

ONTWERP- EN BEHEERSASPECTEN VAN EEN **MBR** VOOR DE BEHANDELING VAN HUISHOUELIJK AFVALWATER



RAPPORT

2008
08

ONTWERP- EN BEHEERSASPECTEN VAN EEN MBR
VOOR DE BEHANDELING VAN HUISHOUELIJK AFVALWATER

STATE OF ART

RAPPORT

2008

08

ISBN 978.90.5773.403.8



stowa@stowa.nl www.stowa.nl
TEL 030 232 11 99 FAX 030 231 79 80
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 2008

PROJECTUITVOERING

André van Bentem, DHV B.V.
Herman.Evenblij, Witteveen + Bos
Bert Geraats, Grontmij
Jans Kruit, Royal Haskoning
Ellen van Voorthuizen, Royal Haskoning

BEGELEIDINGSCOMMISSIE

Philip Schyns, Waterschap Rijn en IJssel
Hans Ellenbroek, Waterschap Regge en Dinkel
Jan Willem Mulder, Waterschap Hollandse Delta
Kees de Korte, Waternet
George Zoutberg, Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Cora Uijterlinde, STOWA

DRUK Kruyt Grafisch Advies Bureau

STOWA Rapportnummer 2008-08
ISBN 978.5773.403.8

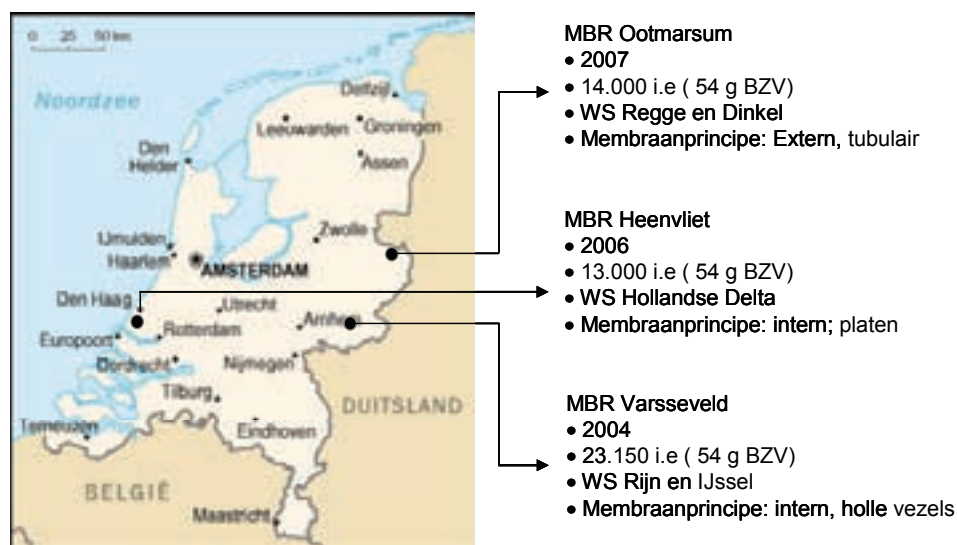
SAMENVATTING

Het gebruik van MBR technologie voor de zuivering van communaal afvalwater heeft zich de afgelopen tien jaar sterk ontwikkeld in binnen- en buitenland. In Nederland is in 2000 door de waterschappen en de STOWA een onderzoeksprogramma ontwikkeld voor het implementeren van MBR technologie voor de zuivering van communaal afvalwater. Dit onderzoeksprogramma is uitgevoerd in samenwerking met waterschappen, adviesbureaus, leveranciers en onderzoeksinstituten. Het doel van het programma is om inzicht te krijgen in het functioneren van een MBR onder Nederlandse condities waarbij strenge eisen worden gesteld aan de stikstof, fosfaat en CZV- concentraties in het effluent. Het programma is van start gegaan in 2000 - 2004 met het MBR pilotonderzoek in Beverwijk. Het onderzoek in Beverwijk richtte zich voornamelijk op de haalbaarheid van MBR technologie onder specifieke Nederlandse condities (lage procestemperaturen, strenge effluenteisen en variabele aanvoer). Na het pilot onderzoek in Beverwijk zijn twee andere pilot onderzoeken uitgevoerd in Maasbommel en Hilversum. Deze onderzoeken waren voornamelijk gericht op de toepasbaarheid van MBR technologie voor het halen van strengere lozingseisen voor stikstof, fosfaat, zware metalen en het verwijderen van prioritair- en hormoonverstorende stoffen. Op basis van de ervaringen opgedaan in Beverwijk, Maasbommel en Hilversum zijn drie (full-scale) demonstratie installaties ontworpen en gebouwd in Varsseveld (in bedrijf in 2004), Heenvliet (2006) en Ootmarsum (2007).

Op dit punt van het onderzoeksprogramma bestond er de behoefte om de opgedane ervaringen te verzamelen en te bundelen in een rapport. Het doel van dit rapport is om uit de ervaringen de kritische ontwerp en beheerspunten van een MBR te benoemen. Dit betreft voornamelijk punten die in het ontwerp en beheer van een MBR verschillen ten opzichte van een conventionele communale afvalwaterzuivering. De kritische ontwerp- en beheerspunten van een MBR zijn bepaald aan de hand van de ervaringen van de ontwerpers en bedrijfsvoerders van de MBR installaties in Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum en van de ontwerpers van de (nog) niet gerealiseerde installaties in Hilversum en Alkmaar. De locatie en specificaties van de drie MBR installaties zijn samengevat in Figuur 1.

FIGUUR 1

OVERZICHT VAN DE 3 MBR INSTALLATIES VOOR DE BEHANDELING VAN HUISHOUDELIJK AFVALWATER IN NEDERLAND



De genoemde kritische ontwerp- en beheerspunten worden hieronder besproken, waarbij ook een richtlijn wordt gegeven voor toekomstige MBR projecten.

De variabele aanvoer in afvalwater wordt ervaren als een kritische ontwerpparameter met betrekking tot het bepalen van het te installeren membraanoppervlak. Overleg met de membraanleverancier is in een vroeg stadium van het ontwerp van belang voor het bepalen van de ontwerpflux. Naast de variabele aanvoer van het afvalwater is voorkomen van industriële lozingen (calamiteit) een kritisch beheerspunt. Een gedetailleerde karakterisering van het influent kan een calamiteit voorkomen of de gevolgen ervan beperken.

Door het toepassen van membranen is een goede voorbehandeling een vereiste. Met name het ontwerpen en beheren van de microzeven wordt als kritisch ervaren. De kritische ontwerp-punten van een microzeef zijn de toe te passen afscheidingsdiameter, de mate van redundan-tie en het verwijderingsrendement van de microzeef. De toe te passen afscheidingsdiameter zal afhankelijk zijn van het gekozen type membraanmodule. Voor membraanmodules met holle vezels wordt een afscheidingsdiameter tussen 1 en 2 mm geadviseerd, voor platen 2 – 3 mm en voor extern opgestelde modules 2 mm. Doordat het van groot belang is dat er geen haren en kleine delen bij de membranen komen is het noodzakelijk de microzeven 100% redundant uit te voeren. Om de drogestofbelasting van de microzeven te beperken, en daarmee doorslag van haren en ander klein materiaal te voorkomen, is het raadzaam de voorlig-gende (fijn) roosters zo in te stellen dat ze zoveel mogelijk vuil tegenhouden (door het in stand houden van een vuildeken op het (fijn)rooster. Daarnaast kan tijdens lage aanvoer de niet in bedrijf zijnde microzeef worden schoongespoeld, zodat deze bij in gebruik name bij hoge aanvoer schoon is. Door het toepassen van microzeven wordt er meer BZV (tot 30%) verwijderd, hiermee moet in het ontwerp van de biologie rekening worden gehouden. Daarnaast moet er rekening worden gehouden dat met het toepassen van microzeven meer roostergoed wordt geproduceerd dan bij een conventionele zuivering en dat daar in de afvoer van het rooster-goed rekening mee moet worden gehouden.

Het ontwerp van het biologische gedeelte van de MBR is vergelijkbaar met het ontwerp van een conventionele installatie. Echter door het toepassen van een hoger slibgehalte in de MBR wordt de hydraulica (menging en beluchting) en de mate van compartimentering als een kritisch ontwerp-punt ervaren. Bij de mate van compartimentering moet het zuiveringsproces leidend zijn, wat bijvoorbeeld kan leiden tot een iets lager drogestofgehalte (b.v. 8 g/l en niet 10 g/l). Bij het toepassen van een lager drogestofgehalte zal het volume van de aëratietank toenemen. Voor de hydraulica kan naast de gebruikelijke hydraulische berekeningen gebruik worden gemaakt van computational fluid dynamics (CFD). Een belangrijk kritisch beheers-punt van de aëratietank is het voorkomen van inval van bladeren en dergelijke in de tank. Dit punt wordt ook genoemd bij de membraantank (in geval intern geplaatste membranen). Het is van belang dat dus niet alleen de membraantank wordt afgedekt, maar ook de aëratie-tank. Daarnaast lijkt een MBR gevoeliger voor drijfslagvorming dan conventionele systemen en wordt daardoor ervaren als een kritisch beheerspunt van een MBR. Factoren die hierbij een rol spelen zijn het hogere slibgehalte waardoor het slib flotatiegevoeliger is en het feit dat de reguliere drijfslaagafvoer via de nabezinking ontbreekt. Belangrijk is om in de aëratietank extra aandacht te schenken aan drijfslaagafvoer.

Bij het ontwerp van de membraantank wordt de uitwisselbaarheid van de diverse membraan-systemen als een kritisch ontwerp-punt ervaren. Het verdient aanbeveling om hier in de aan-bestedingsfase aandacht aan te besteden.

Daarnaast wordt net als in de aëratietank de hydraulica in de membraantank als een kritisch ontwerppunt ervaren. Hierbij is voornamelijk een goede verdeling van de lucht onder de membranen kritisch. De lucht is benodigd om de membranen schoon te houden. Om inzicht te krijgen in de hydraulische aspecten in de membraantank kan ook hier CFD worden toegepast naast de gebruikelijke berekeningen. Als een kritisch beheerspunt van de membraantank wordt de gelijkmatige slibverdeling in de tanks genoemd.

Een mogelijke oplossing voor dit is om de toevoer en afvoer van het slib naar en van de membraantank gelijkmatig over de lengte (of de cassettes) te verdelen. Dit kan b.v. door een toevoerleiding over de lengte van de tank te gebruiken. Daarnaast wordt het aan en uit schakelen van membraanunits (extern geplaatste membranen) en membraantanks (intern geplaatste membranen) als een kritisch beheerspunt van een MBR ervaren. Het aan en uitschakelen van membraanunits of tanks kan volledig worden geregeld op het niveau van de beluchtingstank of op het influentdebiet waarbij dan bijsturing plaats vindt via het niveau van de beluchtingstanks.

De belangrijkste kritische ontwerp en beheersaspecten zijn samengevat in Tabel 1.

TABEL 1 SAMENVATTING VAN DE KRITISCHE ONTWERP- EN BEHEERSPUNTEN VAN EEN MBR INSTALLATIE VOOR DE BEHANDELING VAN HUISHOUDELIJK AFVALWATER ONDER NEDERLANDSE CONDITIES

	Kritische ontwerppunten	Kritische beheerspunten
Influent		Voorkomen van industriële lozing (calamiteit)
Voorbehandeling	Microzeef <ul style="list-style-type: none"> o Afscheidingsdiameter o Mate van redundantie o Verwijderingsrendement 	Microzeef <ul style="list-style-type: none"> o Doorslag haren o Pieken in drogestofbelasting
Biologie	Hydraulica in aëratietank <ul style="list-style-type: none"> o Menging o Beluchting Mate van compartimentering aëratietank	Extra drijfslagvorming
Membranen	Ontwerpflux in verband met DWA/RWA Uitwisselbaarheid membranen Hydraulica in membraantank <ul style="list-style-type: none"> o Menging o Luchtverdeling onder membranen 	Gelijkmatige verdeling van slib in membraantanks Afdekking aeratie- en membraantank ter voorkoming inval bladeren e.d.

DE STOWA IN HET KORT

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

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

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

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

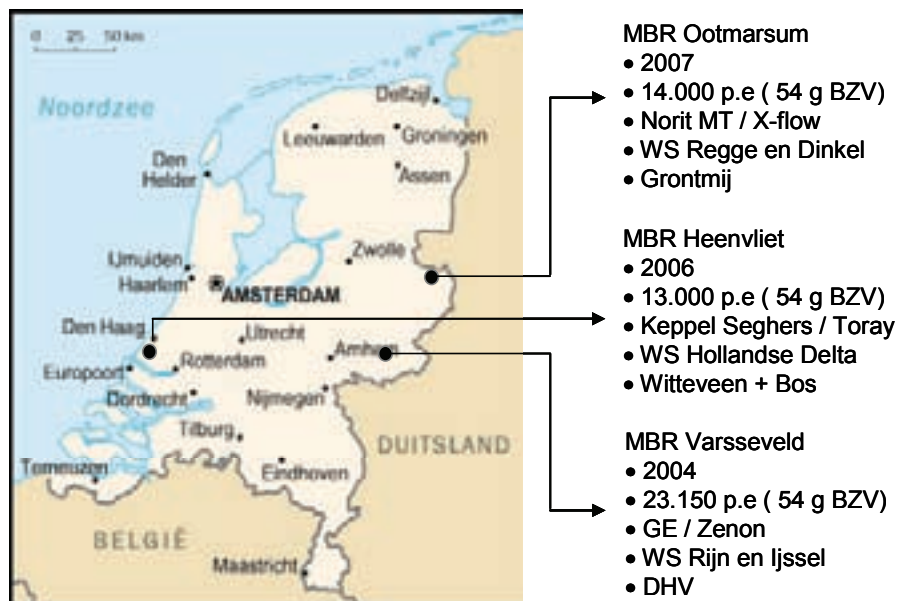
SUMMARY

Over the last 10 years, MBR technology has made worldwide major strides in its development for the treatment of domestic wastewater. In 2000 a research program was started for the development of MBR technology in the Netherlands for the treatment of domestic wastewater. The research program is supported by all Dutch waterboards united in the Foundation for Applied Water Research (STOWA) and is performed in cooperation with consultant firms, Dutch universities and suppliers. The program started with a pilot test at the wastewater treatment plant (WWTP) of Beverwijk in 2000-2004. The research focused on the feasibility of MBR technology to specific Dutch wastewater characteristics, i.e. low process temperatures and variable flow conditions (STOWA, 2002). The pilot MBR test at Beverwijk was followed by two other pilot tests at Maasbommel and Hilversum. Both pilot tests focused on the feasibility of MBR technology to meet the future discharge standards of the European Framework Directive on nitrogen, phosphorus and priority substances as heavy metals and hormone-disruptive substances. Based on the experiences in Beverwijk, Maasbommel and Hilversum three (full-scale) demonstration plants were designed and built in Varsseveld (commissioned in 2004), Heenvliet (commissioned in 2006) and Ootmarsum (commissioned in 2007).

At this point in the research program there existed a need to collect the experiences and combine them in a report. The objective of this report is to collect the critical design and control points of a MBR based on the gained experiences. These concern the points that differ from a conventional wastewater treatment plant. The critical design and control points were determined based on the experiences of the designers and operators of the realized MBR plants Varsseveld, Heenvliet and Ootmarsum and the experiences of the MBR plants in preparation (Hilversum and Alkmaar). The location and specifications of the three realized MBR plants are summarized in Figure 2.

FIGURE 2

OVERVIEW OF THE THREE MBR SYSTEMS IN THE NETHERLANDS TREATING DOMESTIC WASTEWATER



The determined critical design and control points will be discussed in the following paragraphs together with directives for future MBR plants.

The variation in wastewater flow was experienced as a critical design point in relation to the amount of membrane area required. It is recommended to organize in an early stage of the project a consultation with the membrane supplier to determine the design flux. Besides the variation in wastewater flow, prevention of unexpected discharges from industry has been identified as a critical control point. A detailed survey of the influent can prevent the occurrence of such unexpected and unwanted discharges.

Pre-treatment of influent is essential for a good performance of a MBR treating domestic wastewater. The design and control of microsieves was experienced as critical. The critical design points were related to the required mesh size, redundancy and the removal efficiency of the microsieve. The required mesh size will depend on the selected membrane module. A mesh size of 1 – 2 mm is recommended for hollow fibre modules, for membrane modules with plates a mesh size of 2 – 3 is recommended and for externally placed modules 2 mm. The absence of hairs and small material in the MBR system is of great importance. It is therefore required to install the microsieves at 100% redundancy. To reduce the load of screening waste to the microsieve it is important that the screen before the microsieve is installed in such a way that it can remove the majority of the screening waste at rain weather flows. In addition to this it is advisable to clean the microsieve that is not in operation during dry weather flow. In this way the second screen is clean when it is brought into use at rain weather flows.

BOD removal efficiencies of 30% has been reported for microsieves. It is important to take these removal efficiencies into account for the design of the biological compartment of the MBR. By the use of microsieves the amount of screening waste is larger than at conventional treatment plants. This requires possibly larger containers for screening waste collection or a more frequent transport of screening waste from the treatment plant.

The design of the biological compartment of a MBR is comparable with the design of a conventional biological treatment system. However, the design of the different compartments (anaerobic, anoxic, aerobic) in the biological compartment has been identified as a critical design point. This is related to the higher sludge concentrations that are applied in a MBR compared to a conventional treatment system. In this the actual treatment process should be leading. This can mean a lower sludge concentration of 8 in stead of 10 g/l and a larger volume. Another critical design point which is related to the higher sludge concentrations are the fluid dynamics (mixing and aeration) in the tank. The use of computational fluid dynamics (CFD) can be helpful in addition to the usual calculations. The entrance of fallen leaves in the aeration tank has been mentioned as a critical control point. This point was also mentioned as a critical control point for the membrane tank. It is therefore important to cover both the aeration and membrane tank. Additionally it seems that a MBR is more sensitive to scum layer formation than a conventional treatment system. Scum layer formation in a MBR is therefore experienced as a critical control point. Parameters that play a role in this are the higher sludge concentrations and the absence of the regular removal of a scumlayer in a secondary clarifier. It is therefore important to pay extra attention to the removal of a scumlayer in the aeration tank.

The interchangeability of the different membrane systems has been experienced as a critical design point. It is recommended to pay attention to this in the tender phase. The fluid dynamics and especially the air distribution under the membranes were identified as critical design points for the membrane tank in case of submerged membranes. The use of CFD can

be helpful in this. A uniform distribution of the sludge in the membrane tanks has been mentioned as a critical design point. Uniform distribution of the sludge in the tank can be achieved by a uniform supply over the total length of the tank (or cassettes). Because of the large flow fluctuation a complex control strategy is required to switch between membrane tanks or skids and was seen as a critical control point of a MBR. The switch between tanks or skids can be controlled completely via the level of the aeration tank or via the influent flow in combination with the level control in the aeration tank.

The critical design and control points of a MBR are summarized in Table 2.

TABLE 2 SUMMARY OF THE CRITICAL DESIGN AND CONTROL POINTS FOR DUTCH MBR TECHNOLOGY TREATING DOMESTIC WASTEWATER

	Critical design points	Critical control points
Influent		Prevention unwanted (industrial) discharges
Pre-treatment	Microsieve <ul style="list-style-type: none"> o Mesh size o Redundancy o Removal efficiency 	Microsieve <ul style="list-style-type: none"> o Passage hairs o Peaks in screening waste at rain weather flows
Biology	Compartments <ul style="list-style-type: none"> o Fluid dynamics o Mixing o Aeration 	Extra scumlayer formation
Membranes	Design flux <ul style="list-style-type: none"> o Interchangeability o Fluid dynamics o Mixing o Air distribution underneath membranes 	Uniform distribution sludge Coverage aeration - and membrane tank

DE STOWA IN BRIEF

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

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

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

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

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

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

E-mail: stowa@stowa.nl.

Website: www.stowa.nl.

ONTWERP- EN BEHEERS- ASPECTEN VAN EEN MBR VOOR DE BEHANDELING VAN HUISHOUDELIJK AFVALWATER

INHOUD

	SAMENVATTING	
	STOWA IN HET KORT	
	SUMMARY	
	STOWA IN BRIEF	
1	INLEIDING	1
	1.1 Kader en aanleiding rapport	1
	1.2 Doelstelling en opbouw rapport	1
	1.3 Beperkingen en grenzen rapport	2
	1.4 MBR; technologie voor schoner effluent	2
2	MBR IN THEORIE	3
	2.1 Inleiding	3
	2.2 Voorbehandeling	3
	2.2.1 Roosters en zeven	3
	2.2.2 Zand – en vetverwijdering	4
	2.2.3 Voorbezinktank	4
	2.3 Biologie	5
	2.3.1 Stikstof en fosfaatverwijdering	5
	2.3.2 Slibkwaliteit	5
	2.3.3 Alfa factor	6

2.4	Membranen	7
2.4.1	Filtratiespectrum	7
2.4.2	Membraanmodules in een MBR	8
2.4.3	Membraanmaterialen	9
2.4.4	Membraan flux en membraanvervuiling	9
2.4.5	Reiniging	13
2.4.6	Controle van membraanvervuiling	14
2.5	Permeaatkwaliteit	14
3	MBR IN PRAKTIJK	15
3.1	MBR installaties wereldwijd	15
3.2	Ervaringen vanuit Groot Brittannië en Duitsland	16
3.3	Beknopte beschrijving praktijkinstallaties	18
3.3.1	Inleiding	18
3.3.2	Varsseveld	19
3.3.3	Heenvliet	21
3.3.4	Ootmarsum	22
3.4	Membraanunits	24
3.4.1	Varsseveld	24
3.4.2	Heenvliet	25
3.4.3	Ootmarsum	26
3.5	Ervaringsfeiten voorbehandeling, biologie en membranen	27
3.5.1	Algemene indruk MBR Varsseveld en Heenvliet	27
3.5.2	Voorbehandeling	28
3.5.3	Biologie	29
3.5.4	Membranen	30
3.6	Nut en noodzaak pilotonderzoek	30
4	ONTWERPRICHTLIJNEN	32
4.1	Uitgangspunten ontwerp MBR	32
4.2	Keuzes voorafgaand aan ontwerp MBR	33
4.2.1	Voorbehandeling	33
4.2.2	Volledige of Hybride MBR	33
4.2.3	Membraansysteem	35
4.2.4	Geïntegreerde membraantank of Separate membraantank	36
4.3	Ontwerp voorbehandeling	37
4.4	Ontwerp biologie	37
4.4.1	Influentsamenstelling	37
4.4.2	Beluchtingstank	37
4.4.3	Hydraulische aspecten	38
4.5	Ontwerp membraanfiltratie	39
4.5.1	Membranen	39
4.5.2	Membraantank	39
4.5.3	Permeaatpompen (back-flush, relaxatie, procescyclus)	39
4.5.4	Beluchting membranen (continu, intermitterend)	40
4.5.5	Toevoerpomp (recirculatieverhouding)	40
4.5.6	Chemische reiniging (type reiniging, type chemicaliën, frequentie)	40

4.6	Aanbesteding en standaardisatie	41
4.6.1	Inleiding	41
4.6.2	Praktijkvoorbeelden	42
4.6.3	Garantiebepalingen	44
4.6.4	Concept voor uitwisselbaarheid	45
5	BEHEERSASPECTEN	47
5.1	Inleiding	47
5.2	Opstart	47
5.2.1	Testprocedures membranen	47
5.2.2	Testprocedures microzeven	48
5.2.3	Enting met slib	50
5.3	Procesregelingen	52
5.3.1	Regeling straatsturing	52
5.3.2	Regeling procescyclus	53
5.3.3	Regeling beluchting	54
5.3.4	Regeling membraantoevoerpompen	55
5.3.5	Regeling chemische reiniging	57
5.4	Monitoringsaspecten	58
5.4.1	Monitoringsparameters	58
5.4.2	Berekening filtratieparameters	59
5.4.3	Beoordeling membraanwerking	61
5.4.4	Bewaking membraanintegriteit	62
5.5	Bedrijfsvoering	63
5.5.1	Bediening en gegevensanalyse	63
5.5.2	Duurzaamheidsaspecten	64
5.5.3	Arbo	67
5.5.4	Bedrijfsvoeringskosten	68
6	AANDACHTSPUNTEN VOOR TOEKOMSTIG ONTWERP EN BEHEER	69
7	REFERENTIELIJST	71
	BIJLAGEN	
1	VERSLAG WORKSHOP	73
2	BEGRIPPENLIJST	83
3	CEN WORKSHOP AGREEMENT INTERCHANGEABILITY (CWA3Y)	87

1

INLEIDING

1.1 KADER EN AANLEIDING RAPPORT

Het gebruik van MBR technologie voor de zuivering van communaal afvalwater heeft zich de afgelopen tien jaar sterk ontwikkeld in binnen- en buitenland. Belangrijkste redenen hiervoor zijn, de dalende membraanprijs, de dalende kosten voor membraanvervanging door verdergaand inzicht bij de leveranciers, het dalende energieverbruik door een optimalisatie in het module ontwerp en wettelijke eisen op het gebied van waterkwaliteit (o.a. de Europese kaderrichtlijn water).

Gezien deze ontwikkelingen is in Nederland in 2000 door de waterschappen en de STOWA een onderzoeksprogramma ontwikkeld voor het implementeren van MBR technologie voor de zuivering van communaal afvalwater in Nederland. Dit onderzoeksprogramma is uitgevoerd in samenwerking met adviesbureaus, leveranciers en onderzoeksinstituten. Het doel van het programma is om inzicht te krijgen in het functioneren van een MBR onder Nederlandse condities waarbij strenge eisen worden gesteld aan de stikstof, fosfaat en CZV concentraties in het effluent. De aanpak is als volgt: via de weg van pilot- en demo-installaties wordt in 5 tot 8 jaar zoveel ontwerp- en praktijkkennis ontwikkeld dat rondom 2010 goed functionerende praktijkinstallaties kunnen worden ontworpen. Integratie van actief-slibtechnologie en membranen, standaardisatie van membraantanks en ontwikkeling van een competitieve markt zijn hierbij leidende begrippen.

De fase van het pilot-onderzoek op de RWZI's Beverwijk, Maasbommel, Hilversum en flankerend onderzoek op de RWZI Varsseveld is in de periode 2000 - 2006 met succes afgerond (diverse STOWA-rapporten). In 2005 is de demo-fase van het ontwikkelingsprogramma van start gegaan met de MBR Varsseveld, later gevolgd door de hybride MBR in Heenvliet en de hybride MBR in Ootmarsum. Alle demo-MBR's hebben verschillende membraanconfiguraties en leveranciers waarmee een uitvoerig testprogramma zal worden uitgevoerd. Het realiseren van een reductie in energie-, chemicaliën en kosten speelt een continue rol in het ontwerp- en beheersproces voor MBR installaties.

Halverwege het ontwikkelingsprogramma bestaat er onder waterbeheerders de behoefte terug te kijken en de opgedane kennis en ervaringen te bundelen in een 'state of art' rapport.

1.2 DOELSTELLING EN OPBOUW RAPPORT

Het doel van dit rapport is om op basis van de ervaringen op pilot schaal in Beverwijk, Maasbommel, Hilversum en op full scale in Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum, de belangrijkste en meeste kritische ontwerp en beheersaspecten van een MBR te benoemen. Het rapport is opgesteld door vier adviesbureaus te weten, DHV, Grontmij, Witteveen + Bos en Royal Haskoning.

Op basis van theorie (Hoofdstuk 2), buiten- en binnenlandse ervaringen (Hoofdstuk 3) zijn de belangrijkste en meest kritische ontwerpaspecten (Hoofdstuk 4) en beheersaspecten (Hoofdstuk 5) van een MBR beschreven.

Naast de ontwerp- en beheersaspecten wordt tevens aandacht geschonken aan de realisatie- en aanbestedingsaspecten met betrekking tot de standaardisatie van procesonderdelen en het tijdstip van inbreng van een leverancier. Als onderdeel van dit rapport is op 4 december 2007 een workshop gehouden. De resultaten van deze workshop zijn verwerkt in het rapport en zijn uitgebreid weergegeven in de bijlage. De technische begrippen met betrekking tot de membranen zijn opgenomen in de begrippenlijst.

1.3 BEPERKINGEN EN GRENZEN RAPPORT

Voor het benoemen van de meest kritische ontwerp en beheersaspecten van een MBR is voornamelijk gebruik gemaakt van de Nederlandse ervaringen en is er alleen gekeken naar de communale toepassing van MBR en zijn de industriële ervaringen met de MBR niet gebruikt. Er bestaat een grote hoeveelheid wetenschappelijke literatuur op het gebied van MBR welke voornamelijk de vervuilingproblematiek beschrijft. Deze literatuur is kort samengevat in hoofdstuk 2. Aangezien het doel van dit rapport een handzame handleiding voor de (toekomstige) Nederlandse gebruikers van een MBR is, is een uitgebreide verhandeling over deze wetenschappelijke literatuur achterwege gelaten. Hiervoor wordt verder verwezen naar de literatuurlijst. Daarnaast is er een zeer uitgebreid rapport verschenen over de Duitse ervaringen met MBR installaties (Frechen, 2008). Begrippen met betrekking op het membraangedeelte zijn zoveel mogelijk uitgelegd in de tekst, maar zijn ook opgenomen in de begrippenlijst.

1.4 MBR; TECHNOLOGIE VOOR SCHONER EFFLUENT

Een schoner effluent wordt in de toekomst steeds belangrijker zeker als het gaat om het beschermen van ontvangend oppervlaktewater. Die bescherming zal in de toekomst niet alleen bestaan uit het voorkomen van eutrofiering, maar ook de bescherming van aquatische organismen tegen toxische stoffen waaronder zware metalen, PAKs pesticiden/herbiciden en hormoonverstorende stoffen en medicijnresten. In de Europese kaderrichtlijn water (KRW) worden deze stoffen samengevat onder de noemer prioritaire stoffen en er zullen aan enkele van deze stoffen mogelijk eisen worden gesteld. Hoe deze eisen er uit gaan zien is nog onzeker, daarnaast is de kennis over de verwijdering van deze stoffen (biologisch of fysisch (adsorptie)) nog volop in ontwikkeling. Dit geldt ook voor de analyse van deze stoffen, gezien de zeer lage concentraties waarin deze stoffen voorkomen. In enkele STOWA rapporten (STOWA, 2003 - 15, STOWA 2004 - 28, STOWA 2005 - 32, STOWA, 2007 - 23) is aandacht besteed aan de verwijdering van enkele prioritaire stoffen. Op basis van deze studies blijkt dat vooral aan het slib gehechte stoffen (bijvoorbeeld ftalaten) beter worden verwijderd in een MBR dan in een conventionele zuivering. Op basis van de huidige ontwikkelingen kan de MBR een belangrijke rol spelen in het verwijderen van prioritaire stoffen uit de KRW. Daarnaast zorgt de toepassing van membranen in een MBR voor een verregaande desinfectie van het effluent waarmee het voldoet aan de zwemwatterrichtlijn voor E.coli, dit in tegenstelling tot het effluent van een conventionele zuivering. Er liggen dus volop kansen voor het toepassen van een MBR voor de zuivering van communaal afvalwater. Het is daarom van belang om de MBR technologie in Nederland verder te ontwikkelen en de ontwikkelingen in het buitenland te blijven volgen.

2

MBR IN THEORIE

2.1 INLEIDING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de theoretische aspecten van een MBR. Daarbij worden de belangrijkste onderdelen van een MBR per paragraaf besproken. Dit houdt in dat eerst wordt stil gestaan bij de voorbehandeling, omdat dit in vergelijking met een conventionele zuivering een zeer kritische stap is voor het goed functioneren van een MBR. Daarna worden in paragraaf 2.3 die aspecten van de biologie besproken die verschillen ten opzichte van een conventionele zuivering. De volgende paragraaf gaat in op de membraaneigenschappen, gebruikte materialen, membraanvervuiling, en manieren waarop met membraanvervuiling kan worden omgegaan. Tot slot wordt in de laatste paragraaf kort stil gestaan bij de kwaliteit van het permeaat.

2.2 VOORBEHANDELING

Voorbehandeling van het ruwe afvalwater wordt gezien als een essentieel onderdeel van een MBR systeem. In tegenstelling tot een klassieke zuivering is een MBR systeem meer gevoelig voor bijvoorbeeld vetten, vezels, haren en zand. Een overzicht van deze en andere belangrijke componenten in afvalwater en hun invloed op het functioneren van een MBR zijn weergegeven in Tabel 3.

TABEL 3 OVERZICHT COMPONENTEN IN AFVALWATER, HUN INVLOED OP FUNCTIONEREN MBR

Component	Invloed op functioneren MBR
Grotere en kleinere grove deeltjes, waaronder haren	<ul style="list-style-type: none"> • Ophoping in membraan element • Beschadiging membranen • Blokkeren van de membraan aëratie
Zand	<ul style="list-style-type: none"> • Beschadiging membranen door schuring, ophoping in aëratietank
Vetten en oliën	<ul style="list-style-type: none"> • Toename vervuiling membranen door 'kleverig' slib

Er zijn diverse technieken beschikbaar om de in Tabel 3 genoemde componenten te verwijderen. Deze zullen hieronder worden besproken.

2.2.1 ROOSTERS EN ZEVEN

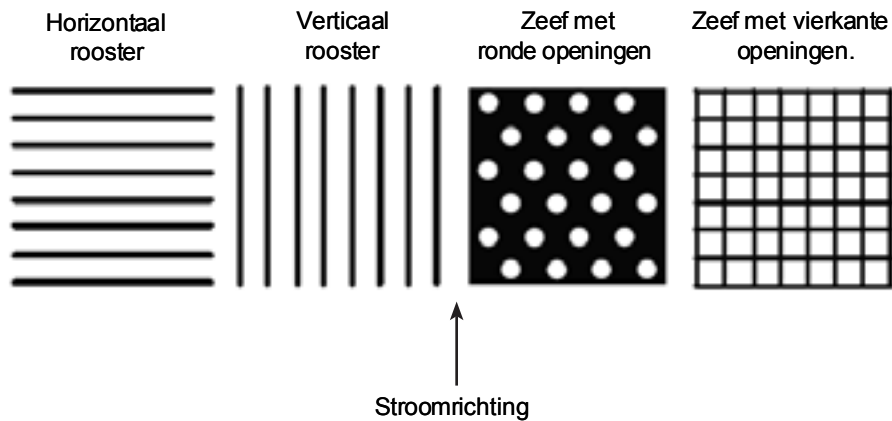
Voor de verwijdering van grove delen uit het afvalwater worden roosters en zeven gebruikt. In het geval van roosters worden de grove delen gescheiden van het afvalwater door in het rooster opgestelde staven. Bij zeven vindt scheiding plaats door in de zeef opgestelde platen met spleet- of cirkelvormige perforaties. De afmetingen en geometrie van de staven en of perforaties bepalen welke delen uit het afvalwater worden verwijderd. Een schematisch overzicht van diverse gebruikte staaf en perforatie geometriën is weergegeven in Figuur 3.

Roosters met een staafafstand van 10 – 50 mm worden grofroosters genoemd, fijnroosters hebben een staafafstand van 1 – 10 mm. De diameter van de perforaties bij zeven is meestal

kleiner dan 10 mm (STOWA, 2007-25). Zeven met een zeer kleine perforatiediameter (0,5 – 3 mm) worden microzeven genoemd. Bij het bedienen van een MBR is het inzetten van microzeven noodzakelijk voor het verwijderen van kleine deeltjes en haren.

FIGUUR 3

OVERZICHT VAN GEBRUIKTE SPLEETGEOMETRIËN BIJ ROOSTERS EN ZEVEN (UIT FRECHEN, 2006)



De keuze van de spleetwijdte en geometrie van de perforatie is mede afhankelijk van de afvalwatersamenstelling en het type membraan. De membraansystemen met holle vezels zijn meer gevoelig voor verstoppingen met klein materiaal dan de systemen met vlakke platen. Voor holle vezel systemen wordt een perforatiediameter van < 1 mm geadviseerd voor vlakke membranen 2 – 3 mm (Judd et al., 2006).

Voor meer informatie over beschikbare roosters en zeven en hun werking wordt verwezen naar het STOWA rapport Inventarisatie roosters en zeven in de communale afvalwaterbehandeling (STOWA, 2007-25).

2.2.2 ZAND – EN VETVERWIJDERING

Het verwijderen van zand, vetten en oliën kan soms in een stap gecombineerd worden. Bij een gecombineerde zand-/vetvanger wordt door middel van ingeblazen lucht, opdrijvend materiaal, olie en vetten geflooteerd, waarna deze met een ruimer worden afgeroomd. Er zijn diverse type zandvanginstallaties op de markt:

- Gootvormige zandvangers
- Vlakke zandvangers
- Tangentieel (Vortex) zandvangers
- Hydrocyclonen
- Beluchte zand- en vetvangers

Meer details over deze type zandvangers zijn weergegeven in STOWA rapport 2002-12 (STOWA 2002 – 12).

2.2.3 VOORBEZINKTANK

In een voorbezinktank worden de zwaardere onopgeloste stoffen zand uit het afvalwater verwijderd. De voorbezinktank kan tevens worden gebruikt voor chemische fosfaatverwijdering door préprecipitatie. Bij het toepassen van voorbezinking wordt de BZV/N verhouding verlaagd. Bij een te lage BZV/N verhouding kunnen er problemen ontstaan bij het verwijderen van stikstof (tekort aan BZV voor denitrificatie) en het halen van de lozingseis voor stikstof.

Gezien de steeds strenger wordende lozingseisen is er een trend zichtbaar dat voorbezink tanks steeds minder worden toegepast.

Voor het bedrijven van een MBR kan een selectie worden gemaakt van bovenstaande voorbehandelingstechnieken. Minimaal noodzakelijk zijn een fijnrooster en microzeef, daarnaast kan er een keuze gemaakt worden voor een voorbezinktank of zand-/vetvangter. De keuze voor het wel of niet plaatsen van een voorbezinktank of zand-/vetvangter zal onder andere afhangen van de afvalwatersamenstelling, gekozen fijnrooster en gekozen membraanmodule.

2.3 BIOLOGIE

Het doel van het biologische gedeelte van een MBR systeem is hetzelfde als voor een conventionele RWZI, het verwijderen van CZV, stikstof en fosfaat. Op basis hiervan zal het ontwerp voor het biologische deel van de MBR niet veel anders zijn dan voor een RWZI, alleen zullen een aantal uitgangspunten anders zijn. Deze punten worden hieronder kort besproken.

2.3.1 STIKSTOF EN FOSFAATVERWIJDERING

De belangrijkste uitgangspunten voor het ontwerp van het biologische gedeelte zijn de influentsamenstelling en de gewenste effluentkwaliteit. Voor het verwijderen van stikstof is een goede BZV/N verhouding nodig. Door de toepassing van een intensieve voorbehandeling bij een MBR kan meer BZV verwijderd worden waardoor de BZV/N verhouding verslechterd, hiermee zal rekening moeten worden gehouden in het ontwerp van het biologische gedeelte van een MBR.

Voor het verwijderen van fosfaat bestaat de mogelijkheid dit biologisch of chemisch te doen. Bij het toepassen van chemische fosfaatverwijdering moet rekening worden gehouden met het mogelijke optreden van fosfaatprecipitatie ('scaling') aan het membraanoppervlak. Belangrijk hierbij is de keuze voor de plaatsing van het doseerpunt ten opzichte van de membraanmodules. Door middel van reiniging (met zuur) kan eventueel aanwezige 'scaling' worden verwijderd.

Ten opzichte van het chemisch verwijderen van fosfaat is bij de toepassing van biologische fosfaatverwijdering een extra compartiment nodig en een extra recirculatiestroom.

2.3.2 SLIBKwaliteit

De kwaliteit van het slib is een zeer belangrijke parameter voor het goed functioneren van een MBR zowel voor een goede biologische prestatie als een goede prestatie van de membranen. De belangrijkste aspecten die de kwaliteit van het slib bepalen zijn:

- Samenstelling slib
 - Gesuspendeerde fractie
 - Colloïdale fractie
 - Opgeloste organische fractie
 - Polysaccharides
 - Eiwitten
- Concentratie biomassa en slib
- Vlokstructuur
- Microbiële samenstelling
- Hydrofobiciteit

Deze aspecten spelen een rol in de filtreerbaarheid van het slib en de mate waarin het slib de membranen vervuult. Hierin spelen echter ook de membraaneigenschappen en de toegepaste reinigingsregimes (zowel fysisch als chemisch) een rol. Daarnaast spelen de microbiële samenstelling en dan voornamelijk de aanwezigheid van draadvormende bacteriën een rol in de vorming van drijfslagen.

Diverse procesparameters zijn van invloed op de uiteindelijke kwaliteit van het slib zoals:

- Slibbelasting
- Slibleeftijd
- Hydraulische verblijftijd
- Samenstelling afvalwater (na voorbehandeling)
- Zuurstofconcentratie
- Hydraulica
- Mate van compartimentering
- Beluchting
- Recirculatiestromen
- Temperatuur
- pH

De mate van compartimentering en het toepassen van diverse recirculatiestromen zal afhankelijk zijn van de effluenteisen voor stikstof en fosfaat en de keuze voor chemische of biologische fosfaatverwijdering. De manier waarmee verder met deze factoren wordt omgegaan in het ontwerp en beheersen van een MBR wordt besproken in hoofdstuk 4 en 5. Belangrijk is hier dat de biologische prestatie niet los kan worden gezien van de membraanprestatie en omgekeerd en dat daarbij zeer veel verschillende factoren een rol spelen.

2.3.3 ALFA FACTOR

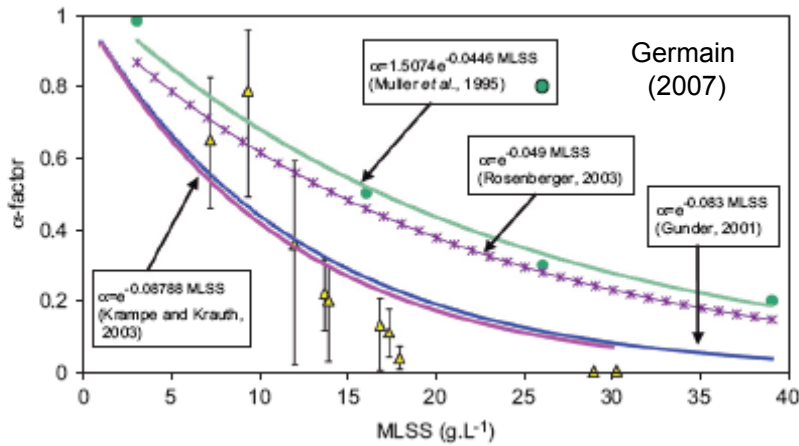
De alfa factor is de verhouding tussen de zuurstofoverdracht in het slib/water mengsel en de zuurstofoverdracht in schoon water. De alfa factor is een belangrijke factor voor het bepalen van de toe te passen beluchtingscapaciteit en daarmee de energievraag van de installatie. De alfa factor heeft een sterke correlatie met de viscositeit van het slib. Deze correlatie houdt in dat bij een hogere viscositeit de alfa factor daalt.

De viscositeit van het slib wordt mede bepaald door de slibconcentratie en de wijze waarop het slib gemengd en belucht wordt.

De verlaging van de alfa factor bij een toename in slibconcentratie is waargenomen in de studies in Beverwijk (STOWA, 2002 – 11B) en Varsseveld (STOWA, 2006 – 06).

Tijdens het pilot onderzoek in Beverwijk varieerde de alfa factor tussen de 0,4 en 0,7. In het ontwerp van Varsseveld is uitgegaan van een alfa factor van 0,5 (STOWA, 2006-05). Het effect van andere factoren op de alfa factor zoals de aanwezigheid van draadvormers, de opgeloste CZV (fractie < 0,45 μm) bleek in beide studies minder dan het effect van de slibconcentratie. Hierbij dient wel te worden aangetekend dat er door de verschillen in de wijze van meting van de alfa factor grote verschillen kunnen ontstaan in de gevonden relaties tussen alfa factor en slibconcentratie. Dit wordt geïllustreerd in Figuur 4.

FIGUUR 4 VERGELIJKING VAN DE CORRELATIE TUSSEN DE ALFA FACTOR EN SLIBCONCENTRATIE ZOALS DIE UITGEVOERD IS DOOR VERSCHILLENDE ONDERZOEKERS (GERMAIN 2007)



2.4 MEMBRANEN

2.4.1 FILTRATIESPECTRUM

Filtratie is een techniek waarmee deeltjes uit een waterige stroom kunnen worden verwijderd. Afhankelijk van de afmetingen van de te verwijderen deeltjes moet een bepaalde scheidings- of filtratietechniek, of een combinatie van technieken worden ingezet. Het toepassingsgebied van diverse filtratietechnieken is schematisch weergegeven in Figuur 5.

Membraanfiltratie kan binnen de afvalwaterbehandeling als nageschakelde techniek of als geïntegreerde techniek worden toegepast. Nanofiltratie en omgekeerde osmose worden vaak gebruikt als nageschakelde techniek voor bijvoorbeeld het opwerken van RWZI effluent. Microfiltratie (MF) en ultrafiltratie (UF) worden in sommige gevallen als voorbehandelingstap gebruikt voor nanofiltratie of omgekeerde osmose.

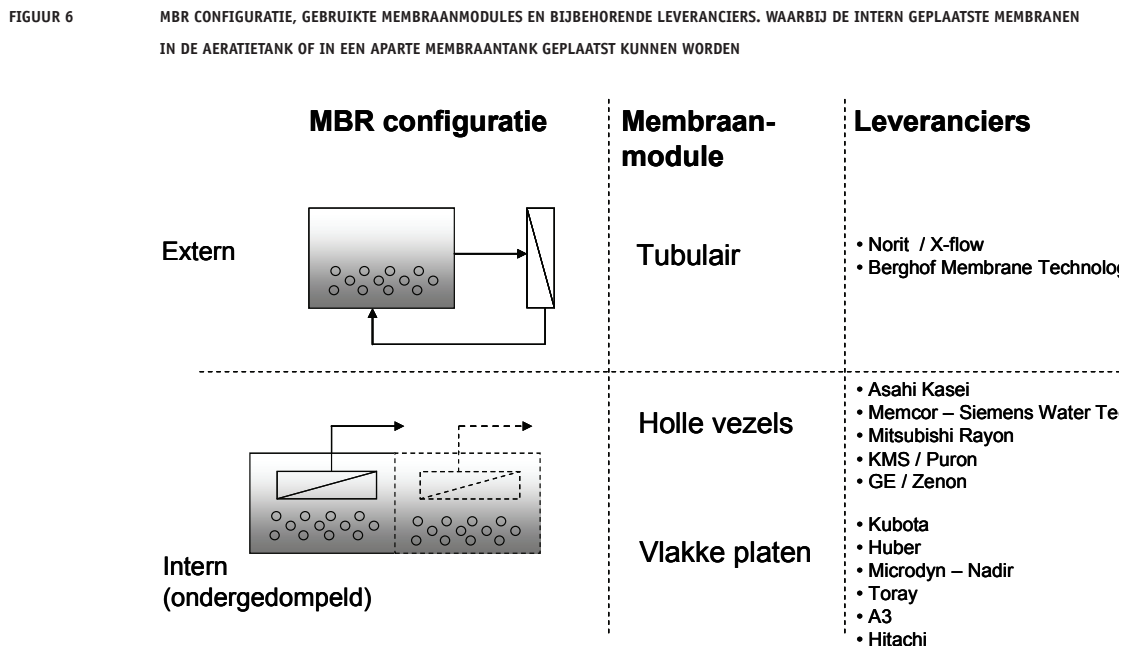
FIGUUR 5 FILTRATIESPECTRUM

deeltjesgrootte	opgelost		colloidaal	supracolloidaal	bezinkbaar			
	opgelost		colloidaal	gesuspendeerd				
	ionen/moleculen		macromoleculen	microdeeltjes	fijne deeltjes			
deeltjes	suiker opgeloste zouten		virussen	bacteriën	protozoën stuifmeel zand			
afmeting	0,0001	0,001	0,01	0,1	1	10	100	1000
scheidingstechniek								

Voor de toepassing van membraanfiltratie als geïntegreerde techniek zoals in een MBR, worden vaak MF en UF membranen gebruikt. Voor deze membranen worden vaak asymmetrische membranen gebruikt. Asymmetrische membranen zijn membranen die uit meerdere lagen bestaan. Hierbij is de 'support' laag een zeer poreus membraan, bovenop deze laag wordt dan een dunne toplaag aangebracht die zorgt voor de daadwerkelijke scheiding.

2.4.2 MEMBRAANMODULES IN EEN MBR

De membraanmodules die voor een MBR worden toegepast kunnen buiten de aëratietank (extern) worden geplaatst of kunnen worden ondergedompeld (intern) in de biomassa in de aëratietank of in een membraantank. In Figuur 6 is een overzicht gegeven van de twee MBR configuraties en de daarbij behorende membraanmodules.



Bij een MBR met extern geplaatste membranen wordt het slib/water mengsel rondgepompt in een recirculatieleiding, waarin de cross-flow membraanunit is geplaatst. Het slib/water mengsel stroomt door de membraanbuisjes. Het permeaat verlaat het systeem door de wand van het membraanbuisje. Het retentaat keert terug naar de aëratietank. Door de toegepaste stromingssnelheid wordt membraanvervuiling onder controle gehouden. Echter voor het rondpompen van het slib/water mengsel is (veel) energie nodig. Om het energieverbruik te verlagen is er een nieuw concept ontwikkeld, waarbij de membraanmodules verticaal worden geplaatst en aan de onderkant van de module luchtbelletjes worden ingebracht. Op deze manier kan met een lagere stroomsnelheid worden gewerkt en wordt door het inbrengen van luchtbelletjes voor voldoende 'afschuifkrachten' langs het membraan gezorgd.

Bij het gebruik van een MBR met intern geplaatste membranen wordt gebruik gemaakt van vlakke plaat modules en modules met holle vezels. Waarbij de pakingsdichtheid van holle vezel modules groter is dan modules met vlakke platen (zie voor waarden tabel 2). Een ander voordeel bij het gebruik van modules met holle vezels is dat deze kunnen worden teruggespoeld, terwijl het terugspoelen van vlakke platen op dit moment (nog) niet mogelijk is.

In vergelijking met extern geplaatste membranen permeëert het water in een MBR met intern geplaatste membranen van de buitenzijde naar de binnenzijde van het membraan (outside-in filtratie). Het permeaat kan worden onttrokken door gebruik te maken van de druk veroorzaakt door de waterkolom boven de module (drukgedreven). Het permeaat kan ook worden onttrokken door het aanleggen van een onderdruk (0,05- 0,5 bar) door de zuigende werking van een pomp. Dit vraagt iets meer energie, maar zorgt er wel voor dat het proces beter te sturen is. Echter bij voldoende voordruk kunnen ook regelkleppen worden gebruikt voor gecontroleerde permeaatonttrekking. Vervuiling van de membranen wordt tegengegaan door het toepassen van grove bellenbeluchting onder de membraanmodules.

2.4.3 MEMBRAANMATERIALEN

Er worden op dit moment twee type membraanmaterialen gebruikt, polymeren en keramiek. Daarbij worden in MBR toepassingen vooral polymere membranen gebruikt, waarbij PVDF (polyvinylidene difluoride), PES (poly-ether-sulfon), PE (polyethyleen) en PP (polypropyleen) de meest gebruikte materialen zijn. Naast het materiaal zijn ook de poriegrootte en porieverdeling belangrijke membraaneigenschappen, naast de mate van hydrofobiciteit en ruwheid van het membraanoppervlak. In Tabel 4 is ter illustratie een overzicht gegeven van de membraan- en moduul eigenschappen van de belangrijkste module leveranciers.

TABEL 4 OVERZICHT MEMBRAAN- EN MODULE EIGENSCHAPPEN VAN DE BELANGRIJKSTE LEVERANCIERS (GEGEVENS UIT JUDD ET AL., 2006)

Membraan configuratie	Leverancier	Membraan		Module
		Membraan Materiaal	Poriediameter (μm)	Pakkingsdichtheid (m^2/m^3 module)
Tubulair	X-flow / Norit	PVDF	0,03	308
Holle vezels	Zenon / G.E.	PVDF	0,04	294 of 304 ¹
	Puron / KMS	PES	0,05	314
	Memcor / Siemens	PVDF	0,04	334
Vlakke platen	Kubota	Gechloreerd PE	0,4	115
	Toray	PVDF	0,08	115

1) 294 voor Zeeweed 500c, 304 voor Zeeweed 500d

Naast de verschillen in gebruikt membraanmateriaal, poriediameter en pakkingsdichtheid speelt ook de gevoeligheid voor vervuiling en chemicaliën een rol in de keuze voor een bepaald membraansysteem. Daarnaast speelt in die keuze ook nog mee de mate van voorbehandeling die vereist is.

2.4.4 MEMBRAAN FLUX EN MEMBRAANVERVUILING

De flux door een membraan is afhankelijk van de toegepaste druk (ΔP), de viscositeit van water (η) en de filtratieweerstand (R_{totaal}), en hebben de volgende relatie tot elkaar:

$$\text{Flux} = \Delta P / \eta \cdot R_{\text{totaal}}$$

De filtratieweerstand R_{totaal} is een som van diverse weerstanden welke bestaan uit de weerstand van het membraan (R_{mem}), en de weerstand door reversibele vervuiling (R_{rev}) en irreversibele vervuiling (R_{irr}). Waarbij onder reversibele vervuiling wordt verstaan die vervuiling die door een fysische reiniging is te verwijderen en irreversibele vervuiling die vervuiling die alleen door middel van een chemische reiniging te verwijderen is. Naast irreversibele en reversibele vervuiling zal er ook vervuiling zijn die niet door reiniging kan worden verwijderd. In het Engels gebruikt men hier de term 'irrecoverable' fouling' voor.

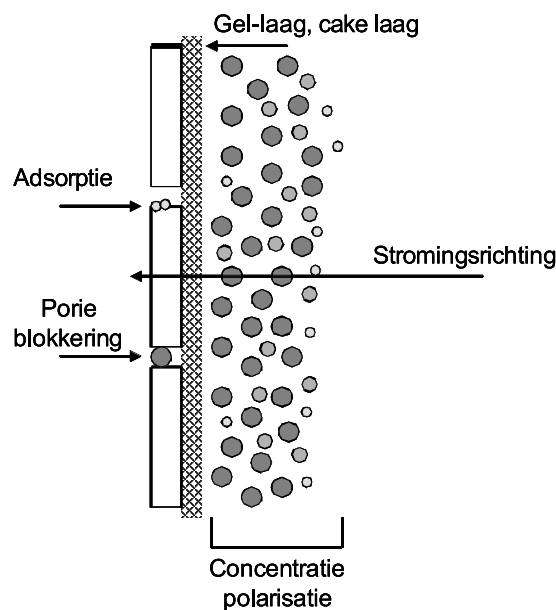
De toename in filtratieweerstand door het optreden van reversibele en irreversibele vervuiling kan in de praktijk worden gemeten als een toename in transmembraandruk (TMD) gedurende één productiecyclus of gedurende een langere periode.

De weerstand van het membraan zal onder andere afhankelijk zijn van membraaneigenschappen zoals, poriediameter, mate van porositeit en de ruwheid van het membraanoppervlak.

De weerstand veroorzaakt door reversibele en irreversibele vervuiling kan het gevolg zijn van diverse vervuilingsmechanismen. De belangrijkste vervuilingsmechanismen zijn schematisch weergegeven in Figuur 7. Naast de in Figuur 7 aangegeven vervuilingsmechanismen kan ook 'scaling' optreden. 'Scaling' is het precipiteren van anorganische deeltjes op of in het membraan.

FIGUUR 7

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MOGELIJKE VERVUILINGSMECHANISMEN IN EEN MBR



Door het aanleggen van een flux over het membraan wordt er water met daarin diverse deeltjes getransporteerd naar het membraan. Het membraan laat het water door, maar de deeltjes die niet door het membraan heen kunnen hopen zich op aan het membraanoppervlak. Het ophopen van deeltjes aan het membraanoppervlak noemt men concentratie polarisatie (zie Figuur 7). Door het optreden van concentratie polarisatie ondervindt het water een extra weerstand om het membraan te passeren. Het optreden van concentratie polarisatie zorgt dus al voor een toename in filtratieweerstand (gemeten als toename in druk, of afname in flux). Na het optreden van concentratie polarisatie kan porie blokkering en adsorptie plaatsvinden. De gevormde concentratie polarisatie laag kan resulteren in een gel-laag of cake laag. De mate waarin deze mechanismen optreden en of ze reversibel of irreversibel zijn hangt af van vele factoren, waaronder:

- Membraaneigenschappen;
- Procescondities (membraan en biologie);
- Slibkwaliteit;
- Afvalwatersamenstelling;
- Hydrodynamische omstandigheden.

MEMBRAANEIGENSCHAPPEN

Vanwege de complexe en veranderde omstandigheden in de MBR is het moeilijk een relatie te vinden tussen de in paragraaf 2.4.3 genoemde membraaneigenschappen en de mate van vervuiling. Uit de vele onderzoeken die wereldwijd zijn uitgevoerd blijkt dat er bijvoorbeeld geen trend is tussen de porie diameter en membraanprestatie (Judd *et al.*, 2006).

PROCESCONDITIES (MEMBRAAN)

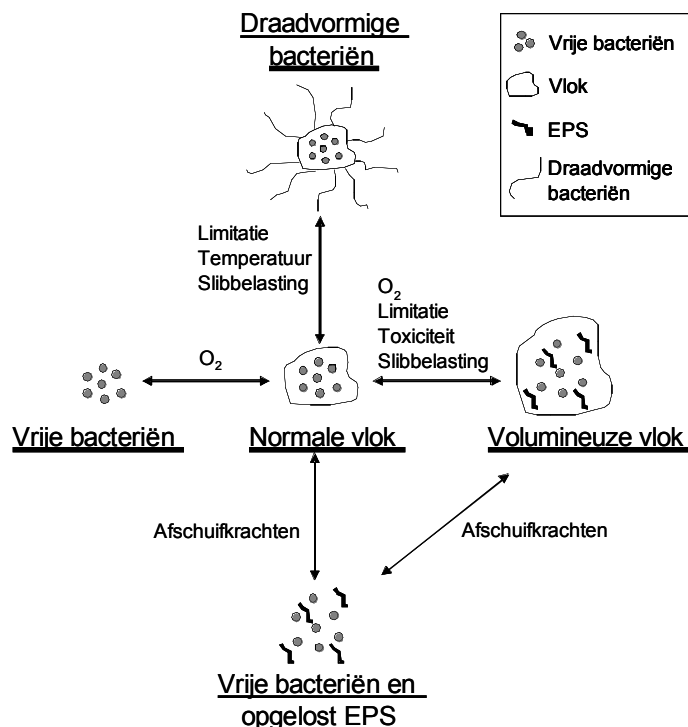
De toegepaste flux bepaalt het transport van deeltjes naar het membraan en speelt dus een grote rol in de mate van vervuiling. Daarnaast speelt het toegepaste reinigingsregime een rol bij het beheersen van membraanvervuiling. De verschillende reinigingsregimes worden in de volgende paragraaf (2.4.5) meer uitgebreid besproken.

PROCESCONDITIES (BIOLOGIE)

De hydraulische verblijftijd en sibleeftijd zijn belangrijke biologische procesparameters voor het goed functioneren van een zuivering en dus ook een MBR. Deze parameters kunnen niet gezien worden als een directe oorzaak van membraanvervuiling, maar hebben wel invloed op parameters die wel direct invloed kunnen hebben op membraanvervuiling, zoals de slibconcentratie en grootte van de slibvlokken. De grootte van de slibvlokken wordt ook bepaald door de zuurstofconcentratie in het slib. Bij een tekort aan zuurstof kunnen de vlokken uiteenvallen in kleinere deeltjes wat een negatieve invloed kan hebben op de filtreerbaarheid van het slib. De interactie tussen verschillende procesparameters en de slibkwaliteit is weergegeven in Figuur 8.

FIGUUR 8

OVERZICHT VAN HET EFFECT VAN VERSCHILLENDE PROCESPARAMETERS OP DE GROEVORM VAN BACTERIËN IN ACTIEF SLIB
(AANGEPAST UIT STOWA, 2002 – 11B)



SLIBKWALITEIT

De slibconcentratie speelt een belangrijke rol in de mate van vervuiling van de membranen. Bij een hogere slibconcentratie is er meer materiaal aanwezig dat naar het membraan wordt getransporteerd wat resulteert in een dikkere koeklaag en dus een hogere filtratieweerstand. Echter de koeklaag vormt een extra filtratielaag waarin kleine deeltjes kunnen worden afgevangen die anders eventueel het membraan kunnen verstoppen. De koeklaag kan dus ook gezien worden als een beschermingslaag voor het membraan. De slibconcentratie beïnvloedt ook de zuurstofvraag. Bij een toenemend slibgehalte zal de zuurstofvraag toenemen. Een belangrijke parameter die daarbij wordt gebruikt is de alfa factor. Meer details over de alfa factor zijn al besproken in paragraaf 2.3.3.

Bij een toenemende slibconcentratie neemt ook de viscositeit van het slibmengsel toe. De viscositeit van het slib heeft invloed op de grootte van de luchtbellen en het bewegen van de membranen in geval van holle vezels. Zowel de grootte van de luchtbellen als het bewegen van de holle vezels zijn belangrijke parameters voor het beheersen van membraanvervuiling.

Een andere parameter die van invloed is op de viscositeit van zowel het slib als het water is de temperatuur. Bij een dalende temperatuur neemt de viscositeit van het slib en water (is permeaat) toe. Dit betekent voor de permeabiliteit van het membraan dat deze afneemt bij lagere temperaturen.

Een parameter die vaak wordt genoemd in relatie met membraanvervuiling is de concentratie van opgeloste stoffen in het slibwatermengsel. Veel gebruikte termen hiervoor zijn EPS (extracellular polymeric substances) en SMP (soluble microbial products).

Deze twee afkortingen worden veelvuldig door elkaar gebruikt, en daarbij is er tot op heden nog geen eenduidig verband aangetoond tussen de aanwezigheid van deze stoffen en de membraanprestatie.

AFVALWATERSAMENSTELLING (HUISHOUDELIJK)

De samenstelling van het afvalwater speelt waarschijnlijk niet direct een rol bij membraanvervuiling, omdat het niet direct in contact staat met het membraan. Echter het beïnvloedt wel direct de slibsamenstelling en daarmee de filtreerbaarheid van het slibwatermengsel. Daarnaast is het moeilijk vast te stellen welke delen van het afvalwater of het slib verantwoordelijk zijn voor eventuele vervuiling van het membraan.

Belangrijk hierbij is nog wel dat het afvalwater een goede voorbehandeling heeft gehad om vervuiling van de modules tegen te gaan.

Daarbij is het voor het goed functioneren van een MBR van belang de risico's voor onverwachte lozingen te beperken. Dit is van groter belang bij het bedrijven van een MBR dan voor het bedrijven van een conventionele installatie, omdat voornamelijk de membranen gevoelig zijn voor bijvoorbeeld chemische componenten en onherstelbaar beschadigd kunnen raken. Bij de MBR in Varsseveld zorgde de lozing van een kaasafdekmiddel voor verkleefing van de membranen en daarmee een daling in de permeabiliteit van de membranen (STOWA, 2006 – 5).

HYDRODYNAMISCHE OMSTANDIGHEDEN

De hydrodynamische omstandigheden zijn de toegepaste afschuifkrachten door middel van aeratie in geval van ondergedompelde membranen of langsstroomsnelheid in het geval van externe tubulaire membranen. Deze afschuifkrachten wordt toegepast om de filtratieweerstand door cake-laag vorming te beheersen. Belangrijk hierbij is dat de toegepaste afschuif-

krachten niet te hoog zijn waardoor slibvlokken kunnen opbreken en vervuiling van de membranen kunnen bevorderen.

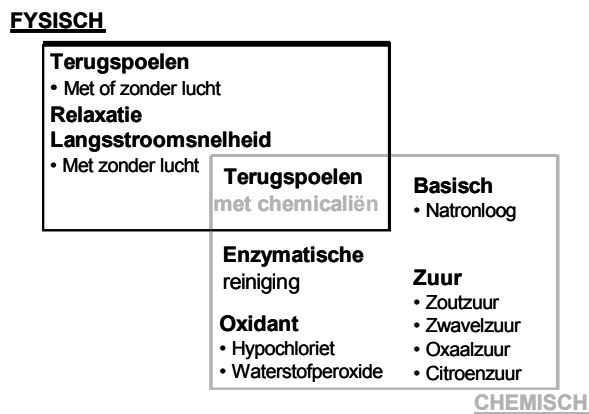
2.4.5 REINIGING

Vervuiling van membranen kan nooit worden voorkomen, maar kan wel op verschillende manieren worden beheerst. Ten eerste is dat een goede voorbehandeling zoals besproken in paragraaf 2.2, het toepassen van voldoende afschuifkrachten door aeratie of langstroomsnelheid tijdens permeaatproductie en het regelmatig reinigen van membranen. Het reinigen van membranen kan door middel van fysische en chemische reinigingsmethoden. De meest gebruikte fysische en chemische reinigingsmethoden zijn weergegeven in Figuur 9.

De belangrijkste parameters voor een reiniging zijn de frequentie en duur van een reiniging, omdat deze van invloed zijn op de permeaatproductie. Fysische reinigingsmethoden zoals relaxatie (is stop zetten permeaatontrekking) en terugspoelen worden frequent, maar kort toegepast. Hierbij kan gedacht worden aan enkele keren per uur na een bepaalde productieperiode. Fysische reiniging wordt voornamelijk toegepast voor het verwijderen van reversibele vervuiling.

FIGUUR 9

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN BESCHIKBARE MEMBRAAN REINIGINGSMETHODIEKEN IN EEN MBR (DEELS GEBASEERD OP JUDD ET AL., 2006)



In de praktijk worden voor intern geplaatste membranen productietijden van 8 – 15 minuten aangehouden en 1 – 2 minuten relaxatie eventueel ondersteund met een ‘backflush’. Bij het toepassen van een backflush speelt nog de flux van de backflush een rol, vaak wordt die 2-3 x hoger genomen dan de productieflex. Het terugspoelen van membranen kan worden toegepast bij extern en intern geplaatste membranen, met uitzondering van de vlakke platen membranen.

Reinigingen met chemicaliën worden minder frequent toegepast, vanwege de kosten van de chemicaliën en de milieubelasting. Daarnaast kan het frequent toepassen van chemische reinigingen negatieve invloed hebben op de membraanleeftijd. Er kunnen drie type chemische reinigingen worden onderscheiden:

- Terugspoelen met chemicaliën (kort, dagelijks);
- Onderhoudsreiniging (30 – 60 minuten lage chemicaliën concentratie, wekelijks);
- Intensieve reiniging (enkele uren, hoge chemicaliën concentratie, 1-2 x per jaar).

Naast de frequentie en duur van een chemische reiniging kan er voor worden gekozen de reiniging in een volle tank of lege tank plaats te laten vinden. Dit geldt alleen voor intern geplaatste holle vezel modules, modules met platen kunnen niet in een lege tank worden gereinigd. Voor de chemische reiniging wordt voornamelijk hypochloriet gebruikt voor het verwijderen van organisch materiaal, daarnaast kan een zure oplossing worden gebruikt voor het verwijderen van 'scaling'.

2.4.6 CONTROLE VAN MEMBRAANVERVUILING

Naast een goede voorbehandeling en reinigingsmethodiek kan ook nog op andere manieren membraanvervuiling worden beheerst. De meest voor de hand liggende manier is het verlagen van de flux.

Door het verlagen van de flux worden er minder deeltjes naar het membraan getransporteerd, waardoor de filtratieweerstand door concentratie polarisatie zal afnemen net als de kans op vervuiling van het membraan (zie ook paragraaf 2.4.4). Nadeel van het toepassen van een lagere flux is een stijging in investeringskosten door het installeren van meer membraanoppervlak.

Daarnaast kan ook de aeratie snelheid bij intern geplaatste membranen worden verhoogd of de langstroomsnelheid bij extern geplaatste membranen. Het gevolg is in beide gevallen een stijging in de energievraag.

Verder zijn er ook ontwikkelingen op het gebied van het kunstmatig aanpassen van de slibsaamenstelling. Hierbij wordt vooral gekeken naar het afvangen van kleiner colloïdaal materiaal. Colloïdaal materiaal wordt vaak gezien als de belangrijkste fractie van het slib/watermengsel dat bijdraagt aan membraanvervuiling. Beschikbare middelen die gebruikt worden om deze fractie af te vangen zijn ijzer of aluminiumzouten, actieve kool of commerciële polymeren. De werking van deze middelen om colloïdaal materiaal te verwijderen in een MBR is nog niet eenduidig aangetoond.

2.5 PERMEAATKWALITEIT

Door het toepassen van een MBR kan ten opzichte van een RWZI een hogere verwijdering worden verkregen van zwevende stof en microbiële verontreinigingen. Door een hogere verwijdering van zwevende stof kan ook een hogere verwijdering van daaraan geadsorbeerde zware metalen of microverontreinigingen worden verkregen. Door het toepassen van een zandfilter kan een vergelijkbaar verwijderingsrendement worden verkregen op zware metalen en microverontreinigingen (STOWA, 2004 – 28). Een belangrijk voordeel van het toepassen van een MBR in het kader van bijvoorbeeld de zwemwaterrichtlijn is het bijna volledig verwijderen van E.Coli.

Daarnaast zal in de toekomst in het kader van de KRW gekeken worden naar de verwijdering van enkele prioritaire stoffen zoals PAK's, hormoonverstorende stoffen en sommige medicijnresten.

Door het gebruik van hypochloriet als reinigingsmiddel bestaat er de kans op de vorming van gechloreerde organische verbindingen. Tijdens het onderzoek bij de MBR Varsseveld zijn hier metingen naar verricht en blijkt dat het voorkomen van deze stoffen beperkt is, maar dat meer metingen gewenst zijn (STOWA, 2006 – 06)

3

MBR IN PRAKTIJK

3.1 MBR INSTALLATIES WERELDWIJD

Membraanbioreactoren hebben - anders dan men doet vermoeden - een lange historie. Membraanfiltratie als vervanging van het bezinkproces is al beschreven in de jaren 60. Het eerste commerciële proces werd ontwikkeld door Dorr-Oliver Inc en in de 70-er jaren op beperkte schaal toegepast in Noord-Amerika. Rond deze tijd werd ook een licentie overeengekomen tussen Dorr-Oliver en Sanki Engineering. Vanaf deze tijd heeft de MBR-technologie in Japan een grote vlucht genomen, voornamelijk voor kleinschalige toepassingen op huishoudelijk afvalwater (de zogenaamde “night soil treatment”). In de jaren tachtig werd verder onderzoek gedaan naar de biologische processen en optimalisatie van de membranen. Hierbij lag de nadruk het ontwikkelen van een zeer compacte technologie. Eind jaren '80 - begin jaren '90 is de MBR-technologie overgewaaid naar Europa. Hier werd de MBR voornamelijk toegepast bij stortplaatsen en industrieën (Van Houten, 2007).

Communale MBR-technologie heeft zich de laatste tien jaren met enorme sprongen ontwikkeld. Met name de ondergedompelde variant heeft een groot marktaandeel bereikt. De duizendste Kubota MBR-installatie werd in mei 2003 geïnstalleerd. Markleider Zenon (in termen van capaciteit op de gehele wereld) heeft zijn capaciteit uitgebreid van 1000 m³/dag in 1993 naar 1,5 miljoen m³/dag in 2004 (GWRC, State of the science report, 2005). Momenteel zijn wereldwijd al meer dan enkele duizenden MBR-installaties operationeel. Het overgrote deel - in aantal - is gerealiseerd in Azië, vooral in Japan. De nadruk ligt bij deze installaties op kleinschalige/on-site zuivering. In Europa zijn op dit moment al enkele honderden MBR-installaties in bedrijf, waarvan het merendeel industrieel afvalwater en grondwater/percolaatwaterzuivering behandelt. Europa telt ongeveer honderd MBR-installaties voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater (Van Houten, 2007).

De toepassing van membraanbiotechnologie in de waterbehandeling neemt sterk toe. De markt groeit exponentieel. Vertegenwoordigde de wereldmarkt in 1995 nog een waarde van 10 miljoen USdollar; in 2005 bedroeg deze 217 miljoen USdollar. Ten opzichte van het jaar 2000 was dit een verdubbeling. Economen verwachten in 2010 zelfs een toename naar 360 miljoen USdollar (EUROMBRA, 2006). In het afgelopen decennium is voornamelijk de prijs per m² membraanoppervlak drastisch omlaag gegaan. Het einde van deze prijsdaling is nog niet in zicht. Doordat steeds meer MBR's worden gebouwd, daalt de prijs nog verder. Bovendien verminderen ook de kosten voor membraanvervanging. De leveranciers krijgen steeds meer ervaring met hun eigen systeem waardoor ze over het algemeen een meer betrouwbare en vooral langere levensduur van de membranen kunnen garanderen. Verder is in de afgelopen jaren een stormachtige ontwikkeling opgetreden in de optimalisatie van het module-ontwerp. Hierdoor is het energieverbruik per m³ gezuiverd afvalwater sterk afgenomen. Momenteel is de MBR voor een aantal toepassingen al concurrerend met de conventionele RWZI. Dit geldt voor toepassing waarbij een zwemwaterkwaliteit moet worden gehaald of hergebruik van het effluent wordt toegepast. Gezien de toekomstige effluenteisen zal dit alleen maar gunstiger worden (Van Houten, 2007).

MBR-technologie is in de praktijk mede ontwikkeld door middel van pilot- en praktijkonderzoek. In dit hoofdstuk wordt daarom verder ingegaan op de ervaringen van een aantal praktijkinstallaties. In paragraaf 3.2 wordt globaal ingegaan op de MBR-ervaringen in Duitsland, waar in Nederland lering uit getrokken is.

Daarna wordt in de paragrafen 3.3, 3.4 en 3.5 specifieker ingegaan op drie praktijkinstallaties in Nederland: Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum. In paragraaf 3.3 worden de praktijkinstallaties kort beschreven, paragraaf 3.4 gaat in op de membraanunits en in paragraaf 3.5 worden de ervaringsfeiten van deze drie installaties samengevat. Tenslotte wordt in paragraaf 3.6 ingegaan op het nut en de noodzaak van toekomstig MBR-pilotonderzoek.

3.2 ERVARINGEN VANUIT GROOT BRITANNIË EN DUITSLAND

De eerste communale MBR-installaties zijn gebouwd in Groot-Brittannië en wel in Kingston (1996, 5 m³/h) en Porlock (1998, 80 m³/h). In het VK werden deze MBR's voornamelijk toegepast om organische verbindingen en onopgeloste stoffen te verwijderen en gedesinfecteerd effluent te verkrijgen. De lozings-eisen waren zeer soepel en gebaseerd op de Europese Norm voor niet-gevoelig oppervlaktewater wat inhield dat BZV verwijderd moest worden tot 25 mg/l en drogestof tot 30 mg/l. Er golden vaak geen stikstof- of fosfaateisen. In Nederland stond de MBR met name in de belangstelling wegens de mogelijkheid om vergaand nutriënten en onopgeloste stoffen te verwijderen. In sommige gevallen zelfs tot stikstof- en fosfaat-eisen van respectievelijk 2,2 mg/l en 0,15 mg/l in de zomer (STOWA, 2004-W02).

Vergaande effluentkwaliteit, en daaraan gekoppeld het biologische proces speelt in Nederland dus een veel grotere rol dan in Groot-Brittannië. Om het proces in de hand te houden spelen in Nederland nitraat-, ammonium- en zuurstofmetingen een veel grotere rol. Ook kennis op het gebied van anoxische compartimenten, beluchtingsregeling, recirculaties, procescontrole en beïnvloeding van de slibvolume-index moest verder ontwikkeld worden in pilotonderzoeken (STOWA, 2004-W02). De noodzaak om het MBR proces robuust, energiezuinig en met acceptabele kosten in te richten waren hierin de belangrijkste drijvende krachten.

Voor het opzetten van de Nederlandse pilotonderzoeken in Beverwijk en Maasbommel is daarom meer gebruik gemaakt van de ervaring in Duitsland, aangezien de Duitse effluentvereisten meer overeen kwamen met de Nederlandse situatie. In 1999 werd op de RWZI Rödingen van het Duitse Erftverband een MBR-installatie van 3.000 v.e. in gebruik genomen. De ervaring van Rödingen is door het Erft Verband vervolgens gebruikt in de MBR Nordkanal (Kaarst). In 2008 is van dezelfde organisatie een MBR-installatie in Glessen recent in bedrijf genomen. Het Erft Verband is met name bekend geworden omdat zij de eerste MBR-installatie in Duitsland heeft gebouwd. Daarnaast zijn er echter nog vele andere organisaties zoals gemeentes en het Agger-, het Eifel Rur en het Zeulenrodeverband die MBR-installaties hebben gebouwd of gaan bouwen in Duitsland (Tabel 5).

TABEL 5 MBR INSTALLATIES IN DUITSLAND (ANNO 2008)

RWZI	v.e.	Bouwjaar	Systeem	Eigenaar
Rödingen	3.000	1999	Zenon	Erftverband
Markranstädt	12.000	2000	Zenon	Gemeente Leipzig
Büchel/Bickenbach	1.000	2000	Kubota	Aggerverband
Knautnaundorf	900	2001	Huber/VRM	Gemeente Leipzig
Altenberge	1.000	2001	Huber/VRM	Gemeente Altenberge
Simmerath	750	2003	Puron	Eifel Rur
Monheim	9.700	2004	Zenon	Gemeente Monheim
Nordkanal (Kaarst)	80.000	2004	Zenon	Erftverband
Waldmössing	18.000	2004	Zenon	Gemeente Schermbeck
Seelscheid	11.000	2004	Kubota	Agger Verband
Konzen	9.200	In aanbouw	Kubota	Eifel Rur
Rurberg-Woffelsbach	6.500	In aanbouw	Kubota	Eifel Rur
Merkendorf	250	In aanbouw		Zeulenrode Verband
Glessen	9.500	2008	Zenon	Erftverband

Als voorbeeld worden de ontwerpparameters van de twee MBR-installaties van het Erftverband nader bekeken. Het meest opvallende verschil qua procesconfiguratie is dat bij de RWZI Rödingen de membraanunits in een aparte tank zijn geplaatst, terwijl bij de RWZI Nordkanal de membraanunits zijn geïntegreerd in het biologische systeem. Voor de overige verschillen zie Tabel 6. Tevens is in deze tabel in de laatste kolom weergegeven welke waarden het Erftverband in de nieuwe ontwerpen aanhoudt voor de verschillende parameters.

TABEL 6 VERGELIJKING MBR RÖDINGEN EN NORDKANAL INCLUSIEF ONTWERPAANBEVELINGEN ERFTVERBAND

	Eenheid	MBR Rödingen	MBR Nordkanal	Ontwerpaanbeveling Erftverband
Aantal v.e.'s	v.e.	3.000	80.000	
Maximale aanvoer	m ³ /h	135	1.881	
	m ³ /d	3.240	45.000	
Voorbehandeling		Rooster 3 mm	Zeeftrommel 1,0 mm	Rooster 3-6 mm i.c.m. zeeftrommel 0,5-1,0 mm
Hydraulische verblijftijd bij RWA	h	Circa 3,6	Circa 5,0	≥ 4,0
Slibbelasting	kg BZV/kg ds.d	0,03	0,05	0,03-0,05
N-verwijdering		Intermitterend / Voordenitrificatie	Voordenitrificatie	Intermitterend/ Voordenitrificatie
MLSS	g/l	12-18	12	12
Type membraan		ZeeWeed 500 c	Zeeweed 500c	
Max ontwerpflux	l/(m ² .h)	1999: 31,0 2003: 26,0	23,4	< 25
Gemiddelde ontwerpflux	l/(m ² .h)	1999: 7,8 2003: 4,4	Circa 7,7	< 10
Drukval TMD	(m)	1999: 1-6 2003: 1-4	1-5	0,5-4
Reiniging membranen		H ₂ O ₂ , NaOCl, zuur	H ₂ O ₂ , NaOCl, zuur	H ₂ O ₂ , NaOCl, zuur

Belangrijkste verandering die het Erftverband heeft doorgevoerd na de opstart van de MBR Rödingen is het plaatsen van een extra zeeftrommel van 0,5 mm. Dit in verband met de grote mate van vervuiling van de membranen met een 3 mm rooster.

Op basis van de ervaringen uit Duitsland en andere buitenlandse installaties is men in Nederland aan de slag gegaan met pilotonderzoek op de RWZI's Beverwijk en Maasbommel.

Uiteraard ging er veel aandacht uit naar de dimensioneringsgrondslagen van de biologie en de membranen. Verschillende type membranen zijn uitgebreid getest, waarbij de optredende membraanvervuiling net zoals in Duitsland een belangrijk aspect was. Het onderzoek richtte zich verder op (STOWA, 2002):

- een juiste voorbehandeling met roosters en zeven om membraanvervuiling zo veel mogelijk tegen te gaan;
- het uiteenrafelen van de oorzaken van membraanvervuiling en het vinden van oplossingen hiervoor in de vorm van verschillende schoonmaaktechnieken;
- de finesses van de beluchting (voornamelijk de optredende alfafactor);
- de te behalen effluentkwaliteit;
- de slibbehandeling;
- optimalisatie membraanbeluchting.

Ondertussen is opgeschaald naar grotere MBR's in Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum. In de volgende paragraaf wordt verder ingegaan op deze drie praktijkinstallaties.

3.3 BEKNOPT BESCHRIJVING PRAKTIJKINSTALLATIES

3.3.1 INLEIDING

De fullscale MBR van de RWZI Varsseveld, welke een hydraulische capaciteit heeft van 755 m³/h behandeld onder alle omstandigheden het complete influent met holle vezel membranen (Zenon). Deze installatie werd eind 2004 in bedrijf genomen en functioneert over het algemeen goed. Op RWZI Heenvliet is de MBR-installatie met plaatmembranen (Toray) en een capaciteit van 100 m³/h, geïntegreerd in een conventioneel systeem. Deze hybride configuratie zuivert het afvalwater sinds de opstart in maart 2006 zoveel mogelijk met behulp van de MBR. Bij verhoogde aanvoer door regenwater wordt het overtollige effluent echter via de nabezinktanks afgevoerd. Op de RWZI Ootmarsum is ook een hybride MBR gerealiseerd. Hier zijn tubulaire (side stream) membranen (Norit MT) geïnstalleerd. Bij regenweeraanvoer gaat maximaal 150 m³/h door de MBR-installatie en 500 m³/h door de conventionele zuivering. Bij droogweer wordt de aanvoer gelijk verdeeld (50%/50%) tussen de conventionele installatie en de MBR, het maximale debiet over de MBR bedraagt dan 75 m³/h. MBR Ootmarsum is sinds begin 2008 in bedrijf.

In Tabel 7 en Tabel 8 zijn de belangrijkste ontwerpuitgangspunten van de drie installaties weergegeven.

TABEL 7 ONTWERPGEGEVENS

	Eenheid	Varsseveld	Heenvliet	Ootmarsum*
Inwonerequivalenten	i.e. 54g BZV	23.150	10.000***	14.000***
DWA	m ³ /h	250-300	100	150
RWA	m ³ /h	755	390	650
Dagaanvoer	m ³ /d	5.000	1.200**	2.600**
CZV	kg/d	3.000	745	1.900
BZV	kg/d	1.250	285	760
Nkj	kg/d	280	93	150
Ptotaal	kg/d	50	18	24

* Bij droog weer gaat er 50% van het water door de MBR-installatie en 50% door de conventionele zuivering.
Als het regent gaat er maximaal 150 m³/h door de MBR- installatie en 500 m³/h door de conventionele zuivering

** DWA dagaanvoer

*** Hybride systemen

TABEL 8 EFFLUENTGEGEVENS

	Eenheid	Varsseveld	Heenvliet	Ootmarsum
CZV*	mg/l	≤ 100*		
BZV*	mg/l	≤ 10*		≤ 5** (streefwaarde ≤ 2**)
Ntotaal**	mg/l	≤ 10** (streefwaarde ≤ 5 ****)	Streefwaarde ≤ 5 (NH ₄ -streefwaarde zomer ≤ 1mg/l)	≤ 10** (streefwaarde ≤ 4**)
Ptotaal***	mg/l	≤ 1*** (streefwaarde ≤ 0,15 ****)	Streefwaarde ≤ 0,3	≤ 1** (streefwaarde ≤ 0,15**)
SS*	mg/l	≤ 10* (streefwaarde ≤ 5 ****)		≤ 5** (streefwaarde ≤ 2**)

* daggemiddelde concentratie

** jaargemiddelde concentratie van volumeproportionele etmaalmonsters

*** gemiddelde concentratie van 10 opeenvolgende volumeproportionele etmaalmonsters

**** 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

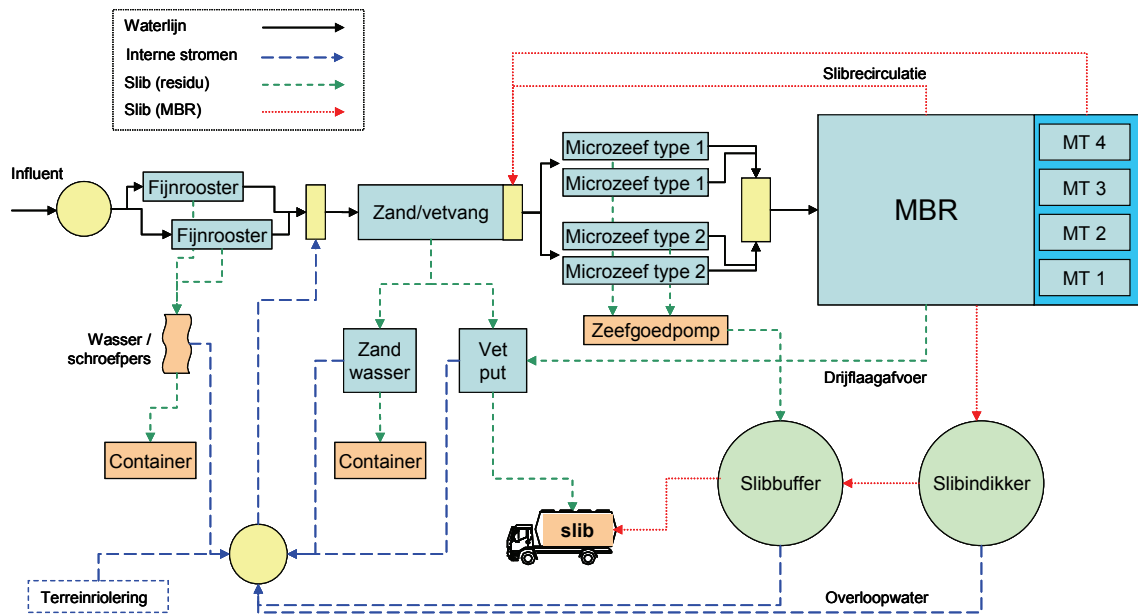
De processchema's van de MBR Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum worden verder toegelicht in respectievelijk paragraaf 3.3.2 en 3.3.3 en 3.3.4.

3.3.2 VARSSEVELD

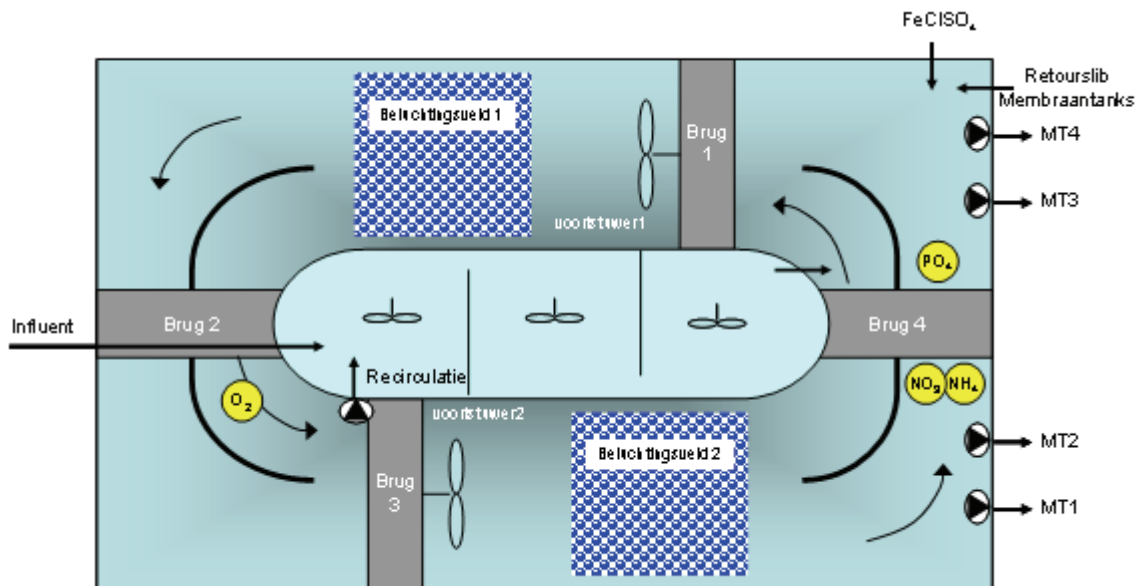
De MBR Varsseveld van Waterschap Rijn en IJssel is sinds eind 2004 in bedrijf. Hoewel er uiteraard wat problemen op te lossen waren, is de werking van de installatie tot nu toe goed. Het proces functioneert stabiel en de bedrijfsvoerders beheersen het proces goed.

Het processchema van de MBR Varsseveld is weergegeven in Figuur 10. Een schematische weergave van de beluchtingstank van MBR Varsseveld is weergegeven in Figuur 11.

FIGUUR 10 PROCESSHEMA MBR VARSEVELD



FIGUUR 11 SCHEMATISCHE WEERGAVE BELUCHTINGSTANK MBR VARSEVELD



De voorbehandeling van het afvalwater begint met een fijnrooster met een spleetwijdte van 6 mm. Vervolgens wordt het afvalwater door een beluchte zand- en vetvang geleid en door microzeven met een perforatie van 0,8 mm. Om het actief slib schoon te houden vindt een continue recirculatie van slib over de microzeven plaats. De drijfslaagafvoer bestaat uit een halve statische trommel van waaruit de drijfslaag in een drijfslaagopvangbak wordt geborsteld. De beluchtingstank is uitgevoerd als een omloopsysteem met een voordenenitrificatie-ruimte. De aanvoer van het afvalwater is in het eerste compartiment van de voor-denitrificatieruimte, welke is uitgevoerd als propstroomsysteem. Vanuit de voor-denitrificatieruimte stroomt het water/slibmengsel naar de beluchtingstank.

Vanuit het omloopsysteem vindt een recirculatie plaats naar de voordennitrificatietank. Ten behoeve van de chemische fosfaatverwijdering is een ijzerzoutdosering mogelijk in de toevoer naar de voordennitrificatietank of in het omloopsysteem.

Vanuit het omloopsysteem wordt het slib/watermengsel via vier membraantoevoer-pompen naar de vier membraantanks gepompt. Het slib/water mengsel uit de membraantanks wordt via een overloopgoot naar het omloopsysteem teruggevoerd. Het spuislib van de RWZI Varsveld wordt gravitair ingedikt en per as afgevoerd naar de RWZI Lichtenvoorde.

Het ontwerp van de membraantanks wordt nader toegelicht in paragraaf 3.4.1.

3.3.3 HEENVLIET

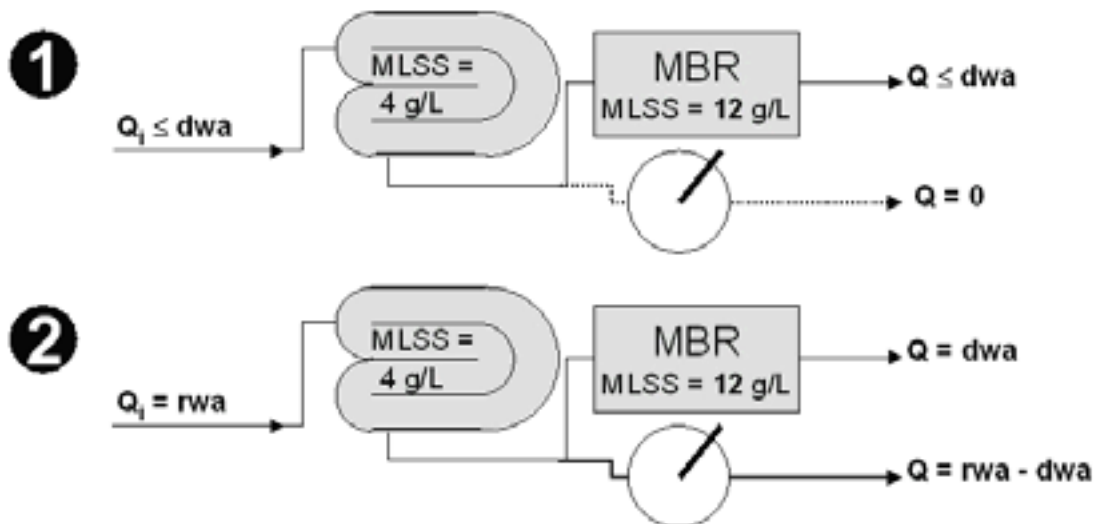
Waterschap Hollandse Delta heeft in maart 2006 op rwzi Heenvliet de eerste hybride-MBR in Nederland in gebruik genomen. In de installatie vormen de conventionele actiefslibtank en de MBR-biologie één systeem. Hierbij wordt zo veel mogelijk water via de membranen afgevoerd en zo weinig mogelijk water via de conventionele nabezinktank.

De MBR-installatie is dus naast de bestaande installatie geplaatst. De twee systemen kunnen zowel in serie als parallel worden geschakeld. "Seriebedrijf" houdt in dat de MBR en de conventionele installatie achter elkaar bedreven kunnen worden, en daardoor één gezamenlijk slibsysteem hebben. Bij een hoge aanvoer wordt een deel van het water direct geloosd via de nabezinktank van de conventionele zuivering. Ook kan gekozen worden om de beide systemen parallel te laten functioneren waarbij deze als twee op zichzelf staande eenheden functioneren.

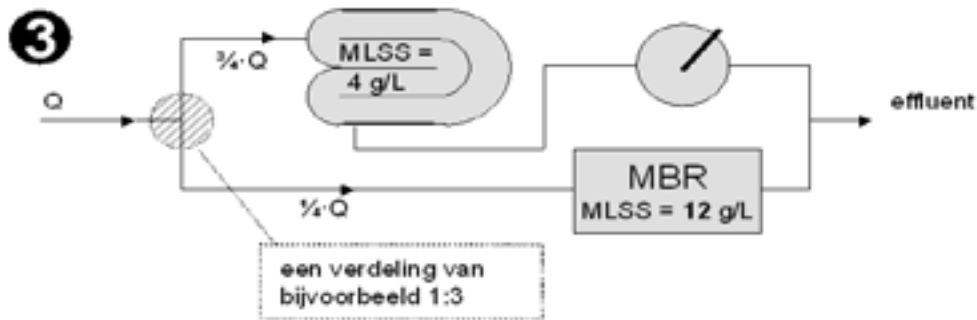
Het processchema van MBR Heenvliet in serie- en parallelbedrijf is weergegeven in Figuur 12 en Figuur 13.

FIGUUR 12

PROCESSHEMA HEENVLIET IN SERIEBEDRIJF

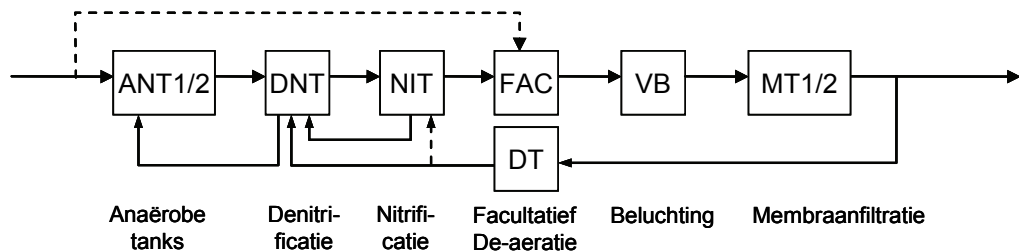


FIGUUR 13 PROCESSHEMA HEENVLIET IN PARALLELBEDRIJF



In de bestaande rwzi Heenvliet is een kettingrooster met een spleetwijdte van 6 mm opgenomen. Daarnaast is voor de MBR een perforatierooster van 3 mm geplaatst. Er is geen vet- of zandvang. De opbouw van de MBR is gebaseerd op het Hoogvlietsysteem met een aanvullende bypass van influent naar de laatste beluchte fase (zie Figuur 14 opbouw MBR Heenvliet)

FIGUUR 14 OPBOUW MBR HEENVLIET



Er is voorzien in een aanvullende chemische fosfaatverwijdering.

Het ontwerp van de membraantanks wordt nader toegelicht in paragraaf 3.4.2

3.3.4 OOTMARSUM

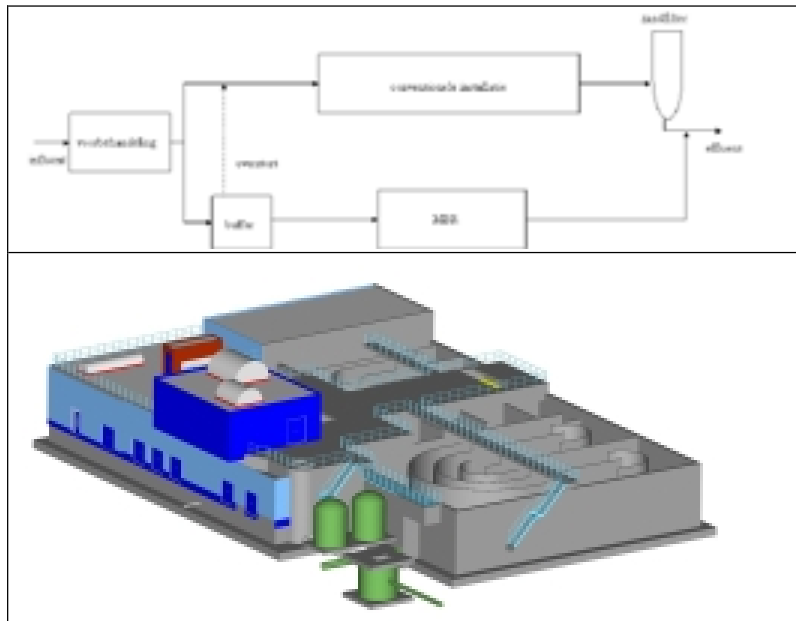
Op de rwzi Ootmarsum van het Waterschap Regge en Dinkel is een hybride MBR installatie gebouwd waarbij, anders dan in Varsseveld en Heenvliet, de membranen niet zijn ondergedompeld, maar droog opgesteld staan in een procesgebouw. De installatie is eind 2007 opgestart.

In het hybride-systeem wordt een conventionele installatie met nageschakeld zandfilter parallel bedreven aan een MBR. Voor de MBR is een buffertank gerealiseerd voor de opvang van piekaanvoer.

Het hybride systeem van de MBR Ootmarsum is schematisch weergegeven in Figuur 15.

FIGUUR 15

SCHEMATISCHE WEERGAVE HYBRIDE SYSTEEM VAN DE MBR OOTMARSUM

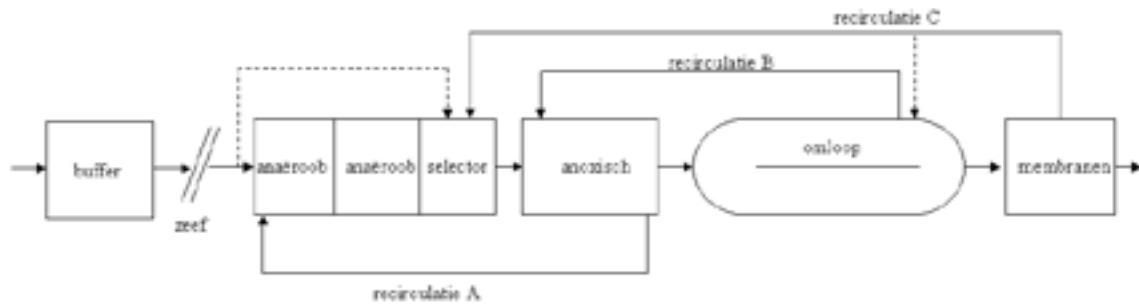


Het influent stroomt vanaf het influentgemaal onder vrijverval naar de roostergoedinstallatie en de zandvanginstallatie. Na de zandvanginstallatie wordt het afvalwater bij gelijk verdeeld (50%: 50%) over de conventionele installatie en de MBR. Bij droogweeraanvoer ($150 \text{ m}^3/\text{h}$) gaat maximaal $75 \text{ m}^3/\text{h}$ naar de MBR installatie. De maximale capaciteit van de MBR is $150 \text{ m}^3/\text{h}$.

Het voorbehandelde afvalwater dat door de MBR wordt gezuiverd, stroomt onder vrijverval naar de bufferbezinktank. Vanuit de bufferbezinktank wordt het afvalwater opgepompt naar een fijne zeef ($0,8 \text{ mm}$), waarna het onder vrijverval naar de MBR stroomt. De MBR is hydraulisch beperkt. Het maximum debiet bedraagt $150 \text{ m}^3/\text{h}$ (maximale capaciteit membranen), waardoor bij maximale aanvoer naar de MBR ($RWA = 325 \text{ m}^3/\text{h}$) het volledige debiet niet door de MBR kan worden behandeld. Het afvalwater dat niet direct kan worden behandeld, wordt opgeslagen en 'voorbezonden' in de bufferbezinktank. Het niveau in de bufferbezinktank neemt hierdoor toe. Bij langdurige RWA is de opslagcapaciteit van de bufferbezinktank echter onvoldoende, waardoor de bufferbezinktank overstort. Het 'voorbezonden' water dat overstort wordt afgevoerd naar de anoxische tank van de conventionele installatie. De conventionele installatie wordt hierdoor biologisch en hydraulisch extra belast. De extra biologische belasting naar de conventionele installatie wordt beperkt, doordat de bufferbezinktank tevens als bezinktank functioneert. Het geconcentreerde afvalwater (bezinksel) vanonder uit de bufferbezinktank wordt verwerkt in de MBR.

In de MBR vinden in separate ruimten verschillende deelprocessen plaats. De configuratie van de MBR komt sterk overeen met de configuratie van de conventionele installatie en is weergegeven in Figuur 16.

FIGUUR 16 SCHEMATISCHE WEERGAVE MBR INCLUSIEF BUFFERBEZINKTANK



Het afvalwater dat vanuit de bufferbezinktank wordt opgepompt naar de MBR stroomt via de zeef onder vrijerval naar de anaërobe tank van de MBR. In de anaërobe tank wordt het afvalwater opgemengd met een recirculatiestroom met zuurstofloos (nitraatarm) actief slib uit de anoxische tank. Het actief slib doorstroomt dan onder vrijerval achtereenvolgens de (anoxische) selector, de anoxische tank en het omloopcircuit. Een nitraathoudend actief slib wordt vanuit het omloopcircuit gerecirculeerd naar de anoxische tank.

Het actief slib wordt vervolgens gescheiden door middel van membraanfiltratie. Hiervoor wordt het vanuit het omloopcircuit naar de membranen gepompt. Vanuit de membranen stroomt het (ingedikte) actief slib terug naar de installatie, waarbij het wordt verdeeld over de selector en het omloopcircuit.

Het ontwerp van de membraantanks wordt nader toegelicht in paragraaf 3.4.3.

3.4 MEMBRAANUNITS

3.4.1 VARSSEVELD

De membranen van de rwzi Varsseveld zijn volledig ondergedompeld en geleverd door de firma Zenon en zijn van het type ZW500d. Dit zijn verticaal geplaatste capillaire membranen met een poriegrootte van $0,035 \mu\text{m}$ (zie Figuur 17).

FIGUUR 17 MEMBRANEN MBR VARSSEVELD (MEMBRANEN: ZENON)



De MBR Varsseveld heeft vier membraanstraten die elk maximaal 250 m³/h kunnen verwerken. Indien één membraanstraat uit bedrijf is kunnen de andere drie tanks de ontwerpcapaciteit van 755 m³/h aan. De gemiddelde aanvoer van de rwzi Varsseveld is circa 175 m³/h en varieert over een dag van 0 tot 350 m³/h. Indien de aanvoer van de rwzi groter is dan 300 - 400 m³/h zijn alle membraantanks in bedrijf. De membraantanks die in bedrijf zijn en permeaat produceren bevinden zich in de zogenaamde procesmode. Op een droge dag zullen echter gemiddeld slechts circa twee van de vier membraantanks in bedrijf zijn. De andere twee membraantanks zijn niet actief en verkeren in de zogenaamde paraatmode. In deze toestand wordt geen permeaat onttrokken maar vindt wel slibrecirculatie en beluchting plaats.

De dimensioneringsgrondslagen van de membraaninstallatie zijn:

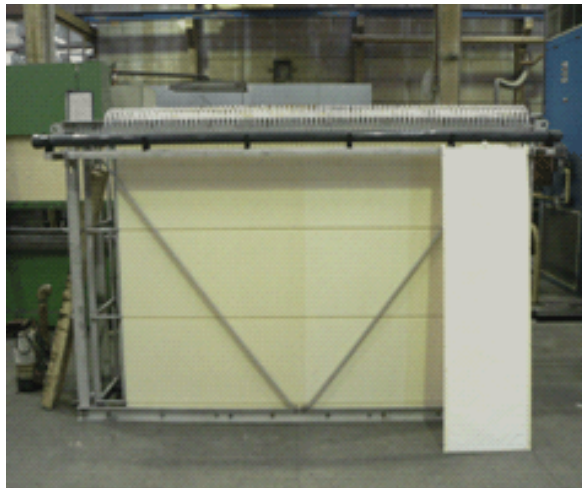
• Netto ontwerpflux bij RWA	37,5 l/m ² .h
• TMP	50-150 mbar (max 600 mbar)
• Totaal oppervlak	20.160 m ²
• Aantal cassettes	16
• Aantal elementen per cassette	40
• Aantal cassettes per membraantank	4
• Membraanbeluchting:	9.000 Nm ³ /h met buizen van 2,8 m diep

3.4.2 HEENVLIET

Voor de MBR Heenvliet is gekozen voor het ondergedompelde plaatmembraan van Toray. De gemiddelde poriegrootte bedraagt 0,08 µm. Dit membraan is geleverd door de firma Keppel-Seghers (zie Figuur 18). De membraanplaten zijn ondergebracht in modules, die per 2 stuks zijn gestapeld.

FIGUUR 18

MEMBRANEN MBR HEENVLIET (MEMBRANEN: TORAY; LEVERANCIER: KEPPEL-SEGHERS)



De ontwerpcapaciteit bedraagt 100 m³/h.

De dimensioneringsgrondslagen zijn als volgt.

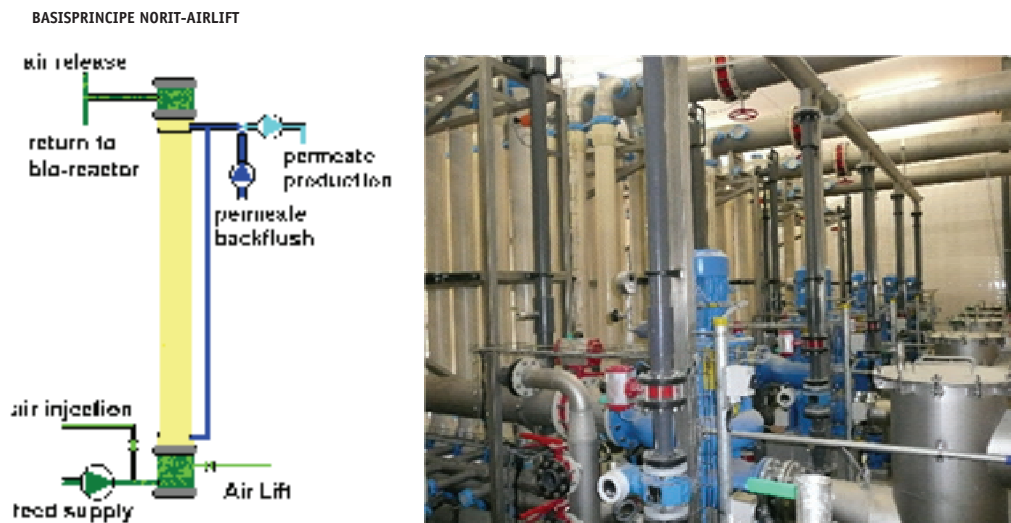
• Netto ontwerpflux	24,3	l/m ² .h
• Aantal platen	3.000	
• Totaal oppervlak	4.200	m ²
• Aantal membraantanks	2	
• Aantal membraanmodules	16	

3.4.3 OOTMARSUM

De installatie is uitgerust met tubulaire membranen die, anders dan in Varsseveld en Heenvliet, niet zijn ondergedompeld, maar droog opgesteld staan in een procesgebouw. Deze membranen worden van binnen naar buiten ('inside-out') bedreven volgens het AirLift concept van Norit MT. Het slib/water mengsel wordt in de membranen gebracht, waarna het permeaat aan de buitenzijde van de membranen wordt onttrokken. Door de membranen, die geplaatst zijn in een rechtopstaande module, wordt slib/water mengsel gerecirculeerd, waarbij onder aan de module lucht wordt gemengd met het slib. De luchtbellen en de recirculatie van het slib/water mengsel zorgen voor verversing van het gefiltreerde slib/watermengsel zodat verstopping en vervuiling wordt geminimaliseerd.

Het basisprincipe van het Norit Airlift MBR systeem is weergegeven in Figuur 19.

FIGUUR 19



De dimensioneringsgrondslagen van de membraaninstallatie zijn:

• Momentane netto flux RWA	53,9 l/m ² .h
• Momentane netto flux DWA	40,4 l/m ² .h
• TMP tijdens filtratie	0,05-0,2 bar
• Lay-out Ultrafiltratie (UF) installatie	
• Permeaat productie bij DWA	max. 75 m ³ /h
• Permeaat productie bij RWA	max. 150 m ³ /h
• Aantal UF units	6
• Aantal modules/unit	16
• Membranen	
• fabrikaat	NORIT X-Flow
• type	F 4385
• materiaal	PVDF
• interne diameter	5,2 mm
• permeabiliteit	>1000 l/m ² .h
• Modulen	
• fabrikaat	Norit X-Flow - type 38PRV
• materiaal huis	PVC

Omdat de membranen extern opgesteld staan is een extractietank niet nodig. De membraan-extractie eenheid onttrekt slib-/watermengsel (voeding) uit de bioreactor (omloop), via een strainer (2 mm). Onderbouwd door proefonderzoek bleek deze strainer uiteindelijk niet noodzakelijk omdat de membraanbuizen kortstondig periodiek worden gelegegd. Hierdoor wordt materiaal dat verstoppingen kan veroorzaken en ophoopt in de (kop van de) buizen uit de membraanextractie afgevoerd. Door middel van circulatiepompen en lucht wordt het slib-/watermengsel door de membranen geleid. Met behulp van permeaatpompen wordt het permeaatdebiet geregeld. Door middel van regelmatig terugspoelen met permeaat en het af en toe (enkele malen per jaar) toepassen van een reiniging met chemicaliën, blijft de weerstand van de membranen voldoende laag om de gewenste permeaatproductie te realiseren. De chemische reiniging vindt volledig automatisch plaats. Het gefiltreerde slib wordt teruggevoerd naar het omloopsysteem en naar de selector. De hydraulische condities langs de membranen zijn te optimaliseren door zowel de langstroming (circulatie van slib-/watermengsel) als de beluchting te variëren.

De membraanextractie eenheid is modulair opgebouwd. In totaal zijn 6 identieke parallel geschakelde membraaneenheden (stacks) met elk 14 modules van 29 m² voorzien. De maximale netto capaciteit van een eenheid bedraagt 25 m³/h. De eenheden zijn uitbreidbaar tot 18 modules. Bij DWA zijn er maximaal 4 membraaneenheden in bedrijf en tijdens RWA maximaal 6. Dit betekent dat er tijdens DWA altijd 2 membraaneenheden stand-by staan en er de mogelijkheid bestaat voor onderhoud en reiniging. Dit biedt eventueel mogelijkheden in de toekomst om tijdelijk een grotere DWA afvoer te realiseren.

Bij maximale RWA (150 m³/h) zijn alle eenheden in bedrijf maar ook dan is het mogelijk om door een verhoging van de flux met 5 eenheden te draaien en 1 eenheid voor reiniging of onderhoud uit bedrijf te nemen. Het permeaat debiet wordt geregeld op het niveau in de buffertank. Wanneer het niveau in de buffertank stijgt zullen permeaatdebieten per eenheid en aantal eenheden dat in bedrijf is toenemen. Wanneer het niveau in de buffertank daalt, zal het aantal eenheden dat in bedrijf is en het permeaat debiet per eenheid afnemen.

3.5 ERVARINGSFEITEN VOORBEHANDELING, BIOLOGIE EN MEMBRANEN

Ervaringsfeiten op het gebied van voorbehandeling, biologie en membranen zijn met name gebaseerd op de MBR Varsseveld, aangezien deze installatie al 3 jaar stabiel heeft gedraaid. Ervaringen van de MBR Ootmarsum zijn nog te prematuur, aangezien deze installatie ten tijde van het schrijven van het rapport net enkele maanden is opgestart. De MBR Heenvliet is al langer in bedrijf. De opstartfase heeft langer geduurd dan voorzien (zie paragraaf 3.5.1), er zijn echter veel nuttige ervaringen opgedaan.

3.5.1 ALGEMENE INDRUK MBR VARSSEVELD EN HEENVLIET

VARSSEVELD

In het najaar van 2006 verschenen twee STOWA-rapporten over de werking van de MBR-installatie in Varsseveld. Het hoofdrapport behandelt de algemene werking van de installatie en de behaalde resultaten. Het deelstudierapport gaat uitgebreid in op de volgende deelstudies:

- Voorbehandeling
- Verwijdering bijzondere stoffen
- OC en hydraulica
- Slibkwaliteit versus filtreerbaarheid

- SIMBA-modellering
- Membranen
- Simulatie-unit

Eén van de belangrijkste doelstellingen van het onderzoeksprogramma was het verlagen van het energieverbruik. In de loop van de tijd zijn verschillende aanpassingen in de bedrijfsvoering van de installatie gerealiseerd, zonder dat dit ten koste ging van de werking van de membranen. Onder andere is de membraanbeluchting in paraatmode gereduceerd en de optimumflux verhoogd.

Het energieverbruik van de MBR Varsseveld is hierdoor gedaald van circa 1,2 kWh/m³ (of 65 kWh/i.e.jaar uitgaande van i.e.'s van 136 g TZV) in de eerste maanden na de opstart, tot 0,9 kWh/ m³ (of 46 kWh/i.e.jaar) aan het eind van 2006. In 2007 zijn wederom verscheidene optimalisaties doorgevoerd. Het effect van deze optimalisaties is pas over enkele maanden aantoonbaar. Het energieverbruik is gedaald tot 0,75 kWh/ m³ (of 41 kWh/i.e.jaar).

HEENVLIET

Het eerste jaar na de opstart van de MBR-installatie in Heenvliet heeft in het teken gestaan van procesoptimalisaties en het oplossen van de eerste aanloopproblemen. Hierbij is onder meer veel aandacht besteed aan de optimalisatie van de beluchting in de membraantanks om vervuiling en slibophoping tussen de membraanplaten te voorkomen. Zowel de biologische resultaten als de membraanprestaties zijn goed. Bij de membraaninspectie is echter gebleken dat het membraanvel bij enkele membraan-elementen loskomt van het frame. De aannemer heeft daarom besloten om alle membraanplaten te vervangen en geen risico te nemen dat nog meer membraanvellen loslaten. De membraantanks zijn in de zomer van 2007 voorzien van nieuwe membranen.

Nadat de membraanvervanging is afgerond zal de hybride configuratie nog enige tijd worden getest alvorens de MBR parallel aan de conventionele installatie wordt bedreven. De parallelle configuraties is wel technisch getest.

3.5.2 VOORBEHANDELING

In nagenoeg alle literatuur die er beschikbaar is over het functioneren van MBR-installaties wordt aandacht besteed aan membraanvervuiling. Niet onterecht aangezien deze vervuilingproblematiek zowel de vaste als de variabele kosten beïnvloeden. In Varsseveld bleken de microzeven het meest storingsgevoelige onderdeel van de installatie te zijn. Uit de ervaring in Varsseveld en andere MBR-installaties blijkt echter dat veel van deze storingen te wijten zijn aan het onvoldoende functioneren van de fijnroosters en/of vetvanger voor deze microzeven, met name bij een snelle debietverhoging. Vanwege de nog regelmatige optredende storingen aan de microzeven bij het begin van en einde van een RWA periode worden in Varsseveld de microzeven aangepast. In Varsseveld staan er twee typen microzeven, van beide zal half 2008 de doorlaat worden vergroot van 0,8 naar 1 mm voor de Contec microzeven en van 0,7 mm raster naar 0,8 mm gaatjes voor de Auxill microzeven. De volgende ontwerpaanbevelingen worden gedaan (STOWA, 2006-05 en - 06):

- 50% redundantie fijnroosters en 100% redundantie microzeven;
- Noodzaak van een aparte vetvanger onderzoeken op basis van influentsamenstelling;
- Zandverwijdering toepassen om schade aan procesonderdelen en microzeven te voorkomen.

In de specifieke situatie van de MBR-installatie Heenvliet kan geconcludeerd worden dat de enkelvoudige roostergoedverwijdering met een perforatierooster van 3 mm afdoende is. In de eerste 17 maanden na de opstart is driemaal een chemische reiniging uitgevoerd. Tijdens inspectie van de membranen in januari 2007 en ook tijdens enkele aanpassingswerkzaamheden in de biologie van de MBR in het voorjaar, werd er geen ophoping van spinsels en ander vuil tussen de membranen geconstateerd.

Welk type en mate van voorbehandeling gewenst is zal echter voor elke situatie specifiek moeten worden uitgezocht en afhankelijk zijn van het influent, het gekozen membraansysteem en de op de rwzi al aanwezige voorbehandelingsstappen.

3.5.3 BIOLOGIE

Over het algemeen zijn de biologische resultaten goed en worden de gestelde stikstof- en fosfaateisen (na wat optimalisaties en eventuele aanvullende chemische fosfaatverwijdering) gehaald.

Voor zover betrokken op ondergedompelde membranen lijkt een omloopsysteem niet een optimale keuze voor een MBR systeem. 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 omstandigheden. In Varsseveld bleek de zuurstofinbreng 35% lager te zijn dan volgens ontwerp. Dit werd tevens veroorzaakt door te optimistische ontwerpgrondslagen. In Varsseveld blijkt dat de membraanbeluchting verantwoordelijk is voor 25%-30% van de zuurstofinbreng. Voor droog opgestelde membranen zijn voornoemde aspecten veel minder van belang.

In verband met de kortere hydraulische verblijftijd dient er tevens meer aandacht besteed te worden aan de gekozen regeltechniek, in het bijzonder de plaats en eventuele extra sensoren.

(Aanvullende) chemische fosfaatverwijdering kan een direct effect hebben op de prestatie van de membranen in de vorm van een aanslag, of er kan een indirect effect optreden in de prestatie van de membranen omdat de slibkwaliteit verandert. In een recent verschenen artikel van Lyko (Lyko, et al., 2007) over de MBR in Nordkanal blijkt dat het aanwezige ijzer voor fosfaatverwijdering complexeert met organisch materiaal. Deze complexen spelen een belangrijke rol in de vervuiling van membranen. Verder bestaat er de mogelijkheid van scaling met ijzerzouten. Dit werd op kleine schaal waargenomen in Beverwijk, maar lijkt geen al te hoge invloed op membraanprestaties te hebben gehad. In Varsseveld is een grotere invloed waargenomen op het moment dat de ijzerdosering substantieel werd verhoogd. Hierop is het reinigingsregime aangepast (langere spoeltijd met citroenzuur) (STOWA, 2006-05 en 2006-06). Aandacht besteden aan de locatie van de membraantank en het punt van de dosering van ijzerzouten is zinvol.

De MBR lijkt gevoeliger voor drijfslagvorming dan conventionele systemen. De ervaringen zijn echter wisselend (MBR Ootmarsum laat bijvoorbeeld geen extra drijfslagvorming zien). Hierbij zijn twee hoofdaspecten van belang.

Eenzijds extra drijfslagvorming, anderzijds het feit dat de reguliere drijfslaagafvoer via de nabezinking ontbreekt. Uit de resultaten van de MBR Varsseveld zijn de volgende factoren naar voren gekomen, welke een rol kunnen spelen in extra drijfslagvorming:

- het hoge droge stof gehalte van het slib waardoor het flotatiegevoeliger is;

- de relatief grote hoeveelheid lucht welke in het omloopsysteem en de membraantanks wordt ingebracht;
- een hogere hydrofobiciteit van het slib door accumulatie van hydrofobe stoffen (STOWA, 2006-05 en 2006-06).

Drijf-laagafvoorzieningen verdienen in een MBR-systeem dus meer aandacht.

Een MBR verbruikt meer energie vergeleken met een conventionele installatie met vergelijkbare effluentkwaliteit. Varsseveld verbruikte 35% meer energie dan een conventioneel actief-slib systeem met zandfiltratie. De verwachting is dat dit met een aantal optimalisaties teruggebracht kan worden naar circa 15% (STOWA, 06-05 en 06-06)

Specifiek voor de MBR Heenvliet geldt, dat de koppeling van de twee zuiveringsstraten het complex maakt om het geheel te besturen en bedienen. Hoewel is ingestoken op een logische en eenvoudige bediening, is dit in de praktijk lastig te realiseren. Door de verwevenheid van de twee subsystemen zijn er allerlei softwarematige, technologische en technische afhankelijkheden die lastig in beeld te brengen zijn. De sturing van het slibgehalte in beide systemen is bijvoorbeeld moeilijk te doorzien. Door interne stromen in de biologie van de MBR kan onder bepaalde omstandigheden het drogestofgehalte in de verschillende tanks steeds verder stijgen, tot wel 20 g/l in de membraantank.

3.5.4 MEMBRANEN

De membraanfiltratie-installaties voldoen over het algemeen in de garantietesten aan de ontwerpfluxen.

In Varsseveld was een industrieel polymeer, afkomstig uit een kaasfabriek, de veroorzaker van grote problemen op de membranen. Een kritische analyse van het afvalwater en van de industriële lozers in het gebied wordt aanbevolen alvorens wordt besloten tot realisatie van een MBR. Hierbij dient voornamelijk te worden gelet op polymeren, oliën en vetten, inerte eroderende deeltjes, oplosmiddelen en scalingcomponenten (STOWA, 2006-05 en 2006-06).

Bij de MBR Heenvliet moesten na een jaar alle membranen vervangen worden, omdat geconstateerd werd dat het membraanvel bij enkele membraanelementen loskwam van het frame. De aannemer heeft daarom besloten om alle membraanplaten te vervangen en geen risico te nemen dat nog meer membraanvellen loslaten. Daarnaast hebben er aanpassingen plaatsgevonden in het productieproces van de membranen bij Toray.

3.6 NUT EN NOODZAAK PILOTONDERZOEK

De afgelopen tien jaar zijn er vele richtlijnen en ideeën op het gebied van de bedrijfsvoering van MBR-installaties ontwikkeld op basis van de resultaten van pilotonderzoek. Pilottesten zijn een noodzakelijke fase tussen labschaal en praktijkschaal om ontwerpfouten te voorkomen welke gepaard gaan met hoge operationele kosten die elk jaar weer terug keren.

Op bijvoorbeeld het gebied van membraanvervuiling zijn in wereldwijd pilotonderzoek vele verschillende manieren getest om dit zoveel mogelijk te voorkomen danwel te verhelpen. Verder is er ook veel aandacht (geweest) welke effluentkwaliteit behaald kan worden op het gebied van de klassieke parameters CZV, stikstof en fosfaat maar ook hygiënische parameters en enkele microverontreinigingen. Bij het pilotonderzoek MBR Varsseveld is de besturing-

van de integrale installatie een belangrijk onderwerp geweest. Ook bij de pilot voor de MBR Ootmarsum heeft de besturing aandacht gekregen, naast optimalisatie van de bedrijfsvoering van de membraanextractie eenheid.

De afgelopen jaren is er dus veel ervaring opgedaan met MBR. De dimensioneringsgrondslagen zijn op hoofdlijnen bekend en de belangrijkste beheerspunten op het gebied van de membranen en de besturing zijn geoptimaliseerd. In 2005 heeft de STOWA onderzocht met welke vragen de Nederlandse afvalwaterbeheerders nog zitten op het gebied van MBR. Uit deze enquête kwam naar voren dat met name de te behalen effluentkwaliteit en membraanvervuiling nog meer onderzoek verdient. Daarnaast leven er vragen op het gebied van permeabiliteit van membranen, hydraulische optimalisatie van de biologie, energieverbruik, slijbverwerking en levensduur van membranen (GWRC, State of the science report, 2005).

De vraag is echter of de vragen die nu leven beantwoord moeten worden met meer pilotonderzoek. Een groot gedeelte van de antwoorden is immers te vinden door het monitoren en nader onderzoeken van de huidige full-scale installaties. Voor het onderzoeken van problemen op het gebied van hydraulica zijn kleinschalige (m^3 schaal) pilotinstallaties zelfs ronduit ongeschikt, vanwege de schaaleffecten van de zeer kleine biologie. Demonstratieschaal proefinstallaties zoals MBR Heenvliet zijn hier wel geschikt voor.

De pilotinstallaties die de afgelopen tien jaar zijn gebouwd hadden niet alleen wetenschappelijk en praktijkgericht onderzoek als doel, maar ook het bekend maken van de MBR-techniek bij en het opleiden van operators. Ook voor dit doel zijn geen nieuwe pilotinstallaties meer nodig. Wellicht kan er voorzichtig geconcludeerd worden dat de MBR-technologie volwassen is geworden en het stadium van pilotonderzoek is ontgroeid. Pilot onderzoek blijft echter van toepassing voor een soepele opstart en voor het bevorderen van het inregelen van de praktijkinstallatie.

4

ONTWERPRICHTLIJNEN

Dit hoofdstuk bespreekt richtlijnen voor het ontwerp van een MBR en gaat daarbij in op ontwerpaspecten die in vergelijking met een conventionele zuivering met nabezinktanks specifiek zijn voor een MBR. De aspecten die ook bij conventionele actiefslibsystemen een rol spelen worden in dit stuk niet meegenomen.

4.1 UITGANGSPUNTEN ONTWERP MBR

Voor het ontwerp van een MBR speelt een aantal grootheden een speciale rol:

- **Temperatuur**
De ontwerptemperatuur is van belang voor het bepalen van het benodigde membraanoppervlak. Bij lage temperaturen wordt de viscositeit van water hoger waardoor de weerstand tegen filtratie hoger wordt. Verder is actiefslib minder goed filtreerbaar bij lage temperaturen, waardoor de filtratieweerstand verhoogd wordt. Het exacte mechanisme hierachter is op dit moment nog niet eenduidig beschreven. Om het effect te compenseren dient extra membraanoppervlak geïnstalleerd te worden.
- **Debiet**
De maximale hoeveelheid afvalwater die aangevoerd wordt (in m³/h), bepaalt het benodigde membraanoppervlak. Afhankelijk van de specificaties van de membraanleverancier kan gekozen worden om pieken in aanvoer op te vangen met een tijdelijk hogere permeaatflux. Een en ander heeft een relatie met de frequentie van het optreden van de pieken in aanvoer en hoe lang deze pieken duren. In de praktijk wordt vaak fysieke ruimte gereserveerd om in de gebruiksfase indien gewenst extra membraanoppervlak te installeren.
- **Drogestofgehalte**
Bij conventionele actiefslibsystemen wordt het toegestane drogestofgehalte bepaald door de bezinkeigenschappen, gangbaar zijn drogestofgehalten tot 5,5 g/l. Bij een MBR is de bezinkbaarheid niet maatgevend, tenzij sprake is van een hybride systeem, zie onder 4.2.2. Hierdoor kan het drogestofgehalte binnen zekere grenzen vrij gekozen worden. Hieraan gekoppeld is de mate waarin zuurstofoverdracht kan plaatsvinden, zie onder 4.4.2. In de praktijk blijkt dat waarden van 10-15 g/l een goede balans geven tussen verkleining van reactorvolume en een optimale luchtinbreng. In deze speelt ook de compartimentering een rol, met relatie naar de inrichting van het biologische systeem.
- **Zuurstofoverdracht**
Door een hoger drogestofgehalte zal het rendement van luchtinbreng lager worden. In de wetenschappelijke literatuur worden verschillende relaties gerapporteerd, van een dalende alfa-factor bij een stijgend drogestofgehalte, zie ook paragraaf 2.3.3.

- Doelstelling effluentkwaliteit
Toepassing van MBR technologie heeft als voordeel een betere effluentkwaliteit, zie ook paragraaf 2.5. Door de toepassing van het membraan zal het water vrij zijn van deeltjes en colloïdalen groter dan de poriëndiameter van het membraan en daaraan gebonden verontreinigingen. Hiermee is voor een aantal (met name onopgeloste) componenten het verwijderingsrendement in een MBR hoger dan in een conventioneel systeem. Voor nutriënten geldt dat de onopgeloste componenten tot het gewenste niveau gereduceerd kunnen worden en dat de (opgeloste) organische component maatgevend is voor de haalbare effluentkwaliteit.

4.2 KEUZES VOORAFGAAND AAN ONTWERP MBR

4.2.1 VOORBEHANDELING

- Invloed membraantype of keuze voorbehandelingssysteem
Vanuit pilotonderzoek en praktijkschaal toepassingen is bekend dat de voorbehandeling bij membraanbioreactoren van cruciaal belang is voor het juist functioneren ervan. Een niet adequaat functionerende voorbehandeling leidt tot ophoping van vezelig materiaal waardoor het effectieve membraanoppervlak afneemt. Met name door de aanwezigheid van haren krijgen spinsels de kans om zich te ontwikkelen. Het is daarom van groot belang om de zeefinstallatie zodanig te ontwerpen en te detailleren dat doorslag van haren wordt voorkomen.

De commercieel beschikbare membraansystemen vertonen verschillen qua gevoeligheid voor verstopping. In het algemeen wordt bij holle vezelmembranen een afscheidingsdiameter kleiner dan 1 mm gehanteerd. Plaatmembranen zijn iets minder gevoelig voor verstopping, zodat hier volstaan kan worden met een afscheidingsdiameter van 2-3 mm. De tubulaire membranen van Norit worden standaard uitgerust met een voorbehandeling van 0,8 mm. Norit onderzoekt momenteel de toelaatbaarheid van grotere afscheidingsdiameters. De eerste resultaten laten zien dat 2 mm waarschijnlijk voldoende is om een goede werking van de membranen te garanderen. Tevens laten de resultaten zien dat voorbehandeling met gaatjes een betere werking hebben dan spleten.

- Rendement van de voorbehandeling
Door de vergaande roostergoedverwijdering kan de hoeveelheid afgescheiden organisch materiaal aanzienlijk groter worden dan bij conventionele voorbehandeling. Het onderzoek op de rwzi Hilversum, en ook de ervaringen op de MBR Varsseveld laten zien dat door de roostergoedverwijdering middels microzeven ca. 30% van de BZV wordt verwijderd. Ook vet werd voor een aanzienlijk deel door de microzeven verwijderd. Afgezien van de verandering in afvalwatersamenstelling, dient rekening gehouden te worden met een extra stroom zeefgoed. Doordat de microzeven over het algemeen continu gespoeld worden zal deze stroom een relatief laag drogestofgehalte hebben. Bij het onderzoek op de rwzi Hilversum is echter gebleken dat het geproduceerde roostergoed na persing een hoog drogestofgehalte bereikte.

4.2.2 VOLLEDIGE OF HYBRIDE MBR

In het voorgaande werd betoogd dat de membraanfiltratiestap uitgelegd dient te worden op de maximaal te verwachten aanvoer (bijvoorbeeld regenweeraanvoer). Er zijn echter situaties waarin hiervan afgeweken kan worden, zodat volstaan kan worden met een kleiner mem-

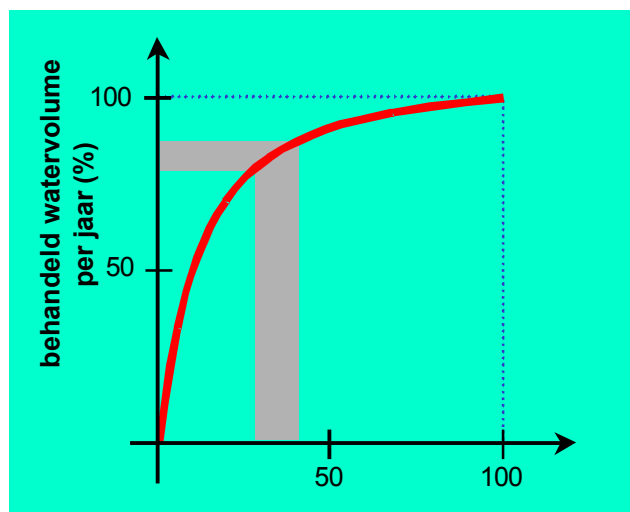
braanoppervlak. Uitgangspunt hierbij is dat er elders in het systeem, bijvoorbeeld via nabezinktanks, afvalwater afgevoerd of omgeleid kan worden.

Het aanvoerpatroon van de gemiddelde rwzi kent een beperkt aantal hoge pieken bij regenweer, waarbij de aanvoer 4 tot 5 maal hoger kan zijn dan bij droogweeraanvoer.

In Figuur 20 is weergegeven hoe de geïnstalleerde hydraulische capaciteit zich verhoudt tot het behandelde jaarvolume. Hieruit blijkt dat door installeren van een membraanfiltratiestap van 50% van de totaal benodigde hydraulische capaciteit, ruim 90% van het totaal aangevoerde afvalwater behandeld kan worden. Op deze manier wordt bespaard op investeringskosten voor de membranen en wordt gemiddeld, over het jaar gezien, een verhoogde effluentkwaliteit gerealiseerd.

FIGUUR 20

RELATIE TUSSEN BEHANDELD AFVALWATER EN DE CAPACITEIT VAN RWZI'S (HYPOTHETISCH)



Deze benaderingswijze is uitermate geschikt voor die situaties waar een hydraulische en/of biologische uitbreiding in combinatie met kwaliteitsverbetering van het effluent noodzakelijk is. Hierbij is een aantal situaties denkbaar.

- Uitbreiding hydraulische capaciteit en/of de capaciteit van de slib/waterscheiding, deze kan worden gerealiseerd door het installeren van membraan capaciteit.
- Uitbreiding biologische capaciteit, deze kan op twee manier gerealiseerd worden:
 1. door het verhogen van het drogestofgehalte in het bestaand systeem, de benodigde membraan capaciteit is dan gelijk aan het verschil tussen de nabezinkcapaciteit en de werkelijke belasting van de nabezinktank, de 'serie-configuratie'.
 2. door het bijbouwen van actiefslibruimte waarmee proportioneel een gedeelte van het influent kan worden behandeld, met daaraan gekoppeld de hiervoor benodigde membraan capaciteit, de 'parallele configuratie'.

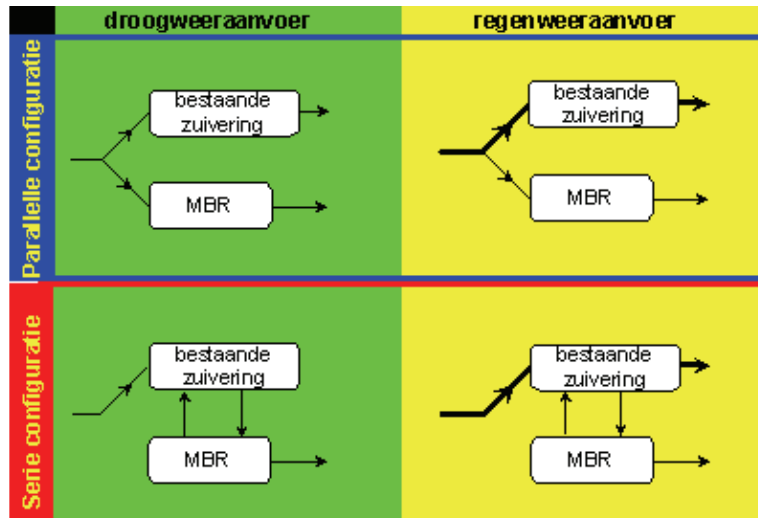
De verhouding tussen de capaciteit van de nabezinking en de membranen zal per situatie verschillen. Aandachtspunt hierbij is de kwaliteit van het vrije water.

Indien de nabezinktank gedurende een langere periode geen water produceert, kan zich lichter materiaal in het systeem kan ophopen, wat bij een regenweergebeurtenis in een keer geloosd kan worden. Tot op heden heeft dit op de MBR Heenvliet niet voor problemen gezorgd.

Indien kwaliteitsverbetering van het effluent de belangrijkste reden is zal membraanoppervlak geïnstalleerd worden naar rato van de gewenste verbetering.

FIGUUR 21

SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN MOGELIJKHEDEN BIJ COMBINATIE VAN MEMBRANEN EN EEN BESTAAND ACTIEFSLIBSISTEEM; HET BLOKJE MBR KAN HIERBIJ STAAN VOOR EEN MEMBRAANFILTRATIE-UNIT MET OF ZONDER EEN EIGEN ACTIEFSLIBTANK



4.2.3 MEMBRAANSYSTEEM

Er is momenteel een breed scala aan membraantypes beschikbaar, zie hoofdstuk 2.

Elk van deze systemen kent zijn eigen karakteristieken. Om een keuze te maken dienen de volgende aspecten beschouwd te worden:

- Pakkingsdichtheid**
 De pakkingsdichtheid voor ondergedompelde membranen wordt gedefinieerd als het aantal vierkante meters membraanoppervlak per vierkante meter membraantankvloer. Voor side-stream membranen wordt de pakkingsdichtheid uitgedrukt per m² membraanruimte. Holle vezelmembranen hebben over het algemeen een hogere pakkingsdichtheid (tussen 75 en 200 m²/m²) dan plaatmembranen (50 – 125 m²/m²). De sidestreammembranen van de MBR Ootmarsum hebben een pakkingsdichtheid van 49 m²/m², betrokken op alleen de membraanunits, exclusief slibcirculatiepompen. Wanneer de gereserveerde ruimte voor extra membraanoppervlak gebruikt zou worden, neemt de pakkingsdichtheid toe tot 63 m²/m².
- Permeataafvoer**
 Ondergedompelde membraansystemen hebben de eigenschap dat permeaat in principe onder vrij verval onttrokken kan worden. Bij permeaatonttrekking onder vrij verval is de permeaatproductie afhankelijk van de actuele permeabiliteit van het systeem en de mate van verval, dit kan er toe leiden dat wanneer het membraan vervuild is, minder water afgevoerd kan worden. Het onttrekken van permeaat onder vrijverval kan alleen worden toegepast bij intern opgestelde membranen, bij extern geplaatste membranen zal permeaatonttrekking altijd plaats moeten vinden via permeaatpompen.
- Selectiviteit membraan**
 Voor MBR toepassing zijn momenteel ruwweg twee typen membranen op de markt: microfiltratiemembranen met een poriegrootte van 400 nm en ultrafiltratie-membranen met een poriegrootte van 30 tot 80 nm. Beide typen blijken in de praktijk afdoende voor

bacteriologische desinfectie van het permeaat. Theoretisch is de effluentkwaliteit van ultrafiltratiemembranen beter, maar in de praktijk wordt dit verschil niet significant gemeten.

- **Bedrijfsvoering**
Qua bedrijfsvoering zijn er aanzienlijke verschillen (graad van automatisering tussen de beschikbare systemen. Te denken valt aan reinigingsfrequentie, recirculatievoud, membraanbeluchting, mogelijkheid tot inspectie en reinigbaarheid.
- **Kosten**
Voor een gedegen afweging kan een life cycle analysis per membraantype opgesteld worden waaruit de totale kosten kunnen worden berekend. Hiermee kan inzicht verkregen worden of hogere investeringen terugverdiend kunnen worden met bijvoorbeeld minder reinigingen, minder energieverbruik, etc.
- **Uitwisselbaarheid**
Om tijdens de bedrijfsfase niet afhankelijk te zijn van een membraanleverancier kan gekozen worden voor een ontwerp waarin uitwisselbaarheid met meerdere membraansystemen mogelijk is. Dit kan voor een bepaald membraansysteem, zoals op de MBR Ootmarsum, waarbij meerdere leveranciers van sidestreammembranen kunnen worden toegepast, maar geen interne membranen. Hierbij kan echter ook gedacht worden aan uitwisselbaarheid met elk membraansysteem, zoals in het ontwerp van de MBR Hilversum.

4.2.4 GEÏNTEGREERDE MEMBRAANTANK OF SEPARATE MEMBRAANTANK

Bij toepassing van een ondergedompeld membraansysteem kunnen de membranen geïntegreerd worden in de actiefslibtank, als onderdeel van de nitrificatieruimte, of in een aparte membraantank ondergebracht worden. De afweging hiervan kent verschillende aspecten: technologisch en bedrijfsvoeringstechnische.

- **Technologische en technische overwegingen**
Technologisch gezien is het van belang of de membraanbeluchting geïntegreerd kan worden in de reguliere zuurstofinbreng. Hierin kan maatgevend zijn de interactie met de membraanbeluchting en de denitrificatie, aangezien de membraanbeluchting bepaald wordt door het permeaatdebit en niet op zuurstofsetpoint. Uitgangspunt is dat de stikstofverwijdering plaats heeft gevonden als het actiefslib gefiltreerd wordt. Daarom wordt in de Nederlandse situatie meestal gekozen voor een apart compartiment met membranen. Wanneer minder stringente effluenteisen gelden (met enkel eisen voor CZV), zoals bijvoorbeeld in veel van de MBR's in Groot Britannië, kunnen de membranen geïntegreerd worden in de beluchtingstank, waarbij de membraanbeluchting ook een rol speelt bij de zuurstofoverdracht.
- **Hydraulische overwegingen**
Een aparte membraantank is hydraulisch eenvoudiger te ontwerpen dan een geïntegreerde membraantank.
- **Bedrijfsvoeringstechnische overwegingen**
Door de membranen onder te brengen in een of meerdere aparte membraantanks wordt de flexibiliteit van de bedrijfsvoering verhoogd. Een nadeel is het hogere energieverbruik. In veel situaties is het vanuit praktische overwegingen wenselijk om de membranen ge-

deeltelijk uit bedrijf te kunnen nemen en droog te zetten. Bijvoorbeeld voor het uitvoeren van reinigingen, onderhoud en inspectie.

Wanneer de membranen in de actiefslibtank zijn geïntegreerd kan dit voor moeilijkheden zorgen. Anderzijds kan energie bespaard worden door bij lage aanvoer een gedeelte van de membranen niet in gebruik te hebben. Dit kan echter ook in een geïntegreerd systeem, door het stoppen van de permeaatontrekking.

4.3 ONTWERP VOORBEHANDELING

De dimensionering van een voorbehandeling is lastig, zowel qua hydraulische belasting als qua drogestofbelasting. Afhankelijk van het te behandelen afvalwater zal het aanbod aan zeefgoed in het influent variëren. Met name bij de overgang van dwa naar RWA is de kans op verstoppingen groot, aangezien dan een piek in drogestofbelasting optreedt, gepaard aan of gevolgd door een hydraulische piek. Dit lijkt met name bij kleine afscheidingsdiameters een knelpunt te zijn (microzeven van de MBR Varsseveld), bij grotere afscheidingsdiameter is de overgang van dwa naar RWA minder kritisch (fijnrooster van de MBR Heenvliet). De eisen van membraanleveranciers aan reservestelling voor de voorbehandeling variëren eveneens. Enkele membraanleveranciers staan zelfs een tijdelijke bypass van de roostergoedverwijdering toe. De ervaringen in Nederland hebben laten zien dat een bypass van de roostergoedverwijdering te allen tijde voorkomen moet worden.

4.4 ONTWERP BIOLOGIE

4.4.1 INFLUENTSAMENSTELLING

In vergelijking met het ontwerp van een conventionele afvalwaterzuivering stelt de influentsamenstelling alleen daar aanvullende eisen waar deze ingrijpt op de filtreerbaarheid van het actiefslib of anderszins interactie vertoont met de membranen. Om dit vast te stellen kunnen pilotexperimenten worden uitgevoerd of labschaal filtratie experimenten met de Filtratie karakteristingsmethode, ontwikkeld door de TU Delft. Op de MBR Varsseveld is bijvoorbeeld ontdekt dat de aanwezigheid van kaasdekmiddel in het influent leidde tot problemen op de membranen.

4.4.2 BELUCHTINGSTANK

Het ontwerp van de biologie in een MBR is met uitzondering van hydraulische aspecten in de basis identiek aan dat van conventionele systemen. Waar met name bij systemen met relatief kleine volume aandacht aan besteed dient te worden, is de compartimentering en het positioneren van de (interne) recirculatiestromen, meetapparatuur en beluchtingselementen. Door het hogere drogestofgehalte kunnen de systemen zo compact worden dat de hydraulische verblijftijd maatgevend wordt, zie ook het volgende punt.

- Beluchtingstankvolume

Het benodigde volume van de beluchtingstank wordt bepaald door de vereiste biologische omzettingcapaciteit van het actiefslibstelsel en het gekozen drogestofgehalte. Zoals in hoofdstuk 2 besproken ligt hier een relatie met de hydraulica, verblijftijd en de praktische grenzen van luchtinbreng, menging en voortstuwing.

Wanneer sprake is van kleine tankvolumina en grote waterdiepte, zal het vloeroppervlak klein worden. Hiermee kan het beschikbare oppervlak voor beluchtingselementen kritisch worden.

- Beluchttingscapaciteit

In de praktijk is de beluchting veelal ontworpen op een alfa-factor van 0,5. Dit is een veilige aanname, echter er blijken zich ook periodes voor te doen met een gunstiger zuurstofoverdracht. Het beluchtingssysteem dient zodanig ontworpen te worden dat in deze situatie niet overbelucht wordt. Tevens moet in het ontwerp van het beluchtingssysteem rekening worden gehouden met de situatie dat een RWZI nog niet volledig belast is.

- Recirculatie vanuit de membraantank

Afhankelijk van het toegepaste type membraansysteem wordt een bepaalde circulatiefactor over de membraantank/modules gehanteerd. Deze bepaalt de indikkingsgraad van het actiefslib door de permeaatontrekking. Aangezien in de membraantank met grove bellen belucht wordt, zal met de circulatiestroom vanuit de MT een zekere hoeveelheid opgelost zuurstof meegevoerd worden. Hierbij is bijvoorbeeld van belang op welke plaats in het proces de zuurstofrijke retourstroom vanuit de membraantank wordt ingebracht. Op de MBR Varsseveld blijkt dat van de totaal benodigde hoeveelheid zuurstof ca. 25-30% wordt ingebracht door de membraanbeluchting. 15-20% wordt grotendeels opgenomen in de membraantank zelf. Circa 10% van de totale zuurstofinbreng wordt vervolgens benut in de beluchtingstank. Wanneer deze zuurstofrijke stroom wordt ingebracht in een anoxische zone, moet er ruimte worden gereserveerd om de aanwezige zuurstof op te nemen. Verder neemt door de compacte bouwwijze de hydraulische verblijftijd af. Afhankelijk van de effluenteisen dient rekening gehouden te worden met een minimale verblijftijd in het systeem afhankelijk van de te bereiken effluentkwaliteit. Indien noodzakelijk, kan de verblijftijd worden verhoogd door het verlagen van het droge stof gehalte, c.q. het vergroten van de actiefslibtank.

Voor genoemde aspecten zijn niet van toepassing op extern geplaatste membranen vanwege het ontbreken van een membraantank.

4.4.3 HYDRAULISCHE ASPECTEN

Door de hogere drogestofgehalten en daardoor relatief kleine ruimten dient extra zorg besteed te worden aan het hydraulisch ontwerp van de installatie. Met name menging van de vaak kleine ruimtes is een punt van aandacht. Ook het ontwerp van membraantanks kent specifieke knelpunten, zoals een goede aanstroming van slib naar alle membraanmodules en een regelmatige verdeling van lucht over al het membraanoppervlak. Behalve de gebruikelijke statische hydraulische berekeningen, blijkt een model gebaseerd op computational fluid dynamics (CFD) een erg handig hulpmiddel om tot een optimaal ontwerp te komen. Hierbij kan onderzoek gedaan worden naar de geometrie van de tank en membraanmodules, in combinatie met de positionering van beluchting en circulatiestromen. Een en ander kan beoordeeld worden op o.a. stromingspatroon en lucht/waterverdeling.

4.5 ONTWERP MEMBRAANFILTRATIE

4.5.1 MEMBRANEN

In het algemeen zal de toegestane ontwerpflux door de leverancier opgegeven worden. Desondanks zijn er voor de ontwerper nog keuzes te maken, bijvoorbeeld in de mate waarin bij lage aanvoer de membranen belast worden. In Varsseveld wordt bijvoorbeeld bij lage aanvoer een deel van de membranen uit bedrijf genomen en het resterende deel wordt bedreven op een te kiezen optimale permeaatflux, zie ook hoofdstuk 5. Een dergelijke bedrijfsvoering wordt momenteel getest op de MBR Heenvliet, waar één membraantank gedurende enkele dagen het volledige debiet behandelt, terwijl de andere membraantank uit bedrijf is. Voor de hybride MBR geldt dat de membranen gedurende het merendeel van de tijd het ontwerpdebiet produceren (DWA/RWA). De membraanleverancier moet hiervan vaststellen of de membranen dit aankunnen.

4.5.2 MEMBRAANTANK

- Inrichting
Bij het ontwerp van de membraantank dient ruime aandacht besteed te worden aan het waarborgen van een goede verdeling van actiefslib over alle membraanmodules enerzijds, en anderzijds een gelijkmatige verdeling van lucht eveneens over alle modules. Verder aandachtspunt is de toegankelijkheid van de membranen voor inspectie en onderhoud. Tevens dient bepaald te worden hoe de membranen in gebruik genomen worden en of hier permanente en/of tijdelijke voorzieningen voor getroffen moeten worden. In het algemeen zal leidingwater het aangewezen medium zijn om nieuwe membranen te testen, afhankelijk van de situatie kan effluent uit een bestaande installatie een optie zijn.
- Hydraulica (symmetrie)
Zoals in het voorgaande besproken is de hydraulica van de membraantank van zeer groot belang. Hieraan dient nog te worden toegevoegd de hydraulica van de tank tijdens een chemische reiniging. Hierbij dient gewaarborgd te worden dat de ingebrachte chemicaliën daadwerkelijk in voldoende mate de membraanverontreiniging bereiken, waarbij een symmetrisch ontwerp voordelen biedt. Keuzes die gemaakt moeten worden of vanaf de permeatzijde gereinigd wordt of vanaf de voedingszijde. Beide opties hebben gevolgen voor de inrichting van de membraantank en voorzieningen voor bijvoorbeeld (gedeeltelijk) leegzetten ervan.

Bovenstaande aandachtspunten gelden voor ondergedompelde en niet voor extern opgestelde membranen door het ontbreken van een membraantank. Echter bij de toepassing van extern opgestelde membranen dient aandacht te worden besteedt aan de hydraulica in de skids. Daarnaast moet bij de inrichting van de aëratietank rekening worden gehouden met de plaatsing van de aanvoer en afvoer naar de membraanskids om kort sluit stroming van slib te voorkomen.

4.5.3 PERMEAATPOMPEN (BACK-FLUSH, RELAXATIE, PROCESCYCLUS)

Bij het toepassen van extern opgestelde membranen zijn permeaatpompen noodzakelijk voor de onttrekking van permeaat. Voor intern opgestelde membranen kan ook gebruik worden gemaakt van permeaatpompen, maar kan permeaatonttrekking ook onder vrij verval plaats vinden. Door gebruik te maken van het waterniveau in de membraantank kan het permeaat onder vrij verval door de membranen stromen. Hierbij dient bedacht te worden dat het maximaal haalbare permeaatdebiet afhankelijk wordt van het maximaal toelaatbare niveau

verschil (= transmembraandruk) en de actuele vervuilingstoestand van het membraan. In principe verschilt dit niet van een situatie met permeaatpompen, waar eveneens een grens is aan de toelaatbare transmembraandruk, veelal opgegeven door de membraanfabrikant.

Het ontwerp van de permeaatonttrekking heeft verder nog relatie met de inrichting van de productiecycli. Vrijheidsgraden hierin zijn:

- onttrekkingstijd
- relaxatietijd
- terugspoeltijd
- wel of geen maintenance cleaning

De effecten van relaxatie, terugspoelen en maintenance cleanings verschillen per membraansysteem, maar ook per toepassing. Verder zijn niet alle membraansystemen geschikt voor terugspoelen. Daarom is het van belang om in het ontwerp voldoende vrijheidsgraden in te bouwen waarmee tijdens de bedrijfsfase het proces geoptimaliseerd kan worden.

4.5.4 BELUCHTING MEMBRANEN (CONTINU, INTERMITTEREND)

Alle membraansystemen zijn voorzien van (grove) bellenbeluchting voor de zogenaamde 'air scouring' die zorgt voor een reinigende werking. Hiermee wordt koeklaagvorming aan de membranen voorkomen of gelimiteerd. De vrijheidsgraden hierbij zijn de hoeveelheid lucht die ingeblazen wordt en het beluchtingsregime: continu of intermitterend. In het algemeen wordt uitgegaan van continue beluchting, in elk geval tijdens de onttrekking van permeaat. Aangezien de beluchting van de membranen veel energie vergt, is op een aantal plaatsen geëxperimenteerd met intermitterende beluchting. Zo is op de MBR Heenvliet een tijd lang gewerkt met een systeem waarbij van de vier naast elkaar opgestelde modules afwisselende de modules 1,3 en 2,4 werden belucht, met een wisselfrequentie van enkele malen per minuut. De hierdoor geïntroduceerde asymmetrische stroming heeft waarschijnlijk negatieve invloed op de doorstroming van de modules gehad, volgens CFD model. Op de rwzi Varsseveld wordt momenteel gedraaid met een systeem waarbij telkens precies dat aantal modules in bedrijf is waarmee de optimale flux gehaald kan worden (DWA of RWA), de overige modules staan in de paraatmode en worden niet belucht, zie hoofdstuk 5. De vereiste hoeveelheid membraanbeluchting verschilt per membraansysteem, variërend van 0,2 tot 0,7 Nm³/h per vierkante meter membraanoppervlak. Dit leidt tot een energieverbruik van 0,2 tot 1,2 kWh/m³ permeaat. Optimalisaties zijn ook doorgevoerd door plaatmembranen op te stellen in dubbeldeks configuratie. Hierdoor wordt met dezelfde hoeveelheid lucht tweemaal zoveel membraanoppervlak gereinigd. Hier staat tegenover dat de lucht op grotere diepte ingebracht moet worden, wat een deel van het voordeel wegneemt.

4.5.5 TOEVOERPOMP (RECIRCULATIEVERHOUDING)

De verhouding tussen de toevoer naar de membraantank en het permeaatdebiet bepaalt de indikkingsgraad. Verder verschilt het recirculatiedebiet over de membranen per systeem. Ondergedompelde systemen kennen een recirculatiefactor tot 4 - 6, terwijl tubulaire membranen een veel hogere recirculatiestroom nodig hebben van circa 10, benodigd om de langstroomsnelheid langs het membraan te waarborgen.

4.5.6 CHEMISCHE REINIGING (TYPE REINIGING, TYPE CHEMICALIËN, FREQUENTIE)

De manier van reinigen verschilt per leverancier. Holle vezelmembranen kunnen over het algemeen hydraulisch teruggespoeld worden, plaatmembranen in de regel niet. Ook de toe-

gestane reinigingschemicaliën variëren per systeem. In Nederland zijn de meest gangbare reinigingschemicaliën natriumhypochloriet, citroenzuur, natronloog en oxaalzuur.

Aandachtspunten bij het ontwerp:

- voorzieningen voor het aanmaken van chemicaliën, met eventueel een mogelijkheid om warme reinigingen uit te voeren;
- voorzieningen om de reinigingsvloeistof op het membraanoppervlak te brengen, hetzij via de permeatzijde, hetzij via de voedingszijde.

De ervaringen van de afgelopen jaren laten zien dat in de communale afvalwaterzuivering organische vervuiling een belangrijke rol speelt, anorganische vervuiling kan echter eveneens voor problemen zorgen. Per situatie zal bepaald moeten worden welk vervuilingmechanisme dominant is, zodat een adequate reinigingsstrategie bepaald kan worden. Voor de verwijdering van organische vervuiling zal een (alkalische) oxidatieve reiniging het meest effectief zijn. Bij het optreden van anorganische vervuiling is een zure reiniging effectief. In de praktijk zullen meerdere vervuilingmechanismen tegelijk optreden. Daarom zal een reiniging bestaand uit meerdere stappen, afwisselend zuur en oxidatief, veelal tot goede resultaten leiden.

4.6 AANBESTEDING EN STANDAARDISATIE

4.6.1 INLEIDING

Bij de realisatie van een MBR vraagt de aanbesteding van de membranen (en de hieraan gerelateerde onderdelen) extra aandacht. De technologie zit nog in een fase waarin de ontwikkelingen snel gaan; nieuwe membranen komen op de markt (of verdwijnen), nieuwe modules voor bestaande membranen worden ontwikkeld en de prijzen van membranen dalen. De verschillen tussen de modules zijn nog steeds aanzienlijk. Er zijn droog opgestelde en ondergedompelde membranen. Bij de ondergedompelde membranen zijn er de compacte holle-vezel membranen en de plaatmembranen, welke verschillen in ruimtebeslag, randapparatuur, reinigingsmethode e.d. De holle-vezel membranen kunnen worden teruggespoeld en de plaatmembranen niet, waardoor andere eisen aan de permeaatpompen worden gesteld, en ook de benodigde blowercapaciteit kan voor de verschillende systemen aanzienlijk verschillen.

De keuze voor één type membraan die tijdens de realisatie van de installatie wordt gemaakt kan vergaande gevolgen hebben voor de toekomst. Door de verscheidenheid aan membraanfabrikanten is uitwisselbaarheid van membraansystemen nog geen gemeengoed. Hierdoor bestaat het risico dat een eventuele overstap naar een ander membraantype, tijdens de gebruiksfase, onmogelijk is of met hoge kosten gepaard zal gaan.

Voor de aanbesteding kan worden gekozen tussen een traditionele aanpak of een “design & construct” aanpak. Bij de traditionele aanbesteding schrijft de opdrachtgever voor een groot deel voor hoe het ontwerp van de installatie er uit gaat zien en welke uitgangspunten worden gehanteerd. Hiermee neemt de opdrachtgever tevens een groot deel van de verantwoording voor het ontwerp op zich en daarmee ook de risico's. Bij de design & construct aanbesteding worden functionele eisen gesteld en wordt een groot deel van de ontwerpverantwoordelijkheid voor het membraandeel bij de leverancier gelegd. Hierbij is het van groot belang om goed af te bakenen hoe de verantwoordelijkheden en risico's worden verdeeld en hoe de ontwerpuitgangspunten en garanties uiteindelijk worden getest.

In paragraaf 4.6.2 is aangegeven hoe de aanbestedingstrajecten van de Nederlandse MBR-installaties zijn verlopen. De wijze waarop in de verschillende projecten met de membraangaranties is omgegaan is beschreven in paragraaf 4.6.2.

In paragraaf 4.6.4 is een ontwerpfilosofie beschreven waarbij de uitwisselbaarheid als uitgangspunt heeft gefungeerd.

4.6.2 PRAKTIJKVOORBEELDEN

De aanbesteding van de membranen in de drie gerealiseerde Nederlandse MBR's heeft geleid tot drie verschillende membraansystemen. Dit is mede een gevolg geweest van de wijze van aanbesteding, en van de voorkeuren van de verschillende eindgebruikers.

In deze paragraaf zijn de belangrijkste aanbestedingsaspecten van de drie projecten weergegeven. Ook het eerste aanbestedingstraject van de MBR Hilversum is beschreven. De resultaten van deze vier aanbestedingen zijn samengevat weergegeven in Tabel 9.

TABEL 9 OVERZICHT VAN DE NEDERLANDSE AANBESTEDINGSTRAJECTEN VOOR MBR'S (0 = GEPREKWALIFICEERD, x = GEKVALIFICEERD, X = GESELECTEERD)

MBR		Varsseveld	Heenvliet	Ootmarsum	Hilversum
Jaar van aanbesteding		2002	2003	2004	2006
Membraansysteem	Zenon	X	x	x	x
	Kubota	x	x	0	x
	Toray		X	0	x
	Mitsubishi		x		
	Norit			X	x
	Puron			0	X
	Memcor				x

MBR VARSSEVELD

Gezien het demonstratiekarakter van de MBR Varsseveld is hierbij in eerste instantie getracht om twee typen membranen naast elkaar te installeren. Na een prekwificatie, waarin met name de ervaring een belangrijk criterium was, kwamen destijds (2001) alleen Zenon en Kubota membranen in aanmerking. Door twee membraantanks met Zenon membranen en twee met Kubota membranen uit te rusten zou kunnen worden voorkomen dat de kennis van de technologie zich te zeer concentreert bij één leverancier. De kennisspreiding zou de concurrentie ten goede moeten komen waardoor de membraanprijzen zouden dalen. In het ontwerptraject waren drie verschillende opties uitgewerkt; vier membraanstraten met Zenon membranen, vier membraanstraten met Kubota membranen en twee membraanstraten met Zenon en twee met Kubota membranen.

Het volume van elk van de membraantanks was uitgelegd op de Kubota-membranen. Indien voor Zenon membranen zou worden gekozen kon het volume relatief eenvoudig worden verkleind door het aanbrengen van een verwijderbare bodem en tussenwand. Uiteindelijk bleken de meerkosten voor een gecombineerde installatie toch te hoog te zijn en is voor de laagste aanbieding van Zenon gekozen. Ook is toen besloten om de vier tanks op de Zenon membranen af te stemmen. De afmetingen van de membraantanks zijn zodanig dat ook een aantal andere membranen zouden passen.

MBR HEENVLIET

Voor de MBR Heenvliet is allereerst een vraagspecificatie gedaan op basis van functionele eisen. Vervolgens is een eerste selectie van vijf membraanleveranciers gemaakt, dit betrof Kubota, Zenon, Toray en Mitsubishi. Deze partijen hebben allemaal een aanbieding gedaan en

een presentatie gegeven. Dit geheel is beoordeeld aan de hand van een multicriteria analyse, waarbij de belangrijkste weegfactoren waren: kwaliteit, prijs en nieuwheid in Nederland. Op basis hiervan is voor Toray membranen gekozen. Het ontwerp is vervolgens aangepast op de membraanaanbieding.

MBR OOTMARSUM

Voor de MBR Ootmarsum is allereerst een technologisch referentieontwerp opgesteld. Vervolgens heeft een voorselectie plaatsgevonden op basis van kwaliteit en prijs, waarbij de membraansystemen van Kubota, Zenon, Norit, Puron en Toray in beschouwing zijn genomen. Op basis hiervan zijn twee leveranciers geselecteerd (Zenon en Norit). De anderen vielen af op basis van verschillende kwaliteitsaspecten. Met de beide overgebleven leveranciers is het definitief ontwerp van de installaties verder uitgewerkt waarbij met name het integrale ontwerp en de afhankelijkheid tussen rwzi en de membraan-installatie nader is beschouwd. Op basis van deze definitieve ontwerpen kon zowel het ontwerp (dimensioneringsgrondslagen, referenties) als ook de prijsstelling nader worden gedetailleerd. De definitieve keuze voor Norit is vervolgens op basis van verschillende kwaliteitsaspecten en prijs gemaakt. De installatie is met Norit tot de besteksfase uitgewerkt, waarna de aanbesteding van de overige onderdelen heeft plaatsgevonden. De uitwisselbaarheid van membranen is een aandachtspunt geweest in het ontwerp. Voor zowel Zenon als Norit zijn alternatieven in de markt waardoor het Waterschap niet afhankelijk wordt van één membraanleverancier. Membranen van andere membraanleveranciers (Puron respectievelijk Berghof) kunnen met beperkte aanpassingen in de extractie-eenheden worden gepast.

MBR HILVERSUM

Voor de MBR Hilversum is in eerste instantie gekozen voor een universele membraantank waarin alle membranen passen. De afmetingen van de membraantank zijn door Waternet vastgesteld op basis van de beschikbare kennis en ervaring. Het ontwerp van elk membraansysteem is door Waternet in nauw overleg met de leveranciers opgesteld. Een aantal van de bestaande membraanmodules zou hierbij niet in de universele membraantank passen waardoor membraanleveranciers aangemoedigd werden om alternatieve compactere modules te ontwikkelen. Uiteindelijk heeft dit er toe geleid dat alle relevante membranen in de relatief compacte tank zouden kunnen worden geplaatst. Deze wijze van aanbesteding heeft geleid tot verdere module-ontwikkeling en daarmee tot een bepaalde mate van standaardisatie in de MBR markt. Dit was mogelijk doordat de omvang van de MBR Hilversum groot was en daardoor zeer interessant voor de membraanleveranciers. De aanbesteding heeft vervolgens plaatsgevonden op basis van prijs en kwaliteit. Van de geselecteerde membraansystemen (Zenon, Puron, Kubota, Toray, Norit, Memcor) was Puron (Koch Membrane Systems) uiteindelijk degene met de beste aanbieding. Uiteindelijk heeft geen gunning plaatsgevonden en is in het kader van een nieuw ontwerp van de rwzi ook een nieuwe ontwerpfilosofie ontwikkeld. Hierop wordt in paragraaf 4.6.3 nader ingegaan.

BUITENLAND

De wijze van aanbesteding in andere Europese landen is over het algemeen vergelijkbaar. Een uitzondering hierop is Groot-Brittannië. Tijdens een STOWA-excursie in 2004 zijn de ondernemingen Anglian Water en Wessex Water bezocht (STOWA, 2004-W02). Deze geprivatiseerde ondernemingen zijn verantwoordelijk voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater en maken hierbij gebruik van MBR. De contractors die de MBR's hebben gerealiseerd komen echter beide voort uit deze waterschappen. Purac (verbonden aan Zenon) komt voort uit Anglian Water.

Aquator (verbonden aan Kubota) komt voort uit Wessex Water. Bij de turn-key realisatie van de eerste MBR's in Groot-Brittannië (Porlock, Swanage, Lowestoft) is daarom geen sprake geweest van een open leverancierkeuze.

4.6.3 GARANTIEBEPALINGEN

Bij de aanbesteding van een MBR-installatie worden vaak aparte garanties opgesteld voor het membraandeel van de installatie. De opzet van de garanties en de wijze waarop deze worden getest verschillen per installatie. De belangrijkste aspecten die in de garantiebepalingen worden genoemd zijn weergegeven in Tabel 10. Hierbij is tevens aangegeven welke garantiebepalingen bij de verschillende MBR projecten in Nederland zijn aangehouden.

TABEL 10 DE BELANGRIJKSTE GARANTIEBEPALINGEN VAN DE VERSCHILLENDE MBR PROJECTEN

Garantie	Varsseveld	Heenvliet	Ootmarsum	Hilversum
Membraanwerking	+	+	+	+
Levensduur membranen	-	+	-	+
Membraanprijs bij vervanging	-	-	+	-
Chemische reiniging	-	+	-	+
Energieverbruik	-	-	+	-
Effluentkwaliteit	+	+	+	-

Bij alle vier de MBR projecten zijn garanties opgesteld voor de membraanwerking. Hierbij wordt over het algemeen een (maximale) ontwerpflux gedefinieerd waarop (een deel van) de membraaninstallatie gedurende een bepaalde tijd moet worden getest. De membraanwerking wordt hierbij beoordeeld op stabiliteit, maar vaak wordt ook een maximale transmembraandruk en/of een minimale procestemperatuur gedefinieerd. De tijdsduur waarop de flux wordt getest verschilt aanzienlijk. Bij de volledige MBR's van Varsseveld en Hilversum is een tijdsduur van enkele dagen aangehouden, die overeenkomt met de te verwachten maximale duur van een RWA-situatie. Bij de hybride installatie van Heenvliet, moet de ontwerpflux continu gehaald kunnen worden. Daarnaast geldt dat de membranen maximaal 4 maal per jaar chemisch mogen worden gereinigd. Voor de afnametest is daarom een beoordelingsperiode van 3 maanden in acht genomen, echter de garantiebepalingen zijn geldig voor de gehele gegarandeerde levensduur van 5 jaar. Bij de meeste projecten is als clausule opgenomen dat als de capaciteit niet wordt gehaald, de membraanleverancier op zijn eigen kosten de capaciteit van de membraaninstallatie met het ontbrekende deel dient te vergroten. In het ontwerp van Varsseveld en Ootmarsum was ruimte gereserveerd in de membraancassettes / racks om dit mogelijk te maken.

Bij de de projecten van Varsseveld en Ootmarsum is er voor gekozen om geen procesgarantie af te sluiten op de levensduur van de membranen. De motivatie hiervoor is dat dit de kosten vaak enorm verhoogd terwijl de angst bestaat dat het in de praktijk heel lastig zal zijn om een eventuele kortere levensduur af te wentelen op de membraanleverancier. Op de MBR Heenvliet is een procesgarantie periode van 5 jaar afgesloten. Hier geldt dat de waarde van de membranen, en daarmee het eventueel te vergoeden bedrag, gedurende deze periode lineair wordt afgeschreven. In de praktijk blijkt deze procesgarantie de onderzoeksambities en speelmogelijkheden van het waterschap enorm te beperken. Bij de aanbesteding van de MBR Hilversum werd de membraanleverancier gevraagd om zelf de garantievoorwaarden op te stellen, inclusief de levensduur van de membranen. Deze levensduur werd vervolgens gebruikt om de exploitatiekosten te berekenen, die een belangrijke rol speelden bij de gunning.

Uiteraard geldt wel altijd een garantie op de kwaliteit van het geleverde product (membranen inclusief racks). Deze garantie varieert per project tussen 6 en 24 maanden. Op de MBR Ootmarsum is een afspraak gemaakt over de membraanprijs bij vervanging. Deze prijs is gelijk aan de huidige prijs inclusief een indexering.

Op deze wijze kan worden voorkomen dat bij vervanging de prijs te veel gaat stijgen. Dit is met name van belang voor membraansystemen waarbij de vervangingsmogelijkheden (uitwisselbaarheid) beperkt zijn.

In een aantal gevallen zijn daarnaast nog garanties opgenomen over operationele aspecten. Op de MBR Ootmarsum zijn eisen gesteld aan het maximale energieverbruik van de membraaninstallatie. In Heenvliet en Hilversum worden eisen gesteld aan de reinigingsfrequentie en/of het chemicaliënverbruik. Wat betreft de effluentkwaliteit worden eisen gesteld aan de maximaal toelaatbare troebelheid (Varsseveld, Ootmarsum) en de maximale E-coli.concentratie (Heenvliet).

4.6.4 CONCEPT VOOR UITWISSELBAARHEID

Bij de in paragraaf 4.6.2 beschreven aanbestedingstrajecten is de uitwisselbaarheid van de membranen in beschouwing genomen, en is het ontwerp zodanig gemaakt dat in de toekomst ook één of meer andere typen membraanmodules kunnen worden toegepast. Hierbij is geaccepteerd dat bepaalde membraansystemen niet kunnen worden toegepast en is de keuzevrijheid voor toekomstige aanpassingen beperkt.

Ook is geaccepteerd dat een deel van de randvoorzieningen (b.v. pompen, blowers, leidingwerk) en ook een deel van de besturingssoftware bij het toepassen van nieuwe membranen dient te worden aangepast of vervangen, en dat dit op dat moment ook tot hogere kosten zal leiden.

Voor het tweede ontwerptraject van de MBR Hilversum is door Waternet een ontwerpfilosofie ontwikkeld die de volledige uitwisselbaarheid van de membranen als uitgangspunt heeft genomen. De resultaten van deze filosofie zijn als voorbeeld opgenomen in de CEN richtlijn over ondergedompelde MBR technologie (CEN, 2008). De begrippen die hierbij zijn gehanteerd zijn “vlakke vloer concept” en “plug and play”.

Met het *vlakke vloer concept* wordt bedoeld dat er geen vaste membraantanks worden gebouwd, maar dat de membraanleverancier het belangrijkste deel van het membraansysteem, inclusief membraantank, levert. Daar is een van tevoren vastgesteld oppervlak voor beschikbaar. Indien de membranen vervangen worden door een ander type membraan wordt de gehele membraanopstelling, inclusief de eventuele membraantank, vervangen. Dit heeft onder andere als belangrijk voordeel dat altijd kan worden overgestapt van ondergedompelde naar droog-opgestelde membranen, of omgekeerd. Dit is iets wat bij op de in paragraaf 4.6.2 beschreven gerealiseerde membraansystemen niet altijd of eenvoudig het geval is.

In de ontwerpfilosofie is daarnaast als uitgangspunt genomen dat twee of meer verschillende membraansysteem naast elkaar in bedrijf moeten kunnen zijn, zonder dat de bedrijfsvoering wordt verstoord (*plug and play*). Voor de MBR Hilversum zou dit betekenen dat bij het vervangen van de membranen bijvoorbeeld 7 membraanstraten met de oorspronkelijke membranen kunnen doordraaien terwijl in de 8e straat een ander type membraan in bedrijf is. Elk membraantank (of opstelling) dient als aparte eenheid te kunnen functioneren. Dit uitgangspunt heeft tot gevolg dat niet alleen de membranen en een deel van de randapparatuur uitwis-

selbaar moeten zijn, maar ook de besturingssoftware. Om dit mogelijk te maken wordt een duidelijk onderscheid gemaakt in de levering van de membraanleverancier (of de aannemer die het membraansysteem levert) en de levering van de eindgebruiker (of de aannemer die de rest van de installatie bouwt).

De membraanleverancier levert de membranen, de membraanracks, de membraantank (bij ondergedompelde membranen), de voedingspomp, de permeaatpomp, de chemicaliëndoseerpompen, de automatische kleppen (lucht, drain en effluent) en de besturingssoftware van elke membraantank. De eindgebruiker levert onder andere de membraanbeluchting, de chemicaliënopslag en het overkoepelende procesbesturingssysteem dat bepaalt welke membraantanks in bedrijf zijn en met welke capaciteit.

Het voordeel van deze benadering is dat de eindgebruiker bij het vervangen van de membranen volledig onafhankelijk is van de huidige membraanleverancier. Op elk moment kunnen de membranen worden vervangen door de op dat moment beste en/of goedkoopste membranen. De kosten van de membraanvervanging zullen daardoor lager zijn. De vervanging betreft echter niet alleen de membranen maar ook een belangrijk deel van de randapparatuur en besturingssoftware van de membraaninstallatie. Dit zal weer leiden tot hogere vervangingskosten. Een consequentie is bovendien dat de kosten van de MBR-installatie in het begin hoger zullen zijn doordat voor een aantal onderdelen veilige (voor alle systemen bruikbare) ontwerpuitgangspunten dienen te worden gehanteerd. Er zullen extra reserveringen moeten worden gemaakt voor het ruimtebeslag, de microzeven (b.v. kleinere gaatjes), de blowercapaciteit en de aan- en afvoergoten.

Een voordeel van deze aanpak is daarentegen dat de eerste aanbesteding later in de tijd kan plaatsvinden, wat mogelijk weer financiële voordelen biedt. De uiteindelijke initiële meerkosten van deze ontwerp- en aanbestedingsfilosofie zullen per situatie verschillen en zijn nog niet bekend.

Voor de volledigheid is de tekst over interchangeability integraal uit de CWA34 (CEN, 2008) opgenomen in bijlage 3.

5

BEHEERSASPECTEN

5.1 INLEIDING

Voor de bedrijfsvoerders van een rioolwaterzuiveringsinstallatie betekent de overgang van een conventionele rwzi naar een MBR een grote verandering. Een MBR introduceert nieuwe procesonderdelen (membranen, microzeven e.d.), verrijkt de vocabulaire met termen als flux en permeabiliteit en vraagt extra aandacht met betrekking tot de procesregelingen en de membraanreiniging. De opleiding van de bedrijfsvoerders heeft daarom in Nederland altijd veel aandacht gekregen. Daarnaast dient ook in het ontwerp van de installatie en van de procesbesturing rekening te worden gehouden met deze aspecten.

Tijdens de workshop zijn de aandachtspunten met betrekking tot de bedrijfsvoering van een MBR geïnventariseerd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in bijlage 1. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste aspecten beschreven. Dit betreft de opstart van een MBR (paragraaf 5.2), de procesregelingen (paragraaf 5.3), de procesmonitors (paragraaf 5.4) en de bedrijfsvoering (paragraaf 5.5).

5.2 OPSTART

5.2.1 TESTPROCEDURES MEMBRANEN

FUNCTIONELE TESTEN

Alvorens de membranen geïnstalleerd worden dienen een aantal droge en natte functionele testen te worden uitgevoerd. Allereerst worden de membraangerelateerde onderdelen droog getest. Dit betreft bijvoorbeeld de blowers, de toevoerpompen, de permeaatpompen, de leeghaalpompen, de ontluchting, de afsluiters, de chemicaliëndoseerinstallaties en de meetsensoren. Vervolgens vinden de natte testen plaats. Het doel hiervan is het controleren van de volledige functionaliteit van de membraaninstallatie. Hierbij dient ook de werking van de besturingssoftware te worden getest. Voor de uitvoering van de natte testen dienen de verschillende onderdelen (beluchtingstanks, membraantanks of skids) met water te worden gevuld.

De installatie van de membranen vindt over het algemeen plaats onder verantwoordelijkheid van de membraanleverancier. Hierbij dient een inspectie plaats te vinden van alle belangrijke onderdelen, zoals de juiste aansluiting van koppelingen, leidingen, kleppen en fittingen. De permeaatbuffertank dient met drinkwater of permeaat te worden gevuld. Bij ondergedompelde membranen worden de volgende activiteiten uitgevoerd:

- visuele testen van de membraanbeluchting;
- meten of (visueel) beoordelen van het waterpas staan van alle membraancassettes;
- het afspoelen van de glycerine (conserveringsmiddel voor de membranen) van de membranen.

INTEGRITEITSTESTEN

Na de installatie en de functionele testen dient de kwaliteit van de membraaninstallatie beproefd te worden door middel van integriteitstesten. Met behulp van deze testen kunnen lekkages in de membranen maar ook in de leidingen en aansluitingen van de permeaatafvoer worden vastgesteld.

Bij ondergedompelde membranen worden de integriteitstesten (“bubbletesten”) uitgevoerd in met drinkwater (of permeaat) gevulde membraantanks.

Met behulp van een persluchtcompressor kan de permeaatheader op druk worden gebracht. Door vervolgens één voor één de afsluiters van de membraancassettes te openen kan de druk op de verschillende cassettes worden aangebracht. Bij holle-vezel membranen kan een hogere druk worden toegepast dan bij plaatmembranen. Op de plaatsen waar lekkages optreden, zijn grotere of onregelmatige luchtbellen zichtbaar. De grotere lekkages dienen door de membraanleverancier te worden gerepareerd of de betreffende modules dienen te worden vervangen. Soortgelijke testen kunnen ook in een later stadium worden uitgevoerd, bijvoorbeeld na elke intensieve reiniging. Hiermee kan de integriteit van de in bedrijf zijnde membranen in modules worden gecontroleerd.

Bij tubulaire membranen kunnen soortelijke integriteitstesten per module worden uitgevoerd. Hierbij wordt eveneens lucht op de permeatzijde ingebracht terwijl de module ondergedompeld wordt in water. Een andere optie is het gebruik van zeepsop in de module. Bij beide methoden kan aan lekkage in de module worden aangetoond. Op de MBR Ootmarsum zijn geen integriteitstesten uitgevoerd met de tubulaire membranen. Gezien de robuustheid van de membranen en de modules wordt dit door de membraanleverancier niet noodzakelijk geacht. In de periode na de opstart zijn geen lekkages geconstateerd.

SCHOONWATERTESTEN (CWP)

Het verdient de aanbeveling om, alvorens de installatie in bedrijf wordt genomen, de werking van de nieuwe membranen in schoon water te testen door middel van de Clean Water Permeabiliteit (CWP) test. De CWP is een algemeen toegepaste methode om de Ausgangssituatie van de membranen vast te stellen, en is onmisbaar voor de beoordeling van de werking en vervuiling van de membranen onder praktijkcondities. De CWP kan per membraanstraat of skid worden uitgevoerd, maar ook voor elke cassette of module. Tijdens de CWP testen wordt de betreffende membraanstraat of skid onder normale procesomstandigheden bedreven, dus met normale cyclusinstellingen, beluchttingscapaciteit en flux.

5.2.2 TESTPROCEDURES MICROZEVEN

Zoals aangegeven in paragraaf 2.2 dienen haren en andere componenten uit het influent te worden verwijderd om macro-vervuiling van de membranen te voorkomen. Hiertoe worden microzeven toegepast. De praktijk leert dat microzeven soms toch haren doorlaten terwijl dat eigenlijk niet zou moeten kunnen. Redenen hiervoor kunnen zijn;

- By-pass van de microzeef bij een piekbelasting of een verstopping;
- Een onvolledige afdichting tussen de microzeef en de goot waarin de zeef is geïnstalleerd (b.v. MBR Nordkanal);
- Een onvolledige afdichting in de microzeef (b.v. MBR Varsseveld);
- Te grote gaten of een verkeerde vorm van de gaten in de microzeef (b.v. MBR de Schilde).

Om er zeker van te zijn dat de micro-zeven de haren volledig verwijderen kan een zogenaamde harentest worden uitgevoerd. Hierbij wordt over een bepaalde periode een hoeveelheid haren aan de toevoer van de microzeven toegevoegd. In het gezeefde influent wordt vervolgens bekeken of er haren door de zeven heen zijn meegevoerd. Dergelijke testen zijn in alledrie de Nederlandse MBR's uitgevoerd. Op de MBR Varsseveld is tijdens deze test een deel van het effluent van de microzeven gefilterd met filterzakken met kleine gaatjes (0,4 mm). Het zeefgoed dat hiermee werd tegengehouden is vervolgens visueel beoordeeld. Hierbij bleek dat met name papiervezels aanwezig zijn. Haren werden in het zeefgoed niet aangetroffen. Op de MBR Ootmarsum is visueel waargenomen dat het effluent van de microzeven geen haren bevat. De gehele harentest zoals deze is uitgevoerd in Ootmarsum is weergegeven in Figuur 22. Op de MBR Heenvliet zijn eveneens filterzakken toegepast om de verwijdering te kunnen beoordelen. Hierbij bleken alleen enkele kleine haartjes door de microzeven te komen. De microzeven van Heenvliet hebben dan ook een wat grotere opening (3,0 mm) dan die van Varsseveld (0,8 mm) en Ootmarsum (0,7 mm).

FIGUUR 22

UITGEVOERDE HARENTEST OP OOTMARSUM (AUTEUR: DICK DE VENTE)

Op de rwzi Ootmarsum zijn twee trommelzeven geïnstalleerd om de toevoer naar de MBR voor te behandelen. De maaswijdte van het filtergaas is 0,8 mm. Om de werking van de zeven te beproeven is voorafgaand aan de opstart van de rwzi een zogenaamde harentest uitgevoerd, welke is onderverdeeld in twee delen: een statische en een dynamische proefneming.

STATISCHE PROEF:

Tijdens de statische proef is de trommel van de zeef half gevuld met water, waarna haren zijn toegevoegd tot een concentratie van 40 mg/l. Deze concentratie is de maximale vaste stofbelasting van de trommelzeef.

De trommel werd in werking gesteld, zonder water of haren aan of af te voeren, en zonder ingeschakelde sproeinozzles. Hierbij bleek dat uiteindelijk diverse haren door de zeef naar buiten staken.

Dezelfde test met ingeschakelde afvoer en ingeschakelde nozzles leidde tot een veel beter resultaat: de haren bleven aan de binnenkant van de zeef, en verdwenen via de afvoer. Er zijn geen haren waargenomen die door de zeef naar buiten staken.

OPMERKINGEN:

- De belasting met haren was tijdens de proefneming veel groter dan in praktijk het geval zal zijn. De installatie is namelijk uitgelegd op een totale vaste stofbelasting van 40 mg/l, die slechts voor een klein deel uit haar bestaat.
- Een test waarbij geen afvoer plaatsvindt zal per definitie leiden tot haren die door het filter steken (diameter haar \ll maaswijdte)
- Rendementsbepalingen m.b.t. hoeveelheden afgevangen haar konden niet uitgevoerd worden, omdat de haren niet allemaal zijn afgevoerd, maar deels in de afvoergoot bleven plakken.

DYNAMISCHE PROEF:

Tijdens deze proefneming is de praktijksituatie zoveel mogelijk nagebootst, door vanuit de slibzak van de bufferbezinktank de aanvoer met de opvoerpomp (max. 150 m³/h) te realiseren. De haarconcentratie in het water is verlaagd tot ca. 10-15 mg/l omdat gevreesd werd voor verstopping van de aanvoerpompen.

De resultaten waren goed, er werden vrijwel geen haren gezien die door de zeef kwamen. Slechts ter plaatse van een verstopte sproeinozzle staken haren door het filter.

CONCLUSIE:

De werking van de trommelzeven kon niet kwantitatief (met rendementberekeningen) worden vastgesteld. Op basis van visuele inspectie kan echter worden geconcludeerd dat de haren in voldoende mate worden afgevangen.

De onderzoekssituatie komt niet overeen met de praktijk, maar kan worden beschouwd als worse-case situatie. Onder praktijkomstandigheden zal de zeef naar verwachting nog beter presteren met betrekking tot de haarverwijdering.

5.2.3 ENTING MET SLIB

Bij de enting van de MBR met actiefslib wordt bij voorkeur gebruik gemaakt van het actiefslib (spuislib) van de bestaande installatie. De transportkosten zijn dan beperkt. Aangezien een MBR over het algemeen vergaande nutriëntverwijdering zal moeten bereiken is het aan te bevelen om de enting uit te voeren met nitrificerend actiefslib. Indien de bestaande installatie niet nitrificerend is kan uit het oogpunt van een versnelde opstart worden overwogen om het actiefslib van een andere rwzi aan te voeren.

Bij de enting is het van belang dat het entslib over de microzeven van de MBR wordt gevoerd. Hierdoor wordt de in het entslib aanwezige vervuiling verwijderd waardoor het actiefslib schoon is vanaf de opstart. Het slibdebiet dat over de microzeven kan worden gevoerd is afhankelijk van de maaswijdte en de slibconcentratie. Indien de slibconcentratie hoog is (b.v. bij ingedikt spuislib) dient een lager debiet te worden toegepast, waardoor de enting langer zal duren.

Twee belangrijke aandachtspunten bij de biologische opstart van een MBR zijn schuimvorming en de ontwikkeling van de (microbiologische) slibeigenschappen. Schuimvorming is een aspect wat bij de opstart van elke rwzi een rol speelt. Over het algemeen is bij een combinatie van een relatief laag slibgehalte en een hoge beluchtingsintensiteit, zoals het geval is bij een MBR, het risico van schuimvorming tijdens de opstart groot. In de praktijk blijkt echter op zowel Varsseveld, Heenvliet als Ootmarsum geen noemenswaardige schuimvorming te zijn opgetreden tijdens de opstart. Het is desondanks aan te bevelen om het slibgehalte bij enting zo hoog mogelijk te laten worden en om tijdens de opstart een (tijdelijke) anti-schuimdosering paraat te hebben. Bij de keuze van het anti-schuim middel dient te worden vastgesteld dat het niet schadelijk is voor de membranen. Het type anti-schuim dient daarom in overleg met de membraanleverancier te worden geselecteerd.

De microbiologische slibeigenschappen van een MBR slib zijn vaak anders dan die van conventioneel actiefslib. De samenstelling van de microbiële actiefslibpopulatie wordt bepaald door onder andere de slibbelasting, de slibleeftijd, de influentsamenstelling, het beluchtingsregime en de systeemconfiguratie. Een aantal van deze factoren zal bij de op te starten MBR anders zijn dan van de installatie waar het entslib van wordt betrokken. Een gevolg hiervan zal zijn dat in de opstartperiode verschuivingen optreden in de bacteriepopulatie en wijzigingen optreden in de vlok morfologie. Dit kan invloed hebben op de schuimvorming, maar ook op de filterbaarheid van het slib en daarmee op de membraanwerking.

Een belangrijk verschil tussen een MBR en een conventionele rwzi is de wijze van slib/water-scheiding. In een conventionele rwzi zullen de bacteriën die niet in staat zijn tot vlokvorming uitspoelen. In een MBR is de noodzaak tot vlokvorming kleiner, omdat de membranen uitspoeling voorkomen. Dit zou kunnen leiden tot een structureel groter aantal losse cellen in het slib. Daarnaast is ook de turbulentie in een MBR vaak groter dan in een conventionele rwzi. De beluchtingscapaciteit is aanzienlijk hoger (met name in de membraantanks) en de recirculatiestromen binnen het actiefslibstelsel en van- en naar de membraantanks zijn eveneens groter. Dit kan er toe leiden dat de slibvlokken worden beschadigd en (gedeeltelijk) uiteenvallen in kleinere vlokken. De keuze van de systeemconfiguratie en het type beluchting en pompen is hierbij van invloed.

De MBR Varsseveld is opgestart met het slib van de bestaande conventionele rwzi (ref. Schyns *et.al.*, 2005). Dit slib was in voldoende mate aanwezig, had voldoende nitrificerende capaciteit en was reeds aan het afvalwater van Varsseveld geadapteerd. Bij de enting is slib uit de beluchtingstank en uit de spuislibindikker gebruikt. De intentie was om na enting een slibgehalte van circa 5 - 6 kg DS/m³ te bereiken. Door verstoppingsproblemen met de microzeven is dit uiteindelijk slechts 2,4 kg DS/ m³ geworden. De influenttoevoer is vervolgens geleidelijk verhoogd en de biomassa is binnen 6 weken aangegroeid tot het gewenste niveau van 10 kg DS/ m³.

Tijdens de opstartperiode trad geen schuimvorming op. De veranderingen in microscopische slibeigenschappen waren relatief gering. De grootste verandering was de vlokstructuur; de slibvlokken werden kleiner en minder compact. De nitrificatie was volledig vanaf het begin. De fosfaat en nitraatverwijdering werden in het begin gehinderd doordat bij minimale beluchtingscapaciteit de zuurstofinbreng te hoog was. Door het oplopen van het slibgehalte en het verhogen van de influenttoevoer nam het zuurstofgehalte in het systeem af en de denitrificatiecapaciteit toe. Ook de biologische fosfaatverwijdering kwam vanaf dat moment op gang.

De MBR Heenvliet is opgestart in maart 2006. Omdat de SVI van het actiefslib in de bestaande conventionele straat hoog was is er voor gekozen om de MBR te enten met slib van de rwzi Rozenburg. De geplande opstart in parallelle configuratie kon wegens hydraulische problemen niet plaatsvinden en daarom is de installatie in serie-schakeling opgestart. Hierbij werd het entslib van de MBR vermengd met het slib van de bestaande conventionele straat. Het startniveau was hierbij circa 3,5 kg DS/ m³, dit is vervolgens in enkele weken tijd aangegroeid tot 10 kg DS/ m³. Tijdens de opstartperiode is geen schuimvorming opgetreden. Opmerkelijk was dat de SVI van de MBR Heenvliet in het eerste jaar na de opstart lager en stabiel was dan gebruikelijk was op de conventionele rwzi Heenvliet. In het voorjaar van 2007 is de MBR, na het vervangen van de membranen, opnieuw opgestart. Dit heeft plaatsgevonden met het aanwezige MBR-slib zonder dat extra entslib is aangevoerd.

De MBR Ootmarsum is in oktober 2007 opgestart. De conventionele straat van deze hybride installatie was enkele weken eerder opgestart. Voor de enting van de conventionele straat is het slib van de bestaande rwzi Ootmarsum gebruikt. Nadat het slibgehalte in de conventionele straat was aangegroeid van 1,6 tot 5,5-6 kg DS/ m³, is de MBR opgestart. Circa 1/3e deel van het actiefslib uit de conventionele straat is via de microzeven overgepompt naar de MBR, die daardoor met een slibgehalte van 2 kg DS/ m³ kon opstarten. Na 2 maand was het slibgehalte in de MBR aangegroeid tot het gewenste niveau van 10 kg DS/ m³. In deze periode is geen schuimvorming opgetreden en is de anti-schuimdosing niet gebruikt. De zuurstofinbreng tijdens de opstartperiode was te hoog. De opstartperiode was in de wintermaanden, waarin de belasting door het ontbreken van recreatie lager was dan in de zomermaanden. De minimale luchtinbreng van de biologische beluchting was vervolgens hoger dan nog was benodigd, waar-

door het zuurstofgehalte in de biologie tijdens de opstart in de wintermaanden te hoog was. Tengevolge hiervan was zowel het nitraat- als het fosfaatgehalte in het effluent hoog. Door het verhogen van het slibgehalte, het toenemen van de belasting in het zomerseizoen door de aanwezigheid van recreatie en het aanpassen van de minimale luchtinbreng in de biologie, is dit probleem na enkele maanden grotendeels verholpen. In het ontwerp is de seizoensafhankelijke belasting voorzien. Het hogere zuurstofgehalte in de wintermaanden wordt waarschijnlijk veroorzaakt door een hogere alfa-factor. Dit wordt nog nader onderzocht.

5.3 PROCESREGELINGEN

5.3.1 REGELING STRAATSTURING

De membranen zullen over het algemeen worden verdeeld over een aantal membraanstraten (membraantanks bij ondergedompelde membranen en skids bij tubulaire membranen). De straatsturing is voornamelijk afhankelijk van de RWA/DWA-verhouding en het aantal straten.

Bij een volledige MBR zullen de membraanstraten allemaal in bedrijf (= procesmode) zijn bij RWA. Bij DWA zullen één of meer membraanstraten uit bedrijf kunnen worden genomen. Bij een dergelijke MBR is het aantal membraanstraten in procesmode afhankelijk van het influentdebiet. Bij DWA wordt een in procesmode verkerende membraanstraat belast met de zogenaamde optimumflux. Dit is een flux waarbij de membranen niet significant vervuilen en optimaal kunnen presteren. Voor de MBR Varsseveld wordt over het algemeen uitgegaan van een (netto) optimumflux van 20 l/(m².h). Hierbij kan één membraantank (met een membraanoppervlak van circa 5.000 m²) circa 100 m³/h permeaat verwerken. Indien het influentdebiet hoger wordt dan 100 m³/h wordt een tweede membraantank bijgeschakeld. Op deze wijze wordt het energieverbruik van de MBR beperkt.

Het bij- en afschakelen van de membraanstraten vindt over het algemeen plaats op basis van het niveau in de beluchtingstank en/of de influentdebietmeting. Indien alleen op basis van een debietmeting wordt geregeld kan de regeling te snel reageren, met name wanneer het influentdebiet grote fluctuaties vertoont. Het te snel op- en aftoeren van de permeaatpompen leidt tot een sterk wisselende flux, wat niet optimaal is. Membranen functioneren over het algemeen het best bij constante flux. Ook de onnauwkeurigheid van de debietmetingen kan leiden tot een onstabiele regeling. Indien de influentdebietmeting en de permeaatdebietmeting niet exact hetzelfde meten zal het niveau in de installatie langzaam zakken of stijgen. Dit is de reden dat een niveaumeting essentieel is voor een rustige en stabiele straatsturing. Er zijn verschillende manieren om de straatsturing te regelen:

- Volledig op het niveau in de beluchtingstank, waarbij de beluchtingstank wordt gebruikt voor buffering van influentfluctuaties;
- Op basis van het influentdebiet, waarbij bijsturing plaatsvindt op basis van het niveau in de beluchtingstank.

Bij een hybride installatie kan de verhouding tussen de maximale (RWA) en gemiddelde (DWA) hydraulische belasting in theorie zo gering zijn dat alle membraanstraten het grootste deel van de tijd in bedrijf zijn. In de praktijk blijkt echter dat de RWA/DWA verhouding zodanig is dat er sprake is van af- en bijschakelen van straten bij af- of toenemende influentaanvoer. Bij de hybride MBR Heenvliet is de verhouding tussen RWA en DWA circa 2. De installatie

heeft twee membraantanks. Bij DWA staat in principe één straat gedurende de hele dag aan. Het bij- en afschakelen van de tweede membraantank vindt plaats op basis van het influent-debiet. De hybride MBR Ootmarsum bestaat uit 6 separate membraanskids. Ten gevolge van de hybride uitvoering is de RWA/DWA verhouding relatief laag (2,0). Bij de straatsturing wordt met name gebruik gemaakt van een niveaumeting in de influentbuffertank. Een stijging van het niveau leidt tot het optoeren van de influentpomp (van buffer naar beluchtingstank) en het bijschakelen van membraan capaciteit.

5.3.2 REGELING PROCESCYCLUS

De opbouw van de procescyclus verschilt per type membraan. De basis van elk systeem is de permeaatonttrekking. Daarnaast heeft elk systeem één of meer van de volgende stappen waarmee de vervuiling van de membranen kan worden verminderd en/of verwijderd:

- Terugspoeling; hierbij wordt tijdelijk het permeaat via de permaatzijde teruggespoeld;
- Relaxatie; hierbij vindt tijdelijk geen permeaatonttrekking plaats terwijl de membraanbeluchting en slibrecirculatie wel door kunnen gaan;
- Draining (alleen bij tubulaire systemen); hierbij wordt de volledige inhoud van de module tijdens een terugspoeling gedraind, waarbij eventuele macro-vervuiling onderin de module wordt weggespoeld.

Bij een systeem met terugspoeling bestaat de procescyclus uit onttrekking (5 - 10 minuten) en terugspoeling (5 - 60 seconden) van permeaat. Voor beide functies kan dezelfde pomp wordt gebruikt of verschillende pompen. Bij het toepassen van dezelfde pomp voor beide functies kan óf de draairichting van de pomp telkens worden omgekeerd, óf kan door het openen en dichtzetten van kleppen in de permeaatleiding de stromingsrichting worden omgekeerd. Bij het toepassen van verschillende pompen voor onttrekking en terugspoeling kan één onttrekkingspomp per membraanstraat worden gebruikt en één terugspoelpomp voor de gehele installatie. De terugspoeling dient dan zodanig te worden ingesteld dat met dezelfde pomp de ene na de andere straat kan worden teruggespoeld. Hiervoor is ook een aantal extra kleppen in de permeaatleidingen nodig.

De verhouding tussen onttrekking enerzijds en de terugspoeling, relaxatie en/of draining anderzijds bepaalt de efficiëntie (verhouding tussen netto en bruto flux) van het systeem. Bij relaxatie treedt alleen rendementsverlies op doordat een deel van de tijd geen permeaatonttrekking plaatsvindt. Bij een cyclus van 10 minuten, waarbij 8 minuten onttrekking plaatsvindt en 2 minuten relaxatie, is het rendement 80%. Bij terugspoeling (of back-pulse) is niet alleen de terugspoeltijd maar ook de terugspoelflux (of terugspoeldebiet) van belang. Het teruggespoelde permeaat moet opnieuw worden onttrokken en heeft daardoor een dubbele verlaging van het rendement tot gevolg.

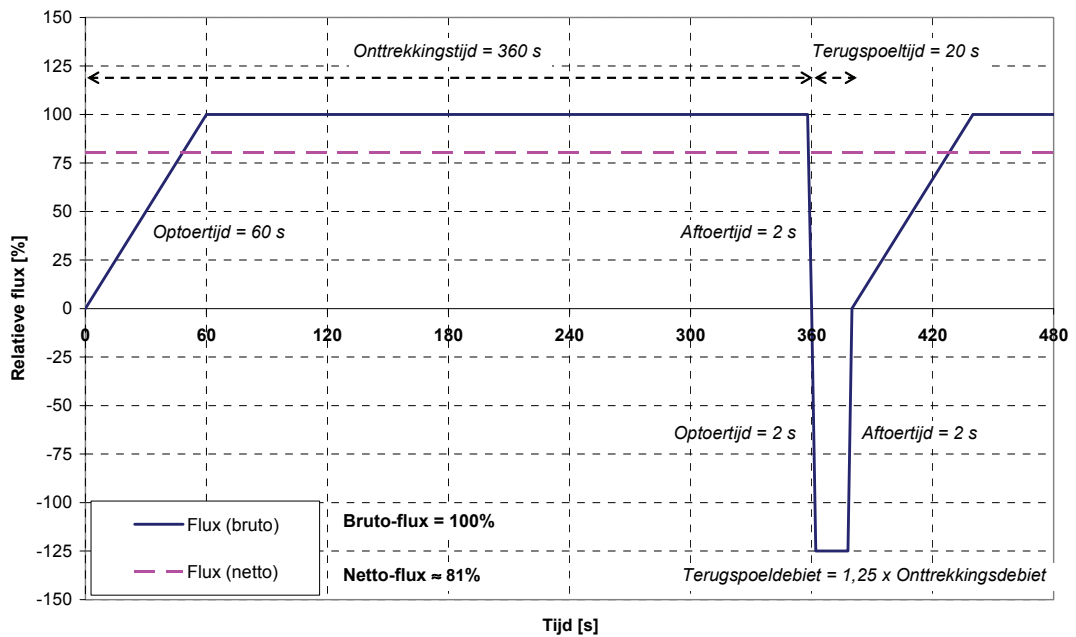
De wijze van terugspoeling kan sterk verschillen per systeem. Bij de tubulaire membranen van Norit wordt bijvoorbeeld een korte (5-10s) maar intensieve terugspoeling (flux tot 300 l/(m².h)) uitgevoerd. Bij ondergedompelde membranen is de terugspoeling in het algemeen langer (15-60s) maar de toegepaste flux aanmerkelijk lager (5-50 l/(m².h)).

In Figuur 23 is als voorbeeld de procescyclus van de Zenon-membranen op de MBR Varsseveld weergegeven. De cyclusinstellingen zijn 6 minuten onttrekking en 20 seconden terugspoeling. Het terugspoeldebiet is hierbij gelijk aan 1,25 x het laatst toegepaste onttrekkingsdebiet. Uit deze afbeelding blijkt bij het bepalen van het rendement van de procescyclus ook de wijze van op- en aftoeren van de pomp een rol speelt.

Het op- en aftoeren van de permeaatpompen dient geleidelijk plaats te vinden. Voornamelijk

bij het optoeren van de pomp dient een bepaalde optoertijd in acht te worden genomen om een te snelle koekvorming op het membraan te voorkomen.

FIGUUR 23 DE PROCESCYCLUS VAN EEN TERUGSPOELBAAR MEMBRAAN



Bij membraansystemen waarbij relaxatie wordt toegepast kan de lengte van de onttrekkingstijd en de relaxatietijd worden geoptimaliseerd, afhankelijk van de membraanprestaties. De MBR Heenvliet, met plaatmembranen van Toray, heeft enige tijd gedraaid op een onttrekkingstijd van 1 uur gevolgd door 1 minuut relaxatie. Het rendement bij deze procesinstellingen is maar liefst 98%. Door de bedrijfsvoerders is geen positief effect van de relaxatie waargenomen. Op verzoek van de membraanleverancier zijn de procesinstellingen echter teruggezet op de standaard instelling van 9 minuten onttrekking en 1 minuut relaxatie (rendement 90%).

Over het algemeen wordt gebruik gemaakt van vaste procesinstellingen, dat wil zeggen dat de bedrijfsvoerder de onttrekkingstijd, de terugspoeltijd en dergelijke instelt. Een aanpassing van de instellingen vindt plaats op basis van de ervaringen en inzichten van de bedrijfsvoerder en de voorschriften van de membraanleverancier.

In principe is het denkbaar dat de waarde van de procesinstellingen door een intelligente regelaar worden gekozen op basis van de procesresultaten. Mogelijk dat een dergelijke regelaar in de toekomst zal worden toegepast.

5.3.3 REGELING BELUCHTING

De beluchting in de membraantank dient voor de zogenaamde “scouring” (schuren) van de membranen. De luchtbellens zorgen ervoor dat het slib tussen de membranen (en de membranen zelf) in beweging blijft en ververscht wordt, en dat de slibkoek bij de membranen beperkt blijft. De benodigde beluchtingscapaciteit kan per membraantype en modulotype verschillen.

Bij de meeste membraansystemen wordt een constante beluchtingscapaciteit toegepast. De regeling hiervan is relatief simpel. Indien de module / membraanstraat in bedrijf is dient de beluchting continu aan te staan. Ook tijdens terugspoeling en in sommige gevallen tijdens de relaxatie blijft de beluchting in bedrijf.

Zenon maakt gebruik van de zogenaamde air-cycling. Hierbij wordt de beluchting onder elke module intermitterend aan- en uitgeschakeld.

Hierbij wordt gebruik gemaakt van een automatische klep die dezelfde hoeveelheid lucht 10-15 seconden naar de ene en vervolgens 10-15 seconden naar de andere module stuurt. Het is ook mogelijk om deze intermitterende bedrijfsvoering binnen één module uit te voeren. Deze bedrijfsvoeringswijze heeft geleid tot een verlaging van de benodigde hoeveelheid lucht. Puron heeft een regelingsconcept ontwikkeld waarbij de beluchtingscapaciteit wordt gerelateerd aan de actuele flux. Bij lagere flux wordt minder belucht. Eenzelfde principe zou ook kunnen worden aangehouden voor de procestemperatuur. Onderzoek op verschillende locaties (Varsseveld, Beverwijk) heeft aangetoond dat de Zenon modules met minder beluchting toe kunnen bij hogere procestemperaturen. Bij het Norit Airlift systeem vindt de beluchting continu plaats maar is het benodigde hoeveelheid lucht lager dan bij de ondergedompelde systemen.

In paraatmode vindt over het algemeen geen of veel minder beluchting plaats. De reden om de beluchting aan te zetten is niet het schoonhouden van de membranen maar eerder het voorkomen van slibbezinking en anaërobe omstandigheden in de membraantank. Op de MBR Varsseveld wordt de beluchting elke 30 minuten gedurende 5 minuten aanzet. Op de MBR Heenvliet zal deze procesinstelling ook verder worden geoptimaliseerd.

Tubulaire membranen hebben als voordeel dat ze in paraatmode relatief eenvoudig met permeaat kunnen worden opgevuld. Hierdoor kunnen de membranen langere tijd zonder beluchting of recirculatie worden weggezet. Op de MBR Ootmarsum worden de niet in bedrijf staande skids in permeaat weggezet. Om aangroei in de membranen te voorkomen wordt deze tijd tot maximaal 1 à 2 dagen beperkt.

In principe is het met ondergedompelde membranen ook mogelijk om de membraantank met permeaat op te vullen indien deze niet in bedrijf is. Hierbij is echter aanzienlijk meer permeaat nodig dan bij tubulaire membranen. Dit gaan ten koste van het rendement van de installatie.

5.3.4 REGELING MEMBRAANTOEVOERPOMPEN

De functie van de membraantoevoerpompen verschilt voor ondergedompelde en tubulaire membranen. Bij ondergedompelde membranen wordt met behulp van de membraantoevoerpompen de inhoud van de membraantank ververs. Hierdoor wordt de mate van slibindinking in de membraantank onder controle gehouden. De functie komt overeen met die van een retourslibpomp op een conventionele rwzi.

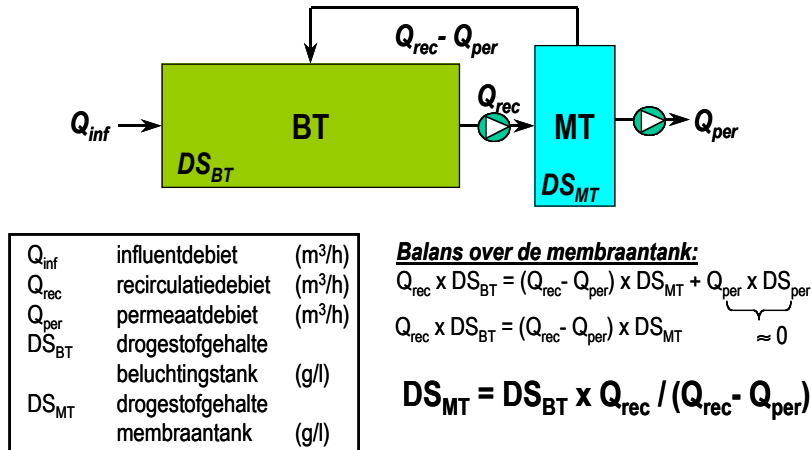
Bij tubulaire membranen is de belangrijkste functie van de membraantoevoerpomp het creëren van een bepaalde cross-flow snelheid door de membraanmodule. Er is daardoor een verschil in de capaciteit van de membraantoevoerpompen. Bij ondergedompelde membranen wordt over het algemeen een recirculatie ratio van 3-6 aangehouden ten opzichte van het influentdebiet. Voor tubulaire semi cross-flow membranen is dit 12-18.

Bij ondergedompelde membranen bepaalt de recirculatieverhouding tussen het toevoerdebiet en het permeaatdebiet het evenwichtsslibgehalte in de membraantank. In Figuur 24 is een massabalans over de membraantank weergegeven.

Het slibgehalte in de beluchtingstank wordt op een gewenst niveau gehouden met behulp van de spuislibregeling. Het drogestofgehalte in de membraantank zoals weergegeven in Figuur 24 stelt zich vervolgens in de evenwichtssituatie in.

FIGUUR 24

MASSABALANS OVER DE MEMBRAANTANK (STOWA 2002-12)



In de praktijk kan het membraantoevoerdebiet bij ondergedompelde membranen op drie manieren worden geregeld.

1. Op basis van het (maximum) DS-gehalte in de membraantank;
2. Op basis van het permeaatdebiet;
3. Op een constant debiet.

1. REGELING OP DS-GEHALTE IN DE MEMBRAANTANK

Bij een regeling op het maximum drogestofgehalte in de membraantank wordt getracht het drogestofgehalte in de membraantank op het gewenste (maximale) niveau te houden. Het benodigde membraan toevoerdebiet kan worden berekend met de volgende formule:

$$Q_{REC} = Q_{PER} \times \frac{DS_{MT}}{(DS_{MT} - DS_{BT})}$$

2. REGELING OP PERMEAATDEBIET

Bij een regeling op basis van het permeaatdebiet wordt het toevoerdebiet verhoogd bij toename van het permeaatdebiet (of de flux). Hierdoor wordt, net als bij de regeling op basis van het drogestofgehalte, getracht om het toevoerdebiet laag te houden. Alleen bij hogere fluxen wordt de maximale toevoerpompcapaciteit benut, om te voorkomen dat het drogestofgehalte in de membraantank te hoog wordt. Omdat het drogestofgehalte in de beluchtingstank niet in de regeling wordt meegenomen is ook niet bekend wat het drogestofgehalte in de membraantank is.

3. REGELING OP CONSTANT DEBIET

Bij een regeling op constant toevoerdebiet zal het drogestofgehalte in de membraantank sterk variëren, afhankelijk van de variatie in het permeaatdebiet. Bij een toename van het permeaatdebiet zal het drogestofgehalte in de membraantank toenemen.

Bij tubulaire semi cross-flow membranen is de ingestelde capaciteit van de membraantoevoerpompen over het algemeen constant en onafhankelijk van het slibgehalte in de beluchtingstank of het permeaatdebiet.

In paraatmode vindt over het algemeen minder recirculatie plaats. De reden om de recirculatie aan te houden kan zijn het voorkomen van slibbezinking (afhankelijk van de hydraulische omstandigheden in de membraantank) en het verversen van het slib in de membraantank. Indien het slib in de membraantank niet wordt verversd zal het gedurende langere tijd zonder voeding in de membraantank aanwezig zijn. De omstandigheden zullen hier, afhankelijk van het beluchtingsregime (zie paragraaf 1.3.3) afwisselend aëroob en/of anaëroob zijn. In deze tijd kan slibmineralisatie en mogelijk fosfaatafgifte plaatsvinden. Dit kan een negatief effect hebben op de slibeigenschappen en de effluentkwaliteit. Om dit tegen te gaan kan worden gekozen om tijdens paraatmode regelmatig de recirculatiepompen aan te zetten. Een andere optie is om de recirculatiepompen gedurende een bepaalde tijd aan te zetten alvorens een membraantank weer in bedrijf wordt genomen. Deze procedure gaat wel ten koste van de flexibiliteit van het systeem aangezien de membraantanks niet onmiddellijk beschikbaar zijn.

5.3.5 REGELING CHEMISCHE REINIGING

De chemische reiniging heeft tot doel om de membraanvervuiling te verwijderen. De verschillende typen chemicaliën en reinigingsprocedures zijn in paragraaf 2.4.5 beschreven. De belangrijkste reinigingsprincipes zijn de onderhoudsreiniging en de intensieve reiniging.

ONDERHOUDSREINIGING / MAINTENANCE CLEANING

De maintenance cleaning (MC) wordt toegepast om de permeabiliteit van de membranen op een hoog niveau te houden, waardoor bij lage drukken kan worden gewerkt en de 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.

Gezien de frequente toepassing dient deze reinigingsprocedure bij voorkeur volledig geautomatiseerd te zijn. De instellingen van de procedure dienen flexibel te zijn, zodat de reiniging kan worden afgestemd op de situatie. De belangrijkste instellingen zijn:

- de toe te passen chemicaliën (oxidant, zuur of allebei) en de volgorde waarin deze worden toegediend;
- het debiet (of flux) waarmee de chemicaliën worden gedoseerd;
- de concentratie die wordt toegepast;
- het aantal doseringen en de duur van elke dosering;
- de inweektijd na een chemicaliëndosering;
- het vulniveau van de membraantank (optioneel bij ondergedompelde membranen);
- de temperatuur van de chemicaliënoplossing (optioneel).

Over het algemeen wordt een MC gestart op basis van tijd. Na 1 of 2 weken wordt de procedure automatisch gestart. Bij RWA zijn alle membraantanks in bedrijf en zal geen automatische reiniging worden uitgevoerd. In het geval van een MBR met meerdere membraantanks kan de keuze voor de membraantank die moet worden gereinigd worden gebaseerd op:

- degene die het langst niet gereinigd is wordt als eerste gereinigd;
- degene die de laagste permeabiliteit heeft wordt als eerste gereinigd.

INTENSIEVE REINIGING

De intensieve reiniging is gericht op het terugbrengen van de oorspronkelijke permeabiliteit. Intensieve reinigingen hebben een lage frequentie in tegenstelling tot een onderhoudsreiniging maar een hogere chemicaliënconcentratie en een langere inwerktijd. Een intensieve reiniging wordt, afhankelijk van het type membraan en de mate van vervuiling 1 tot 6 keer per jaar uitgevoerd.

De beslissing om een intensieve reiniging uit te voeren zal over het algemeen gebaseerd zijn op het verloop van de permeabiliteit. Gezien de lage frequentie van de IC is het niet noodzakelijk om de start van een IC te automatiseren. Indien de installatie heel groot is en uit veel verschillende membraantanks bestaat kan worden overwogen om een automatische IC te laten uitvoeren op basis van het permeabiliteitsverloop.

De uitvoering van de IC kan volledig geautomatiseerd plaatsvinden. Ook hierbij geldt dat de flexibiliteit van de procesinstellingen van belang is. De belangrijkste instellingen zijn; het type chemicalie, de concentratie en de inweektijd.

5.4 MONITORINGSASPECTEN

5.4.1 MONITORINGSPARAMETERS

Ten opzichte van een conventionele installatie kent een MBR een aantal extra monitoringsparameters. In de beluchtingstank worden in het algemeen de bekende monitoren voor de bedrijfsvoering van de biologie toegepast. Dit betreft de meting van bijvoorbeeld zuurstof, ammonium, nitraat, fosfaat en drogestofgehalte. Doordat in een MBR de hydraulische verblijftijd korter is maar de effluenteisen vaak strenger zijn, wordt het monitoren van de processen belangrijker, zodat sneller op procesveranderingen kan worden gereageerd.

Voor de besturing van de membraanfiltratie is een aantal extra debietmetingen en niveaumetingen benodigd. De debietmetingen betreffen met name de permeaatpompen. Op basis van deze metingen wordt de flux per membraanstraat bepaald. Eventueel kan een debietmeting in de membraantoevoerleiding worden overwogen, of een drogestofmeting in elke membraantank. Op basis hiervan kan de verdeling over de membraantanks en de drogestofbalans over de membraantanks worden vastgesteld en bijgesteld. Niveaumetingen vinden over het algemeen plaats in de beluchtingstank, de membraantanks en de permeaatbuffertank(s). De niveaumeting in de beluchtingstank wordt gebruikt om de permeaatpompen aan te sturen of bij te regelen (zie paragraaf 5.3). De andere niveaumetingen dienen voor de bewaking van het proces.

Een troebelheidsmeting kan worden toegepast voor de bewaking van de membraanintegriteit. Dit is met name van belang voor membranen die worden teruggespoeld (zie paragraaf 5.4.4), maar ook voor de bescherming van niet-terugspoelbare membranen nuttig. De troebelheidsmeting wordt bij voorkeur in de permeaatleiding van elke membraanstraat geplaatst.

De belangrijkste metingen in de membraantank zijn echter de drukmeting(en). De drukmeting wordt gebruikt om de statische en dynamische druk aan de permeatzijde van het membraan te meten. Op basis hiervan wordt de transmembraandruk en de permeabiliteit bepaald (zie paragraaf 5.4.2).

Bij ondergedompelde membranen kan in principe worden volstaan met één drukmeting per membraanstraat. De drukmeting wordt geplaatst in de permeaatleiding tussen de membranen en de permeaatbuffertank. Tijdens permeaatonttrekking wordt de dynamische druk gemeten. Dit is een relatieve meting van de onderdruk die nodig is om het permeaat te onttrekken, inclusief de overige dynamische drukverliezen (b.v. leidingweerstand). De statische druk wordt gemeten in een rusttoestand waarbij geen onttrekking of terugspoeling plaatsvindt, maar waarbij het statische drukverschil tussen membraantank en permeaatbuffer gelijk is aan die tijdens de permeaatonttrekking. Bij membranen die gebruik maken van relaxatie kan de statische drukmeting plaatsvinden tijdens elke relaxatieperiode. Bij membranen zonder vaste relaxatie maar met terugspoeling, kan in de procescyclus voor dit doel een relaxatiefase worden geïntroduceerd (bijvoorbeeld na elke 10 procescycli 30 seconden relaxatie), waarin de statische druk kan worden bepaald.

Bij tubulaire membranen wordt over het algemeen gebruik gemaakt van twee drukmetingen per membraanstraat; één in de membraantoevoerleiding en één in de permeaatleiding. Bij het berekenen van de TMD dient rekening te worden gehouden met het statische hoogteverschil tussen beide meetsondes.

Ook voor ondergedompelde membranen kan hiervoor worden gekozen. De meetsondes dienen dan in de membraantank en in de permeaatleiding te worden geplaatst. Op de MBR Heenvliet wordt per membraanstraat gebruik gemaakt van één drukmeting met twee sondes, die op gelijke hoogte in de membraantank en de permeaatleiding zijn gemonteerd. De druksensor berekent op basis van beide metingen direct de TMD.

5.4.2 BEREKENING FILTRATIEPARAMETERS

Bij de bedrijfsvoering van een MBR installatie is een aantal parameters van belang die niet bij een conventionele installatie van toepassing zijn. De belangrijkste termen zijn hier beschreven. In Figuur 25 is een voorbeeldberekening weergegeven.

TRANSMEMBRAANDRUK (TMD)

De TMD is de drukval over het membraan, tussen de slibzijde en de permeatzijde. De TMD is de drijvende kracht waardoor de filtratie door de membranen plaatsvindt. Dit drukverschil wordt veroorzaakt doordat aan de permeatzijde een onderdruk ontstaat door de zuigende werking van de permeaatpomp.

De transmembraandruk (TMD) wordt bepaald aan de hand van het drukverschil tussen de pers- en zuigzijde van het membraan:

$$TMD [bar] = \text{statische druk} [bar] - \text{dynamische druk} [bar]$$

FLUX

De flux is de hoeveelheid permeaat die per tijdseenheid door een membraanoppervlak wordt geleid (in l/(m².h)). De flux wordt berekend als quotiënt van het permeaat debiet en het membraanoppervlak:

$$Flux [l/(m^2 \cdot h)] = \frac{\text{permeaatdebiet} [l/h]}{\text{membraanoppervlak} [m^2]}$$

Er kan onderscheid worden gemaakt tussen de bruto en de netto flux. De bruto flux is de actuele flux tijdens permeaatonttrekking.

De netto flux is de gemiddelde flux over een langere periode, waarbij het productieverlies ten gevolge van een terugspoeling en/of relaxatie wordt verdisconteerd. Het verschil tussen de netto- en bruto-flux voor een systeem met terugspoeling is schematisch weergegeven in Figuur 23.

PERMEABILITEIT

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 die op het water wordt uitgeoefend. Permeabiliteit is de actuele bruto flux gedeeld door de transmembraandruk (TMD) over het membraan (in $l/(m^2 \cdot h \cdot bar)$).

$$Permeabiliteit [l/(m^2 \cdot h \cdot bar)] = \frac{bruto\ flux [l/(m^2 \cdot h)]}{TMD [bar]}$$

De temperatuur van het water door de membranen heeft een duidelijk effect op de permeabiliteit. Bij toename van de temperatuur neemt de permeabiliteit toe.

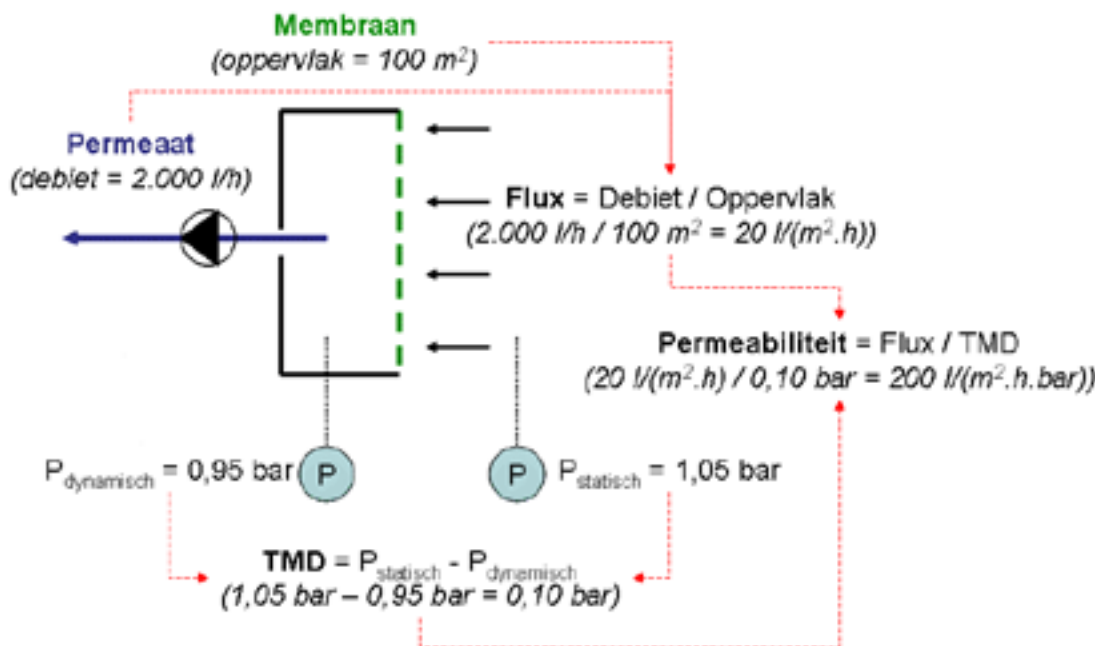
Om verlies van permeabiliteit door vervuiling te kunnen vaststellen is het noodzakelijk om bij de vergelijking van de permeabiliteit met de oorspronkelijke waarde dit bij een gelijke gestandaardiseerde temperatuur (bijvoorbeeld 15°C) te doen. De temperatuurscorrectie dient volgens onderstaande formule uitgevoerd te worden.

$$Permeabiliteit (15^\circ C) = Permeabiliteit (T^\circ C) \times \frac{Viscositeit (T^\circ C)}{Viscositeit (15^\circ C)} [l/(m^2 \cdot h)]$$

Deze relatie tussen de viscositeit (η_P) en de procestemperatuur kan worden beschreven met de volgende formule:

$$\eta_P = \frac{0,479}{(T + 42,5)^{1,5}} [Pa \cdot s]$$

FIGUUR 25 SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN DE PERMEABILITEITSMETING



5.4.3 BEOORDELING MEMBRAANWERKING

De werking van de membranen kan worden beoordeeld op basis van de hoogte en het verloop van de transmembraandruk en/of de permeabiliteit. Hierbij is de hoogte van de gehanteerde flux van belang. Bij een lage flux zal de permeabiliteit hoger en stabiel zijn dan bij een hoge flux. Er zijn twee manieren waarop de membraanwerking kan worden beoordeeld:

- Bepalen van de TMD en het TMD verloop bij een standaard (optimum) flux;
- Bepalen van de kritische flux, waarbij de TMD niet of nauwelijks toeneemt binnen een gedefinieerde tijd.

Indien de TMD te hoog is, of indien de kritische flux te laag is, kan dit een gevolg zijn van membraanvervuiling. Het reinigen van de membranen kan dan een oplossing zijn. Mogelijk kan het wijzigen van procesinstellingen (b.v. de beluchtingscapaciteit of de cyclusinstellingen) in een betere membraanwerking resulteren.

Bij de interpretatie van het TMD verloop of de kritische flux dient onderscheid te worden gemaakt tussen de membraanvervuiling en de filtreerbaarheid van het slib. Indien de TMD-toename een gevolg is van een verslechtering van de slibeigenschappen, heeft het reinigen van de membranen of het aanpassen van de procesinstellingen niet veel zin. De aandacht dient dan uit te gaan naar het verbeteren van de slibeigenschappen.

Per installatie kan een schema worden opgesteld waarin kan worden aangegeven welke actie dient te worden uitgevoerd afhankelijk van de permeabiliteit (of de TMD of kritische flux). Het absolute niveau van de permeabiliteit zal verschillen per systeem. Ook het toegestane verloop van de permeabiliteit in de tijd zal bij terugspoelbare membranen anders zijn dan bij niet-terugspoelbare membranen. In Tabel 11 is een voorbeeld gegeven van een membraanbeoordelingstabel, waarbij de relatie tussen de relatieve gecorrigeerde permeabiliteit (gemeten bij standaard flux, ten opzichte van de schoonwaterpermeabiliteit CWP) en de uit te voeren actie wordt beschreven. De hoogte van de relatieve permeabiliteit kan per membraantype en per installatie verschillen.

TABEL 11 VOORBEELD VAN EEN MEMBRAANBEOORDELINGSTABEL

Permeabiliteit [% CWP]	Oordeel	Actie
> 80%	++	Voer, indien voorgeschreven, een regelmatige (1 x per 2 weken) onderhoudsreiniging uit.
60% < P < 80%	+	Voer, indien voorgeschreven, een regelmatige (1 x per week) onderhoudsreiniging uit.
40% < P < 60%	+/-	De membranen zijn sterk vervuild. Voer een intensieve reiniging uit.
20% < P < 40%	-	Voer een intensieve reiniging uit. Er moet speciale aandacht aan de recovery worden geschonken. Neem contact op met de membraanleverancier om de methode te bepalen om de permeabiliteit te herstellen.
P < 20%	--	De membranen zijn sterk irreversibel vervuild en dienen te worden vervangen

5.4.4 BEWAKING MEMBRAANINTEGRITEIT

De membraanintegriteit wordt gecontroleerd voordat de installatie in bedrijf wordt genomen (zie paragraaf 5.2.1).

Na de inbedrijfname kunnen de membranen, de membraanracks of het leidingwerk echter beschadigen ten gevolge van allerlei oorzaken. De belangrijkste oorzaken zijn (Le-Chech *et al.*, 2005):

- Chemische oxidatie. Te frequent of intensief contact van het membraan met reinigingsschemicaliën kan leiden tot delaminatie van het membraan;
- Foute aansluitingen. Bij inbedrijfname kan een verkeerd geïnstalleerde module onder te hoge druk komen te staan;
- Macro-vervuiling. De aanwezigheid van abbrasieve of scherpe materialen in het slib kan leiden tot beschadigingen van het membraan;
- Verkeerde membraanstructuur of moduleconfiguratie. Het membraan kan beschadigen tijdens procesvoering door te veel stress of externe krachten.

Bij het optreden van een lekkage in de membranen of in het leidingwerk (b.v. een verkeerd aangesloten slang) zal slib met het permeaat worden meegevoerd.

Dit leidt tot een (tijdelijke) verslechtering van de effluentkwaliteit. De ernst van de situatie is afhankelijk van de grootte van de lekkage en het type membraan.

Bij membranen die gebruik maken van terugspoeling met permeaat (o.a. holle-vezelmembranen en tubulaire membranen) kan een lekkage tot ongewenste membraanvervuiling leiden. Tijdens de reguliere terugspoeling van permeaat kan namelijk 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 kunnen leiden. Een lekkage in één klein element of module kan in het slechtste geval leiden tot vervuiling van alle andere modules.

Bij membraansystemen zonder terugspoelmogelijkheid is het effect van een lekkage afhankelijk van de plaats van de lekkage en het type membraan. Bij holle-vezel membranen leidt het afbreken van één membraanvezel over het algemeen niet tot problemen. Doordat de diameter van de vezel zeer klein is zal deze snel verstopten met slib en zichzelf buiten werking stellen. Een scheurtje in een plaatmembraan kan leiden tot een relatief grote lekkage, waarbij de gehele plaat kan worden vervuild met slibdeeltjes. Deze plaat zal vervolgens moeilijk te reinigen zijn en dient te worden vervangen. De effluentkwaliteit (met name de bacteriologische kwaliteit) zal verslechteren doordat slibdeeltjes via het permeaat zullen worden afgevoerd.

Op de MBR Varsseveld zijn enkele maanden na de opstart op verschillende membraancassettes lekkages waargenomen. Deze lekkages vonden niet plaats in het membraan zelf, maar bij de aansluiting van de permeaatheder en de permeaatleiding. Deze nieuwe aansluitingen waren nog niet eerder op praktijkschaal toegepast en bleken niet bestand te zijn tegen de grote krachten die plaatsvinden bij de beluchting in een membraantank. De lekkage kon vroegtijdig worden gesignaleerd met behulp van de troebelheidsmeters in de permeaatleidingen van de membraantanks. Op basis van de hoge troebelheid (> 10 NTU) werd de betreffende membraanstraat uitgeschakeld en volgde een alarmmelding. Na het vervangen van enkele lekkende elementen (in totaal zijn 10 van de 640 elementen vervangen) daalde de troebelheid weer naar het normale niveau van $< 0,1$ NTU. Het belang van de troebelheidsmetingen in elke permeaatleiding is hiermee aangetoond. Dankzij deze metingen konden problemen vroegtijdig worden gesignaleerd en verholpen. De membraanleverancier Zenon heeft naar

aanleiding van deze lekkages de bevestigingsconstructie van de modules aangepast waardoor de krachten op de individuele elementen zijn verminderd.

Ook de MBR Heenvliet had in de eerste maanden na de opstart te maken met slibdeeltjes in het permeaat. Dit was een gevolg van foute aansluitingen tussen de membraanplaten en de permeaatheader. Daarnaast bleek een aantal platen door productiefouten een vouw in het membraan te hebben waardoor sommige membranen los kwamen van het frame. Dit is de reden geweest om alle membranen na één jaar te vervangen. Hierna werd wederom lekkage gesignaleerd, maar dit was te wijten aan een verkeerde koppeling tussen één module en de permeaatheader. Op de MBR Heenvliet wordt geen gebruik gemaakt van een on-line troebelheidsmeting.

Ook op de MBR Ootmarsum is geen on-line troebelheidsmeting aanwezig. De bewaking van de membraanintegriteit vindt plaats op basis van visuele waarnemingen (via het kijkglas in elke permeaatleiding) en laboratoriumanalyses van het permeaat.

Indien slibdeeltjes in het permeaat worden aangetroffen kan de lekkage worden opgespoord door de visuele waarneming per membraanstraat en monsternamen per module.

5.5 BEDRIJFSVOERING

5.5.1 BEDIENING EN GEGEVENSANALYSE

Ten opzichte van een conventionele rwzi is de bediening van een MBR complexer. De zuiveringstechnicus / bedrijfsvoerder krijgt te maken met nieuwe apparaten (membranen, microzeven) en begrippen (flux, transmembraandruk en permeabiliteit). Door het Waterschap Rijn & IJssel is ingeschat dat de benodigde tijd voor de bediening circa 50% hoger is dan die voor een conventionele rwzi met zandfiltratie (STOWA, 2006-05). Deze vergelijking is gebaseerd op hun ervaringen in Varsseveld (MBR) en Ruurlo en Wehl (rwzi met zandfiltratie).

Een relatief groot deel van de extra tijdsbesteding (met name tijdens de opstartperiode) wordt veroorzaakt door “kinderziektes”. Net als bij de opstart van elke nieuwe rwzi heeft ook een MBR hier mee te maken. Zowel op de MBR Varsseveld, op de MBR Heenvliet als op de MBR Ootmarsum wordt melding gemaakt van aan de MBR gerelateerde kinderziektes. De belangrijkste zijn weergegeven in Tabel 12.

TABEL 12 OVERZICHT VAN DE BELANGRIJKSTE KINDERZIEKTES OP MBR VARSSEVELD, HEENVLIET EN OOTMARSUM

MBR	Kinderziekte	Consequenties
Varsseveld	Verstopping microzeven	Technische aanpassingen nodig
	Verkleving membranen (door lozing van kaasdekmiddel)	Separaat opvangen en afvoeren van het kaasdekmiddel
	Lekkage membranen (scheurtjes in aansluitingen t.g.v. turbulentie)	Aanpassen van het beluchtingsregime Versteving van de constructie
	Loslaten van coating in de membraantanks	Aanbrengen van lining
Heenvliet	Compressoren voor membraanbeluchting te klein	Vergroting beluchtingscapaciteit
	Lekkage membranen (door verkeerde aansluitingen)	Vervangen van de aansluitingen
	Productiefout membranen	Vervangen van alle membranen
Ootmarsum	Verstopping microzeven bij recirculatie van slib (uit AT en drain)	Aanpassen van de procesinstellingen
	Minimale beluchtingscapaciteit in de biologie is te hoog (dit speelt buiten het recreatie seizoen)	Aanpassen beluchtingscapaciteit en beluchtingsregeling

Ook op de MBR's buiten Nederland gaat niet alles in één keer goed. De eerste MBR in Duitsland (MBR Rödingen) was in eerste instantie uitgevoerd zonder microzeven. Vanwege ernstige vervuilingproblemen bij de membranen is enkele maanden na de opstart besloten om deze alsnog toe te passen. Ook op de eerste MBR van België, de MBR Schilde (de Wilde et al., 2005), werden na 4 maanden de microzeven vervangen door een ander type (van 1 mm spleten naar 1 mm vierkante gaatjes). Dit had een verhoging van het rendement tot gevolg maar leidde tevens tot frequente verstopping van het zeefoppervlak. In de toevoer van de beluchtingstank naar de membraantanks is ook een zeef (veiligheidsrooster van 11 mm) geplaatst. Ook deze zeef raakte regelmatig verstopt met haren, vezels, bladeren en takken. Uiteindelijk zijn deze roosters verwijderd en is de beluchtingstank afgedekt. De membraan capaciteit van MBR de Schilde is na 8 maanden met circa 20% uitgebreid omdat de ontwerpfluxen niet konden worden gehaald. Daarnaast traden beschadigingen op aan de membraanmodules die door de membraanleverancier zijn gerepareerd.

De gegevensanalyse vraagt meer aandacht en kennis van de bedrijfsvoering. Met name de beoordeling van de membraanwerking op basis van de permeabiliteit vereist extra vaardigheden van de bedrijfsvoering. Idealiter wordt het verloop van de permeabiliteit van elke membraanstraat via het BBS weergegeven.

Op de MBR Varsseveld zijn voornamelijk de eerste maanden na de opstart hectisch geweest (Nijman, et.al., 2006). Dit was een gevolg van problemen met een polymere verbinding (kaasdekmiddel) in het influent, die tot verkleefing van de membranen leidde. Nadat deze problemen waren opgelost en de officiële opening van de installatie was verricht keerden de werkzaamheden tot normale proporties terug. Door de bedrijfsvoering wordt ervaren dat de werkzaamheden op de MBR intensiever zijn dan op een conventionele rwzi. Vooral de analyse van gegevens van voornamelijk de membranen, de uitgebreide voorbehandeling, de inspectie en reiniging van de membranen, en de zorg voor verschillende typen reinigingschemicaliën, dragen bij aan de extra tijdsbesteding. Naast de dagelijkse werkzaamheden is ook veel tijd besteed aan het ontvangen en rondleiden van de vele geïnteresseerden. Op de MBR Varsseveld zijn in het eerste jaar meer dan 2.500 mensen, uit vele verschillende landen, op bezoek geweest.

De beheerders van de hybride MBR Heenvliet noemen de nieuwe installatie minder overzichtelijk en lastiger te bedienen (Heydra et.al.). De MBR en het conventionele systeem zijn in de hybride configuratie aan elkaar gekoppeld. De processturing in het algemeen en de sturing van het slibgehalte in beide systemen in het bijzonder is hierdoor moeilijker te doorzien. Ook de hydraulische verdeling leidt voor de bedrijfsvoerders tot ongewone waarnemingen. Deze aspecten maken de bediening van de installatie en de interpretatie van de werking lastiger.

5.5.2 DUURZAAMHEIDSASPECTEN

ENERGIEASPECTEN EN BEHEERSING

Het energieverbruik van een MBR voor de behandeling van huishoudelijk rioolwater is hoger dan dat van conventionele systemen. Uit economische en duurzaamheids-overwegingen wordt daarom veel aandacht besteed aan het verlagen van het energieverbruik van een MBR. In vergelijking met de eerste huishoudelijke MBR's in Europa is het energieverbruik van de nieuwere MBR's aanzienlijk gedaald (zie Tabel 13).

Uit deze tabel kan worden geconcludeerd dat het energieverbruik van MBR's in circa vijf jaar is verlaagd van circa 2 kWh/m³ influent naar minder dan 1 kWh/m³ influent. De belangrijkste oorzaken hiervoor zijn de verdergaande moduleontwikkeling en de optimalisaties in de procesvoering.

TABEL 13 HET ENERGIEVERBRUIK VAN EEN AANTAL EUROPESE MBR'S (VAN BENTEM 2007)

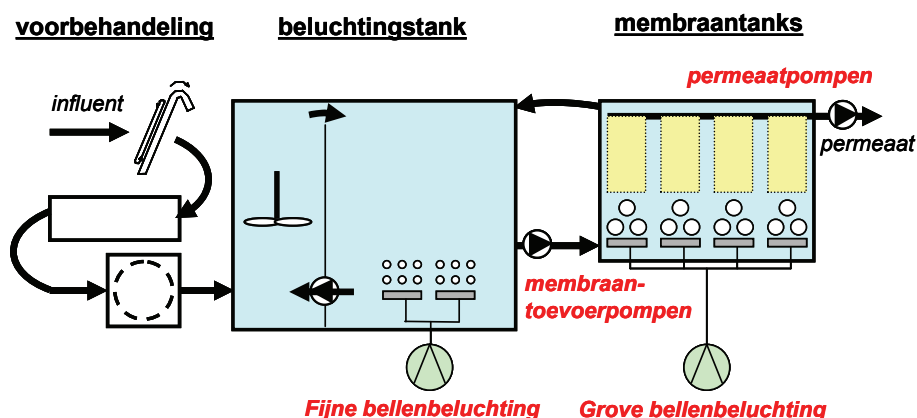
Installatie	Capaciteit [i.e.]	Membraan type / leverancier	Jaar	Energieverbruik [kWh/m ³ influent]
Rödingen (D)	3.000	Holle vezel / Zenon	2001	2,03
Markranstädt (D)	12.000	Holle vezel / Zenon	2001 – 2003	0,8 – 1,5
Knautnaundorf (D)	900	Plaat / VRM	2002 – 2003	1,3 – 2
Seelscheid (D)	11.000	Plaat / Kubota	2004 - 2005	0,9 – 1,7
Monheim (D)	9.700	Holle vezel / Zenon	2003 – 2005	≈ 1
Brescia (I)	46.000	Holle vezel / Zenon	2003 – 2005	0,85
Nordkanal (D)	80.000	Holle vezel / Zenon	2004 – 2005	0,9
Varsseveld (NL)	23.150	Holle vezel / Zenon	2005	1,00
			2006	0,88
			2007	0,83

Het verbeteren van de module en het optimaliseren van de procesinstellingen heeft de aandacht van alle membraanleveranciers. Bij de ondergedompelde membranen is voornamelijk het verlagen van de benodigde beluchtingscapaciteit essentieel. Bij tubulaire membranen is het verlagen van de cross-flowsnelheid een belangrijk aandachtspunt. Door de verschillende leveranciers en beheerders worden specifieke energieverbruiken van de membraan-gerelateerde installatie-onderdelen (membraanbeluchting, membraantoevoerpompen en permeaatpompen) genoemd die variëren van 0,6 kWh/m³ tot <0,2 kWh/m³.

Voor een MBR met ondergedompelde membranen in separate membraantanks zijn de grootste energieverbruikers schematisch weergegeven in Figuur 26.

FIGUUR 26

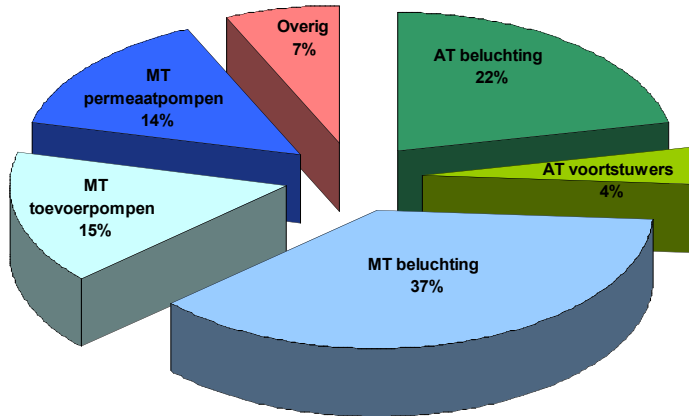
SCHEMATISCHE WEERGAVE VAN EEN MBR INSTALLATIE



De opdeling van het energieverbruik voor de MBR Varsseveld is grafisch weergegeven in Figuur 27. Hieruit blijkt dat de membraan-gerelateerde onderdelen (membraantoevoerpompen, membraanbeluchting en permeaatpompen) verantwoordelijk zijn voor tweederde van het energieverbruik van de installatie.

FIGUUR 27

DE OPDELING VAN HET ENERGIEVERBRUIK VAN DE MBR VARSSEVELD (VAN BENTEM, 2007)



De belangrijkste energiebesparingsmogelijkheden in een MBR met ondergedompelde membranen betreffen (Van Bentem, 2007):

- Verlaging beluchtingscapaciteit beluchtingstank. Door het nemen van maatregelen die leiden tot een betere slibkwaliteit en een lagere viscositeit, kan de efficiëntie van de beluchting toenemen en het energieverbruik afnemen. Hierbij kan bijvoorbeeld worden gedacht aan het verlagen van het drogestofgehalte in de beluchtingstank.
- Verlaging beluchtingscapaciteit membranen. Met name bij hogere procestemperaturen kan minder lucht worden gebruikt. Een flexibele regeling van de membraanblowers is hierbij essentieel.
- Optimalisatie optimumflux. Hoe hoger de optimumflux wordt ingesteld, hoe minder membraanstraten er gemiddeld in bedrijf zijn.
- Optimalisatie procesinstellingen in paraatmode. Door het zoveel mogelijk afzetten van de membraanbeluchting en membraantoevoerpompen bij de membraantanks die niet in bedrijf zijn, kan veel energie worden bespaard. Deze mogelijkheid wordt op alledrie de Nederlandse MBR's onderzocht en toegepast.
- Verdere ontwikkeling van membranen. De verwachting is dat de ontwikkelingen op het gebied van membraanmateriaal, membraantypen en moduleconfiguraties uiteindelijk zullen leiden tot membraansystemen die minder gevoelig zijn voor vervuiling en daarom minder energie nodig hebben om schoon te blijven.

Het energieverbruik van een MBR met tubulaire membranen is naar verwachting vergelijkbaar met een MBR met ondergedompelde membranen. De membraantoevoerpompen (recirculatiepompen) van een tubulaire MBR zijn aanmerkelijk groter en verbruiken meer energie. De membraanbeluchting (airlift) van een tubulaire MBR is echter aanzienlijk geringer. De energiebesparingsmogelijkheden van een tubulaire MBR betreffen dan ook met name het verder verlagen van de recirculatiecapaciteit. Hieraan zal op de MBR Ootmarsum verder aandacht worden besteed. De besparingsmogelijkheden worden in Ootmarsum eerst op pilotschaal getest. Uit deze testen is gebleken dat de slibrecirculatie kan worden verlaagd van 20 naar 17 m³/h. Echter deze is nog niet langdurig op grote schaal getest.

In de rest van het onderzoeksprogramma zal naast de verlaging van de slibrecirculatie gekeken worden naar verlaging van de luchtcirculatie. De verwachting is dat verdere optimalisatie van de luchtcirculatie gezocht moeten worden in andere beluchtingsapparatuur en aangepast leidingwerk.

Ter illustratie is in Tabel 14 het energieverbruik van de MBR Varsseveld vergeleken met dat van een conventioneel actiefslibstelsysteem (CAS) en een CAS met zandfiltratie (van Bentem, 2007). Het energieverbruik van een MBR is momenteel bijna twee maal zo hoog als van een CAS en circa 30% hoger als van een CAS met aanvullende zandfiltratie. Naar verwachting kan het energieverbruik dalen tot het niveau van een CAS met aanvullende zandfiltratie.

TABEL 14 ENERGIEVERBRUIK VAN EEN CAS EN EEN MBR

Systeem	Specifiek energieverbruik	
	[kWh/m ³ _{influent}]	[kWh/i.e. _{verwijderd} *jaar]
CAS (met bellenbeluchting)	0,44	25
CAS (met bellenbeluchting) met aanvullende zandfiltratie	0,65	38
MBR Varsseveld in 2007	0,83	46
MBR in de toekomst	0,60 - 0,75	33 - 41

CHEMICALIËNVERBRUIK

Ten behoeve van de membraanreiniging kunnen verschillende typen chemicaliën worden gebruikt (zie paragraaf 2.4.5). Met name de toepassing van natriumhypochloriet wordt vanuit duurzaamheidsoogpunt bediscussieerd. Dosering van deze chemicalie leidt tot de vorming van gechloreerde koolwaterstofverbindingen, die na lozing in het oppervlaktewater schadelijk zijn voor het milieu en de gezondheid van mens en dier. Als alternatief kan bijvoorbeeld waterstofperoxide worden gebruikt. De oxiderende werking van deze chemicalie is echter aanzienlijk minder sterk dan die van natriumhypochloriet. Op de Nederlandse MBR's wordt daarom hypochloriet toegepast. Door middel van optimalisaties en een kritische beschouwing van de reinigingsprocedures en effecten wordt getracht het gebruik van natriumhypochloriet te minimaliseren.

Het chemicaliënverbruik van een MBR is voornamelijk afhankelijk van de toegepaste flux en TMD en de reinigingsfilosofie. Bij systemen die een intensieve reiniging toepassen (met name de plaatmembraansystemen zonder terugspoelmogelijkheid) wordt 2 tot 4 keer per jaar een grote hoeveelheid chemicaliën met een hoge concentratie gebruikt. Bij systemen die een maintenance cleaning toepassen wordt frequent een kleine hoeveelheid chemicaliën met een lage concentratie toegepast.

5.5.3 ARBO

Een MBR wijkt af van een conventionele rwzi doordat er meer componenten (microzeven, pompen, kleppen e.d.) aanwezig zijn en doordat de bediening, reiniging en beoordeling van de membranen meer en andere inspanningen vergt. Een MBR hoeft fysiek niet meer belastend te zijn voor de medewerkers dan een conventionele installatie, indien bij hijswerkzaamheden de juiste middelen ter beschikking staan. In het ontwerp dient aandacht te worden besteed aan de bereikbaarheid van de apparatuur.

Bij de membranen vraagt met name de reiniging en inspectie aandacht. De reiniging wordt over het algemeen geheel of voor het grootste deel geautomatiseerd. Hierbij is de rol van de bedrijfsvoerder beperkt. Er dient wel rekening te worden gehouden met de mogelijkheid om de membranen schoon te spuiten. Hierbij dient de mogelijkheid aanwezig te zijn om de membranen op te takelen of om de membraantank op een veilige manier te betreden. Ook het monteren en demonteren van modules dient eenvoudig en veilig te kunnen plaatsvinden.

Bij de membraanreiniging worden verschillende typen chemicaliën gebruikt. Hierbij geldt dat deze chemicaliën in de juiste ruimte moeten worden opgeslagen.

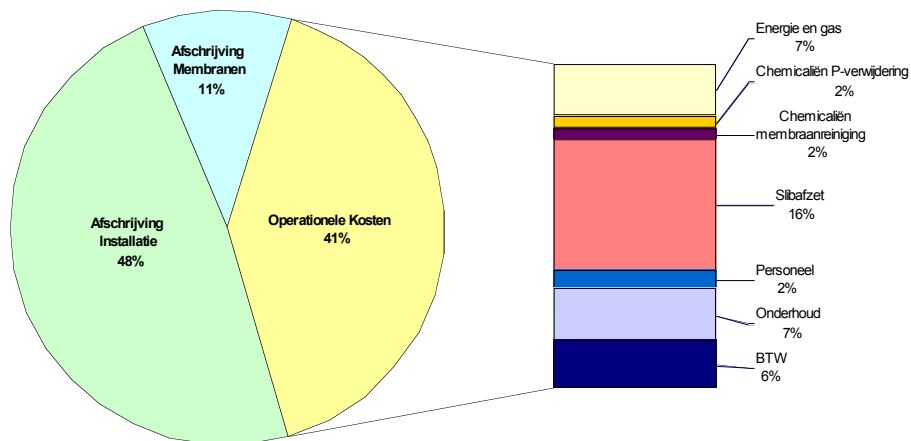
Zuren en basen of zuren en oxidatoren mogen niet bij elkaar te worden opgeslagen. Personeel dient altijd op de hoogte te zijn van de reinigingsprocedures en de te gebruiken persoonlijke beschermingsmiddelen.

5.5.4 BEDRIJFSVOERINGSKOSTEN

De bedrijfsvoeringskosten van een MBR bestaan uit de afschrijvingskosten en de operationele kosten. Voor de MBR Varsseveld bedragen de operationele kosten circa 40 % van de totale jaarlijkse bedrijfsvoeringskosten (zie Figuur 28). Van de operationele kosten nemen de slibafzetkosten circa 40% in beslag.

FIGUUR 28

DE VERDELING VAN DE BEDRIJFSVOERINGSKOSTEN VAN DE MBR VARSSEVELD [STOWA 2006-05]



De bedrijfsvoeringskosten van een MBR zijn over het algemeen hoger dan die van een conventionele rwzi. De belangrijkste posten die bij een MBR significant hoger zijn, zijn de afschrijvingskosten van de installatie (van zowel de werktuigbouwkundige en electrotechnische procesonderdelen), de afschrijvingskosten van de membranen, de energiekosten en de kosten van de reinigingschemicaliën.

De bedrijfsvoeringskosten van de MBR Varsseveld zijn circa 17% hoger dan van een referentievariant (conventionele rwzi met zandfiltratie). In het STOWA-rapport over het MBR onderzoek op de rwzi Maasbommel (STOWA, 2004-28) is eveneens een vergelijking gemaakt in bedrijfsvoeringskosten voor een MBR en een conventionele rwzi met zandfiltratie. Hierbij zijn de bedrijfsvoeringskosten van een MBR 10 tot 20% hoger dan van de referentievariant.

6

AANDACHTSPUNTEN VOOR TOEKOMSTIG ONTWERP EN BEHEER

	Richtlijnen / Rand-voorwaarden	Kritische Ontwerppunten	Richtlijn
 <p>INFLUENT</p>	<ul style="list-style-type: none"> • STOWA 2001-24 Bepaling ontwerpcapaciteit 		
 <p>VOORBEHANDELING</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Type membraan-module • Samenstelling afvalwater 	<ul style="list-style-type: none"> • Afscheidingsdiameter microzeef • Mate van redundantie • Rondoment 	<ul style="list-style-type: none"> • Holle vezel: <1 -2 mm; Platen: 2-3 mm • Extern: 2 mm • 100% redundantie • Houdt rekening met 30% extra BZV verwijdering
 <p>BIOLOGIE</p>	<ul style="list-style-type: none"> • P verwijdering: Methode van Schäfer • N verwijdering: HSA methode 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulica, menging en beluchting • Compartmentering 	<ul style="list-style-type: none"> • Hydraulische berekeningen en CFD (computational fluid dynamics) • Zuiveringsproces leidend Slibgehalte 8 – 10 g/l
 <p>MEMBRANEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Membraan-oppervlak • Temperatuur • Aanvoerpatroon 	<ul style="list-style-type: none"> • Ontwerpflux • Hydraulica en lucht-verdeling membranen • Uitswisselbaarheid 	<ul style="list-style-type: none"> • Overleg met membraanleverancier over ontwerpflux en aanvoerpatroon in voorontwerpfase • Hydraulische berekeningen en CFD • Aandacht aan schenken bij aanbesteding



Kritische beheerspunten	Richtlijn
<ul style="list-style-type: none"> • Aanwezigheid componenten die membranen kunnen beschadigen 	<ul style="list-style-type: none"> • Uitvoeren gedetailleerde influentkarakterisering
<ul style="list-style-type: none"> • Doorslag van haren • Opvang van droge stof pieken 	<ul style="list-style-type: none"> • Zorgen voor optimale werking van de voorliggende fijnroosters bij grote debietwisselingen • Extra schoonspoelen van niet in bedrijf zijnde microzeef • Geen bypass voor microzeven
<ul style="list-style-type: none"> • Vorming en afvoer drijfzagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Extra aandacht voor drijfzagafoervoerbeningen in aërozetank
<ul style="list-style-type: none"> • Gelijmatige sifwinding in tanks • Aan/uit schakelen membraanunits of tanks • Het voorkomen van inval van bladeren e.d. 	<ul style="list-style-type: none"> • Toevoer en afvoer sifb gelijkmatig over de lengte van de tank of cassettes te verdelen • Regelen op niveau beluchtingstank • Regelen op influentdebiet en bijsturen op niveau beluchtingstanks • Afdekken membraan- en aërozetank

7

REFERENTIELIJST

- André van Bentem en Helle van der Roest, MBR energiezuiniger in de toekomst, Afvalwaterschap, 2007, nr.2, blz. 105-114
- CEN/TC, CWA-34, Submerged Membrane Bioreactor (MBR) Technology, 2008 (draft, in press)
- EUROMBRA, D – 1 Data acquisition and compilation, 2006
- F.B. Frechen, W.Schier, M.Wett, Pre-treatment of municipal MBR applications in Germany – Current status and treatment efficiency, Water Practice & Technology, 2006, volume 1 nummer 3
- F.B. Frechen, Merkblatt „Membranbelebungsverfahren“, DWA FA KA – 7, 2008, 0403 Merkblatt V04
- E. Germain, F. Nelles, A. Drews, P. Pearce, M. Kraume, E. Reid, S.J. Judd and T. Stephenson, Biomass effects on oxygen transfer in membrane bioreactors
Water Research, Volume 41, Issue 5, March 2007, Pages 1038-1044
- Global Water Research Coalition (GWRC), Membrane bioreactors for municipal wastewater treatment, State of the science report, 2005
- Stephan Heydra, André Westerdijk en Renée Quist, Beheer van de MBR op rwzi Heenvliet, Neerslag, 2007, nr. 6, blz.13-17
- Van Houten, 2007, State of the art en nieuwe ontwikkelingen in MBR, www.waterforum.net
- S. Judd, The MBR book, Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment, Elsevier, Oxford, 2006.
- P. Le-Clech, A. Fane, G. Leslie, A. Childress, MBR focus: The operators' perspective, june 2005, Filtration+Separation
- S. Lyko, D. Al-Halbouni, T. Wintgens, A. Janot, J. Hollender, W. Dott, T. Melin, Polymeric compounds in activated sludge supernatant — Characterisation and retention mechanisms at a full-scale municipal membrane bioreactor, Water Research, Volume 41, Issue 17, September 2007, Pages 3894-3902
- Niels Nijman, Jacques van Someren, Huib Lammers, Frank Jansen en Ellen Hanzens, MBR Varsseveld: van effluent naar permeaat, H2O, 2006, nr. 22, blz. 25-27.
- Philip Schyns, Darren Lawrence en Frans Durieux, De voorspoedige opstart van de MBR-installatie in Varsseveld, H2O, 2005, nr.5, blz. 27-29

STOWA, MBR for municipal wastewater treatment, Supplementary report with side studies, 2002 – 11B

STOWA, Membraanbioreactor (MBR), Inleiding in de bedrijfsvoering, 2002 – 12

STOWA, Verwijdering van hormoonverstorende stoffen in rioolwaterzuiveringsinrichtingen, 2003 – 15

STOWA, Van Stonehenge tot MBR, waarin een groot land 'klein' kan zijn, 2004 – W02

STOWA, Vergelijkend onderzoek MBR en zandfiltratie RWZI Maasbommel, 2004 – 28

STOWA, Onderzoek MBR Varsseveld, hoofdrapport, 2006 – 05

STOWA, Onderzoek MBR Varsseveld, deelstudierapport, 2006 – 06

STOWA, Ervaringen met nageschakelde MBR op rwzi Leeuwarden; verwijdering van hormoonverstorende stoffen, geneesmiddelen en andere microverontreinigingen, 2007 – 23

STOWA, Inventarisatie roosters en zeven in de communale afvalwaterbehandeling, 2007 – 25

Wouter de Wilde, Chris Thoeye en Greet de Gueldre, MBR Schilde: anderhalf jaar onderzoek en operationele ervaring, H2O, 2005, nr.8, blz. 25-28

BIJLAGE 1

VERSLAG WORKSHOP

BIJLAGE 1

VERSLAG WORKSHOP

1.1 INLEIDING

Het doel van de workshop was om met ervaringsdeskundigen (ontwerpers, operators) de meest kritische ontwerp en beheersaspecten van een MBR te benoemen.

1.2 AANPAK

In Nederland zijn nu drie MBR installaties op huishoudelijk afvalwater in bedrijf te weten: Varsseveld, Heenvliet en Ootmarsum. De ervaringen met deze installaties vormen de basis voor het definiëren van de meest kritische ontwerp en beheersaspecten van een MBR. De belangrijkste technische gegevens van de installatie werden voorafgaand aan de workshop gepresenteerd door het desbetreffende betrokken adviesbureau.

De workshop bestond uit de volgende onderdelen:

- 1e ronde: Het aangeven van de critical design points (rood), en critical control points (blauw) op de tekeningen van de drie MBR installaties. Deze punten werden gezet door de direct betrokkenen bij de desbetreffende MBR installatie.

Vervolgens werden de teams gemengd voor de tweede en derde ronde:

- 2e en 3e ronde: In een tweede en derde ronde is over de gezette punten gediscussieerd. De mate van discussie kon worden weergegeven door het geven van punten, waarbij 0 punten overeenkomt met geen discussie en 5 punten een hoge mate van discussie. Daarbij kon ook worden aangegeven waar het zwaartepunt van de discussie lag: technologie (T), civiel (C), werktuigbouw (W), elektrotechniek & besturing (E&B) of beheer & onderhoud (B&O).
- De resultaten van de discussie in ronde 2 en 3 zijn verwerkt wat resulteerde in een lijst met de meest kritische 'design' en 'control points' (gepresenteerd in Tabel 2).
- 4e ronde: De meest kritische ontwerp- en beheerspunten die uit de 2e en 3e ronde naar voren zijn gekomen werden in deze vierde en laatste ronde verder uitgediept met Mindmanager.

Hieronder volgt een beknopte beschrijving van de genoemde onderdelen.

1.3 RESULTATEN

1.3.1 RONDE ÉÉN

In Tabel 1 is een overzicht gegeven van de onderdelen waarbij rode (design) of blauwe (control) stippen zijn gezet op de tekeningen van de drie MBR installaties.

TABEL 1 OVERZICHT RESULTATEN EERSTE RONDE

Design			Control		
Heenvliet	Ootmarsum	Varsseveld	Heenvliet	Ootmarsum	Varsseveld
Aanvoer persleiding	Trommelzeef	Aanvoer	Aanvoer	Trommelzeef	Aanvoer
Aanvoer influent naar MBR deel	Bufferbezinktank	Voorbehandeling	MBR deel	Monitoring	Voorbehandeling
	Werking	Fijnroosters			Fijnroosters
	Drijf laagafvoer	Microzeven	Afdekking MT	Bedrijfswater uit zandfilters	Microzeven
Biologie		Zand/vetvanger			Vetvang
Recirculatiestromen	Biologie	IJzerdosering voor	Systeem controle	CMB	Biologie
Drijf flagen	Compartimentering	P verwijdering			Beluchting
Menger	Voorstuwning				Recirculatie
Compressor AT	Beluchting	Biologie		Biologie	Drijf flagen
Sparingen	Recirculatiestromen	Beluchting		Drijf flagen	Afdekking
Afdekking MT	Afdekking	Hydraulica		Debiet lucht	In bedrijf nemen met
Blowercapaciteit		Recirculatie		Afdekking	schoon slib
	Membranen	Drijf laagafvoer			
Membranen	Luchtvaag			Membranen	Membranen
Recirculatie slib	Op/afvoerschema	Membranen		Bedrijfsflux	Toegankelijkheid
Verdeling slib MT's	Snelheid regelingen	Coating tanks		Debiet lucht	Straatsturing
Afvoer permeaat		Positie drukmeters			Hijzen
	Reservestelling	Permeaatpompen (ontluchting en onderhoud)			Pompen
		Afdekking MT			Arbo
		Aantal straten			Pompenruimte
		Chemicaliën			Chemicaliën ruimte
		Complex leidingwerk			
		Type en concentratie			

AT: Aeratietank; MT: Membraantank

1.3.2 RESULTATEN RONDE TWEE EN DRIE

In deze twee ronde is aan boven genoemde punten een score gegeven wat betreft de mate van discussie en bij welk onderdeel het zwaartepunt van de discussie ligt. In Tabel 2 staan weer gegeven die 'design' en 'control' punten die de hoogste mate van discussie opleverden en dus gezien kunnen worden als de meest kritische ontwerp en beheersaspecten van een MBR.

TABEL 2 OVERZICHT BELANGRIJKSTE KRITISCHE 'DESIGN' EN 'CONTROL' POINTS VAN EEN MBR

Positie	Design	Control		
		Zwaartepunt discussie		Zwaartepunt discussie
1	Voorbehandeling	T, W, B&O en C	Regeling gehele MBR	T, E&B en B&O
2	Hydraulica AT en MT	T, C, W en B&O	Voorbehandeling	T en B&O
3	Compartmentering	T en W	Hydraulica AT	T, E&B en B&O
4	Afdekking	T, W, B&O en C	Afdekking	C
5	Beluchting MT	T, C, W en B&O	Aanvoer influent	T en B&O

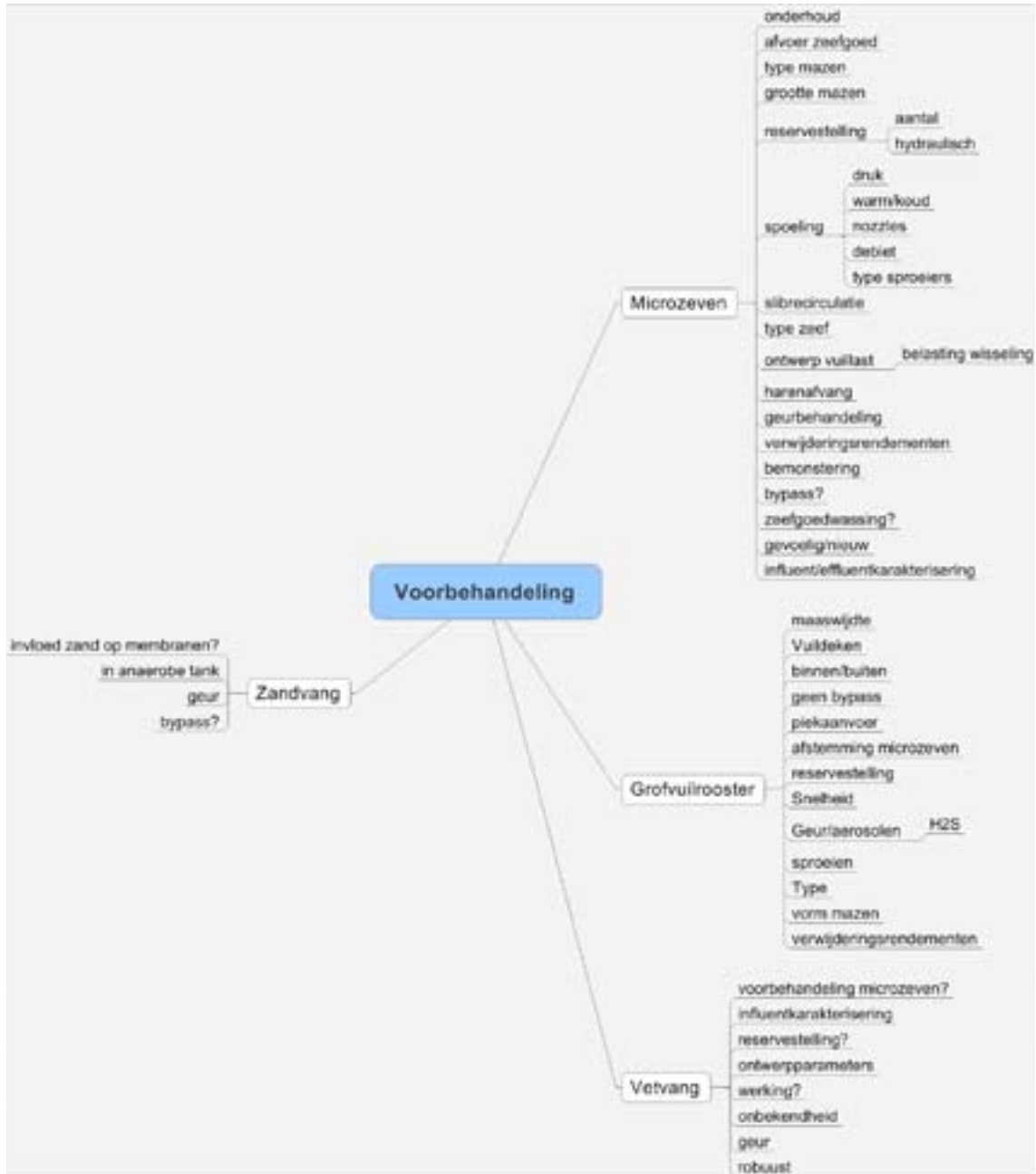
De in bovenstaande tabel genoemde punten zijn in de laatste ronde met Mindmanager verder uitgediept. Deze punten zijn:

- Voorbehandeling
- Hydraulica AT
- Hydraulica MT
- Compartmentering
- Afdekking
- Beluchting en reservestelling MT

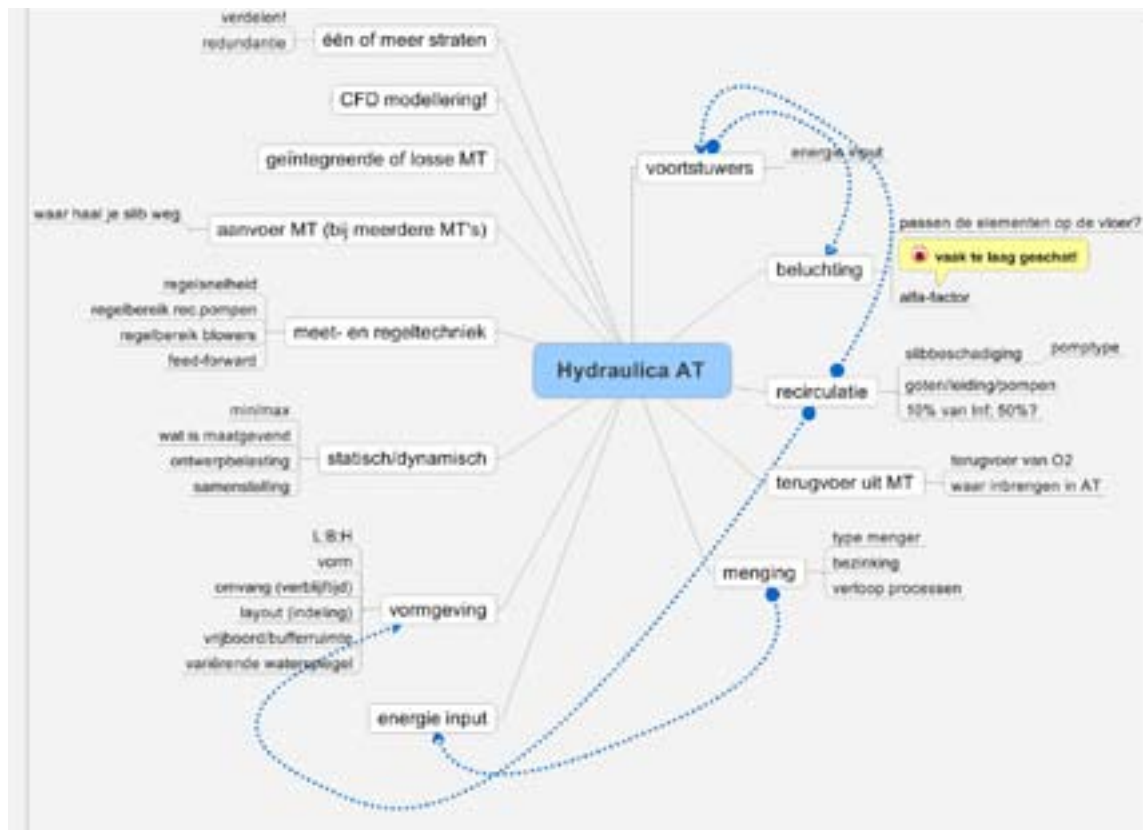
De resultaten van deze 'brainstorm' met Mindmanager zijn in de Figuren 1-6 weergegeven.

1.3.3 RESULTATEN RONDE 4

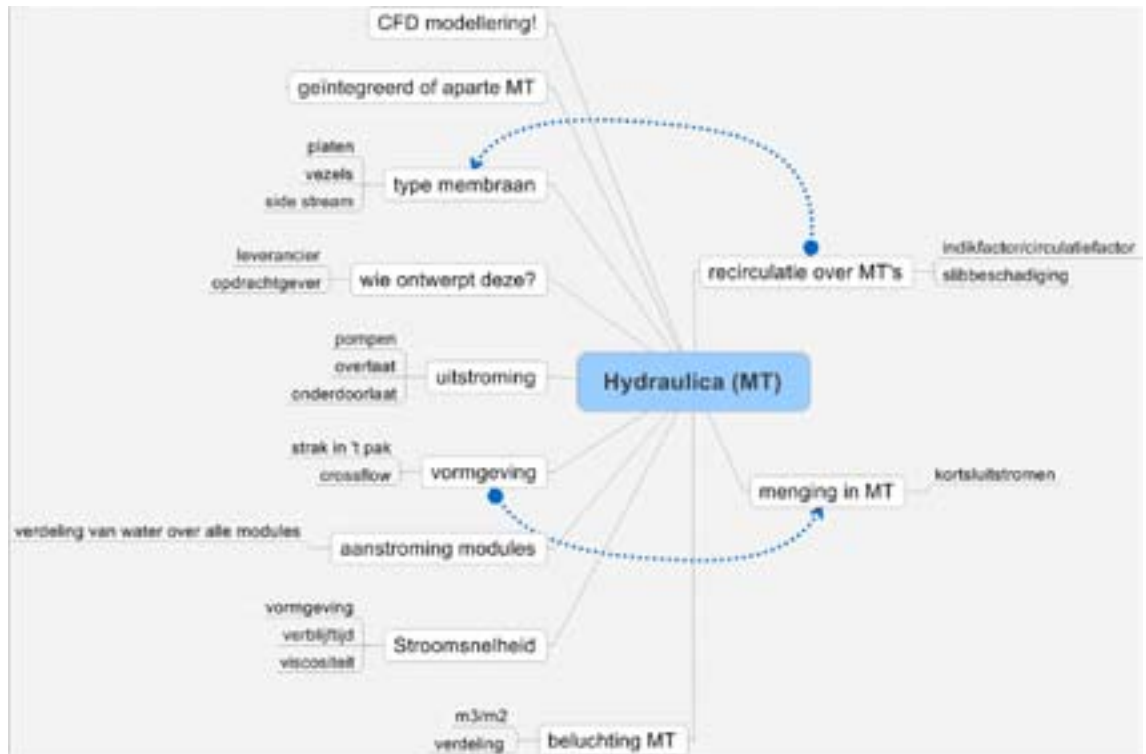
FIGUUR 29 VOORBEHANDELING



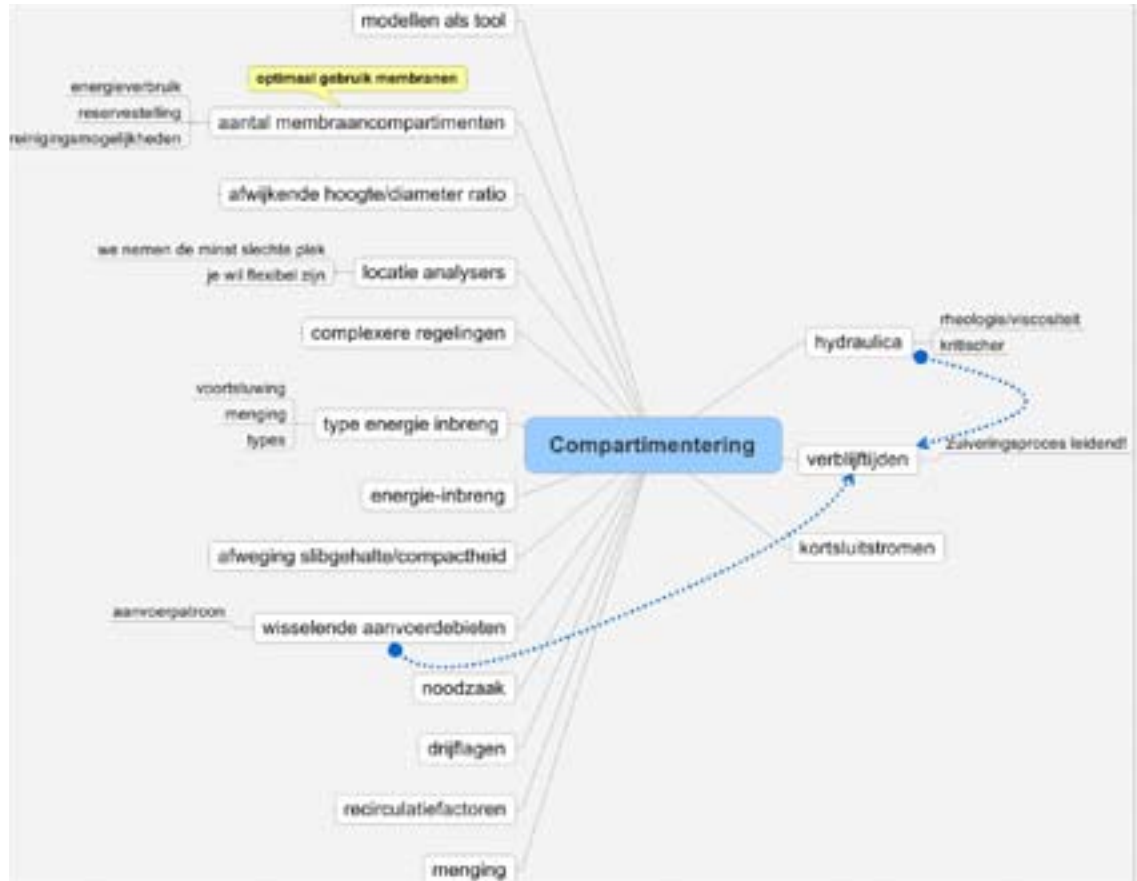
FIGUUR 30 HYDRAULICA AT



FIGUUR 31 HYDRAULICA MT



FIGUUR 32 COMPARTIMENTERING



FIGUUR 33 AFDEKKING MT



FIGUUR 34 BELUCHTING IN MT EN RESERVESTELLING MEMBRANEN



1.4 EVALUATIE

VOORBEHANDELING:

- Zand/vetvanginstallaties zijn bekende processen, maar over de werking en prestaties van een zand/vetvang bij een MBR is nog relatief weinig bekend. Over de mate van reservestelling van een zand/vetvanginstallatie is ook nog relatief weinig bekend. Voor beide punten geldt dat dit ook voor een conventionele installatie onduidelijk is.
- Rendement van de voorbehandeling is belangrijk voor het ontwerpen van het biologische gedeelte.

HYDRAULICA MT EN AT

- Belangrijkste conclusie van dit onderdeel is dat er meer inzicht nodig is in de hydraulica van een MBR, CFD modellering kan hierbij een belangrijke 'tool' zijn.

COMPARTIMENTERING

- De mate van compartimentering en daarmee ook de compactheid van de MBR wordt mede bepaald door het gekozen slibgehalte. Belangrijk is dat het zuiveringsproces leidend moet zijn bij deze keuze.

AFDEKKING MT

- De afdekking van de MT kan niet los worden gezien van een afdekking op de AT.
- De afdekking moet flexibel zijn omdat de mogelijkheid bestaat dat men er in verband met reinigingen en controle bij moet kunnen.

BELUCHTING EN RESERVESTELLING MT

- De beluchting in een MBR is meer complex dan in een conventionele zuivering. Daarbij is het van essentieel belang om de beluchtingselementen schoon te houden.
- De extra ingebrachte lucht voor de membranen kan worden meegenomen in de totale zuurstofbehoefte van de installatie.
- De reservestelling (van MT tank) bij een MBR is afhankelijk van het gekozen zuiveringsproces, hybride of volledige MBR en is anders geregeld dan bij een conventioneel proces.

1.5 DEELNEMERSLIJST

Naam
Gerard Oude Griep
André Westerdijk
Renée Quist
Alex Bosch
Ger Verwoert
Dennis Piron
Jeroen Goverde
Jacques van Someren
Dick de Vente
Chris Ruiken
Johan Jonker
Marius Jansen
Jeroen Buitenweg
Kees de Korte
Philip Schyns
Cora Uijterlinde
Hans Ellenbroek
George Zoutberg
Mirabella Mulder
Jan Willem Mulder
André van Bentem
Bert Geraats
Herman Evenblij
Jans Kruit
Ellen van Voorthuizen

BIJLAGE 2

BEGRIPPENLIJST

BIJLAGE 2

BEGRIPPENLIJST

Begrip	Symbool	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
Backpulse (Back-flush)			Periodieke omkering van de permeaatstroom door het membraan met als doel de verwijdering van vervuiling van het membraanoppervlak en poriën
Cleaning In Place			Reinigingssysteem waarbij de te reinigen onderdelen binnen de procesconfiguratie, dus zonder uitbouw, kunnen worden gereinigd. En CIP-tank is een opslagvat voor permeaat om het spoelen van de membranen mogelijk te maken.
Cross Flow (dwarsstroom)			Vloeistofstroom die parallel loopt aan het membraan en dus loodrecht staat op de stroomrichting van het permeaat
Desinfectie			Behandeling van afvalwater, bijvoorbeeld middels membraanfiltratie, om het aantal pathogene micro-organismen tot onder vastgestelde grenzen te laten afnemen.
Flux	F	[l/(m ² .h)]	De hoeveelheid permeaat die per tijdseenheid door een membraanoppervlak wordt geleid.
Flux- Bruto	F _{bruto}	[l/(m ² .h)]	De actuele flux tijdens permeaatonttrekking
Flux - Kritisch		[l/(m ² .h)]	De flux waaronder de permeabiliteitsafname verwaarloosbaar is (Judd <i>et al.</i> , 2006)
Flux- Maximum		[l/(m ² .h)]	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer 1 membraantank buiten bedrijf is (= 50 l/(m ² .h))
Flux- Minimum		[l/(m ² .h)]	De netto flux bij de minimale capaciteit van de permeaatpomp (≈ 10 l/(m ² .h))
Flux- Netto	F _{netto}	[l/(m ² .h)]	De gemiddelde permeaatonttrekking over een langere periode, waarbij het productieverlies ten gevolge van de back-pulse wordt verdisconteerd
Flux- Ontwerp		[l/(m ² .h)]	De netto flux bij de maximale hydraulische belasting, wanneer alle membraantanks in bedrijf zijn (= 37,5 l/(m ² .h))
Flux- Optimum		[l/(m ² .h)]	De netto flux waarbij de membranen optimaal functioneren (≈ 20 l/(m ² .h))
Hybride MBR			Een MBR die een deel van de influenttoevoer behandelt. De rest van de influentaanvoer wordt in een conventionele rwzi behandeld.
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
Koekfiltratie (Cake filtration)			Filtratie door een uit slibvlokken en macromoleculen bestaande poreuze filterkoek op het membraanoppervlak. De filterkoek wordt opgebouwd door permeaatonttrekking via het membraan waardoor concentratieverhoging plaatsvindt van de gesuspendeerde deeltjes en macromoleculen op het membraanoppervlak.
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)

Begrip	Symbool	Eenheid	Omschrijving
Maintenance Cleaning (of onderhoudsreiniging)	MC		Een reinigingsprocedure, 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
Maximaal Toelaatbaar Risico	MTR		Een in de vierde nota waterhuishouding gedefinieerde minimum 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
Membraan			Een filter met kleine poriën, dat onder andere wordt toegepast om actiefslib en gezuiverd effluent van elkaar te scheiden
Membraanbioreactor	MBR		Gesuspendeerd actiefslibstelsel 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
Microfiltratie			Filtratie van deeltjes tot 0,05 µm.
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.
Relaxatie			Met ontspanning of relaxatie wordt bedoeld dat in actief bedrijf de membranen gedurende een bepaalde tijd zonder (noemenswaardig) drukverschil over het membraan worden bedreven. Dit heeft een reinigend effect op het membraan.
Retentaat			Het retentaat is de vloeistofstroom in een extern opgesteld membraan die na permeaatonttrekking weer wordt teruggevoerd naar de aërietank
Sequentiële beluchting			Alternerende beluchting binnen een cassette
Semi-Intensive Maintenance Cleaning	SIMC		Een MC cleaning met een additionele oxidatieve reiniging (NaOCl)
Simulatie-unit			Pilot-installatie

Begrip	Symbool	Eenheid	Omschrijving
Skid			Een membraanstraat met één of meer tubulaire membraanmodules.
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 permeaatzijde. Het is de drijvende kracht waardoor de filtratie door de membranen plaatsvindt. (10 mbar = 1 kPa)
UF			Filtratie van deeltjes tot 0,005 µm.
Volledige MBR			Een MBR die de volledige influenttoevoer van een rwzi behandelt, zowel bij DWA als RWA.

BIJLAGE 3

CEN WORKSHOP AGREEMENT INTERCHANGEABILITY (CWA34)

BIJLAGE 3

CEN WORKSHOP AGREEMENT

INTERCHANGEABILITY (CWA34)

INTERCHANGEABILITY

1 PRINCIPLE

It is important when replacing membrane modules or complete systems (including membrane tanks) that for a period of time, the two systems shall operate perfectly together. This applies when upgrading an existing system as well as when changing manufacturers. The maximum flux capacity shall be available during the plant modifications, although process conditions like chemical cleaning and back pulse/relaxation, aeration and recirculation rate may be different.

This requires interchangeability to be a consideration in all stages of the design of a MBR.

When deciding whether to use integrated or separate systems, the following aspects should be considered as a minimum:

Costs – In general capital and operating costs are lower for the integrated systems (no separate membrane tank and no energy costs for pumping to that tank).

Hydraulic interactions between aeration tank and membranes – In integrated systems hydraulic conditions are less straight forward as compared to separate systems. Important interactions in integrated systems are the effect of the oxygen rich flow from the membranes on denitrification (influence on biological treatment efficiency) and short circuiting of flow to and from the membranes as well as hydraulic flow pattern under the membranes, which can influence functioning of the membranes).

Maintainability – The maintainability of membrane systems is always an important aspect. Depending on the specific layout of the membrane system, the maintainability of integrated and separate systems may be different and/or may require more expensive equipment, e.g. lifting equipment.

Interchangeability – From the layout point of view, the interchangeability of membrane units in integrated systems is likely to be more difficult because of the fixed dimensions of the aeration tank and its surroundings.

In the description and figures 10.2, 10.3, 10.4 and 10.5 focus on separate membrane systems only. With the exception of 10.5.3 and 10.5.4 all other clauses can be considered applicable to integrated membrane systems, especially 10.4 and 10.5.9.

2 GENERAL

Factors affecting interchangeability. Relevant items will be discussed in 10.5.

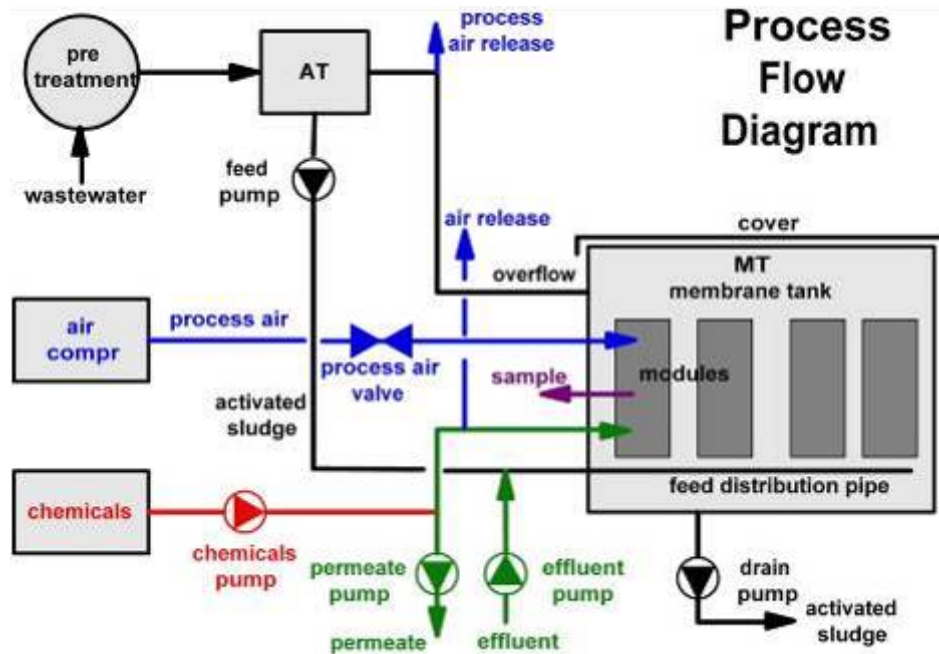
TABLE 1 FACTORS AFFECTING INTERCHANGEABILITY

Item/Factor	Possible Action/Consideration
Pre-treatment, screening	Install or make provision for future installation of enhanced or fine screening or intermediate screening upstream of the membranes, including screenings processing and storage
Lifting equipment	Location, lifting height and capacity
Chemical cleaning, storage, type of chemicals and dosing pumps	Size of installed storage tanks, their compatibility with different types of chemicals, pipe routing, and ease of draining permeate headers
Width, depth, length of membrane tank	Consider possibilities for future module replacement, tank footprint, height of location, depth of aeration tank – modules / cassettes dimensions. Minimum water level above the membranes
Connection pipes	Such as permeate and air supply pipe diameters, position and number
Draining of tank	Pipe sizes, pump capacity, return to pre-treatment
Capacity to fill tank with permeate	Pump capacity, the volume of membrane tanks may be different.
Dissolved oxygen in return sludge	Location of return sludge to aeration, returning kgO_2/h may be different.
MLSS in return sludge	Capacity of WWTP, different manufacturers have a different optimum for MLSS in the membrane tank. This may influence the biological capacity and size of membrane tank.
Integrity check, taking samples	Method of checking/sampling
Effluent requirements	Effluent requirements including disinfection may influence the optimal membrane type.
Distribution of sludge feed in membrane tank	Consider hydraulic consequences of different manufacturers modules in future - activated sludge distribution system in the filtration tank.
Recirculation rate	Capacity pumps and pipes
Fouling control strategy	Possible future backpulse and/or relaxation etc.
Safety and labour conditions	Handling equipment, accessibility etc.
Aeration for membrane tank, compressor capacity, air valve, delivery pressure and strategy	Possible future extension aeration, location air valves, release of air.

3 PROCESS FLOW DIAGRAM (PFD)

In order to have a complete view on all aspects, the following typical PFD is presented in Figure 4 for a separate system. Not all items apply for the systems of all membrane manufacturers.

FIGURE 4 TYPICAL PFD SEPARATE MBR SYSTEM



This PFD is meant to identify all connections between the WWTP (wastewater treatment plant) processes and the MT (membrane tanks) and modules. The specific configuration may vary for different manufacturers. The process flow 'effluent' is required in order to fill the membrane tank with effluent (permeate) and the process flow 'sample' is required in order to detect membrane integrity problems.

NOTE

A feed distribution pipe may not be required by all membrane manufacturers. Consider effects on tank depth and interchangeability.

4 SCOPE OF SUPPLY

A possible scope of supply related to Figure 4, that matches with the structure of the control system as described in 10.5.9 and Figure 7, is shown in Table 2.

TABLE 2 POSSIBLE SCOPE OF SUPPLY

Item	supplied as part of WWTP (excluded membrane system)	Supplied as part of the membrane system
Pre treatment	x	
Air scouring blowers	x	
Air control valve		x
Drain pump	x	
Drain valve		x
Effluent pump	x	
Effluent valve		x
Chemical circulation pump, storage tank	x	
Chemical dosing pump		x
Permeate / backpulse pump, headers and valves		x
Feed pump		x
Storage waste chemicals (after cleaning)	x	
Membrane filtration tanks		x
Process control system membranes		x
Process control system WWTP	x	

5 INTERCHANGEABILITY ASPECTS

5.1 GENERAL

There are two key factors for interchangeability. The first key factor is that the plant layout shall accommodate membrane systems from different suppliers and meet the customers specifications for available footprint, labour and safety conditions etc. The second key factor is that the control system of the membrane system has a clear and well defined interface with the control system of the customer. A careful design of the whole treatment plant, with particular attention to aspects of interchangeability, is necessary for successful interchangeability. In the following clauses, items identified in 10.2 and other aspects are discussed in more detail. Many of these are general in nature with limited impact on interchangeability, but are presented to draw attention to all those aspects that have consequences for interchangeability during design. The examples might serve as support for later interchangeability aspects.

5.2 MEMBRANE TYPE

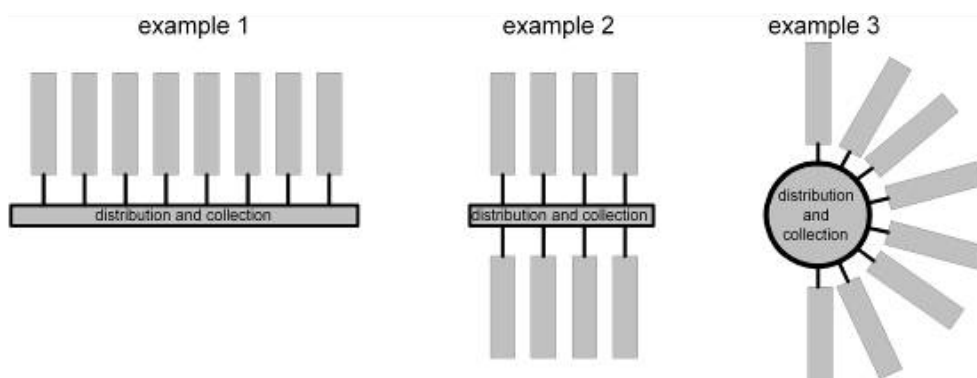
Influent characteristics (e.g. temperature, pH, detergents): some membranes may be better able to handle certain influent flows than others, depending on membrane material. In most cases, this is not relevant for municipal WWTP's but can be significant for industrial wastewater treatment. Effluent requirements (including disinfection) may influence the selection of the membranes.

5.3 LAYOUT

For separate systems, different plant layouts for 8 membrane tanks as shown in Figure 5 are possible. The consequences for future interchangeability should be considered.

FIGURE 5

EXAMPLES OF PLANT LAYOUTS



The feature that these examples have in common is the close proximity of the membrane tanks to a central distribution and collection header which is part of the WWTP.A bypass of the screen(s) to the aeration tank is not acceptable.

5.4 TANK

The membrane tank should fit in the plant layout. The available footprint and height should be considered for means of interchangeability. This also may have consequences for the depth of the aeration tank. Designing a building and providing sufficient spare space (or a larger membrane tank) which could be used for several different membrane systems on the market will increase the cost. The consequences on interchangeability should be considered. An overflow weir in the centre of the front end of the membrane tank is preferred for simplicity. However, especially in large membrane tanks, an unequal water level might arise and consequently lead to poor performance of the membranes as a result of varying differential pressure over the membranes. An alternative might be a centrally located two-sided weir running the length of the membrane tank that can easily be removed and reassembled. The feed distribution needs careful design consideration. Installing a different type of membrane module may create a narrow space between the modules and the wall of the tank. As a consequence, recirculation in the membrane tank may be restricted or non-existent. An equal upflow pattern is in this case essential for the functioning of the modules. The feed pipe (sludge entry) shall be over the length of the membrane tank and/or the inflow may be split between two pipes.

A feed distribution pipe may not be required by all membrane manufacturers. Consider carefully the possible effects on hydraulic distribution conditions, tank depth and interchangeability. Aeration tank and oxygenation capacity design: In the dimensioning of the aeration tank volume and (more important) the oxygenation capacity, the volume and oxygenation capacity of the membrane tank should be taken into account. Changing the membrane tanks (volume) and membrane type (with a required aeration capacity) can mean that the aeration tank is too small and/or that the oxygenation capacity in the aeration tank is too small.

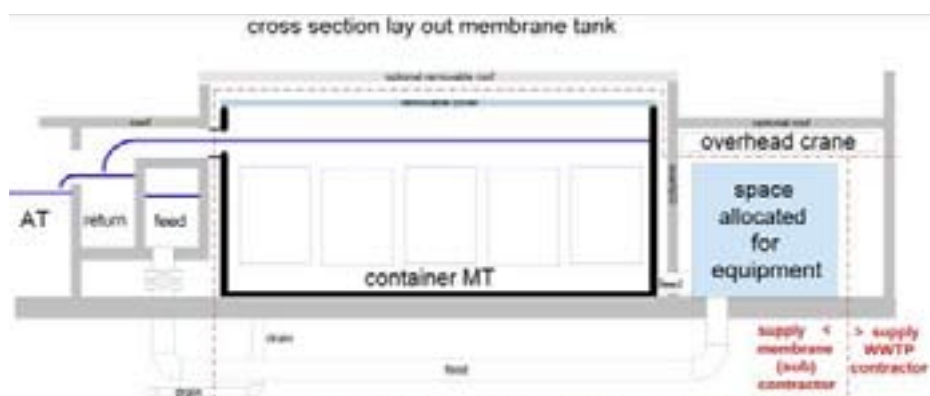
One possible layout of the membrane tank and the feed and return system is shown in Figure 6. The issue of the actual layout should be considered very carefully. The resulting design will strongly influence the accessibility of the equipment and hence the safety and ease of servicing, and the future installation of different membrane modules or tanks.

EXAMPLE 1 The supply of membranes may not be limited to the modules in an available membrane tank only, but the membrane tank and equipment is supplied as well; flat floor concept instead of membrane tank concept. This means that the membrane manufacturer or supplier delivers the complete system including the membrane tank.

EXAMPLE 2 When considering the interchangeability of modules in steel tanks for example, the transportability of the tanks is important. Thus for shipping conditions, a separate tank width of 2,44 m (i.e. standard ISO container size) may be considered. Assembling in such cases can be done by the manufacturer. Also transportation limits on roads are taken into account and can be different within countries of the EU. The height of the membrane tank is specific for the manufacturer and the length depends on the capacity. Both height and length may be limited by the customer to fit in the available space.

FIGURE 6

EXAMPLE LAYOUT OF MEMBRANE TANK IN CONTAINER



Manifolds for permeate, sludge, air and drain may be situated at the front of the membrane tank. Sludge entry, sludge return and the drain may be situated in the centre of the tank because of hydraulic considerations (symmetry).

All other connections may be situated at the front side.

The feed pump, permeate pump, air control valve, chemical dosing pump and all other items specified by the manufacturer (e.g. connections, valves, air release) may be assembled on a frame. The width of the frame should not exceed the width of the membrane tank. The frame can be positioned on the front side of the membrane tank. The length has to fit within the space allocated by the customer. If a frame is used, the connecting pipes may be situated under the frame. This frame will then act as a platform to enable safe and easy access for servicing. The height of the platform above the floor may vary according to location.

5.5 DRAINING AND FLUSHING

Before adding the diluted chemicals during cleaning, the permeate headers between the permeate pump and the joint to the modules may be drained to ensure that the introduced chemicals enter all modules (draining). As an alternative, the permeate headers are flushed at the start of the cleaning cycle with diluted chemicals by a recycling pump (flushing). The possibilities may differ from each manufacturer.

To avoid air locks the release of air during filling with chemicals should be considered carefully.

5.6 INTEGRITY CHECK

Enough sampling point(s) should be present to enable integrity monitoring of the plant. The sampling point(s) may be connected to the permeate header of the module(s) (and shall be removed when disconnecting the joints of the module) or to the permeate header. In this case the check on integrity is incremental instead of specific for the module. For separate systems, the sampling points may be situated on the front side or fixed to one or both sides of the membrane tank wall. For integrated systems sampling is location specific.

NOTE

In the case of membranes operated under negative pressure, the construction and sampling during filtration upstream of the permeate extraction pump requires special attention. For example the use of a small sampling pump.

5.7 ACCESSIBILITY AND MAINTAINABILITY

Safety in operation and maintenance applies to many aspects of the design of membrane systems, modules and equipment. In general all equipment such as pumps, valves, instruments etc. will require maintenance and replacement at some time. The design of the layout shall enable ease of accessibility and safe conditions to service this equipment. This means that all equipment can be accessed from the ground or from permanent platforms reached via suitable stairways or ladders. In future replacement of the membranes this should still be the case.

Common to all membrane systems is the servicing of the modules. Where modules have to be serviced outside the aeration or membrane tank, all the joints of the modules should be readily disassembled. Preferably this should be possible without entering the tank. Because this is not a frequent operation, the use of e.g. a scissor lift to disassemble joints just under the top of a membrane tank may be acceptable. Alternatively, joints accessible through a hatch in the wall of the tank of sufficient size to disassemble the joints is acceptable provided the joint is located very close to the tank wall and disassembly is easy. In either case, consideration should be given to the removal of the modules from the membrane tank after disassembly. In general the disconnection of modules in integrated systems is performed by means of dedicated access equipment.

A manhole of appropriate size may be installed in the membrane tank to enable safe entry to an empty tank for servicing (use of ladders is not required).

The location of the joints may be in the top of the membrane tank within arms reach (not more than 30 cm below the edge and close to the side wall) or behind a removable hatch within arms reach.

National and/or local requirements for Health and Safety and operation and maintenance conditions shall be observed and may be different within the EU.

5.8 HEMICAL CLEANING

National and/or local requirements for Health and Safety when handling chemicals and for the storage and disposal of spent chemicals shall be taken into consideration.

The following chemicals are typically used for membrane cleaning:

- Sodium hypochlorite (NaOCl),
- Hydrogen peroxide (H₂O₂),
- Citric acid (C₆H₈O₇),
- Oxalic acid (C₂H₂O₄),
- Hydrochloric acid (HCl).

The client's on-site storage facility should be able to handle at least one oxidative chemical and one acidic chemical. Citric acid is the most common cleaning acid used for membrane cleaning. This chemical is usually delivered in solid form and the cleaning solution is prepared on the plant. The use of dissolved citric acid should be considered at the design stage.

Local discharge regulations may require storage of permeate containing chemicals after cleaning. The cleaning solution is usually recycled to the biological reactor. If necessary the cleaning solution can be neutralised before recycling.

When replacing membranes different amounts and/or types of chemicals may be required.

Heating of the cleaning chemicals may be specified by the manufacturer, if necessary.

The chemical storage and dosing facilities should be designed to be resistant to aggressive or corrosive chemicals so that these will not need replacing if alternative MBR modules are installed in the future.

EXAMPLE The chemicals may be distributed to the membrane systems at the storage concentration. The customer's distribution system may be dead-end or recirculation system. Thus, during replacement, there may be of two different types drawing chemicals from this system. Diluting and mixing of the chemicals may be considered to be part of the membrane system equipment.

5.9 PROCESS CONTROL SYSTEM

There are two different technical solutions to the challenge of interchangeability. The process control of the membrane plant may be implemented by a separate PLC-based control system or by a discrete software module within the PLC of the WTP which is easily removed and replaced by a new program. The latter may be more complicated to maintain during the period when two different membranes are present.

The stand-alone principle may be compared with blowers for aeration. It is common practise to have the blowers controlled by a local PLC.

EXAMPLE Where control of the membrane plant is part of the control system of the wastewater treatment plant, the interface between both systems shall be well defined to ensure good performance and clear responsibilities the "plug and play" principle.

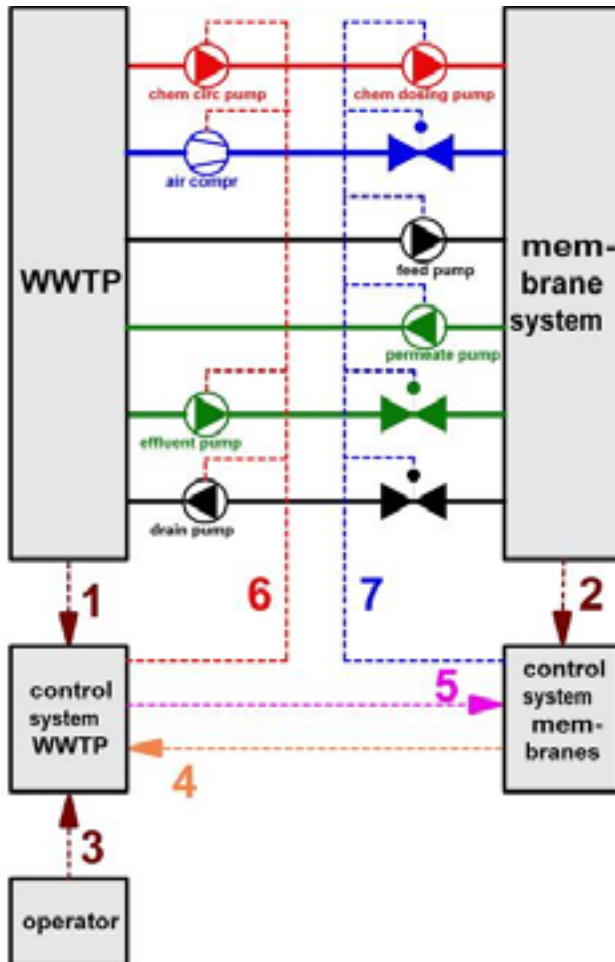
An example of the structure of the process control system is shown in Figure 7. The data flows 1 and 2 are measured process values, 3 is input of setpoints by the operator of the WWTP and membrane system, 4 and 5 are data communications between WWTP and membrane system and 6 and 7 are control outputs.

NOTE

The chemical dosing pump is not present when external cleaning is applied.

FIGURE 7

STRUCTURE OF CONTROL SYSTE



The control system of the membrane plant controls the equipment connected to the membrane system. This means that in principle the control system of the membrane system can be considered as a stand-alone unit. However, in practice this is not the case.

Both systems have an operator interface where the operator can change process values. Because it is possible that membranes may originate from more than one manufacturer, the operator interface is only connected to the control system of the WWTP. Process values for the membrane system are communicated to the control system of the membrane system. Six operating conditions are possible. They are listed in Table 3. There are likely to be differences between manufacturers and these should be taken into consideration when considering interchangeability.

TABLE 3 OPERATING CONDITIONS

Typical Operating conditions	membrane system contains	feed pump	permeate pump	air valve	membrane system available for filtration
1. On	sludge	on	on	open	yes
2. Standby Sludge	sludge	on/off	off	open/closed	yes
3. Standby Water	water	off	off	closed/open	yes
4. Cleaning	sludge, water, air	off	on/off	closed	no
5. Off	water/air	off	off	closed	no
6. Failure	sludge/water/air	off	off	closed	no

These six operating conditions should be possible with any combination of WWTP and membrane systems and modules. The operating condition Standby Water allows all pumps and aeration to be switched off and saves energy. The membrane system in operating condition Standby Water should be capable of switching to On without delay.

The control system of the WWTP and the membrane system may have up to 8 control strategies, related to the operating conditions:

- Permeate Strategy: This strategy determines the net flow rate of the membrane pumps, typically in relation to the total flow and level of the aeration tank. Controlled by control system of WWTP.
- Feed Strategy: This strategy determines the flow rate of the feed pump, typically relative to the flow rate of the permeate pump. Controlled by membrane control system.
- Change Strategy: This strategy changes the membrane systems in operation, typically after a fixed time, but alternatively in relation to the total volume of permeate produced or membrane permeability. Controlled by control system of WWTP.
- Duty Strategy: This strategy switches membrane systems on and off in relation to the total demand for permeate, typically the membrane systems are operated with a low flux at dry weather conditions. Controlled by control system of WWTP.
- Standby Water Strategy: This strategy changes the operating condition from Standby Sludge to Standby Water, typically after a predetermined time interval. Controlled by control system of WWTP.
- Aeration Strategy: This strategy determines the scour air flow rate, for example relative to the flow rate of the permeate pump. Controlled by membrane control system.
- Relaxation/Backpulse Strategy: This strategy determines the cycles of relaxation and/or back pulse when applicable, typically based on predetermined time intervals. Controlled by membrane control system.
- Cleaning Strategy: This strategy determines whether cleaning is necessary, typically after a specified number of hours in operation, or alternatively in relation to (the trend of) permeability. The ease of operator control of cleaning, the procedure of cleaning (including concentration of chemicals, time of soaking etc) should be considered. Controlled by control system of WWTP.

These control strategies create a need for data communication between the control system of the WWTP and the control system of the membrane system in both directions.

