

stowa

HOOFDRAPPORT



ONDERZOEK MBR VARSSEVELD



RAPPORT

2006

05

ONDERZOEK MBR VARSSEVELD

HOOFDRAPPORT

RAPPORT

2006

05

ISBN 90.5773.345.5



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 van de STOWA kunt u bestellen bij:
Hageman Fulfilment POSTBUS 1110, 3330 CC Zwijndrecht,
TEL **078 623 05 00** FAX 078 623 05 48 EMAIL info@hageman.nl
onder vermelding van ISBN of STOWA rapportnummer en een afleveradres.

COLOFON

UITGAVE STOWA, UTRECHT, 2006

PROJECTUITVOERING

COÖRDINATIE

ir. A.G.N. van Bentem, DHV B.V.

ir. C.P. Petri, Waterschap Rijn en IJssel

ir. P.F.T. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel

ALGEMENE ONDERSTEUNING / BEDRIJFSVOERING

J. van Someren, Waterschap Rijn en IJssel

F.W.B. Jansen, Waterschap Rijn en IJssel

H. Lammers, Waterschap Rijn en IJssel

DEELSTUDIE VOORBEHANDELING

ir. H. Brouwer, TNO

DEELSTUDIE BEDRIJFSVOERING EN EFFLUENTKwalITEIT

ir. C.P. Petri, Waterschap Rijn en IJssel

DEELSTUDIE VERWIJDERING BIJZONDERE STOFFEN

ir. A. Derksen, Grontmij/Aquasense

DEELSTUDIE OC EN HYDRAULICA

ir. H. Brouwer, TNO

ir. L.M.M. de Bruin, DHV B.V.

DEELSTUDIE SLIBKwalITEIT VERSUS FILTREERBAARHEID

ir. H. Brouwer, TNO

ir. A. Borger, TNO

dr. ir. H. Temmink, Wetsus

M. Remy M.Sc., Wetsus

ir. S.P. Geilvoet, TU Delft

ir. M. Keijmel, BRCC

DEELSTUDIE SIMBA-MODELLERING

ir. A.G.N. van Bentem, DHV B.V.

ing. A.J.P. van den Berge, DHV B.V.

DEELSTUDIE MEMBRANEN

ing. N. Nijman, DHV B.V.

ing. J. Verkuijlen, DHV B.V.

ir. A.G.N. van Bentem, DHV B.V.

DEELSTUDIE SIMULATIE-UNIT

ing. N. Nijman, DHV B.V.

ir. A.G.N. van Bentem, DHV B.V.

ir. P.F.T. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel

ir. C.P. Petri, Waterschap Rijn en IJssel

ir. F. Durieux, Zenon

ir. S. Bach, Zenon

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

ir. K.F. de Korte, Waternet

ir. P.F.T. Schyns, Waterschap Rijn en IJssel

ir. J.W. Mulder, Waterschap Hollandse Delta

ir. J.P.H. Piron, Waterschap Rivierenland

dr. ir. S.R. Weijers, Waterschap de Dommel

ir. F.D.G. Kiestra, Royal Haskoning

ir. H.F. van der Roest, DHV B.V.

ir. C.A. Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA rapportnummer 2006-05
ISBN 90.5773.345.5

TEN GELEIDE

De bouw van de MBR Varsseveld is een volgende stap in de MBR-ontwikkeling in Nederland welke met het pilot-onderzoek van Beverwijk in 2000 heeft aangevangen. Gesteund door een financiële bijdragen vanuit de EU (LIFE), het ministerie van Economische Zaken (EINP) en het Innovatiefonds van de STOWA, heeft het Waterschap Rijn en IJssel vervolgens besloten tot de bouw van de eerste grootschalige huishoudelijke MBR-installatie in Nederland. Gezien het belang van deze demonstratie installatie is door de STOWA, in nauwe samenwerking met het Waterschap Rijn en IJssel, DHV en de begeleidingscommissie, een uitgebreid onderzoeksprogramma opgesteld. De resultaten van het onderzoeksprogramma zijn vastgelegd in twee rapportages. Het doel van deze beide rapportages is om de ervaringen welke zijn opgedaan tijdens het onderzoek en in de eerste 16 maanden van de bedrijfsvoering, beschikbaar te maken voor alle waterschappen, onderzoeksinstellingen, adviesbureaus en andere geïnteresseerden. Hierbij is de verdere ontwikkeling van de MBR als zuiveringstechniek gebaat.

Rondom de STOWA MBR-projecten is een intensieve samenwerking tussen diverse partijen ontstaan. De uitgebreide lijst van betrokkenen bij het onderzoeksprogramma MBR Varsseveld, is hiervan een voorbeeld. De STOWA heeft de ontwikkeling van de MBR-technologie in Nederland vanaf het begin ondersteund. Dit heeft geleid tot een versterking van de kennispositie en de bouw van een aantal installaties in Nederland (Varsseveld, Heenvliet, Ootmarsum en in de nabije toekomst Hilversum). De belangstelling voor MBR is sterk toegenomen, met name ten gevolge van de behoefte aan technieken waarmee een verbeterde effluentkwaliteit bereikt kan worden. Met name hybride MBR-varianten en ondergrondse installaties in stedelijke gebieden lijken interessante alternatieven te vormen. De potentie van de MBR-technologie is ook buiten de watermarkt niet onopgemerkt gebleven, getuige de prijsvraag "De vernufteling 2006" die DHV en Witteveen + Bos gezamenlijk hebben gewonnen.

Utrecht, juli 2006

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

SAMENVATTING

De toepassing van de membraanbioreactor (MBR) kan een belangrijke vooruitgang betekenen voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. In vergelijking tot de traditionele zuiveringstechnieken wordt op een aanzienlijk geringere oppervlakte een betere effluentkwaliteit verkregen. In Nederland is de laatste jaren door middel van pilot-onderzoek op verschillende lokaties (rwzi's van Beverwijk, Maasbommel, Hilversum en Leeuwarden) ervaring opgedaan met de MBR-technologie. De onderzoeksresultaten hebben geleid tot het besluit een MBR demonstratie-installatie te bouwen op de rwzi Varsseveld van het Waterschap Rijn en IJssel. Deze eerste MBR op praktijkschaal in Nederland is in december 2004 in bedrijf genomen. In dit rapport zijn de resultaten en ervaringen van de eerste 16 maanden bedrijfsvoering en van het hieraan gekoppelde onderzoeksprogramma beschreven.

De MBR Varsseveld moet als demonstratie-installatie aantonen dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. Dit betekent dat de MBR de vergaande effluenteisen welke in Nederland worden nagestreefd moet halen onder stabiele condities en tegen redelijke kosten. Vanuit deze gedachte zijn de volgende doelstellingen voor het onderzoek geformuleerd:

1. Vaststellen van de technologische resultaten;
2. Optimaliseren van de procesvoering en aantonen van een stabiele bedrijfsvoering;
3. Evalueren van het ontwerp en vaststellen van de noodzaak van redundantie;
4. Vergelijken van de kosten van de MBR versus een conventionele rwzi;
5. Aantonen van de technische haalbaarheid van de opschaling.

In het rapport zijn de resultaten en ervaringen van de bedrijfsvoering en de deelonderzoeken ook in deze volgorde beschreven. Een samenvatting van de belangrijkste bevindingen is hieronder weergegeven.

1. RESULTATEN

De biologische resultaten van de MBR Varsseveld zijn goed. De relatief strenge streefwaarde voor de stikstof in het permeaat ($5 \text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$) is ruimschoots gehaald en de streefwaarde voor fosfaat ($0,15 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) kan worden bereikt bij een dosering van circa $1,2 \text{ mol Fe/mol P}_{\text{influent}}$. Ondanks de afwezigheid van een anaërobe tank speelt biologische fosfaatverwijdering een belangrijke rol. Het benodigde chemicaliënverbruik is hierdoor, ondanks de relatief hoge influentfosfaatconcentratie, relatief laag.

De membraaninstallatie heeft altijd goed gefunctioneerd, met uitzondering van de eerste paar maanden toen de lozing van een industrieel polymeer de bedrijfsvoering van de installatie verstoorde. Nadat de werking van de membranen was hersteld, door het intensief reinigen van de membranen en het afsluiten van de lozing, heeft de installatie onder alle omstandigheden de aanvoer goed kunnen verwerken. Onder relatief gunstige omstandigheden (hoge procestemperatuur) zijn de garantietesten voor de membranen succesvol uitgevoerd.

In het eerste jaar is veel aandacht besteed aan het verlagen van het energieverbruik van de membraanfiltratie-installatie. Ondanks dat is het energieverbruik van de MBR Varsseveld nog circa 35% hoger dan van een conventioneel actiefslibstelsysteem met

zandfiltratie. De verwachting is dat, na enkele aanpassingen aan de besturingsinstallatie, het energieverbruik verder kan dalen, waarna het energieverbruik van de MBR Varsseveld nog circa 15% hoger is dan van een conventioneel actiefslibstelsysteem met zandfiltratie.

2. BEDRIJFSVOERING

Een betrouwbare voorbehandeling is essentieel voor een betrouwbare membraanwerking. De voorbehandeling, en dan met name de microzeven, is het onderdeel dat op de MBR Varsseveld de meeste aandacht heeft gevraagd. Tijdens het begin en/of het eind van een regenweersituatie zijn regelmatig problemen opgetreden met het dichtslaan van de microzeven. Verdere optimalisaties van de microzeven dienen deze problemen in de toekomst te voorkomen.

De membranen hebben het grootste deel van de tijd zowel technisch als technologisch uitstekend gefunctioneerd. De permeabiliteit is na 16 maanden nog steeds op het zelfde niveau als vlak na de opstart van de installatie. Er zijn lekkages in de membraanmodules opgetreden welke te wijten zijn aan de opschaling van de MBR-technologie naar praktijktoepassingen. Deze zijn door de leverancier op de juiste wijze aangepakt en verholpen. Daarnaast is macrovervuiling van de membranen waargenomen, dit betreft haren en bladeren bovenin de modules en slibbrokjes onderin. De verwachting is dat deze problemen na enkele technische aanpassingen en verdere optimalisaties van de procesinstellingen kunnen worden verholpen.

3. ONTWERP

De voorbehandeling heeft tot doel om de membranen, en de andere procesonderdelen, te beschermen tegen vervuiling en slijtage. De fijnroosters en de zand/vetvang hebben altijd zonder problemen gefunctioneerd. De microzeven blijken echter het meest storingsgevoelige onderdeel van de installatie te zijn. Naar aanleiding van de ervaringen en resultaten van de voorbehandeling, worden de volgende ontwerpaanbevelingen gedaan:

- Vooralsnog dient te worden uitgegaan van 100% redundantie van de microzeven en 50% voor de fijnroosters, voor de zand/vetvang is geen redundantie vereist;
- Een separate vetvanger lijkt niet essentieel te zijn voor een goede werking van de MBR. De noodzaak hiervan dient nader te worden onderzocht.
- Een separate zandverwijdering is wel aan te bevelen om schade aan de procesonderdelen en de membranen te voorkomen.

De biologie van de MBR Varsseveld bestaat uit een omloopsysteem met bellenbeluchting en een voordenenitrificatietank. Op basis van de metingen aan de zuurstofinbreng en de hydraulica van het omloopsysteem kan echter worden geconcludeerd dat een omloopsysteem niet optimaal is voor een dergelijke toepassing. Doordat een relatief grote hoeveelheid lucht in een klein volume moet worden ingebracht, is de beschikbare ruimte voor de beluchtingselementen en voortstuwers gering, wat leidt tot sub-optimale procesomstandigheden. De zuurstofinbreng in het omloopsysteem blijkt hierdoor, in samenhang met de optimistische ontwerpgrondslagen, circa 35% lager te zijn dan volgens ontwerp. In de huidige situatie blijkt dat de membraanbeluchting verantwoordelijk is voor 20-25% van de zuurstofinbreng.

Bij het ontwerp van het actiefslibstelsysteem van de MBR dient rekening te worden gehouden met de verwijdering in de voorbehandeling. Uitgaande van een voorbehandeling zoals in Varsseveld, met achtereenvolgens een fijnrooster, een zand/vetvang en 1 mm microzeven, kan worden uitgegaan van 20-30% verwijdering van CZV, BZV en SS. Voor stikstof en fosfaat is dit 5-10%.

De MBR lijkt gevoeliger voor drijfslagvorming dan conventionele actiefslibsystemen. In het ontwerp dient hiermee rekening te worden gehouden.

Op basis van de garantietesten kan worden geconcludeerd dat de membraanfiltratie-installatie aan de ontwerpisen heeft voldaan. Dit betreft een ontwerpflux van 37,5 l/(m².h) gedurende 3 dagen gevolgd door een maximum flux van 50 l/(m².h) gedurende 8 uur. De garantietesten zijn echter uitgevoerd onder voor membranen gunstige omstandigheden, namelijk een temperatuur boven de 20°C. Op basis van de ervaringen met piekbelastingen in de winter lijkt de gehanteerde ontwerpflux optimaal te zijn voor de procesomstandigheden op de MBR Varsseveld. Een nog hogere ontwerpflux wordt voor dit type membranen onder deze omstandigheden niet aanbevolen.

De opschaling van de membraantanks naar grootschalige toepassingen lijkt goed te zijn uitgekapt. De symmetrie van het systeem is aangetoond en de werking van de membranen is uitstekend. Een verdere optimalisatie voor toekomstige ontwerpen betreft het verder vergroten van de capaciteit van de membraantanks en het compacter bouwen van de membraantank.

4. KOSTEN

De stichtingskosten voor de MBR Varsseveld zijn ongeveer gelijk aan die van een conventionele uitbreiding met zandfiltratie. De exploitatiekosten (bedrijfsvoeringskosten en kapitaalslasten) van de MBR Varsseveld zijn circa 17% hoger dan die van de referentievariant. Een overzicht van de stichtingskosten en exploitatiekosten van de MBR Varsseveld is weergegeven in tabel A.

TABEL A

OVERZICHT STICHTINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN VAN DE MBR VARSSEVELD

Kostenpost	Eenheid	MBR Varsseveld	Referentievariant	Vershil
Stichtingskosten	€	11.200.000	11.200.000	-
Exploitatiekosten	€ / jaar	1.640.000	1.400.000	240.000

Op basis van deze kostenvergelijking kan worden geconcludeerd dat het kostenverschil tussen de MBR en de conventionele rwzi met zandfiltratie relatief gering is. Toekomstige ontwikkelingen (lager energieverbruik, lagere membraanprijzen) zullen er mogelijk toe leiden dat de exploitatiekosten van de MBR verder zullen dalen.

5. TECHNISCHE HAALBAARHEID

Op basis van de resultaten en ervaringen van de eerste 16 maanden bedrijfsvoering op de MBR Varsseveld kan worden geconcludeerd dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. De resultaten van de installatie zijn over het algemeen zeer goed geweest. De streefwaarden voor de permeaatkwaliteit (2,2 mg N_{totaal}/l en 0,15 mg P_{totaal}/l) zijn bereikt en de membranen functioneren (op enkele technische problemen na) uitstekend. De kosten van de MBR zijn inmiddels gelijkwaardig aan die van een conventionele installatie met zandfiltratie en ook op het gebied van energieverbruik zijn de verschillen niet groot meer.

De twee belangrijkste kritische factoren die het succes van de MBR in de weg kunnen staan zijn de voorbehandeling en de influentsamenstelling:

- Een stabiele en betrouwbare generatie microzeven dient te worden ontwikkeld;
- Er dient meer inzicht te worden verkregen in de gevoeligheid van de membranen voor de in het afvalwater aanwezige componenten.

Tenslotte is voor de verdere ontwikkeling van de MBR-technologie, fundamenteel wetenschappelijk onderzoek op het gebied van onder andere de relatie tussen slibkwaliteit en filtreerbaarheid, van groot belang.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

De STOWA verricht zelfgeen 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

SUMMARY

Application of the membrane bioreactor (MBR) can represent an important leap forward in the treatment of municipal waste water. Compared to traditional treatment techniques, it requires a far smaller surface area and produces better effluent quality. Recently in the Netherlands, pilot-studies at various locations (WWTPs at Beverwijk, Maasbommel, Hilversum and Leeuwarden) have gained experience with MBR technology. Research results have led to a decision to build an MBR demonstration plant at the Rhine and IJssel Water Board's WWTP in Varsseveld. This first full-scale MBR in the Netherlands entered operation in December 2004. This report describes the results and experiences of the first 16 months of operation and the associated research programme.

As a demonstration plant, the Varsseveld MBR must prove that MBR technology can be applied for the treatment of municipal waste water in the Netherlands. This means that the MBR must meet the Netherlands' far-reaching target effluent requirements under stable conditions and for a reasonable cost. With this in mind, the following objectives were formulated for the study:

1. Establish technological results;
2. Optimise processes and demonstrate stable operation;
3. Evaluate the design and establish the need for redundancy;
4. Compare the costs of MBR with those of a conventional WWTP;
5. Demonstrate the technical feasibility of scaling up.

This report also employs this sequence in describing the results and experiences of operation and the relevant research aspects. A summary of the most important findings is included below.

1. RESULTS

The biological results of the Varsseveld MBR are good. The relatively strict target value for nitrogen in the permeate ($5 \text{ mg N}_{\text{total}}/\text{l}$) has been achieved comfortably and the target value for phosphate ($0.15 \text{ mg P}_{\text{total}}/\text{l}$) can be achieved with a dosing of about $1.2 \text{ mol Fe/mol P}_{\text{influent}}$. Despite the lack of an anaerobic tank, biological phosphate removal plays an important role. Due to this, and despite fairly high concentrations of phosphate in the influent, relatively small volumes of chemicals are required.

The membrane plant has always functioned well, with the exception of the first couple of months when the discharge of an industrial polymer interrupted operations. Since the membranes' capacity has been restored (by intensive cleaning of the membranes and the cease of the discharge), the plant has been able to process the influent under all conditions. Under relatively favourable conditions (high process temperature), the membrane guarantee tests were carried out successfully.

In the first year, much attention was given to reducing the energy consumption of the membrane filtration plant in particular. Despite this, the Varsseveld MBR's energy consumption is still about 35% higher than that of a conventional activated sludge system with sand filtration. After a few alterations to the plant's controls, the forecast is that energy consumption

will fall further, meaning that Varsseveld MBR's energy consumption will still be about 15% higher than that of a conventional activated sludge system with sand filtration.

2. OPERATIONS

Reliable pretreatment is essential for reliable membrane operation. Pretreatment, especially of the microsieves, is the part of the Varsseveld MBR that has required the most attention. During the beginning and/or end of rain-weather conditions, the microsieves have often become blocked. Further optimisation of the microsieves should prevent these problems in the future.

Most of the time, the membranes have functioned perfectly, both from a technical and a technological viewpoint. Permeability is still at the same level 16 months after the start up of the plant. Leakages in the membrane modules can be put down to scaling up the MBR technology to practical applications. These have been dealt with and remedied correctly by the supplier. Furthermore, macro-contamination of the membranes has been detected (hair and leaves at the top of the modules and chunks of sludge at the bottom). These problems are expected to have been sorted after a number of technical alterations and further optimisations of the process settings.

3. DESIGN

Pretreatment aims to protect the membranes, and the other process components, against contamination and wear. The fine screens and the sand/fat collector have always functioned without problem. However, the microsieves appear to be the part of the plant most sensitive to malfunction. Further to the experiences with and results of pretreatment, the following design recommendations have been made:

- For the time being, a redundancy of 100% should be assumed for the microsieves and 50% for the fine screens, redundancy is not required for the sand/fat collection unit;
- A separate fat collector does not appear essential for the effective operation of the MBR. This requires further research.
- A separate sand removal system is recommended, though, in order to prevent damage to the process parts and the membranes.

The Varsseveld MBR's biological section consists of a aerated circulation system and a pre-nitrification tank. However, based on measurements of the oxygen input and the hydraulics of the activated sludge system, it can be concluded that a circulation system is not optimal for such an application. Because a relatively high amount of air must be introduced into a small volume, the space available for the aeration elements and propellers is limited, which leads to sub-optimal process conditions. Together with over-optimistic design principles, this appears to reduce oxygen input in the activated sludge system to about 35% lower than predicted by the design. In the current situation, it appears that membrane aeration is responsible for 20-25% of oxygen input.

Design of the MBR's activated sludge system should assume removal in pretreatment. Pretreatment like that in Varsseveld, with a fine screen, a sand/fat collector and 1 mm microsieves in succession, allows the assumption of a 20-30% removal of COD, BOD and SS. For nitrogen and phosphate, this is 5-10%.

The MBR appears to be more sensitive to the formation of a floating layer than to conventional activated sludge systems. This must be taken into account in the design.

On the basis of the guarantee tests, it can be concluded that the membrane filtration plant has met the design requirements. This concerns a design flux of 37.5 l/(m².h) over 3 days followed by a maximum flux of 50 l/(m².h) over 8 hours. However, the guarantee tests were carried out under conditions favourable to membranes, i.e. at temperatures above 20°C. On the basis of experience with peak loads in the winter, the design flux employed appears to be optimal for the process conditions at the Varsseveld MBR. An even higher design flux is not recommended for this type of membrane under these conditions.

The scaling up of the membrane tanks to large-scale applications appears to work well. The system's symmetry is proved and the membranes function extremely well. Further optimisation for future designs requires both increasing membrane tank capacity and reducing tank dimensions.

4. COSTS

The cost of setting-up the Varsseveld MBR was roughly comparable to that of expanding capacity with a conventional sand filtration plant. The utilization costs (operational costs and capital charges) of the Varsseveld MBR are about 17% higher than those of the reference variant. Table A gives a summary of set-up costs and utilization costs for the Varsseveld MBR.

TABLE A SUMMARY OF SET-UP COSTS AND UTILIZATION COSTS FOR THE VARSSEVELD MBR

Cost item	Unit	Varsseveld MBR	Reference variant	Difference
Set-up costs	€	11,200,000	11,200,000	-
Operating costs	€/year	1,640,000	1,400,000	240,000

This cost comparison suggests that the cost differential between an MBR and a conventional WWTP with sand filtration is relatively limited. Future developments (lower energy consumption, lower membrane prices) may lead to a further reduction in MBR utilization costs.

5. TECHNICAL FEASIBILITY

The first 16 months' operational results and experience with the Varsseveld MBR suggest that MBR technology is suitable for the treatment of municipal waste water in the Netherlands. The plant's results have in general been very positive. Target values for permeate quality (2.2 mg N_{total}/l and 0.15 mg P_{total}/l) have been achieved and membrane function is excellent (apart from a few technical problems). The costs of the MBR are already comparable to those of a conventional plant with sand filtration, and the cost differential is now minimal with respect to energy consumption.

The two most important critical factors that could thwart the MBR's success are pretreatment and influent composition:

- A stable and reliable generation of microsieves require development;
- Greater understanding is required concerning membrane sensitivity to components present in the waste water.

Finally, for the further development of MBR technology, fundamental scientific research is essential into, amongst other things, the relationship between sludge quality and filterability.

STOWA IN BRIEF

The Institute of Applied Water Research (in short, STOWA) is a research platform for Dutch water controllers. STOWA participants are ground and surface water managers in rural and urban areas, managers of domestic wastewater purification installations and dam inspectors. In 2002 that includes all the country's water boards, the provinces and the State.

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

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

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

For telephone contact STOWA's number is: +31 (0)30-2321199.

The postal address is: STOWA, P.O. Box 8090, 3503 RB, Utrecht.

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

ONDERZOEK MBR VARSSEVELD

INHOUD

	TEN GELEIDE	
	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Inleiding	1
	1.2 Doelstellingen	3
	1.3 Opzet en organisatie	4
	1.4 Leeswijzer	5
2	ONTWERP MBR VARSSEVELD	7
	2.1 Inleiding	7
	2.2 Ontwerputgangspunten	8
	2.3 Voorbehandeling	10
	2.4 Biologie	13
	2.5 Membraanfiltratie	18
3	TECHNOLOGISCHE WERKING	23
	3.1 Inleiding	23
	3.2 Voorbehandeling	23
	3.3 Biologie	25
	3.4 Membraanfiltratie	31
	3.5 Bijzondere stoffen	34

4	BEDRIJFSVOERING	36
4.1	Inleiding	36
4.2	Voorbehandeling	36
4.3	Biologie	38
4.4	Membraanfiltratie	41
5	SAMENHANG	49
5.1	Inleiding	49
5.2	Slibkwaliteit	49
5.3	Slibproductie	53
5.4	Fosfaatbalans	55
5.5	Stikstofbalans	58
5.6	Zuurstofbalans	59
5.7	Energieverbruik	63
5.8	Membraanwerking	64
6	KOSTENVERGELIJKING	71
6.1	Inleiding	71
6.2	Stichtingskosten	71
6.3	Exploitatiekosten	72
6.4	Overzicht	74
7	EVALUATIE	75
7.1	Inleiding	75
7.2	Resultaten	75
7.3	Bedrijfsvoering	76
7.4	Ontwerp	77
7.5	Kosten	79
7.6	Technische haalbaarheid	79
8	REFERENTIES	80
	BEGRIPPENLIJST	81

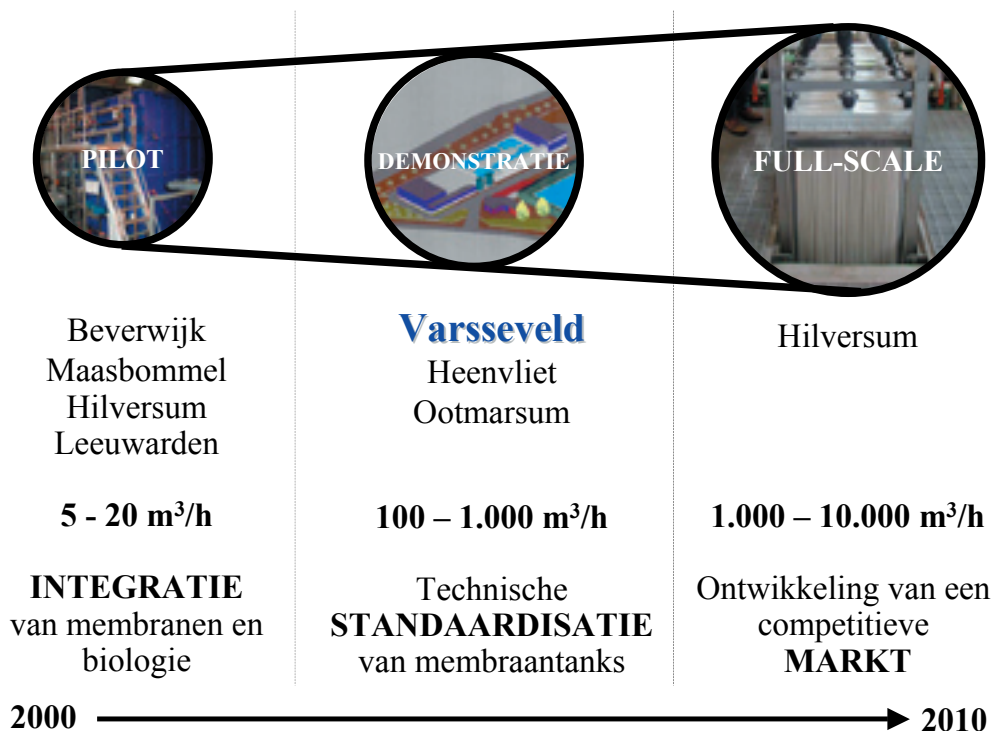
1

INLEIDING

1.1 INLEIDING

De toepassing van de membraanbioreactor (MBR) kan een belangrijke vooruitgang betekenen voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. In vergelijking tot de traditionele zuiveringstechnieken wordt op een aanzienlijk geringer oppervlakte een betere effluentkwaliteit verkregen. In Nederland is de laatste jaren door middel van pilot-onderzoek op verschillende lokaties ervaring opgedaan met de MBR-technologie. Op de rwzi Beverwijk is in 2000 een groot pilot-onderzoek naar de toepasbaarheid van deze nieuwe technologie gestart [ref.1,2]. Naast deze snelle technische en technologische ontwikkeling droeg ook een sterke prijsdaling van membranen op de wereldmarkt bij aan de opkomst van de MBR-technologie. In Nederland ontstond een samenwerkingsverband tussen STOWA, verschillende waterschappen, membraanleveranciers, kennisinstituten en ingenieursbureaus. Ook werd een plan opgesteld voor de MBR-ontwikkeling in Nederland waarin een prominente plaats was ingeruimd voor een demonstratie-installatie (zie Afbeelding 1). Deze demonstratie-installatie vormt een belangrijke stap naar de realisatie van grootschalige MBR-installaties. De rwzi Varsseveld paste qua grootte en uitbreidingsplannen uitstekend in dit plaatje. Gesteund door financiële bijdragen vanuit de EU (LIFE) en het innovatiefonds van de STOWA heeft het Waterschap Rijn en IJssel vervolgens besloten tot de bouw van de eerste grootschalige huishoudelijke MBR-installatie in Nederland.

AFBEELDING 1 HET MBR-ONTWIKKELINGSTRAJECT



Voor een succesvolle introductie van grootschalige MBR-systemen zijn de technische aspecten van de opschaling van groot belang. Op de demonstratie-installatie is daarom veel aandacht besteed aan het ontwerp van de standaard membraantanks, de procesbesturing en het optimaliseren en automatiseren van membraanreinigingen. De membraantanks kunnen na gebleken functioneren via multiplicatie worden ingezet op MBR-installaties van grotere capaciteit. Aan de opstart en het eerste jaar van de bedrijfsvoering is daarom een uitgebreid onderzoeksprogramma gekoppeld. Dit programma is tot stand gekomen in overleg met alle betrokken partijen; het Waterschap Rijn en IJssel (WRIJ), STOWA, DHV en de leden van de begeleidingscommissie.

De doelstellingen van het onderzoek zijn beschreven in §1.2. Het onderzoeksprogramma bestaat uit acht deelstudies. De opzet en organisatie van het onderzoeksprogramma is toegelicht in §1.3. De resultaten van het eerste jaar van de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld en van het onderzoeksprogramma zijn beschreven in twee STOWA-rapporten. Dit betreft het onderhavige hoofdrapport (2006-05) en een deelstudierapport (2006-06) [ref.3]. Een leeswijzer voor dit hoofdrapport en het rapport over de deelstudies is opgenomen in §1.4.

AFBEELDING 2

DE RWZI VARSSEVELD MET DE NIEUWE MBR (RECHTS) EN DE UIT BEDRIJF GENOMEN OUDE INSTALLATIE (LINKS)



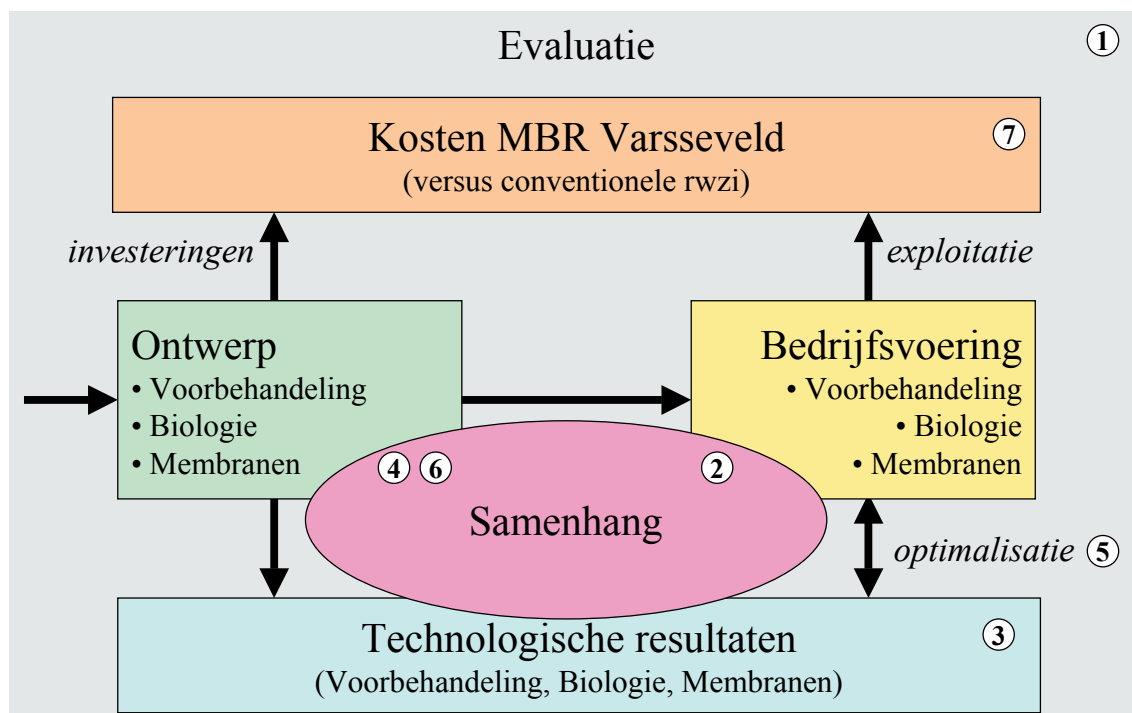
1.2 DOELSTELLINGEN

De MBR Varsseveld heeft als demonstratie-installatie tot doel om aan te tonen dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. Dit betekent dat de MBR de vergaande effluenteisen welke in Nederland worden nagestreefd moet halen onder stabiele condities en tegen redelijke kosten. Vanuit deze gedachte zijn de volgende doelstellingen voor het onderzoek geformuleerd:

1. Aantonen van de technische haalbaarheid van de opschaling;
2. Aantonen van een stabiele bedrijfsvoering;
3. Vaststellen van de technologische resultaten, onderverdeeld naar voorbehandeling, biologie en membranen;
4. Onderzoeken van de noodzaak van redundantie;
5. Optimaliseren van de procesvoering;
6. Evalueren van het ontwerp;
7. Vergelijken van de kosten van de MBR versus een conventionele rwzi.

De belangrijkste aspecten die in de doelstellingen worden genoemd zijn ontwerp, bedrijfsvoering, technologische resultaten en kosten. Een overzicht van deze aspecten en de relaties daartussen is weergegeven in Afbeelding 3. In deze afbeelding geven de nummers de plaats van de doelstellingen binnen dit schema aan.

AFBEELDING 3 RELATIE TUSSEN DE VERSCHILLENDE DOELSTELLINGEN



Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op de stand der techniek en inzichten van 2001. Hierbij is met name gebruik gemaakt van de ervaringen van het onderzoek in Beverwijk [ref.1,2] en de beschikbare informatie over de bestaande MBR-installaties in het buitenland. De bedrijfsvoering van de installatie is in het eerste jaar geoptimaliseerd, met als doel de werking van de installatie te verbeteren en het gebruik van energie en chemicaliën te verlagen. Het ontwerp en de wijze van bedrijfsvoering leiden samen tot de bereikte technologische resultaten. De kosten van de installatie zijn eveneens het resultaat van het ontwerp (investeringen) en de bedrijfsvoering (exploitatie). Door de samenhang tussen ontwerp,

bedrijfsvoering en resultaten te beschouwen kunnen mogelijke verbeteringen in ontwerp en bedrijfsvoering worden benoemd. De evaluatie van het geheel dient uiteindelijk te leiden tot een antwoord op vraag of de MBR een serieus alternatief voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland.

1.3 OPZET EN ORGANISATIE

Op basis van de doelstellingen is een onderzoeksprogramma opgesteld. Dit programma is opgedeeld in acht onderdelen. Deze acht deelstudies zijn onderstaand weergegeven, inclusief de doelstellingen en motivaties.

1. *Bedrijfsvoering en effluentkwaliteit*: Een MBR omvat een aantal procesonderdelen waarmee in Nederland nog geen ervaring is opgedaan. Dit betreft bijvoorbeeld de voorbehandeling en de membranen. Van de ervaringen van de bedrijfsvoering van een dergelijke nieuwe installatie kunnen belangrijke lessen voor de toekomst worden getrokken. De aandacht in deze deelstudie gaat onder andere uit naar de effluentkwaliteit en de drijfslagvorming.
2. *Voorbehandeling*: De vereiste voorbehandeling van een MBR is intensiever dan benodigd bij een conventionele rwzi en is van groot belang voor een goede membraanwerking. Het functioneren van de voorbehandeling is daarom één van de meest kritische ontwerpaspecten. Er is echter nog weinig ervaring met een dergelijke voorbehandeling op volle schaal. Het belangrijkste doel van deze deelstudie is het vaststellen van de verwijderingsrendementen van de verschillende onderdelen van de voorbehandeling.
3. *Verwijdering bijzondere stoffen*: Vanuit de kaderrichtlijn Water is er veel aandacht voor stoffen die normaal niet op een huishoudelijke rwzi worden gemonitord. Dit betreft bijvoorbeeld hormonen, geneesmiddelen en bestrijdingsmiddelen. Als vervolg op een eerdere STOWA-studie [ref.4], waarin de effectiviteit van verschillende zuiveringstechnieken met betrekking tot de verwijdering van deze bijzondere stoffen in kaart is gebracht, is ook op de MBR Varsseveld een meetprogramma uitgevoerd.
4. *OC en hydraulica*: Het compacte karakter van de MBR heeft tot gevolg dat de benodigde beluchtingscapaciteit groter is dan in een conventionele rwzi terwijl de ruimte om te beluchten minder is. Dit heeft consequenties voor de zuurstofinbreng en de hydraulica van de beluchtingstank. Het doel van deze deelstudie is om de zuurstofinbreng en de vloeistofstroming in de beluchtingstank en de membraantanks te bepalen voor verschillende bedrijfsspecifieke situaties.
5. *Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid*: Het is bekend dat de werking van de membraanfiltratie sterk afhankelijk is van de slibkwaliteit. Over de relaties tussen de slibeigenschappen en de filtreerbaarheid van het slib is echter minder bekend. Het doel van deze deelstudie is om een beter begrip te krijgen van deze complexe interactie en om op basis daarvan te komen tot optimalisaties in de procesvoering van het biologische zuiveringsproces.
6. *SIMBA-modellering*: De dynamica van een MBR-installatie wijkt sterk af van die van een conventionele rwzi. De hydraulische verblijftijd in de beluchtingstank is aanzienlijk korter en de afvlakkende werking van de nabezinktanks is niet aanwezig. Het doel van de deelstudie is het optimaliseren van de procesregelingen van de MBR Varsseveld en het evalueren van het ontwerp met behulp van dynamische simulatie.
7. *Membranen*: Één van de belangrijkste doelstellingen van de demonstratie-installatie is de opschaling van de membraantanks. De membraantanks zoals ze op Varsseveld zijn gerealiseerd worden als standaard-unit voor grotere installaties beschouwd. Aandachtspunten in het onderzoek zijn onder andere het hydraulisch functioneren van deze tanks en de verdere optimalisatie van de procesvoering van de membranen.

8. *Simulatie-unit*: De ervaringen die wereldwijd met de MBR-technologie zijn opgedaan hebben geleerd dat een simulatie-unit de technische en technologische opstart en de bedrijfsvoering van de MBR-installatie aanzienlijk kan vereenvoudigen en versnellen. Een simulatie-unit met Varssevelds afvalwater vormt bovendien een belangrijke ondersteuning voor het praktijkonderzoek. Wijzigingen in de procesvoering kunnen eerst met behulp van de simulatie-unit worden getest, alvorens dat op de praktijkinstallatie gebeurt. Dit levert niet alleen een kostenbesparing op, maar verkleint tevens de risico's in de bedrijfsvoering van de praktijkinstallatie. Daarnaast biedt een simulatie-unit de mogelijkheid om de operators van het waterschap te trainen.

De investerings- en bedrijfsvoeringskosten van de MBR zijn hoger dan die van een conventionele rwzi. Om de meerkosten en risico's af te dekken is door STOWA, gesteund door alle Nederlandse waterschappen, een innovatiefonds in het leven geroepen. Dit fonds is opgericht met als doel technologische ontwikkelingen zoals de MBR in Varsseveld, een positieve impuls te geven.

Het bredere belang van het project is ook onderkend door de Europese Gemeenschap en de ministeries van VROM en Economische Zaken. Zo is een financiële bijdrage van de Europese Gemeenschap in het kader van het financieel instrument LIFE toegekend. De minister van VROM heeft geconstateerd dat dit een project is in het belang van de bescherming van het milieu en heeft daarom een zogenaamde groenverklaring voor het project afgegeven. De minister van Economische zaken heeft subsidie toegekend in het kader van de Subsidieregeling energievoorzieningen in de non-profit en bijzondere sectoren (EINP).

1.4 LEESWIJZER

De resultaten van de verschillende deelstudies zijn in twee STOWA-rapporten opgenomen. Een overzicht van de verschillende deelstudies en de indeling van de rapporten is weergegeven in Afbeelding 4. Het onderhavige rapport betreft het hoofdrapport. Hierin zijn ook de belangrijkste resultaten uit de deelstudies opgenomen. De opbouw van het hoofdrapport is gebaseerd op de doelstellingen van het onderzoeksproject, zoals schematisch weergegeven in Afbeelding 3.

In hoofdstuk 2 is allereerst een overzicht gegeven van het ontwerp van de rwzi Varsseveld. Hierbij is per onderdeel het ontwerp, de opzet en de werking aangegeven. De technologische resultaten van de installatie zijn gepresenteerd in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 is de bedrijfsvoering van de verschillende procesonderdelen beschreven, waarbij met name de optimalisaties in het eerste jaar worden gepresenteerd en beschouwd.

De samenhang tussen het ontwerp, de bedrijfsvoering en de resultaten is voor een aantal belangrijke aspecten beschreven in hoofdstuk 5. De kosten van de MBR Varsseveld zijn in hoofdstuk 6 uitgewerkt en vergeleken met de kosten van een conventionele uitbreiding van de rwzi Varsseveld. In hoofdstuk 7 zijn de verschillende aspecten geëvalueerd.

AFBEELDING 4 INDELING VAN DE STOWA RAPPORTEN

Rapport 1 - Hoofdrapport	Presentatie en evaluatie van alle onderzoeksactiviteiten
	Deelstudie Bedrijfsvoering en effluentkwaliteit
Rapport 2 - Deelstudierapport	Deelstudie Voorbehandeling
	Deelstudie Verwijdering bijzondere stoffen
	Deelstudie OC en Hydraulica
	Deelstudie Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid
	Deelstudie SIMBA-modellering
	Deelstudie Membranen
	Deelstudie Simulatie-Unit

In bijlage 1 is een verklarende woordenlijst opgenomen.

2

ONTWERP MBR VARSSEVELD

2.1 INLEIDING

De rioolwaterzuiveringsinstallatie Varsseveld was een conventioneel hoogbelast actiefslibstelsysteem, waarmee niet meer aan de huidige eisen kon worden voldaan. In 1999 besloot het Waterschap Rijn en IJssel daarom de rwzi Varsseveld aan te passen. Naast de uitbreiding van de biologische capaciteit en de aanscherping van de effluenteisen ten aanzien van stikstof- en fosfaatverwijdering waren ook het vóórkomen van slibuitspoelingen en het verminderen van geur- en geluidsoverlast belangrijke doelstellingen. De effluentlozing vindt plaats op kwetsbaar klein binnenwater, te weten de Boven Slinge, een ecologische verbindingzone.

AFBEELDING 5 DE BOVENSLINGE



Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op de stand der techniek en inzichten van 2001. Hierbij is met name gebruik gemaakt van de ervaringen van het onderzoek in Beverwijk en de beschikbare informatie over bestaande MBR-installaties in het buitenland. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste ontwerpgegevens van de MBR Varsseveld weergegeven. De uitgangspunten waarop het ontwerp is gebaseerd zijn samengevat in §2.2. Vervolgens is het ontwerp van de voorbehandeling, de biologie en de membraantanks weergegeven in §2.3 tot en met §2.5. Hierbij is aandacht besteed aan de dimensionering, de functionele werking en de procesbesturing.

2.2 ONTWERPUITGANGSPUNTEN

2.2.1 INLEIDING

Het verzorgingsgebied van de RWZI Varsseveld omvat de woonkernen Varsseveld, Mariënveld, Heelweg, Halle en Westendorp. Het afvalwater wordt via drie persleidingen aangevoerd. De MBR is ontworpen voor een vuillast van 23.150 i.e. (à 54 g BZV/d) en een maximale hydraulische capaciteit van 755 m³/h. Een belangrijke bijdrage aan de belasting (circa 30% van de vuillast) wordt geleverd door de plaatselijke kaasfabriek.

In deze paragraaf zijn de belangrijkste ontwerpuitgangspunten weergegeven. In §2.2.2 wordt een overzicht gegeven van de influentgegevens en de effluenteisen, waarna in §2.2.3 de uitkomsten van de risico-analyse zijn beschreven. Deze is uitgevoerd tijdens de ontwerpfase teneinde de risico's in het ontwerp op te sporen en, indien mogelijk en gewenst, te minimaliseren.

2.2.2 PROCESGEGEVENS

Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op de in Tabel 1 aangegeven uitgangspunten.

TABEL 1 ONTWERPUITGANGSPUNTEN RWZI VARSSEVELD

Parameter		Eenheid	Waarde
Ontwerpbelasting	Inwoner-equivalenten	i.e. (à 54 g BZV)	23.150
		i.e. (à 136 g TZV)	31.470
Hydraulische belasting	Gemiddeld dagdebiet	m ³ /d	5.000
	Droogweeraanvoer (DWA)	m ³ /h	250 - 300
	Regenweeraanvoer (RWA)	m ³ /h	3.500
Vuilvrachten	Chemisch zuurstofverbruik (CZV)	kg/d	3.000
	Biochemisch zuurstofverbruik (BZV ₅)	kg/d	1.250
	Kjeldahl-stikstof (N-Kj)	kg N/d	280
	Fosfaat (P-totaal)	kg P/d	50
	Onopgeloste bestanddelen (SS)	kg/d	1.375

Het gezuiverde afvalwater wordt geloosd op de Boven Slinge. De kwaliteitseisen die zijn gesteld aan het effluent zijn samengevat in Tabel 2. Er is onderscheid gemaakt in wettelijke eisen en door het waterschap gedefinieerde streefwaarden. Deze streefwaarden zijn van toepassing voor de periodes waarin het ontvangende oppervlaktewater het meest kwetsbaar en eutrofiëringgevoelig is, te weten in de maanden april tot en met oktober.

TABEL 2 KWALITEITSEISEN EFFLUENT

Parameter		Eenheid	Eis	Streefwaarde ⁴⁾
Chemisch zuurstofverbruik (CZV)		mg/l	≤ 100 ¹⁾	-
Biochemisch zuurstofverbruik (BZV)		mg/l	≤ 10 ¹⁾	-
Stikstof (N _{totaal})		mg N/l	≤ 10 ²⁾	≤ 5
Fosfaat (P _{totaal})		mg P/l	≤ 1 ³⁾	≤ 0,15
Zwevende stoffen (SS)		mg/l	≤ 10 ¹⁾	≤ 5

1) daggemiddelde concentratie

2) jaargemiddelde concentratie van volumeproportionele etmaalmonsters

3) gemiddelde concentratie van 10 opeenvolgende volumeproportionele etmaalmonsters

4) de streefwaarde is van toepassing in de periode april t/m oktober, de beoordeling is op basis van de gemiddelde concentratie van volumeproportionele etmaalmonsters over de periode april t/m oktober

De minimumprocestemperatuur van de rwzi Varsseveld is vastgesteld op 7,5°C. Dit is zowel voor het ontwerp van de biologie als voor de membraaninstallatie van belang. Bij de biologie bepaalt dit mede de slibbelasting, voor de membranen is de ontwerpflux sterk afhankelijk van de minimale temperatuur.

Een belangrijk ontwerpcriterium betreft de beschikbare ruimte. Aangezien het de eerste praktijkinstallatie in Nederland betreft is besloten de bestaande conventionele installatie als back-up installatie te behouden. Deze installatie is uit bedrijf genomen maar niet geamoveerd, zoals getoond wordt in de luchtfoto in Afbeelding 2. Indien nodig kan deze oude installatie weer in bedrijf worden genomen. Nadat de MBR enkele jaren betrouwbaar heeft gefunctioneerd zal de oude installatie alsnog worden gesloopt. Afbeelding 2 toont tevens dat de beschikbare ruimte voor de bouw van de MBR beperkt was. De installatie (voorbehandeling, biologie, membraantanks, pomp- en blowerruimte en luchtbehandeling) is gebouwd op een oppervlakte van 85 x 21 meter. De slibbuffer, slibindikker en ijzerdoseerinrichting zijn naast dit blok gebouwd. Het bestaande bedrijfsgebouw is uitgebreid tot een groter en moderner gebouw.

2.2.3 RISICO-ANALYSE

De MBR Varsseveld is een demonstratie-installatie die model zal staan voor de verdere ontwikkeling van de MBR-technologie in Nederland. Het is daarom van belang de kritische elementen in het ontwerp zoveel mogelijk te benoemen en daar waar mogelijk te ondervangen. Hiertoe is door het Waterschap Rijn en IJssel en DHV een risico-analyse uitgevoerd die als basis heeft gediend voor het ontwerp. Hierbij waren zowel de technologen en ontwerpers als de bedrijfsvoerders van de rwzi Varsseveld betrokken.

De risico-analyse met de ontwerpteams was er op gericht om de risico's in het ontwerp te benoemen, te kwantificeren en, indien nodig en mogelijk, maatregelen te benoemen die de risico's zouden kunnen verminderen. Van elk risico is ingeschat hoe groot de kans is dat dit optreedt en wat de consequenties hiervan zouden zijn. Alleen indien zowel de kans tot optreden als de consequenties significant zouden zijn, zijn aanvullende maatregelen gedefinieerd. De belangrijkste ontwerpmaatregelen die op basis van de risico-analyse zijn onderstaand aangegeven.

- De fijnroosters en de microzeven zijn met 100% redundantie uitgevoerd;
- Bij het ontwerp van de beluchting dient voldoende reserve in acht te worden genomen. Er is uitgegaan van een α -factor van 0,5;
- De bypass naar de oude rwzi kan onder bepaalde omstandigheden worden ingeschakeld;
- De capaciteit van de membraanfiltratie kan relatief eenvoudig worden vergroot. Van elke membraancassette kan de capaciteit met 20% worden vergroot door het bijplaatsen van nieuwe elementen. De capaciteit van de beluchting omvat daartoe voldoende flexibiliteit. Daarnaast kan in elk membraancompartiment eventueel een vijfde cassette worden bijgeplaatst.

Op basis van de resultaten van de MBR Varsseveld wordt inzicht verkregen in de noodzakelijkheid van deze (additionele) voorzieningen. Met de verkregen inzichten kan het ontwerp van toekomstige MBR's worden geoptimaliseerd.

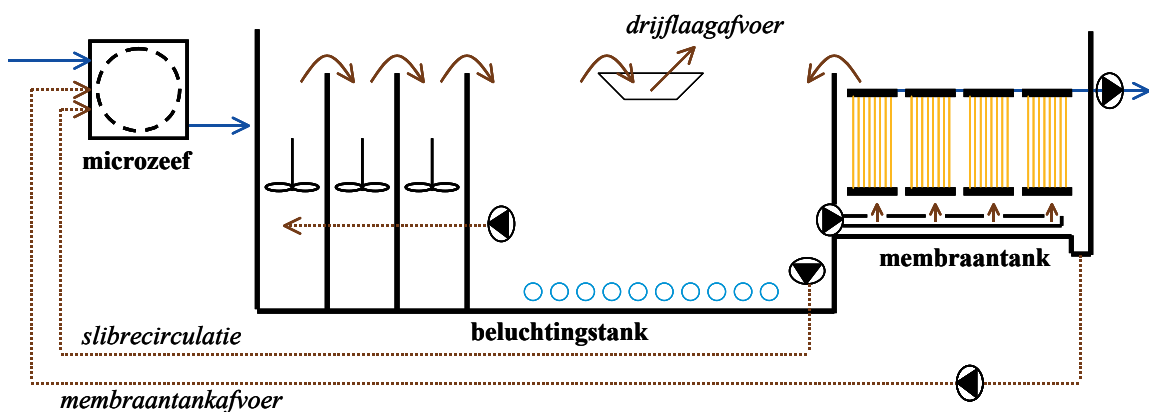
2.3 VOORBEHANDELING

2.3.1 INLEIDING

Omdat membranen gevoelig zijn voor vervuiling en beschadiging, is er in het ontwerp veel aandacht geschonken aan de voorbehandeling van het ruwe afvalwater. Het is van belang om bladeren, plastic, zand, vet, haren en dergelijke te verwijderen uit het afvalwater. Hiertoe wordt dit eerst over een fijnrooster (§2.3.2) geleid met een spleetwijdte van 6 mm. Vervolgens stroomt het door een beluchte zand- en vetvang (§2.3.3) en tenslotte door microzeven met een perforatie van 0,8 mm (§2.3.4). Er is geen by-pass van de fijnroosters en microzeven aanwezig.

Zelfs bij een dergelijke voorbehandeling kunnen in het actiefslibstelsysteem vaste delen voorkomen die de werking van de membranen kunnen hinderen of de membranen kunnen beschadigen. Hierbij kan gedacht worden aan aangekoekt slib en invallende bladeren. Om het actiefslib schoon te houden vindt daarom vanuit de actiefslibtank een continue recirculatie van slib over de microzeven plaats. Bovendien wordt bij een reinigingscyclus, wanneer de membraantank wordt leeggezet, de volledige inhoud van deze tank over de microzeven gerecirculeerd (zie Afbeelding 6). De drijfslaagafvoer is nader toegelicht in §2.4.5.

AFBEELDING 6 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE SLIBRECIRCULATIE EN DE DRIJFLAAGAFVOER



2.3.2 FIJNROOSTERS

Het afvalwater uit de verschillende persleidingen wordt ontvangen in een ontvangstput van waaruit het over een stappenrooster wordt gestuurd. Met behulp van het stappenrooster, met een spleetwijdte van 6 mm, wordt het roostergoed uit het afvalwater verwijderd (zie Afbeelding 7, links). Gezien het grote belang van een goed werkende voorbehandeling zijn de stappenroosters volledig redundant uitgevoerd. Het terreinrioleringswater wordt na de fijnroosters ingevoegd.

De roostergoed transportschroefvoert het vuil af naar de roostergoedwasser/pers waar het vuil gewassen en ontwaterd wordt (door middel van persing). Vervolgens wordt het roostergoed opgeslagen in een roostergoed container (zie Afbeelding 7, rechts).

AFBEELDING 7 FOTO'S VAN DE FIJNROOSTERS EN DE ROOSTERGOEDCONTAINER



Elk van de twee fijnroosters met bijbehorende transportschroef vormt een roostergoed verwijderingsstraat. Eenmaal per week wordt de roostergoed verwijderingsstraat op basis van het aantal bedrijfsuren gewisseld. Het stappenrooster komt automatisch in bedrijf op basis van het waterniveau vóór het rooster. Bij overschrijding van het (instelbare) inschakelniveau maakt het stappenrooster één stap. Bij blijvende overschrijding van het inschakelniveau zal het stappenrooster opnieuw één stap maken. Dit blijft zich herhalen totdat het niveau weer onder het inschakelniveau zit. Bij overschrijding van het hoog niveau wordt het stappenrooster (gedurende een instelbare tijd) continu in bedrijf genomen.

2.3.3 ZAND-/VETVANG

Teneinde zandafzetting in de benedenstroomse onderdelen van de installatie zoveel mogelijk te beperken en beschadiging en vervuiling van de membranen door zand en vet te voorkomen, wordt het afvalwater na de roostergoed verwijdering door een gecombineerde zand-/vetvanger geleid. In deze zand-/vetvanger is de stroomsnelheid van het water zodanig dat de zwaarste delen (met name zand) bezinken. Het bezonken zand accumuleert in een sleuf aangebracht in de bodem van de zandvanger. Door het toepassen van grove bellenbeluchting wordt een schroefvormig stromingspatroon gecreëerd waardoor tevens flotatie van vet plaatsvindt.

Het bezonken en het drijvende materiaal wordt door middel van een loopwagen uitgerust met een drijfslaagruimer verwijderd (zie Afbeelding 8, links). Het zand wordt door de zandpomp uit de sleuf gepompt en naar de zandwasser getransporteerd (zie Afbeelding 8, rechts). In de zandwasser wordt het bezonken materiaal gewassen met bedrijfswater door het intensief te mengen. Het gewassen product bestaat daardoor voor het grootste gedeelte uit zand. De (vet)drijfslaag wordt naar de vetput afgevoerd, waar tevens de drijfslaag uit de beluchtingstank wordt opgevangen. De inhoud van de vetput wordt per as afgevoerd.

AFBEELDING 8 FOTO'S VAN DE ZANDVETVANGER (LINKS) EN DE ZANDWASSER (RECHTS)



2.3.4 MICROZEVEN

Met behulp van de microzeven, met een maasdiameter (ronde gaten) van 0,8 mm, wordt het fijne zeefgoed (haren en dergelijke) uit het afvalwater verwijderd om de membranen tegen verstopping en beschadiging te beschermen. Gezien het grote belang van een goed werkende voorbehandeling zijn de microzeefstraten volledig redundant uitgevoerd. Er zijn twee microzeefstraten met elk 2 microzeven, waarbij elke straat zijn eigen zeefgoedtransporteur en transportpomp heeft. Vanwege het demonstratiekarakter van de MBR Varsseveld zijn de beide straten uitgerust met verschillende zeeftypes:

- type 1: Trommelzeef met een sproeisysteem, van de firma Auxill (zie Afbeelding 9, links);
- type 2: Stationaire zeef met borstelreiniging, van de firma Contec (zie Afbeelding 9, rechts).

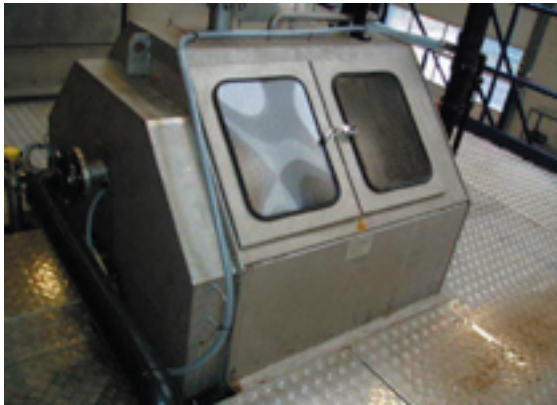
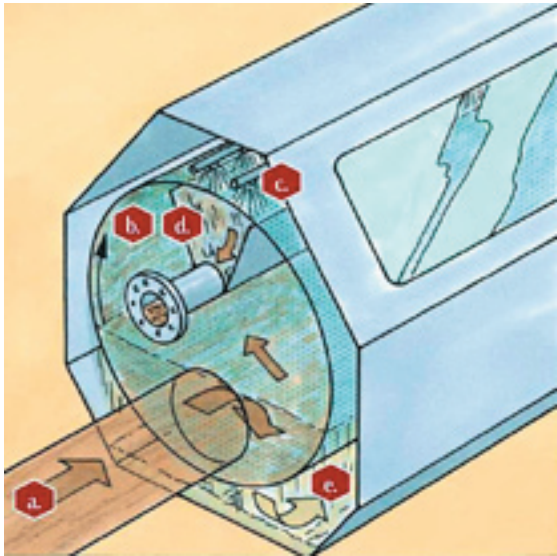
Naast het afvalwater afkomstig uit de zandvanger wordt er ook slib over de microzeven gecirculeerd. Dit betreft een continue slibrecirculatiestroom vanuit het omloopsysteem (alleen bij DWA). Op deze wijze wordt getracht het actiefslib in het systeem zo schoon mogelijk te houden. Tevens wordt het slib gezeefd dat bij een chemische reiniging van de membranen uit de membraantanks wordt gepompt.

Het zeefgoed uit de Auxill trommelzeven wordt met sproeiers van de binnenkant van de trommel verwijderd. Het zeefgoed uit de Contec stationaire zeven wordt afgevoerd met behulp van roterende borstels. Het zeefgoed wordt met zeefgoedpompen naar de slibbuffertank gepompt. Hier wordt het met het ingedikt surplusslib vermengd en per vrachtwagen afgevoerd.

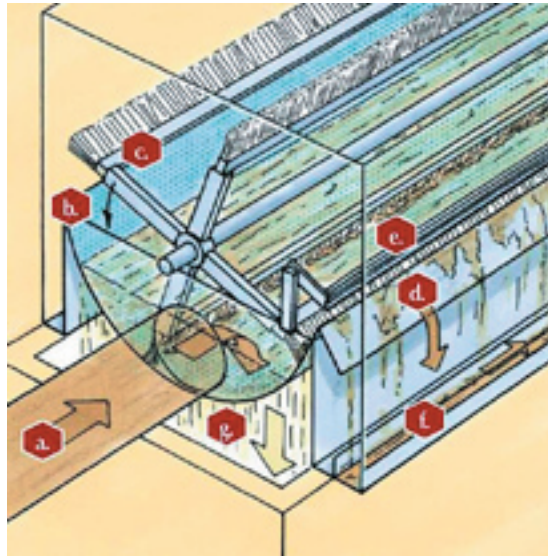
De twee microzeefstraten, inclusief bijbehorende zeefgoedtransporteurs en zeefgoedpompen, zijn elkaars reserve. Op een instelbaar tijdstip wordt de microzeefstraat gewisseld. Er is altijd minimaal één microzeefstraat in bedrijf voor de zuivering van afvalwater. Tijdens de overgang van droogweeraanvoer naar regenweeraanvoer zijn beide straten in bedrijf.

AFBEELDING 9 FOTO'S EN SCHEMA'S VAN DE MICROZEVEN

Type 1 – Trommelzeef met sproeivoorziening



Type 2 – Stationaire zeef met borstelreiniging



2.4 BIOLOGIE

2.4.1 INLEIDING

De biologische processen die plaatsvinden in een MBR zijn in principe niet anders dan in een conventionele actiefslibinstallatie. Aangezien bij een MBR een hoger drogestofgehalte kan worden toegepast en de nabezinktanks vervallen, kan een MBR veel compacter worden gebouwd. Het ontwerp van de biologische zuivering en de sturing van de biologische processen vragen een andere benadering vanwege de kortere hydraulische verblijftijd en de hoge zuurstofconcentraties in de membraantanks. Ten behoeve van het ontwerp en de procesregeling is daarom gebruik gemaakt van SIMBA-modellering. Op basis van het SIMBA-model is onder andere geconcludeerd dat voor het bereiken van een effluentkwaliteit van $5 \text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$ op de MBR Varsseveld, een omloopsysteem (met hoge recirculatie) met een separate voordennitrificatie de voorkeur verdient.

Daarnaast spelen de slibkarakteristieken een belangrijke rol. Hoewel de slibbezineigenschappen in een MBR geen directe invloed hebben op de slibafscheiding (er is immers geen bezinkingstap), is de werking van de biologie van grote invloed op de werking van de membranen. Een goede slibstructuur, dat wil zeggen een slibvlok met weinig draden, weinig

losse cellen en weinig EPS (extracellulaire polymere stoffen), leidt tot vermindering van de membraanvervuiling. Dit heeft consequenties voor het ontwerp van een MBR. EPS wordt met name gevormd onder “stress”-omstandigheden. Deze kunnen onder andere ontstaan door te weinig zuurstof of een te hoge energie-inbreng. Dit heeft tot gevolg dat de zuurstofinbreng voldoende reserve en flexibiliteit moet hebben en dat voor de menging en het verpompen van het slib alleen laagtoeren apparatuur toegepast kunnen worden.

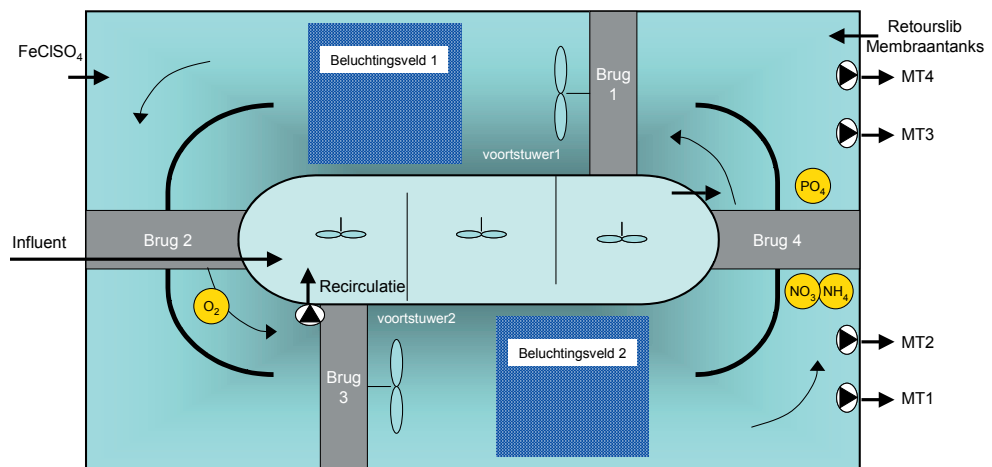
Het ontwerp van de beluchtingstank en de beluchting is beschreven in respectievelijk §2.4.2 en §2.4.3. De belangrijkste procesregelingen zijn beschreven in §2.4.4. De drijfslagafvoer is tenslotte beschreven in §2.4.5.

2.4.2 BELUCHTINGSTANK

De beluchtingstank is uitgevoerd als een omloopsysteem met een voordennitrificatie ruimte. De aanvoer van het afvalwater is in het eerste compartiment van de voordennitrificatie ruimte, welke is uitgevoerd als propstroomsysteem. Vanuit de voordennitrificatie ruimte stroomt het water/slibmengsel naar de beluchtingstank. Vanuit het omloopsysteem vindt een recirculatie plaats naar de voordennitrificatietank.

Vanuit het omloopsysteem wordt het slib/watermengsel via vier membraantoevoerpompen naar de vier membraantanks gepompt. Daar vindt een scheiding plaats tussen het actiefslib en het gezuiverde water door middel van membraanfiltratie. Het “ingedikte” actiefslib wordt via een overloopgoot naar het omloopsysteem teruggevoerd. De configuratie van de beluchtingstank is schematisch weergegeven in Afbeelding 10.

AFBEELDING 10 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BELUCHTINGSTANK



In het ontwerp is speciale aandacht besteed aan de hydraulica van het omloopsysteem. Doordat de inhoud van de tank relatief klein is, zijn de afstand tussen de voorstuwers en de beluchtingsvelden en tussen de beluchtingsvelden en de bochten van het omloopsysteem, kleiner dan normaliter wordt aangehouden. Dit heeft consequenties voor het stromingsprofiel, de stroomsnelheid en de zuurstofinbreng.

Ten behoeve van de chemische fosfaatverwijdering is een ijzerzoutdosering mogelijk in de toevoer naar de voordennitrificatietank of in het omloopsysteem. De keuze voor chemische fosfaatverwijdering, en niet voor biologische defosfatering met behulp van een anaërobe tank, is ingegeven door de wijze van slibverwerking. Het spuislib van de rwzi Varsseveld wordt gravitair ingedikt en per as afgevoerd naar de rwzi Lichtenvoorde. Bij vergaande biologische

fosfaatverwijdering bestaat het risico dat een deel van het opgenomen fosfaat in de sliblijn weer vrijkomt een extra fosfaatbelasting zou veroorzaken op de rwzi Varsseveld en/of op de rwzi waar het slib wordt verwerkt.

De belangrijkste dimensies van de beluchtingstank zijn weergegeven in Tabel 3.

TABEL 3 DIMENSIONERINGSGEGEVENS VAN DE BELUCHTINGSTANK

Parameter		Waarde	Eenheid
Slibbelasting ¹⁾		100	g CZV/(kg DS/d)
		42	g BZV/(kg DS/d)
		9,3	g N _{kj} /(kg DS/d)
Slibgehalte omloopsysteem ³⁾	totaal (<i>biologisch / chemisch</i>)	10,0 (8,7 / 1,3)	kg DS/m ³
IJzerzoutdosering	zomer / winter ²⁾	2,0 / 1,0	mol Fe/mol P _{inluent}
Slibproductie ³⁾	totaal (<i>biologisch / chemisch</i>)	1.530 (1.330 / 200)	kg DS/d
Slibleeftijd ³⁾		24	d
Beluchtingstank volume	totaal	3.000	m ³
	voordenitrificatietank	680	m ³
	omloopsysteem	2.320	m ³
Beluchtingstank diepte		5,0	m
Recirculatiepomp		1.000 – 2.000	m ³ /h

1) Berekend op basis van het volume van de beluchtingstank (exclusief de membraantanks)

2) De dosering is afhankelijk van de permeaateis voor fosfaat (zie Tabel 2)

3) Waarde geldt voor de winter

2.4.3 BELUCHTING

In een MBR is de benodigde specifieke luchtinbreng, uitgedrukt in hoeveelheid lucht per uur per kubieke meter tankinhoud, aanzienlijk hoger dan in een conventioneel actiefslibstelsysteem. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat in een MBR een hoger slibgehalte wordt aangehouden. Het slibgehalte in de MBR Varsseveld is 10 kg DS/m³, terwijl dit in een conventioneel systeem meestal in de orde grootte van 4 kg DS/m³ ligt, een verhoging met een factor 2,5. Het volume van de beluchtingstank kan daardoor ook grofweg 2,5 keer kleiner zijn. Daarnaast neemt de α -factor af bij een hoger slibgehalte, waardoor meer lucht dient te worden ingebracht. Bovendien is, ten gevolge van de kortere hydraulische verblijftijd, ook de piekfactor in het ontwerp enigszins verhoogd. In totaal leiden deze drie effecten tot een verhoging van de specifieke luchtinbreng met een factor 4. Anders gezegd, er dient circa 60% meer lucht te kunnen worden ingebracht in circa 40% van het volume.

Om dit te kunnen realiseren is een efficiënte manier van beluchten noodzakelijk. Enerzijds dient het een systeem te zijn met een goede zuurstofoverdracht, anderzijds dient het ruimtebeslag van de beluchting beperkt te zijn. Om deze reden is gekozen voor plaatbeluchting. De ontwerpgrondslagen van de beluchting zijn weergegeven in Tabel 4.

TABEL 4 DIMENSIONERINGSGEGEVENS VAN DE BELUCHTING

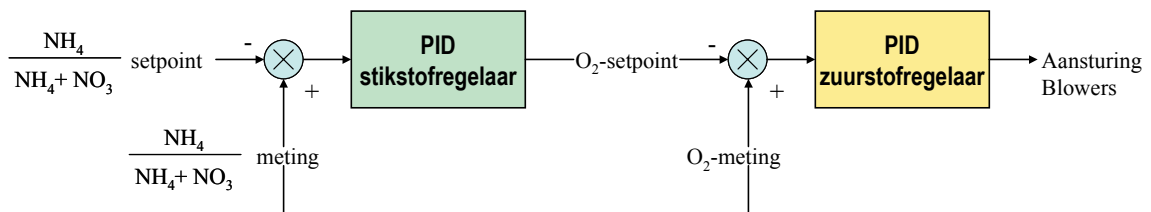
Parameter	Waarde	Eenheid
Zuurstofbehoefte maximaal	273	kg O ₂ /h
Inblaasdiepte	4,9	m
Specifieke zuurstofinbreng	27	g O ₂ /(Nm ³ .m)
Capaciteit benodigd	2.080	Nm ³ /h
Capaciteit geïnstalleerd	2 (+1) x 1.200	Nm ³ /h

De geïnstalleerde beluchtingscapaciteit is 2.400 Nm³/h, waardoor een overcapaciteit van 15% ten opzichte van de benodigde beluchtingscapaciteit is geïnstalleerd (zie §2.2.3).

2.4.4 PROCESREGELINGEN

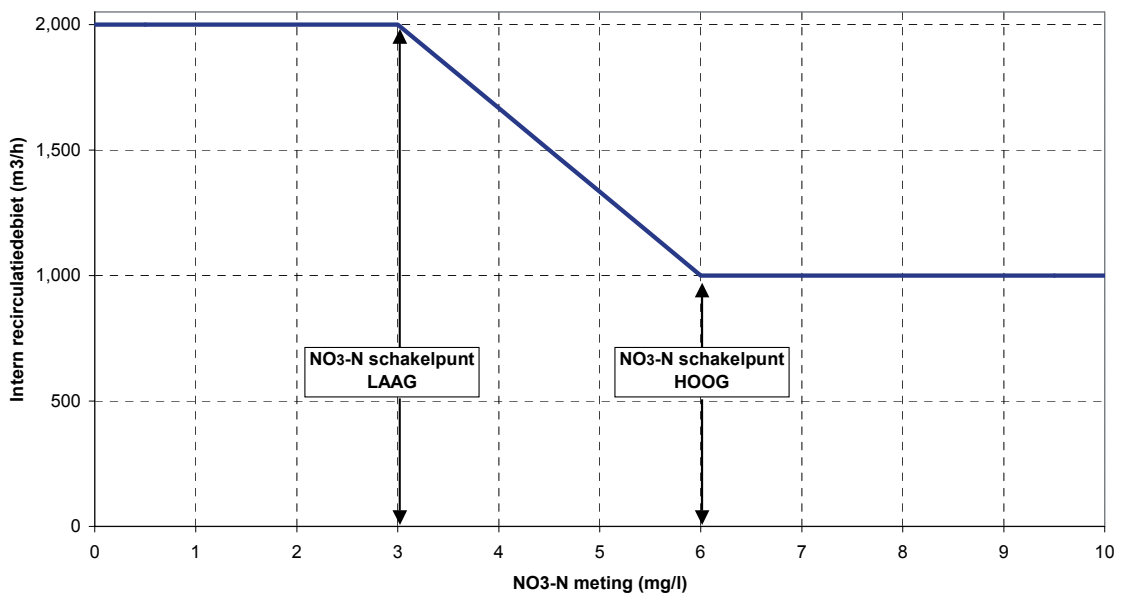
De beluchterregeling van de MBR Varsseveld vindt plaats op basis van stikstof en zuurstof. Het zuurstofsetpoint wordt bepaald door de verhouding tussen ammonium en de som van ammonium en nitraat. Hiertoe worden de on-line analysers gebruikt welke in het omloopsysteem zijn geplaatst. De cascade-regeling is schematisch weergegeven in Afbeelding 11. Indien de uitsturing van de blowers tussen 0-50% is wordt alleen het eerste beluchtingsveld (zie Afbeelding 10) belucht. Bij een uitsturing boven de 50% wordt de lucht verdeeld over beide beluchtingsvelden. In geval van storing van één van de analysers wordt automatisch overgeschakeld op een directe zuurstofregeling.

AFBEELDING 11 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE BELUCHTERREGELING VAN DE MBR VARSSEVELD



De sturing van het interne recirculatie-debiet naar de voordennitrificatieruimte vindt plaats op basis van de on-line nitraatmeting in het omloopsysteem. De regeling is schematisch weergegeven in Afbeelding 12. Op basis van een laag en een hoog NO₃-N schakelpunt wordt het recirculatie-debiet tussen het minimale en maximale recirculatie-debiet geregeld. Hierbij wordt het recirculatie-debiet verlaagd indien de nitraatconcentratie in het omloopsysteem afneemt. Op deze wijze wordt de hoeveelheid nitraat die naar de voordennitrificatietank wordt gebracht op een gelijk niveau gehouden.

AFBEELDING 12 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE REGELING VAN DE INTERNE RECIRCULATIE



De dosering van het ijzerzout kan op de MBR Varsseveld plaatsvinden in de toevoer naar de voordennitrificatietank of in het omloopsysteem. Het doseerdebiet kan op drie manieren worden gestuurd:

- handmatig, met een vast doseerdebiet;
- op basis van een vaste verhouding met het influentdebiet;
- op basis van het fosfaatgehalte in het omloopsysteem.

Het spuislib wordt vanuit het omloopsysteem naar de slibindikker gepompt. De pompsturing vindt plaats op basis van het drogestofgehalte in het omloopsysteem. De pomp wordt aanzet in een loop/wachttijd functie bij het overschrijden van een schakelpunt hoog (b.v. 10,5 kg DS/m³), en wordt uitgeschakeld bij het onderschrijden van een schakelpunt laag (b.v. 10,0 kg DS/m³).

2.4.5 DRIJFLAAGAFVOER

In een MBR zal een drijflaag over het algemeen sneller optreden dan in een conventioneel actiefslibstelsysteem aangezien drijvend materiaal niet via de drijflaagafvoer van de nabezink tanks kan worden verwijderd. Om drijvend materiaal uit een MBR te verwijderen is daarom een aparte voorziening benodigd. De drijflaag kan bestaan uit lichtslib en/of vetig materiaal. In een MBR dient te worden voorkomen dat deze drijflaag bij de membranen komt. Het is daarom van belang om de drijflaag uit de beluchtingstank te verwijderen en de aanvoer van het actiefslibstelsysteem naar de membraantanks onder het waterniveau plaats te laten vinden. De drijflaag of schuimlaag die zich eventueel op de membraantanks vormt dient zo snel mogelijk te worden teruggevoerd naar de beluchtingstank. Om deze reden vindt de recirculatie vanuit de membraantanks naar de beluchtingstank via een overstortgoot aan de oppervlakte plaats.

Bovengenoemde ontwerpfilosofie, welke op Varsseveld is toegepast, is schematisch weergegeven in Afbeelding 6. Hierbij is ook de slibrecirculatie over de microzeven weergegeven. De drijflaagafvoer is weergegeven in Afbeelding 13, en bestaat uit een halve statische trommel van waaruit de drijflaag in een drijflaagopvangbak wordt geborsteld. De drijflaagafvoer is in hoogte verstelbaar.

AFBEELDING 13 DE DRIJFLAAGAFVOER IN HET OMLOOPSYSTEEM



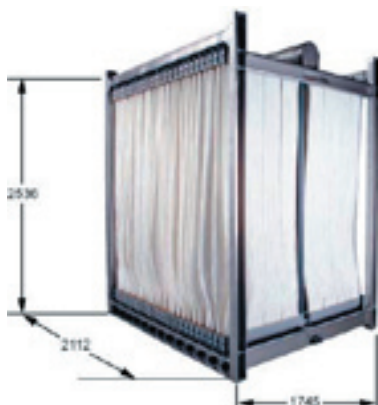
2.5 MEMBRAANFILTRATIE

2.5.1 INLEIDING

De membranen van de rwzi Varsseveld zijn geleverd door de firma Zenon en zijn van het type ZW500d (zie Afbeelding 14). Het betreft verticaal geplaatste capillaire membranen met een poriëgrootte van 0,035 μm . De keuze voor de Zenon membranen is gebaseerd op de resultaten van een Europese aanbesteding van het membraanfiltratiedeel en de goede ervaringen opgedaan in onder andere Beverwijk. Voor uitgebreidere informatie over het ontwerp van de membraanfiltratie-installatie wordt verwezen naar de deelstudie “Membranen” [ref.3]. In deze paragraaf zijn de belangrijkste ontwerpgegevens samengevat weergegeven.

De ontwerputgangspunten zijn beschreven in §2.5.2. De opzet en configuratie van de membraantanks is weergegeven in §2.5.3. De besturing van de membraanfiltratie-installatie is volledig geautomatiseerd. De belangrijkste procesregelingen met betrekking tot de membraanfiltratie zijn beschreven in §2.5.4.

AFBEELDING 14 SCHEMA VAN EEN MEMBRAANCASSETTE (LINKS) EN EEN FOTO VAN EEN CASSETTE IN EEN MEMBRAANTANK (RECHTS)



2.5.2 ONTWERPGEGEVENS

De belangrijkste dimensies van de membraaninstallatie van Varsseveld zijn weergegeven in Tabel 5.

TABEL 5 DIMENSIES VAN DE MEMBRAANINSTALLATIE VAN RWZI VARSSEVELD

Procesonderdeel	Parameter	Waarde	Eenheid
Membranen	Type	Zenon ZW500d	-
	Ontwerpflux (netto) bij RWA	37,5	$\text{l}/(\text{m}^2.\text{h})$
	Oppervlak totaal	20.160	m^2
	Aantal cassettes	16	-
	Aantal elementen per cassette	40	-
Membraantanks	Aantal tanks	4	-
	Volume elk	170	m^3
	Aantal cassettes per tank	4	-
Membraantoevoerpompen	Aantal pompen	4	-
	Capaciteit elk	400 - 800	m^3/h
Permeaatpompen	Aantal pompen	4	-
	Capaciteit elk	50 - 300	m^3/h
Membraanbeluchting	Capaciteit totaal	9.000	Nm^3/h
	Diepte beluchtingsbuizen	2,8	m

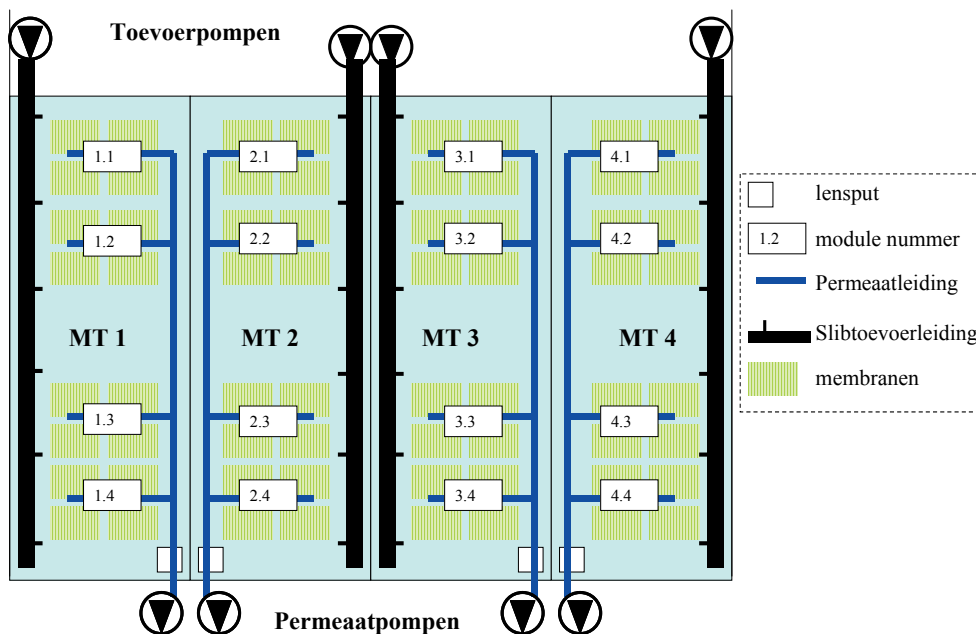
Een belangrijke ontwerpparameter voor de membranen is de flux, dat wil zeggen de hoeveelheid water die per vierkante meter membraan per tijdseenheid kan worden onttrokken. Het ontwerp van de MBR Varsseveld is gebaseerd op de ervaringen uit het Beverwijk onderzoek over een periode van ruim 4 jaar [ref.1] en (industriële) praktijkervaringen elders. De ontwerpflux van de MBR Varsseveld bedraagt 37,5 l/(m².h) netto en wordt bereikt als alle vier membraantanks bij regenweeraanvoer in bedrijf zijn. In het ontwerp is er van uitgegaan dat deze situatie zich maximaal 3 dagen achtereen kan voordoen. Indien echter één van de membraantanks tijdens RWA niet in bedrijf kan zijn (b.v. wegens een technische storing) kan gedurende een periode van maximaal 8 uur een netto-flux van 50 l/(m².h) te kunnen worden toegepast.

De ontwerpflux van 37,5 l/(m².h) netto is relatief hoog ten opzichte van bestaande installaties in het buitenland. In Duitsland wordt bijvoorbeeld een maximumflux van 25 tot 28 l/(m².h) voorgeschreven, maar wordt in de praktijk meestal een lagere ontwerpflux gehanteerd. De hoge ontwerpflux van de MBR Varsseveld is een gevolg van de positieve ervaringen in Beverwijk, waar met een goede slibkwaliteit dergelijke hoge fluxen konden worden gehaald. Hierbij dient te worden aangemerkt dat de RWA/DWA-verhouding in Varsseveld relatief hoog is ten opzichte van de installaties in het buitenland. Dit heeft tot gevolg dat de maximale flux op Varsseveld weliswaar hoog is maar dat de gemiddelde flux tijdens DWA op een vergelijkbaar niveau ligt met andere buitenlandse installaties.

2.5.3 BEDRIJFSVOERING

De membranen zijn geplaatst in vier gescheiden compartimenten. Voor een goede werking van de membranen is een zo gelijkmatig (symmetrisch) mogelijke belasting wenselijk. Hiertoe is speciale aandacht besteed aan het ontwerp van in- en uitstroom voorzieningen van deze tanks. De compartimentering maakt het mogelijk membranen buiten bedrijf te stellen in geval van lage aanvoer, wanneer niet de volledige capaciteit hoeft te worden aangewend. Dit spaart energie, omdat de membranen dan ook niet continu behoeven te worden belucht. Tevens hebben de membranen dan de tijd om te relaxeren. De indeling van de membraantanks is schematisch weergegeven in Afbeelding 15.

AFBEELDING 15 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE MEMBRAANTANKS

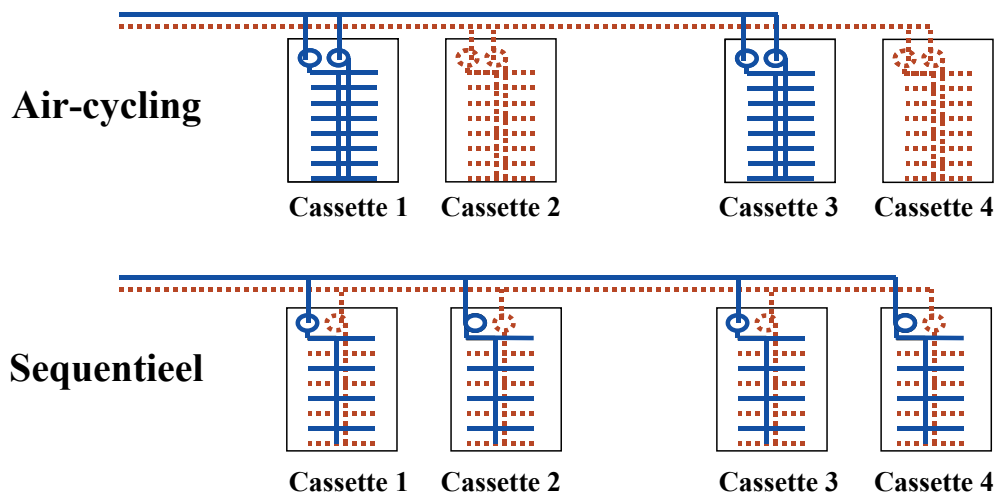


Elke membraantank is voorzien van een membraantoevoerpomp waarmee vanuit de beluchtingstank actiefslib wordt aangevoerd. Het doel hiervan is het verversen van het slib in de membraantank zodat het slibgehalte in deze tank ten gevolge van de permeaatonttrekking niet te veel oploopt. De slibretourstroom van de membraantanks stroomt onder vrij verval over in het omloopsysteem. Elke membraantank heeft een eigen permeaatpomp waarmee afwisselend permeaat wordt onttrokken en permeaat wordt teruggespoeld. Het inpassen van een terugspoelstap in de procescyclus voorkomt verder dat het membraanoppervlak en de membraanporiën verstopen.

De membraanmodules zijn aan de onderzijde voorzien van grove bellenbeluchting. De lucht-bellen zorgen voor turbulentie, waarmee de aanhechting van actiefslibdeeltjes aan het membraanoppervlak wordt voorkomen. De beluchting vindt alternerend plaats waarbij elke 15 seconden wordt gewisseld. Er zijn binnen het systeem twee typen alternerende beluchting mogelijk; sequentiële beluchting en air-cycling, welke schematisch zijn weergegeven in Afbeelding 16. Bij air-cycling vindt afwisselend beluchting plaats van cassettes 1 en 3 en cassettes 2 en 4. Bij sequentiële beluchting vindt de wisseling van de luchtinbreng niet plaats tussen de cassettes maar binnen de cassettes. Het voordeel van air-cycling is dat de turbulentie binnen de cassettes groter is waardoor de werking mogelijk effectiever is.

In procesmode vindt de alternerende beluchting continu plaats. Het principe van de beluchting in paraatmode is dat 50% van de capaciteit van één blower wordt gebruikt om alle membraantanks die in paraatmode zijn te beluchten. Alle in paraatmode zijnde membraanstraten worden één voor één belucht. Deze procedure wordt een instelbaar aantal keren herhaald. Hierna wordt een pauzetijd aangehouden waarin de beluchting van de membraanstraten in paraatmode uit staat. Na deze pauzetijd worden de beluchtingscycli weer gestart.

AFBEELDING 16 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN AIR-CYCLING EN SEQUENTIËLE BELUCHTING



Naast de continue fysische reiniging van het membraanoppervlak is periodieke chemische reiniging noodzakelijk. De reinigingsfilosofie is dat moet worden voorkomen dat de membranen dusdanig vervuilen dat de capaciteit afneemt. Vanuit deze gedachte is de reinigingsmethodiek gebaseerd op zogenaamde maintenance cleanings (MC) of onderhoudsreinigingen ontstaan. Deze reinigingsfilosofie is ontwikkeld tijdens het pilot-onderzoek in Beverwijk. Deze MC's worden éénmaal per week of éénmaal per twee weken uitgevoerd, met beduidend lager

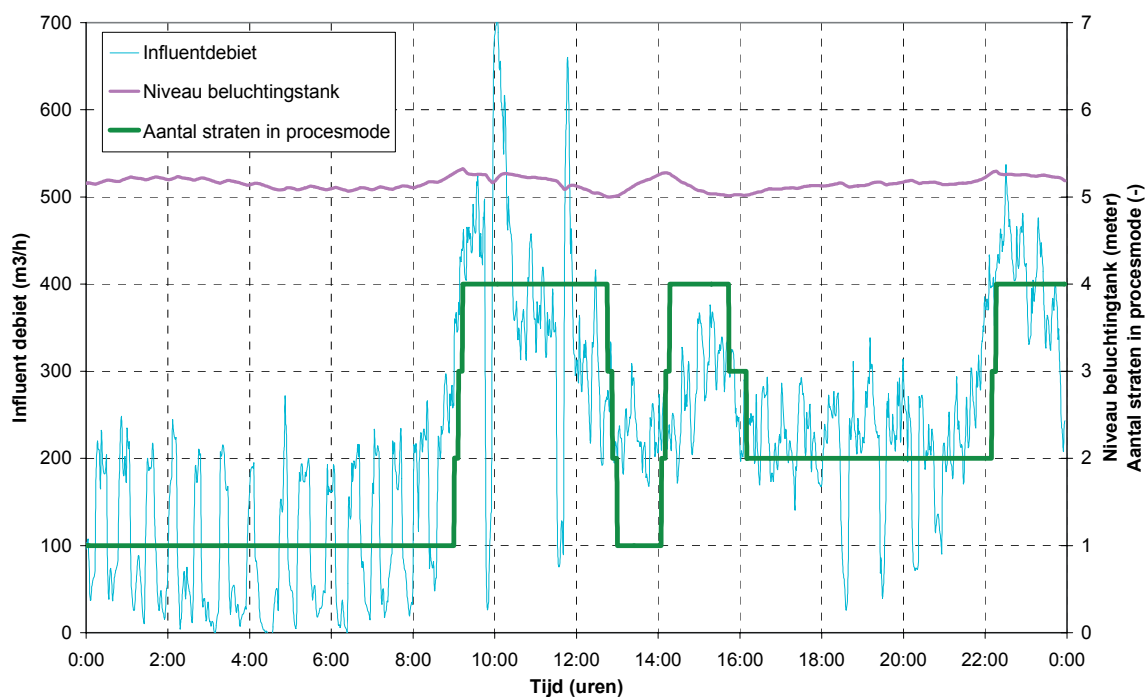
geconcentreerde chemicaliënoplossingen dan wordt toegepast bij de tot voor kort gangbare intensieve reinigingen. Een deel van de reinigingsstappen wordt bovendien met warm water uitgevoerd teneinde de effectiviteit van de MC's verder te verhogen.

2.5.4 PROCESSTURING

De twee belangrijkste toestanden waarin een membraantank zich kan bevinden zijn procesmode en paraatmode. In de procesmode onttrekken de permeaatpompen permeaat. Hierbij zijn de membraanbeluchting en de membraantoevoerpompen in bedrijf. In paraatmode wordt geen permeaat onttrokken. De membraanbeluchting staat hierbij een groot deel van de tijd uit en komt alleen in bedrijf om de inhoud van de tank op te mengen en anaërobe omstandigheden te voorkomen. De membraantoevoerpompen staan op een vast debiet en zorgen voor een continue slibverversing.

De vier membraanstraten zijn alleen gezamenlijk in procesmode als de hydraulische aanvoer van de installatie hoog is, dus bij regenweer. Bij DWA zijn slechts 1 of 2 van de 4 tanks benodigd om de aanvoer te kunnen verwerken. Het aantal membraantanks in procesmode wordt bepaald op basis van het niveau in de beluchtingstank. Als het niveau in de beluchtingstank stijgt (ten gevolge van toename van de hydraulische aanvoer) wordt een membraantank vanuit paraatmode in procesmode gezet. Als het niveau daalt wordt een tank afgeschakeld en in paraatmode gezet. In Afbeelding 17 is dit principe voor een dag met sterk wisselende aanvoer weergegeven. Het in- en uitschakelen van de membraantanks is volledig geautomatiseerd. Alle membraantanks krijgen op deze manier evenveel draaiuren.

AFBEELDING 17 STRAATSTURING OP BASIS VAN HET NIVEAU IN DE BELUCHTINGSTANK



De bedrijfsvoerder kan in de besturingsinstallatie een zogenaamde optimumflux instellen. Bij deze optimumflux functioneren de membranen optimaal onder de heersende omstandigheden. Dit wil zeggen dat hierbij nagenoeg geen vervuiling van de membranen plaatsvindt en daardoor geen significante afname van de permeabiliteit plaatsvindt. De optimumflux

bepaalt de hoeveelheid permeaat die per membraantank kan worden onttrokken. Indien de optimumflux is ingesteld op 20 l/(m².h) netto kan per membraantank circa 100 m³/h aan permeaat worden onttrokken. Bij DWA functioneren de membraantanks die in procesmode zijn bij de optimumflux. Alleen de membraantank die als laatste in procesmode is gekomen probeert door het bijregelen van de permeaatpomp het niveau in het omloopsysteem op het gewenste niveau te houden. Indien alle tanks in procesmode zijn en het niveau in het omloopsysteem nog verder stijgt wordt de onttrekkingscapaciteit geleidelijk verhoogd naar de ontwerpflux van 37,5 l/(m².h).

De permeaatonttrekkingscyclus bestaat uit onttrekking en terugspoeling van permeaat. Aangezien voor beide functies dezelfde pomp wordt gebruikt, dient de draairichting van deze pomp telkens te worden omgekeerd. In de praktijk wordt na 6 minuten permeaatonttrekking gedurende 20 seconden permeaat teruggespoeld. De hoogte van het terugspoeldebiet is via een factor (b.v. 1,25) gekoppeld aan het permeaatonttrekkingsdebiet. Het gevolg hiervan is dat het rendement van de filtratiestap daalt, immers een deel van het onttrokken permeaat wordt weer teruggespoeld in de membraantank en dient nogmaals te worden onttrokken. Bij de instellingen op Varsseveld wordt gewerkt met een rendement van circa 80%.

Bij het optreden van een lekkage in een membraan of een permeaatleiding zal slib met het permeaat worden meegevoerd. Met dit permeaat worden vervolgens de membranen teruggespoeld, waardoor slib aan de binnenkant van de membranen wordt gebracht. Dit kan leiden tot een (blijvende) verslechtering van de prestaties van het systeem. Lekkages kunnen daarom vroegtijdig worden gesignaleerd met behulp van troebelheidsmeters welke in de vier permeaatleidingen van de vier membraanstraten zijn geplaatst. Indien de troebelheid boven 10 NTU komt wordt de betreffende membraanstraat uitgeschakeld en wordt een alarm gegeven.

De chemische reiniging van de membranen vindt plaats door middel van een regelmatige Maintenance Cleaning (MC). Naar behoefte kan een Intensieve Cleaning (IC) worden uitgevoerd. De MC wordt toegepast om de permeabiliteit van de membranen op een constant hoog niveau te houden, waardoor bij lage drukken kan worden gewerkt en membraanvervuiling minder snel optreedt. De hierbij toegepaste reinigingsconcentratie is relatief laag, de inwerktijd relatief kort en de frequentie relatief hoog, bijvoorbeeld éénmaal per week of éénmaal per twee weken.

De standaard MC procedure op Varsseveld bestaat uit de toepassing van één sterke oxidant, gevolgd door een zuur. Deze twee-traps reiniging wordt zowel uitgevoerd met warm (ca. 35°C) als koud water. Het warme water verhoogt de effectiviteit van de chemicaliën en daarmee het reinigingsrendement. Een IC kan worden uitgevoerd indien de permeabiliteit is gedaald tot een ongewenst laag niveau en is erop gericht om de permeabiliteit in één keer terug te brengen naar het gewenste niveau. Intensieve reinigingen hebben een lage frequentie maar een hogere chemicaliënconcentratie en een langere inwerktijd dan een MC. Deze reiniging dient te worden uitgevoerd als de permeabiliteit zich door de MC's niet meer of onvoldoende herstelt. De verwachting voor MBR Varsseveld is dat door toepassing van MC's de reiniging dermate effectief is dat de IC-procedure maximaal éénmaal per jaar dient te worden uitgevoerd.

3

TECHNOLOGISCHE WERKING

3.1 INLEIDING

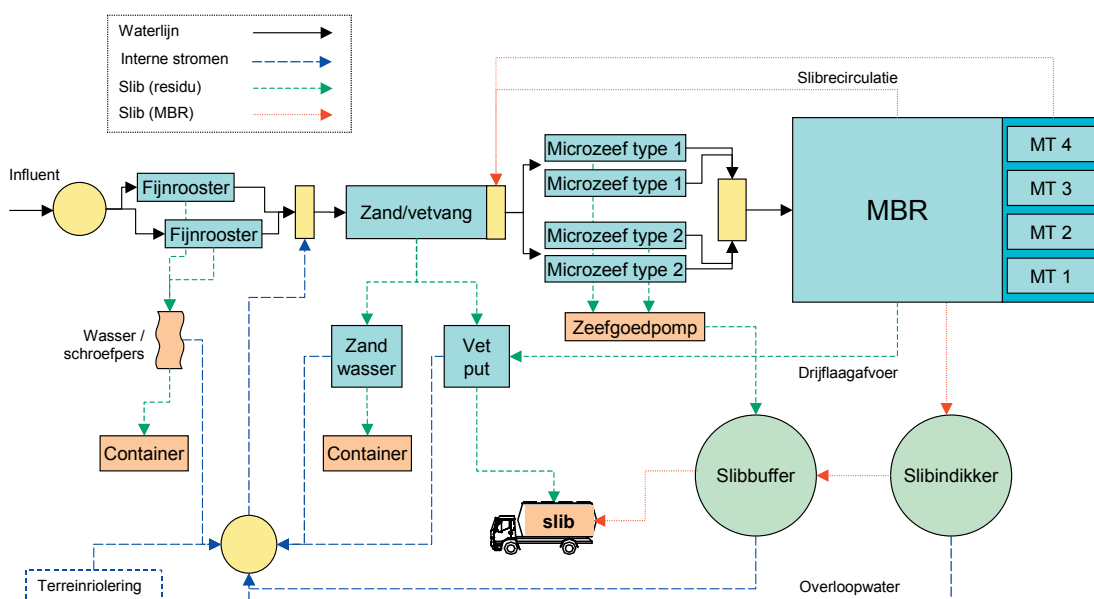
De MBR Varsseveld is opgestart op 21 december 2004. In de eerste weken is het afvalwater verdeeld over de bestaande conventionele rwzi en de nieuwe MBR. Vanaf medio januari 2005 is de bestaande installatie uit bedrijf genomen en is de MBR gevoed met de volledige aanvoer. In dit hoofdstuk is de technologische werking vanaf de opstart tot eind april 2006 beschreven. Bij de beschrijving van de technologische werking is onderscheid gemaakt in de voorbehandeling (§3.2), de biologie (§3.3) en de membraanfiltratie (§3.4). In §3.5 zijn de resultaten gepresenteerd van de deelstudie "Bijzondere stoffen", een monitoringsprogramma waarbij in het influent en het permeaat van de MBR Varsseveld is gekeken naar de aanwezigheid van hormonen, geneesmiddelen en dergelijke.

3.2 VOORBEHANDELING

3.2.1 INLEIDING

In de maanden oktober 2005 tot en met januari 2006 is in de deelstudie "Voorbehandeling" [ref.3] aandacht besteed aan de technologische werking van de voorbehandeling. Hierbij is een intensief bemonsteringsprogramma uitgevoerd met als doel het verkrijgen van meer inzicht in de verwijderingsrendementen van de drie voorbehandelingsstappen. De opzet van de voorbehandeling en alle interne stromen die van invloed zijn op de voorbehandeling, zijn schematisch weergegeven in Afbeelding 18.

AFBEELDING 18 DE VOORBEHANDELING EN DE INTERNE STROMEN



In §3.2.2 zijn de resultaten van de deelstudie “Voorbehandeling” samengevat weergegeven. De productie van de verschillende reststoffen zoals roostergoed, zeefgoed, zand en vet is weergegeven in §3.2.3.

3.2.2 RENDEMENT

Voor het vaststellen van de verwijderingsrendementen per zuiveringstrap is een intensieve monsternamen en analysecampagne uitgevoerd. Deze campagne heeft wisselende resultaten opgeleverd. Voor een aantal stoffen kon onvoldoende betrouwbaar het verwijderingsrendement worden vastgesteld. Dit had veelal te maken met externe verstoringen van de bemonsterde waterstromen waardoor geen goede balansberekeningen konden worden gemaakt. Soms kon geen verklaring worden gegeven voor de gevonden hoge spreiding, negatieve rendementen of niet kloppende massabalansen.

Het gevolg van deze factoren is dat de rendementen die per stap worden berekend niet overeenkomen met het totale rendement van de voorbehandeling (zie deelstudie “Voorbehandeling” [ref.3]). De resultaten welke zijn gepresenteerd in Tabel 6 zijn daarom zodanig omgerekend dat de totaalbalans per component sluitend is. Hierbij is per stap de ingaande en uitgaande vracht weergegeven (als percentage van de influentvracht die op 100% is gesteld) en is het verwijderingsrendement per stap weergegeven op basis van de influentvracht (REND. = - 20% wil zeggen dat een stofvracht overeenkomend met 20% van de influentvracht wordt verwijderd, +7% wil zeggen dat de stofvracht in de betreffende stap met 7% toeneemt).

TABEL 6 RENDEMENT VAN DE VOORBEHANDELING (REND. IN % VAN INFLUENTVRACHT), INCLUSIEF DE TERREINRIOLERING

Parameter	Fijnrooster			Terreinriolering %	Zand/vetvang			Microzeven			Totaal REND.
	IN	REND.	UIT		IN	REND.	UIT	IN	REND.	UIT	
onopgeloste stof	100	-39	61	+18	79	+7	85	85	-20	65	-35
BZV	100	-26	74	+7	81	+11	93	93	-26	67	-33
CZV	100	-34	66	+14	80	+9	89	89	-17	72	-28
Kjeldahl stikstof	100	-11	89	+8	97	0	97	97	-8	88	-12
ammonium	100	-11	89	+5	94	-2	92	92	0	92	-8
fosfaat (totaal)	100	-38	62	+13	75	+11	86	86	+5	92	-8
vet	100	-30	70	+8	78	+6	85	85	-24	60	-40

Opvallend is dat in de zand/vetvang geen verwijdering van de verschillende influentcomponenten lijkt plaats te vinden. Op basis van de metingen lijkt zelfs een lichte toename plaats te vinden. Vet wordt vooral in de fijnroosters en de microzeven verwijderd. Door een gebrek aan representatieve monsternamedagen kon geen onderscheid worden gemaakt tussen het functioneren van de verschillende typen microzeven.

De Technische Universiteit Kassel heeft in de maanden april en mei 2006 eveneens onderzoek naar de voorbehandeling gedaan, in het bijzonder naar het functioneren van de statische microzeef. De resultaten zijn voor de onderzochte stoffen (onopgeloste stof, CZV, totaal stikstof en fosfaat) in overeenstemming met onderhavig onderzoek.

3.2.3 RESTSTOFFEN

De hoeveelheid roostergoed is op twee manieren vastgesteld. Op basis van een balansberekening varieerde de hoeveelheid afgescheiden onopgeloste stof van 200 tot 1.000 kg DS/dag met een gemiddelde afvoer van 562 kg DS/dag. Daarnaast zijn de berekeningen van de roostergoedproductie gebaseerd op het aantal afgevoerde containers in de onderzoeksperiode. Op basis van containerafvoer bedroeg de hoeveelheid afgescheiden roostergoed circa 11-17 kg DS/dag. Het verschil tussen beide methoden is enorm waardoor de betrouwbaarheid twijfelachtig is.

De hoeveelheid afgescheiden zand is bijgehouden door registratie van het aantal dagelijkse uren dat de zandwasser in bedrijf is geweest. De hoeveelheid afgescheiden zand bedraagt voor de MBR Varsseveld circa 2 g/i.e.dag (nat volume). De hoeveelheid vet is niet vastgesteld.

De hoeveelheid zeefgoed geproduceerd door beide typen microzeven bedroeg 200-450 kg DS/dag. Hierbij heeft de slibrecirculatie vanuit de beluchtingstank regelmatig aangestaan waardoor de hoeveelheid zeefgoed relatief hoog is geweest. De hoeveelheid zeefgoed vastgesteld door de TU Kassel bedroeg, zonder slibrecirculatie, voor de stationaire microzeven 175 kg DS/uur. Op basis van deze gegevens wordt aangenomen dat de zeefgoedproductie gemiddeld 200 kg DS/dag bedraagt.

3.3 BIOLOGIE

3.3.1 INLEIDING

De biologie van de MBR Varsseveld is vanaf december 2004 opgestart met slib van de bestaande rwzi Varsseveld. Het entslib is vanuit de oude installatie over de microzeven in de beluchtingstank van de MBR gebracht. Het slibgehalte na deze enting bedroeg 2 kg DS/m³. Vanaf dat moment is de belasting op de MBR geleidelijk opgevoerd en is het slibgehalte in 7 weken aangegroeid tot het gewenste niveau van 10 kg DS/m³. Het verloop van het drogestofgehalte is samen met een aantal andere procesgegevens grafisch weergegeven in Afbeelding 19.

Tijdens de opstartfase is geen sprake geweest van schuim- of drijfslagvorming. Bij de opstart van de simulatie-unit in mei 2004 was wel veel schuimvorming opgetreden en moest de opstart worden afgebroken (zie deelstudie "Simulatie-unit" [ref.3]). De tweede opstart van de simulatie-unit verliep zonder schuimproblemen, dankzij een gelijkmatige toename van de belasting. Dankzij deze informatie is de opstart op de MBR Varsseveld vervolgens ook goed verlopen.

De belangrijkste graadmeters voor de biologie zijn de stikstof- en fosfaatverwijdering. De stikstofverwijdering is vanaf de opstart geoptimaliseerd. De optimalisatie van de fosfaatverwijdering is over het hele jaar uitgesmeerd. De eerste maanden is geen ijzerzout gedoseerd om te zien in welke mate fosfaat biologisch wordt verwijderd. Vanaf juni 2005 is gestart met een relatief geringe ijzerdosering, waarbij de ijzerdoseerpomp was ingesteld op een constant debiet. In de maanden daaropvolgend is dit debiet in kleine stapjes verhoogd. Vanaf oktober 2005 heeft de aansturing van de ijzerdosering plaatsgevonden op basis van het influentdebiet. De instelling was zodanig dat een effluentgehalte van 0,3-0,5 mg P/l werd bereikt. Vervolgens heeft de aansturing van de ijzerdoseerpomp op basis van een fosfaatsetpoint van 0,15 mg PO₄-P / l plaatsgevonden. Bij de beschouwing van de biologische werking kan daarom onderscheid worden gemaakt in vijf periodes welke in Tabel 7 zijn weergegeven. Bij de

presentatie van de resultaten van de biologie is de eerste fase, de opstart, niet meegenomen. In deze fase was de biologie nog niet volledig opgestart en waren bovendien de meetdata uit het besturingssysteem nog niet beschikbaar. Indien wordt gerefereerd aan de totale onderzoeksperiode wordt daarom fase 2 t/m 5 bedoeld.

TABEL 7 ONDERZOEKSPERIODES

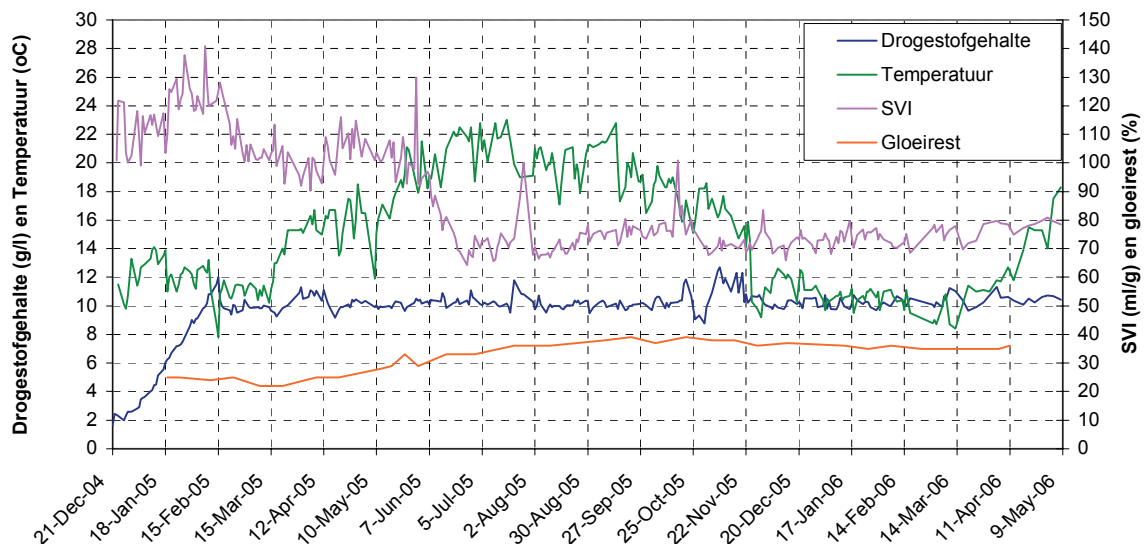
Fase	Periode	Dagen [-]	IJzerdosering		Omschrijving / aansturing
			[l/h]	[mol Fe/mol P _{inluent}]	
1	21 / 12 / 2004 - 16 / 02 / 2005	58	0	0	Opstart biologie
2	17 / 02 / 2004 - 31 / 05 / 2005	103	0	0	Biologische P-verwijdering
3	01 / 06 / 2005 - 30 / 09 / 2005	121	7,4	0,40	Dosering op constant debiet
4	01 / 10 / 2005 - 23 / 01 / 2006	114	17,4	0,82	Dosering op influentdebiet
5	24 / 01 / 2006 - 09 / 05 / 2006	105	21,8	1,12	Dosering op P = 0,15 mg/l
Totaal	17 / 02 / 2004 - 09 / 05 / 2006	443	11,6	0,53	Fase 2 t/m 5

In deze paragraaf zijn de belangrijkste resultaten van de biologie van de MBR Varsseveld gepresenteerd. Allereerst zijn in §3.3.2 de belangrijkste procesgegevens gedurende de onderzoeksperiode weergegeven. In §3.3.3 en §3.3.4 zijn vervolgens de resultaten van de stikstof- en fosfaatverwijdering gepresenteerd. De slibproductie is tenslotte in §3.3.5 weergegeven.

3.3.2 PROCESGEGEVENS

De belangrijkste procesgegevens van de biologie zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 19. Het slibgehalte is relatief constant op 10 kg DS/m³ gehouden. Opvallend is de sterke daling van de slibvolume-index (SVI) in juni 2005. Dit is een gevolg van de ijzerchloridedosering welke op dat moment is gestart. Ten gevolge hiervan is ook een duidelijke stijging van de gloeirest opgetreden.

AFBEELDING 19 PROCESGEGEVENS VAN DE BIOLOGIE



De gemiddelde waarden van de belangrijkste procesparameters gedurende de verschillende periodes zijn weergegeven in Tabel 8. De slibproductie is gebaseerd op de gemiddelde waarden van vier verschillende bepalingmethoden (zie §5.3).

De totale belasting op basis van vervuilingseenheden (à 136 g TZV) is 15-20% lager dan de ontwerpbelasting. Dit is met name een gevolg van de lagere stikstofvracht in het influent. De slibbelasting zoals weergegeven in Tabel 8 is gebaseerd op de influentsamenstelling na de voorbehandeling. Hierbij is uitgegaan van de rendementen in de voorbehandeling zoals gepresenteerd in Tabel 6.

Bij de vaststelling van de ontwerpbelasting is als ontwerpveiligheid het rendement van de voorbehandeling voor alle componenten op 0% gesteld. Ten gevolge hiervan is de werkelijke CZV-belasting van de beluchtingstank ruim 20% lager dan volgens het ontwerp (100 g CZV/(kg DS.d)). De gemiddelde stikstofbelasting was zelfs ruim 30% lager dan het ontwerp (9,3 g N/(kg DS.d)). De fosfaatbelasting is daarentegen bijna 20% hoger dan de ontwerpbelasting (1,66 g P/(kg DS.d)).

De gemiddelde influent- en permeaatconcentraties van CZV, stikstof en fosfaat gedurende de verschillende fases zijn weergegeven in Tabel 9. De CZV-verwijdering bedroeg gedurende de gehele periode 97%, waarbij de permeaatconcentratie zeer stabiel was ($22 \pm 3,1$ mg/l). Bij regenweer daalt het CZV van het permeaat tot een minimum concentratie van 10 mg/l.

De resultaten van de stikstof- en fosfaatverwijdering zijn nader toegelicht in §3.3.3 en 3.3.4.

TABEL 8 BELANGRIJKSTE PROCESPARAMETERS VAN DE MBR VARSSEVELD

Parameter	Eenheid	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
<i>IJzerdosering</i>	<i>mol Fe/mol P_{influent}</i>	0,53	0	0,40	0,82	1,12
Belasting	i.e. (à 54 g BZV)	22.600	22.200	23.800	22.600	20.600
	i.e. (à 136 g TZV)	25.800	25.400	27.200	25.800	23.600
Slibbelasting ¹⁾	g CZV/(kg DS.d)	77	76	81	77	70
	g N/(kg DS.d)	6,3	6,3	6,5	6,1	5,9
	g P/(kg DS.d)	1,95	1,82	2,10	2,01	1,76
Debiet	m ³ /d	4.180	3.910	4.090	4.500	4.320
Procestemperatuur	°C	15,6	14,6	20,3	13,9	11,5
Slibgehalte	kg DS/m ³	10,3	10,1	10,2	10,4	10,3
Gloeirest	%	33	26	35	37	35
SVI	ml/g	82	104	75	74	76
Slibproductie ²⁾	kg DS/d	1.130	1.090	1.070	1.210	1.150
Slibleeftijd	d	34	34	35	32	33

1) Berekend op basis van het volume van de beluchtingstank (exclusief de membraantanks)

2) Op basis van de gemiddelde slibproductie zoals berekend in Tabel 13

TABEL 9 INFLUENT (RUW) EN PERMEAAT CONCENTRATIES (REKENKUNDIG GEMIDDELDE)

Parameter		Eenheid	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
IJzerdosering		$\text{mol Fe/mol } P_{\text{influent}}$	0,53	0	0,40	0,82	1,12
CZV	Influent	mg/l	790	830	850	730	700
	Permeaat	mg/l	22	25	22	20	20
	Rendement	%	97	97	97	97	97
N_{Kj}	Influent	mg/l	52	56	55	48	47
	Permeaat	mg/l	1,0	1,1	0,9	0,9	1,2
$\text{NH}_4\text{-N}$	Influent	mg/l	30	25	30	34	30
	Permeaat	mg/l	0,26	0,24	0,14	0,32	0,44
$\text{NO}_3\text{-N}$	Influent	mg/l	1,9	4,2	1,0	1,7	1,8
	Permeaat	mg/l	2,7	2,2	2,4	3,4	2,5
N_{totaal}	Influent	mg/l	54	60	56	49	49
	Permeaat	mg/l	3,7	3,2	3,3	4,4	3,7
	Rendement	%	93	95	94	91	92
P_{totaal}	Influent	mg/l	15,6	15,5	17,1	14,9	13,7
	Permeaat	mg/l	2,1	4,9	2,4	0,44	0,19
	Rendement	%	87	68	86	97	99

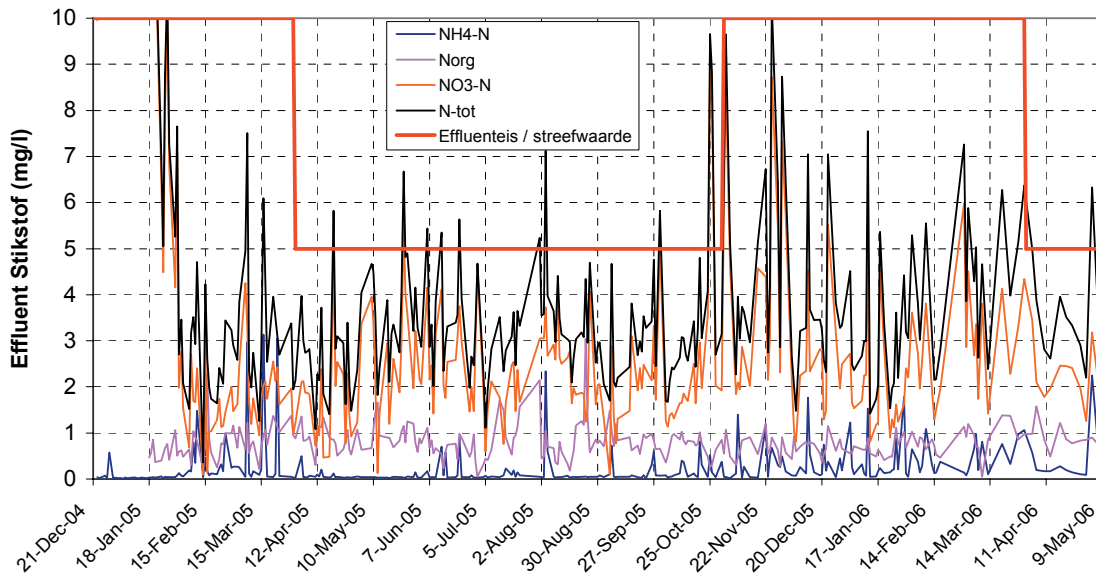
3.3.3 STIKSTOFVERWIJDERING

Het verloop van de stikstofgehalten in het permeaat is weergegeven in Afbeelding 20. De gemiddelde influent- en permeaatconcentraties zijn gepresenteerd in Tabel 9. De streefwaarde van 5 mg N_{totaal} /l welke voor de zomermaanden geldt wordt eenvoudig gehaald. In de winter van 2005 is de effluentconcentratie verschillende keren boven de 5 mg/l uitgekomen, hetgeen vooral is veroorzaakt door technische storingen of technologische bedrijfsvoeringsproblemen. Van beide kan een voorbeeld worden gegeven:

- Eind oktober 2005 verscheen er een dikke drijfslag op het omloopsysteem, waardoor de drijvende on-line analysers niet meer goed functioneerden. Het gevolg hiervan was een slecht functionerende beluchtingsregeling en een hoge nitraatpiek in het permeaat;
- Eind november 2005 zijn de interne recirculatiepomp, de mengers in de voordennitrificatietank en de voortstuwars in het omloopsysteem bijna 2 weken uit bedrijf geweest. Dit uit zich in een relatief grote nitraatpiek rond 22 november 2005.

De ammoniumconcentratie in het permeaat is altijd zeer laag dankzij de overmatige beluchting in de membraantank. In de loop der tijd is de ammoniumconcentratie langzaam opgelopen van 0,1-0,2 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ in de fasen 2 en 3 tot 0,3-0,4 mg $\text{NH}_4\text{-N/l}$ in de fasen 4 en 5. Dit is het gevolg van het verhogen van de stikstofsetpoint van de beluchtingsregeling (zie §4.3.2).

AFBEELDING 20 HET VERLOOP VAN DE STIKSTOFGEHALTES IN HET PERMEAAT

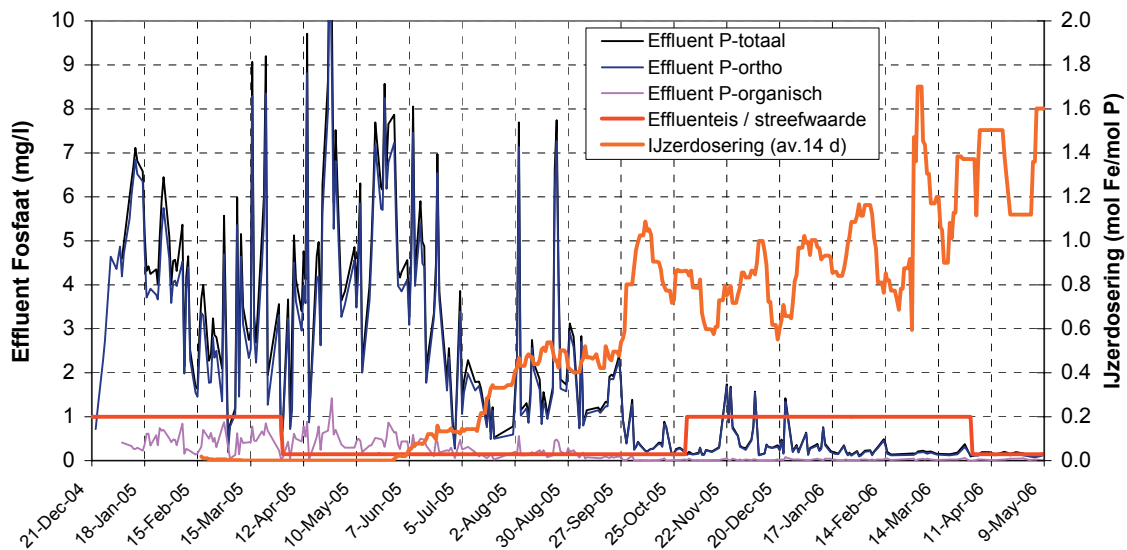


3.3.4 FOSFAATVERWIJDERING

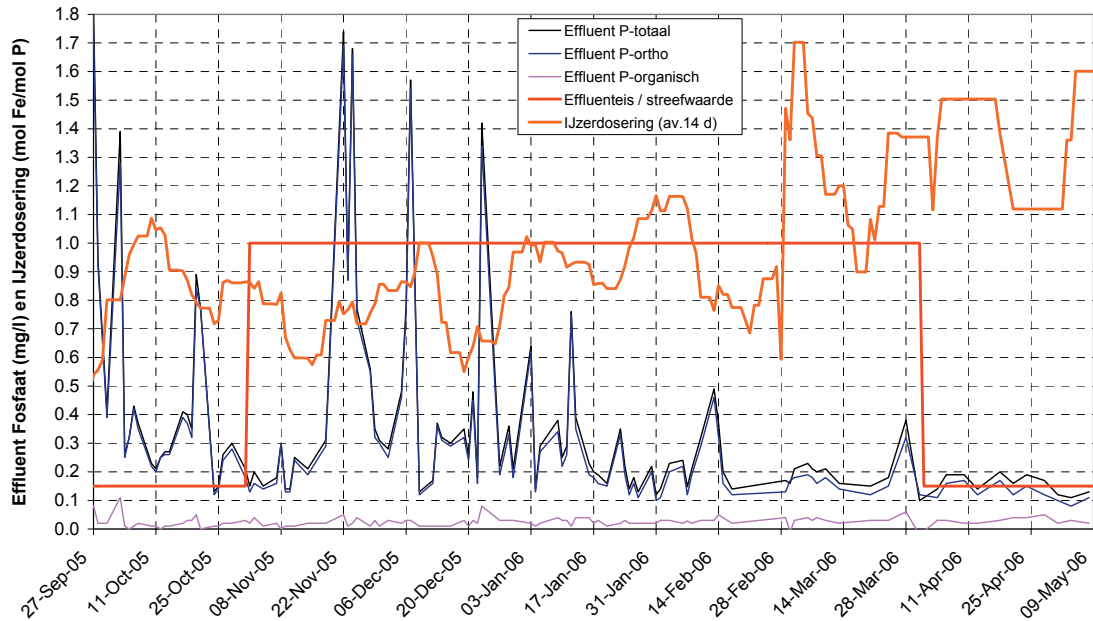
Het afvalwater van de rwzi Varsseveld heeft een relatief hoog fosfaatgehalte. Het gemiddelde fosfaatgehalte in het influent in het jaar 2005 was circa 15 mg P_{totaal}/l . De effluentstreefwaarde voor de MBR is 0,15 mg P_{totaal}/l , wat inhoudt dat een verwijderingsrendement van 99% dient te worden gehaald. De resultaten van de fosfaatverwijdering voor de verschillende onderzoeksperiodes zijn weergegeven in Tabel 9. Het verloop van de fosfaatconcentratie in het influent en het permeaat en de specifieke ijzerdosering, uitgedrukt in mol ijzer per mol fosfaat in het influent, is weergegeven in Afbeelding 21.

Zonder ijzerdosering wordt een permeaatconcentratie van 4-5 mg P_{totaal}/l bereikt. De streefwaarde van 0,15 mg P_{totaal}/l is in het laatste deel van fase 5 gehaald. In Afbeelding 22 is het verloop van de fosfaatconcentratie in deze periode op detailniveau weergegeven. De benodigde ijzerdosering hierbij was 1,2-1,4 mol Fe/mol P_{influent} .

AFBEELDING 21 HET VERLOOP VAN DE FOSFAATGEHALTES IN HET PERMEAAT EN DE SPECIFIEKE IJZERDOSERING



AFBEELDING 22 HET VERLOOP VAN DE FOSFAATGEHALTES IN HET PERMEAAT EN DE SPECIFIEKE IJZERDOSERING



3.3.5 SLIBPRODUCTIE

Het Waterschap houdt nauwkeurig bij hoeveel slib per as van de installatie wordt afgevoerd. Het afgevoerde slib is samengesteld uit het spuislib van de beluchtingstank, het zeefgoed van de microzeven en de inhoud van de drijfslaag/vetput (zie Afbeelding 18). Van deze slibstroom wordt het aantal kubieke meters en het drogestofgehalte bijgehouden. Het drogestofgehalte van dit slib is bepaald aan de hand van steekmonsters. Op basis hiervan is voor verschillende periodes de dagelijkse afvoer per as berekend en weergegeven in Tabel 10. De resultaten zijn nader uitgewerkt in §5.3.

In het kader van de deelstudie "Voorbehandeling" [ref.3] is getracht om de hoeveelheid geproduceerd zeefgoed en vet te kwantificeren. Voor beide deelstromen was dit niet goed mogelijk. Voor beide afvalstoffen is daarom een globale schatting gemaakt. Voor de berekening van de hoeveelheid zeefgoed is gebruik gemaakt van kentallen [ref.5]. De hoeveelheid vet is waarschijnlijk verwaarloosbaar ten opzichte van de overige vrachten en is daarom in bovenstaande berekening op nul gesteld.

TABEL 10 SLIBPRODUCTIE (INCL. ZEEFGOED) VAN DE RWZI VARSSEVELD OP BASIS VAN DE AFVOERGEGEVENS

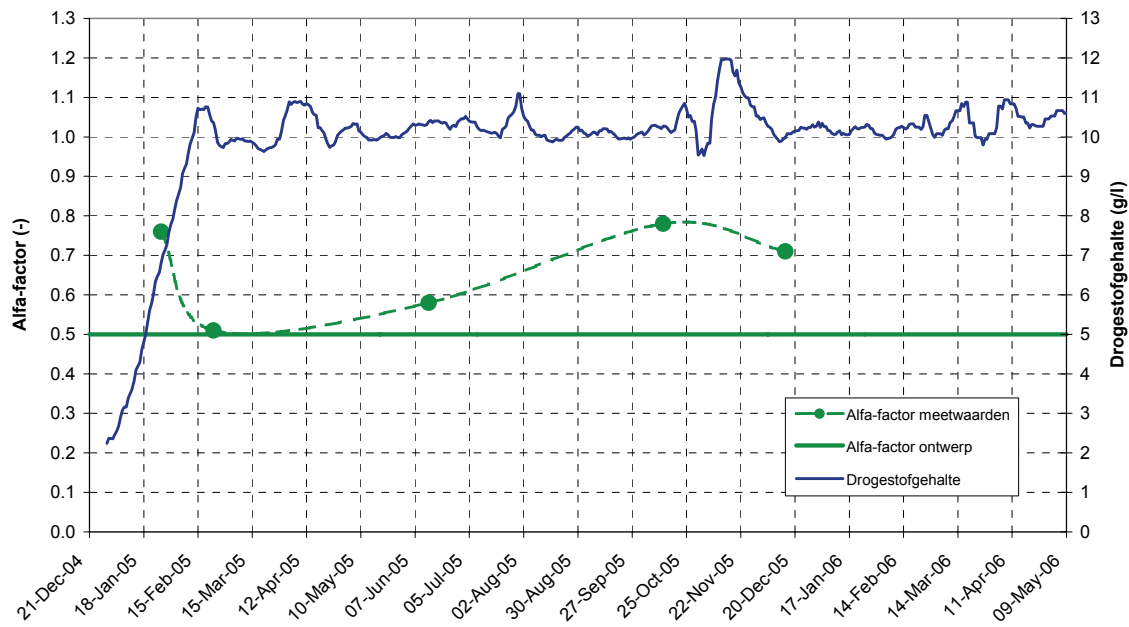
Parameter	Eenheid	Conventioneel ¹⁾	Fase 2-5	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
IJzerdosering	mol Fe/mol P_{inflow}	0,5	0,53	0	0,40	0,82	1,12
Afvoer per as	kg DS/dag	1.320	1.230	1.290	1.010	1.370	1.090
Aandeel zeefgoed	kg DS/dag	-	200	200	200	200	200
Aandeel vet	kg DS/dag	-	0	0	0	0	0
Spuislib (incl.drijfslaag)	kg DS/dag	1.320	1.030	1.090	810	1.170	890

1) De slibafvoer van de oude (hoogbelaste) conventionele rwzi Varsseveld in het jaar 2004

3.3.6 α -FACTOR

Ten gevolge van het hoge slibgehalte in de beluchtingstank neemt de viscositeit van het actiefslib toe. Het gevolg hiervan is dat de zuurstofoverdracht verslechtert en de α -factor daalt. Tijdens het pilot-onderzoek in Beverwijk varieerde de α -factor tussen de 0,4 en 0,7 [ref.1,2]. In het ontwerp van de MBR Varsseveld is uitgegaan van een α -factor van 0,5.

In het kader van de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] is een aantal malen in het jaar 2005 de α -factor in een testopstelling gemeten. De meetresultaten zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 23. In de opstartfase was de α -factor relatief hoog ten gevolge van het lagere slibgehalte van dat moment. Nadat het slibgehalte het gewenste niveau had bereikt is de α -factor gedaald tot op het ontwerpniveau. In de loop van het jaar is de α -factor vervolgens gestegen tot een niveau van 0,7-0,8.

AFBEELDING 23 HET VERLOOP VAN DE α -FACTOR IN DE TIJD

3.4 MEMBRAANFILTRATIE

3.4.1 INLEIDING

Net als de biologie is de membraaninstallatie ook vanaf 21 december 2004 in bedrijf. De eerste weken was de aanvoer relatief laag, aangezien slechts een deel van het afvalwater in de MBR werd verwerkt. Een overzicht van de belasting van de vier membraanstraten over de volledige onderzoeksperiode (fase 1 t/m 5) is weergegeven in Tabel 11. Hieruit blijkt dat de membranen gemiddeld 45% van de tijd in bedrijf zijn. De hydraulische belasting van de vier straten is nagenoeg gelijk. De werking van de membranen is beschreven in §3.4.2. De resultaten van de garantietesten zijn weergegeven in §3.4.3.

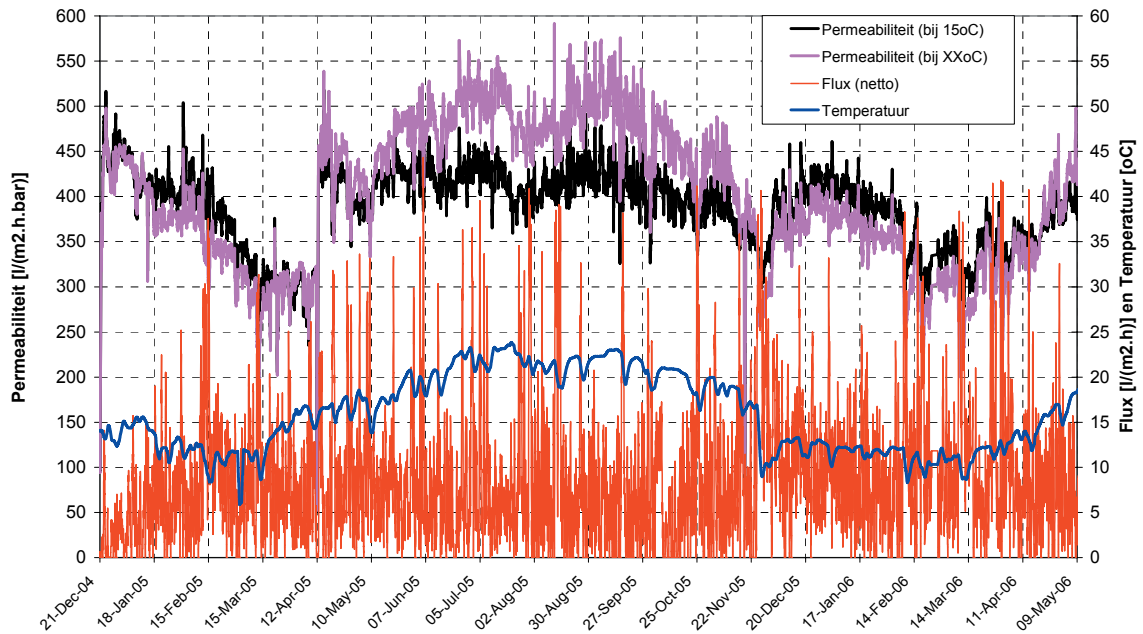
TABEL 11 BELANGRIJKSTE PROCESGEGEVENS VAN DE VIER MEMBRAANSTRATEN (21 DECEMBER 2004 – 9 MEI 2006)

Parameter	Eenheid	MT1	MT2	MT3	MT4	Totaal
Debiet totaal	m ³	531.700	544.100	552.700	533.100	2.161.600
Debiet gemiddeld	m ³ /d	1.055	1.080	1.097	1.058	4.289
Flux gemiddeld (netto)	l/(m ² .h)	8,7	8,9	9,1	8,7	8,9
Debiet specifiek	m ³ /m ²	105	108	110	106	107
Tijd in procesmode	%	45	45	45	44	45

3.4.2 MEMBRAANWERKING

Zoals blijkt uit Tabel 11 heeft elke membraanstraat in 16 maanden tijd ruim 500.000 m³ permeaat geproduceerd. Elke straat heeft 45% van de tijd in procesmode en 55% in paraatmode gestaan. De gemiddelde netto flux, uitgesmeerd over de gehele periode, bedraagt circa 9 l/(m².h), hetgeen overeenkomt met een netto flux tijdens procesmode van circa 20 l/(m².h). In Afbeelding 24 is het verloop van de netto flux, de permeabiliteit en de procestemperatuur voor één van de vier membraantanks weergegeven.

AFBEELDING 24 HET VERLOOP VAN DE FLUX, PERMEABILITEIT EN TEMPERAATUUR VAN ÉÉN VAN DE MEMBRAANTANKS



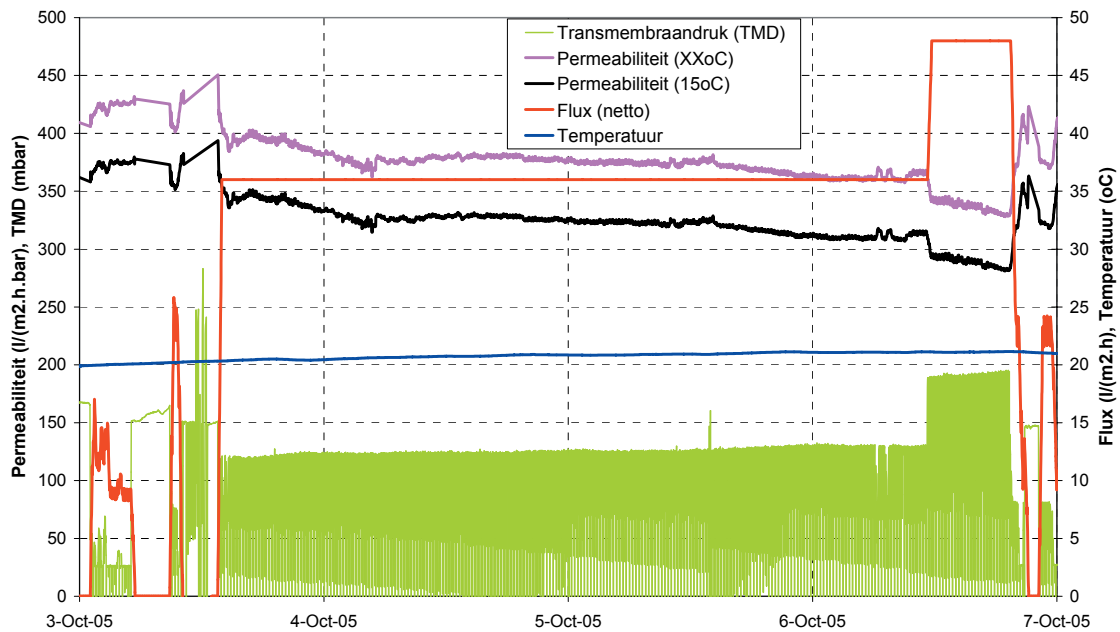
Een opvallende periode betreft de maanden februari en maart in 2005. In deze periode, vlak na de opstart van de MBR Varsseveld, daalt de permeabiliteit relatief snel. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van een industrieel polymeer (PVA) in het afvalwater, welke verkleefing van de membranen veroorzaakte (zie §4.4). Na een intensieve reiniging van de membranen in april 2005 en het separaat afvoeren van deze influentcomponent, is de permeabiliteit gestegen tot het beginniveau. Sindsdien is de permeabiliteit relatief stabiel tussen 300 - 400 l/(m².h.bar) gebleven. In de winter van 2005 is een daling van de permeabiliteit opgetreden ten gevolge van de lage temperatuur, hierop wordt nader ingegaan in §5.8. Tot november 2005 is elke 2 à 3 weken een chemische reiniging (MC) uitgevoerd. Deze frequentie is in de winter opgevoerd naar 1 keer per week. Hierbij is tevens de reinigingsprocedure aangepast (zie §4.4.2).

3.4.3 GARANTIE-TESTEN

De ontwerpflux van de MBR Varsseveld is, in vergelijking met MBR-installaties in andere landen, relatief hoog (zie §2.5.2). De netto-ontwerpflux is 37,5 l/(m².h) bij een RWA van maximaal 3 dagen. In het geval één van de vier membraanstraten uit bedrijf is dient de installatie bij een maximale netto-flux van 50 l/(m².h) gedurende 8 uur te kunnen functioneren.

Ten behoeve van de garantiestelling van de membraanleverancier dienden deze ontwerpuitgangspunten te worden getest. Deze garantietest is begin oktober 2005 uitgevoerd in membraantank 3, de membraantank die in het algemeen de laagste permeabiliteit heeft. De resultaten van deze garantiemeting zijn weergegeven in Afbeelding 25.

AFBEELDING 25 DE RESULTATEN VAN DE GARANTIE TEST (MEMBRAANSTRAAT 3)



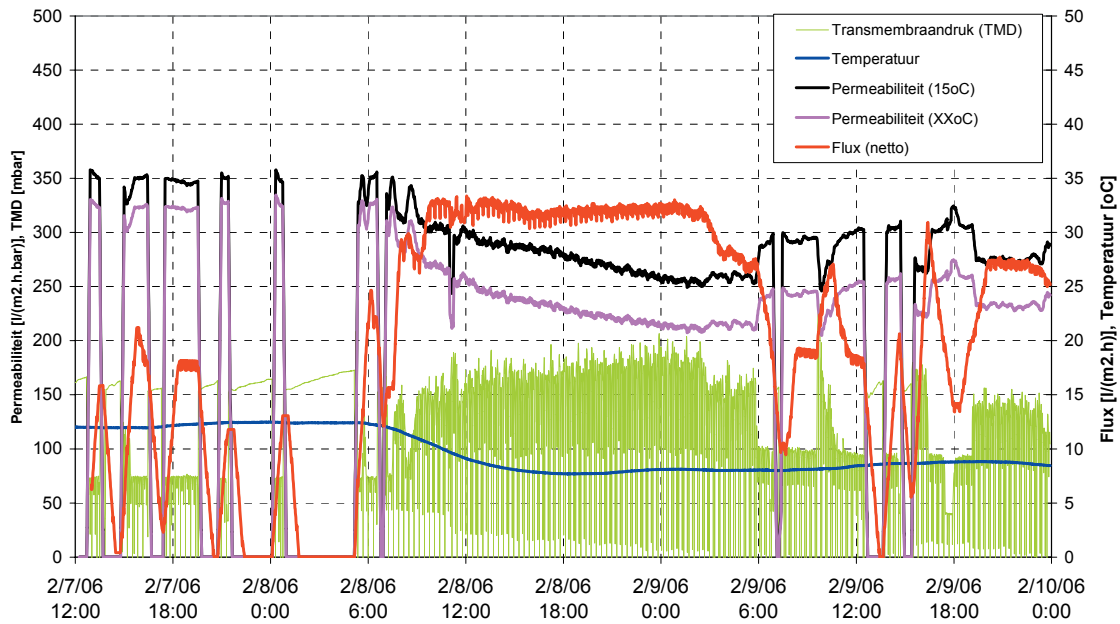
Hoewel de netto flux niet geheel op het gewenste niveau is geweest, kan uit het resultaat van de test worden geconcludeerd dat de membranen in staat zijn de ontwerpfluxen gedurende de vereiste tijd te verwerken. De permeabiliteit daalde van ca. 360 l/(m².h.bar) bij optimum flux tot ca. 310 l/(m².h.bar) na bijna 3 dagen ontwerpflux. De 8 uur maximale flux had een verdere daling tot ca. 280 l/(m².h.bar) tot gevolg. Na de garantietest is de permeabiliteit bij optimumflux weer opgelopen tot 330 l/(m².h.bar). Na de volgende maintenance cleaning op 18 oktober is de permeabiliteit weer hersteld tot het niveau van vóór de garantiemetingen. Op basis van deze resultaten is geconcludeerd dat de membranen de gegarandeerde prestaties kunnen leveren. Hierbij dient wel te worden opgemerkt dat de procestemperatuur relatief hoog was (21°C).

Hoewel de garantietesten in de winter niet zijn herhaald is het wel mogelijk de werking van de membranen bij lage temperaturen en hoge fluxen te beoordelen. Op 8 en 9 februari 2006 heeft zich een langdurige regenperiode voorgedaan, waarbij de membranen bijna 24 uur op maximale flux hebben gewerkt bij een procestemperatuur die binnen 12 uur daalde van 12,4 naar 7,7°C. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Afbeelding 26.

De werking van de membranen bij een relatief korte regenbui in de winter is vanzelfsprekend minder goed dan bij een lange piekbelasting in de zomer. De netto flux bedroeg gemiddeld circa 32 l/(m².h) hetgeen lager is dan de ontwerpflux. De permeabiliteit daalde in 20 uur van circa 350 l/(m².h.bar) tot circa 255 l/(m².h.bar). De transmembraandruk loopt hierbij op tot circa 200 mbar. In de 2 maanden hierop volgend blijft de permeabiliteit relatief constant tussen 300 en 350 l/(m².h.bar), ook bij enkele grote regenbuien in deze periode (zie Afbeelding 24).

Hoewel de garantietest heeft bewezen dat (in de zomer) de membranen de ontwerpflux en de maximumflux gedurende respectievelijk 3 dagen en 8 uur kunnen verwerken, is dit voor de wintersituatie nog niet afdoende aangetoond.

AFBEELDING 26 DE WERKING VAN DE MEMBRANEN BIJ LAGE TEMPERATUUR EN HOGE FLUX



3.5 BIJZONDERE STOFFEN

3.5.1 INLEIDING

De Europese Kader Richtlijn Water en de nieuwe Europese zwemwaterrichtlijn vragen mogelijk om vergaande zuiveringstechnieken voor afvalwater. De MBR is één van de mogelijke technieken. In het kader van het onderzoek op de MBR Varsseveld is daarom speciale aandacht besteed aan de bijzondere stoffen in het effluent zoals hormoonverstoorders, geneesmiddelen en pathogenen. In deze paragraaf zijn de resultaten van dit onderzoek samengevat weergegeven. De opzet en gedetailleerde resultaten van dit onderzoek zijn beschreven in de deelstudie “Verwijdering bijzondere stoffen” [ref.3].

3.5.2 MEETPROGRAMMA

Het monitoringsprogramma bestond uit twee metingen in influent en vier metingen in effluent van algemene parameters, PAK's, ftalaten, hormoonverstorende activiteit, geneesmiddelen, screening op onbekende stoffen en bacteriologische parameters. Daarnaast is, als onderdeel van een zogenaamde “Totaal Effluent Beoordeling”, de acute toxiciteit voor bacteriën, algen en watervlooiën bepaald en is de bioaccumulatie (de ophoping van stoffen in organismen) vastgesteld.

In het onderzoek zijn ook de resultaten van reguliere metingen door het waterschap meegenomen. Dit betreft zware metalen, EOX, organische chloor-, N- en P-bestrijdingsmiddelen en PCB's.

Tevens is tweemaal het EOX-gehalte in het effluent gemeten vlak na reiniging van het membraancompartiment. De resultaten hiervan zijn weergegeven in §5.8.5.

3.5.3 RESULTATEN EN CONCLUSIES

In het influent van de MBR Varsseveld zijn metalen, PAK's, ftalaten, hormoonverstoring, geneesmiddelen, toxiciteit en potentieel bioaccumuleerbare stoffen aangetoond. PCB's en bestrijdingsmiddelen waren niet aantoonbaar in het influent.

Conform verwachting worden aan zwevend stof gebonden stoffen, zoals ftalaten en hogere PAK's, goed verwijderd. Ook bijna alle andere stoffen worden goed verwijderd. In het effluent vindt men nog een enkele PAK, metalen (m.u.v. cadmium en kwik), hormoonverstoring, geneesmiddelen en onbekende stoffen. Incidenteel is het bestrijdingsmiddel diazinon aangetroffen in het effluent in een concentratie van maximaal 0,02µg/l.

De hormoonverstorende activiteit in het effluent, gemeten met de ER-calux assay, is gering, dat wil zeggen <0,5 ng EEQ/l. De meeste concentraties geneesmiddelen blijven onder detectielimiet, of indien de middelen worden aangetoond gaat het om enkele tienden van µg/l. Een uitzondering is de bètablokker metoprolol. Dit veel gebruikte middel is in concentraties van ruim 2 µg/l aangetroffen in het effluent.

Het effluent was na concentreren toxisch voor bacteriën, algen en watervlooien. De gemeten toxiciteit in de Microtoxtest mag als normaal worden beschouwd, terwijl de toxiciteit van het effluent voor algen relatief hoog lijkt vergeleken bij conventionele zuiveringen. Het aantal metingen is echter zeer beperkt.

Er zijn potentieel bioaccumuleerbare stoffen aangetoond na extractie met een SPME-fiber. Deze extractie bootst de bioaccumulatie van vrij-opgeloste, biologisch beschikbare stoffen in organismen na. De aangetroffen concentraties zijn enkele malen hoger dan in eerder onderzoek bij een zeer beperkt aantal rwzi's is aangetoond.

Er konden in het effluent géén *E. coli* bacteriën en intestinale enterococci worden aangetoond. Het effluent voldoet hiermee aan de nieuwe Europese Zwemwaterrichtlijn. Ook f-specifieke RNA-fagen, als indicator voor de aanwezigheid van virussen, konden niet worden aangetoond.

De concentraties nikkel en lood in het effluent overschrijden de voorlopige normen uit de Kader Richtlijn Water voor het oppervlaktewater. De mate van overschrijding is echter zodanig dat verwacht mag worden dat de bijdrage van het effluent van de MBR niet tot normoverschrijding in het oppervlaktewater zal leiden. Aan de voorlopige KRW-normen voor cadmium, kwik en di(2-ethylhexyl)ftalaat (DEHP) wordt wel voldaan. De overige prioritaire stoffen (enkele PAK's en bestrijdingsmiddelen) waren niet aantoonbaar in het effluent.

4

BEDRIJFSVOERING

4.1 INLEIDING

Ten opzichte van een conventioneel actiefslibstelsysteem heeft een MBR een aantal procesonderdelen waarmee in Nederland nog weinig ervaring is opgedaan. Uiteraard zijn dit de membranen en alles wat hiermee samenhangt. Maar ook de vergaande voorbehandeling, met toepassing van microzeven, is nieuw. De beluchtingstank is zeer compact, heeft een hoog slibgehalte en een aparte drijfslaagafvoervoorziening. Deze onbekende procesonderdelen en procesomstandigheden leiden tot nieuwe bedrijfsvoeringservaringen en problemen. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste bedrijfsvoeringstechnische aspecten die tijdens de onderzoeksperiode zijn onderzocht dan wel hebben plaatsgevonden. Hierbij is onderscheid gemaakt in de voorbehandeling (§4.2), de biologie (§4.3) en de membraanfiltratie (§4.4).

4.2 VOORBEHANDELING

4.2.1 INLEIDING

De eerste 1,5 jaar die de MBR Varsseveld in bedrijf is, is een belangrijk deel van de aandacht van de bedrijfsvoering uitgegaan naar de voorbehandeling. Zowel de fijnroosters als de microzeven zijn ontworpen met 100% redundantie. Aangezien er geen by-pass van de fijnroosters en microzeven mogelijk is, wordt bij een storing van één van deze onderdelen de aanvoer naar de rwzi stilgelegd. Er volgt een urgent alarm terwijl het afvalwater in het riool wordt gebufferd. Deze situatie heeft zich verschillende malen voorgedaan en heeft er toe geleid dat een aantal corrigerende maatregelen in de procesvoering zijn genomen. Het meest kritisch is het functioneren van de microzeven gebleken. Deze zijn weer afhankelijk van de goede werking van de voorgeschakelde fijnroosters en zand/vetvanginstallatie. Optimalisaties hebben zich daarom gericht op de voorbehandeling als geheel. De belangrijkste maatregelen en ervaringen met de fijnroosters, zand/vetvang en microzeven zijn achtereenvolgens beschreven in §4.2.2 t/m §4.2.4.

4.2.2 FIJNROOSTERS

De fijnroosters hebben de gehele onderzoeksperiode bedrijfszeker en zonder een enkele storing gefunctioneerd. Naar aanleiding van de bedrijfstechnische problemen met de microzeven (zie §4.2.4) zijn er echter toch aanpassingen aan de sturing van de fijnroosters doorgevoerd.

De procesregeling van de fijnroosters was in eerste instantie net zoals bij veel conventionele rwzi's, dat wil zeggen dat bij het bereiken van een inschakelniveau het rooster één stap maakt. Indien het waterniveau voor het rooster vervolgens verder steeg dan werd gewacht tot het hoog-niveau werd bereikt, en werd vervolgens het rooster compleet schoongedraaid. In de praktijk gebeurde dit zeer regelmatig aangezien de influentfluctuaties op de rwzi Varsseveld zeer groot zijn. Het gevolg hiervan is dat het fijnrooster op dat moment volledig schoon

wordt gemaakt waardoor de volledige doorlaat van 6 mm beschikbaar is. De filterende werking van het roostergoed op het fijnrooster is dan niet meer aanwezig, waardoor een groter deel van de onopgeloste stof de microzeven kan bereiken. Met name bij hogere aanvoeren kan dit tot verstopping van de microzeven leiden.

Begin 2006 is de aansturing van de fijnroosters zodanig aangepast dat het fijnrooster bij het bereiken van het inschakelniveau niet één reinigingsstap maakt, maar net zoveel stappen maakt totdat het niveau weer onder het inschakelniveau is. Het gevolg hiervan is dat het fijnrooster langer bedekt blijft met een laag roostergoed waardoor de microzeven minder grote aanvoervrachten te verwerken krijgen en minder gauw verstoppert.

Hoewel de werking van de fijnroosters wel is verbeterd, kan niet worden voorkomen dat af en toe de microzeven te zwaar worden belast. Debietverhogingen van meer dan 300 m³/h binnen een tijdsbestek van 2 minuten leiden namelijk toch tot zodanige niveauverhogingen voor het stappenrooster, dat alsnog hoog niveau wordt bereikt en het rooster volledig wordt schoongedraaid.

Daarop is besloten een proef uit te voeren waarbij twee fijnroosters parallel in bedrijf zijn. Door de verdubbeling van de capaciteit zal het niveau voor de fijnroosters minder snel stijgen waardoor mogelijk de bovengenoemde reinigingsfilosofie beter zal functioneren. Vanaf 1 maart 2006 zijn beide roostergoedverwijderingsstraten gelijktijdig in bedrijf.

4.2.3 ZAND/VETVANG

De eerste maanden na de opstart was de zand/vetvanger de oorzaak van geuroverlast voor de rwzi en omgeving. Na enige aanpassingen (verhoging van de afzuigcapaciteit, meer gelijkmatige luchtventilatie en vervanging van de afdichtflappen) is dit probleem verholpen. Met de zand/vetvang hebben zich verder geen technische of technologische problemen voorgedaan. Op basis van een visuele beoordeling van de wervelingen in de zand- en vetvang is de luchtinbreng in de zandvang omlaag gebracht. De installatie is geen enkele keer uit bedrijf geweest vanwege technische storingen.

4.2.4 MICROZEVEN

De microzeven worden als het meest storingsgevoelige onderdeel van de MBR Varsseveld aangemerkt. De eerste 1,5 jaar bedrijfservaring zijn er veelvuldig storingen opgetreden, met name bij snelle belastingwisselingen aan het begin, maar soms ook aan het eind, van regenweeraanvoer. In dit soort situaties wordt veel onopgeloste stof en mogelijk vet vanuit het riool en transportstelsel aangevoerd en worden de microzeven, ondanks de aanwezigheid van fijnroosters en een zand/vetvanger, zwaar belast. Het gevolg hiervan is dat of de afvoer van het zeefgoed uit de microzeven tijdelijk onvoldoende is waardoor er teveel afvalwater in de machines blijft staan en/of dat er teveel water met het zeefgoed wordt afgevoerd. Onder deze omstandigheden volgt een storing hoog niveau in een microzeef of hoog niveau van de transportpomp en wordt de microzeefstraat uitgeschakeld.

In de eerste anderhalf jaar na de opstart van de installatie is een aantal maatregelen genomen die tot doel hadden om de werking van de microzeven te verbeteren. Naast de al genoemde aanpassingen aan de bedrijfsvoering en procesregeling van de fijnroosters en de zandvetvanger is ook de bedrijfsvoering van de microzeven aangepast. De belangrijkste aanpassing betreft het in bedrijf nemen van alle vier de machines bij een hoog influentdebiet. Hierbij wordt

de volledige reservecapaciteit gebruikt onder normale procesomstandigheden. Daarnaast is de capaciteit van de zeefgoedtransportpompen vergroot. Ook is op de beide type microzeven een aantal aanpassingen doorgevoerd.

Type 1 is een compacte draaiende trommelzeef (merk Auxill) met verwijdering van zeefgoed middels sproeiers. Deze microzeven zijn in eerste instantie afgeleverd met een gaasbespanning. Voor de ingebruikname is deze bespanning vervangen door een geperforeerde plaat zonder dat de trommelgrootte is gewijzigd. Omdat het waterdoorlatend oppervlak van de geperforeerde plaat kleiner is dan van een gaasbespanning, traden problemen op met het zeefgoedtransport uit de machine. Na het aanbrengen van sproeiers in de afvoergoot is dit probleem verholpen. Recent is geconcludeerd dat de aanpassing van de bespanning heeft geleid tot een te geringe capaciteit van de machine, en is besloten de machines uit te wisselen voor een groter type. Op basis van de bedrijfservaringen is de machine inmiddels verder geoptimaliseerd (verbeterde afdichting, zeefgoedafvoer met schroef).

Type 2 is een stationaire zeef (merk Contec) waarbij het zeefgoed met borstels uit de zeef wordt geborsteld. Tijdens een membraaninspectie in februari 2006 zijn borstelharen uit deze microzeven tussen de membranen gevonden (zie §4.4.5). Ook zijn haren en vezels aangetroffen. De oorzaak hiervan is een lekkage in de afdichting van de stationaire zeven. Direct na in gebruik name van de microzeven zijn testen uitgevoerd met dosering van haren in de aanvoer naar de microzeven. Hieruit is geconcludeerd dat de microzeven geen haren doorlaten. De enige manier waarop de borstelharen en ander materiaal bij de membranen heeft kunnen komen is door een speling in de overlap tussen de zeefplaten. De microzeef is samengesteld uit twee zeefplaten die met een elkaar overlappen. Deze plaatoverlap is extra verstevigd waardoor het niet meer mogelijk kan zijn dat haren en vezels de zeef met het afvalwater kunnen passeren. Daarnaast is een aantal maatregelen genomen om de werking van de borstels te verbeteren en de waterafvoer met de borstels te verminderen. Dit betreft het wegknippen van een deel van de borstelharen, het dichter op de zeefplaten zetten van de borstels en het vervangen van de borstels door een ander type.

Na al de uitgevoerde optimalisaties is in de periode 1 maart 2006 tot en met 1 juni 2006 nog éénmaal hoog water in de stationaire microzeven opgetreden. Na het automatisch overschakelen naar de trommelzeven konden de microzeven, zonder beperking van de aanvoer blijven functioneren. Verwacht wordt dat na het vervangen van de trommelzeven door een groter formaat, de combinatie van beide microzeefstraten een dusdanige capaciteit heeft dat de incidentele forse belastingpieken zonder problemen kunnen worden verwerkt. Preventief worden éénmaal per week de toevoergemalen gedurende korte tijd opgetoerd tot maximale capaciteit om accumulatie van materiaal in de aanvoerleidingen te voorkomen.

4.3 BIOLOGIE

4.3.1 INLEIDING

De biologie heeft in de onderzoeksperiode over het algemeen zeer goed gepresteerd. De effluenteisen voor stikstof zijn ruimschoots gehaald en de fosfaatverwijdering is conform planning geleidelijk naar het gewenste niveau gebracht. De aspecten waar de meeste aandacht naar is uitgegaan worden in deze paragraaf besproken. Dit zijn achtereenvolgens de beluchttingsregeling (§4.3.2), de ijzerdosering (§4.3.3) en de drijfslaagvorming (§4.3.4).

4.3.2 BELUCHTINGSREGELING

De beluchting wordt gestuurd op basis van een cascaderегeling van stikstof en zuurstof. Het stikstofsetpoint wordt gedefinieerd als de verhouding tussen het ammoniumgehalte en de som van het ammonium- en nitraatgehalte in de beluchtingstank (zie Afbeelding 11). Hierbij wordt gebruik gemaakt van on-line ammonium- en nitraatanalysers in de beluchtingstank. De concentraties ammonium en nitraat in het permeaat zullen hieraan niet gelijk zijn. Aangezien in de membraantank beluchting plaatsvindt zal een deel van het aanwezige ammonium alsnog wordt geoxideerd tot nitraat. De $NH_4/(NH_4+NO_3)$ verhouding zal in de beluchtingstank daarom hoger zijn dan in het permeaat.

In het kader van de deelstudie "SIMBA-modellering" [ref.3] is met behulp van modelberekeningen de relatie tussen het stikstofsetpoint en de permaatkwaliteit vastgesteld. De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat weergegeven in Tabel 12. De berekeningen zijn uitgevoerd bij een gemiddeld DWA-debiet, een constante ijzerdosering van 20 l/h en een procestemperatuur van 12°C.

TABEL 12 RESULTATEN SIMULATIEBEREKENINGEN BELUCHTERREGELING

Setpoint N-ratio ¹⁾ [-]	Beluchtingstank				Permeaat			
	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NH ₄ -N + NO ₃ -N [mg/l]	N-ratio ¹⁾ [-]	NH ₄ -N [mg/l]	NO ₃ -N [mg/l]	NH ₄ -N + NO ₃ -N [mg/l]	N-ratio ¹⁾ [-]
0,1	0,23	2,32	2,55	0,09	0,08	2,47	2,55	0,03
0,2	0,38	1,59	1,97	0,19	0,12	1,89	2,01	0,06
0,3	0,54	1,28	1,82	0,30	0,17	1,66	1,83	0,09
0,4	0,68	1,05	1,73	0,39	0,22	1,49	1,71	0,13
0,5	0,81	0,90	1,71	0,47	0,26	1,42	1,68	0,15

1) de N-ratio wordt berekend als $NH_4-N / (NH_4-N + NO_3-N)$

Uit de resultaten blijkt dat de N-ratio in het permeaat gemiddeld een factor 3 lager is dan in de beluchtingstank. Het instellen van een te laag stikstofsetpoint leidt tot onnodig lage ammoniumgehalten in het permeaat en onnodig veel beluchting. Het verhogen van het stikstofsetpoint van 0,1 naar 0,5 heeft op grond van de modelberekeningen een verhoging van het gemiddelde ammoniumgehalte in het permeaat van 0,08 tot 0,26 mg NH₄-N/l tot gevolg. Het nitraatgehalte daalt hierbij van 2,47 naar 1,42 mg NO₃-N/l. Een te hoog setpoint is niet wenselijk omdat dan het risico bestaat dat te weinig wordt belucht waardoor mogelijk de slibkwaliteit negatief wordt beïnvloedt. In de praktijk wordt sinds medio 2005 een stikstofsetpoint van 0,3 toegepast. Het verder verhogen van dit setpoint leidt tot een relatief geringe verbetering van de effluentkwaliteit.

4.3.3 IJZERDOSERING

De ijzerdosering ten behoeve van de fosfaatverwijdering heeft altijd plaatsgevonden in de beluchtingstank (zie Afbeelding 10). Dit is de lokatie waar het fosfaatgehalte relatief laag is als gevolg van de biologische opname. Mogelijk is hierdoor de effectiviteit van de dosering lager waardoor een groter doseerdebiet nodig is. Een alternatieve doseerlokatie is de voordennitrificatietank. Deze functioneert tevens als anaërobe tank waar fosfaatafgifte plaatsvindt. Een ijzerdosering in de toevoer naar de voordennitrificatietank kan mogelijk leiden tot een lager doseerdebiet. Een risico hierbij is dat de biologische fosfaatverwijdering wordt verstoord. Met behulp van het modelberekeningen is het effect van de doseerlokatie op de biologische en chemische fosfaatverwijdering onderzocht (zie deelstudie "SIMBA-modellering" [ref.3]). Hieruit bleek dat er geen significant verschil is tussen dosering in de beluchtingstank en in de voor-

denitrificatietank. Hierbij dient te worden opgemerkt dat er twijfels zijn over de betrouwbaarheid van de modellering van de chemische fosfaatverwijdering in het toegepaste model.

De lokatie van de ijzerdosering is in maart 2006 verplaatst van de aangegeven lokatie in Afbeelding 10 (stroomafwaarts van het eerste beluchtingsveld) naar het punt bij de uitstroming van de membraantanks. De reden hiervoor was de toename van anorganische vervuiling van de membranen die tijdens het optimalisatieonderzoek van de membraanreiniging werd geconstateerd (zie deelstudie "Membranen", [ref.3]). Naar aanleiding hiervan is de ijzerdosering verplaatst naar de lokatie met de meeste menging en het verst gelegen van de membranen.

De dosering van het ijzertzout kan worden gestuurd op hand, op influentdebiet en op fosfaatgehalte. Zoals aangegeven in Tabel 7 zijn alle drie procesregelingen in de loop van de onderzoeksperiode toegepast. Met de regeling op basis van het fosfaatgehalte in de beluchtingstank is het fosfaatgehalte in het permeaat aanzienlijk verlaagd en wordt over het algemeen het ingestelde setpoint bereikt. Doordat de maximum capaciteit van de doseerpomp beperkt is, kan het fosfaatgehalte bij piekaanvoeren nog af en toe boven het setpoint uitkomen.

4.3.4 DRIJFLAAG

Op de installatie is na de opstartfase in meer of mindere mate een beperkte drijfslag van 10-20 cm aanwezig. De drijfslag accumuleert met name in de bochten van het omloopsysteem, waar de drijfslag niet voorbij de beluchtingpakketten kan komen. De drijfslaagruimer werkt naar behoren maar is niet in staat om de drijfslag geheel te voorkomen. De drijfslaagruimer is overigens maar een gedeelte van de tijd in bedrijf aangezien het niveau in de beluchtingstank wisselt. De beluchtingstank wordt namelijk gebruikt om fluctuaties in de aanvoer af te vlakken, zodat de membraaninstallatie zo gelijkmatig mogelijk wordt belast.

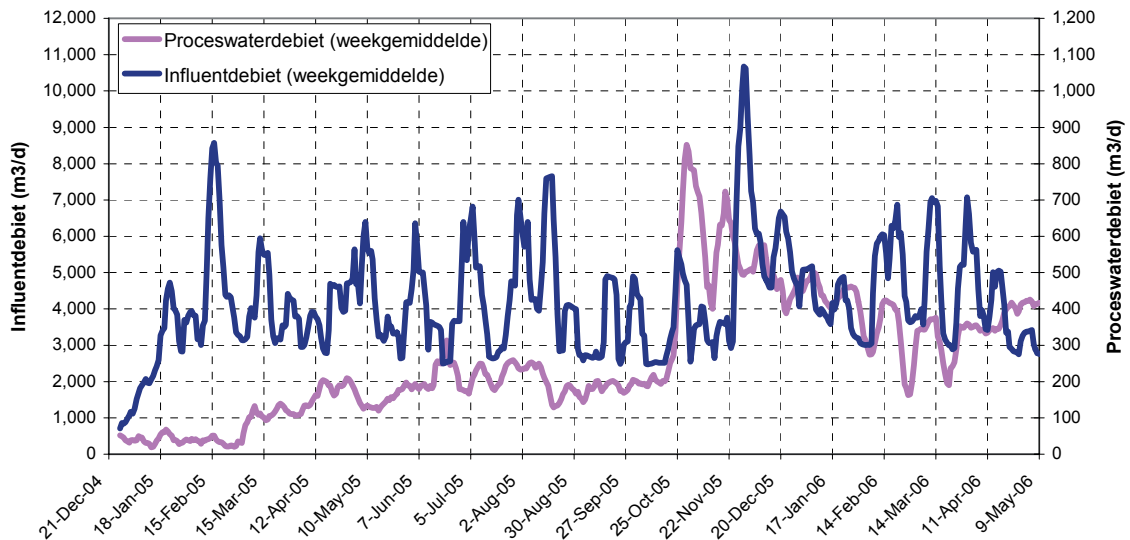
Gedurende de onderzoeksperiode werd driemaal, in februari, juli en oktober 2005, een forse drijfslag gevormd. Deze drijfslagen leiden tot operationele problemen, onder andere doordat de (drijvende) analysers niet goed meer functioneren (zie Afbeelding 27) waardoor de beluchting ontregeld raakt. Ter illustratie is in Afbeelding 20 waar te nemen dat in de twee weken na de drijfslag van 17 oktober 2005 de stikstofverwijdering aanzienlijk is verslechterd. Doordat het membraan van de zuurstofanalyser was uitgedroogd functioneerde de analyser en daarmee ook de beluchterregeling niet goed. In juli en oktober 2005 waren de drijfslagen dermate hoog (> 1 meter dik) dat ze over de rand van de beluchtingstank stroomden.

AFBEELDING 27 EEN DRIJFLAAG OP DE BELUCHTINGSTANK (LINKS) EN DE SPROEIOFSTELLING (RECHTS)



Om problemen met drijfslagen te voorkomen is eind oktober 2005 een vaste sproeiopstelling geïnstalleerd waarmee de drijfslag wordt bestreden. Het effect van deze sproeiopstelling op het proceswaterverbruik is weergegeven in Afbeelding 28. In eerste instantie werd zeer veel sproeiwater gebruikt omdat de sproeikoppen nog niet goed konden worden afgesteld (zie Afbeelding 27, rechts). In de loop van 2006 is het debiet verlaagd. Ten gevolge van de drijfslagsproeiers is het gemiddelde verbruik van proceswater verhoogd van circa 200 naar 350 m³/d. Dit leidt tot een extra belasting van de membranen van 150 m³/d hetgeen overeenkomt met circa 4% van het influentdebiet.

AFBEELDING 28 HET PROCESWATERVERBRUIK OP DE MBR VARSSEVELD



4.4 MEMBRAANFILTRATIE

4.4.1 INLEIDING

In het eerste jaar na de opstart van de MBR Varsseveld is veel aandacht uitgegaan naar de optimalisatie van de procesinstellingen van de membraanfiltratie-installatie. Hierover is uitgebreid gerapporteerd in de deelstudie "Membranen" [ref.3]. In deze paragraaf zijn de belangrijkste aspecten met betrekking tot de bedrijfsvoering weergegeven. De aanwezigheid van een industrieel polymeer in het afvalwater van een lokale industrie heeft in de eerste maanden na de opstart voor grote problemen gezorgd. De invloed hiervan op de bedrijfsvoering en de oplossing van het probleem zijn beschreven in §4.4.3. Een tweede probleem op de installatie was technisch van aard en zorgde voor lekkages in de membraanmodules (zie §4.4.4). Een derde aspect dat aandacht heeft gekregen is de macro-vervuiling die in de membraancassettes is waargenomen (zie §4.4.5). Allereerst is in §4.4.2 een overzicht gegeven van de belangrijkste optimalisaties van de membraaninstallatie.

4.4.2 OPTIMALISATIE PROCESVOERING

In deze paragraaf wordt een samenvattend overzicht gegeven van de belangrijkste procesoptimalisaties van de membraanfiltratie-installatie.

BELUCHTING IN PARAATMODE

In paraatmode wordt 50% van de capaciteit van één blower gebruikt om alle in paraatmode staande tanks te beluchten. De tanks worden hierbij met een interval van 15 seconden in

toerbeurt belucht. Na bijvoorbeeld 10 van dergelijke cycli wordt de beluchting van de tanks gestopt. Hierna wordt een pauzetijd aangehouden waarin de beluchting van de membraanstraten in paraatmode uit staat. Na deze pauzetijd worden de beluchtingscycli weer gestart. De beluchterregeling in paraatmode was de eerste zes maanden conservatief ingesteld. De pauzetijd was op 0 minuten ingesteld waardoor de cyclische beluchting van de paraatmode straten continu door ging. Aangezien het energieverbruik van de membraanbeluchting een significant deel is van het totale energieverbruik van de installatie, is onderzocht in hoeverre de membraanbeluchting kan worden verlaagd. Hiertoe zijn twee wijzigingen in de procesvoering aangebracht. Allereerst is op 1 juni 2005 de beluchtingscapaciteit per blower verlaagd van 4.500 Nm³/h naar 3.750 Nm³/h. Deze verlaging is gerechtvaardigd aangezien de beluchtingscapaciteit is uitgelegd voor een systeem met volle ZW500d cassettes met elk 48 membraanelementen. Echter in Varsseveld zijn slechts 40 membraanelementen per cassette geplaatst. Deze aanpassing heeft geleid tot een directe verlaging van de beluchtingscapaciteit van circa 17%.

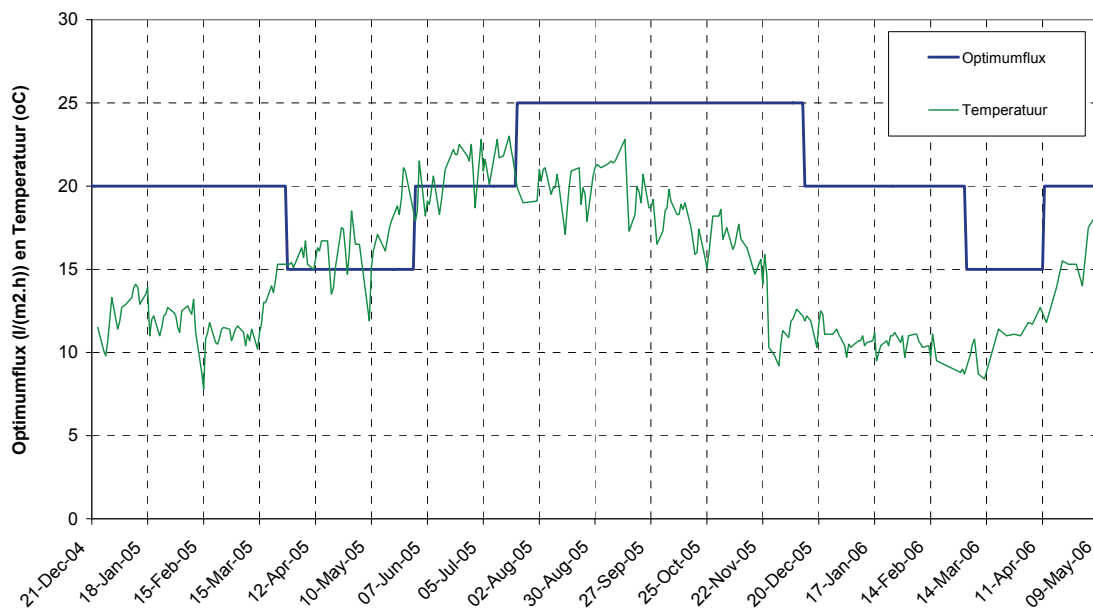
Een tweede maatregel welke is toegepast is de verlaging van de beluchtingscapaciteit in paraatmode. In dat kader is de pauzetijd, welke aangeeft hoelang de beluchting uit gaat, sinds 16 juni 2005 in een aantal stappen verhoogd tot 1 uur. Het aantal beluchtingscycli staat ingesteld op 10. Dit wil zeggen dat elke tank in paraatmode 10 maal gedurende 15 seconden met een capaciteit van 1.875 Nm³/h wordt belucht. Deze optimalisatie heeft geleid tot een verlaging van het energieverbruik voor membraanbeluchting met 30%.

OPTIMUMFLUX

De optimumflux is de flux waarop de membraanstraten in procesmode het grootste deel van de tijd draaien. De keuze van de optimumflux bepaalt daarmee voor een belangrijk deel hoeveel membraantanks in proces- en in paraatmode zijn. Bij een verhoging van de optimumflux zal het bijgeschakelen van een membraantank minder snel plaatsvinden, waardoor gemiddeld minder membraantanks in bedrijf zijn. Hiermee bepaalt de optimumflux voor een belangrijk deel het energieverbruik van de membraanfiltratie-installatie.

De optimumflux kan door de bedrijfsvoerder worden ingegeven. Bij de keuze voor een optimumflux staat de optimale werking van de membranen centraal. De werking van de membranen wordt beoordeeld aan de hand van de permeabiliteitsontwikkeling, zowel op langere als op korte termijn. Met name de korte termijn permeabiliteitsontwikkeling is een goede maatstaf voor de optimumflux. Indien de permeabiliteit binnen een permeaatcyclus te veel afneemt, oftewel als de benodigde druk te veel toeneemt, dan is de werking niet optimaal. Toename van de druk betekent namelijk dat vervuiling van het membraan optreedt, in welke vorm dan ook. Het verlagen van de optimumflux is dan één van de mogelijke maatregelen. Op de rwzi Varsseveld is de optimumflux een aantal keren gewijzigd zoals is weergegeven in Afbeelding 31. Hieruit blijkt dat de instelling van de optimumflux sterk is gerelateerd aan de procestemperatuur.

AFBEELDING 29 HET VERLOOP VAN DE OPTIMUMFLUX EN DE PROCESTEMPERATUUR



MEMBRAANREINIGING

In het eerste jaar van de bedrijfsvoering is veel aandacht besteed aan de optimalisatie van de membraanreiniging. In eerste instantie was de reinigingsprocedure op de installatie overgenomen van die van de simulatie-unit, en werd natriumhydroxide en citroenzuur gebruikt. Vanaf april 2005 is overgeschakeld van natriumhydroxide naar natriumhypochloriet. In de lente en zomer van 2005 zijn de membranen gemiddeld éénmaal per twee à drie weken gereinigd, waarbij goede resultaten werden behaald. Vanaf de herfst van 2005 trad een lichte daling van de permeabiliteit op en is de reinigingsfrequentie, conform het ontwerp, verhoogd naar éénmaal per week. In deze periode is ook de reinigingsprocedure nader onderzocht.

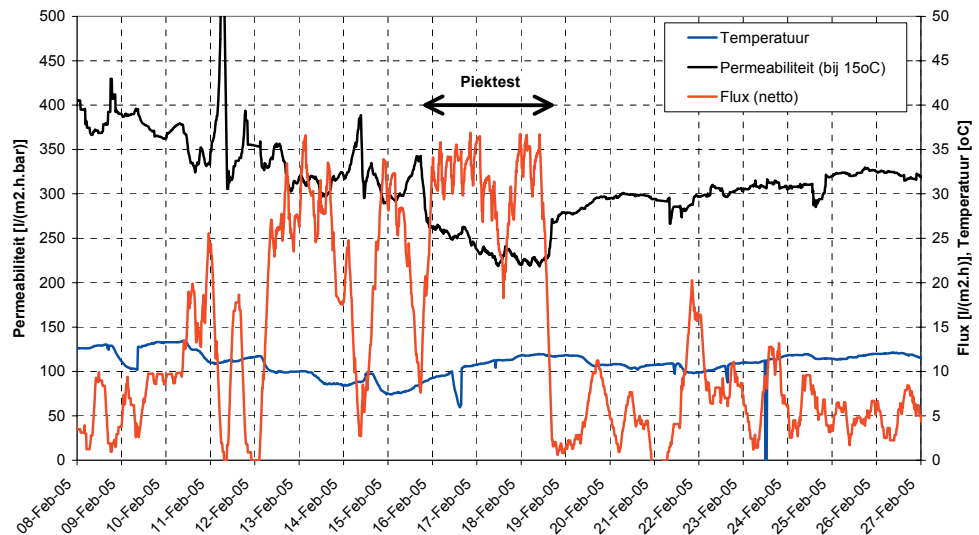
In het optimalisatietraject zijn de volgende bevindingen gedaan en aanpassingen doorgevoerd:

- De effectiviteit van een maintenance cleaning (MC) is minder goed als deze direct vanuit de paraatmode wordt uitgevoerd, met name in de winter. De oorzaak hiervan is de aanwezigheid van lucht in de permeaatleiding welke waarschijnlijk het gevolg is van ontgassing van het oververzadigde permeaat. De MC wordt daarom alleen nog uitgevoerd nadat ontluchting van de permeaatleiding heeft plaatsgevonden.
- Bij een MC in een volledig lege tank wordt met name het onderste deel van de membranen gereinigd. De MC's worden daarom afwisselend uitgevoerd bij verschillende vulniveaus van de membraantank.
- Nadat de ijzerzoutdosering in de beluchtingstank is geïntensiveerd blijkt de anorganische vervuiling van de membranen te zijn toegenomen. De chemicaliëndosering is hierop aangepast, waarbij de duur van zuurdosering is verlengd. Aangezien de duur van de zuur- en chloordosering niet kunnen worden losgekoppeld is ook de chloordosering verhoogd. Medio 2006 wordt de besturingssoftware zodanig aangepast dat de procesinstellingen van beide chemicaliën onafhankelijk van elkaar worden ingesteld.

4.4.3 INDUSTRIEEL POLYMEER

Rond half februari 2005 is een sterke afname van de permeabiliteit opgetreden. In deze periode was de gemiddelde flux hoog als gevolg van de aanvoer van smeltwater en daalde de procestemperatuur onder de 10°C. Daarnaast speelde mogelijk de aanvoer van strooizout een rol en het feit dat de beluchttingscapaciteit laag was ten gevolge van problemen met de beluchttingsregeling. Beide aspecten hebben mogelijk een negatief effect gehad op de slijkwaliteit. In één van de membraanstraten werd juist in deze periode een eerste piektest uitgevoerd. Het verloop van de permeabiliteit in deze membraantank is weergegeven in Afbeelding 30.

AFBEELDING 30 HET PERMEABILITEITSVERLOOP (GECORRIGEERD VOOR 15°C) TIJDENS EEN EERSTE PIEKTEST (16-18 FEBRUARI 2005)



De permeabiliteit daalde in korte tijd van circa 375 naar 225 l/(m².h). In de daaropvolgende 2 maanden bleef de permeabiliteit rond de 300 l/(m².h) hangen en bleek de transmembraandruk met name bij hogere fluxen tijdens een permeaatonttrekkingscyclus zeer snel op te lopen. De oorzaak van deze problemen was verkleving van bundels membranen door afzetting van een slijmerige substantie (zie Afbeelding 31) waardoor het voor onttrekking beschikbare membraanoppervlak sterk was gereduceerd. Met behulp van aanvullend onderzoek op de simulatie-unit is aangetoond dat deze verkleving werd veroorzaakt door het industriële polymeer (zie deelstudie “Simulatie-unit” [ref.3]).

AFBEELDING 31 VERKLEVING VAN DE MEMBRANEN VAN DE SIMULATIE-UNIT



Het industrieel polymeer bestaat met name uit een copolymeer van vinylacetaat maleïnezuur-di-n-butylester en wordt onder meer gebruikt als kaasafdekmiddel. Het product hardt uit bij blootstelling aan lucht en is zeer moeilijk tot niet afbreekbaar. De lokale kaasfabriek loost 5-10 m³ afvalwater dat dit polymeer in geconcentreerde vorm bevat. Onderzoek heeft aangetoond dat de kleeflaag het industrieel polymeer bevatte. Aan de hand van microscopisch onderzoek werd geconstateerd dat deze verkleving verder bestond uit slib, draadvormende micro-organismen, vezels en grote hoeveelheden gehechte ciliaten. De veronderstelling is dat het industriële polymeer zich afzet op de membranen en dat deze afzetting een goede hechttingsplaats biedt voor ciliaten. Het slijmerige karakter van de afzetting zou veroorzaakt kunnen worden door het industriële polymeer op zich, door de aanwezigheid van de grote kolonies ciliaten en door de microbiële productie van extra-cellulaire polymere substanties (EPS) (zie deelstudie "Slibkwaliteit" [ref.3]).

Op laboratoriumschaal en met de simulatie-unit is onderzocht op welke wijze de verkleving ongedaan kan worden gemaakt. Op basis van deze informatie is besloten tot een intensieve reiniging van de membranen. Deze is medio april 2005 uitgevoerd. Op drie van de membraanstraten is hiervoor natriumhypochloriet gebruikt, op de vierde straat waterstofperoxide. De effectiviteit van chloor was duidelijk groter dan van waterstofperoxide. Vanaf begin mei 2005 is de deelstroom met het industrieel polymeer afgekoppeld en wordt deze per as afgevoerd naar een andere RWZI. Na deze beide ingrepen is de permeabiliteit teruggekomen op het oorspronkelijke niveau en zijn dergelijke problemen niet meer opgetreden.

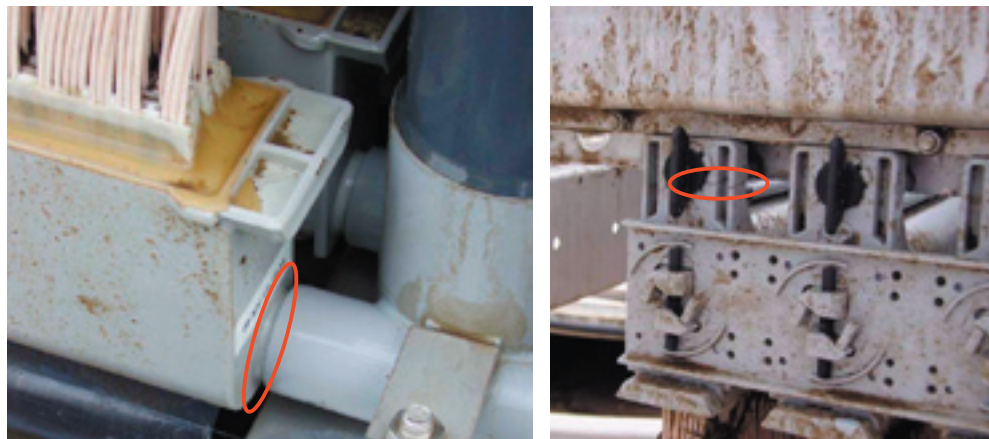
4.4.4 TECHNISCHE AANPASSINGEN

Nadat de membranen in november 2004 zijn geïnstalleerd zijn deze grondig geïnspecteerd. Hierbij is onder andere de membraanintegriteit onderzocht. Desondanks zijn na enkele maanden bedrijf op verschillende membraancassettes lekkages waargenomen. De lekkages konden vroegtijdig worden gesignaleerd met behulp van de troebelheidsmeters in de vier permeaatleidingen.

Bij het optreden van een lekkage zal slib met het permeaat worden meegevoerd. Dit leidt tot een verslechtering van de effluentkwaliteit. Een groter probleem is echter het feit dat bij de reguliere terugspoeling van permeaat, slib aan de binnenkant van de membranen wordt gebracht. Dit kan leiden tot vervuiling aan de binnenzijde van de membranen, welke tot een (blijvende) verslechtering van de prestaties van het systeem kan leiden.

De lekkages blijken een gevolg van scheurtjes bij de connectie tussen enkele membraanmodules en de permeaatheader. De membraanmodules waar deze problemen optraden zaten bijna altijd aan de buitenkant van een cassette. In de linkerfoto van Afbeelding 32 is een dergelijke scheur aangegeven. Ook in het systeem waarmee de modules in één cassette worden bevestigd waren op enkele plaatsen breuken ontstaan (zie rechterfoto in Afbeelding 32). Als gevolg hiervan komt er speling in de ophanging waardoor de module meer bewegingsvrijheid krijgt. Dit kan er mede toe hebben bijgedragen dat de scheurtjes in de headeraansluiting hebben kunnen ontstaan.

AFBEELDING 32 SCHEUR IN DE HEADERAANSLUITING (LINKS) EN BIJ DE MODULEBESVESTIGING (RECHTS)



De (meest waarschijnlijke) oorzaak voor de lekkages is de alternerende beluchting (air-cycling) van de membraancassettes. Doordat een relatief grote hoeveelheid lucht ($1.875 \text{ Nm}^3/\text{h}$) met korte tijdsintervallen (15 s) wordt gewisseld tussen de cassettes van een membraanstraat, kunnen grote mechanische krachten op de membraancassettes ontstaan. Met name de modules aan de buitenkant zijn daarbij onderhevig aan grote mechanische krachten. Naar aanleiding van de problemen is daarom vanaf medio 2005 voor alle membraantanks overgegaan op sequentiële beluchting in plaats van air-cycling. Bij sequentiële beluchting vindt de wisseling van de luchtinbreng niet plaats tussen de cassettes onderling maar binnen de cassettes. Het voordeel van sequentiële beluchting is de betere verdeling van de mechanische krachten op de cassette. Dit gaat naar verwachting wel ten koste van de effectiviteit van de membraanbeluchting en heeft daarom niet de voorkeur vanuit technologisch oogpunt.

Op basis van de ervaringen op de MBR Varsseveld heeft Zenon een technische aanpassing aan de constructie van de cassette ontwikkeld, welke in maart 2006 op de MBR Varsseveld is ingebouwd. Het betreft een verbeterde fixatiekap waarmee de modules binnen een cassette op hun plaats worden gehouden. De oude en nieuwe fixatiekap zijn weergegeven in Afbeelding 33.

AFBEELDING 33 DE OUDE FIXATIEKAP (LINKS) EN DE NIEUW ONTWIKKELDE VERSIE (RECHTS)



Om de effectiviteit van de nieuwe fixatiekap te kunnen beoordelen zijn in maart 2006 op de MBR Varsseveld metingen uitgevoerd naar de krachten binnen een module. De resultaten hiervan zijn positief. Bij toepassing van sequentiële beluchting houdt de nieuwe fixatiekap de module goed op zijn plaats en vermindert het de spanningen binnen een module aanzienlijk. Bij het toepassen van cyclische beluchting nemen de krachten binnen een module sterk toe. Deze krachten zijn echter aanzienlijk minder dan bij toepassing van de oude fixatiekap. In de komende maanden zal de werking van air-cycling worden getest. Na circa 1 jaar zullen de membraanmodules opnieuw worden geïnspecteerd om de lange-termijn effecten van de aanpassing te beoordelen.

4.4.5 MACRO-VERVUILING

Ondanks alle maatregelen in het ontwerp om macro-vervuiling van de membranen te voorkomen, is tijdens een membraaninspectie in maart 2006 toch macro-vervuiling waargenomen (zie Afbeelding 34). In de bovenste 15 cm van de membranen bleek accumulatie van haren en vezels aanwezig te zijn. Ook zijn hier borstelharen van de stationaire microzeven (korte van 0,8 mm dik) en van de drijfslaagruimer (langere van 1,2 mm dik) tussen de vezels gevonden. Zoals in §4.2.4 aangegeven is de meest waarschijnlijke oorzaak van deze vervuiling een niet volledige afdichting van de stationaire microzeven.

AFBEELDING 34 MACRO-VERVUILING VAN MEMBRANEN (LINKS: VEZELS BOVENIN, RECHTS: SLIBBROKJES ONDERIN)



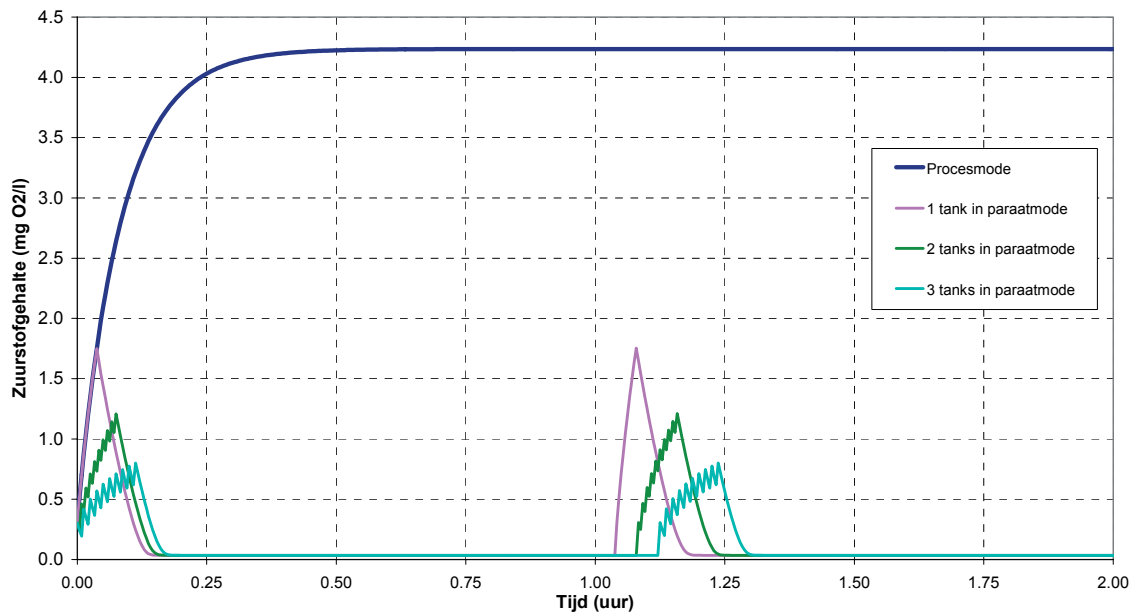
Onderin de membranen zijn anaërobe slibbrokjes gevonden. Het is bekend dat de beluchting het onderste deel van de membranen niet goed kan bereiken en het fenomeen is ook op andere locaties met Zenon membranen waargenomen. Het feit dat tijdens de paraatmode nauwelijks wordt belucht kan ook hebben bijgedragen aan de anaërobe omstandigheden. De membraantank is tijdens paraatmode het grootste deel van de tijd zuurstofloos.

In Afbeelding 35 is het zuurstofgehalte in de membraantank tijdens paraatmode weergegeven. De beluchtingsfrequentie tijdens paraatmode is afhankelijk van het aantal tanks dat in paraatmode is. De beluchting wordt namelijk afgewisseld tussen de in paraatmode staande tanks. In Afbeelding 35 is daarom onderscheid gemaakt in de situaties waarin 1, 2 of 3 membraantanks in paraatmode zijn. Ook is het zuurstofverloop in een in procesmode zijnde membraantank aangegeven. De grafieken zijn gebaseerd op modelberekeningen waarbij de procesinstellingen en de gemiddelde procesomstandigheden van 2005 als uitgangspunt zijn genomen.

Om de vorming van anaërobe slibbrokjes te voorkomen dient het beluchtingsregime te worden aangepast. Hierbij worden de volgende opties overwogen:

- Het toepassen van cyclische beluchting in plaats van sequentiële beluchting, waardoor de maximale beluchtingscapaciteit binnen een membraancassette tijdelijk wordt verdubbeld en de turbulentie rond de membranen toeneemt;
- Regelmatig (bijvoorbeeld éénmaal per week) langdurig beluchten tijdens paraatmode om de vorming van slibbrokjes tegen te gaan en de aanwezige slibbrokjes te verwijderen,
- De procesregeling aanpassen zodat na de paraatmode niet meteen tot permeaatonttrekking wordt overgegaan (in zuurstofloos slib), maar eerst gedurende korte tijd wordt belucht.

AFBEELDING 35 HET ZUURSTOFGEHALTE IN DE MEMBRAANTANK BIJ PROCES- EN PARAAATMODE (OP BASIS VAN MODELBEREKENINGEN)



5

SAMENHANG

5.1 INLEIDING

In de vorige hoofdstukken zijn achtereenvolgens het ontwerp, de resultaten en de ervaringen met de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld aan bod gekomen. In dit hoofdstuk zal worden ingegaan op de samenhang tussen deze aspecten. Op basis hiervan kunnen mogelijk nieuwe inzichten ontstaan en verbeteringen voor ontwerp en bedrijfsvoering worden benoemd.

In §5.2 zijn de aspecten beschreven die verband houden met de slibkwaliteit. De spuislibproductie is in §5.3 besproken. In §5.4 wordt de fosfaatbalans over de rwzi uiteengezet en geïnterpreteerd in welke mate biologische en chemische processen hierin een rol spelen. De stikstofbalans is weergegeven in §5.5 en de zuurstofbalans in §5.6. Hierbij wordt ook de invloed van de beluchting van de membraantank tegen het licht gehouden. In §5.7 is het energieverbruik van de gehele installatie en per onderdeel uiteengezet. De aspecten die verband houden met de membranen zijn tenslotte in §5.8 beschreven.

5.2 SLIBKWALITEIT

5.2.1 INLEIDING

In de laatste jaren is het beseft gegroeid dat een goede werking van de membraanfiltratie voor een groot deel afhankelijk is van de slibkwaliteit. De deelstudie “Slibkwaliteit” [ref.3] is geheel gericht op de relatie tussen de eigenschappen van het slib in de MBR Varsseveld en de filtreerbaarheid van het slib. Het doel hiervan is om een beter begrip te krijgen van de complexe interactie tussen de slibkwaliteit en filtreerbaarheid en om op basis daarvan te komen tot optimalisaties in de procesvoering van het biologische zuiveringsproces die er op zijn gericht om de membraanvervuiling te reduceren. In het kader van deze deelstudie is op een aantal niveaus onderzoek gedaan naar de slibeigenschappen. De resultaten van de microscopische analyses zijn samengevat weergegeven in §5.2.2. Op het ontstaan van de drijfslagen wordt nader ingegaan in §5.2.3. In §5.2.4 wordt tenslotte de relatie tussen de slibeigenschappen en de filtreerbaarheid van het slib besproken.

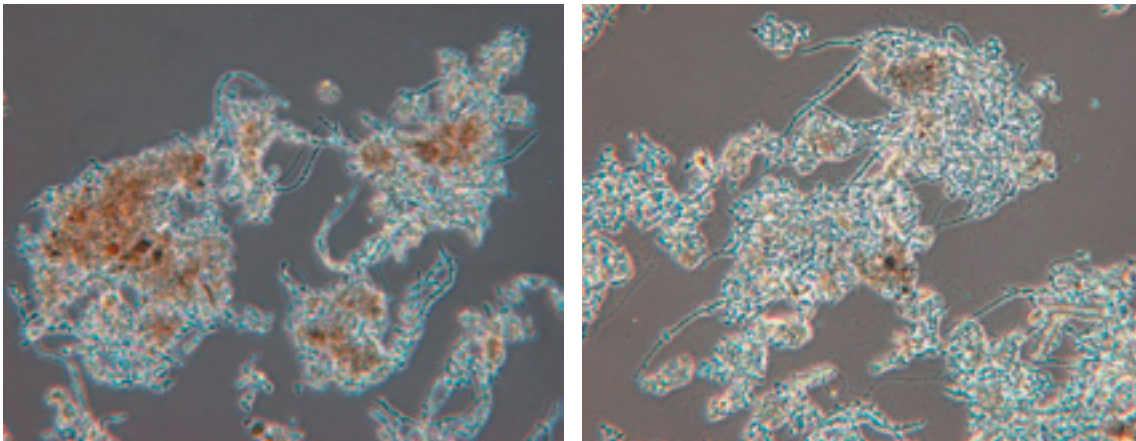
5.2.2 MICROSCOPISCH BEELD

De samenstelling van de microbiële actiefslib-populatie wordt bepaald door een aantal factoren, zoals slibbelasting en slibleeftijd, de samenstelling van het afvalwater, de zuurstofconcentratie en het beluchtingsregime, de configuratie van de installatie en de procesomstandigheden (temperatuur en pH). Het opstarten van een nieuwe zuiveringsinstallatie met behulp van slib uit een andere installatie kan leiden tot een verandering van één of meer van deze factoren, hetgeen weer kan leiden tot verschuivingen in de actiefslib-populatie. Gelet op de grote verschillen tussen de procesvoering van de MBR Varsseveld en die van de ‘oude’ hoogbelaste conventionele installatie waren de gevolgen van de omschakeling voor het microscopisch beeld opvallend klein.

Het meest opvallend is de verandering van de vlokstructuur: de slibvlokken worden in de loop der tijd kleiner en minder compact (zie Afbeelding 36). Dit kan het gevolg zijn van:

- hoge turbulentie. Turbulentie kan ertoe leiden dat slibvlokken worden beschadigd en (gedeeltelijk) uiteenvallen in kleinere vlokken;
- de afwezigheid van een bezinkingsstap. Bacteriën die niet in staat zijn tot vlokvorming zullen zich in een conventionele installatie moeilijk kunnen handhaven en uitspoelen. In een MBR is de noodzaak tot vlokvorming kleiner, omdat de membranen uitspoeling voorkomen. Dit zou theoretisch ook kunnen leiden tot een structureel groter aantal losse cellen in het slib, maar dat is niet waargenomen.

AFBEELDING 36 MICROSCOPISCH SLIBBEELD (100X) TIJDENS DE OPSTART (LINKS, 04/01/05) EN NA 2 MAANDEN BEDRIJF (RECHTS, 28/02/05)



Een tweede opvallende verandering is de toename van het aantal bio-P-kolonies. Dit aspect is in §5.4.2 nader belicht. De overige waarnemingen tijdens het microscopisch slibonderzoek waren niet dusdanig structureel dat ze aan de MBR-configuratie kunnen worden toegeschreven.

5.2.3 DRIJFLAAGVORMING

De gevormde drijfslagen zoals beschreven in §4.3.4 zijn microscopisch onderzocht (zie deelstudie "Slibkwaliteit" [ref.3]). Ten tijde van de eerste drijfslag (februari 2005) werd tijdelijk een grotere populatie *Microtrix parvicella* in het slib waargenomen. Dit is een flotatie-bevorderende draadvormer die in communale zuiveringsinstallaties met nutriëntenverwijdering de belangrijkste oorzaak voor drijfslagvorming en licht slib is. Het is aannemelijk dat de drijfslag (deels) veroorzaakt werd door deze bacterie. Het is wel opvallend dat een drijfslag werd gevormd terwijl de dradenpopulatie niet heel groot was. Hetzelfde geldt voor de drijfslagen van juli en oktober 2005: ook toen waren niet extreem veel draadvormers in het slib aanwezig en was de filament-index relatief laag (1-2). In communale installaties neemt over het algemeen de kans op een drijfslag pas echt toe bij een filament-index van 3 of hoger, waarbij bovendien één of meerdere van de flotatiegevoelige draadvormers dominant zijn. In juli werd een beperkte populatie Actinomyceten waargenomen maar niet in dusdanig grote hoeveelheden dat op basis daarvan een sterke drijfslagvorming werd verwacht. In oktober waren zowel *M.parvicella* als Actinomyceten aanwezig.

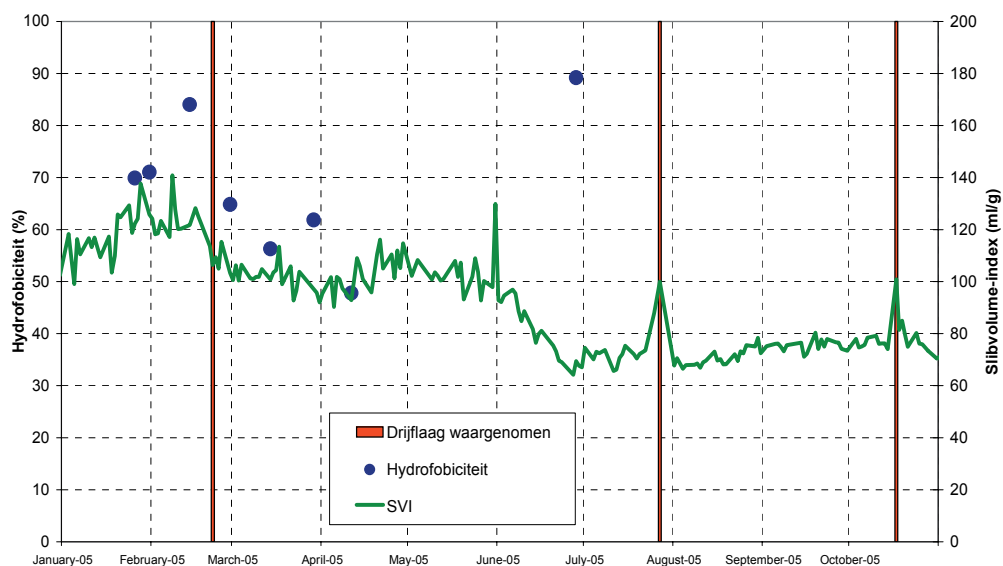
Het bovenstaande doet vermoeden dat andere factoren een rol hebben gespeeld. Hierbij wordt met name gedacht aan een (tijdelijke) toename van de concentratie hydrofobe verbindingen in het influent. Het vermoeden bestaat dat het afvalwater op een aantal momenten een sterk verhoogde concentratie stoffen bevatte waardoor het slib (tijdelijk) meer hydrofoob wordt.

De dag voor de extreme drijfslagvorming in juli 2005 is een zeer hoog CZV-gehalte (>2.000 mg/l) in het influent gemeten. Doordat het mogelijk stoffen betreft die door het membraan worden tegengehouden en in het slib accumuleren zou dit kunnen leiden tot een slib dat hydrofober is dan 'gemiddeld' actiefslib uit een conventionele installatie. In dat geval zou een geringe toename van het aantal draadvormers voldoende kunnen zijn om het slib te doen floteren.

Deze hypothese lijkt te worden bevestigd door de metingen van de hydrofobiciteit van het slib. In Afbeelding 37 is de hydrofobiciteit weergegeven samen met de slibvolume-index (SVI) en de waargenomen drijfslagen. Opvallend is dat de drijfslagen telkens optreden nadat de gemeten hydrofobiciteit aanzienlijk is gestegen. Ook is tijdens de drijfslag van juli en oktober 2005 een duidelijke, plotselinge, stijging van de SVI gemeten.

Om de invloed van het MBR-slib en het influent op de flotatiegevoeligheid van het slib te testen is een aantal flotatietesten uitgevoerd. Hierbij bleek dat met name het slibgehalte van invloed is op het flotatiegedrag. Hoe hoger het slibgehalte, hoe groter het slibdeel dat flocculeert. De invloed van de influentsamenstelling kon niet worden aangetoond.

AFBEELDING 37 DE DRIJFLAAGVORMING IN RELATIE TOT DE HYDROFOBICITEIT EN DE SVI VAN HET ACTIEFSLIB



De exacte oorzaak van de drijfslagvorming op de MBR Varsseveld is gedurende dit onderzoek niet volledig opgehelderd. Verondersteld wordt dat de volgende factoren hierbij een belangrijke rol hebben gespeeld:

- het hoge drogestofgehalte van het slib, waardoor het flotatiegevoeliger is,
- de relatief grote hoeveelheid lucht welke in het omloopsysteem en de membraantanks wordt ingebracht;
- een structureel hogere hydrofobiciteit van het slib ten gevolge van de accumulatie van hydrofobe stoffen,
- een tijdelijke aanvoer van hydrofobe componenten met het influent.

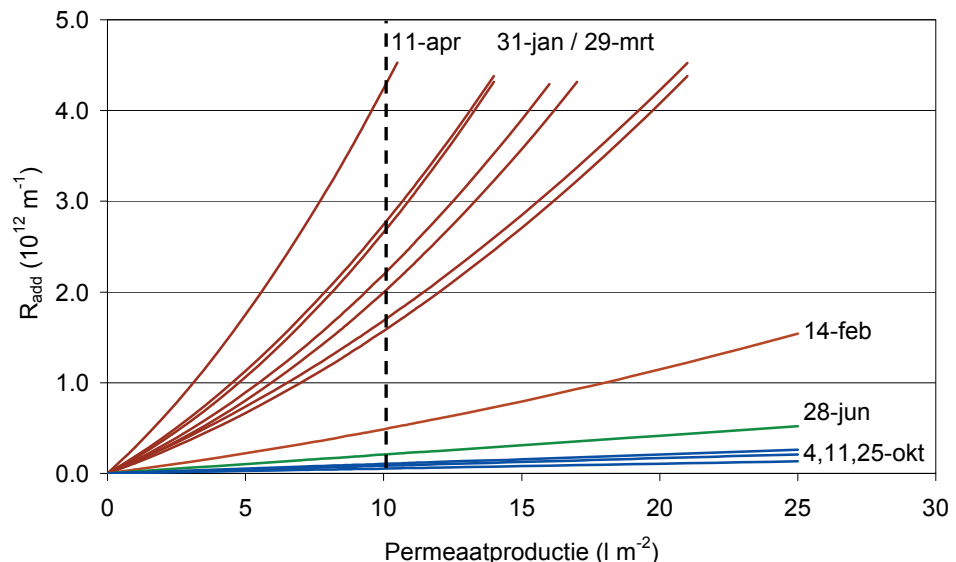
5.2.4 FILTREERBAARHEID

Membranvervuiling in MBR-systemen is een complex fenomeen dat wordt bepaald door een combinatie van factoren. Hierbij kan worden gedacht aan de samenstelling van het te filteren slibmengsel, de membraaneigenschappen (o.a. de poriegrootte en het membraanmateriaal), de constructie van de membraanmodules en de wijze waarop deze modules worden bedreven. Een groot aantal slibeigenschappen kunnen een rol spelen bij membranvervuiling. De slibconcentratie, de slibsamenvatting, de vlok-grootte, de sterkte van de slibvlokken, de aanwezigheid van multivalente kationen en de concentraties en samenstelling van de opgeloste en colloïdale bestanddelen in het vrije water zijn allemaal van belang. Dat deze factoren bovendien een onderlinge samenhang vertonen maakt een begrip van de relatie tussen de slibkwaliteit en de membranvervuiling extra gecompliceerd.

Gedurende de periode januari tot en met oktober 2005 is de filtreerbaarheid van slibmonsters en fracties van die slibmonsters uit de MBR Varsseveld bepaald. Afbeelding 38 toont de filtratiecurven zoals gemeten met een testopstelling bij een flux van $60 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. In deze afbeelding is de membraanweerstand ten opzichte van de hoeveelheid gefiltreerd medium weergegeven. Een snelle toename van de weerstand betekent dat het membraan snel vervuult.

Er kan een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen de slibmonsters die in de periode januari-april (met uitzondering van 14 februari) werden genomen en de monsters die in juni en oktober werden genomen. Bij de slibmonsters van de periode januari - april 2005 nam de weerstand zeer snel toe en kon de filtreerbaarheid van de slibmonsters worden gekwalificeerd als "slecht". Bij de slibmonsters die in juni en oktober werden genomen nam de weerstand veel langzamer toe en kon de filtreerbaarheid van de slibmonsters worden gekwalificeerd als "goed". De afkoppeling van het industriële polymeer begin mei is van grote invloed geweest op deze verbetering van de filtreerbaarheid van het slib.

AFBEELDING 38 FILTRATIECURVEN VAN SLIBMONSTERS UIT DE MEMBRAANTANK VAN DE MBR VARSSEVELD (2005)



Tevens zijn diverse fysische en chemische parameters van de slibmonsters gemeten en correlaties gelegd tussen de filtreerbaarheid van het slib en de resultaten van deze analyses. Hierbij blijkt dat de bestanddelen in het "vrije" water of "supernatant", en meer specifiek de bestanddelen in dat supernatant die groter zijn dan $0,45 \mu\text{m}$ (de "colloïdale" fractie), de belangrijkste

bijdrage leveren aan de filtratieweerstand van het slib. Uit een nadere karakterisering van het supernatant blijkt dat vooral hogere concentraties “colloïdale” polysaccharides (onderdeel van EPS) gepaard gaan met een slechtere filtreerbaarheid van het slib. Deze bestanddelen worden naar alle waarschijnlijkheid niet met het afvalwater aangevoerd maar tijdens het biologische zuiveringsproces geproduceerd.

Uit het bovenstaande volgt dat, geredeneerd vanuit het biologische proces, maatregelen om de membraanvervuiling in MBR systemen te reduceren zich er vooral op zouden moeten richten het gehalte aan colloïdale bestanddelen in het slibmengsel zo laag mogelijk te houden. Hierbij speelt het samenspel tussen flocculatie en deflocculatie van de slibvlokken een belangrijke rol. De factoren die hierop van invloed zijn betreffen de mengintensiteit en het zuurstofgehalte. Een lagere mengintensiteit en een hoger zuurstofgehalte hebben over het algemeen een positief effect op de vlokvorming en verlagen de concentratie aan colloïdale bestanddelen.

Dat de bindingssterkte in de slibvlokken belangrijk is bleek ook uit de sterk positieve correlatie die werd gevonden tussen de hydrofobiciteit in de slibvlokken en de filtreerbaarheid van het slib. Een hogere hydrofobiciteit komt overeen met een sterkere binding en maakt de vlokken minder gevoelig voor defragmentatie en deflocculatie.

5.3 SLIBPRODUCTIE

De spuislibproductie op de MBR Varsseveld kan op verschillende manieren worden gekwantificeerd. In deze paragraaf worden de resultaten van de verschillende methoden met elkaar vergeleken. De slibproductie wordt achtereenvolgens berekend op basis van:

- 1 De gegevens van het slibtransport (zie 3.3.5). Hierbij is een grove inschatting gemaakt voor de bijdrage van het zeefgoed en het vet. Het resultaat is de som van het spuislib en de drijfslaagafvoer (hetgeen ook als spuislib kan worden beschouwd);
- 2 De draaiuren van de ingediktslibpompen en de drogestofmetingen van het ingediktslib. Hierbij is een bepaalde relatie verondersteld tussen het stroomverbruik van de pompen en de capaciteit. Het spuislib dat met de drijfslaagafvoer via de vetput wordt afgevoerd wordt via deze methode niet meegenomen;
- 3 Op basis van de fosfaatbalans (zie §5.4). Dit vertegenwoordigt het spuislib inclusief de drijfslaag;
- 4 Op basis van theoretische statische modelberekeningen (methode Chudoba). Dit vertegenwoordigt het spuislib inclusief de drijfslaag.

De resultaten van de vier methoden zijn weergegeven in Tabel 13.

TABEL 13 SLIBPRODUCTIE VAN DE RWZI VARSEVELD VOLGENS VERSCHILLENDE METHODEN BEPAALD

Methode spuislibbepaling	Eenheid	Conventioneel	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5
<i>IJzerdosering</i>	<i>mol Fe/mol P_{influent}</i>	0,5	0,53	0	0,40	0,82	1,12
1 Afvoergegevens	kg DS/d	1.320	1.030	1.090	810	1.170	890
2 Ingediktslibpompen ¹⁾	kg DS/d	-	1.060	1.010	910	1.070	1.270
3 Fosfaatbalans	kg DS/d	-	1.380	1.340	1.530	1.490	1.360
4 Modelberekening	kg DS/d	1.360	1.050	900	1.040	1.120	1.080
Gemiddeld	kg DS/d	1.340	1.130	1.090	1.070	1.210	1.150

1) Uitgaande van een geschatte drogestofvracht in de drijfslaagafvoer van 100 kg DS/d

De overeenkomst tussen de verschillende methoden is, gezien de nauwkeurigheid, redelijk goed. De fosfaatbalans leidt tot de hoogste waarden. In de fosfaatbalansberekening is uitgegaan van een fosfaat verwijderingsrendement van de voorbehandeling van 8% zoals gemeten tijdens het onderzoek (zie §3.2.2). De variaties in deze metingen zijn echter aanzienlijk (van -8 tot 22%). Indien in de fosfaatbalans wordt uitgegaan van een rendement van 20% daalt de totale slibproductie van 1.380 naar 1.170 kg DS/d.

De theoretisch berekende hoeveelheid slib komt voor zowel de MBR als de oude rwzi redelijk goed overeen met de afvoergegevens. Op basis van de resultaten van beide methoden kan worden geconcludeerd dat de spuislibproductie van de MBR Varsseveld aanzienlijk lager is dan die van de oude conventionele installatie. Het verschil in slibproductie tussen beide systemen is een gevolg van de volgende factoren:

- de belasting van de conventionele installatie in 2004 was hoger dan die van de MBR in 2005;
- de slibbelasting van de conventionele installatie was aanmerkelijk hoger dan die van de MBR;
- de voorbehandeling van de MBR verwijdert een deel van de vervuiling, in de conventionele installatie was geen voorbehandeling aanwezig;
- de gemiddelde ijzerzoutdosering van de MBR was iets lager dan die van de conventionele installatie;
- op de conventionele installatie werd een deel van het slib uitgespoeld met het effluent.

De invloed van de vijf aspecten is met behulp van modelberekeningen onderzocht. De resultaten zijn in Tabel 14 weergegeven (de gearceerde kolommen zijn gebaseerd op praktijkgegevens uit 2004 en 2005, de overige kolommen zijn hiervan afgeleid). Als uitgangspunt voor de berekening is de gemiddelde vuilvracht van de totale onderzoeksperiode genomen. Hierbij is onderscheid gemaakt in MBR en conventionele rwzi. Voor de MBR is de slibproductie van de totale onderzoeksperiode beschouwd en de situatie waarbij de ijzerdosering zo hoog is dat de permeaatstreefwaarde voor fosfaat ($0,15 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) kan worden bereikt. Voor de conventionele rwzi is de situatie van 2004 beschouwd en de volgende twee fictieve situaties: de hoogbelaste rwzi bij de belasting van 2005, en de ombouw naar een conventioneel systeem met effluentfiltratie waarmee de streefwaarden kunnen worden bereikt.

Ook op basis van deze beschouwing kan worden geconcludeerd dat de spuislibproductie van de MBR (1.160 kg DS/d) lager is dan die van de conventionele rwzi bij gelijke (slib)belasting (1.410 kg DS/d). Dit is een gevolg van het feit dat bij de MBR is uitgegaan van voorbehandeling inclusief microzeven, waardoor de verwijdering van CZV, SS en dergelijke hoger is dan bij de conventionele rwzi. Indien de zeefgoedproductie vervolgens wordt opgeteld bij de spuislibproductie is de totale afvoer van beide systemen nagenoeg gelijk.

TABEL 14 OPBOUW SLIBPRODUCTIE (IN KG DS/DAG) VAN DE (OUDE) CONVENTIONELE RWZI EN DE MBR VARSEVELD

Type installatie		Conventionele rwzi Varsseveld			MBR Varsseveld	
		2004	2005	2005	2005	2005
Jaar	i.e. (à 136 g TZV)	29.700	31.500	31.500	31.500	31.500
Effluentgehalte	mg P _{totaal} /l	1,6	1,6	0,15	2,2	0,15
IJzerdosering	l/h	12,1	12,1	22	11,6	22
Zeefgoed	(1)	0	0	0	200	200
Biologische spuislib	(2)	1.260	1.470	1.190	910	920
Chemisch spuislib	(3)	130	140	220	140	240
Uitspoeling	(4)	-30 ¹⁾	-30 ¹⁾	-10 ²⁾	0	0
Spuislib geproduceerd	(2+3)	1.390	1.610	1.410	1.050	1.160
Spuislib afgevoerd	(2+3+4)	1.360	1.580	1.400	1.050	1.160
TOTAAL afvoer	(1+2+3+4)	1.360	1.580	1.400	1.250	1.360

1) Uitgaande van een influentdebiet van 4.480 m³/dag en een SS-effluentgehalte van 8 mg/l in 2004

2) Uitgaande van het effluentfiltratie middels zandfilters en een SS-effluentgehalte van 2,5 mg/l

5.4 FOSFAATBALANS

5.4.1 INLEIDING

Het afvalwater van de rwzi Varsseveld heeft een relatief hoog fosfaatgehalte van gemiddeld 15 mg/l. De effluenteis voor de rwzi Varsseveld is in de zomer gelijk aan de MTR norm van 0,15 mg P _{totaal}/l. Het bereiken van een dergelijk lage effluentwaarde is niet eenvoudig. Op de MBR Varsseveld vindt de fosfaatverwijdering plaats door een combinatie van biologische en chemische fosfaatverwijdering. Er is geen anaërobe tank in het ontwerp opgenomen, maar ten gevolge van de lage nitraatgehalten in de voordennitrificatietank, worden hier omstandigheden gecreëerd waarin de ontwikkeling van biologische fosfaat accumulerende bacteriën (fab's) plaatsvindt. Het grootste deel van het fosfaat dient echter chemisch te worden neergeslagen, hiertoe vindt dosering met ijzerchloridesulfaat (FeClSO₄) plaats. In deze paragraaf zijn de resultaten van de fosfaatverwijdering op de MBR Varsseveld nader beschouwd.

5.4.2 BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING

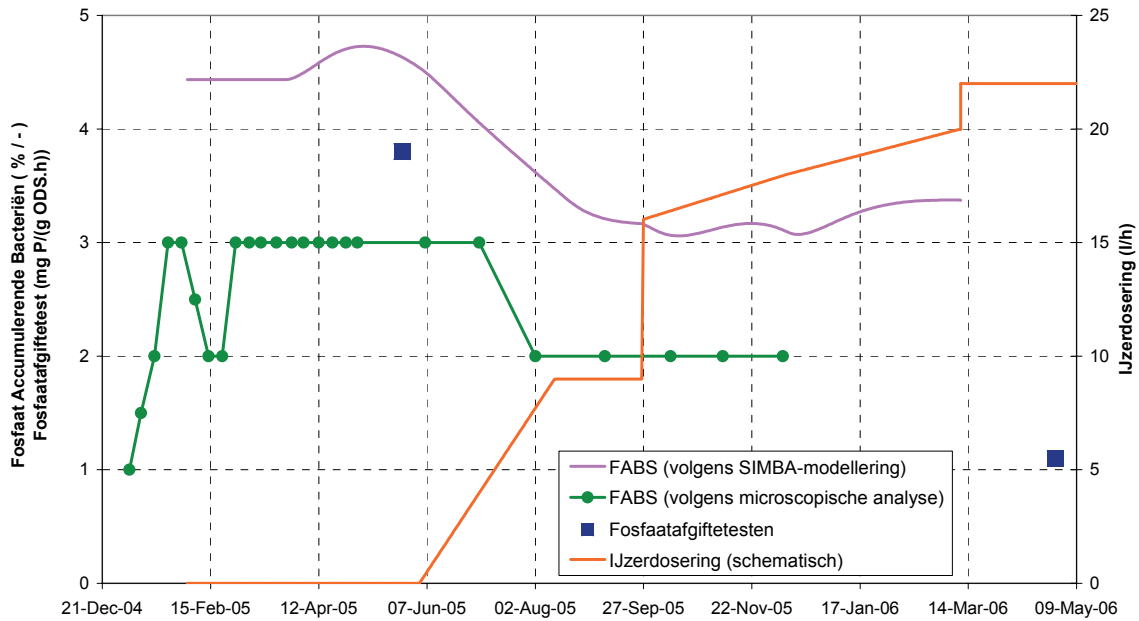
De eerste maanden na de opstart is geen ijzerzout gedoseerd. Het doel hiervan was om de biologische defosfaterende bacteriën de kans te geven zich te ontwikkelen en om inzicht te krijgen in de mogelijkheden van biologische defosfatering. Vanaf eind mei 2005 is de ijzerzoutdosering gestart en is de hoeveelheid langzaam opgevoerd. Het doel hiervan was om te voorkomen dat de fab's zouden worden uitgewassen.

De aanwezigheid van biologische defosfatering is op verschillende manieren aangetoond.

- Fosfaatgiftetesten op 25 mei 2005 en 28 april 2006;
- Microscopische analyse (zie deelstudie "Slibkwaliteit" [ref.3]);
- Modelleren van de MBR Varsseveld (zie deelstudie "SIMBA modellering" [ref.3]).

De resultaten van de verschillende methoden zijn samengevat weergegeven in Afbeelding 39.

AFBEELDING 39 HET VERLOOP VAN DE BIOLOGISCHE FOSFAATVERWIJDERING



Op basis van de microscopische analyse kan in principe geen kwantitatieve vergelijking worden gemaakt maar wordt wel een trend geschetst. Bij de opstart was een beperkte hoeveelheid fab-kolonies aanwezig (score 1); binnen een paar weken nam dit aantal toe tot een score van 3. Deze populatie bleef enkele maanden aanwezig maar nam na het starten van de ijzerdosering af naar score 2. Op basis van de drie toegepaste methodes kan in principe dezelfde conclusie worden getrokken: ten gevolge van de ijzertozoutdosering neemt de biologische fosfaatverwijdering af.

Opvallend is de sterke afname van de fosfaatgiftetest. In mei 2005 was deze nog goed te noemen volgens de STOWA-methodiek [ref.6]. Een jaar later, nadat de ijzerdosering flink is toegenomen en het fosfaateffluentgehalte is gedaald tot 0,15-0,20 mg P_{totaal}/l , is nog sprake van een matige biologische defosfatering.

5.4.3 CHEMISCHE FOSFAATVERWIJDERING

Voor de verschillende onderzoeksperiodes is een fosfaatbalans opgesteld. Op basis van de fosfaatbalans kan de relatie tussen chemische en biologische fosfaatverwijdering worden vastgesteld. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Tabel 15. Als uitgangspunt is aangehouden dat het rendement van de ijzerdosering afneemt naarmate de Me/P-verhouding toeneemt en het fosfaatgehalte in het permeaat afneemt.

Op basis van de fosfaatbalans kan worden geconstateerd dat de biologische fosfaatvastlegging is gedaald van circa 2,7% naar 1,9% drogestof. Het chemisch gebonden fosfaat aandeel is toegenomen tot 2,0%. Indien de biologische fosfaatvastlegging op basis van het biologisch slib wordt berekend is deze van 2,7 naar 2,2-2,3% afgenomen. Ook op basis van de fosfaatbalans kan derhalve worden geconcludeerd dat de biologische fosfaatopname ten gevolge van de ijzerdosering is afgenomen. De hoeveelheid biologisch vastgelegd fosfaat is echter nog dermate hoog dat nog steeds sprake is van biologische fosfaatopname. Dit komt overeen met de resultaten zoals gepresenteerd in §5.4.2.

In de winter van 2005/2006 was de ijzerdosering afgestemd op het behalen van de streefwaarde van 0,15 mg P_{totaal}/l . Deze streefwaarde geldt echter alleen voor de maanden april t/m oktober. In de toekomst zal daarom alleen gedurende deze 7 maanden een hoge dosering (Me/P-verhouding van circa 1,2) dienen plaats te vinden. In de wintermaanden kan met een lagere dosering (Me/P-verhouding van circa 0,6) worden volstaan. In de zomermaanden zal de biologische defosfateringscapaciteit dalen, in de wintermaanden zal deze vervolgens weer toenemen. Samengevat kan worden gesteld dat de biologische defosfatering, ook bij de strenge effluenteisen van Varsseveld, een rol van betekenis zal blijven spelen.

TABEL 15 DE FOSFAATBALANS VAN DE VERSCHILLENDE ONDERZOEKSPERIODES

Parameter	Eenheid	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	
Fosfaatbalans	Influent	kg/d	65,2	60,8	70,1	67,1	59,0
	Permeaat	kg/d	-8,6	-19,1	-9,7	-2,0	-0,8
	Voorbehandeling ¹⁾	kg/d	-5,2	-4,9	-5,6	-5,4	-4,7
	Verwijdering	kg/d	51,3	36,8	54,7	59,7	53,5
IJzerdosering	Doseerdebiet	l/h	11,6	0,0	7,4	17,4	21,8
	IJzervracht	kg Fe/d	52	0	34	79	98
	Me/P ratio	mol Fe/mol P_{influent}	0,53	0	0,40	0,82	1,12
	FePO ₄ aandeel ²⁾	%	75	-	100	70	50
Slibproductie	Totaal	kg DS/d	1.380	1.340	1.550	1.490	1.360
	Chemisch	kg DS/d	130	0	90	190	230
	Biologisch	kg DS/d	1.250	1.340	1.460	1.300	1.130
P-vastlegging	Biologisch	kg P/d	29,5	36,6	36,1	29,2	26,2
	- % totaal slib	% P	2,1	2,7	2,3	2,0	1,9
	- % biologisch slib	% P	2,4	2,7	2,5	2,2	2,3
	Chemisch	kg P/d	21,8	0,0	18,6	30,5	27,3
	- % totaal slib	% P	1,6	0,0	1,2	2,0	2,0
	Totaal	% P	3,7	2,7	3,5	4,0	3,9

1) Uitgaande van een fosfaatverwijderingsrendement van 8% (zie §3.2.2)

2) Het aandeel Fe dat tot FePO₄ (en niet Fe(OH)₃) wordt gebonden is afhankelijk van het fosfaatgehalte in het omloopsysteem

5.4.4 ORGANISCH-FOSFAAT

Tijdens de afbraakprocessen in het actiefslib komen opgeloste organische macromoleculen vrij zoals humuszuren. Deze zijn als CZV in het permeaat terug te vinden. Aan de humuszuren zijn organische fracties stikstof en fosfor gebonden. Het organische-fosfaatgehalte in het permeaat van de MBR Varsseveld varieert in de praktijk tussen 0,02 en 0,04 mg P/l indien ijzerdosering wordt toegepast. In de situatie zonder ijzerdosering is het organische-fosfaatgehalte in het permeaat echter aanzienlijk hoger en varieert dan tussen 0,4 en 0,6 mg P/l. Een deel van het organisch gebonden fosfaat wordt ten gevolge van de ijzerdosering vastgelegd. De permeaatstreefwaarde voor fosfaat bedraagt 0,15 mg P/l. Op basis van bovenstaande beschouwing kan worden geconcludeerd dat deze streefwaarde zonder chemische dosering op de MBR Varsseveld niet kan worden gerealiseerd. Bij toepassing van ijzerdosering vormt het organisch gebonden deel nog circa 10-20% van de streefwaarde en is het halen van de streefwaarde mogelijk.

In het onderzoek op de MBR Hilversum [ref.7] is getracht om de permeateis van 0,15 mg P_{totaal}/l volledig biologisch te realiseren, dus zonder toevoeging van ijzerzouten. Het organisch-fosfaatgehalte van het permeaat van Hilversum bedraagt gemiddeld 0,14 mg P_{totaal}/l .

Dit betekent dat een permeaatgehalte van 0,01 mg P_{ortho}/l gehaald dient te worden om de eis te kunnen halen.

De invloed van het organisch-fosfaatgehalte op de haalbaarheid van de effluenteis is per lokatie verschillend, en hangt met name af van de influentsamenstelling en de slibbelasting. Bij een te lage slibbelasting worden meer humuszuren gevormd en daarmee meer organisch-fosfaat gebonden. Een relatief geringe dosering van ijzerzouten kan leiden tot een aanzienlijke verlaging van het organisch-fosfaatgehalte en kan daarmee het behalen van de permeateis vereenvoudigen.

5.5 STIKSTOFBALANS

Uit de resultaten is gebleken dat de stikstofverwijdering van de MBR Varsseveld ruimschoots voldoet aan de daaraan gestelde eisen. De streefwaarde van 5,0 mg N_{totaal}/l wordt het grootste deel van het jaar gehaald. De stikstofbalans van de verschillende onderzoeksperiodes is weergegeven in Tabel 16.

TABEL 16 DE STIKSTOFBALANS VAN DE VERSCHILLENDE ONDERZOEKSPERIODES

Parameter	Eenheid	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	
Nkj	Influent na voorbehandeling	kg/d	192	193	199	189	180
	Permeaat	kg/d	-4,2	-4,1	-3,6	-4,2	-5,3
	Afvoer met spuislib	kg/d	-77	-78	-91	-81	-78
	Nitrificatiecapaciteit	kg/d	112	111	104	103	97
	Rendement nitrificatie	kg/d	98	98	98	98	97
NO ₃ -N	Influent na voorbehandeling	kg/d	8,1	16,5	4,0	7,3	7,9
	Permeaat	kg/d	-11,2	-8,5	-9,9	-15,5	-10,8
	Denitrificatiecapaciteit	kg/d	108	119	98	95	94
	Rendement denitrificatie	%	91	93	91	86	90

Het nitrificatierendement van de biologie is 98%. Dit is relatief hoog voor een biologische zuiveringsinstallatie. Dit hoge rendement wordt mogelijk gemaakt door de intensieve beluchting in de membraantank. In deze laatste processtap wordt het ammonium dat nog aanwezig is voor een groot deel nog omgezet. Het gevolg is zeer lage permeaatconcentraties van over het algemeen 0,2-0,4 mg NH₄-N/l.

De hoge denitrificatierendementen zijn mede te danken aan de gunstige verhouding tussen CZV en stikstof in het influent. In het ontwerp was uitgegaan van een CZV/N-verhouding van 10,7. In de praktijk blijkt deze echter te variëren tussen 12 en 13. De CZV/N-verhouding van het influent na voorbehandeling is 10-11.

Het organische-stikstofgehalte in het permeaat varieert in de praktijk tussen 0,6 en 1,2 mg N/l. Voor de MBR Varsseveld betekent dit dat het aandeel niet-afbreekbare organische stikstof circa 10-25% uitmaakt van de toelaatbare stikstoflozing van 5,0 mg N_{totaal}/l. Indien de effluenteisen verder worden aangescherpt, bijvoorbeeld tot 2,2 mg N_{totaal}/l, neemt dit aandeel toe tot 25-50% en zal dit aandeel wel een belangrijke rol gaan spelen. De ruimte die dan overblijft voor andere stikstofcomponenten wordt zeer klein. De ijzerdosering lijkt geen invloed te hebben op het organisch-stikstofgehalte in het permeaat.

5.6 ZUURSTOFBALANS

5.6.1 INLEIDING

De zuurstofbalans van een MBR wijkt sterk af van die van een conventionele rwzi. Door het hoge drogestofgehalte is de zuurstofoverdracht slechter, terwijl meer zuurstof in een kleiner volume moet worden ingebracht. Daarnaast wordt ook in de membraantanks zuurstof ingebracht, hoewel het rendement hiervan niet hoog is. In de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] zijn metingen verricht aan de zuurstofinbreng in zowel het omloopsysteem als de membraantank. In deze paragraaf zijn de belangrijkste resultaten hiervan weergegeven en is ingegaan op de wederzijdse beïnvloeding van omloopsysteem en membraantanks.

De zuurstofinbreng in de beluchtingstanks en de membraantanks is beschreven in respectievelijk §5.6.2 en §5.6.3. In §3.3.6 is op basis van onder andere de α -factor metingen een zuurstofbalans opgesteld.

5.6.2 ZUURSTOFINBRENG BELUCHTINGSTANK

In §2.4.3 is reeds aangegeven dat het ontwerp van de beluchting de nodige aandacht heeft gevraagd. In het kader van de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] is daarom verschillende malen de zuurstofinbrengcapaciteit van de beluchting in het omloopsysteem gemeten. Het doel hiervan was om de uitgangssituatie vast te stellen en om te monitoren hoe de beluchtingscapaciteit zich in de tijd ontwikkelt. De resultaten van deze metingen zijn samengevat weergegeven in Tabel 17.

TABEL 17 RESULTATEN VAN DE OC-METINGEN IN SCHOONWATER EN ACTIEFLIB

Datum	Eenheid	18-nov-04	24-jan-05	14-jun-05	12-dec-05	22-dec-05
Medium	-	Water	Slib	Slib	Slib	Slib
Geïnstalleerd vermogen voorstuwers	kW	3,0	3,0	4,0	6,5	4,0
Temperatuur	°C	10,3	10,5	18,5	13,0	13,0
α -factor	-	1,02	0,76	0,58	0,71	0,71
Stroomsnelheid	cm/s	16,7	16,7	22,7	29,0	22,7
OC(10)	kg O ₂ /h	191	183	114	156	124
OC specifiek	g O ₂ /(Nm ³ .m)	18,6	18,6	12,1	15,5	12,2

In november 2004 zijn de garantiemetingen uitgevoerd in de met grondwater gevulde beluchtingstank. Hierbij valt op dat de gemeten OC-waarde van 191 kg O₂/h aanzienlijk (30%) lager is dan de ontwerpwaarde van 273 kg O₂/h. De specifieke zuurstofinbreng bedraagt 18,6 g O₂/(Nm³.m) in plaats van een gegarandeerde specifieke inbreng van 27 g O₂/(Nm³.m). Dit resultaat wordt tijdens de eerste OC-metingen in slib, op 24 januari 2005, bevestigd. Een mogelijke oorzaak van de lage zuurstofinbreng kan de geringe stroomsnelheid in het omloopsysteem zijn. De stroomsnelheid bedraagt 16,7 cm/s, terwijl volgens de bestekseisen 30 cm/s zou moeten worden behaald.

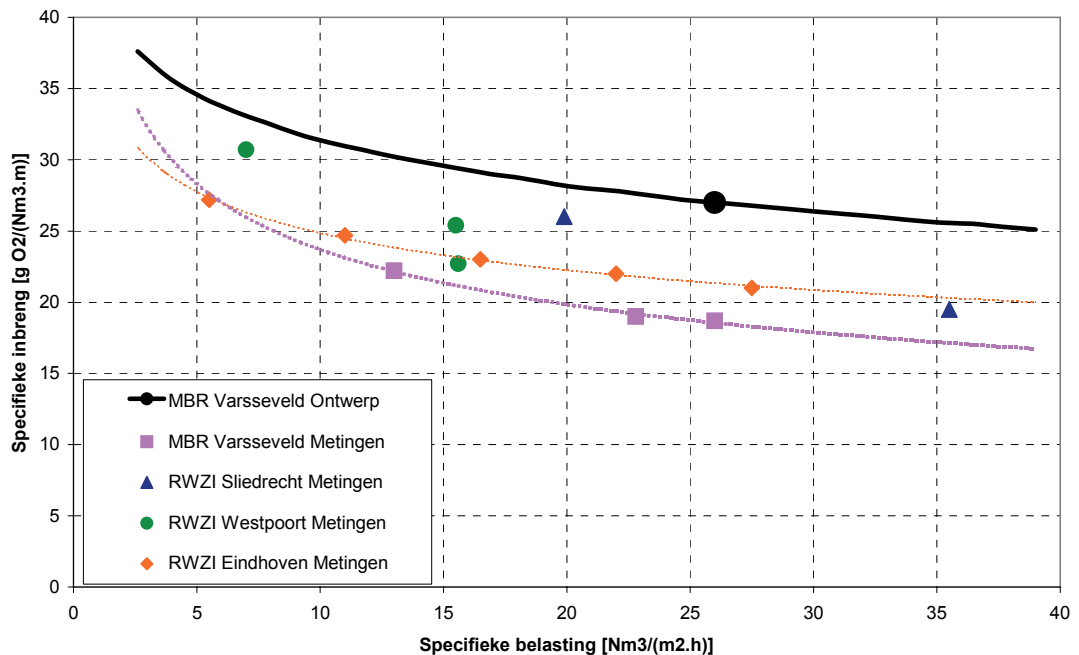
Een andere oorzaak is de optimistische ontwerpgrondslag die de leverancier van het beluchtingssysteem heeft gehanteerd. In Afbeelding 40 zijn de ontwerputgangspunten en de resultaten van de garantiemetingen uitgezet naast de resultaten van OC-metingen op andere lokaties met dezelfde beluchtingsplaten. Hieruit blijkt dat de bij het ontwerp gehanteerde specifieke beluchtingsinbreng aanzienlijk hoger is dan de resultaten die op de andere rwzi's worden behaald. Opvallend is ook dat de gemeten specifieke inbreng in Varsseveld lager is dan

op de andere rwzi's gemeten. Dat is mogelijk het gevolg van de relatief lage stroomsnelheid en de hydraulisch minder gunstige configuratie.

Om de zuurstofinbreng te verbeteren is eind januari 2005 het geïnstalleerde vermogen van de voortstuwers verhoogd van 3,0 naar 4,0 kW. Op 12 december 2005 is zelfs een test gedaan met een tijdelijke opstelling van 6,5 kW. De resultaten van de OC-metingen in juni en december 2005 geven echter een aanzienlijk lagere zuurstofinbreng te zien dan in januari 2005. De zuurstofinbreng is afgenomen met 35%. Ten opzichte van het ontwerp is de werkelijke zuurstofinbreng maar liefst 55% lager. Het toepassen van voortstuwers van 6,5 kW lijkt een positief effect te hebben op de zuurstofinbreng, de capaciteit neemt met 25-30% toe.

De oorzaak van de sterke verlaging van de zuurstofinbrengcapaciteit van de plaatbeluchters is nader onderzocht. In april 2006 is een drietal beluchtingsplaten uit het omloopsysteem gehaald en ter plekke door de leverancier aan een nader onderzoek onderworpen. Hierbij is onder andere het beluftenpatroon visueel beoordeeld en zijn drukmetingen verricht. Op basis van deze testen werd geconcludeerd dat de platen niet vervuild waren. Ondanks het feit dat er meerdere aanwijzingen zijn dat de OC drastisch is gedaald, is de oorzaak hiervan (nog) niet vastgesteld.

AFBEELDING 40 DE SPECIEFKE ZUURSTOFINBRENG IN RELATIE TOT DE PLAATBELASTING VOOR VERSCHILLENDE RWZI'S



5.6.3 ZUURSTOFINBRENG MEMBRAANTANKS

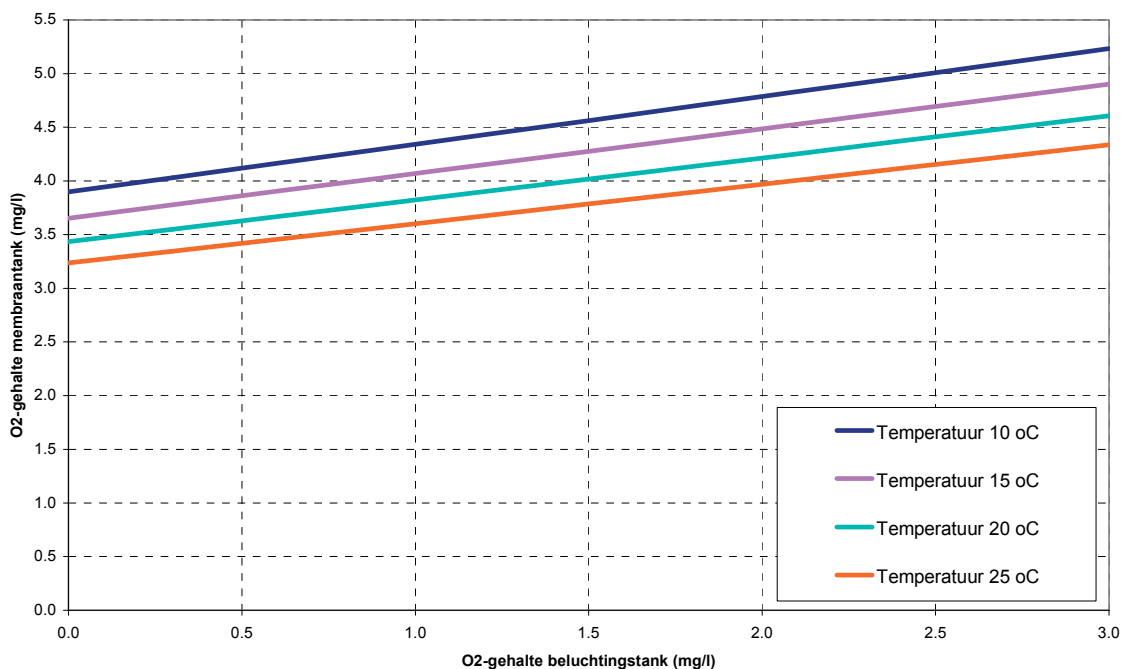
In het kader van de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] zijn metingen verricht aan de zuurstofinbreng in de membraantanks. Afhankelijk van het toevoerdebiet naar de membraantanks varieerde de zuurstofinbreng α -OC(10) van 10,4 tot 18,0 kg O₂/uur, hetgeen neerkomt op een specifieke zuurstofinbreng van 2,0 tot 3,4 g O₂/(Nm³.m).

Op basis van deze meetwaarden is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd waarin de invloed van het zuurstofgehalte in de beluchtingstank (toevoer naar de membraantank) op het zuurstofgehalte in de membraantank is bepaald. Hiervoor is een theoretisch model opgesteld waarin alle effecten (aanvoer, afvoer, respiratie en beluchting) zijn meegenomen. De resultaten van

deze gevoeligheidsanalyse zijn grafisch weergegeven in Afbeelding 41. Hierbij is uitgegaan een constante respiratiesnelheid van 2,5 mg O₂/(g DS.h) en de procesinstellingen zoals die sinds medio 2005 op de MBR Varsseveld zijn ingesteld (beluchting membranen van 3.750 Nm³/h, toevoer membraantanks van 800 m³/h en een optimumflux van 20 l/(m².h)).

Op basis van Afbeelding 41 kan worden geconcludeerd dat de invloed van het zuurstofgehalte in de toevoer naar de membraantanks een beperkt effect heeft op het zuurstofgehalte in de beluchtingstank. Een verhoging van het zuurstofgehalte in de toevoer van 1,0 mg O₂/l leidt slechts tot een toename van 0,3-0,4 mg O₂/l in de membraantank. De beluchttingscapaciteit van de membraanbeluchting is zodanig groot dat, indien de afbraak in de beluchtingstank goed verloopt en het respiratieniveau van het slib laag is, het zuurstofgehalte in de membraantank altijd voldoende hoog is. Op basis van wereldwijde ervaringen met MBR-installaties is altijd geconcludeerd dat het ongewenst is dat de membranen permeaat onttrekken als het slib anaëroob is. Dit kan leiden tot een versnelde vervuiling van de membranen en achteruitgang van de permeabiliteit. Uit bovenstaande gevoeligheidsanalyse kan echter worden geconcludeerd dat een goede biologische conversie in de beluchtingstank van groter belang is dan het aanvoeren van zuurstofrijk slib.

AFBEELDING 41 DE INVLOED VAN HET ZUURSTOFGEHALTE IN DE BELUCHTINGSTANK OP HET ZUURSTOFGEHALTE IN DE MEMBRAANTANK



5.6.4 ZUURSTOFBALANS

Op grond van de verkregen data is voor de verschillende onderzoeksperiodes een zuurstofbalans opgesteld, welke is weergegeven in Tabel 18. Hierbij zijn de specifieke zuurstofinbreng voor de beluchting in het omloopsysteem en de membraantank zoals gemeten in de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] gehanteerd. Voor de beluchting in de membraantank is de α -OC waarde gebruikt. Er wordt vanuit gegaan dat voor de grove bellenbeluchting in de membraantanks de α -factor gelijk is aan 1 [ref.8]. Uiteindelijk wordt de theoretische α -factor op basis van de zuurstofbalans berekend en kan deze worden vergeleken met de gemeten α -factor.

TABEL 18 DE ZUURSTOFBALANS VAN DE VERSCHILLENDE ONDERZOEKSPERIODES

Parameter	Eenheid	Totaal	Fase 2	Fase 3	Fase 4	Fase 5	
CZV	Toevoer beluchtingstank	kg/d	2.368	2.328	2.501	2.376	2.162
	Afvoer met permeaat	kg/d	-92	-99	-90	-90	-88
	Afvoer met spuislib	kg/d	-1.301	-1.380	-1.406	-1.308	-1.233
	Zuurstofvraag (a)	kg/d	975	849	1.005	978	840
Stikstof	Nitrificatiecapaciteit	kg/d	112	111	104	103	97
	Denitrificatiecapaciteit	kg/d	108	119	98	95	94
	Zuurstofvraag (b)	kg/d	200	166	195	200	174
Beluchting	Beluchtingscapaciteit	Nm ³ /h	1.250	1.319	1.594	1.092	949
omloopsysteem	Efficiency	g O ₂ /(Nm ³ .m)	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1
	Diepte beluchting	m	5,1	5,1	5,1	5,1	5,1
	Zuurstofconcentratie	mg O ₂ /l	1,5	1,2	1,3	1,7	1,7
	Temperatuur	°C	15,6	14,6	20,3	13,9	11,5
	Zuurstof verzadiging	mg O ₂ /l	9,9	10,1	9,0	10,3	10,9
	Zuurstofinbreng (c)	kg O ₂ /d	1.574	1.716	2.022	1.349	1.183
Beluchting	Beluchtingscapaciteit	Nm ³ /h	4.409	5.849	3.768	4.086	4.100
membraantanks	Efficiency (α -OC(T))	g O ₂ /(Nm ³ .m)	2,1	2,1	2,3	2,1	2,0
	Diepte beluchting	m	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
	Zuurstofconcentratie	mg O ₂ /l	3,8	3,6	3,4	3,6	3,8
	Zuurstofinbreng (d)	kg O ₂ /d	383	532	362	375	359
OC	Zuurstofvraag totaal ($e = a + b$)	kg O ₂ /d	1.175	1.015	1.201	1.178	1.014
	Zuurstofvraag AT ($f = e - d$)	kg O ₂ /d	791	483	839	804	656
α -factor	Berekend ($g = f / e$)	-	0,50	0,28	0,41	0,60	0,55
	Gemeten (gemiddeld)	-	0,67	0,55	0,58	0,75	0,71
	Vershil	%	-25	-48	-28	-20	-22

De berekende α -factor voor de beluchting in het omloopsysteem blijkt circa 25% lager te zijn dan de gemeten waarden. Dit is een aanzienlijk verschil dat op basis van de beschikbare gegevens niet kan worden verklaard. In de balans zijn een aantal factoren opgenomen die grote invloed hebben op het resultaat. Dit betreft o.a. de zuurstofinbrengcapaciteit in het omloopsysteem, het rendement van de voorbehandeling en de α -factor meting.

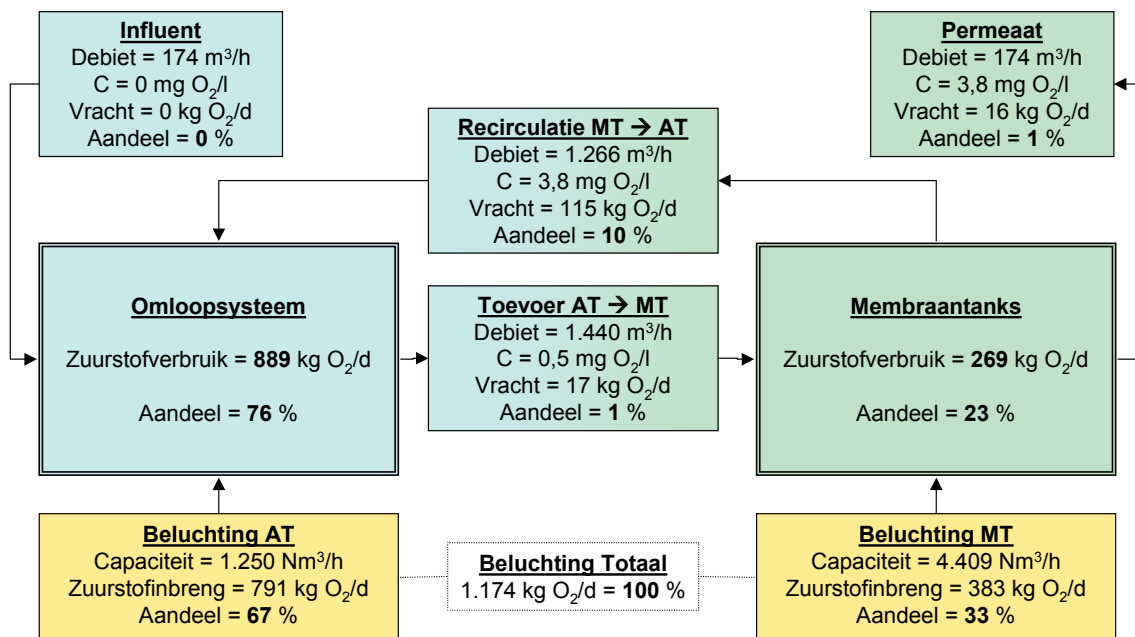
De berekening van de zuurstofinbreng in het omloopsysteem is gebaseerd op een efficiency van 12,1 g O₂/(Nm³.m), zoals gemeten in juni en december 2005 (zie Tabel 17). Indien een efficiency van 18,6 g O₂/(Nm³.m) wordt verondersteld, zoals gemeten tijdens de garantiemetingen in november 2004, dan zou de berekende α -factor voor de totale onderzoeksperiode afnemen van 0,50 naar 0,33 en het verschil in de berekende en gemeten waarden toenemen van -25% naar -51%. De resultaten van de zuurstofbalans bevestigen de conclusie dat sinds de garantiemetingen de zuurstofinbrengcapaciteit in het omloopsysteem aanzienlijk is gedaald.

Het gemeten rendement van de voorbehandeling, zoals weergegeven in §3.2.2 is van grote invloed op de werkelijke belasting van de biologie. Het vaststellen van deze rendementen is niet eenvoudig gebleken en heeft daarom een zekere onnauwkeurigheid. Het rendement van de CZV-verwijdering in de voorbehandeling bedraagt bijvoorbeeld 28% (\pm 15%). Indien wordt uitgegaan van een totaal CZV-rendement over de voorbehandeling van 20% in plaats van 28%, neemt de berekende α -factor voor de totale onderzoeksperiode toe van 0,50 naar 0,67 en is deze daarmee gelijk aan de gemeten waarde.

Zoals aangegeven in de deelstudie "OC en hydraulica" [ref.3] is de nauwkeurigheid van α -factor meting eveneens een punt van discussie. Mogelijk dat de werkelijke α -factor lager is dan de gemeten α -factoren.

Op basis van de zuurstofbalans kan de invloed van de membraanbeluchting op de zuurstofinbreng in de MBR worden gekwantificeerd. De resultaten hiervan zijn voor de totale onderzoeksperiode samengevat weergegeven in Afbeelding 42. Op basis van deze beschouwing kan worden geconcludeerd dat de membraanbeluchting verantwoordelijk is voor 33% van de zuurstofinbreng. In de membraantank wordt 23% van de totale zuurstofvracht geconsumeerd. Het grootste deel (76%) wordt in het omloopsysteem verbruikt en 1% verdwijnt met het permeaat uit het systeem.

AFBEELDING 42 DE ZUURSTOFBALANS VOOR DE TOTALE ONDERZOEKSPERIODE



5.7 ENERGIEVERBRUIK

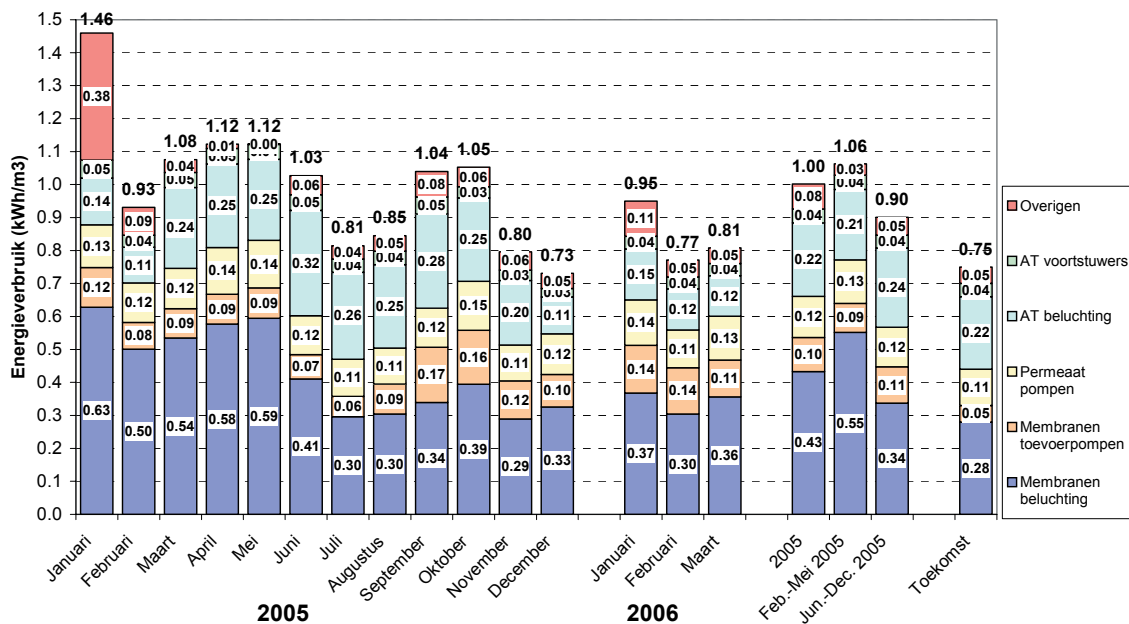
Een belangrijke doelstelling van het eerste jaar van de bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld was het verlagen van het energieverbruik. Hierbij is met name aandacht geschonken aan het energieverbruik van de membraaninstallatie, aangezien deze het grootste deel van de energie verbruikt en bovendien de meeste mogelijkheden biedt tot optimalisatie. De resultaten hiervan zijn beschreven in de deelstudie "Membranen" [ref.3].

Het verlagen van het energieverbruik mag echter nooit ten koste gaan van de werking van de membranen. Met deze randvoorwaarde in gedachte is de bedrijfsvoering van de membranen stap voor stap gewijzigd van relatief veilig (veel beluchten, korte permeaatcyclus) naar progressief (weinig beluchten in paraatmode, langere cyclus, hogere optimumflux indien mogelijk). De verwachting is in de toekomst een verdere optimalisatieslag te maken. Hierbij kan worden gedacht aan het uitzetten van de recirculatiepompen tijdens paraatmode en het verminderen van de beluchting in procesmode. De optimalisaties van de membraaninstallatie hebben geleid tot een energiebesparing van circa 0,2 kWh/m³. De verwachting is dat het energieverbruik met nog eens 0,10-0,15 kWh/m³ kan afnemen. Om dit te kunnen bereiken zullen medio 2006 enkele wijzigingen in de besturingsinstallatie worden doorgevoerd.

Het specifieke energieverbruik van de gehele installatie is maandelijks weergegeven in Afbeelding 43. Hierbij is het verbruik opgesplitst naar de verschillende hoofdprocesonderdelen van de installatie. Vervolgens is in de laatste vier kolommen het specifieke verbruik voor drie verschillende periodes weergegeven en voor de toekomstige situatie waarin verdere optimalisaties zijn doorgevoerd.

Het energieverbruik van de gehele installatie wordt voor 60-65% bepaald door de membraan-gerelateerde procesonderdelen. Over het gehele jaar 2005 was het energieverbruik 1,0 kWh/m³ (of 59 kWh/i.e.jaar uitgaande van i.e.'s van 136 g TZV) over de laatste zeven maanden van 2005 was dit echter 0,90 kWh/m³ (of 53 kWh/i.e.jaar). Deze daling is het gevolg van de eerdergenoemde optimalisaties. De verwachting is dat bij verdere optimalisatie het energieverbruik kan dalen tot 0,75 kWh/m³ (of 44 kWh/i.e.jaar).

AFBEELDING 43 HET SPECIFIEKE ENERGIEVERBRUIK VAN DE MBR VARSSEVELD



5.8 MEMBRAANWERKING

5.8.1 INLEIDING

Het verloop van de permeabiliteit in relatie tot de hoeveelheid onttrokken permeaat is voor de vier membraantanks weergegeven in Afbeelding 44. Opvallend aan het verloop van deze grafieken is het wisselende niveau van de permeabiliteit in de tijd. De factoren die hierop van invloed zijn zullen in deze paragraaf worden beschreven.

De opvallende daling van de permeabiliteit in de eerste maanden na de opstart is een gevolg van de lozing van een industrieel polymeer, zoals reeds is beschreven in §5.8.2. Deze daling hield niet alleen verband met het polymeer maar ook met de lage temperatuur op dat moment. Het effect van de temperatuur op de permeabiliteit is uiteengezet in §5.8.3. Bij het ontwerp van de membraantanks is veel aandacht besteed aan de "symmetrie" van het systeem. De resultaten van de hieraan gerelateerde onderzoeksactiviteiten zijn samengevat in §5.8.4. Tenslotte is in §5.8.5 nader ingegaan op de aanwezigheid van EOX-verbindingen in het permeaat als gevolg van de chemische reiniging.

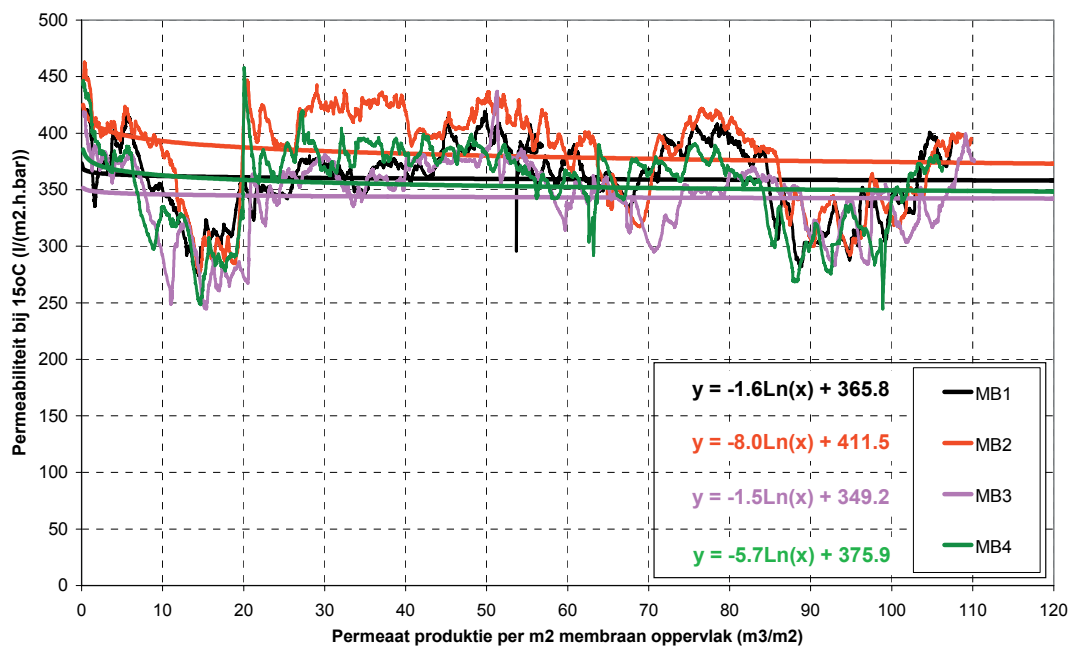
5.8.2 SLIBKWALITEIT

Dat de slibkwaliteit van grote invloed is op de werking van de membranen is beschreven in de deelstudie "Slibkwaliteit" [ref.3] en §5.2.4 van dit rapport. In de deelstudie is ook de invloed van het industriële polymeer op de filtreerbaarheid reeds duidelijk aangetoond. De wijze waarop dit in de praktijk de werking van de membranen heeft beïnvloed wordt in deze paragraaf geïllustreerd.

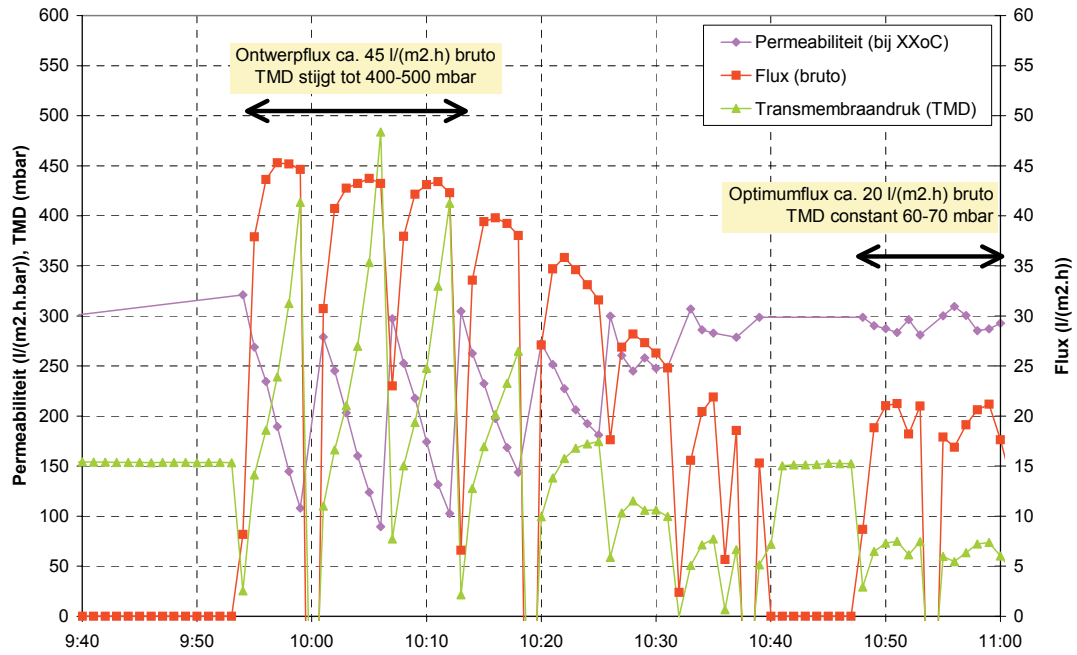
Onder normale omstandigheden met een goede slibkwaliteit en schone membranen, zal binnen een permeaatcyclus de transmembraandruk tijdens optimumflux niet toenemen. De optimumflux wordt door de bedrijfsvoerder zodanig gekozen dat aan deze randvoorwaarde kan worden voldaan (zie §4.4.2).

Het industrieel polymeer veroorzaakte verkleving van de membranen (zie Afbeelding 31). Het gevolg hiervan was dat een deel van het membraanoppervlak niet beschikbaar was voor permeaatonttrekking en dat het beschikbare oppervlak een veel hogere flux te verwerken had dan onder normale omstandigheden. Het effect hiervan op de drukopbouw tijdens een permeaatonttrekkingscyclus is weergegeven in Afbeelding 45. In deze figuur is de bruto flux, de transmembraandruk en de hieruit berekende ongecorrigeerde permeabiliteit weergegeven voor een periode van ruim 2 uur op 4 april 2006.

AFBEELDING 44 HET VERLOOP VAN DE SPECIFIEKE PERMEABILITEIT VAN DE VIER MEMBRAANTANKS



AFBEELDING 45 HET VERLOOP VAN DE DRUKOPBOUW EN DE PERMEABILITEIT BIJ AANWEZIGHEID VAN INDUSTRIEEL POLYMEER



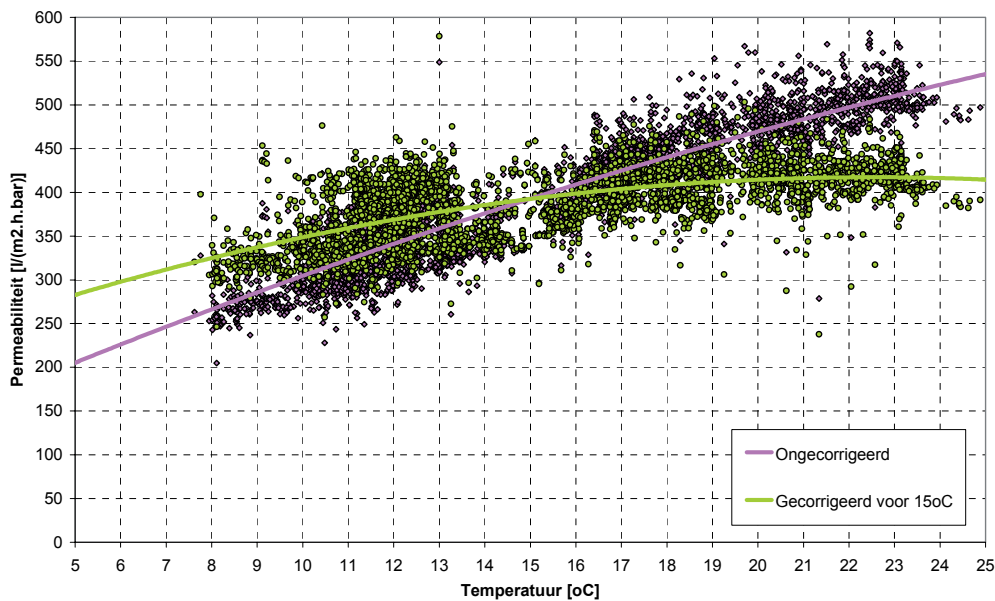
Bij optimumflux functioneren de membranen zoals bedoeld, de transmembraandruk is relatief constant en op een acceptabel niveau. Bij toename van de flux is het effect van de verkleefing echter desastreus. De transmembraandruk neemt binnen een cyclus van 6 minuten toe van circa 70 mbar naar bijna 500 mbar. De gemiddelde bruto flux bedraagt hierbij circa 45 l/(m².h) maar de werkelijke flux waarmee het beschikbare membraanoppervlak wordt belast zal factoren hoger zijn geweest. De maximaal toegestane transmembraandruk voor dit systeem bedraagt 600 mbar. Boven dit niveau wordt de betreffende membraanstraat uitgeschakeld en dient corrigerende actie te worden genomen om de permeabiliteit van het membraan te herstellen.

5.8.3 TEMPERATUURSINVLOED

De permeabiliteit is ondermeer afhankelijk van de temperatuur van het te filteren medium. De temperatuur beïnvloedt de viscositeit van het actiefslib en daarmee de weerstand ervan. In de regel wordt daarom de gemeten werkelijke permeabiliteit gecorrigeerd voor dit viscositeitseffect. Dit is ook het geval bij de gepresenteerde resultaten van de MBR Varsseveld zoals weergegeven in Afbeelding 24, Afbeelding 25 en Afbeelding 44. Uit de resultaten van de MBR Varsseveld blijkt echter dat ook in de winter de gecorrigeerde permeabiliteit daalt. In 2005 werd dit effect nog toegeschreven aan het industriële polymeer dat voor verkleefing van de membranen zorgde. Vanaf januari 2006 is echter opnieuw een duidelijke daling waarneembaar van ruim 350 naar onder de 300 l/(m².h.bar). Met name na de natte, koude weken in februari en maart 2006 daalt de permeabiliteit meer dan verwacht. Nadat vanaf medio april de temperatuur gaat stijgen tot boven de 15°C komt de permeabiliteit weer terug op het oude niveau.

In Afbeelding 46 zijn voor één membraantank alle datapunten vanaf 15 april 2005 (nadat het industriële polymeer uit het systeem is verwijderd) weergegeven. Hierbij zijn datapunten (elk ½ uur) verwerkt waarbij de netto-flux tussen 15 en 20 l/(m².h) was. Dit wil zeggen dat de datapunten tijdens regenweeraanvoer buiten beschouwing zijn gelaten. In de grafiek zijn zowel de gecorrigeerde (voor 15°C) als de ongecorrigeerde permeabiliteitswaarden weergegeven.

AFBEELDING 46 DE RELATIE TUSSEN DE GECORRIGEERDE EN ONGECORRIGEERDE PERMEABILITEIT EN DE TEMPERAATUUR
(15 APRIL 2005 – 9 MEI 2006, DATAPUNTEN BIJ NETTO-FLUX VAN 15 TOT 20 L/(M².H))



De puntenwolk kan worden opgedeeld in drie segmenten.

- Temperatuur > 15°C: de gecorrigeerde permeabiliteit is nagenoeg ongevoelig voor de temperatuur;
- Temperatuur > 10°C en < 15°C: de gecorrigeerde permeabiliteit daalt licht bij lagere temperaturen;
- Temperatuur < 10°C: de gecorrigeerde permeabiliteit is lager (< 350 l/(m².h.bar)) dan bij hogere temperaturen.

Het blijkt dat onder de 15°C en met name onder de 10°C de temperatuur een grotere rol speelt dan op grond van het viscositeitseffect mag worden verwacht. De oorzaak van dit fenomeen is niet nader onderzocht, maar kan een relatie hebben met de volgende aspecten:

- de viscositeit van actiefslib (bij 10 kg DS/m³) verandert sterker dan de viscositeit van water, waardoor de toegepaste viscositeitscorrectie niet voldoende is;
- het actiefslib bevat relatief veel vetzig materiaal dat bij lage temperaturen visceuzer wordt;
- de membraaneigenschappen veranderen waardoor de weerstand van het membraan toeneemt;
- de ontgassing van het permeaat in de permeaatleiding neemt toe waardoor de weerstand toeneemt.

5.8.4 SYMMETRIE

De MBR Varsseveld is de eerste grootschalige MBR-installatie van Nederland. De ervaring met de MBR-technologie was tot dan toe gebaseerd op onderzoek met pilot-installaties met een capaciteit van 2 tot 20 m³/h. De capaciteit van de MBR Varsseveld is circa 40 maal groter dan die van de grootste pilot-installatie. De membraantank zoals die in Varsseveld is gebouwd staat model voor een standaard membraantank in grootschalige MBR toepassingen. Bij het ontwerp is een volledige symmetrie van het systeem als uitgangspunt gehanteerd. Dit betekent dat de omstandigheden voor alle membraancassettes in een tank gelijk zijn. Hiertoe dienen zowel de toevoer als de afvoer van het actiefslib gelijkmatig over de gehele membraantank plaats te vinden.

In de deelstudie “Membranen” [ref.3] is veel aandacht besteed aan het vaststellen van de symmetrie van de membraantanks. Hiertoe zijn metingen uitgevoerd aan de zogenaamde filtratiebalans en aan de chemicaliëndistributie. De hydraulische verdeling in een membraantank is onderzocht in de deelstudie “OC en hydraulica” [ref.3]. De resultaten van beide onderzoeken zijn hierna samengevat weergegeven.

FILTRATIEBALANS

Bij het vaststellen van de filtratiebalans is de werking van elke membraancassette onderzocht en zijn de verschillen tussen de cassettes beoordeeld. Tijdens de inbedrijfname van de membraaninstallatie is de schoonwater permeabiliteit (Clean water permeability, CWP) van de verschillende cassettes bepaald. Na circa 10 maanden bedrijf is in september 2005 de filtratiebalans in actiefslib bepaald.

De resultaten tonen aan dat er verschillen zijn tussen de membraantanks en de membraancassettes onderling. De overeenkomsten tussen de metingen in schoonwater en in actiefslib zijn opvallend. De permeabiliteit na 10 maanden bedrijf blijkt sterk gerelateerd te zijn aan de oorspronkelijke CWP-waarde van de membraancassettes. Dit doet sterk vermoeden dat de verschillen tussen de CWP-waarden van de cassettes het gevolg zijn van variaties in de productkwaliteit. Door een wijziging in de instellingen van het productieproces kan de kwaliteit, en daarmee de permeabiliteit, van het membraan veranderen.

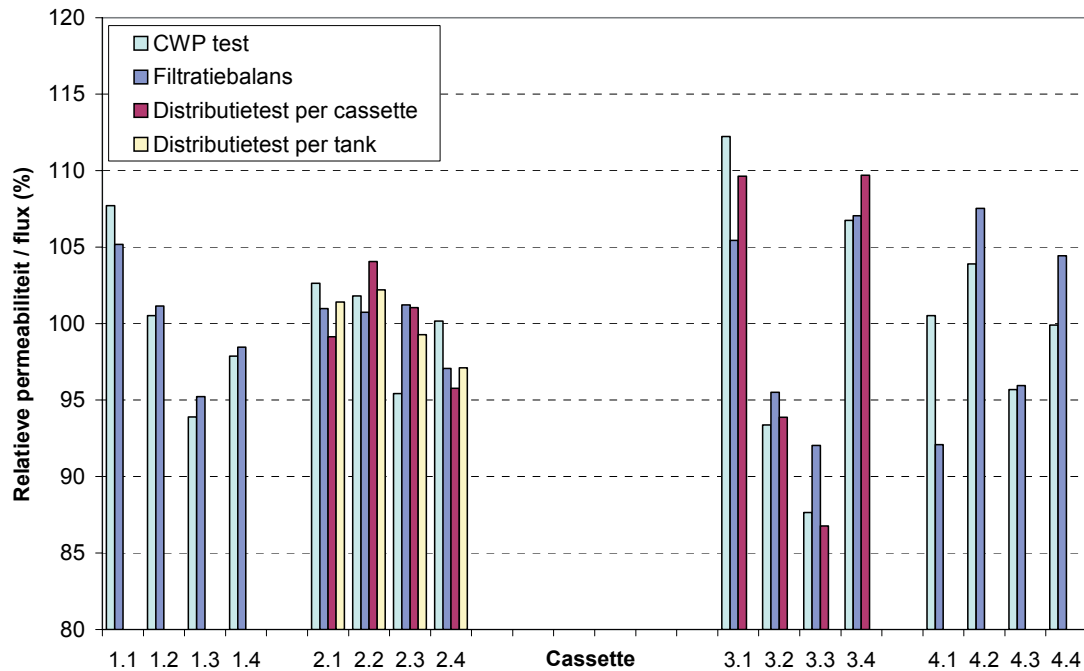
CHEMICALIËN-DISTRIBUTIE

Op de MBR Varsseveld wordt gebruik gemaakt van een maintenance cleaning waarbij permeaat met een chemicaliënoplossing wordt teruggepompt naar de membranen. Van groot belang voor een stabiele werking van de membranen is een gelijkmatige verdeling van de reinigingschemicaliën over alle membraanelementen. Als dit niet het geval is zal het ene element minder goed worden gereinigd dan het andere en zal een onbalans in de membraaninstallatie ontstaan. Om dit te onderzoeken zijn metingen uitgevoerd naar de chemicaliëndistributie tussen de cassettes binnen één straat en tussen de elementen binnen één cassette.

De hydraulische verdeling binnen een cassette laat zien dat in het midden van de cassette relatief meer chemicaliën worden teruggespoeld dan aan de zijkanalen. Deze verdeling is ongeveer gelijk voor alle cassettes, er zijn geen significante verschillen te zien tussen de eerste en de laatste cassette binnen een tank.

In Afbeelding 47 zijn de resultaten van de filtratiebalanstesten en de chemicaliëndistributiestesten (verdeling tussen de cassettes binnen één tank) uitgezet in één grafiek. Hieruit blijkt dat de hydraulische verdeling tijdens het terugspoelen sterk is gerelateerd aan de filtratiebalans. De verdeling van de chemicaliën tijdens terugspoeling lijkt met name te worden beïnvloed door de permeabiliteit van de betreffende cassettes.

AFBEELDING 47 VERDELING TUSSEN DE CASSETTES AAN DE HAND VAN DE VERSCHILLENDE MEETMETHODEN



HYDRAULISCHE VERDELING

Bij het ontwerp van de membraantank is gestreefd naar een zo gelijkmatig mogelijke verdeling van de slib aan- en afvoer, zodat er niet of nauwelijks concentratiegradiënten binnen een membraantank optreden. Gradiënten in bijvoorbeeld het gehalte drogestof kan de filtratieprestatie van de membranen negatief beïnvloeden. Hydraulica testen zijn uitgevoerd door de vloeistofverblijftijdspreading in de membraantank te meten. Als tracer component is hierbij het actiefslib gebruikt. Op basis van de resultaten van deze metingen kan worden vastgesteld dat de membraantanks kunnen worden beschouwd als een ideaal gemengde tank.

5.8.5 EOX-VORMING

De membranen worden periodiek gereinigd met natriumhypochloriet en citroenzuur. Door het milieu-onvriendelijke natriumhypochloriet zouden gechloreerde organische verbindingen kunnen ontstaan. In het kader van de deelstudie "Bijzondere stoffen" [ref.3] is dit onderzocht door het EOX-permeaatgehalte te meten. De metingen zijn uitgevoerd vlak vóór de reiniging en 10, 20 en 60 minuten na de reiniging. In Tabel 19 zijn de resultaten weergegeven.

TABEL 19 RESULTATEN VAN DE EOX-METINGEN (IN $\mu\text{g/L}$) IN HET PERMEAAT VLAK VOOR EN NA DE REINIGING VAN DE MEMBRANEN

Monstertijdstip	0 minuten	10 minuten	20 minuten	60 minuten
4 april 2006	<1	<1	<1	1
11 april 2006	<1	<1	<1	2

De EOX concentraties zijn laag, dat wil zeggen maximaal $2 \mu\text{g/l}$, hetgeen overeenkomt met de resultaten van eerdere metingen die door het waterschap zijn uitgevoerd. De resultaten komen echter niet overeen met eerdere metingen op de MBR pilot-installatie in Maasbommel [ref.9]. Hier werd direct na de chemische reiniging een gemiddelde EOX-concentratie van $11 \mu\text{g/l}$ in het permeaat gemeten. Deze verschillen zijn mogelijk een gevolg van de toegepaste reinigingsprocedure en een te korte monsternamperiode.

Op de MBR-pilot van Maasbommel werd de reiniging in medium uitgevoerd. Na de reiniging werd direct permeaat onttrokken uit dit met restchloor vervuilde medium, waardoor de relatief hoge en direct meetbare EOX-piek verklaard kan worden. Op de MBR Varsseveld wordt een chemische reinigingsprocedure uitgevoerd in lucht, dat wil zeggen in een membraantank gevuld met slechts een kleine hoeveelheid actiefslib (circa 10 m³). Na de eerste reinigingsstap met natriumhypochloriet wordt het grootste deel van het aanwezige actiefslib, inclusief de hierin opgevangen chemicaliën, naar de beluchtingstank gepompt. Vervolgens wordt wederom een zelfde hoeveelheid actiefslib in de membraantank toegelaten en wordt de tweede reinigingsstap met citroenzuur uitgevoerd. Nadat ook dit slib is weggepompt wordt de membraantank gevuld met actiefslib uit de beluchtingstank en in bedrijf genomen.

Het aanwezige restchloor wordt op deze wijze nagenoeg volledig teruggevoerd in de beluchtingstank waar het mogelijk wordt omgezet in gechloreerde verbindingen. Het feit dat deze niet zijn aangetoond kan een gevolg zijn van een te korte monsternamperiodes. Voordat de gevormde EOX het permeaat bereikt dient het via de voordennitrificatietank en het omloopsysteem naar de membraantanks te worden gevoerd. De gemiddelde hydraulische doorstroomtijd in de voordennitrificatietank en het omloopsysteem bedragen respectievelijk 20 en 60 minuten. Een eventuele EOX-piek is daarom te verwachten na 80 minuten.

Opvallend is dat uit de metingen in Tabel 19 blijkt dat na 60 minuten de hoogste EOX-concentratie in het permeaat zijn waargenomen. Hierbij dient te worden vermeld dat deze waarden niet hoger zijn dan metingen op dagen dat er geen chemische reiniging heeft plaatsgevonden.

Vooralsnog kan daarom worden geconcludeerd dat reiniging met hypochloriet niet tot verhoogde gehalten gechloreerde verbindingen in het permeaat van de MBR installatie leidt. Om hierover meer uitsluitsel te kunnen geven zijn aanvullende metingen gewenst over een langere tijd.

6

KOSTENVERGELIJKING

6.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk zijn de kosten van de MBR Varsseveld en van een conventionele rwzi met nageschakelde zandfiltratie met elkaar vergeleken. De stichtingskosten zijn weergegeven in §6.2. Als basis zijn hierbij de werkelijke kosten van de MBR Varsseveld gehanteerd. De exploitatiekosten van beide opties zijn berekend in §6.3. Een overzicht van de stichtings- en exploitatiekosten is weergegeven in §6.4.

6.2 STICHTINGSKOSTEN

De berekening van de stichtingskosten van de MBR Varsseveld zijn gebaseerd op de werkelijke kosten. Voor de bepaling van de stichtingskosten van de referentievariant is gebruik gemaakt van de haalbaarheidsstudie voor de MBR Varsseveld en de kostenvergelijking welke ten behoeve van het onderzoek op de MBR Maasbommel is opgesteld [ref. 9].

In 2000 is in een haalbaarheidsstudie de afweging gemaakt tussen conventionele uitbreiding van de bestaande rwzi Varsseveld, inclusief de toepassing van zandfiltratie, en de bouw van een MBR. Op basis van deze kostenvergelijking is toen gekozen voor MBR, ondanks dat deze optie enigszins (circa 5%) duurder was. Bij de raming van de conventionele uitbreiding was uitgegaan van het gedeeltelijk hergebruiken van bestaande onderdelen. Indien dit niet het geval zou zijn geweest zouden de kosten van MBR en conventionele uitbreiding nagenoeg gelijk zijn geweest.

In het STOWA-rapport over de MBR Maasbommel zijn de vergelijkende investeringskosten voor een MBR en een conventioneel actiefslibstelsysteem met zandfiltratie vastgesteld. Hierbij is uitgegaan van groene weide varianten bij twee verschillende belastingssituaties (10.000 en 50.000 i.e.). Bij de 10.000 i.e. vergelijking was de MBR installatie ca. 9% goedkoper dan de referentievariant. Bij de 50.000 i.e. vergelijking was de MBR 1% duurder.

Op basis van deze beide studies kan worden geconcludeerd dat voor een installatie van 10.000-50.000 i.e. de kosten voor de MBR en de referentievariant nagenoeg gelijk zijn.

Dit is als uitgangspunt gehanteerd in de kostenvergelijking. De opdeling van de bouwkosten in de verschillende onderdelen (civiel, werktuigbouw, elektrisch, membranen) varieert echter wel. Deze is gebaseerd op de verdeling zoals vastgesteld in beide bovengenoemde studies. De resultaten van de kostenvergelijking tussen MBR en de referentievariant is weergegeven in Tabel 20. De staartkosten zijn gebaseerd op de werkelijke staartkosten voor de bouw van de MBR Varsseveld.

TABEL 20 DE STICHTINGSKOSTEN VAN DE MBR VARSSEVELD EN DE CONVENTIONELE UITBREIDING

Kostenpost		Eenheid	MBR Varsseveld	Referentievariant
Bouwkosten	Civiel	€	2.850.000	5.250.000
	Werktuigbouw	€	1.710.000	1.570.000
	Elektrotechniek / M&R	€	1.280.000	1.440.000
	Membraansysteem ¹⁾	€	2.430.000	-
	Totaal	€	8.260.000	8.260.000
Staartkosten ²⁾		€	2.940.000	2.940.000
Stichtingskosten		€	11.200.000	11.200.000

1) Incl. permeaatpompen, blowers, leidingwerk e.d.

2) Opgebouwd uit personeelskosten, advieskosten, bouwtoezicht en BTW

6.3 EXPLOITATIEKOSTEN

6.3.1 INLEIDING

De raming van de exploitatiekosten is gebaseerd op de werkelijke kosten van de MBR Varsseveld. In de kostenraming is meegenomen het verbruik van hulpmiddelen (energie, chemicaliën), de kosten voor slibafzet en de kosten voor de bemensing van de installatie. Daarnaast zijn ook de kapitaalslasten in de vergelijking meegenomen, uitgaande van annuïtaire afschrijving. De in de kostenraming gehanteerde uitgangspunten zijn weergegeven in Tabel 21.

TABEL 21 UITGANGSPUNTEN EXPLOITATIEKOSTEN

Omschrijving		Eenheid	Waarde
Rente		%	4,5
Afschrijvingstermijn	Civiel	jaar	30
	Werktuigbouw / Elektrisch	jaar	15
	Membranen	jaar	8
Onderhoud	Civiel	%	0,5
	Werktuigbouw / Elektrisch	%	2,0
Energie		€ / kWh	0,075 ^{1,2)}
IJzerchloridesulfaat		€ / ton produkt	114 ¹⁾
Slibafzet (incl. transport)		€ / ton DS	550 ¹⁾
Personeel		€ / FTE	40.000

1) Exclusief BTW

2) Inclusief REB, vastrecht en variabele kosten

6.3.2 ENERGIEVERBRUIK

Het energieverbruik van de MBR Varsseveld bedroeg in 2005 gemiddeld 1,0 kWh/m³. Ten gevolge van verschillende optimalisaties is dit in de laatste maanden van 2005 en de eerste maanden van 2006 reeds teruggebracht tot 0,88 kWh/m³. De verwachting is dat op basis van verdere optimalisaties het energieverbruik verder kan dalen tot 0,75 kWh/m³ (zie §5.7). In de vergelijking is vooralsnog echter uitgegaan van het werkelijk gerealiseerde energieverbruik van 0,88 kWh/m³. Het energieverbruik van de referentievariant is afgeleid van het energieverbruik van vergelijkbare systemen (rwzi's Ruurlo en Wehl van het waterschap Rijn en IJssel, onderzoek Maasbommel [ref.9]) en bedraagt 0,65 kWh/m³.

De kostenvergelijking voor het energieverbruik is samengevat weergegeven in Tabel 22. Uitgangspunt hierbij is het gemiddelde influentdebiet over de periode van één jaar van maart 2005 tot maart 2006, dat 4.320 m³/dag bedroeg.

TABEL 22 KOSTEN VOOR ENERGIE

Optie	Energieverbruik		Specifieke kosten € / kWh	Kosten € / jaar
	KWh/m ³	MWh / jaar		
MBR	0,88	1.388	0.075	104.000
Conventioneel met zandfilters	0,65	1.025	0.075	77.000

6.3.3 CHEMICALIËNVERBRUIK

Ten behoeve van de fosfaatverwijdering wordt ijzerchloridesulfaat gedoseerd. Indien een fosfaatpermeaatgehalte van 0,15 mg P_{totaal}/l dient te worden gerealiseerd is een ijzerdosering van circa 1,2 mol Fe/mol P_{inluent} benodigd (zie Afbeelding 21). Dit komt overeen met een dosering van circa 540 l/dag. Van november t/m maart voldoet echter een permeaatconcentratie van 1,0 mg P_{totaal}/l. Dit komt overeen met circa 0,6 mol Fe/mol P_{inluent}, oftewel 270 l/dag. Het ijzerzoutverbruik over het hele jaar is daarmee 156 m³. Uitgangspunt is dat voor de referentievariant dezelfde hoeveelheid ijzerzout is benodigd.

De kosten voor ijzerchloridesulfaatdosering zijn voor beide opties weergegeven in Tabel 23.

TABEL 23 KOSTEN VOOR IJZERDOSERING

Optie	FeClSO ₄ -dosering		Specifieke kosten € / ton produkt	Kosten € / jaar
	m ³ /jaar	ton produkt / jaar ¹⁾		
MBR	156	231	114	26.000
Conventioneel met zandfilters	156	231	114	26.000

1) Dichtheid is 1.500 kg/m³, 41%-ige oplossing

Voor de membraanreiniging van de MBR zijn chemicaliën benodigd. Op de MBR Varsseveld worden hiertoe natriumhypochloriet en citroenzuur toegepast. De jaarlijkse kosten hiervoor bedragen € 10.000,-, zoals is weergegeven in §4.2.4. van de deelstudie “Membranen” [ref.3]. Voor de referentievariant zijn geen aanvullende chemicaliën benodigd.

6.3.4 SLIBVERWERKING

De slibproductie van de MBR Varsseveld en van een vergelijkbaar conventioneel systeem zijn berekend in Tabel 14. Bij de slibafvoer van de MBR is de afvoer van zeefgoed inbegrepen.

De kosten voor de slibafzet zijn weergegeven in Tabel 24.

TABEL 24 KOSTEN VOOR DE SLIBAFZET

Optie	Slibafzet		Specifieke kosten € / ton DS	Kosten € / jaar
	kg DS/dag	ton DS/ jaar		
MBR	1.360	496	550	273.000
Conventioneel met zandfilters	1.400	511	550	281.000

6.3.5 PERSONEELSINZET

Het Waterschap Rijn en IJssel heeft een schatting gemaakt van de personeelsinzet op de MBR Varsseveld in het eerste kwartaal van 2006. Deze is vergeleken met de personeelsinzet op een conventionele rwzi met zandfiltratie (Ruurlo) van gelijke omvang. De extra personeelsinzet op de MBR Varsseveld is naar schatting maximaal 50%.

De resultaten van deze vergelijking zijn weergegeven in Tabel 25.

TABEL 25 KOSTEN VOOR PERSONEEL

Optie	Personeel	Specifieke kosten	Kosten
	FTE	€ / FTE	€ / jaar
MBR	0,9	40.000	36.000
Conventioneel met zandfilters	0,6	40.000	24.000

6.4 OVERZICHT

De stichtingskosten en de exploitatiekosten voor de MBR Varsseveld en de referentievariant zijn samengevat weergegeven in Tabel 26.

TABEL 26 OVERZICHT STICHTINGSKOSTEN EN EXPLOITATIEKOSTEN

Kostenpost	Eenheid	MBR Varsseveld	Referentievariant	Vershil	
Stichtingskosten	€	11.200.000	11.200.000	-	
Exploitatiekosten	Totaal (1 + 2, afgerond)	€ / jaar	1.640.000	1.400.000	+ 240.000
Bedrijfsvoering	Totaal (1)	€ / jaar	658.000	590.000	+ 68.000
	Energie	€ / jaar	104.000	77.000	+ 27.000
	IJzerchloridesulfaat	€ / jaar	26.000	26.000	-
	Chemicaliën membranen	€ / jaar	10.000	-	+ 10.000
	Slibafzet	€ / jaar	273.000	281.000	- 8.000
	Personeel	€ / jaar	36.000	24.000	+ 12.000
	Onderhoud	€ / jaar	110.000	92.000	+ 18.000
	BTW	€ / jaar	99.000	90.000	+ 9.000
Kapitaalslasten	Totaal (2)	€ / jaar	984.000	811.000	+ 173.000
	Afschrijving installaties	€ / jaar	801.000	811.000	- 10.000
	Afschrijving membranen	€ / jaar	183.000	-	+ 183.000

De exploitatiekosten van de MBR Varsseveld bedragen 1.640.000 €/jaar. Hiervan komt 60% voor rekening van de afschrijving van de installatie en de membranen. Van de overige 40% bedrijfsvoeringskosten komt 40% voor rekening van de slibafzet. De kosten voor de chemische membraanreiniging bedragen 1,5% van de totale bedrijfsvoeringskosten.

In Tabel 27 zijn de specifieke exploitatiekosten weergegeven, uitgedrukt per i.e. (à 136 g TZV) en per m³ behandeld afvalwater.

TABEL 27 SPECIFIEKE EXPLOITATIEKOSTEN

Kostenpost	Eenheid	MBR Varsseveld	Referentievariant
Exploitatiekosten	€ /m ³	1,07	0,92
	€ /(i.e.jaar)	64	54

7

EVALUATIE

7.1 INLEIDING

In dit rapport zijn het ontwerp en de resultaten en ervaringen van de eerste 16 maanden bedrijfsvoering van de MBR Varsseveld gepresenteerd, alsmede de resultaten van het onderzoeksprogramma. In dit laatste hoofdstuk is het ontwerp en de werking van de MBR Varsseveld geëvalueerd, aan de hand van de doelstellingen zoals geformuleerd in §1.2. De doelstellingen komen aan bod in de volgende paragrafen:

- Vaststellen van de technologische resultaten en optimaliseren van de procesvoering (§7.2);
- Aantonen van een stabiele bedrijfsvoering (§7.3);
- Evalueren van het ontwerp en onderzoeken van de noodzaak van redundantie (§7.4);
- Vergelijken van de kosten van de MBR versus een conventionele rwzi (§7.5);
- Aantonen van de technische haalbaarheid van de opschaling (§7.6).

7.2 RESULTATEN

De biologische resultaten van de MBR Varsseveld zijn goed. De relatief strenge streefwaarde voor de stikstofverwijdering ($5 \text{ mg N}_{\text{totaal}}/\text{l}$) is ruimschoots gehaald. Dit wordt mede veroorzaakt door de relatief lage stikstofbelasting en de relatief hoge CZV/N-verhouding van het afvalwater. De streefwaarde voor de fosfaatverwijdering ($0,15 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) is het grootste deel van de tijd niet gehaald omdat dit niet het doel was van de procesvoering. De fosfaatverwijdering is geoptimaliseerd door het stap voor stap verhogen van de ijzerzoutdosering. Uiteindelijk heeft dit geleid tot een periode van bijna 1½ maand waarin de fosfaateis wordt bereikt bij een dosering van circa $1,2 \text{ mol Fe/mol P}_{\text{influent}}$. Ondanks de afwezigheid van een anaërobe tank speelt biologische fosfaatverwijdering een belangrijke rol. Het benodigde chemicaliënverbruik is hierdoor, ondanks de relatief hoge influentfosfaatconcentratie, relatief laag.

De permeaatresultaten tonen aan dat het behalen van de MTR-norm voor fosfaat ($0,15 \text{ mg P}_{\text{totaal}}/\text{l}$) op de rwzi Varsseveld niet mogelijk is zonder chemicaliëndosering. De ijzerzoutdosering heeft tot gevolg dat het gehalte aan opgelost organisch gebonden fosfaat wordt verlaagd van circa $0,5$ naar $0,03 \text{ mg P/l}$. De invloed van het organisch-fosfaatgehalte op de haalbaarheid van de effluenteis zal per lokatie verschillen, en hangt met name af van de influentsamenstelling en de slibbelasting. Een relatief geringe dosering van ijzerzouten kan leiden tot een aanzienlijke verlaging van het organisch-fosfaatgehalte en kan daarmee het behalen van de permeateis vereenvoudigen.

De membraaninstallatie heeft altijd goed gefunctioneerd, met uitzondering van de eerste paar maanden toen de lozing van een industrieel polymeer de bedrijfsvoering van de installatie verstoorde. Nadat de werking van de membranen was hersteld, door het intensief reinigen van de membranen en het afsluiten van de lozing, heeft de installatie onder alle omstandigheden de aanvoer goed kunnen verwerken. Onder relatief gunstige omstandigheden

(hoge procestemperatuur) zijn de garantietesten voor de membranen succesvol uitgevoerd. Het energieverbruik van de membraanfiltratie-installatie bedraagt circa 60% van het totale energieverbruik. Er is daarom veel aandacht besteed aan het verlagen van het energieverbruik. Hierdoor is het energieverbruik gedaald van 1,0 kWh/m³ (of 59 kWh/(i.e.jaar), uitgaande van i.e.'s van 136 g TZV) in 2005 naar 0,88 kWh/m³ (of 52 kWh/(i.e.jaar)) in de periode van juni 2005 tot maart 2006. Het gemiddelde energieverbruik van een vergelijkbare conventionele rwzi met effluentfiltratie bedraagt circa 0,65 kWh/m³ (of 38 kWh/(i.e.jaar)) (zie §6.3.2). Het energieverbruik van de MBR Varsseveld is hiermee 35% hoger dan van een conventioneel actiefslibstelsysteem met zandfiltratie. De verwachting is dat, na enkele aanpassingen aan de besturingsinstallatie, het energieverbruik verder kan dalen tot circa 0,75 kWh/m³ (of 44 kWh/(i.e.jaar)). Na deze optimalisatie zal het energieverbruik van de MBR Varsseveld nog circa 15% hoger zijn dan van een conventioneel actiefslibstelsysteem met zandfiltratie.

7.3 BEDRIJFSVOERING

De bedrijfsvoering van een MBR wijkt op een aantal punten sterk af van die van een conventionele rwzi. Dit betreft allereerst natuurlijk de membraanfiltratie-installatie. Deze zorgt niet alleen voor een geheel nieuw type procesvoering, maar ook voor een aantal nieuwe procesonderdelen. De verwachting dat met name deze nieuwe onderdelen tot problemen zouden kunnen leiden is niet uitgekomen.

De membranen hebben het grootste deel van de tijd zowel technisch als technologisch uitstekend gefunctioneerd. De technische problemen die zijn opgetreden met lekkages zijn te wijten aan de opschaling van de MBR-technologie naar praktijktoepassingen en zijn door de leverancier op de juiste wijze aangepakt en verholpen. De macro-vervuiling welke is opgetreden is waarschijnlijk een gevolg van de te lage beluchtingscapaciteit tijdens paraatmode en de sub-optimale wijze van beluchten (sequentieel in plaats van air-cycling), in combinatie met een probleem met de voorbehandeling. De verwachting is dat deze problemen na enkele technische aanpassingen en verdere optimalisaties van de procesinstellingen kunnen worden verholpen.

De ervaringen met het industrieel polymeer zijn een belangrijke les voor het ontwerp van toekomstige MBR installaties. Influentcomponenten die in conventionele installaties nooit tot problemen hebben geleid, kunnen dit wel doen op een MBR installatie. Componenten die niet via de membranen kunnen worden afgevoerd accumuleren in het systeem en kunnen voor onverwachte problemen zorgen. In Varsseveld was een industrieel polymeer, dat door de lokale kaasfabriek werd gebruikt als kaasafdekmiddel, de veroorzaker van grote problemen op de membranen. Ditzelfde middel wordt echter ook in ander levensmiddelenbedrijven en sectoren toegepast. Een kritische analyse van het afvalwater en van de industriële lozers in het gebied wordt aanbevolen alvorens wordt besloten tot de realisatie van een MBR. Hierbij dient met name te worden gelet op polymeren, oliën en vetten, inerte eroderende deeltjes (b.v. fijn zand), oplosmiddelen (ook schadelijk voor de biologie) en scaling componenten (calcium, magnesium). De ervaring in Varsseveld heeft geleerd dat zelfs het uitvoeren van een pilot-onderzoek niet automatisch leidt tot het signaleren van dergelijke probleemstoffen.

Een betrouwbare voorbehandeling is essentieel voor een betrouwbare membraanwerking. De voorbehandeling, en dan met name de microzeven, is het onderdeel dat op de MBR Varsseveld de meeste aandacht heeft gevraagd. Ondanks het standaard toepassen van de volledige 100% redundantie, zijn de problemen met het dichtslaan van de microzeven (nog) niet volledig verholpen.

Het falen van de voorbehandeling kan een succesvolle ontwikkeling van de MBR-technologie in de weg staan. Op het gebied van voorbehandeling is een verdere ontwikkeling derhalve noodzakelijk. Hierbij dienen de ervaringen van gebruikers en leveranciers te worden gebundeld.

7.4 ONTWERP

De voorbehandeling blijkt het meest storingsgevoelige onderdeel van de installatie te zijn. Met name de microzeven kunnen de aanvoer regelmatig niet verwerken. Deze gevoeligheid geeft aan dat 100% redundantie van de microzeven, zoals toegepast op de MBR Varsseveld, is aan te bevelen. De fijnroosters hebben altijd storingsvrij gefunctioneerd. De redundantie van deze processtap is op basis van de eerste 16 maanden bedrijfsvoering niet essentieel gebleken. Gezien het belang van de fijnroosters voor een stabiele werking van de microzeven wordt 50% redundantie van de fijnroosters aanbevolen. Overwogen kan worden om te kiezen voor een fijnere maaswijdte (bijvoorbeeld 3 mm in plaats van 6 mm), waardoor de belasting van de microzeven wordt gereduceerd.

Op basis van de resultaten van de aanvullende metingen kan worden waargenomen dat in de zand/vetvang er geen vet wordt verwijderd. Het vet wordt wel voor een groot deel in de fijnroosters en de microzeven uit het afvalwater gefilterd. Hoewel in de praktijk wel vet in de vetput wordt waargenomen, lijkt op basis van deze aanvullende metingen een vetvang niet essentieel te zijn voor een goede werking van de MBR. De noodzaak van een separate vetvang dient nader te worden onderzocht. Een separate zandverwijdering is wel aan te bevelen om schade aan de procesonderdelen en de membranen tegen te gaan. Redundantie is hierbij niet noodzakelijk.

De biologie van de MBR Varsseveld bestaat uit een omloopsysteem met bellenbeluchting en een voordennitrificatietank. De keuze voor een dergelijk systeem was ingegeven door de relatief strenge effluent-stikstofeis van 5 mg $N_{\text{ totaal }}/l$. Om dergelijk lage stikstofgehalten te kunnen bereiken is voldoende recirculatie en frequente afwisseling van oxische en anoxische zones van belang. Mede als gevolg van deze voor stikstofverwijdering optimale systeemconfiguratie zijn de resultaten van de stikstofverwijdering zeer goed.

Op basis van de metingen aan de zuurstofinbreng en de hydraulica van het omloopsysteem kan echter worden geconcludeerd dat een omloopsysteem niet optimaal is voor een dergelijke toepassing. Doordat een relatief grote hoeveelheid lucht in een klein volume moet worden ingebracht, is de beschikbare ruimte voor de beluchtingselementen en voortstuwers gering. Dit heeft geleid tot een sub-optimaal ontwerp waarbij de benodigde ruimte tussen beluchting en voortstuwers enerzijds en beluchting/voortstuwers en de bochten in het omloopsysteem anderzijds, minder groot is dan normaal wordt toegepast. Het gevolg hiervan is dat het omloopsysteem hydraulisch niet optimaal functioneert, waardoor te lage stroomsnelheden worden bereikt en de zuurstofinbrengcapaciteit lager is dan gewenst. Daarnaast is de ontwerpgrondslag voor de toegepaste plaatbeluchting te optimistisch gebleken. Deze factoren hebben geleid tot een zuurstofinbrengcapaciteit die 30% lager is dan volgens het ontwerp gerealiseerd zou moeten zijn.

Op basis van de zuurstofbalans kan worden geconcludeerd dat de membraanbeluchting op de MBR Varsseveld verantwoordelijk is voor 20-25% van de zuurstofinbreng. Hoewel in de membraantanks ruim 3 maal zoveel lucht wordt ingebracht als in het omloopsysteem is het aandeel hiervan in de zuurstofinbreng een factor 3 lager.

In het ontwerp van de MBR Varsseveld is als ontwerpveiligheid het rendement van de voorbehandeling voor alle componenten op 0% gesteld. Aanbevolen wordt om bij het ontwerp van een MBR met fijnroosters en microzeven uit te gaan van de volgende ontwerpuitgangspunten (afhankelijk van het type microzeef en de maaswijdte):

- CZV / BZV / SS-verwijdering : 20 – 30%;
- $N_{kj} / P_{\text{totaal}}$ -verwijdering : 5 – 10%.

De MBR lijkt gevoeliger voor drijfslaagvorming dan conventionele actiefslibsystemen. In het ontwerp dient hiermee rekening te worden gehouden. Hiertoe worden de volgende maatregelen aanbevolen:

- Een drijfslaagafvoervoorziening in de beluchtingstank;
- Extra waakhoogte in de beluchtingstank;
- Een drijfslaagsproeiinstallatie;
- Ondergedompelde on-line analysers (niet drijvend);
- De aanvoer naar de membraantanks dient plaats te vinden vanaf een aantal meter onder het oppervlak.

Op basis van de garantietesten kan worden geconcludeerd dat de membraanfiltratie-installatie aan de ontwerpisen heeft voldaan. Dit betreft een ontwerpflux van 37,5 l/(m².h) gedurende 3 dagen gevolgd door een maximum flux van 50 l/(m².h) gedurende 8 uur. De garantietesten zijn echter uitgevoerd in de zomer bij een gunstige procestemperatuur. In de winter blijkt tijdens piekaanvoeren de permeabiliteit sneller te dalen dan verwacht. Het is op basis van de beschikbare gegevens niet mogelijk te voorspellen of de garantietest ook in de winter met succes zou zijn afgerond. Vooralsnog is het niet aan te bevelen om bij het ontwerp van een volgende MBR met dit type membranen (Zenon ZW500d) een ontwerpflux te hanteren die hoger is dan die van de MBR Varsseveld. Uiteraard hangt de ontwerpflux nauw samen met de duur van de maximale piekaanvoer.

De beluchting van de membraantanks is essentieel voor een goede en stabiele werking van de installatie. Het toepassen van air-cycling zorgde voor technische problemen waardoor in Varsseveld is overgeschakeld op sequentiële beluchting. De effectiviteit van air-cycling is naar verwachting hoger waardoor met dezelfde hoeveelheid lucht mogelijk schonere membranen worden verkregen. De verwachting is dat door toepassing van air-cycling ook het optreden van macro-fouling kan worden verminderd, met name de slibophoping aan de onderzijde van de membranen. De toepassing van air-cycling zal op de MBR Varsseveld in 2006 verder worden onderzocht.

De opschaling van de membraantanks naar eenheden die maximaal 250 m³/h kunnen verwerken is naar tevredenheid verlopen. De symmetrie van het systeem is aangetoond en de werking van de membranen is uitstekend. De keuze van het aantal membraantanks in Varsseveld is gebaseerd op operationele en technische gronden. Vanuit operationeel oogpunt is het wenselijk om te allen tijde de maximale aanvoer te kunnen verwerken, ook indien er technische storingen zijn aan één van de membraantanks. Bij een installatie met 4 membraantanks dienen de 3 overige tanks dan 4/3 maal de ontwerpflux te kunnen verwerken. Deze tijdelijke fluxverhoging van 33% is realiseerbaar voor membranen die goed zijn onderhouden. Daarnaast was ten tijde van het ontwerp (2001-2002) de maximaal beschikbare capaciteit van de in richting omkeerbare permeaatpompen circa 300 m³/h. Inmiddels zijn op de markt grotere capaciteiten beschikbaar en kunnen ook grotere membraantanks met

dergelijke permeaatpompen worden gerealiseerd. Een verdere optimalisatie voor toekomstige ontwerpen betreft het compacter bouwen van de membraantank waardoor de effectiviteit van de beluchting wordt vergroot.

7.5 KOSTEN

De stichtingskosten voor de MBR Varsseveld zijn ongeveer gelijk aan die van een conventionele uitbreiding met zandfiltratie. De exploitatiekosten (bedrijfsvoeringskosten en kapitaalslasten) van de MBR Varsseveld zijn circa 17% hoger dan die van de referentievariant.

Op basis van deze kostenvergelijking kan worden geconcludeerd dat het kostenverschil tussen de MBR en de conventionele rwzi met zandfiltratie relatief gering is. Toekomstige ontwikkelingen (lager energieverbruik, lagere membraanprijzen) zullen er mogelijk toe leiden dat de exploitatiekosten van beide varianten op een gelijk niveau komen.

7.6 TECHNISCHE HAALBAARHEID

Op basis van de resultaten en ervaringen van de eerste 16 maanden bedrijfsvoering op de MBR Varsseveld kan worden geconcludeerd dat de MBR-technologie toepasbaar is voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater in Nederland. De resultaten van de installatie zijn over het algemeen zeer goed geweest. De streefwaarden voor de permeaatkwaliteit zijn bereikt en de membranen functioneren (op enkele technische problemen na) uitstekend. De stichtingskosten van de MBR zijn inmiddels gelijkwaardig aan die van een conventionele installatie met zandfiltratie en ook op het gebied van energieverbruik zijn de verschillen niet groot meer. Om de MBR-technologie echter geschikt te maken voor toekomstige grootschaligere toepassingen is het van belang om de kritische knelpunten op te lossen en de belangrijkste kennisleemten op te vullen.

De twee belangrijkste kritische factoren die het succes van de MBR in de weg kunnen staan zijn de voorbehandeling en de influentsamenstelling. De problemen met de microzeven op de MBR Varsseveld dienen te worden opgelost om van een stabiele bedrijfsvoering te kunnen spreken. De verdere ontwikkeling van een nieuwe generatie microzeven moet leiden tot robuuste en betrouwbare machines. Daarnaast dient er meer inzicht te worden verkregen in de gevoeligheid van de membranen voor de in het afvalwater aanwezige componenten. Bij het ontwerp van een nieuwe installatie dient van te voren te worden vastgesteld of in het afvalwater componenten aanwezig zijn die de werking van de membranen kunnen hinderen. De ervaringen op toekomstige installaties in Heenvliet, Ootmarsum en Hilversum dienen over beide kritische aspecten meer inzicht te verschaffen.

Tenslotte is het van belang dat ook op fundamenteel wetenschappelijk terrein verder onderzoek plaatsvindt. Het vergroten van de kennis zal leiden tot meer inzicht in de processen, betere ontwerpen en daarmee beter functionerende MBR-installaties. De belangrijkste aspecten waar verder onderzoek naar dient te worden uitgevoerd zijn:

- Het effect van de procestemperatuur op permeabiliteit (met name bij temperaturen lager dan 10°C);
- Het effect van de slibkwaliteit op de filtreerbaarheid, als vervolg op de deelstudie "Slibkwaliteit" [ref.3]. Uiteindelijk dient dit te leiden tot ontwerpgrondslagen voor een voor de membranen optimale biologie.

8

REFERENTIES

- [1] STOWA 2002-11A
MBR for municipal wastewater treatment – Pilot plant research Beverwijk WWTP
- [2] STOWA 2002-11B
MBR for municipal wastewater treatment – Pilot plant research Beverwijk WWTP Side-studies
- [3] STOWA 2006-06
Onderzoek MBR Varsseveld - deelstudierapport
- [4] STOWA 2005-32
Verkennde monitoring van hormoonverstorende stoffen en pathogenen op RWZI's met aanvullende zuiveringstechnieken
- [5] Seyfried, C.F., Schüssler, H., Lohse, M., en G. Bebendorf.
Vergleich der Reinigungsleistungen von Rechen, Sieben und Siebrechen sowie der Einfluss auf die weiteren Reinigungsstufen
Veröffentlichungen des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik der Universität Hannover, Vol. 58, 1985
- [6] STOWA 2001-15
Handboek biologische fosfaatverwijdering
- [7] STOWA 2006-16
MBR proefinstallatie rwzi Hilversum
- [8] Cornel P., Wagner M., Krause S., 2002
Investigation of oxygen transfer rates in full scale membrane bioreactors
Darmstadt University of Technology, Institute WAR, No. e21291a
- [9] STOWA 2004-28
Vergelijkend onderzoek MBR en zandfiltratie rwzi Maasbommel

BIJLAGE 1

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Symbol	Eenheid	Omschrijving
Air-Cycling			Alternerende beluchting tussen de cassettes
Alfa-factor / α -factor	α	[-]	De verhouding tussen de zuurstofoverdracht in het actiefslib en in schoonwater
Back-pulse			Periodieke omkering van de permeaatstroom door het membraan met als doel de verwijdering van vervuiling van het membraanoppervlak en poriën
Flux	F	$l/(m^2 \cdot h)$	De hoeveelheid permeaat die per tijdseenheid door een membraanoppervlak wordt geleid.
Flux - Bruto	F_{bruto}	$l/(m^2 \cdot h)$	De actuele flux tijdens permeaatonttrekking
Flux - Maximum		$l/(m^2 \cdot h)$	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer 1 membraantank buiten bedrijf is (= 50 $l/(m^2 \cdot h)$)
Flux - Minimum		$l/(m^2 \cdot h)$	De netto flux bij de minimale capaciteit van de permeaatpomp ($\approx 10 l/(m^2 \cdot h)$)
Flux - Netto	F_{netto}	$l/(m^2 \cdot h)$	De gemiddelde permeaatonttrekking over een langere periode, waarbij het productieverlies ten gevolge van de back-pulse wordt verdisconteerd
Flux - Ontwerp		$l/(m^2 \cdot h)$	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer alle membraantanks in bedrijf zijn (= 37,5 $l/(m^2 \cdot h)$)
Flux - Optimum		$l/(m^2 \cdot h)$	De netto flux waarbij de membranen optimaal functioneren ($\approx 20 l/(m^2 \cdot h)$)
Hydrofoob			Waterafstotend. Tegenovergestelde van hydrofiel
Intensive Cleaning (of intensieve reiniging)	IC		Reinigingsmethode waarbij de gehele membraantank met reinigungsoplossing wordt gevuld met als doel om het membraan op de oorspronkelijke permeabiliteit terug te brengen
Macro-vervuiling			Vervuiling van het membraan door grove delen uit het afvalwater (b.v. haren, vezels), het actiefslib (b.v. anaërobe slibbrokjes) of de omgeving (b.v. ingevallen bladeren)
Maintenance Cleaning (of onderhoudsreiniging)	MC		Een reinigungsprocedure, bestaande uit een oxidatieve en een zure reiniging, waarbij een chemicaliën-oplossing met een lage concentratie via de membranen wordt teruggespoeld in een (gedeeltelijk) lege membraantank. Deze reiniging heeft een preventief karakter
Membraan			Een filter met kleine poriën, dat onder andere wordt toegepast om actiefslib en gezuiverd effluent van elkaar te scheiden

Begrip	Symbool	Eenheid	Omschrijving
Membraanbioreactor	MBR		Gesuspendeerd actiefslibstelsysteem waarbij de scheiding van actiefslib en het gezuiverde effluent plaatsvindt met behulp van membranen in plaats van door nabezinktanks
Membraancassette			Eenheid bestaande uit meerdere membraanelementen. In Varsseveld bestaat elke cassette uit 40 elementen. Het membraanoppervlak van een cassette is 1.260 m ²
Membraanelement			Kleinste membraaneenheid bestaande uit membranen en een permeaatverzamelheader. In Varsseveld heeft elk element een membraanoppervlak van 31,5 m ²
Membraantank			Ruimte waarin de membraancassettes zich bevinden. In Varsseveld zijn 4 membraantanks met elk 4 membraancassettes. Per membraantank is een membraanoppervlak van 5.040 m ² geïnstalleerd
Maximaal Toelaatbaar Risco	MTR		Een in de vierde nota waterhuishouding gedefinieerde minimum oppervlakte-waterkwaliteit. Voor stikstof en fosfaat is de MTR-norm gesteld op respectievelijk 2,2 mg N _{totaal} /l en 0,15 mg P _{totaal} /l
Paraatmode			Procesinstelling waarbij geen permeaatonttrekking plaats vindt. De beluchting (discontinu) en de recirculatiepomp zijn wel in bedrijf.
Permeaat			Benaming voor het product dat door een membraan stroomt en wordt afgevoerd: Het effluent van een membraaninstallatie.
Permeaatcyclus			Cyclus waarin achtereenvolgens permeaatonttrekking en permeaat-terugspoeling (back-pulse) plaatsvindt.
Permeabiliteit (bij de actuele temperatuur)	P (XX°C)	[l/(m ² .h.bar)]	De actuele bruto flux gedeeld door de transmembraandruk (TMD) over het membraan. $Perm = F_{bruto} / TMD$ De permeabiliteit van een membraan is een maat van de weerstand, die het membraan biedt aan het water dat door het membraanoppervlak stroomt onder invloed van de drijvende kracht (TMD), die op het water wordt uitgeoefend.
Permeabiliteit (gecorrigeerd)	P (15°C)	[l/(m ² .h.bar)]	De gestandaardiseerde permeabiliteit, uitgedrukt bij een temperatuur van 15°C. Het betreft een correctie voor de toename van de viscositeit bij lagere temperaturen.
Proces mode			Procesinstelling waarbij de permeaatonttrekking, de beluchting en de recirculatiepompen in bedrijf zijn.
Sequentiële beluchting			Alternierende beluchting binnen een cassette
Semi-Intensive Maintenance Cleaning	SIMC		Een MC cleaning met een additionele oxidatieve reiniging (NaOCl)

Begrip	Symbol	Eenheid	Omschrijving
Simulatie-unit			Pilot-installatie
Slibbelasting		[g CZV/(g DS.d)]	De hoeveelheid verontreiniging die aan het actiefslib per eenheid van massa en tijd wordt toegevoerd.
Slibleeftijd		[d]	De hoeveelheid slib gedeeld door de hoeveelheid verwijderd slib door spui of effluent. Het betreft de tijd die slib ter beschikking heeft om zich volledig te vervangen.
Transmembraandruk	TMD	[mbar of kPa]	De drukval over het membraan, tussen de actiefslibzijde en de permeatzijde. Het is de drijvende kracht waardoor de filtratie door de membranen plaatsvindt. (10 mbar = 1 kPa)

