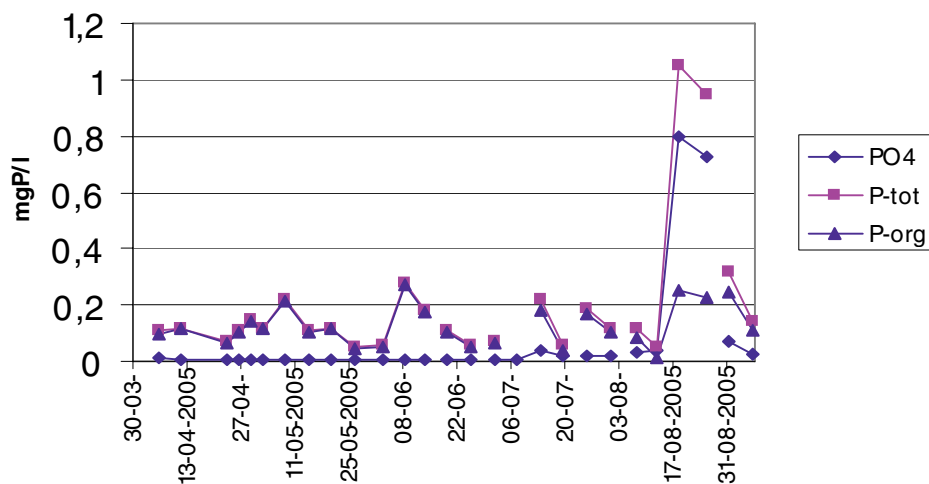
In figuur 14 en 15 zijn grafieken opgenomen met het resultaat voor stikstof en fosfaat. Het
gehalte organisch gebonden stikstof en fosfaat is respectievelijk 1,0 mgN/l en 0,13 mgP/l ge-
middeld.

FIGUUR 14 PERIODE 10 STIKSTOF PERMEAAT



De MTR-waarde is gerealiseerd bij een nitraatgehalte in het permeaat van 0,65 mg/l. Dit
vraagt een adequate sturing. Feitelijk wordt de haalbaarheid van MTR bepaald door opgelost
organisch gebonden stikstof.

FIGUUR 15 PERIODE 10 FOSFAAT PERMEAAT



De MTR-waarde voor fosfaat werd gehaald indien pieken midden augustus worden weggela-
ten uit de reeks. Er is een stabiel resultaat bereikt van april 2005 t/m begin augustus 2005.
Vaak is het opgelost fosfaatgehalte onder detectiegrens gemeten van < 0,01 mgP/l Het opge-
lost organisch gebonden fosfaat bepaalt de permeaatkwaliteit. Eind augustus en september

lopen de waarden iets op, dit had met de azijnzuurdosering te maken. Azijnzuur vormt soms kleine kristallen die de dosering beïnvloeden. Het biologische systeem reageert gevoelig op een daling van de dosering. Aangezien in nieuwe RWZI Hilversum een structurele overdosering van een C-bron vanuit kostenoverwegingen niet wenselijk is, zal een goede regeling nodig zijn. De wijze waarop werd in de proefinstallatie niet verder onderzocht.

De belasting van de biologie en de gemiddelde resultaten zijn in tabel 15 weergegeven.

TABEL 15 GEMIDDELTE RESULTATEN PERIODE 10

Periode 10	29 maart 2005 t/m 28 september 2005		
Permeaat	CZV	mg/l	nb
	BZV	mg/l	nb
	Totaal-P	mg/l	0,20
	Ortho-P	mg/l	0,07
	Kj-N	mg/l	1,08
	NH ₄ -N	mg/l	0,08
	NO ₃ -N	mg/l	0,65
	NO ₂ -N	mg/l	0,01
	Totaal-N	mg/l	1,73
	Slib	DS	g/l
SVI		ml/g	126
Gloeirest		%	21
Belasting ¹		kgCZV/(kgds.d)	0,059
Belasting ¹		kgBZV/(kgds.d)	0,035
Slibleeftijd ²		d	109

1. slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2. op basis van gespuid slib

De belangrijkste conclusie in deze periode was dat het bereiken van MTR effluentkwaliteit mogelijk is. Er dient in de situatie van de proefinstallatie wel een C-bron toegepast te worden om zowel stikstof als ook fosfaat voldoende te verwijderen.

De slibproductie was ook in deze periode zeer laag. Er werd geen nader onderzoek meer verricht naar de mogelijke oorzaken.

4

RESULTATEN NADER ONDERZOEK

In de periode 1 t/m 10 zijn een aantal aandachtspunten aan de orde geweest, die zich niet tot één periode beperken.

- 1 Opnamesnelheid fosfaat
- 2 Slibproductie
- 3 Drijfslagen, schuimvorming
- 4 Opgelost organisch gebonden stikstof en fosfaat
- 5 Humuszuren
- 6 Biologische beschikbaarheid fosfaat
- 7 Viscositeit
- 8 C-bron
- 9 Microscopisch slibonderzoek

4.1 OPNAMESNELHEID FOSFAAT

4.1.1 METINGEN FEBRUARI 2004

In februari 2004 (periode 3) is gemeten aan de fosfaatopname in de voorbeluchting en de membraantank. In deze periode is 40% natriumacetaat gedoseerd in de nadenitrificatietank met een constante hoeveelheid van 1080 ml/h. De nadenitrificatie bestond uit 3 compartimenten met totaal 4,7 m³ inhoud en de voorbeluchting uit 3 compartimenten totaal 2,1 m³ inhoud. De inhoud van membraantank was 11,7 m³.

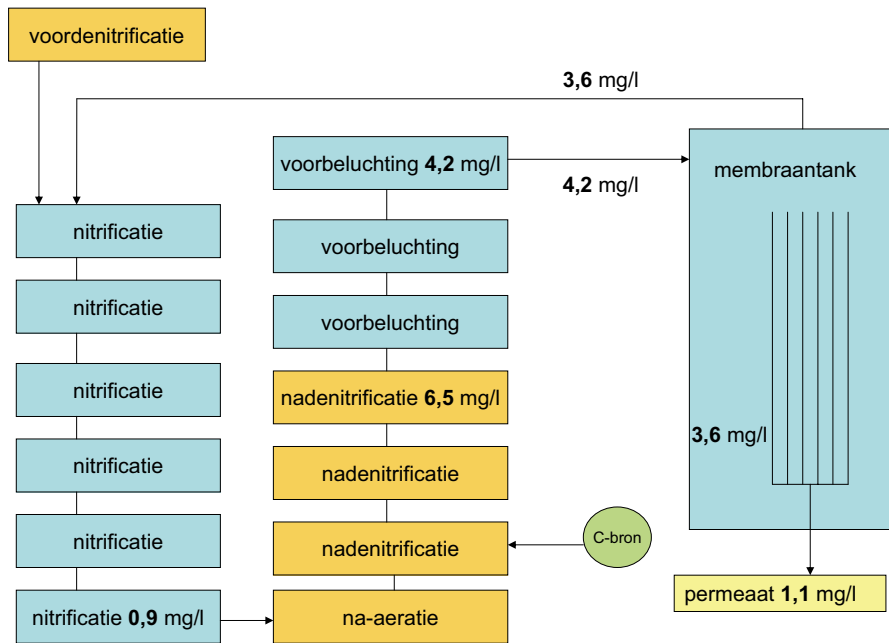
De monsternamen zijn gedaan met steekmonsters die direct gefiltreerd zijn. Gemeten is opgelost fosfaat.

13 februari 2004 (periode 3)

Tijdens deze meting is de installatie in bedrijf gebleven.

In figuur 16 zijn de resultaten vermeld;

FIGUUR 16 MEETPLAATSEN

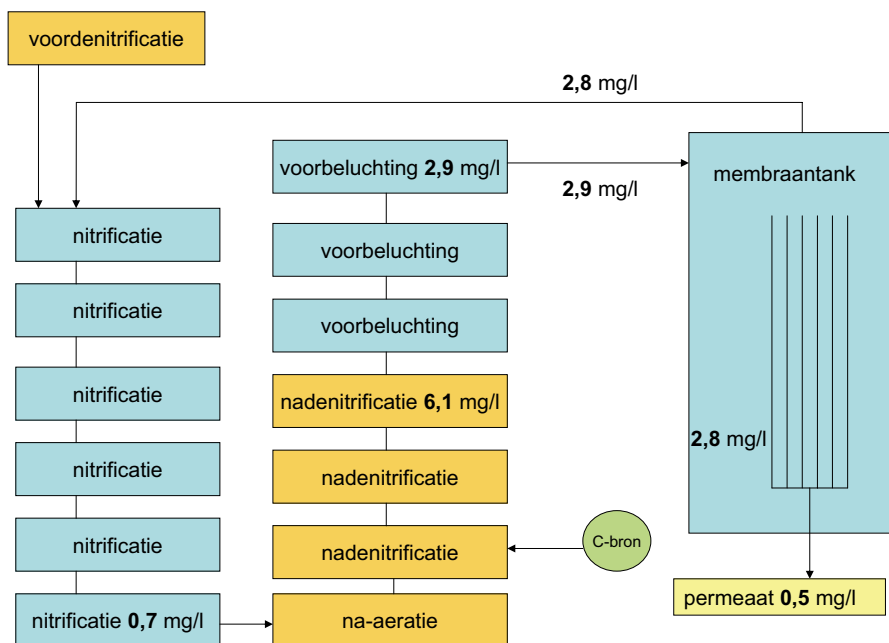


Door dosering van de C-bron is fosfaat afgegeven. Dit fosfaat wordt in de voorbeluchting en in de membraantank niet volledig opgenomen. Mogelijk is er een te beperkte opnamecapaciteit voor fosfaat.

16 februari 2004

Er is opnieuw aan de installatie gemeten nu met de toevoer en alle recirculatie pompen uit bedrijf en met de beluchting van de nitrificatie, de voorbeluchting en de beluchting van de membraantank in bedrijf. Ongeveer een half uur na het stopzetten van de installatie is gemeten. De resultaten hiervan zijn vermeld in figuur 17.

FIGUUR 17 MEETPLAATSEN



Het effect van dosering van de C-bron in de nadenitrificatie op fosfaat is duidelijk te zien aan het hoge fosfaat concentratie in compartiment 3 van de nadenitrificatie. Dit is vergelijkbaar met de test op 13 februari.

Ook hier blijkt dat het in de nadenitrificatie afgegeven fosfaat niet volledig wordt opgenomen in de voorbeluchting en de membraantank.

Indien de metingen op 13 en 16 februari nader bekeken worden dan gebeurt er in de membraantank iets opvallends. De concentratie $\text{PO}_4\text{-P}$ in het permeaat is circa 3 tot 6 maal lager dan in de afloop van de membraantank. Mogelijk is er direct bij het membraanoppervlak sprake van chemische fosfaatbinding of retentie. Het is niet waarschijnlijk dat de fosfaat vastlegging tussen de membraanplaten veroorzaakt wordt door biologische opname. Dit roept de vraag op of de mate waarin dit optreedt stabiel is en welke factoren dit beïnvloeden.

16, 17 en 19 februari 2004

Er is op 16, 17 en 19 februari 2004 gemeten aan de fosfaatopnamesnelheid in de nitrificatie en de voorbeluchting. In deze periode is natriumacetaat gedoseerd in de nadenitrificatie.

De proef is uitgevoerd met alle toevoer en recirculatiepompen uit bedrijf en met de beluchting van de voorbeluchting in bedrijf. De monsternamen is gedaan met steekmonsters die direct gefiltreerd zijn. Gemeten is $\text{mgPO}_4\text{-P/l}$.

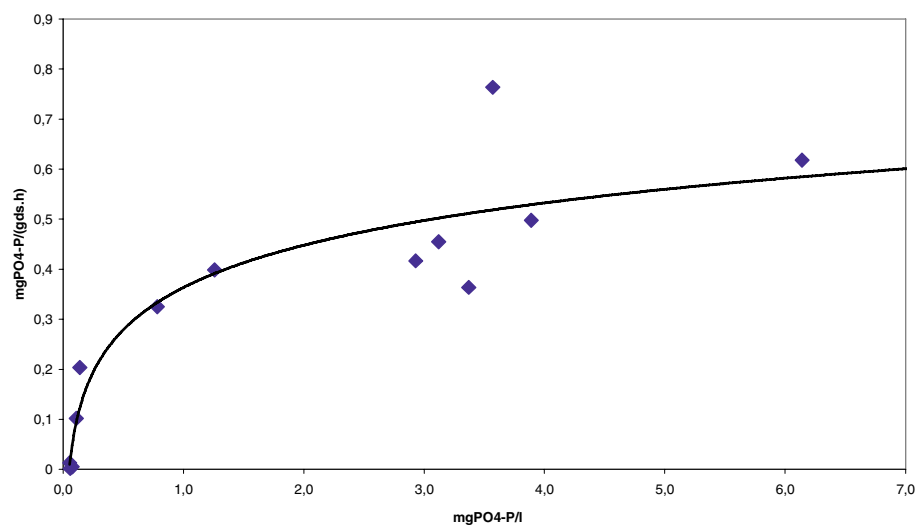
Bij langdurig beluchten wordt in de nitrificatietanks weer fosfaat afgegeven. De opgelost fosfaatconcentratie stijgt van 0,28 naar 0,51 $\text{mgPO}_4\text{-P/l}$. Dit duidt op mineralisatie.

Er zijn drie mechanismen die mogelijk tegelijkertijd een rol spelen: biologische opnamecapaciteit, celafbraak en chemische vastlegging.

Opnamesnelheden in de voorbeluchting zijn in figuur 18 weergegeven. Vermeld in één figuur zijn de resultaten van drie meetdagen, 16, 17, 19 februari 2004.

De opnamesnelheid is laag en neemt af bij lagere concentraties opgelost fosfaat.

FIGUUR 18 FOSFAATOPNAMESNELHEID VOORBELUCHTING



4.1.2 SEPTEMBER 2005 (PERIODE 10)

In september 2005 is de biologie doorgemeten. Er wordt azijnzuur als C-bron in de anaërobe tank gedoseerd. Gemeten is opgelost fosfaat. Van de voorbeluchting en de membraantank zijn geen monsters genomen.

De biologie is daarbij in alle 17 compartimenten bemonsterd. Daarbij is berekend wat de verblijftijd is in de bakken inclusief recirculatiestromen. Hiermee enigszins rekening houdend is het systeem op verschillende tijdstippen doorgemeten. Het fosfaat is als het ware door het systeem heen gevolgd (zie tabel 16).

TABEL 16 METING FOSFAAT BIOLOGIE

compartiment nr	propstroom biologie	ORTHO-P
		verloop mg/l
0	influent	11,50
1	anaërobe tank	42,50
2	anaërobe tank	35,50
3	anaërobe tank	21,30
4	anaërobe tank	Nb
5	voordenitrificatie	12,10
6	voordenitrificatie	12,30
7	voordenitrificatie	11,50
8	voordenitrificatie	10,90
9	voordenitrificatie	10,80
10	voordenitrificatie	11,20
18	nitrificatie	5,92
19	nitrificatie	2,46
20	nitrificatie	0,88
21	nitrificatie	0,30
22	nitrificatie	0,20
23	nitrificatie	0,23
11	nadenitrificatie	0,22
12	nadenitrificatie	0,25
13	nadenitrificatie	0,24
14	nadenitrificatie	0,25
16	nadenitrificatie	0,21
17	voorbeluchting	0,16

Anaërobe tank

Het opgelost fosfaatgehalte in de anaërobe tank is het hoogst in het eerste compartiment. De verblijftijd inclusief retourstroom in ieder anaëroob compartiment is ongeveer 20 minuten. Totaal 3 compartimenten circa 60 minuten. Na het eerste compartiment daalt het opgelost fosfaatgehalte weer. Een verklaring ontbreekt hier. Dit fenomeen kan theoretisch niet verklaard worden. Mogelijk dat door de hoge recirculatie stromen in de voordenitrificatie van 12 maal het influentdebiet er menging plaats vindt tussen anaërobe compartimenten en de voordenitrificatie.

Voordenitrificatie

Met het fosfaatgehalte gebeurt schijnbaar niets. Niets is minder waar. Het ingaande debiet vanuit de anaerobe tank is 3 m³/h inclusief recirculatie. Er komt in de voordenitrificatie 18 m³/h retour vanaf de nitrificatie: totaal 21 m³/h.

Wanneer met deze wetenschap naar het fosfaatgehalte wordt gekeken, kan geconcludeerd worden dat de afgifte in de voordenitrificatie in aanwezigheid van nitraat en een C-bron fors doorgaat. Er wordt zeer veel fosfaat afgegeven. Uit de anaërobe tank wordt circa 3 m³/h x 30 mgPO₄-P/l = 90g/h aangevoerd.

In de uitgang van de voordenitrificatie is 21 m³/h x ca 11 mgPO₄-P/l = 231 g/h aanwezig.

Nitrificatie

De aanzienlijke hoeveelheden fosfaat die uit de voordenitrificatie worden aangevoerd, worden in de nitrificatie nagenoeg volledig opgenomen.

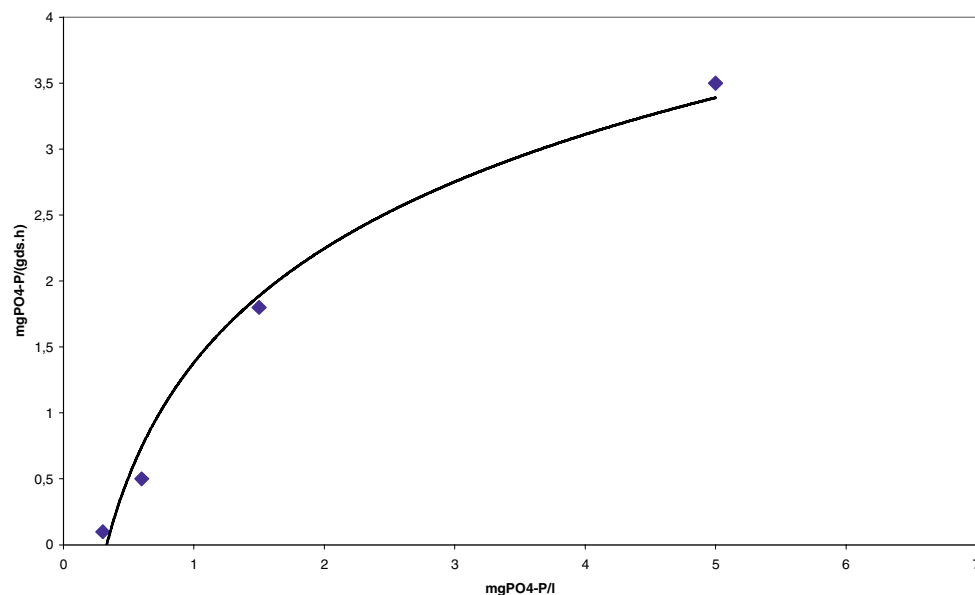
De volgende opnamesnelheden kunnen worden berekend bij verschillende fosfaatconcentraties, de temperatuur = 20 °C:

- Conc circa 5 mg/l geeft 3,5 mgPO₄-P/gds.h
- Conc circa 1 – 2 mg/l geeft 1,8 mgPO₄-P/gds.h
- Conc circa 0,3 – 0,9 mg/l geeft 0,5 mgPO₄-P/gds.h
- Conc circa 0,3 mg/l geeft 0,1 mgPO₄-P/gds.h

In figuur 19 is dit grafisch weergegeven.

De snelheden waren hoger dan in februari 2004. Bij lage concentraties komt het beeld redelijk overeen. Echter bij concentraties lager dan circa 2 mgPO₄-P/l is de snelheid nu een factor 7 hoger. Mogelijk heeft het verschil in opnamesnelheid met een verschil in de mate van mineralisatie te maken. Dit kan samenhangen met de verkleinde membraantank en de daarvoor voorkomen overbeluchting van het slib.

FIGUUR 19 FOSFAATOPNAME NITRIFICATIERUIMTE



Nadenitrificatie

Met fosfaat in de nadenitrificatie gebeurt niet veel. Dit komt overeen met periode 4. Er is hooguit beperkt sprake van afgifte van fosfaat. Deze is iets minder dan de eerder vastgestelde endogene afgifte van fosfaat in periode 5.

Algemeen

De limitering bij MTR-concentraties is aanzienlijk en dient in acht te worden genomen bij de dimensionering van het totale beluchtingsvolume. De opname in de voorbeluchting blijkt op basis van de resultaten te gering om het fosfaat vast te leggen tot MTR-waarde. De slibkwaliteit (endogene afgifte en opname en mineralisatie) en eventueel chemische binding van fosfaat spelen hierbij een rol.

4.2 SLIBPRODUCTIE

In tabel 17 worden de slibbelasting en de spuislibproductie van de proefinstallatie in verschillende perioden vergeleken. Tevens is als vergelijking de productie van de RWZI Blaricum (oxydatiesloot zonder voorbezinking) vermeld. Deze heeft een met Hilversum vergelijkbaar type aanvoer (nagenoeg volledig huishoudelijk) en ongeveer dezelfde slibbelasting als de proefinstallatie. Resultaten van de RWZI Hilversum zijn niet bruikbaar omdat dit een systeem met oxidatiebedden is.

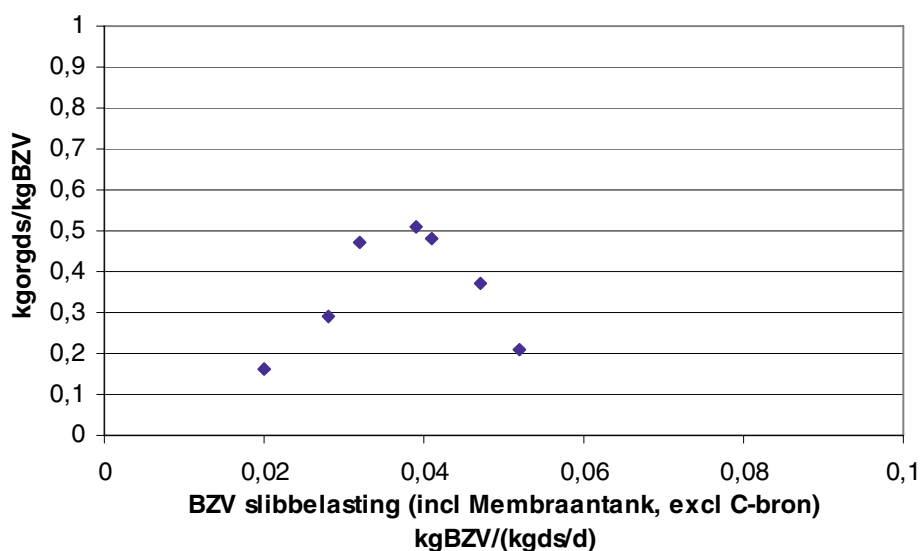
TABEL 17 SLIBBELASTING

rwzi	C-bron	CZV Slib belasting ¹ kgCZV / (kgds/d)	BZV Slib belasting ¹ kgBZV / (kgds/d)	BZV Slib belasting ² kgBZV / (kgds/d)	slib productie ³ kgorgds / kgCZV	slib productie ³ kgorgds / kgBZV	gloeirest %	slib leeftijd dagen
Blaricum	-	0,09	0,04	0,04	0,31	0,68	25	26
Periode 1	-	0,064	0,032	0,023	0,08	0,16	29	182
Periode 2	-	0,115	0,048	0,033	0,20	0,47	29	46
Periode 3	Ja	0,170	0,098	0,040	0,22	0,48	24	39
Periode 4	Ja	-	0,113	0,048	-	0,37	24	42
Periode 5	ja	-	0,095	0,031	-	0,51	28	49
Periode 6	-	0,160	0,084	0,055	0,11	0,21	25	67
Periode 7	-	0,095	0,049	0,034	-	-	-	-
Periode 8	-	-	-	-	-	-	-	-
Periode 9	-	0,065	0,029	0,026	-	-	20	-
Periode 10	Ja	0,080	0,056	0,032	0,18	0,29	21	109

1. slibbelasting exclusief membraantank, inclusief C-bron
2. slibbelasting inclusief membraantank, exclusief C-bron
3. slibproductie exclusief C-bron

In figuur 20 zijn de BZV-slibbelasting exclusief C-bron, waarbij de biomassa in de membraantank voor de berekening van de slibbelasting is meegenomen, uitgezet tegen de slibproductie in kg_{org}ds/d op basis van verwijderde BZV. De toegevoegde C-bron (natriumacetaat of azijnzuur) is niet meeberekend in de slibbelasting. (In figuur 20 is de slibproductie van Blaricum niet opgenomen).

FIGUUR 20 SLIBPRODUCTIE



Het ontwerp van de nieuwe RWZI Hilversum doorgerekend met HSA geeft bij een slibbelasting van 0,044 kgBZV/(kgds.dag) een slibproductie van 0,65 kgorgds/kgBZV. Deze ontwerp slibproductie is in dezelfde orde van grootte als de gemeten slibproductie van de RWZI Blaricum en andere laagbelaste RWZI's.

De slibproductie van de MBR is met 0,5 kgorgds/kgBZV maximaal 75% van wat verwacht kan worden. Gemiddeld is er van periode 1 t/m 10 een productie van 0,36 kgorgds/kgBZV wat overeenkomt met 45% van wat verwacht kan worden.

In periode 1 tot en met 10 zijn slibbelasting en zeefgoedproductie gemeten (tabel 18). Uitgegaan is van zeefgoed met 32% drogestof. Het drogestofgehalte is incidenteel gemeten.

TABEL 18 ZEEFGOEDPRODUCTIE VERSUS SLIBPRODUCTIE

Periode	Type rooster	Zeefgoed [m ³ /d]	zeefgoed [kgds/d]	MBR Slib-productie [kgds/d]
1	spleetjes	0,034	11	1,9
2	gaas	0,235	75	5,4
3	gaas	0,151	48	6,2
4	gaas	0,179	57	5,6
5	gaas	0,205	66	4,2
6	gaas	0,164	52	1,7
7	gaas	0,074	24	3,5
8	gaas	0,056	18	-
9	gaas	0,116	37	4,4
10	gaas	0,124	40	2,7
gemiddeld		0,134	43	4,0

De toevoerpomp naar de fijnzeef is uitgelegd op de capaciteit van de fijnzeef (40 m³/h). Het pompdebiet is tijdens het onderzoek verlaagd naar ongeveer 20 m³/h.

Het debiet naar de fijnzeef wordt niet gemeten en kan door aan/uit schakeling van de pomp op hoog niveau in de fijnzeef minder zijn. Het zeefgoed is aanwezig in circa 20 m³/h. Gerela-

teerd aan $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ influentdebiet voor de proefinstallatie betekent dit ongeveer de volgende zeefgoedproductie: $43 \text{ kgds/dag} \times 1,5/20 = 3,2 \text{ kgds/dag}$.

De zeefgoedproductie kan niet precies gerelateerd worden aan de slibproductie (4 kgds/d) van de proefinstallatie. Feit is wel dat de zeefgoedproductie enorm is ten opzichte van de slibproductie. Het lijkt erop dat de lage spuislibproductie min of meer valt te verklaren uit de relatief hoge zeefgoedproductie.

Het zeefgoed is niet geanalyseerd op samenstelling. Visueel bestaat het voornamelijk uit papier en haren. De kleur is na persen grijs/wit. De structuur laat zich het beste omschrijven als papier-maché.

4.3 DRIJFLAGEN, SCHUIMPROBLEMEN EN BEZINKING

De proefinstallatie heeft met forse drijfslagproblemen te kampen gehad op de onbeluchte zones. Dit nam dusdanige vormen aan dat een normale procesvoering niet mogelijk was. Bij een waterdiepte van $1,5 \text{ m}$ ontstond er een 30 cm dikke taaie drijfslag. Op de onbeluchte zones is dit op zeker moment onder controle gebracht door de aanwezige mengers te voorzien van een bovenblad ("pitch blades").

Op de nitrificatietanks waren er periodiek problemen met schuimvorming. De hevigheid daarvan wisselt per periode. Een relatie met het microscopische slibbeeld is niet gevonden hoewel dat wel verwacht zou worden. Het schuimprobleem kan zodanig zijn dat het de tanks uitkomt.

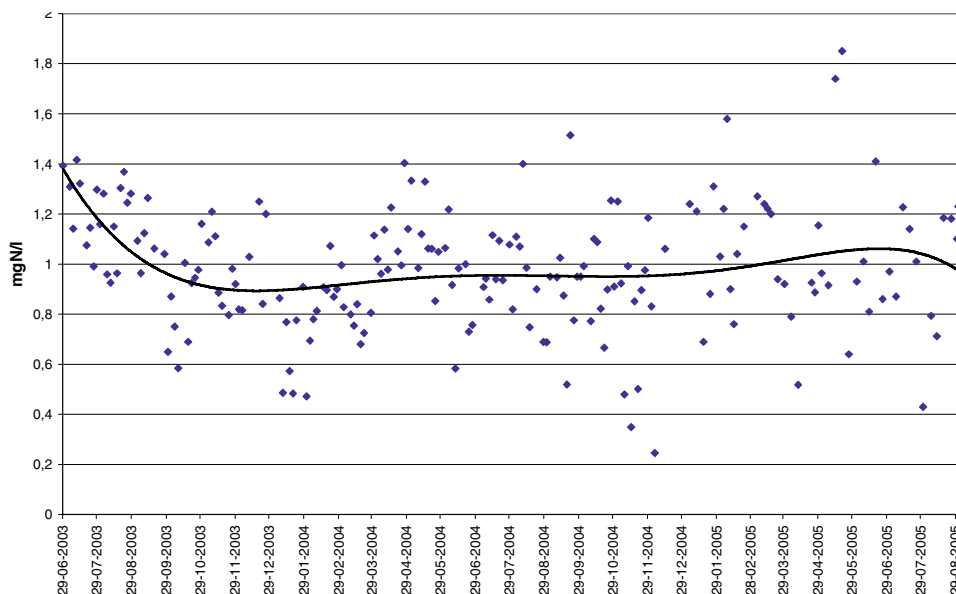
Bezinking in leidingen was een fenomeen dat de juiste werking van de proefinstallatie negatief heeft beïnvloed. Vooral een verbindingsleiding tussen nitrificatie en nadenitrificatie met een doorsnede van 250 mm heeft te maken gehad met ernstige bezinkproblemen door een te lage snelheid. Bij reiniging is in de leiding een koek met circa 20% drogestof gevonden.

4.4 OPGELOST ORGANISCH GEBONDEN FOSFAAT EN STIKSTOF

De aanwezigheid van het opgelost organisch gebonden fosfaat en stikstof speelt normaliter geen rol van betekenis bij gangbare lozingsnormen van een RWZI. Indien er echter sprake is van MTR effluentkwaliteit dan is dit geheel anders. Al eerder is vermeld dat er ongeveer $1,0 \text{ mg/l}$ opgelost organisch gebonden stikstof (berekend als Kj-N minus $\text{NH}_4\text{-N}$) en $0,14 \text{ mg/l}$ opgelost organisch gebonden fosfaat (berekend als totaal-P minus $\text{PO}_4\text{-P}$) gemeten wordt. Bij MTR eisen van $2,2 \text{ mgN/l}$ en $0,15 \text{ mg/l}$ totaal-P is dit $50\% - 100\%$ van de toegelaten hoeveelheid.

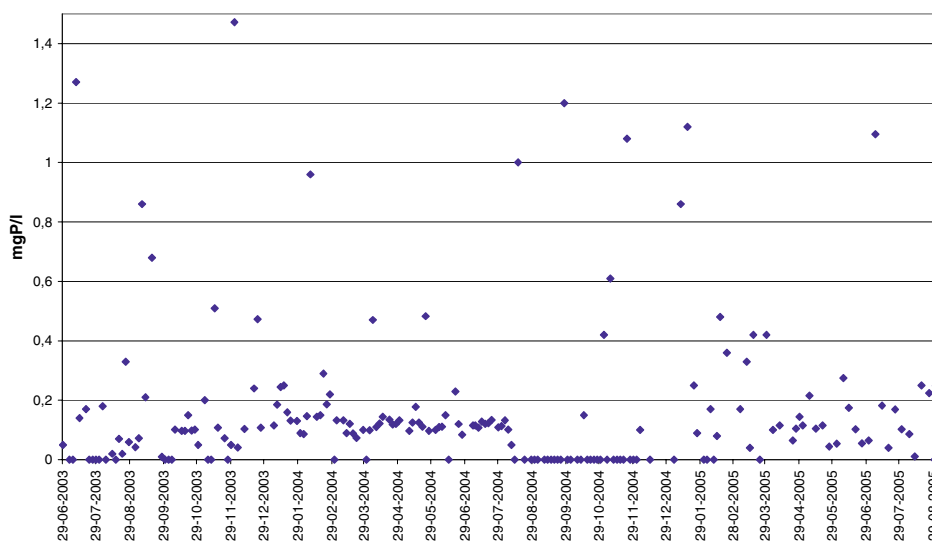
Gedurende de poefperiode is geconstateerd dat de gehalten opgelost organisch gebonden stikstof niet constant waren. De gegevens laten een aanzienlijke spreiding zien. In de figuren 21a en 21b is dit weergegeven. Uit de gegevens is niet eenduidig af te leiden of en zo ja welke relaties er zijn met procescondities en regenwater aanvoer.

FIGUUR 21A OPGELOST ORGANISCH GEBONDEN STIKSTOF



Hetzelfde is voor fosfaat het geval. De spreiding in de getallen is eveneens aanzienlijk (zie figuur 15b).

FIGUUR 21B OPGELOST ORGANISCH GEBONDEN FOSFAAT



Voor fosfaat is nader uitgezocht in welke mate de meetmethode en bijbehorende meetnauwkeurigheid bepalend kunnen zijn voor de gemeten delta tussen totaal-P en ortho-P. Nader overleg met het laboratorium Waterproef (onderdeel van Waternet) leert het volgende. De meetnauwkeurigheid is concentratie afhankelijk.

TABEL 19 MEETONNAUWKEURIGHEID FOSFAATMETINGEN

concentratie	< 0,5 mg/l	0,5 mg/l – 3,0 mg/l	> 3,0 mg/l
Totaal-P	10% - 20%	10% - 15%	10%
Ortho-P	10%	5% - 10%	5%

Verder wordt er bij een meting waarbij ortho-P groter is dan totaal-P het gemiddelde van beide metingen genomen voor zowel totaal-P als ortho-P. De getallen worden dus gelijk gesteld en de delta is dan 0 mgP/l.

Er zijn perioden waarin er een geringer gehalte aan opgelost organisch gebonden fosfaat wordt gerapporteerd door het laboratorium dan in andere perioden. Dit is met name het geval in periode 6 vanaf eind augustus 2004 (figuur 21b). Er worden hier veel meetwaarden gerapporteerd waarbij totaal-P en ortho-P gelijk zijn en de delta dus 0 mg/l is. Dit kan betekenen dat er inderdaad geen verschil is of dat als gevolg van meetfouten ortho-P groter is dan totaal-P.

De volgende gemiddelde gehalten in mgP/l zijn per periode gemeten.

TABEL 20 CONCENTRATIE OPGELOST ORGANISCH FOSFAAT PER PERIODE

Periode	Opgelost organisch fosfaat [mg/l]
2	0,12
3	0,19
4	0,15
5	0,24
6	0,075
7	0,15
9	0,24
10	0,16

De laagste gehalten komen voor in periode 6. In de deze periode 6 is het drogestofgehalte verlaagd van 7,0 g/l naar 3,5 g/l. Deze periode heeft daarmee de hoogste slibbelasting (0,071 kgBZV/(kgds.d)) van het onderzoek. Dit kan betekenen dat een te lage slibbelasting, door mineralisatie van het slib, de productie van deze fosfaat component in de hand werkt. Een relatie met de dosering van een C-bron is niet uit de gegevens te herleiden.

Aangezien de permeaatmeetwaarden in periode 6 hoger waren dan in de overige perioden kan de meetfout veel invloed hebben op de delta. Toch zou dit kunnen betekenen dat voor het bereiken van MTR effluentkwaliteit de slibbelasting niet ongestraft verlaagd mag worden. Echter door de invloed van de onnauwkeurigheid van de analyse is een heldere conclusie niet mogelijk. Daarbij is periode 6 ook relatief kort geweest.

De grote spreiding in de getallen zowel voor stikstof als ook fosfaat roepen vragen op. Naast procescondities kan ook de aanvoer bij bijvoorbeeld regen en de meetonnauwkeurigheid van het laboratorium een rol spelen. Het zal niet mogelijk zijn invloeden eenduidig te onderscheiden.

Belangrijk is in welke vorm de opgelost organisch gebonden fosfaat en stikstof aanwezig is (zie hoofdstuk 4.5) en wat het effect is op de effluentkwaliteit (zie hoofdstuk 4.6).

4.5 HUMUSZUREN

Interessant is de vraag waaraan het opgelost organisch gebonden fosfaat en stikstof gebonden is. Vermoed wordt dat dit gerelateerd is aan NOM (natuurlijk organisch materiaal). Ook humuszuren behoren tot NOM.

Bekend is dat humuszuren fosfaat en stikstof aan zich binden. Humuszuren zijn een natuurlijk afbraakproduct van organisch materiaal. Veel afbraak betekent veel humuszuren. Dit past bij de bovenstaande veronderstelde relatie met de slibbelasting. Een te lage slibbelasting betekent veel humuszuren.

In het permeaat wordt ongeveer 20 mgCZV/l gemeten. Indien deze CZV geheel uit humuszuren zou bestaan dan betekent dit dat ongeveer 5% stikstof en 1% fosfaat hieraan gebonden is.

Het is zeker zinvol om in het kader van MTR effluentkwaliteit nader onderzoek te doen naar het voorkomen van humuszuren in bijvoorbeeld grondwater en eigenschappen en productie mechanismen in afvalwater.

4.6 BIOLOGISCHE BESCHIKBAARHEID FOSFAAT

Door AquaSense is in augustus 2004 onderzocht wat de biologische beschikbaarheid van het fosfaat is in het permeaat van de proefinstallatie.

Het onderzochte permeaat monster bevatte 0,24 mg/l totaal fosfaat en 0,034 mg/l $PO_4\text{-P}$. Het onderzoek is uitgevoerd met een algengroei-test. Het bleek dat algen nauwelijks wilden groeien op het permeaat. De groeisnelheid van de algen in het permeaat (met EDTH) ligt ongeveer factor 5 maal lager dan de groeisnelheid in een synthetisch medium. Met toevoeging van extra fosfaat aan het permeaat neemt de groeisnelheid toe. De concentratie fosfaat in het permeaat is beperkend. Opvallend is dat bij toediening van extra fosfaat aan het permeaat de groeisnelheid toeneemt maar lager blijft dan in het synthetische medium. Er moet sprake zijn van meerdere groeilimiterende factoren.

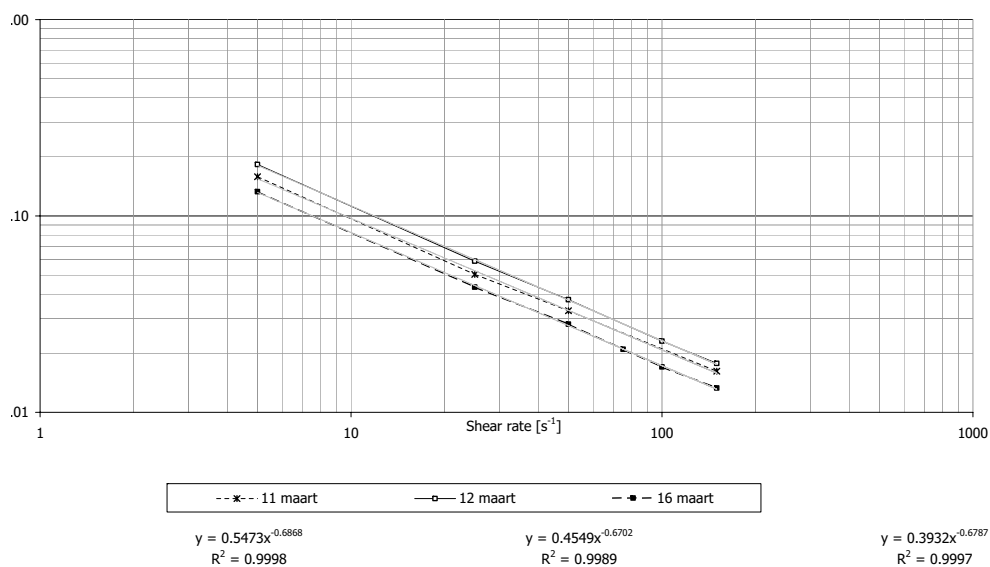
Een beoordeling van de biologische beschikbaarheid van dit fosfaat en stikstof is belangrijk bij het opstellen van lozingseisen.

4.7 VISCOSITEIT

Door de Technische Universiteit Delft is onderzoek gedaan naar de filtratie eigenschappen van het MBR slib (H. Evenblij 2006). Onder andere is op 11, 12 en 16 maart 2004 de viscositeit gemeten. De resultaten staan in figuur 22 vermeld. Het doel was om de hydraulische situatie voor de nieuwe RWZI Hilversum te kunnen doorrekenen.

Het slib blijkt in vergelijking met normaal actief slib en bijvoorbeeld de MBR proefinstallatie Maasbommel zeer visceus te zijn met een duidelijk shear-thinning effect (afname viscositeit bij toename mengenergie).

FIGUUR 22 VISCOSITEIT SLIB PROEFINSTALLATIE



4.8 C-BRON

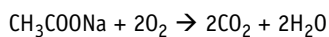
In de navolgende paragrafen wordt nader ingegaan op het gebruik van de C-bron en de toegepaste dosering. Tevens is de omrekening naar CZV vermeld.

4.8.1 TOEGEPASTE DOSERINGEN

Gedurende het onderzoek zijn verschillende doseringen toegepast, hetzij in de anaërobe tank hetzij in de nadenitrificatie en soms ook gelijktijdig in beide tanks.

De navolgende omrekening is gehanteerd:

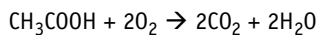
Natriumacetaat



50% oplossing: 1 liter Natriumacetaat = 395 gCZV

40% oplossing: 1 liter Natriumacetaat = 312 gCZV

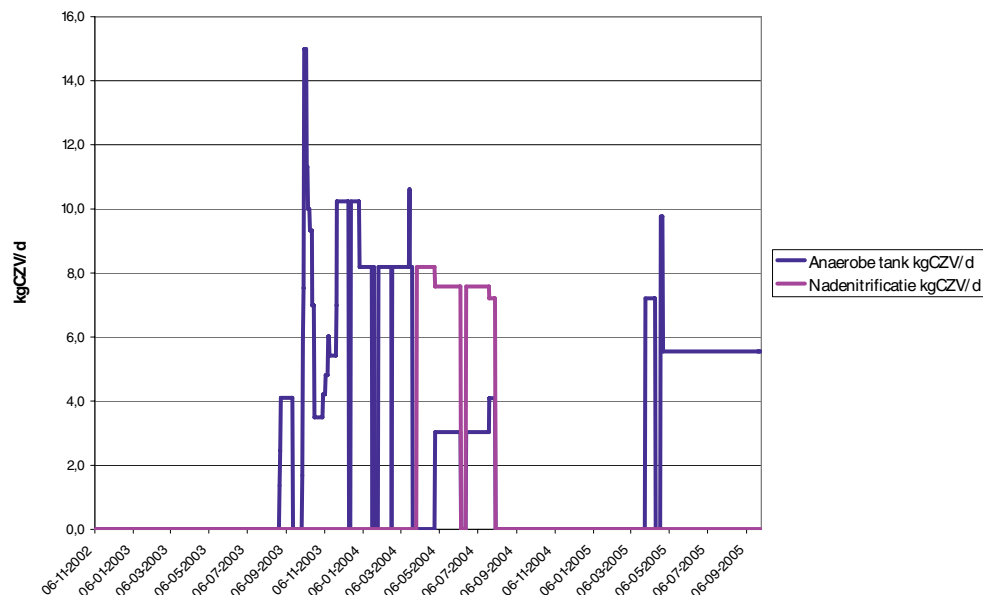
Azijnzuur



40% oplossing: 1 liter azijnzuur = 426 gCZV

Onderstaand is de dosering tijdens het onderzoek uitgedrukt in kgCZV/d weergegeven.

FIGUUR 23 C-BRON ONDERZOEK



Van belang is met name de constatering dat met een dosering van 5,5 kgCZV/d in periode 10 aan de doelstellingen voldaan kan worden. Het betreft hier een overdosering aangezien er geen regeling toegepast is en geen rekening wordt gehouden met de influentsamenstelling. Hoeveel C-bron daadwerkelijk benodigd is, is met het proefonderzoek niet goed vast te stellen. Een dosering van 5,5 kgCZV/d is relatief veel indien dit vergeleken wordt de CZV in het influent van gemiddeld van 15,6 kg/d in periode 10.

Het dilemma dat zich zal voordoen indien er daadwerkelijk een MTR effluentkwaliteit gehaald moet worden is, dat met behulp van FeCl_3 het door chemische evenwichten niet mogelijk zal zijn om een resultaat van circa 0,01 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$ te realiseren. Een dergelijk laag gehalte kan alleen biologisch met aanvullende C-bron worden bereikt. Normaliter bereikt een RWZI geen 0,01 mg $\text{PO}_4\text{-P/l}$ in het effluent. Maar dit is wel noodzakelijk vanwege de ongeveer 0,14 mgP/l die organisch gebonden is.

4.9 MICROSCOPISCH SLIBONDERZOEK

In mei 2004 is in periode 5 door TNO een slibmonster genomen uit de nitrificatie ruimte, van het uitgaande slib van de membraantank en van de drijfslag. In deze periode is al geruime tijd een dosering met C-bron toegepast. Het slib is als volgt beschreven:

Het slib bestaat voornamelijk uit open vlokken die door de groei van draadvormende bacteriën 'clusteren' tot grotere agglomeraten (zie afbeelding 5).

Wat opvalt, is de grote hoeveelheid monokolonies in het slib (kolonies die uit 1 soort bacterie bestaan). Er zijn drie typen monokolonies in het slib waargenomen:

- 1 bio-P kolonies: dit zijn clusters van bacteriën die positief reageren op de Neisser-kleuring. Het slib bevat redelijk veel van deze clusters, maar veel minder dan bijvoorbeeld het slib uit Maasbommel. Dit terwijl juist in Hilversum de P-verwijdering beter verloopt;
- 2 denitrificerende kolonies: dit zijn kolonies die sterk lijken op bio-P kolonies, maar ze kleuren negatief met Neisser;

- 3 'open' monokolonies. Dit zijn kolonies waarbij de bacteriecellen niet dicht op elkaar gestapeld zijn. De cellen zijn omgeven door een dikke slijm laag. Het slib bevat een aanzienlijke hoeveelheid van dit type monokolonie. In zijn algemeenheid duidt dit op een hoge slibbelasting en/of een tekort aan een bepaald nutriënt. Afbeelding 6 laat zowel een compacte monokolonie zien (bio-P of denitrificerend) als een kolonie met een dikke slijm laag.

De populatie draadvormende bacteriën is meer dan gemiddeld (FI = 3,5). De dominante draadvormer is Type 0803/0914: rechte draden zonder aangroei, duidelijk herkenbare septa, Gram-positief. Daarnaast komen Type 1851, Type 0092, *N.limicola*, *M.parvicella* en Type 021N voor. Het monster van de drijf laag op de voordennitrificatieruimte bevatte veel draden (FI = 4,5). Dit is een bekend verschijnsel.

Na dit onderzoek is ervoor gekozen om in periode 6 t/m 10 maandelijks microscopisch slibonderzoek uit te voeren.

Het aantal draadvormers of de filament index heeft gevarieerd van 1 t/m 3 over de onderzochte periode van 1 jaar, maar dit heeft niet tot operationele problemen geleid aangezien de proefinstallatie voorzien is van mixers met bovenblad waardoor een drijf laag direct wordt opgemengd. Er is altijd sprake geweest van meerdere typen draadvormende bacteriën waaronder actinomyces die in meer of mindere mate voorkomen. Een dominante draadvormer ontbreekt.

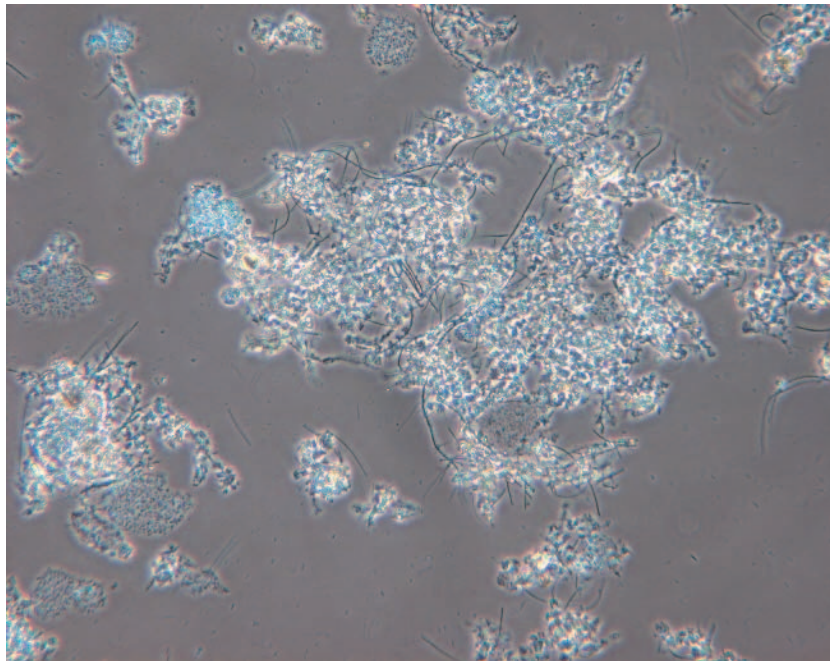
De vlokstructuur bestaat uit middelgrote tot grote compacte afgeronde vlokken. Losse cellen zijn beperkt aanwezig.

Er komen verschillende soorten wormen in het slib voor (Nais, Pristina, Aeolosoma). De populatie van deze wormen is nooit groot. De lage slibproductie kan niet aan de aanwezigheid van wormen worden toegeschreven.

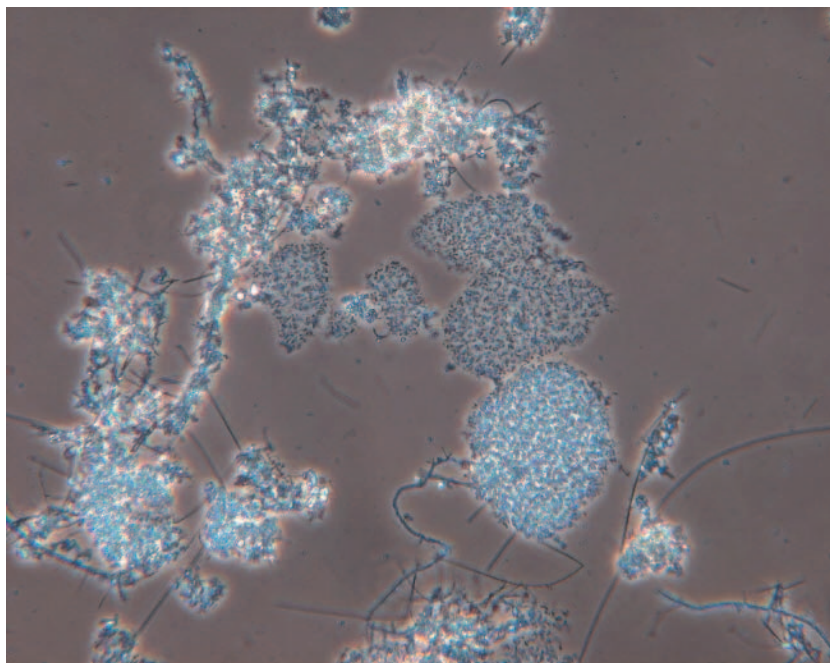
Tussen de verschillende perioden zijn wel beperkte verschillen in het slibbeeld aanwezig. Problemen voor de bedrijfsvoering betreffen drijf lagen op de onbeluchte zones en schuimproblemen op de beluchte delen; deze zijn tussen de perioden niet onderscheidend.

Er is in september 2003 één maal het slibbeeld bepaald van meerdere meetpunten, waaronder de membraantank. Het slibbeeld geeft ook voor de vlokstructuur overal hetzelfde beeld. In de membraantank wordt de vlokstructuur blijkbaar niet verstoord.

AFBEELDING 5 MICROSCOPISCH SLIBBEELD



AFBEELDING 6 MICROSCOPISCH SLIBBEELD



5

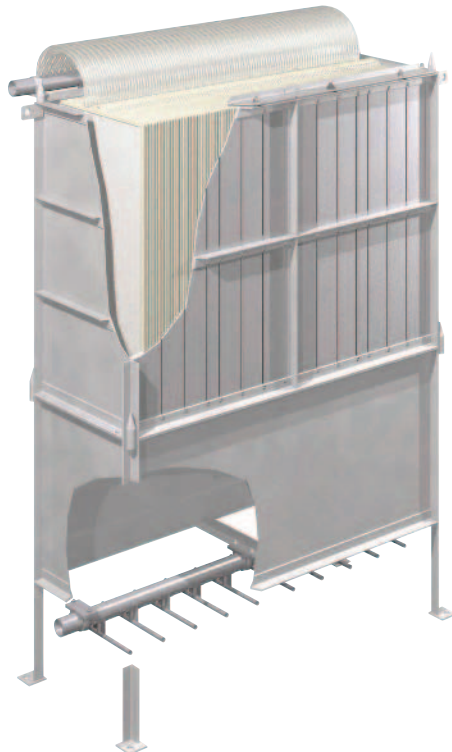
RESULTATEN MEMBRANEN

5.1 INLEIDING

Onderzoek naar de processturing van de membranen en de membraanwerking is beperkt uitgevoerd. De membraaninstallatie heeft gedurende de gehele onderzoek probleemloos gefunctioneerd.

In afbeelding 7 is een afbeelding te zien één toegepaste KUBOTA module. Er zijn twee stuks van deze units geplaatst met ieder 75 membraanplaten. Het betreft hier een microfiltratiesysteem.

AFBEELDING 7 OPSTELLING KUBOTA



Beschrijving membraaninstallatie

De membraaninstallatie bestaat uit twee units plaatmembranen type KUBOTA ES75 (enkeldek). Iedere plaat heeft een membraanoppervlak van $0,8 \text{ m}^2$.

In totaal zijn er 150 platen aanwezig met een totaal membraanoppervlak van 120 m^2 .

Specificaties:

Nominale poriëgrootte	400 nm
Breedte	490 mm
Hoogte	1000 mm
Dikte membraanpaneel	6 mm
Effectieve membraanoppervlak	0,8 m ²
Gewicht	3 kg
Aantal platen per unit	75
Aantal units	2
Materiaal membraan	Chlorinated polyethyleen

De membraaninstallatie bestaat op hoofdlijnen uit:

- membraantank met een natte inhoud van 11,7 m³,
- twee membraanunits met ieder 75 platen,
- luchtcompressor ten behoeve van de proceslucht voorziening ,
- membraanvoedingspomp ten behoeve van continue voeding en recirculatie van de biomassa,
- drie toevoerpunten van biomassa in de membraantank om een gelijkmatige verdeling van biomassa te garanderen,
- twee permeaatpompen,
- drogestofmeting en zuurstofmeting in de overloopleiding van de membraantank.

In afbeelding 8 is een detail foto opgenomen van de KUBOTA installatie

AFBEELDING 8 KUBOTA MODULE



5.1.1 FUNCTIONELE BESCHRIJVING KUBOTA INSTALLATIE

De membraanmodulen zijn elk afzonderlijk voorzien van een persluchtvoorziening. Onderin de module bevindt zich een luchtverdelingssysteem waardoor een cross flow over het membraanoppervlak wordt bewerkstelligd. Het debiet van de proceslucht is tijdens permeaatonttrekking 45 m³/h.

De membraanunits kunnen bij toerbeurt worden bedreven. Op deze wijze is het mogelijk om met de installatie zowel DWA als RWA te kunnen verwerken.

In tabel 21 zijn de ontwerp netto fluxen van de modules bij DWA en RWA weergegeven.

TABEL 21 NETTO FLUXEN MEMBRAANUNIT

	influentdebiet m ³ /h	flux (l/m ² .h)
RWA	5	42
DWA gemiddeld	1,5	12,5

Indien een module uit bedrijf is wordt overgeschakeld naar een puls/pauze bedrijf van de beluchting van de module. Op deze wijze wordt de biomassa in de module ververst. Per luchtverdelingsysteem onder de membraanunit is een spoelafsluiter geïnstalleerd om het luchtverdelingsysteem regelmatig te reinigen.

De permeaatonttrekking is gekoppeld aan de niveauregeling in de nadenitrificatietank. Het niveau wordt binnen een bandbreedte constant gehouden.

De permeaatonttrekking is discontinu. Dit betekent dat de permeaatpompen een procestijd en een relaxatietijd kennen. Deze zijn vrij instelbaar. Er is gekozen voor een procestijd van 8 minuten en een relaxatieperiode van 2 minuten. De membraanmodules functioneren op basis van toerbeurt behalve bij RWA waarbij beide modules zijn ingeschakeld. Er is voor gekozen om de modules om de twee uur te laten wisselen. De membraanvoedingspomp draait op een vast recirculatie debiet van minimaal 3 en maximaal 5 maal het netto permeaatdebiet.

Tijdens periode 1 is met een variabel DWA-influentdebiet gedraaid volgens een vooraf vastgesteld DWA aanvoerpatroon. De permeaatpompen zijn daarbij volgens tabel 22 geregeld. Er is gekozen voor een maximale netto DWA flux van 26,7 l/m².h per module.

TABEL 22 FLUXREGELING PERMEAAT POMPEN

per unit 60 m ² membraanoppervlak					
8 minuten puls 2 minuten pauze					
nettomax 27l/m ² .h per unit			1-unit	2-units	aantal units
van uur	tot uur	DWA patroon Influent l/h	netto flux l/m ² .h	netto flux l/m ² .h	in bedrijf
0	1	1100	18,3	9,2	1
1	2	900	15,0	7,5	1
2	3	700	11,7	5,8	1
3	4	600	10,0	5,0	1
4	5	500	8,3	4,2	1
5	6	500	8,3	4,2	1
6	7	700	11,7	5,8	1
7	8	1100	18,3	9,2	1
8	9	1700	28,3	14,2	2
9	10	2200	36,7	18,3	2
10	11	2500	41,7	20,8	2
11	12	2500	41,7	20,8	2
12	13	2000	33,3	16,7	2

13	14	2000	33,3	16,7	2
14	15	1900	31,7	15,8	2
15	16	1700	28,3	14,2	2
16	17	1600	26,7	13,3	1
17	18	1600	26,7	13,3	1
18	19	1800	30,0	15,0	2
19	20	1900	31,7	15,8	2
20	21	2000	33,3	16,7	2
21	22	1900	31,7	15,8	2
22	23	1600	26,7	13,3	1
23	24	1300	21,7	10,8	1

De gevolgde procesregeling is gemarkeerd.

In periode 2 t/m 10 is vanaf op 15 augustus 2003 een vast DWA-debiet tussen 1,2 en 2 m³/h gekozen (zie tabel 23). Bij een influentdebiet van 1,2 en 1,5 m³/h is steeds één module in wisselbedrijf in bedrijf geweest en bij 2 m³/h zijn continu twee modules in bedrijf geweest.

TABEL 23 FLUXEN DWA MET VAST DEBIET

perioden met vast debiet		
DWA debiet	1-unit netto flux	2-units netto flux
m ³ /h	l/m ² .h	l/m ² .h
1200	20,0	
1500	25,0	
2000		16,7

5.1.2 OMBOUW MEMBRAANTANK

Eind december 2004 is de membraantank omgebouwd.

Om slibmineralisatie in de membraantank zoveel mogelijk te voorkomen is de inhoud sterk verkleind. De modules zijn als het ware “strak in het pak” geplaatst. Was er sprake van één tank met daarin twee modules, nu zijn er na ombouw twee tanks met iedere één module. Deze twee tanks zijn volledig van elkaar gescheiden. Het natte volume was voor ombouw 11,7 m³. Na ombouw is dit twee maal 1,5 m³, totaal 3 m³ inhoud. Tijdens bedrijf wordt er dus slecht 1,5 m³ belucht in plaats van 11,7 m³.

De beluchting van de membranen en de relaxatietijden zijn ongewijzigd. De tank die uit bedrijf staat als gevolg van het wisselbedrijf krijgt om de 10 minuten gedurende 2 minuten 45 m³lucht/h. Het wisselbedrijf is aangepast en nu om het uur in plaats van om de twee uur. De tank die uit bedrijf is, wordt niet doorstroomd om zo slibophoping te voorkomen. Het slib blijft gedurende dat uur in de tank staan. De beluchting dient om anaërobie en bezinking in deze uit bedrijf zijnde membraanunit te voorkomen.

In afbeelding 9 is een foto opgenomen waarop de modules “strak in het pak” zijn te zien.

AFBEELDING 9 KUBOTA MODULES "STRAK IN HET PAK"



Op de afbeelding zijn twee modules te zien, die geheel van elkaar gescheiden zijn. De modules zijn rondom en aan de onderzijde dichtgemaakt.

5.2 TEMPERATUURCORRECTIE

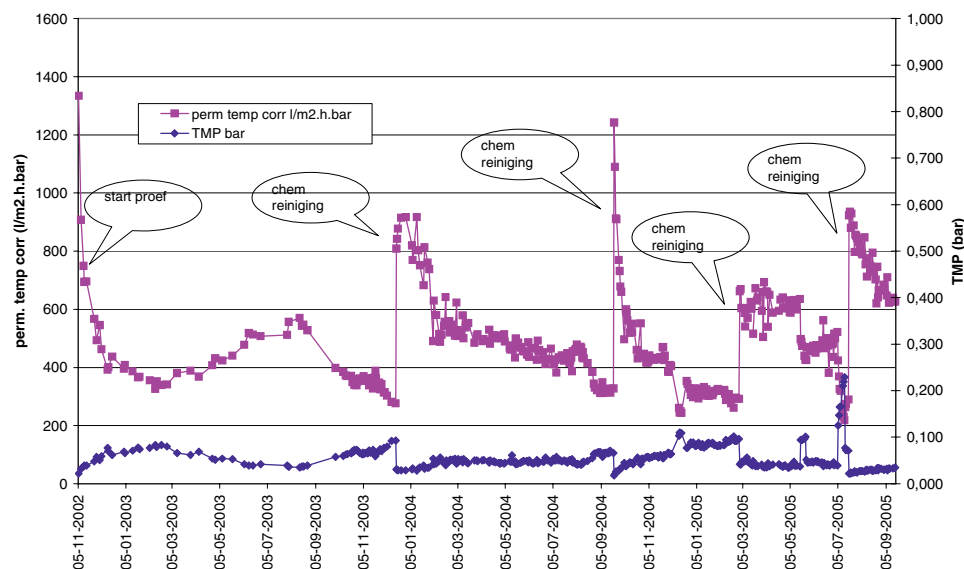
De permeabiliteit is volgens de methode Gunder naar een temperatuur van 15°C gecorrigeerd.

$$\text{Temp gecorrigeerde permeabiliteit} = \frac{\text{gemeten permeabiliteit} * ((0,0006 * (T_{\text{actueel}} * T_{\text{actueel}})) - (0,0517 T_{\text{actueel}}) + 1,9285)}{((0,0006 * (T_{15} * T_{15})) - (0,0517 T_{15}) + 1,9285)}$$

5.3 VERLOOP PERMEABILITEIT

Het volledige verloop van de permeabiliteit en de transmembraandruk (TMP) van november 2002 t/m september 2005 is in figuur 24 opgenomen. Zoals eerder is aangegeven, is de membraantank eind december 2004 gewijzigd en is de procesvoering aangepast.

FIGUUR 24 PERMEABILITEIT MODULE 1.



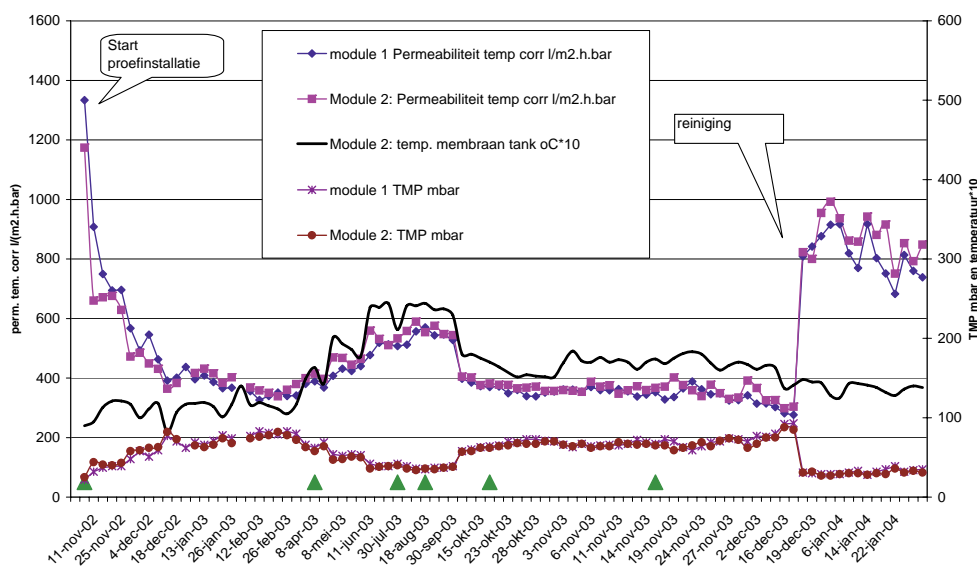
Het verloop van module 2 wordt niet gegeven, aangezien dat nagenoeg identiek is. Het verloop van de permeabiliteit wordt door een aantal zaken gekenmerkt.

5.3.1 STIJGING PERMEABILITEIT (OKTOBER 2002 T/M DECEMBER 2003)

Vanaf de opstart in oktober 2002 tot februari 2003 neemt de permeabiliteit af tot minder dan 400 l/(m².h.bar). Daarbij hebben de membranen door omstandigheden begin januari 2003 enkele dagen bij een watertemperatuur van 0 °C gefunctioneerd zonder merkbare problemen. Na deze periode stijgt de permeabiliteit zonder dat reiniging is toegepast tot in augustus 2003 een waarde van circa 600 l/(m².h.bar) bereikt is. Begin augustus 2003 daalt de permeabiliteit weer tot in december 2003 de permeabiliteit gedaald is tot circa 300 l/(m².h.bar) en de membranen gereinigd zijn. Direct na reiniging stijgt de permeabiliteit tot circa 1000 l/(m².h.bar) om daarna te dalen tot een waarde van circa 450 – 500 l/(m².h.bar) in juli 2004. Het verloop is niet eenvoudig te duiden. De afname van oktober 2002 tot februari 2003 zal normale vervuiling betreffen. De daling is overigens wel sneller dan werd verwacht.

In figuur 25 (permeabiliteit is temperatuurgecorrigeerd) is dit weergegeven. De wijzigingen van procescondities van de tabel 24 zijn aangegeven. De grafiek, met daarin de gemiddelde permeabiliteit en gemiddelde TMP van de twee modules opgenomen, loopt van 5 november 2002 t/m juni 2004.

FIGUUR 25 PERMEABILITEIT 2002 T/M JUNI 2004



TABEL 24 PROCESINSTELLINGEN

procesinstellingen module 1 en 2	
01-11-2002	Debiet DWA curve max 2,5 m ³ /h
21-03-2003	Debiet DWA curva max 1,8 m ³ /h
03-07-2003	Debiet DWA curva max 2,5 m ³ /h
15-08-2003	Van DWA patroon naar vast debiet 2,0 m ³ /h
17-10-2003	Debiet verlaagd van 2,0 naar 1,2 m ³ /h constant debiet
14-11-2003	Debiet verhoogd van 1,2 naar 1,5 m ³ /h constant debiet

De verbetering van de flux vanaf 21 maart lijkt samen te hangen met de verlaagde maximale en ook lagere gemiddelde flux. De modules functioneren in wisselbedrijf.

De hogere flux vanaf 15 augustus 2003 horende bij een vast DWA debiet van 2 m³/h en het verlaten van het wisselbedrijf lijkt samen te vallen met een daling van de permeabiliteit. Er zijn twee modules permanent in bedrijf met alleen relaxatie.

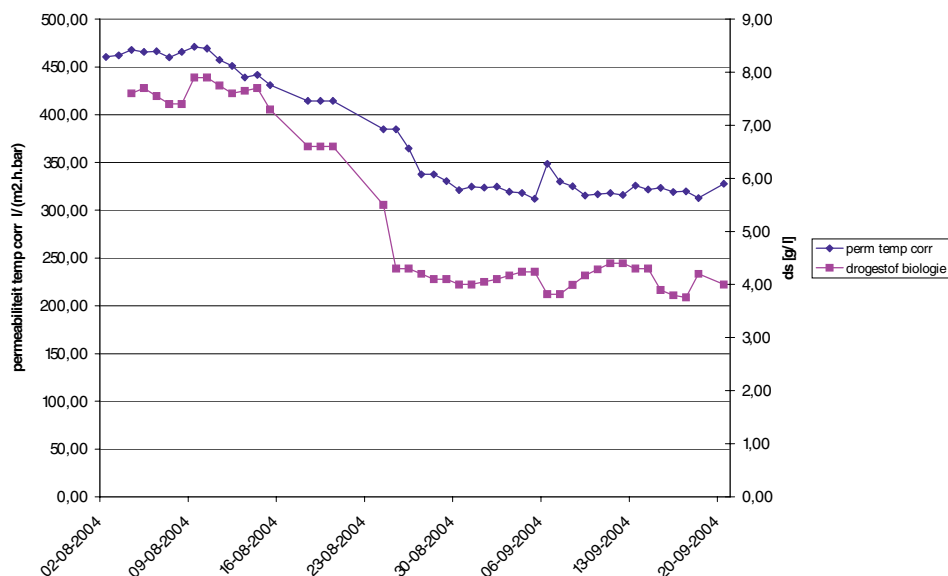
De permeabiliteit volgt ook de watertemperatuur. De relatie met de watertemperatuur wordt echter in het verdere onderzoek niet meer aangetroffen. Mogelijk is hier sprake is van een toevallige samenloop.

Waarschijnlijk geeft een wisselbedrijf betere resultaten. Hoe lager de flux hoe beter voor de membranen. Dit op zich is niet wereldschokkend. Niet alleen relaxatie maar ook daadwerkelijke rust van in dit geval twee uur lijkt van belang.

5.3.2 SNELLE VERLAGING DROGESTOFCONCENTRATIE

In periode 6 is te zien wat het effect is geweest van min of meer gelijktijdig uitzetten van de overmatige acetaatdosering en halvering van het slibgehalte. De permeabiliteit daalt in drie weken van circa 450 l/m².h.bar naar circa 320 l/m².h.bar. Daarna is een reiniging uitgevoerd. In figuur 26 is deze periode te zien. De belangrijkste lering hier is dat de biologie zo weinig mogelijk onder wisselende condities moet worden bedreven om problemen met de membraaninstallatie te voorkomen.

FIGUUR 26 PERIODE 6 VERLAGING DROGESTOF



5.3.3 OMBOUW MODULES (SEPTEMBER 2004 T/M FEBRUARI 2005)

In figuur 27 zijn periode 8 en 9 opgenomen. In periode 8 is de membraantank omgebouwd en aansluitend zijn experimenten uitgevoerd met de luchthoeveelheid en de recirculatieverhouding over de membraantank.

Er zijn twee ombouw perioden geweest. Begin en midden december 2005. In figuur 27 is de laatste ombouw aangegeven. Na de eerste ombouw is vastgesteld dat de aangepaste membraantanks een lek waren. Tijdens de tweede ombouw is dat verholpen.

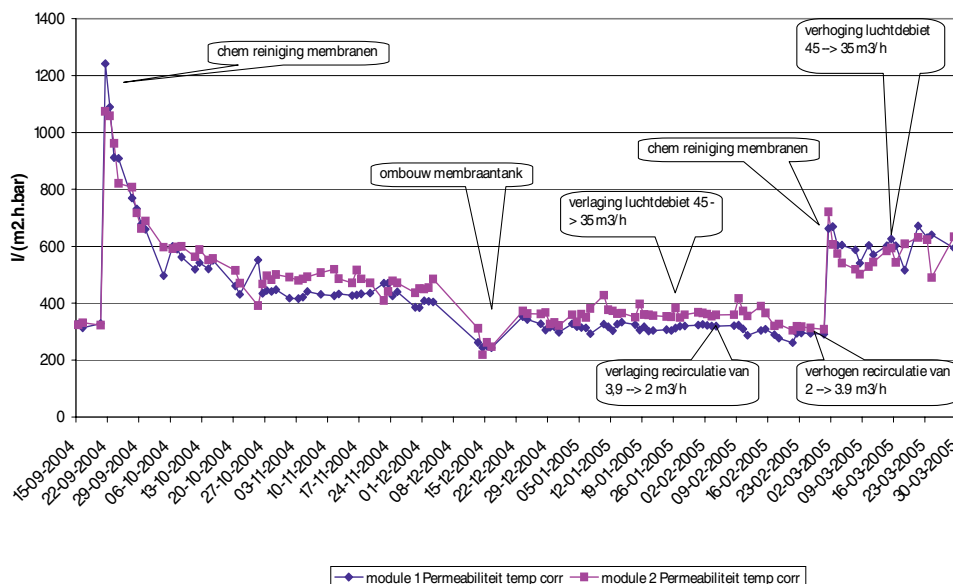
Nadat is vastgesteld dat het functioneren van de membranen niet negatief beïnvloed is door de ombouw is onderzocht of de membranen bij een procesvoering met minder lucht en een lagere recirculatieverhouding konden functioneren.

In figuur 27 is aangegeven wanneer welke wijziging is doorgevoerd.

De algemene indruk is dat minder lucht kansrijk is aangezien de permeabiliteit na verlaging van de luchthoeveelheid stabiel blijft. De lage recirculatieverhouding leidde tot een drogestof in de membraantank hoger dan 25 gds/l en een daling van de permeabiliteit. Uit visuele inspectie bleek dat zich op de platen slib had afgezet. De permeabiliteit kwam ook niet helemaal terug na reiniging op 28 februari 2005. Het is denkbaar dat dit met de ontstane afzetting te maken heeft.

Besloten is om na reiniging terug te gaan naar normaal bedrijf en te starten met wederom het doseren van een C-bron.

FIGUUR 27 PERMEABILITEIT IN PERIODE 8 EN 9



5.3.4 RWA DUURTESTEN (MAART 2005 T/M AUGUSTUS 2005)

In mei en juli 2005 zijn RWA simulatietesten uitgevoerd. Deze worden aangeduid als RWA test 1 en 2. Dit komt voort uit de eis van het ontwerp van de full scale RWZI Hilversum dat de membraaninstallatie 7 dagen lang RWA aanvoer bij 5 °C aan moet kunnen.

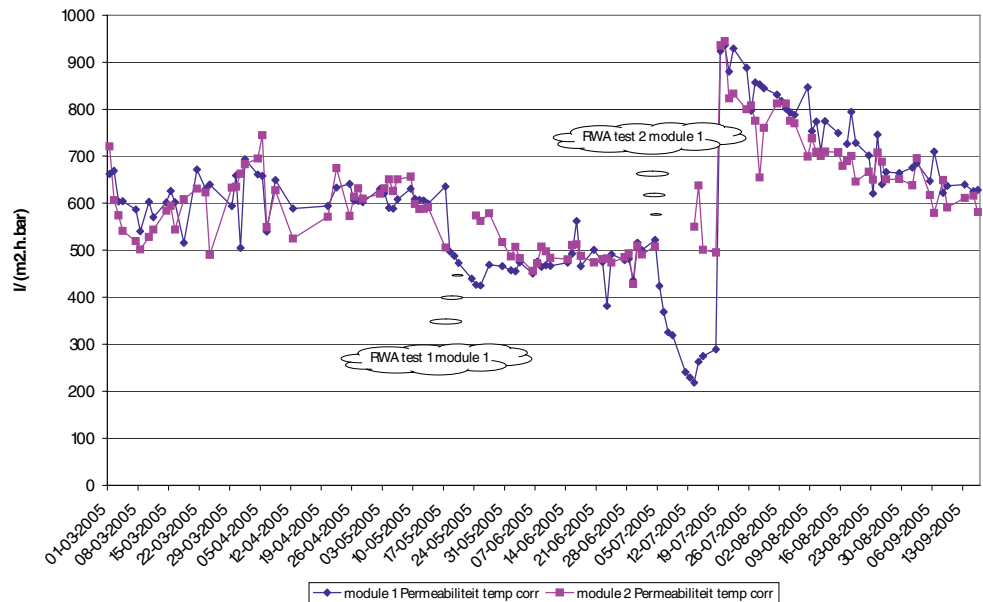
De eerste test is gedurende 6 dagen en de volgende test gedurende 7 dagen uitgevoerd. Beide testen zijn met de zelfde module uitgevoerd. Tussentijds is geen reiniging uitgevoerd. De watertemperatuur was 20 °C.

Om de test mogelijk te maken is permeaat gerecirculeerd over de toevoerpomp van de biologie. De verhouding is zo gekozen dat de slibbelasting ongewijzigd bleef. Vanwege praktische overwegingen is besloten met module 1 RWA-testen uit te voeren. Module 2 was tijdens RWA-test 1 uitgezet en kreeg om de 10 minuten 2 minuten lang 45 m³/h lucht. Tijdens RWA-test 2 is de module 2 die uit bedrijf was, leeggezet en met water gevuld. De reden hiervoor was de visuele vaststelling bij inspectie van de membraanplaten dat het periodiek beluchten bij de uit bedrijf zijnde module bij RWA-test 1 tot kalkafzetting op de membraanplaat leidde. In de figuur 28 is dat ook te zien; er is als gevolg van de kalkafzetting geen verschil in permeabiliteit na test 1 tussen de beide modules.

Bij RWA-test 1 is een netto flux van 40 l/(m².h) ingesteld. (3,2 maal DWA)

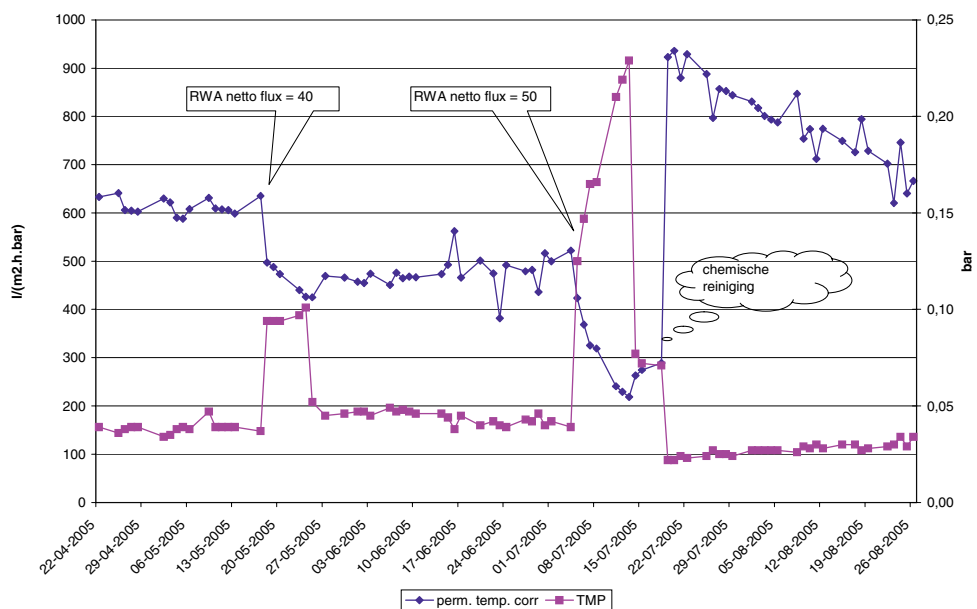
Bij RWA-test 2 is een netto flux van 50 l/(m².h) ingesteld. (4,0 maal DWA)

FIGUUR 28 VERLOOP PERMEABILITEIT IN PERIODE 10



In figuur 29 zijn de RWA testen voor module 1 meer in detail weergegeven.

FIGUUR 29 PERIODE 10 RWA TESTEN



De module blijkt bij beide testen een langdurige hoge flux aan te kunnen. Bij een netto flux van 40 l/(m².h) stabiliseert de druk zich op circa 100 mbar. Bij een netto flux van 50 l/(m².h) is dit niet het geval en ontstaat geen stabilisatie. Na chemische reiniging komt de permeabiliteit van de module weer volledig terug. Natuurlijk geeft dit geen zekerheid over het gedrag bij 5°C, maar is wel indicatief daarvoor. In ieder geval is aangetoond dat langdurig hoge fluxen mogelijk zijn. Bij 20°C is gedurende een of meerdere dagen een netto flux van 50 l/(m².h) mogelijk. Het is denkbaar dat in combinatie met verhoging van de luchthoeveelheid na de RWA periode de permeabiliteit zich sneller zal herstellen. Begin 2005 is hiermee beperkte ervaring opgedaan na ombouw van de membranen. Het blijkt dat meer lucht positief werkt op herstel van permeabiliteit.

5.4 VOUWEN OP DE MEMBRANEN

Tijdens de eerste visuele inspectie in februari 2003 is opgemerkt dat er op de doeken vouwen aanwezig zijn. Deze vouwen zijn aan beide zijden gevonden en liepen zonder vast patroon over het oppervlak. De oorzaak ligt in de fabricage van de membraanplaten. In afbeelding 10 is een voorbeeld te zien. Tot op heden is daarvan geen hinder ondervonden.

AFBEELDING 10 VOUW IN MEMBRAANPLAAT



5.5 REINIGING MEMBRANEN

De modules zijn vier maal chemisch gereinigd. In december 2003 is het eerste reinigingsmoment geweest. De membraaninstallatie is op dat moment 15 maanden onafgebroken in bedrijf geweest. Voorafgaand aan de reiniging is de staat van de membranen beoordeeld. Hierbij bleek dat de ruimte tussen de buitenste platen vol zat met slib. De overige platen waren redelijk schoon. Afzetting op de platen was beperkt aanwezig. Dit beeld is gelijk tijdens de andere reinigingen. Een uitzondering vormt de reiniging tijdens een sterk verlaagde recirculatieverhouding over de membraantank. Er was toen wel slibafzetting op de platen te zien. Inspectie van de omgebouwde module leert dat alle platen en dus ook de buitenste schoon zijn. Het stroming- en beluchtingbeeld zijn na ombouw duidelijk verbeterd door de modules “strak in het pak” te zetten.

De reinigingen zijn uitgevoerd met natriumhypochloriet gevolgd door oxaalzuur. De tank bleef tijdens reiniging gevuld met slib. De gebruikte concentraties van toegepaste chemicalien zijn:

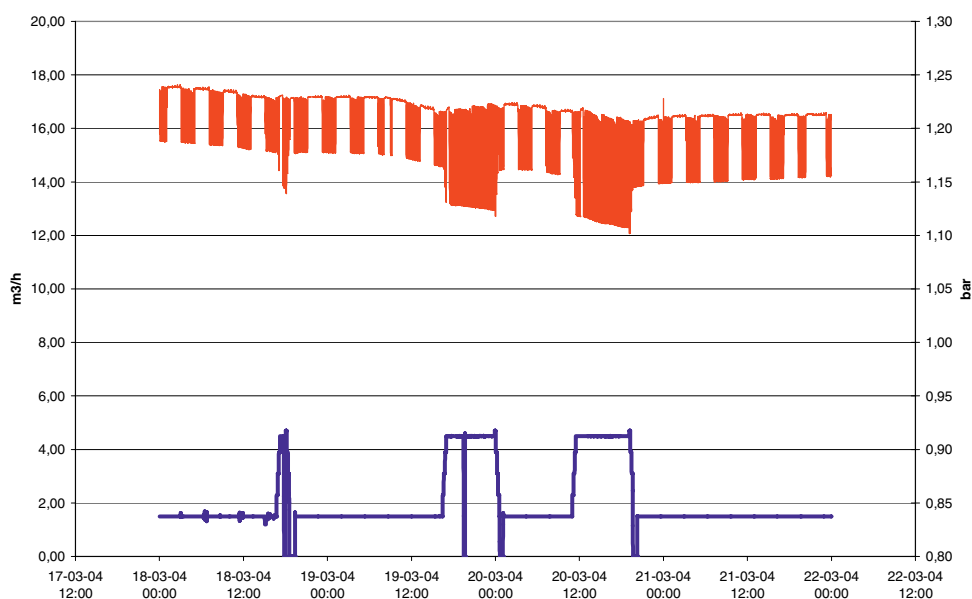
- Natriumhypochloriet 15% oplossing: doseerconcentratie 0,5%, inweektijd 2 uur.
- Oxaalzuur 100%: doseerconcentratie was 0,5%, inweektijd 2 uur.

5.6 GEDRAG BIJ RWA AANVOER

In figuur 30 is het verloop van de zuigdruk bij normale RWA-aanvoer weergegeven. Na RWA zakt de zuigdruk naar ongeveer het oorspronkelijke niveau. Het herstel gaat langzaam en is niet volledig.

Weergegeven zijn het debiet van de voedingspomp van de biologie en de zuigdruk van module 1. Tijdens regenweer stijgt het debiet naar $4,5 \text{ m}^3/\text{h}$.

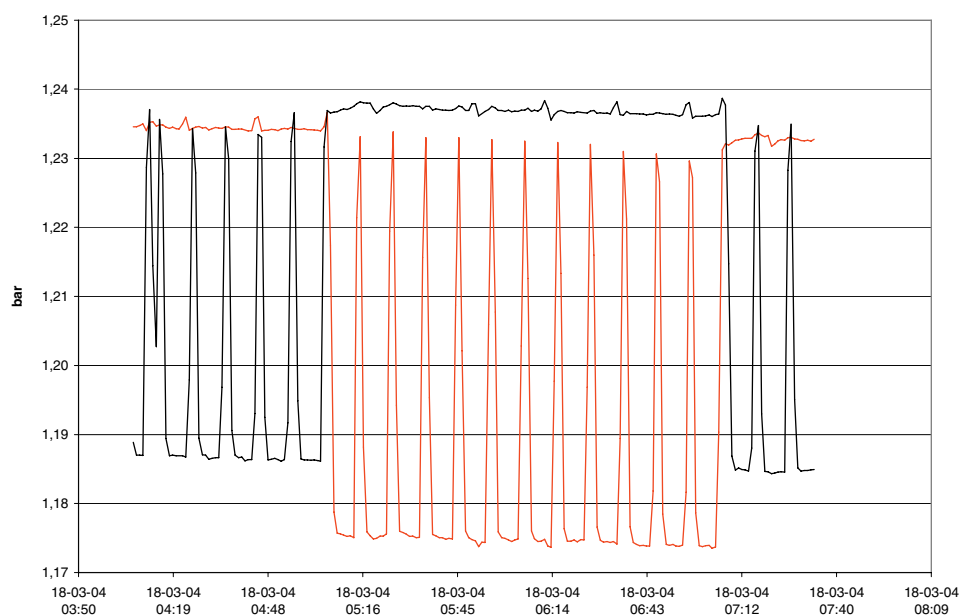
FIGUUR 30 ZUIGDRUK MEMBRANEN TIJDENS RWA (18 T/M 22 MAART 2004)



In figuur 31 is te zien is hoe tijdens DWA het wisselbedrijf omschakeling om de twee uur en de relaxatie verloopt. De drukken van de modules zijn niet gelijk. Vermoedelijk heeft dit met een onderlinge afwijking tussen de meters te maken.

Na opstart van de proefinstallatie in november 2002 werd geconstateerd dat er een te snelle drukopbouw plaatsvond en dat de zuigdruk als het ware “doorschoot”. Dit is daarna aangepast hetgeen resulteert in een zodanige aansturing van de permeaatpompen dat er geen plotselinge drukopbouw meer plaatsvindt.

FIGUUR 31 DRUKOPBOUW MODULES



6

RESULTATEN MICROVERONTREINIGINGEN

PERMEAAT

6.1 METINGEN MICROVERONTREINIGINGEN

In juni en juli 2003 zijn een aantal metingen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de gehalten zware metalen en E-coli in het permeaat. Alleen koper en zink komen boven de detectiewaarde uit. Vergelijking met de RWZI Hilversum heeft beperkte waarde vanwege het feit dat dit een oxidatiebedden systeem betreft. Ter illustratie zijn onderstaand de meetresultaten van de RWZI Hilversum vermeld over 2003. De MBR heeft geen aantoonbare meerwaarde voor de verwijdering van zware metalen. Het E-coli gehalte is zoals verwacht kan worden na de membraanscheiding nul kolonie vormende eenheden per ml.

TABEL 25 PROEFINSTALLATIE EN RWZI HILVERSUM

Permeaat	As	Cd	Hg	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	EOX ug/l	Ecoli's
Eenheid	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	ug/l	/ml
MTR oppervlakte-water	25	0,4	0,2	18,7	1,5	11	5,1	9,4		
Proef-installatie										
29-07-03	<0,73	<0,24	0,02	<0,7	18,9	<7,0	<3,0	61,8	0,56	
08-07-03	<0,73	<0,24	<0,01	<0,7	18,6	<7,0	4	129	<0,50	0
14-07-03	<0,73	<0,24	<0,01	<0,7	20,9	<7,0	3,6	78,1	0,62	0
20-07-03	<0,73	<0,24	<0,01	<0,7	20,2	<7,0	<3,0	56,4	0,52	0
rwzi										
12-01-2003				1,2	25,3	<7,0	7,6	72,8		
17-02-2003				1,1	21,7	<7,0	10,8	57,2		
25-03-2003				1,3	22,4	<7,0	9,5	45,2		
30-04-2003				0,8	13,4	<7,0	10	52,1		
24-05-2003				<0,7	23,4	<7,0	5,4	107		
23-06-2003				<0,7	9,5	<7,0	12,2	44,7		
23-07-2003				<0,7	11,9	<7,0	15,1	48,1		
22-08-2003				<0,7	10,4	<7,0	14,4	43,4		
21-09-2003				1,5	10,4	<7,0	<3,0	36,1		
21-10-2003				<0,7	18,8	<7,0	9	44		
20-11-2003				1,4	21,4	<7,0	13,3	60,2		
20-12-2003				1,5	20,4	<7,0	9,6	95,8		

In bijlage 2 zijn tabellen opgenomen met aanvullende metingen in het permeaat van de proefinstallatie.

7

EXPLOITATIEKOSTEN

De exploitatiekosten van de proefinstallatie zijn niet bruikbaar voor de nieuwe RWZI Hilversum. De redenen zijn onderstaand vermeld. Alleen indicatieve exploitatie resultaten zijn af te leiden.

7.1 ENERGIEVERBRUIK

Er is van de proefinstallatie geen energieverbruik af te leiden voor de nieuwe RWZI Hilversum. Dit vanwege de te grote capaciteit van de compressor. Er moet bijvoorbeeld lucht worden afgeblazen vanwege koelingsproblemen van de compressormotor.

Op basis van de onderzoeksresultaten is te voorspellen dat het totaal energieverbruik van de nieuwe RWZI Hilversum lager zal zijn dan verwacht. Dit heeft twee redenen.

- 1 De biologie zal op een laag drogestofgehalte worden bedreven. De zuurstofoverdracht zal daardoor beter zijn dan bij een slibgehalte van 10 gds/l zoals bij MBR installaties gebruikelijk is. Het lage drogestofgehalte wordt door twee factoren bepaald.
 - Het bleek niet haalbaar om bij een gehalte van 10 gds/l in combinatie met 6 meter diepe beluchtingstanks voldoende beluchtingselementen op de bodem van de diepe tanks te plaatsen. Het ontwerp van de nieuwe RWZI gaat heeft derhalve een ontwerp drogestofgehalte 7,8 gds/l bij een slibbelasting van 0,044 kgBZV/(kgds.d).
 - Verwacht wordt dat door de aanzienlijke verwijdering van zeefgoed en daarmee gepaard gaande hogere slibleeftijd de installatie op een andere slibbelasting bedreven dient te worden dan berekend. Dit betekent dat op basis van de proefresultaten de RWZI opgestart zal worden met een slibbelasting van circa 0,063 kgBZV/(kgds.d) hetgeen hoger is dan het ontwerp. Hierbij hoort een slibgehalte van 5,5 gds/l.
- 2 Uit de resultaten blijkt dat bij KUBOTA plaatmembranen er mogelijkheden zijn om de beluchting te optimaliseren.

7.2 SLIBVERWERKINGSKOSTEN

7.2.1 SLIBPRODUCTIE

De productie van secundair slib en verwerkingskosten zullen lager zijn dan wat conventioneel gebruikelijk is. Dit betekent een aanmerkelijke kostenbesparing.

Omgerekend naar de RWZI Hilversum betekent dit dat de verwachte 3000 kgds/d (33 gds/ie₁₃₆) slibproductie maximaal 2000 kgds/d (22 gds/ie₁₃₆) en mogelijk minder zal zijn.

7.2.2 ZEEFgoedVERWERKING

De zeefgoedproductie neemt sterk toe ten opzichte van een conventionele RWZI. In de proefinstallatie is bij een aanvoer van 440 m³/d circa 0,134 m³/d zeefgoed geproduceerd met circa 32% drogestof.

Voor de nieuwe RWZI betekent dit $10.000 \text{ m}^3/\text{d} / 440 * 0,134 = 3,05 \text{ m}^3/\text{dag}$. Dit is circa 1000 kgds/d.

De kosten voor afvoer zullen hoger uitvallen dan bij een conventionele RWZI. De zeefgoedafvoer van de huidige RWZI Hilversum met een roosterhark van 8 mm spleetwijdte is circa 0,5 m³/dag nat product.

7.3 C-BRON VERBRUIK

Om MTR effluentkwaliteit te bereiken is een C-bron noodzakelijk. Daarmee kan zowel fosfaat als stikstof tot MTR-niveau worden verwijderd.

In de proefinstallatie is in het begin natriumacetaat (40%) gebruikt. Later is dit vervangen door azijnzuur (40%). Op basis van azijnzuur is een verbruik vastgesteld.

In de proefinstallatie is 450 ml/h azijnzuur (40%) bij een influentdebiet van 1,5 m³/h gedoseerd (buiten rapportage verlaagde dosering van november 2005 t/m januari 2006). Omgerekend naar 10.000 m³/d voor de nieuwe RWZI betekent dit 1,7 m³/d azijnzuur (70%). Aangezien de dosering niet geregeld wordt betreft het nog steeds een overdosering.

Uitgaande van een prijsniveau van 350,- per m³ azijnzuur (70%) komt dit overeen met 220.000,- op jaarbasis. De slibaanwas is afhankelijk van de yield bij de toepassing van azijnzuur. De extra kosten hiervan zijn niet berekend.

Bij uitsluitend toepassen van FeCl₃ wordt (waarschijnlijk) geen MTR voor fosfaat gehaald en zal er methanol gedoseerd moeten worden om het nitraat te verwijderen.

Toepassing van bijvoorbeeld azijnzuur in de anaëroebetank zal daarnaast noodzakelijk blijven.

Hoe de virtuele driehoek azijnzuur (of alternatieve en goedkopere C-bron), FeCl₃ en methanol geoptimaliseerd moet worden is vooralsnog niet duidelijk. Daardoor is ook het kostenniveau niet te geven.

8

DISCUSSIE

8.1 DISCUSSIE FIJNZEEF

De werking van de fijnzeef is gedurende het gehele onderzoek problematisch gebleken. Ervaringen elders zoals de awzi de Schilde van Aquafin in België en Klärwerk Nordkanal van het Erftverband in Duitsland waar vergelijkbare HUBER zeven worden toegepast geven een soortgelijk beeld. Door recente aanpassingen is de fijnzeef van HUBER op kritische aspecten sterk verbeterd. Het reinigingsprobleem van vooral vet en vastzittend zeefgoed behoort tot het verleden. Een hoog waterverbruik en hoge druk (100 bar) om de fijnzeef functioneel te houden zijn nog wel steeds noodzakelijk. Voor de nieuwe RWZI is verwarming van het spoeiwat mogelijk. Op deze wijze kan de werking gegarandeerd worden.

Het probleem met lekstromen door de afdichting heen tussen schone en vuile waterkant is nog niet volledig opgelost. Er is wel een aanzienlijke verbetering bereikt ten opzichte van de eerste generatie met borstelafdichtingen, die niet naar behoren functioneerde.

Een aspect dat niet onderzocht kon worden is de ruimercapaciteit van de fijnzeef. Het blijkt uit ervaringen elders dat tijdens RWA-aanvoer –de first flush- de zeven de aanvoer van vuil niet kunnen verwerken. Voor de nieuwe RWZI Hilversum wordt extra aandacht besteed aan de ruimcapaciteit.

Een interessant en vooraf niet verwacht aspect is de enorme hoeveelheid zeefgoed die verwijderd wordt. Hoeveel dit is, is afhankelijk van het type zeef. Het rooster met spleetjes met een onderlinge spleetafstand van 0,5 mm en een spleetlengte van meer dan 1 cm die de eerste periode van het onderzoek is toegepast had een factor 3 lagere productie dan de zeef met gaas met een maaswijdte van 0,5 mm. Visueel is vastgesteld dat vooral papier en haar wordt afgevangen. Deze papiermassa laat zich ontwateren (persen) tot meer dan 32% drogestof. Dit opent een aantal perspectieven. Ervan uitgaande dat papier voor een belangrijk deel uit niet afbreekbare cellulose bestaat wordt op deze wijze voorkomen dat deze inerte fractie deel van de biomassa gaat uitmaken. De effectiviteit van de biomassa wordt daarmee verhoogd en ook de gehele slibverwerking wordt ontlast door het wegnemen van deze inerte fractie. Dit betekent dat met een hogere slibbelasting hetzelfde resultaat bereikt kan worden. Het effect is niet te onderschatten. In dit onderzoek blijkt dat 30% of meer van de normale slibaanwas met het zeefgoed verwijderd wordt. Ook voor conventionele RWZI's die biologisch capaciteitsproblemen hebben kan toepassing van een fijnzeef een oplossing zijn.

De dimensioneringsmethode zoals HSA maar ook modelleringsprogramma's zoals SIMBA moeten vermoedelijk gecorrigeerd worden voor het lagere aandeel inerte fractie in de toevoer.

Het effect door de vergaande verwijdering van zeefgoed op de SVI en de vlokstructuur is een aandachtspunt. Tijdens het onderzoek was de SVI lager dan 130 ml/g en de permeabiliteit is tot op heden normaal.

De hoeveelheid CZV, BZV en zwevende stof die met de zeef verwijderd worden, zijn beperkt. In de proefinstallatie was dit niet correct vast te stellen. Er is een schatting gemaakt van het rendement. Het meest waarschijnlijk is 10% - 20%. Het rendement voor stikstof en fosfaat is nihil.

De verwerkingswijze of afzetmogelijkheden van dit zeefgoed zijn niet uitgebreid onderzocht. Hergebruik als papier is niet mogelijk vanwege de te geringe vezellengte.

8.2 DISCUSSIE BIOLOGIE

Tijdens het onderzoek is veel aandacht besteed aan de wisselwerking tussen de biologie en de membraantanks. Deze bleek groter dan was verwacht. De slibbelasting wordt normaliter laag gekozen ten behoeve van de endogene denitrificatie. Er is een aanzienlijke hoeveelheid opgelost organisch gebonden fosfaat en mogelijk ook stikstof aanwezig. Dit kan zelfs bepalend zijn voor het halen van een MTR effluentkwaliteit. Het is denkbaar dat een deel van deze componenten in de biologie gevormd wordt.

8.2.1 WISSELWERKING BIOLOGIE EN MEMBRAANTANK

Vooraf werd verwacht dat het functioneren van de biologie invloed zou hebben op de werking van de membranen. Dit is een juiste aanname geweest. Wat niet verwacht werd was dat er andersom ook een grote beïnvloeding zou zijn. Het reactorconcept van de membraantank is om deze reden tijdens het onderzoek aangepast.

Tijdens het onderzoek is stress veroorzaakt in periode 6 door een snelle en sterke verhoging van de slibbelasting met factor 2 en het stopzetten van de C-bron. Stress van de biomassa is funest voor het functioneren van de membranen. Door de stress ontstaat mogelijk een hoeveelheid EPS (extracellular polymeric substances) die negatief werkt op het functioneren van het membraan. In een praktijk-RWZI zal dit naar verwachting niet in deze mate voorkomen.

Binding van EPS onder normale condities wordt standaard opgelost door een voorbeluchting op te nemen voorafgaand aan de membraantank. De voorbeluchting kan een rol spelen in fosfaatopname en EPS binding.

De proefinstallatie is voorzien van een voorbeluchting. Meermaals is deze voorbeluchting in periode 3 met C-bron uit bedrijf genomen of juist vergroot om het effect op biologische fosfaat vastlegging te zien. In de voorbeluchting werd niet al het fosfaat dat afgegeven was weer volledig opgenomen. Vergroting van de verblijftijd van circa 5 minuten tot circa 20 minuten, bood onvoldoende soelaas.

In periode 10 met bijna volledige fosfaatverwijdering wordt er in de nadenitrificatie geen afgifte van betekenis meer gemeten. De fosfaatconcentratie is na de nitrificatie stabiel tot en met de membraantank. Een goede verklaring voor het verschil met periode 3 ontbreekt. In periode 10 blijkt de voorbeluchting voor het biologisch vastleggen van fosfaat overbodig te zijn.

Bij uit bedrijf name van de voorbeluchting is niet vastgesteld dat de prestaties van de membranen achteruit ging. Daarbij moet wel opgemerkt worden dat uit bedrijf name van de voorbeluchting slechts enkele weken het geval is geweest en de membraantank in periode 3 een aanzienlijk volume heeft. Mogelijk is de tijd te kort geweest om effecten vast te stellen.

Voor de nieuwe RWZI Hilversum is een voorbeluchting opgenomen.

In periode 3 is geconcludeerd, dat chemische fosfaatbinding mogelijk een rol speelt (zie eventueel hoofdstuk 4.1). Door de intensieve beluchting wordt CO₂ gestript en gaat de zuurgraad omhoog van pH 7,5 naar pH 8. Gemeten is dat tot 2 mgP/l op deze wijze in de membraantank wordt vastgelegd. In periode 10 met volledige biologische fosfaatverwijdering speelt dit wellicht geen rol meer aangezien de permeaatconcentratie in de nitrificatietanks al bereikt is en daarna tot en met de membraantank stabiel blijft.

De membraantank bleek een onverwacht grote invloed te hebben op het functioneren van de biologie. De MTR effluentkwaliteit was niet haalbaar, zelfs niet met aanzienlijke hoeveelheden C-bron. De verklaring is gezocht in een te grote membraantank. Vermoed is dat er een aanzienlijke mate van mineralisatie optrad in de membraantank waardoor er geen capaciteit in het slib overbleef om vergaand te zuiveren. Als consequentie hiervan is de membraantank in periode 8 omgebouwd en maximaal in volume verkleind van één tank van 11,7 m³ inhoud naar 2 tanks van 1,5 m³ inhoud. Dit komt overeen met een verblijftijd van respectievelijk circa 2,6 uur en met 20 minuten (het volume van de membraanplaten en leidingen is daarbij buiten beschouwing gelaten). Het zuurstofgehalte in de membraantanks is circa 5 mg/l. Het resultaat was dat zowel voor stikstof als ook fosfaat de MTR effluentkwaliteit gehaald werd en de dosering van C-bron lager was dan in voorafgaande perioden.

Bij het ontwerp van de nieuwe RWZI is het membraantankvolume zoveel mogelijk geminimaliseerd.

8.2.2 DRIJFLAGEN EN SCHUIMVORMING

Drijfslagen en schuimvorming zijn herhaaldelijk opgetreden tijdens het onderzoek. Het vrijboord van de beluchtingsruimte was 40 cm. Toch is het slib met regelmaat over rand heen gegaan. Het is niet bekend hoe hoog het slib kan opbouwen. De slibvolume index is behalve bij dosering van acetaat in de nadenitrificatie altijd goed en maximaal 130 ml/g. Dosering van acetaat of azijnzuur in de anaërobe tank heeft géén negatief effect op de slibvolumeindex. Overigens is niet geconstateerd dat bij een slibvolume index van 200 ml/g tijdens dosering van C-bron in de nadenitrificatie de membraanwerking negatief beïnvloed werd. Blijkbaar is de filterbaarheid niet direct gekoppeld aan de slibvolumeindex.

Voor de nieuwe RWZI Hilversum wordt rekening gehouden met een minimaal vrijboord van 1 meter.

Drijfslagen op onbeluchte ruimten zijn geen nieuw fenomeen. Ook conventionele RWZI's kennen dit probleem. In de proefinstallatie is dit effectief bestreden door de montage van een bovenblad ("pitch blade") op de mixers. Ook in de nieuwe RWZI worden hiervoor voorzieningen getroffen.

8.2.3 MTR EN SLIBBELASTING

Een conventioneel ontworpen RWZI met vergaande stikstofverwijdering kent vaak een slibbelasting van 0,045 – 0,05 kgBZV/(kgds/d). Ook het ontwerp van de nieuwe RWZI Hilversum is uitgelegd op een lage slibbelasting (exclusief membraantanks) van 0,044 kgBZV/(kgds/d). Eventuele effecten op de biologische fosfaatverwijdering zoals een te lage slibproductie voor de verwijdering van fosfaat worden voor lief genomen en indien nodig wordt aanvullend geprecipiteerd met ijzerchloride. De slibbelasting bij toepassing van een fijnzeef is waarschijnlijk een factor 0,25 tot 0,5 lager dan op grond van de influentvracht verwacht wordt. In het geval van een slibbelasting van 0,044 betekent dit voor de proefinstallatie een "echte" slibbelasting van 0,022 – 0,033 kgBZV/(kgds/d). Daarbij is de invloed van het volume van de slibmassa in de membraantank niet meegenomen. Een erg lage slibbelasting leidt mogelijk tot problemen. Hoewel duidelijke conclusies niet te trekken zijn en nader onderzoek noodzakelijk is, zijn er wel aanwijzingen dat bij een extreem lage slibbelasting er opgelost organisch gebonden fosfaat ontstaat. Dit kan eventueel ook het geval zijn voor stikstof. Het is denkbaar dat onder deze condities er meer lysis optreedt en restanten van celmateriaal ontstaan die slecht of niet afbreekbaar zijn.

8.2.4 AFHANKELIJKHEID GESTIMULEERDE BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING EN DENITRIFICATIE

De proefinstallatie laat een interessant fenomeen zien in periode 10. Door de azijnzuurdosering die nodig is om de biologische fosfaatverwijdering te stimuleren, is het mogelijk de nitraatrecirculatie naar de voordennitrificatie sterk te verhogen. Deze wordt in de proefinstallatie gestuurd op een nitraatmeting aan het einde van de voordennitrificatie en het recirculatie-debiet is ongeveer 12 x het influent-debiet. Er is feitelijk een klein omloopsysteem ontstaan bestaande uit anaëroetank, voordennitrificatietank en nitrificatietank. Aan het einde van de nitrificatietank is het fosfaat op MTR-waarde en het nitraat 1- 3 mgNO₃-N/l. De nadenitrificatie voegt dan niet veel meer toe. Bij een totaal-N eis van 5 mg/l zou in de proefinstallatie de nadenitrificatietank zelfs overbodig zijn. De azijnzuurdosering betreft een overdosering. Wat er gebeurt met het nitraatgehalte indien de dosering zodanig verlaagd wordt dat het fosfaat naar hogere waarden gaat is (nog) niet onderzocht. Het is denkbaar dat, indien toegestaan wordt dat het opgelost fosfaat stijgt naar bijvoorbeeld 0,15 mgPO₄-P/l, er betrekkelijk weinig effect is op het nitraat. Voorlopige resultaten van simulatie met SIMBA / ASM2D laten zien dat deze gedachte mogelijk correct is. Met een gestuurde dosering van azijnzuur in de anaërobe tank en het daarmee constant houden van de fosfaatafgifte in de anaërobe tank wordt naast bijna volledige fosfaatverwijdering in het permeaat tegelijk ook nagenoeg al het nitraat verwijderd in de voordennitrificatie.

8.2.5 MTR EFFLUENTKwalITEIT

De proefinstallatie heeft gedurende een aantal maanden aan de MTR-effluentkwaliteit voor N en P kunnen voldoen. Daarvoor en daarna waren er technische redenen waarom dit niet structureel gehaald werd. Het is de vraag of het nodig is om MTR te halen. Is het opgelost organisch gebonden stikstof en fosfaat wel relevant voor het oppervlaktewater? Meest waarschijnlijk is dat er nauwelijks impact is op het watersysteem van deze fractie. Dit betekent dat de MTR effluentkwaliteit voor het permeaat minimaal 0,30 mg/l totaal-P en 3,2 mg/l totaal-N zou kunnen zijn.

Bij het testen van het permeaat zijn er groei-limiterende factoren aanwezig anders dan nutriënten aangetoond. Blijkbaar zijn er stoffen in het permeaat aanwezig die hiervoor verantwoordelijk zijn. De aard en herkomst is niet bekend. Het zou hier bijvoorbeeld oppervlakte actieve stoffen kunnen betreffen of het kan gerelateerd zijn aan het ontbreken van spore-elementen. Mogelijk zijn deze laatste gebonden aan natuurlijk organisch materiaal (NOM) en als zodanig wel aanwezig maar niet beschikbaar.

8.3 INTEGRATIE MEMBRANEN IN HET PROCES

8.3.1 MEMBRANEN EN DE INVLOED OP SLIBKwalITEIT

Hoewel er aan het ontwerp van de membranen door de leveranciers veel aandacht wordt besteed is er nog te weinig inzicht in de wisselwerking tussen biologie en membraantank. Dankzij het onderzoek in Beverwijk is met name de reinigingsprocedure en procesvoering en daarmee de flux verbeterd. Daar is duidelijk geworden dat de slibkwaliteit veel effect heeft op het functioneren van de membranen. In het onderzoek van Hilversum kwam vooral naar voren dat andersom de membraaninstallatie door overbeluchting van het slib effect heeft op de bereikte kwaliteit van het permeaat. In het onderzoek is ervoor gekozen de inhoud van de membraantank sterk te verkleinen. Dit gaf een belangrijke verbetering van de resultaten van de biologie.

8.3.2 HET MUF CONCEPT (MICRO-ULTRA-FILTRATIE CONCEPT)

Uit onderzoek (Evenblij 2006) bleek het MBR slib van de proefinstallatie in Hilversum extreem weinig filtratieweerstand te hebben. Er is vergeleken met twee andere MBR proefinstallatieonderzoeken in Nederland; Maasbommel (ZENON) en Beverwijk (HUBER rotating disk). Verklaringen voor de verschillen in filtreerbaarheid tussen de locaties waren niet te vinden in hoeveelheden EPS.

Het onderzoek van Evenblij is uitgevoerd met een ultrafiltratie module van X-flow terwijl in Hilversum een microfiltratie membraan is toegepast. Vermoed wordt dat hierin de verklaring gezocht kan worden. Naar aanleiding hiervan is de volgende hypothese opgesteld en vertaald in een configuratie.

Vermoed wordt dat in het slib van Hilversum door de microfiltratie er nauwelijks deeltjes aanwezig zijn < 400 nm. Een ultrafiltratie membraan heeft een poriegrootte van circa 40 nm. Dit betekent dat er in het Hilversum slib geen deeltjes aanwezig zijn die een ultrafiltratiemembraan kunnen blokkeren. Daardoor is een zeer hoge flux mogelijk. In het onderzoek van Evenblij is getest tot fluxen van $190 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$ waarbij de membraanpermeaatpomp beperkend was. Er wordt een kritische flux vermoed van circa $120 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$.

Naar aanleiding van de gevonden resultaten is een configuratie bedacht die een interessant perspectief biedt.

De DWA aanvoer wordt daarbij in microfiltratiemembraanunits behandeld. Deeltjes kleiner dan < 400 nm worden dan uit het systeem verwijderd. Bij RWA als er meer capaciteit noodzakelijk is worden er ultrafiltratiemembranen bijgeschakeld. Deze laatste kunnen dan mogelijk op zeer hoge fluxen ingezet worden bijvoorbeeld $100 \text{ l/(m}^2\cdot\text{h)}$. Op deze wijze is mogelijk minder totaal filteroppervlak noodzakelijk, dan wel is er een veel robuster bedrijf mogelijk. Deze configuratie is het MUF concept genoemd (micro-ultra filtratie). Natuurlijk zal er tijdens RWA opbouw zijn van kleinere deeltjes. Wat de consequentie in de tijd hiervan is, is niet bekend. Nader onderzoek zou dat moeten bevestigen.

8.3.3 MEMBRAANINSTALLATIE EN INZET VAN BUFFERVOLUME

In de proefinstallatie is op zeker moment vastgesteld dat bij een variabel dagpatroon een vergelijkbaar patroon in het permeaat in de vorm van nitraat zichtbaar was. In de proefinstallatie is om deze reden het aanvoerpatroon gewijzigd in een vast debiet over 24 uur bij DWA. Na deze aanpassing was het nitraatgehalte in het permeaat constant over 24 uur.

Dit heeft geleid tot de gedachte dat het zuiveringsproces in de combinatie van MTR en MBR waarschijnlijk eenvoudiger en stabielere te sturen is door het influent aanvoerpatroon af te vlakken met een buffervolume. In Hilversum is ervoor gekozen om een influentbuffer in de configuratie op te nemen. Het volume is zo gekozen dat de DWA-aanvoer geheel wordt afgevlakt over 24 uur.

8.4 IS ER AAN DE DOELSTELLINGEN VAN HET ONDERZOEK VOLDAAN?

De doelstellingen van dit onderzoek waren:

- 1 het vaststellen van de vereiste configuratie van het actiefslibstelsel in een MBR toepassing voor het bereiken van de MTR kwaliteit voor de eutrofiërende stoffen stikstof en fosfaat.
- 2 vaststellen van de technische en technologische grondslagen voor de dimensionering van de praktijk installatie die voortvloeien uit het onderzoek en bedrijfsvoering van de proefinstallatie.

- 3 uittesten van technische ontwerpaspecten die eventueel kunnen worden aangepast voor toepassing in een praktijk installatie (o.a. voorbehandelingstechnieken, metingen en regelingen, besturingsinstallatie)
- 4 ervaring opdoen met de bedrijfsvoering van de proefinstallatie met het oog op het bedrijven van een praktijk installatie.

Deze rapportage beperkt zich tot 1 en 2.

Ad1.

In het onderzoek is duidelijk geworden dat met de configuratie van de proefinstallatie mogelijk het hele jaar door aan de MTR effluentkwaliteit voor nutriënten kan worden voldaan. Daarbij horen wel kanttekeningen, zoals in de discussie uitgebreid aan de orde zijn geweest. Het is niet bewezen dat MTR effluentkwaliteit voor nutriënten stabiel het hele jaar door en ook onder RWA condities gehaald kan worden. Om deze reden is het noodzakelijk dat de RWZI Hilversum naast waterafvoer naar het infiltratiepunt ook een lozingspunt naar oppervlaktewater krijgt (afvoer via de Gooyergracht naar Eemmeer). Voor het lozingspunt naar de Gooyergracht kunnen dan iets minder strenge kwaliteitseisen gehanteerd worden dan bij infiltratie.

De configuratie van de praktijk RWZI Hilversum is geënt op de configuratie van de proefinstallatie. Door het opgedane inzicht met de proefinstallatie zijn een aantal onderzoeksresultaten en ervaringen vertaald naar oplossingen in de praktijk RWZI. De kosten van het proefinstallatieonderzoek zijn daarmee royaal terugverdiend.

MTR effluentkwaliteit bestaat strikt genomen uit meer dan alleen nutriënten. Metingen aan verwijdering van zware metalen laat zien dat membraantechnologie op dit vlak geen wezenlijke verbetering geeft. Dit is ook te begrijpen aangezien de verwijdering met name fysisch-chemisch gerelateerd is en opgeloste metaal-complexen of aan organische stof gebonden metalen door het membraan heen gaan.

De hygiënische kwaliteit is beperkt onderzocht. De metingen laten voor E-coli een volledige verwijdering zien. Gezien de poriegrootte is dit begrijpelijk. Lekkage zoals op de aansluitingen van de membranen kan dit beeld ernstig verstoren. Ook in de proefinstallatie is dit aan de orde geweest.

Onderzoek naar virus verwijdering is niet uitgevoerd. Voor de microfiltratie membranen kan worden verwacht dat alleen gedeeltelijke verwijdering optreedt.

Ad 2.

Er zijn uit het onderzoek een groot aantal technologische inzichten en ontwerputgangspunten voortgekomen.

Misschien is het meest wezenlijke wel het inzicht dat met de introductie van MTR effluentkwaliteit, optimalisatieonderzoek aan een RWZI een geheel ander karakter krijgt. Bij een conventionele RWZI met eisen volgens de AmvB Stedelijk afvalwater is er meestal ruimte om onderzoek direct op praktijkschaal te doen. Andere instellingen van het proces of introductie van nieuwe technieken kunnen op praktijkschaal geoptimaliseerd worden. Bij MTR eisen is dit niet mogelijk. Er is geen ruimte in de effluenteisen om gedurende een zekere periode een verslechterd resultaat voor lief te mogen nemen. Dit betekent dat proefinstallatieonderzoek en/of zeer goede modellen waarmee trends en effecten vooraf in te schatten zijn, noodzaak worden.

Er zijn kleinere en grotere voorbeelden van technologische en technische kennis voortkomend uit het proefinstallatieonderzoek. Daarbij heeft het onderzoek nooit op zich gestaan. Vanwege het feit dat het ontwerpproces van de praktijk RWZI Hilversum parallel verlopen is aan het proefinstallatieonderzoek, is er sprake geweest van een kruisbestuiving. In het kader van het ontwerpproces zijn ook binnenlandse en buitenlandse ervaringsdeskundigen geconsulteerd en zijn een aantal relevante locaties bezocht.

Onderstaand zijn de belangrijkste resultaten en inzichten als aandachtspunten weergegeven.

Voorbehandeling

De fijnzeef installatie is één van de meest wezenlijke procesonderdelen. Binnen de rapportage periode moet geconstateerd worden dat de leveranciers (nog) geen afdoende antwoord hebben gevonden op filtratie van afvalwater op een niveau < 1 mm. Problemen met vervuiling en storingen zijn in binnen- en buitenland nog steeds gemeengoed. Dit is in het proefinstallatieonderzoek ook een voortdurend aandachtspunt geweest. Voor de nieuwe RWZI Hilversum zal het nieuwste type HUBER zeef worden toegepast. Verwacht wordt dat hiermee zowel de afdichtingsproblemen als ook de reinigingsproblematiek tot het verleden behoort.

Met perioden kan er zeer veel vuil aankomen waardoor de werking van een fijnzeef verstoord kan raken. Ook in het proefinstallatie onderzoek is dit vastgesteld. De toevoerpomp kan afschakelen op het waterniveau in de fijnzeef. Het aantal draaiuren van de toevoerpomp is met perioden laag geweest wat duidt op problemen. Voor de praktijk RWZI Hilversum wordt hiermee rekening gehouden.

Het zeefgoed laat zich probleemloos ontwateren tot meer dan 30% drogestof. In het ontwerp is een goede persmogelijkheid voor het zeefgoed opgenomen. De grote hoeveelheid zeefgoed is daarbij een nadrukkelijk aandachtspunt.

Biologie

Vanwege de ruimtelijke inpasbaarheid is er gekozen om de beluchtingstanks van de nieuwe RWZI op 6 meter diep te ontwerpen. Gecombineerd met de aanname van een ongunstige zuurstofoverdracht door een hoger drogestofgehalte dan conventioneel leidt dit bij het ontwerp tot een uitgangsdrogestof concentratie van 7,8 gds/l.

Uit het onderzoek is gebleken dat door de verwijdering van zeefgoed en daarmee samenhangende hoge slibleeftijd de slibbelasting beter niet te laag gekozen kan worden. Daardoor wordt in de praktijkinstallatie een iets hogere slibbelasting gekozen dan in het ontwerp is berekend. De consequentie is dat de RWZI zal starten op een slibgehalte van circa 5,5 g/l. Dit is voor een MBR laag. Het zal interessant zijn hoe dit uitwerkt op het functioneren van de membranen. Ervaring met de proefinstallatie wijst uit dat dit geen negatieve effecten heeft op de permeabiliteit.

De viscositeit is een aandachtspunt voor het hydraulisch ontwerp. Uit metingen blijkt dat het slib van Hilversum veel meer visceus is dan dat van een conventionele RWZI; mogelijk vanwege het hogere drogestofgehalte.

In de proefinstallatie zijn problemen geconstateerd met bezinking van slib in leidingen. Natuurlijk zal er bij een te lage stroomsnelheid altijd bezinking optreden. Indikking in leidingen tot 20% drogestof is niet eerder vastgesteld. Waarom dit optreedt, is niet bekend. Bij het ontwerp van de RWZI Hilversum is hiermee terdege rekening gehouden, o.a. door aanpassing van een reeds afgerond ontwerp.

Om MTR-effluentkwaliteit te halen kan de slibbelasting inclusief membraantank beter niet te laag worden gekozen omdat bij een extreem lage slibbelasting de opname en afbraak ca-

paciteiten achteruitgaan. MTR kan op basis van de resultaten van Hilversum, alleen gehaald worden met behulp van chemicaliëndosering. De vorming van drijfslagen op onbeluchte zones en ernstige schuimvorming bij de beluchting lijken heviger te zijn dan bij conventionele RWZI's. Het is denkbaar dat dit met het hogere drogestofgehalte te maken heeft; een goede verklaring ontbreekt. Bij het ontwerpen van de menging moet overwogen worden om de mengers te voorzien van een mogelijkheid om de drijfslag onder het wateroppervlak te brengen.

Membranen

Geef de membraantank(s) vanwege het risico van te vergaande slibmineralisatie een zo gering mogelijk volume. De wijze van ontluchting aan de permeaatzijde heeft aandacht nodig. Het blijkt dat er soms onbedoeld veel lucht in lange onttrekkingsleidingen aanwezig blijft. De verdeling van reinigingschemicaliën is een serieus aandachtspunt. In de proefinstallatie bleek onbedoeld de onttrekkingspomp veel te snel volledig in te komen. Het gevolg was een te snelle verandering van de zuigdruk bij inschakelen. De drukopbouw moet zo geleidelijk mogelijk. Het ontwerp van membraantanks behoeft nog veel aandacht. De veronderstelde noodzakelijk slibrecirculatie van slib rondom de membraanmodules bleek na ombouw van de membraantanks “strak in het pak” niet noodzakelijk.

9

CONCLUSIES

Inzet van een fijnzeef heeft bij de proefinstallatie vele operationele problemen gegeven. Deze zijn onder controle gebracht door wekelijks een reiniging met hoge druk en warm water uit te voeren.

De afdichting van het fijnzeef en reiniging bij de HUBER fijnzeef blijft een punt van aandacht.

De hoeveelheid zeefgoed die bij de proefinstallatie ontstond is veel groter dan normaal bij een RWZI. Het zeefgoed laat zich moeiteloos ontwateren tot 32% drogestof. De ervaring wijst uit dat fijnroosters met spleetjes niet functioneren. Toepassing van gaas is wel goed.

De productie aan zeefgoed is een derde of meer van de gezamenlijke slibproductie van zeefgoed en spuislibproductie tesamen.

De volgende permeaatwaarden zijn, met C-bron en een zeer sterk verkleinde membraantank onder DWA condities, stabiel bereikt in de periode april 2005 t/m augustus 2005. Het betreft dus geen jaargemiddelde.

TABEL 26 RESULTATEN

CZV	mg/l	18
BZV	mg/l	<1,0
KjN	mg/l	1,2
NH ₄ -N	mg/l	0,08
NO _x -N	mg/l	0,8
Totaal-N	mg/l	2,0
Totaal-P	mg/l	0,15
P-opgelost	mg/l	0,01

De bereikbare concentratie in het permeaat wordt voornamelijk bepaald door organisch gebonden fosfaat en stikstof. Voor het halen van de MTR-concentraties fosfaat en stikstof spelen concentratieremming, endogene afgifte van fosfaat, mineralisatie en mogelijk chemische fosfaatbinding een rol. De betekenis en beïnvloedende factoren zijn niet precies bekend.

Het tegengaan van overbeluchting blijkt noodzakelijk voor het bereiken van MTR-effluentkwaliteit. Om deze reden is in het onderzoek ervoor gekozen om de afmetingen van de membraantank sterk te verkleinen.

Goede metingen en adequate regelingen zijn van essentieel belang bij een MBR die een MTR prestatie moet leveren. Tijdens het onderzoek heeft met name de continue nitraat meter problemen gegeven.

De slibproductie is lager dan wat verwacht wordt onder deze belastingcondities. De verklaring moet gezocht worden in de combinatie van zeefgoedproductie en mogelijk aanzuighoogte in het riool. De proefinstallatie heeft geen volledig representatieve influenttoevoer.

Microscopisch slibbeeldonderzoek geeft aan dat er geen dominante draadvormer aanwezig is. Wel worden actinomyceten aangetroffen wat past bij de sterke drijfslagvorming en schuimvorming in de biologie. Er is sprake van (middel)grote compacte vlokken en weinig losse cellen. De slibvolumeindex (SVI) is circa 100 ml/g zonder dosering. Dosering van een C-bron in de anaërobe tank geeft een beperkte verhoging tot een SVI van 130 ml/g. Dosering van C-bron in de nadenitrificatie leidt tot sterke verhoging van de SVI tot 180 ml/g.

De membranen zijn viermaal gereinigd van opstart november 2002 tot en met september 2005. Tot op heden zijn er na drie jaar geen aanwijzingen voor een afnemende prestatie door irreversibele vervuiling van het membraan. Netto fluxen van 40 en 50 $l/(m^2 \cdot h)$ zijn bij een test temperatuur van 20 °C moeiteloos gedurende respectievelijk 6 en 7 dagen gehaald.

Er zijn aanwijzingen dat de procesvoering van de KUBOTA membranen nog niet volledig is geoptimaliseerd. Door de verkleining van de membraantank is de werking van de KUBOTA membraanmodule mogelijk iets verbeterd. Slibophoping tussen de buitenste twee platen was voor ombouw aanwezig en na ombouw verdwenen. De cross flow in de membraantank is verlaten door een soort plug flow en er is een meer gelijkmatige doorstroming ontstaan. Efficiënter inzetten van de membraanbeluchting is kansrijk. Zowel voor energiebesparing als ook herstel van permeabiliteit na periodes met zware belasting.

10

AANBEVELINGEN

Een aantal items komen in dit onderzoek prominent naar voren.

- Bij lozing in oppervlaktewater zou de MTR effluentkwaliteit voor nutriënten gerelateerd kunnen worden aan beschikbaarheid van deze nutriënten. Daarbij is onduidelijk bij welke watertemperaturen een effluentkwaliteit moet gelden. Gaat het hier bijvoorbeeld om zomerwaarden? Voor de dimensionering en exploitatiekosten van een RWZI is dit heel wezenlijk.
- Er is dringend verder onderzoek naar fijnzeven noodzakelijk. Eventueel kan nagedacht worden over een effectievere voorbehandeling voor de fijnzeven.
- Een ander aandachtspunt is de wisselwerking tussen biologie met aan de ene zijde een fijnzeef met bijbehorende verwijdering van inerte bestanddelen en aan de andere zijde een membraansysteem met mineralisatie en specifieke eisen voor slibkwaliteit. Er is mogelijk nog winst te behalen door gericht onderzoek te doen naar: het van functioneren van fijnzeven, dimensionering van de biologie vanwege verwijdering van inerte fractie door de fijnzeef, kosten optimalisatie die hiermee gepaard gaat, voorbeluchting, reactoropzet van de membraantank, inzet van chemicaliën en configuratie van het membraansysteem zelf. Ook modellering met aangepaste modellen kan hier meerwaarde hebben.
- Er is weinig bekend over het functioneren van een MBR bij lagere drogestofgehalten. Indien de permeabiliteit van de membranen niet negatief beïnvloed wordt bij lagere drogestofgehalten, biedt dit perspectief voor de toepassingsmogelijkheden van membraansystemen. Het is zinvol hieraan nadere aandacht te besteden.
- De reactorconfiguratie van een membraantank kan zeer zeker geoptimaliseerd worden. In Europees verband wordt hier al aandacht besteed. Ontwerpcriteria zouden goede diensten kunnen bewijzen.
- Hoewel natuurlijk dit membraantype specifiek is, is er in het geval van KUBOTA nog optimalisatie mogelijk met een betere procesvoering. Bijvoorbeeld door de beluchting afhankelijk te maken van de aanvoer (DWA of RWA).
- Er wordt mogelijk organisch gebonden fosfaat en stikstof gevormd in een MBR. Er zijn in dit onderzoek aanwijzingen naar voren gekomen over het werkingsmechanisme. Nader onderzoek is noodzakelijk.
- Bij haalbaarheidsstudies wordt tot nu toe MBR vaak als kostenongunstig beoordeeld daar waar het gaat om vergroting van de capaciteit van de RWZI. Dit is gebaseerd op conventionele aannames voor slibaangroei, slibconcentratie en daarmee gepaard gaand energieverbruik. De ontwerpen zijn niet uitgelegd op dimensioneringscriteria die voor een MBR geldig zijn met een fijnzeef, zeker met een MTR effluentkwaliteit. Dit kan mogelijk een verschil betekenen voor de exploitatielasten. Meer inzicht hieromtrent kan een positief effect hebben op de toekomstige inzet van membranen.

BIJLAGE 1: GEGEVENS PER PERIODE

periode			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Debiet	instelling		variabel	variabel	vast	vast	vast	vast	vast	vast	vast	vast
IN1	Q	m ³ /d	25,6	34,2	38	37	36	36	36	-	36	36
	CZV	mg/l	644	573	576	nb	nb	444	453	-	464	433
	BZV	mg/l	328	239	260	311	228	225	236	-	211	258
	SS	mg/l	316	208	237	170	144	111	150	-	133	197
	Kj-N	mg/l	41	58	63	68	56	56	51	-	53	47
	Totaal-P	mg/l	12	8,8	10,8	11,9	9,4	9,2	9,2	-	8,3	7,2
	CZV/N	Verh.	15,7	9,9	9,1	-	-	7,9	8,9	-	8,8	9,2
	CZV/P	Verh	53,7	65,1	53,3	-	-	48,3	49,2	-	55,9	60,1
	BZV/N	Verh	8,0	4,1	4,1	4,6	4,1	4,0	4,6	-	4,0	5,5
	BZV/P	Verh	27,3	27,2	24,1	26,1	24,3	24,5	25,7	-	25,4	35,8
	temperatuur	°C	14	24	15	17	22	20	15	12	13	21
C-bron	CZV	kg/d	nvt	nvt	6,5	7,1	9,1	nvt	nvt	-	nvt	5,5
EF1	CZV	mg/l	20,3	21	20,7	Nb	19	20	17	-	19,4	nb
	BZV	mg/l	1,4	<1,0	1,18	<1,0	nb	nb	nb	-	nb	nb
	Totaal-P	mg/l	4,2	3,19	1,69	0,87	1,5	6,2	6,2	-	3,98	0,20
	Ortho-P	mg/l	3,9	3,06	1,50	0,73	1,37	6,2	6,08	-	3,73	0,07
	Kj-N	mg/l	1,6	1,28	0,98	1,16	1,07	1,02	0,92	-	1,17	1,08
	NH ₄ -N	mg/l	0,08	0,12	0,09	0,09	0,08	0,10	0,01	-	0,06	0,08
	NO ₃ -N	mg/l	4,0	6,9	2,1	6,92	4,45	25,7	20,9	-	8,55	0,65
	NO ₂ -N	mg/l	0,021	0,03	0,015	0,02	0,02	0,02	0,03	-	0,02	0,01
	Totaal-N	mg/l	5,6	8,2	3,1	8,1	5,5	26,7	21,9	-	9,7	1,7
	SS1	DS	g/l	9,6	6,8	6,7	6,6	7,3	4,0	6,9	-	10,3
	SVI	ml/g	102	102	157	181	137	104	nb	-	nb	126
	Gloeirest	%	Nb	29,1	24	23,7	27,5	24,8	22,3	-	19,5	21
	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	0,064	0,115	0,131	-	-	0,160	0,095	-	0,065	0,059
	Belasting ¹	kgBZV/(kgds.d)	0,032	0,048	0,059	0,070	0,045	0,081	0,049	-	0,029	0,035
	Belasting ²	kgCZV/(kgds.d)	0,044	0,079	0,089	-	-	0,109	0,064	-	0,058	0,053
	Belasting ²	kgBZV/(kgds.d)	0,023	0,033	0,040	0,048	0,031	0,055	0,034	-	0,026	0,032
incl C-bron	Belasting ¹	kgCZV/(kgds.d)	-	-	0,169	-	-	-	-	-	-	0,080
incl C-bron	Belasting ¹	kgBZV/(kgds.d)	-	-	0,098	0,113	0,095	-	-	-	-	0,056
Volumina ⁴	Biologie	m ³	27	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Volumina ⁵	M tank	m ³	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	3	3
SS2	Aangroei	kgds/d	1,9	5,4	6,2	5,6	4,2	1,7	3,5	-	4,4	2,73
	Slibleeftijd ³	d	182	45	39	42	49	67	nvt	-	nvt	109

1: slibbelasting excl. anaërobe tank en excl. membraantank

2: slibbelasting excl. anaërobe tank en incl. membraantank

3: op basis van gespuid slib

4: volume excl anaërobe tank, exclusieve membraantank

5: Volume membraantank totaal module 1 en 2

Perioden

Periode 1	2 oktober 2002 t/m 29 juni 2003
Periode 2	7 juli 2003 t/m 27 augustus 2003
Periode 3	28 augustus 2003 t/m 30 maart 2004
Periode 4	30 maart 2004 t/m 27 april 2004
Periode 5	28 april 2004 t/m 16 augustus 2004
Periode 6	16 augustus 2004 t/m 19 oktober 2004
Periode 7	20 oktober 2004 t/m 5 december 2004
Periode 8	6 december 2004 t/m 23 december 2004
Periode 9	24 december 2004 t/m 28 maart 2005
Periode 10	29 maart 2005 t/m 28 september 2005

Afkortingen

IN1	influent na fijnzeef
C-bron	toegevoegde czv als natriumacetaat of azijnzuur
EF1	permeaat
SS1	slib biologie
SS2	spuislib / aangroei

BIJLAGE 2 AANVULLENDE METINGEN

PERMEAAT

In januari en februari 2005 (periode 9) zijn aanvullende metingen aan het permeaat gedaan.

Onderstaand zijn de resultaten vermeld:

2005		17-jan	23-jan	1-feb	4-feb	7-feb	10-feb	13-feb	16-feb
Carbonaat	mg/l	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
silicaat	µg/l			23,9	23,6	10,2	14	9,8	10
Chloride	mg/l	69,8	154	87,8	81,9	86	72,3	39,6	80,6
Chemisch zuurstofverbruik	mg/l	20	19	16	19	19	15		
Kjeldahl stikstof	mg/l	0,72	0,91	1,06	1,25	1,61	0,99	0,82	1,1
Ammonium	mg/l	0,03	< 0,03	< 0,03	0,03	< 0,03	0,09	0,06	0,06
Nitriet	mg/l	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	0,012	0,01	0,01
Nitraat	mg/l	0,24	3,8	8,09	6,89	11,2	7,37	8,64	10,4
Ortho-fosfaat	mg/l	1,06	1,82	3,37	3,17	1,7	2,37	4,12	4,45
Electr. geleidingsvermogen	mS/m	65	90	76	76	82	70	43	76
Ijzer	mg/l	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
kwik	mg/l	0,018	< 0,01		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Kalium	mg/l	11,8	14		17,2	16,6	14,9	8	15,9
Magnesium	mg/l	< 5	< 5		< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Natrium	mg/l	95,1	122		94,6	103	87,1	43,5	97,4
Nikkel	µg/l	5,2	4,4		4,5	3,4	3,4	2	3,5
Lood	µg/l	0,2	< 5,0		0,8	3,7	2	< 5	7,7
Zuurgraad	pH	8,05	7,93	8	8,1	7,5	8		
Som nitraat en nitriet	mg/l	0,25	3,8	8,1	6,9	11,2	7,38	8,65	10,5
Som fosfaat	mg/l	2,18	2,07	3,35	3,12	1,87	2,35	4,2	4,93
Sulfaat	mg/l		32,8	33,6	31,6	39,2	31,9	17,4	32,3
Zink	µg/l	106	58,7		171	151	126	54,3	336
Alkaliteit	mg/l			201	243	229	214	107	215
Calcium	mg/l	42	49,6		46,1	51,9	42,7	30,4	43,9
Cadmium	µg/l	< 0,01	< 0,24		0,22	0,74	0,51	< 0,20	< 0,22
Chroom	µg/l	0,25	2,55		0,16	0,46	0,38	0,81	0,7
Koper	µg/l	16,5	13		25,6	25,6	33,7	11,3	49,4

Metingen EDC's

In opdracht van STOWA is door Grontmij een landelijk onderzoek uitgevoerd naar verwijdering van EDC's in MBR installatie in Nederland. (STOWA rapportage 2005-32)

In tabel 21 en 22 zijn de resultaten daarvan voor Hilversum weergegeven.

TABEL 21 RESULTATEN HORMOONVERSTORENDE STOFFEN

			influent	MBR effluent
Bisfenol A	ng/l	27-07-2004	1940	82
	ng/l	02-08-2004	1300	10
17 -oestradiol	ng/l	27-07-2004	5,3	< 1,1
	ng/l	02-08-2004	6,8	< 1
Oestron	ng/l	27-07-2004	120	< 1,1
	ng/l	02-08-2004	130	< 1
17 -oestradiol	ng/l	27-07-2004	30	< 1,1
	ng/l	02-08-2004	7,5	< 1
Oestriol	ng/l	27-07-2004	44	-
	ng/l	02-08-2004	34	-
Mestranol	ng/l	27-07-2004	< 2,5	-
	ng/l	02-08-2004	< 2,6	-
17 -ethinyloestradiol	ng/l	27-07-2004	< 3,7	< 3,4
	ng/l	02-08-2004	4,2	< 3,1
Nonylfenol	ug/l	27-07-2004	60	0,63
	ug/l	02-08-2004	51	0,88
Nonylfenolmonoethoxylaar	ug/l	27-07-2004	39	0,10
	ug/l	02-08-2004	0,64	0,16
Nonylfenoldiethoxylaar	NPE02: ug/l	27-07-2004	9,5	0,09
	NPE02: ug/l	02-08-2004	1,8	< 0,05
Nonylfenolethoxylaten met 3 tot 16 ketens	NPE010: ug/l]	27-07-2004	290	0,12
	NPE010: ug/l	02-08-2004	92	0,06
ER-calux assay	ngEEQ/l	27-07-2004	52,5	0,16
		02-08-2004	71,0	0,09

TABEL 22 RESULTATEN PATHOGENEN

			influent	MBR effluent
E.coli	Monster (log)	27-07-2004	> 6,38	-
	Monster (log)	02-08-2004	> 7,08	1,0
Intestinale enterococcon	Monster (log)	27-07-2004	5,89	-
	Monster (log)	02-08-2004	6,15	1,0
F-specifieke fagen	Monster (log)	27-07-2004	6,44	1,7
	Monster (log)	02-08-2004	6,29	1,0
campylobacter	Monster (log)	27-07-2004	-	-
	Monster (log)	02-08-2004	-	-

Voor verdere informatie wordt verwezen naar de STOWA rapportage: Verkennende monitoring van hormoonverstorende stoffen en pathogenen op rwzi's met aanvullende zuiverings-technieken.

Er wordt log 1,0 E.coli aangetroffen. De reden is mogelijk dat de proefinstallatie problemen heeft met lekkage van aansluitingen in de membraantank.

BIJLAGE 3: METINGEN FOSFAAT- EN STIKSTOF EN CZV SLIB

