

## Membranbioreactor (MBR)

*Inleiding in de bedrijfsvoering*



2002 12

## Membraanbioreactor (MBR)

*Inleiding in de bedrijfsvoering*

2002 12

Arthur van Schendelstraat 816  
Postbus 8090, 3503 RB Utrecht  
Telefoon 030 232 11 99  
Fax 030 232 17 66  
E-mail [stowa@stowa.nl](mailto:stowa@stowa.nl)  
<http://www.stowa.nl>

Publicaties en het publicatie-  
overzicht van de STOWA kunt u  
uitsluitend bestellen bij:  
*Hageman Fulfilment*  
Postbus 1110  
3330 CC Zwijndrecht  
tel. 078 - 629 33 32  
fax 078 - 610 42 87  
e-mail: [hff@wxs.nl](mailto:hff@wxs.nl)  
o.v.v. ISBN- of bestelnummer en  
een duidelijk afleveradres.  
ISBN 90.5773.168.1

	TEN GELEIDE	1
1	INLEIDING	3
2	MBR VERSUS CONVENTIONEEL	5
3	VOORBEHANDELING	7
	3.1 Inleiding	7
	3.2 Samenstelling afvalwater	7
	3.3 Ontwerpfilosofie	8
	3.4 Fijnroosters	10
	3.4.1 <i>Beschrijving</i>	10
	3.4.2 <i>Meetsignalen en procesregelingen</i>	10
	3.4.3 <i>Bedrijfsvoering en bediening</i>	11
	3.5 Zand- en vetverwijdering	11
	3.5.1 <i>Beschrijving</i>	11
	3.5.2 <i>Meetsignalen en procesregelingen</i>	12
	3.5.3 <i>Bedrijfsvoering en bediening</i>	12
	3.6 Voorbezinktank	12
	3.6.1 <i>Beschrijving</i>	12
	3.6.2 <i>Meetsignalen en procesregelingen</i>	13
	3.6.3 <i>Bedrijfsvoering en bediening</i>	13
	3.7 Microzeven	14
	3.7.1 <i>Beschrijving</i>	14
	3.7.2 <i>Meetsignalen en procesregelingen</i>	15
	3.7.3 <i>Bedrijfsvoering en bediening</i>	15
4	BELUCHTINGSTANK	17
	4.1 Inleiding	17
	4.2 Systeemconfiguratie	17
	4.3 Beschrijving	18
	4.3.1 <i>Stikstofverwijdering</i>	18
	4.3.2 <i>Fosfaatverwijdering</i>	20
	4.3.3 <i>Spuislib</i>	20
	4.3.4 <i>Drijfslag</i>	21
	4.4 Meetsignalen en procesregelingen	21
	4.5 Bedrijfsvoering en bediening	23
	4.5.1 <i>Stikstofverwijdering</i>	24
	4.5.2 <i>Fosfaatverwijdering</i>	26
	4.5.3 <i>Spuislib</i>	27
	4.5.4 <i>Drijfslag</i>	27
	4.6 Monsternamen en registratie	28
5	MEMBRAANFILTRATIE	31
	5.1 Algemeen	31
	5.2 Ontwerpaspecten	32
	5.2.1 <i>Membraantank</i>	32
	5.2.2 <i>Chemicaliën aanmaak- en doseerinstallatie (CADI)</i>	33
	5.2.3 <i>Permeaatbuffertank</i>	33
	5.3 Procestoestanden	34

5.4	Membraan vervuiling en reiniging	35
5.4.1	<i>Koekfiltratie</i>	35
5.4.2	<i>Membraanvervuiling</i>	36
5.4.3	<i>Membraanreiniging</i>	37
5.5	Bedrijfsvoering	39
5.5.1	<i>Aantal compartimenten en permeaatdebiet</i>	39
5.5.2	<i>Recirculatiepomp</i>	39
5.5.3	<i>Membraanbeluchting</i>	41
5.5.4	<i>Symmetrie</i>	41
5.5.5	<i>Permeabiliteit</i>	43
5.5.6	<i>Chemische reiniging</i>	44
6	REFERENTIES	45

## **BIJLAGEN**

1	Verklarende woordenlijst
2	Processchema en P&ID's
3	Veiligheidskaarten

## TEN GELEIDE

De membraanbioreactor (MBR) vormt een belangrijke vooruitgang voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater. In vergelijking tot conventionele zuiveringstechnieken wordt op een aanzienlijk geringer oppervlak een betere effluentkwaliteit geproduceerd. Sinds maart 2000 voert DHV Water in opdracht van de STOWA een pilotonderzoek uit op de rwzi Beverwijk. Hierbij worden MBR systemen van Kubota, Mitsubishi, X-flow en Zenon getest en met elkaar vergeleken. Op basis van de positieve ervaringen op de rwzi Beverwijk wordt de realisatie van een demonstratie installatie door het Waterschap Rijn & IJssel overwogen. Hiertoe is de rwzi Varsseveld met een capaciteit van 755 m<sup>3</sup>/h geselecteerd.

Hiermee wordt de toepassing van de MBR in Nederland concreter, en is de behoefte ontstaan aan een specifieke opleiding voor bedrijfsvoerders. In het buitenland is hieraan in het recente verleden vaak (te) weinig aandacht besteed, waardoor de afstand tussen proces en bedrijfsvoerder te groot werd. Zes direct bij het MBR-onderzoek betrokken waterbeheerders (Dienst Waterbeheer en Riolering, Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier, Waterschap Rijn en IJssel, Waterschap Regge en Dinkel, Waterschap Rivierenland en Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden) hebben elf bedrijfsvoerders en zeven procestechnologen geselecteerd die in mei en november 2001 een intensief opleidingsprogramma hebben gevolgd. De bedrijfsvoerders uit deze twee groepen hebben daarnaast uitgebreide ervaring opgedaan, door actief deel te nemen aan de dagelijkse bedrijfsvoering van de MBR-pilotinstallaties op de rwzi Beverwijk.

Naar aanleiding van de positieve ervaringen tijdens deze opleidingen is door de STOWA begeleidingscommissie het idee geopperd om een MBR handleiding op te stellen. Het doel van deze handleiding is om bedrijfsvoerders en zuiveringstechnici inzicht te verschaffen in de MBR-technologie, waarbij is getracht om het principe met name op conceptueel niveau te beschrijven. Hierbij is met name ingegaan op aspecten welke duidelijk afwijken van de traditionele zuiveringstechnologie.

Deze inleiding in de bedrijfsvoering is opgesteld door DHV Water B.V. (projectteam bestaande uit André van Bentem, Jaap Verkuijlen en Helle van der Roest). Hierbij is dank verschuldigd aan de bedrijfsvoerders en technologen welke de MBR-cursus hebben gevolgd en nauw aan het MBR-onderzoek in Beverwijk hebben meegewerkt: Ron Corstens, Jacob Pruijssers, Chris Ruiken, Philip Pas (Dienst Waterbeheer en Riolering), Jeroen Goverde, Peter Marcker, Ruud Schemen (Hoogheemraadschap van Uitwaterende Sluizen in Hollands Noorderkwartier), Jacques van Someren, Huib Lammers, Coert Petri, Wilbert Oltvoort (Waterschap Rijn en IJssel), Harold Brouwer, Etiënne Vonk (Waterschap Rivierenland), Recep Aydin, Geert Jan van Zanten (Waterschap Regge en Dinkel), Tijs Klop, Tjeerd Zwart en Floor Besten (Zuiveringsschap Hollandse Eilanden en Waarden).

Utrecht, maart 2002

De directeur van de STOWA

ir J.M.J. Leenen



## 1 INLEIDING

De toepassing van de Membraan-bioreactor (MBR) technologie voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater heeft in Nederland de laatste jaren een grote ontwikkeling doorgemaakt. Talrijke initiatieven hebben geleid tot vele technische en technologische verbeteringen en toenemend begrip en waardering van dit concept. De belangrijkste voordelen van de MBR, een superieure effluentkwaliteit en een zeer compacte installatie, maken de MBR tot een serieus alternatief voor de conventionele zuiveringstechnieken [ref. 1,2].

Vanwege bovengenoemde ontwikkelingen en voordelen komt grootschalige praktische toepassing binnen handbereik. De Nederlands waterkwaliteitsbeheerders, vertegenwoordigd door de STOWA, willen voorbereid zijn op de toepassing van de MBR-technologie. De toepassing van membranen in een actiefslibstelsysteem brengt met zich mee dat de bedrijfsvoering afwijkt van een conventionele rwzi, en dat op sommige punten een andere benadering of zelfs een andere manier van denken noodzakelijk is. In deze inleiding in de bedrijfsvoering worden met name die aspecten uitgelicht waar dit het geval is. Dit betreft de voorbehandeling, het actiefslibstelsysteem en de membraanfiltratie. Aspecten die in deze inleiding niet worden beschreven zijn de slibbehandeling en de luchtbehandeling. Deze processen wijken qua bedrijfsvoering niet principieel af van een conventionele rwzi.

Wereldwijd zijn tientallen membraanleveranciers actief. Binnen de op de markt zijnde MBR concepten bestaan grote verschillen in uitvoeringsvorm en bedrijfsvoering. Enkele voorbeelden van verschillen tussen de systemen zijn:

- de drijvende kracht voor het filtratieproces: onderdruk of overdruk;
- de uitvoeringsvorm van de membraanelementen: buisvormig, capillair of plaatvormig;
- de plaats van de membraanunit in de installatie: ondergedompeld of extern.

In deze rapportage zal niet verder worden ingegaan op de verschillende MBR-systemen. Ten behoeve van de leesbaarheid en eenduidigheid van deze handleiding is er voor gekozen om alleen de zogenaamde ondergedompelde ("submerged") membraansystemen te beschrijven. Dit is de configuratie welke het meest relevant is voor de toepassing in de huishoudelijk afvalwaterzuivering. Hierbij zal in algemene termen over de MBR worden gesproken, los van het type membraan. Indien relevant zullen de bedrijfsaspecten van de verschillende systemen naast elkaar worden beschreven, zonder de leverancier bij naam te noemen.

In hoofdstuk 2 van dit rapport is allereerst een korte beschrijving van het MBR-concept opgenomen, waarbij met name de verschillen tussen de MBR en een conventioneel actiefslibstelsysteem zijn toegelicht. In hoofdstuk 3 zijn de procesonderdelen van de voorbehandeling beschreven, respectievelijk: fijnroosters, voorbezinktanks, zand-/vetvang en microzeven. In hoofdstuk 4 is de bedrijfsvoering van het actiefslibstelsysteem beschreven, inclusief de interacties met de membraanfiltratie. In hoofdstuk 5 is de bedrijfsvoering van de membraanfiltratie installatie beschreven. Hierin wordt onder andere ingegaan op de vervuiling en reiniging van de membranen.



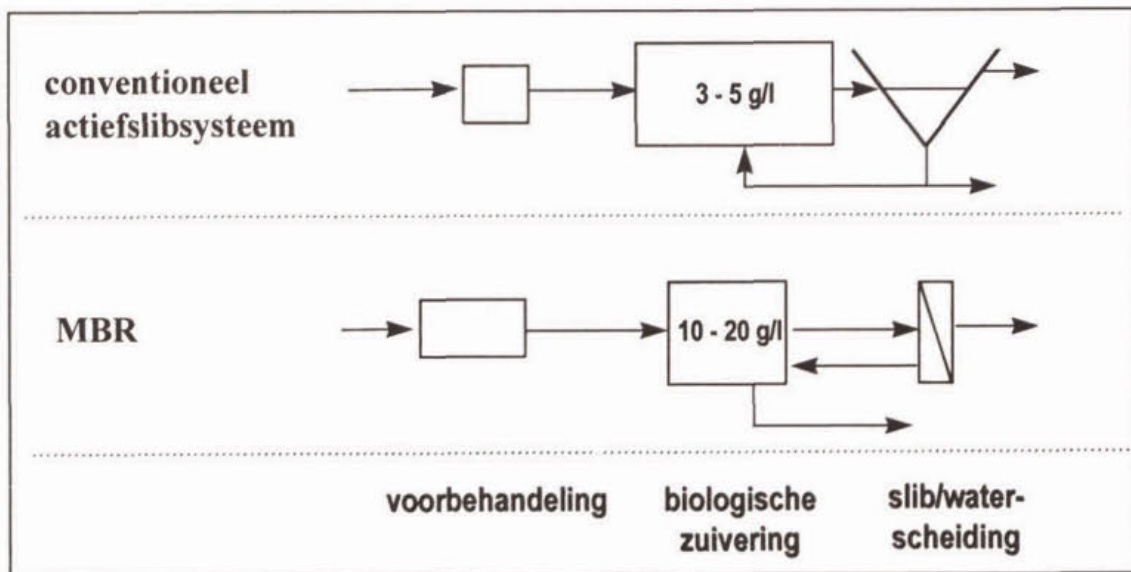


## 2 MBR VERSUS CONVENTIONEEL

Het MBR-concept is een combinatie van het actiefslibproces en membraanfiltratie. De basis van het concept is hetzelfde als dat van het conventionele principe, met uitzondering van de scheiding van het actief slib en het gezuiverde afvalwater. In een MBR vindt deze scheiding niet plaats door middel van bezinking, maar door middel van membraanfiltratie.

De MBR kan, net als een conventionele actiefslibinstallatie, worden opgedeeld in drie onderdelen (zie Afbeelding 1):

1. de voorbehandeling;
2. de biologische zuivering;
3. de slib/water-scheiding.



Afbeelding 1 - Schematische weergave van een conventioneel en een MBR systeem

De voorbehandeling is uitgebreider dan bij een conventioneel actiefslibstelsel. Onjuiste of onvolledige voorbehandeling kan een negatieve uitwerking hebben op de membranen. Vervuiling en verstopping van de membranen met haren, slib of andere deeltjes kan worden voorkomen door een goede en betrouwbare voorbehandeling. Hierbij is niet alleen de keuze van het type voorbehandeling maar ook de redundantie hiervan een belangrijk aandachtspunt in het ontwerp. Bij de voorbehandeling zijn verschillende configuraties mogelijk, afhankelijk van het type afvalwater.

De biologische zuivering in een MBR vindt plaats bij een slibgehalte dat een factor 2 tot 5 maal zo hoog is als in een conventioneel actiefslibstelsel. Daarnaast kan de membraantank als een verlengstuk van de beluchtingstank worden gezien, aangezien in deze tank ook beluchting en biologische activiteit plaatsvindt. Deze beide aspecten hebben ingrijpende gevolgen voor de bedrijfsvoering van de installatie, met name wat betreft de zuurstofinbreng en de beluchterregeling.

Vaak wordt verondersteld dat in een MBR de slibproductie (veel) lager is dan in een conventioneel actiefslibstelsel. Dit is echter alleen het geval wanneer de MBR op een (veel) lagere slibbelasting is ontworpen. Voor toepassing van de MBR voor de zuivering van huishoudelijk afvalwater wordt echter vaak uitgegaan van een slibbelasting die gelijk is aan een conventioneel systeem. De spuislibproductie zal in dat geval dan ook vergelijkbaar zijn.

In een conventioneel actiefslibstelsysteem stroomt het afvalwater (meestal) onder vrij verval door de installatie. Als een onderdeel uit bedrijf is of niet (optimaal) functioneert, vindt toch lozing van het effluent plaats, in meer of mindere mate gezuiverd. In een MBR daarentegen, wordt het gezuiverde water door middel van permeaatpompen actief uit het systeem verwijderd. Dit impliceert dat de werking van een MBR volledig afhankelijk is van het functioneren van de membranen. Als de membranen niet functioneren kan er geen afvalwaterbehandeling plaatsvinden, en zal het afvalwater ongezuiverd moeten worden geloosd. Dit geeft het grote belang aan van het goed en betrouwbaar functioneren van de membranen in een MBR.

In bijlage 2 is een processchema weergegeven van een MBR-installatie.

### 3 VOORBEHANDELING

#### 3.1 Inleiding

De voorbehandeling van het ruwe afvalwater is van groot belang voor het goed en betrouwbaar functioneren van de membraanfiltratie. Het doel van de voorbehandeling is om een schoon MBR-slib te verkrijgen, zodat geen vervuiling, verstopping of beschadiging van de membranen kan optreden. Afbeelding 2 toont een foto van een membraanmodule waarbij de mate van voorbehandeling onvoldoende was. Ophopingen van kluwen met haar en slib tussen de membranen zijn het gevolg, waardoor het effectieve oppervlak van de membraanmodule afneemt. De ophopingen kunnen zodanige vormen aannemen dat het risico van beschadigingen aan de membraanmodule toeneemt.



Afbeelding 2 - Macro-vervuiling van een membraan

In paragraaf 3.2 is allereerst de samenstelling van huishoudelijk afvalwater beschreven, en het effect van de verschillende componenten op het functioneren van een MBR. Het ontwerp van de voorbehandeling en de benodigde ontwerpveiligheden zijn besproken in paragraaf 3.3. In paragraaf 3.4 t/m 3.7 zijn vervolgens de verschillende typen voorbehandeling in een MBR beschreven.

#### 3.2 Samenstelling afvalwater

In ruw huishoudelijk afvalwater is een aantal componenten aanwezig welke het MBR slib kunnen vervuilen. De belangrijkste componenten en het mechanisme waarmee deze kunnen worden verwijderd zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 - Schadelijke componenten in ruw huishoudelijk afvalwater

component	verwijderingsmechanisme
grotere deeltjes (takken, bladeren, grof vuil, etc.)	filtratie / zeven
kleinere deeltjes (zaden, takjes, haren, etc.)	filtratie / zeven
vetten (opgelost en geëmulgeerd), olie	opdrijven, coaguleren
zand	bezinken

### *Grotere en kleinere deeltjes*

Grotere en kleinere deeltjes kunnen zich tussen de membraanelementen ophopen en daardoor verstopping en uiteindelijk beschadiging van een membraanunit veroorzaken (zie Afbeelding 2). Het gevolg voor de membranen is dat deze sneller beschadigen en daardoor ook sneller vervangen moeten worden.

Het gevolg voor de bedrijfsvoering van de installatie is dat de membranen in eerste instantie vaker chemisch gereinigd moeten worden. In het ergste geval zullen de membranen zo verstopt kunnen raken dat de units stuk voor stuk uit het actief slib getakeld moeten worden en (handmatig) moeten worden schoongespoten. Deze situatie dient te allen tijde te worden voorkomen aangezien dit, met name bij grotere installaties, een enorme inspanning van de bedrijfsvoering vraagt. Bovendien is een dergelijke exercitie onhygiënisch en zijn de werkzaamheden uit het oogpunt van ARBO moeilijk uitvoerbaar.

### *Vetten en oliën*

De in huishoudelijk afvalwater aanwezige vetten zijn voor een groot deel in opgeloste of geëmulgeerde vorm aanwezig. Deze vetten kunnen in het actiefslibstelsysteem worden afgebroken en vormen geen bedreiging voor de membranen. De onopgeloste vetten en oliën hebben echter een negatieve invloed op de slibsamenstelling. Het slib wordt plakkeriger en vetter, en zal daardoor makkelijk aan de membranen kleven en de vervuiling van de membranen doen toenemen. Het gevolg hiervan is dat de benodigde drukval over de membranen toeneemt en deze vaker en intensiever moeten worden gereinigd. Dit reinigen kan weer een negatieve invloed op de levensduur van de membranen hebben.

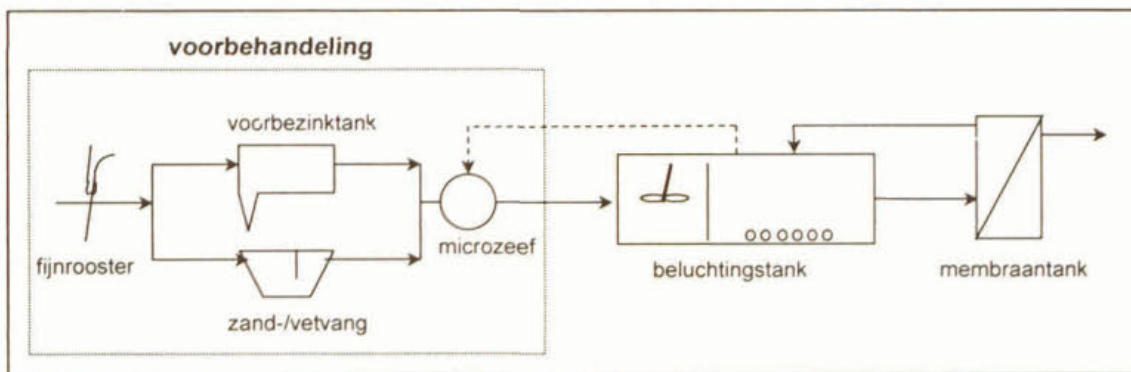
### *Zand*

In de membraantank vindt een intensieve recirculatie van slib langs de membranen plaats. De recirculatie heeft als doel de vervuiling en aankoeking van slib op het membraan te minimaliseren. De aanwezigheid van zanddeeltjes in het slib zal een schurende werking van deze recirculatiestroom veroorzaken. Het gevolg hiervan is een snellere slijtage en mogelijk beschadiging van de membranen, en daardoor een kortere levensduur.

## 3.3 Ontwerpfilosofie

Het ontwerp van de voorbehandeling van een MBR-installatie is gebaseerd op de afvalwatersamenstelling. Ook het type membraan kan van invloed zijn op het ontwerp, aangezien het ene membraan mogelijk gevoeliger is voor bepaalde componenten dan de andere. In Afbeelding 3 zijn de twee meest voor de hand liggende voorbehandelingsconfiguraties weergegeven:

- fijnrooster, voorbezinktank, microzeef;
- fijnrooster, zand-/vetvang, microzeef.



Afbeelding 3 - Schematische weergave van de voorbehandeling van een MBR installatie

Het fijnrooster en de microzeef zijn noodzakelijk voor een vergaande verwijdering van de in het afvalwater aanwezige deeltjes die schadelijk kunnen zijn voor de membranen. Voor de verwijdering van zand en vet is een voorbezinktank of een gecombineerde zand-/vetvanger mogelijk. De noodzaak van een separate vetvang is groter indien grote hoeveelheden vet in het afvalwater aanwezig zijn.

#### *Redundantie*

Het ontwerp van de voorbehandeling dient een continue, betrouwbare werking te garanderen. De reservestelling van de aparte onderdelen is afhankelijk van de configuratie van de voorbehandeling. Een voorbezinktank verwijdert een groot deel van het materiaal dat door de microzeef zou worden tegengehouden. De hoeveelheid zeefgoed zal daarom aanzienlijk lager zijn dan bij toepassing van een zand-/vetvanger. De gevolgen van het uit bedrijf nemen van de microzeven bij toepassing van een voorbezinktank zijn daarom kleiner dan bij toepassing van een zand-/vetvanger. Indien de microzeef uit bedrijf gaat zal het slib langzaam vervuilen. Dit heeft geen directe invloed op de membranen.

Ook de capaciteit van de installatie en van de toegepaste apparaten is van invloed op het ontwerp. Een volledige reservestelling van een microzeefinstallatie met een maximale capaciteit van bijvoorbeeld 1.000 m<sup>3</sup>/h kan worden verkregen door 2 van 1.000 m<sup>3</sup>/h of 3 van 500 m<sup>3</sup>/h te plaatsen.

In Tabel 2 is voor de twee systeemconfiguraties uit Afbeelding 3 de vereiste reservestelling weergegeven.

**Tabel 2 - Ontwerp voorbehandeling**

Procesonderdeel	met voorbezinktank	met zand-/vetvanger
fijnrooster	volledige reserve	volledige reserve
voorbezinktank	geen reserve	-
zand-/vetvanger	-	geen reserve
microzeef	geen reserve	volledige reserve

Voor de voorbezinktank en de zand-/vetvanger geldt dat bij uitval of onderhoud de installatie zo snel mogelijk weer in bedrijf moet worden genomen. Dit houdt in dat onderhoud gepland moet worden in een droogweelperiode en dat de belangrijkste mechanische onderdelen op de plank moeten liggen.

#### *Beluchtingstank / membraantank*

Het ontwerp van de beluchtingstank en de membraantank is zodanig dat eventuele doorslag van niet of gedeeltelijk voorbehandeld afvalwater zo min mogelijk effect heeft op de membranen. Enkele voorbeelden hiervan zijn:

- de stroom van de voordenitrificatietank naar de beluchtingstank vindt bovenlangs plaats zodat het aanwezige zand in de voordenitrificatietank achterblijft;
- er is een drijfslagverwijdering aanwezig waardoor opdrijvend vet en olie kan worden verwijderd;
- de toevoerpompen naar de membraancompartimenten onttrekken het slib vanaf het midden van de tank, zodat zowel een drijfslag als bezinsel niet naar de membraantank kan worden gevoerd;
- de terugvoer van de membraancompartimenten naar de beluchtingstank vindt plaats middels een overstort, zodat een drijfslag direct wordt verwijderd;

- in de bodem van de membraancompartimenten is een afvoermogelijkheid aangebracht waarmee regelmatig (b.v. tijdens de reiniging) zwaardere bezonken delen kunnen worden verwijderd;
- het actief slib uit de beluchtingstank kan tijdens DWA over de microzeven worden gecirculeerd, zodat eventuele doorgekomen of ingevallen deeltjes of tijdens het proces gevormde slibbrokken, uit het systeem worden verwijderd.

### 3.4 Fijnroosters

#### 3.4.1 Beschrijving

Voor een MBR dient een fijnrooster met een spleetwijdte van 3-6 mm te worden toegepast. Een grotere spleetwijdte heeft een hogere belasting van de microzeven tot gevolg.

De roostergoedverwijdering bestaat uit de volgende onderdelen:

- fijnrooster, met volledige reservestelling;
- roostergoedpers met container.

In Tabel 3 is een overzicht gegeven van een aantal typen roostergoedinstallaties.

**Tabel 3 - Overzicht roostergoedinstallaties**

type	staafafstand / spleetwijdte [mm]
statische zeefbocht	0,25 - 2,5
kettingrooster	3 - 25
stappenrooster	3 - 6
harkrooster	13 - 38
trommelzeef	0,25 - 2,5
rotary strainer	0,38 - 9,5
strainpress	1 - 10

#### 3.4.2 Meetsignalen en procesregelingen

In de toevoerleidingen naar de fijnroosters zijn debietmeters geïnstalleerd die het totale toevoerdebiet naar de zuivering registreren. Bij een toenemend debiet kan in stappen een aantal meervoudig uitgevoerde procesonderdelen worden bijgeschakeld, zoals de fijnroosters, de microzeven en de membraancompartimenten.

Tevens wordt hiermee de volumeproportionele monsternamen aangestuurd, waarmee meestal de externe- en interne vuilwaterstromen en het permeaat worden bemonsterd.

De wijze van bedrijfsvoering verschilt per type roostergoedinstallatie. In het algemeen treedt het ruimermechanisme of de sproeivoorziening in werking op basis van het waterniveau vóór het fijnrooster. Ook de roostergoedpers komt dan in bedrijf. Het ruimermechanisme blijft een instelbare minimale tijd draaien. Na het bereiken van het onderste waterniveau wordt het mechanisme uit bedrijf genomen. Hierbij wordt een instelbare nalooptijd in acht genomen.

Na een bepaalde looptijd of bij buitengebruikstelling dient het rooster door middel van sproeiers gereinigd te worden om hardnekkige aanslag te voorkomen.

De roostergoedpers wordt met bedrijfswater of permeaat gespoeld. Hiertoe is een sproeier geplaatst. Bij het inschakelen van de roosterreiniger wordt na een instelbare tijd de sproeiwaterafsluiter geopend. Na het stoppen van de roosterreiniger wordt de afsluiter na een instelbare vertragingstijd gesloten.

### 3.4.3 *Bedrijfsvoering en bediening*

Bij het buiten bedrijf stellen van een rooster dient één van de andere roosters in gebruik te worden genomen. De capaciteit van de roostergoedverwerking is zodanig gekozen dat onder alle omstandigheden (ook bij onderhoud) een roostergoedvrij influent kan worden gegarandeerd. Er is geen bypass langs de fijnroosters aanwezig. De aanwezige fijnroosters worden om toerbeurt bedreven. Nadat de fijnroosters buiten bedrijf zijn gesteld worden deze gespoeld, om aankoecken te voorkomen.

Na een regenbui kan door de first flush de hydraulische- en drogestofbelasting van de fijnroosters sterk toenemen. Inspectie, en mogelijk reiniging is dan gewenst. Bij calamiteiten dient direct actie te worden ondernomen om de installaties in bedrijf te nemen of te houden.

Bij onderhoudswerkzaamheden dient al het afvalwater over de andere fijnroosters te worden gevoerd om vervuiling van de membranen te voorkomen. Technisch onderhoud aan de installatie dient bij voorkeur onder DWA-condities plaats te vinden. Dagelijks dient te worden gecontroleerd of de roostergoedcontainer vol is en dus moet worden gewisseld.

Gegevens inzake storingen, onderhoud, reiniging en het wisselen van containers, dienen te worden geregistreerd in een logboek. Tevens dient een aparte registratie te worden bijgehouden van de hoeveelheden afgevoerd roostergoed.

## 3.5 **Zand- en vetverwijdering**

### 3.5.1 *Beschrijving*

Het in het afvalwater aanwezige zand dient te worden verwijderd om slijtage aan of beschadiging van (mechanische) procesonderdelen en membranen te voorkomen. De aanwezigheid van vet kan de slibsamenvestiging en de werking van de membranen negatief beïnvloeden.

In Tabel 4 is een overzicht gegeven van een aantal typen zandvangsters. Een zandvang wordt vaak in combinatie met een (beluchte) vetvang toegepast.

**Tabel 4 - Overzicht type zandvanginstallaties**

<b>zandvangsters</b>	<b>kenmerken</b>
gootvormige zandvangsters	langwerpige kanalen.
vlakke zandvangsters	vierkante zandvangster (b.v. Dorr)
tangentieel (Vortex) zandvangsters	ronde tangentieële invoer (b.v. Geiger)
hydrocyclonen	scheiding o.i.v. centrifugaalkracht (in de sliblijn)
beluchte zand-/vetvangsters	gootvormige zandvangster, waarin water in een spiraalvormige beweging wordt gebracht door zijdelingse invoer van lucht.

Door een verandering van het stromingsprofiel wordt zand via gravitatie- of centrifugaalkrachten afgescheiden. Bij een gecombineerde zand-/vetvangster worden door middel van ingeblazen lucht, opdrijvend materiaal, olie en vetten geflooteerd, waarna deze met een ruimer worden afgeroomd. De afgeroomde drijfslaag wordt separaat afgevangen en afgevoerd.

Het afgescheiden zand/slibmengsel wordt verzameld door een continu werkend schraapsysteem of met behulp van een zand/slibpomp naar de afvoertrechter getransporteerd. Vervolgens wordt het mengsel in een zandwasser van het slib ontdaan. Hiertoe wordt het zand/slibmengsel door een harkmechanisme omhoog getransporteerd. De turbulentie waarmee dit gepaard gaat zorgt er

voor dat het slib loskomt van het (relatief schone) zand. Het slib gaat hierbij in suspensie en wordt met het spoelwater afgevoerd, terwijl het zand blijft liggen. Het verontreinigde spoelwater dat bij de zandwassing vrijkomt, wordt naar de zandvanger teruggevoerd. Het zand wordt naar boven getransporteerd en het overtollige water wordt op het droge deel van de goot afgevoerd. Het zand valt vanaf de goot in een container en kan worden afgevoerd.

Meestal vindt de vetverwijdering plaats in een gecombineerde (beluchte) zand-/vetvanger. Ook hiervoor geldt dat de vetvanger te allen tijde in gebruik dient te zijn om vervuiling van de membranen te voorkomen.

### 3.5.2 *Meetsignalen en procesregelingen*

De zand- en vetvanger is continu in bedrijf. De zandwasser en de spoelpomp zijn continu in bedrijf of kunnen via een loop/wachttijd-regeling worden bestuurd.

De ruimer van de zandvanger is dubbel beveiligd tegen overbelasting. Bij een geringe overbelasting zal de ruimer niet worden uitgeschakeld, maar wordt wel een melding gegeven.

### 3.5.3 *Bedrijfsvoering en bediening*

Technisch onderhoud aan de installatie dient bij voorkeur onder DWA-condities plaats te vinden. Dagelijks dient te worden gecontroleerd of de zandcontainer vol is en dus moet worden verwisseld.

Gegevens inzake storingen, onderhoud, reiniging enz. dienen te worden geregistreerd in een logboek. Tevens dient er een separate registratie te worden bijgehouden van de afgevoerde hoeveelheden zand.

Vooraf onder winterse temperaturen waarin vet slechter in de waterfase oplost, dient aan de hand van regelmatige controle van de dikte van de vetlaag, de blowercapaciteit en het ruimermechanisme te worden bijgesteld.

## 3.6 **Voorbezinktank**

### 3.6.1 *Beschrijving*

In de voorbezinktank worden de zwaardere onopgeloste stoffen en zand uit het afvalwater verwijderd. Dit zogenaamde primairslib bezinkt en wordt met behulp van een ruimer naar de slibzak of slibgoot getransporteerd. Het bezonken slib wordt afgevoerd naar de primairslibindikker voor verdere verwerking. Indien voor de voorbezinktank geen separate zandverwijdering heeft plaatsgevonden, kan het zand met hydrocyclonen van het primair slib worden gescheiden en separaat worden afgevoerd.

De drijvende bestanddelen worden eveneens in de voorbezinktank verwijderd. De in de voorbezinktank afgescheiden drijfslag wordt verzameld en naar de drijfslaagafvoerput gevoerd. Vanuit deze put vindt regelmatig een verwijdering plaats met behulp van een kolkenzuiger. De drijfslaagruimer is bevestigd aan de ruimerbrug.

De voorbezinktank kan tevens worden gebruikt ten behoeve van de fosfaatverwijdering, de zogenaamde préprecipitatie. Bij préprecipitatie wordt aan het ruwe afvalwater voordat het in de voorbezinktank komt, een ijzer- of aluminiumzout gedoseerd. Het fosfaat wordt hiermee chemisch vastgelegd in het primair slib en via de voorbezinking aan de waterlijn onttrokken.



Teneinde de vlokvorming in de voorbezinktank gunstiger te laten verlopen wordt vaak in een dosering van een vlokhulpmiddel (polyelektroliet) voorzien. Dosering hiervan vindt plaats na dosering van het metaalzout. De dosering van polyelektroliet (PE) dient te worden beperkt om een nadelige invloed op de membranen te voorkomen.

Bij toepassing van voorbezinking neemt de biologische belasting van het actiefslibstelsysteem af, waardoor minder beluchtingsenergie is benodigd. Daarnaast wordt echter de influentsamenstelling nadelig beïnvloedt. De verlaging van de verhouding tussen organische stof (CZV) en stikstof kan een nadelige invloed hebben op de stikstofverwijdering. Dit effect zal nog groter zijn bij toepassing van préprecipitatie.

### 3.6.2 *Meetsignalen en procesregelingen*

De primairslibpompen worden aangestuurd op basis van het influentdebiet of een tijdsklokregeling.

De ruimer en de rijmotoren worden als één eenheid aangestuurd. De ruimer werkt bij automatisch bedrijf continu. De ruimer is voorzien van obstakelbeveiliging en/of wielslipdetectie. Bij het aanspreken ervan wordt de ruimer uitgeschakeld. Daarnaast is een thermische overbelastingsbeveiliging aangebracht.

### 3.6.3 *Bedrijfsvoering en bediening*

Het aantal voorbezinktanks is afhankelijk van de capaciteit van de installatie. Indien de installatie over twee of meer voorbezinktanks beschikt, dient tijdens onderhoud al het afvalwater over de andere tank(s) te kunnen worden geleid. Om het effect op de slibbelasting, de biologische slibaangroei en het verwijderingsrendement te verkleinen dient de installatie bij voorkeur onder zomere DWA condities uit bedrijf te worden genomen. Bij calamiteiten kan worden overwogen préprecipitatie toe te passen op de andere tank(s) om het rendement van de voorbezinking te vergroten.

Indien slechts één voorbezinktank beschikbaar is, is uitval van deze tank een risico voor de bedrijfsvoering van deze installatie. Ook hierbij geldt dat onderhoud van de voorbezinktank bij voorkeur in de zomerperiode dient plaats te vinden. Tijdens het uit bedrijf nemen van de voorbezinktank vindt geen zand- en vetverwijdering plaats. Het zand zal in de voordennitrificatietank bezinken, het vet zal gedeeltelijk via de drijfslaagafvoer worden verwijderd. Indien deze periode kort is zal het effect op de membranen gering zijn.

In geval van préprecipitatie is de effluentkwaliteit met name afhankelijk van de verhouding tussen de hoeveelheid gedoseerd metaalzout en de hoeveelheid fosfaat in het afvalwater. Dit wordt uitgedrukt in de molaire verhouding (Me/P-verhouding). Bij préprecipitatie is een Me/P-verhouding van 1,0 – 1,5 mol Fe/mol P benodigd om in het effluent een fosfaatgehalte kleiner dan 1 mg  $P_{\text{totaal}}/l$  te kunnen bereiken.

Bij de uitvoering van de inspectie dient rekening te worden gehouden met bedwelmingsgevaar als gevolg van ophoping van gassen onder de afdekking. Ventilatie vooraf is noodzakelijk. De werkschakelaar dient met een hangslot te worden geblokkeerd.

Periodiek moet de drijfslaagput worden geïnspecteerd op verzameling van vaste stoffen. Indien nodig moet de verzamelde drijfslaag met een kolkenzuiger worden afgevoerd.

### 3.7 Microzeven

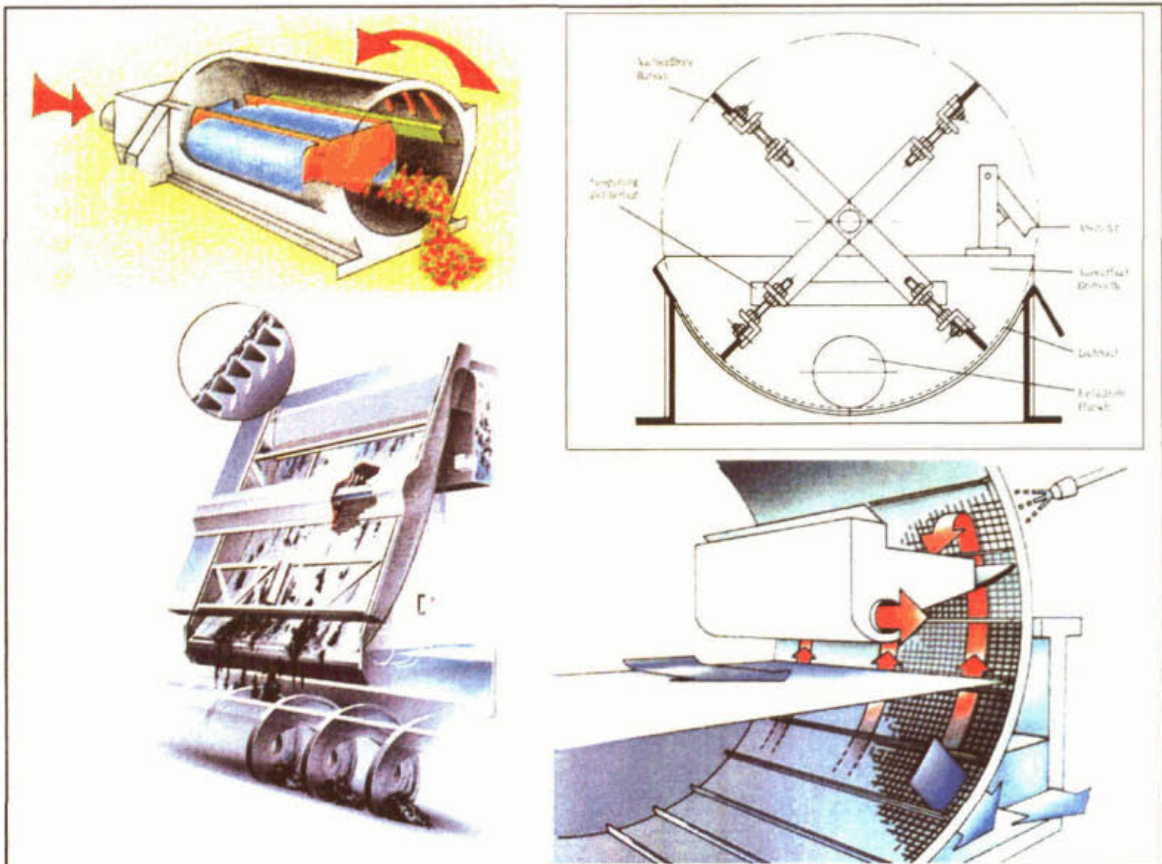
#### 3.7.1 Beschrijving

Voor een MBR dient een microzeef met een spleetwijdte van 0,5-1,0 mm te worden toegepast. De keuze van de spleetwijdte is afhankelijk van de afvalwatersamenstelling en het type membraan. In Tabel 5 is een overzicht gegeven van een aantal typen microzeven.

Tabel 5 - Overzicht microzeven

type	zeefmechanisme	reinigingsmechanisme
zeeftrommel	trommel met gaatjes	schrapers en sproeiers
vibrerende zeefbocht	sleuf	trillen en sproeiers
cilindrisch staafrooster met roterende borstels	sleuf, axiaal	borstels en sproeiers
drumfilter	statisch, filterdoek	sproeiers
filterzeef	zeefband of bandfilter	borstel en/of sproeiers

In Afbeelding 4 zijn enkele typen microzeven schematisch weergegeven.



Afbeelding 4 - Verschiede typen microzeven (met de klok mee vanaf linksboven: zeeftrommel, borstelzeef, drumfilter en zeefbocht)

### 3.7.2 *Meetsignalen en procesregelingen*

De wijze van procesregeling komt sterk overeen met die van de fijnroosters (zie paragraaf 3.4.2) maar verschilt per type zeefgoedinstallatie. In het algemeen is het ruimermechanisme continu in bedrijf of treedt het ruimermechanisme of de sproeivoorziening in werking op basis van het waterniveau vóór de microzeef. Een andere mogelijkheid is dat het mechanisme op vast instelbare tijdsintervallen of op basis van een cumulatieve influentdebietmeting in werking wordt gesteld. Na een bepaalde looptijd of bij buitengebruikstelling, dient de microzeef door middel van sproeiers gereinigd te worden om hardnekkige aanslag te voorkomen.

### 3.7.3 *Bedrijfsvoering en bediening*

De aanwezige microzeven worden om toerbeurt bedreven. De microzeven worden na het uit bedrijf nemen gespoeld, om aancoeken te voorkomen. Bij calamiteiten dient direct actie te worden ondernomen om de installaties in bedrijf te nemen of te houden.

Bij onderhoudswerkzaamheden dient al het afvalwater over de andere microzeven te worden gevoerd om vervuiling van de membranen te voorkomen. Technisch onderhoud aan de installatie dient bij voorkeur onder DWA-condities plaats te vinden.

Bij een niet afgedekte beluchtingstank verdient het aanbeveling om de inhoud hiervan gedeeltelijk over de microzeven te recirculeren om eventuele reststoffen te verwijderen en om vervuiling van de membranen door ingevangen vuil (bladeren) of door slibophoping te voorkomen.

Gegevens inzake storingen, onderhoud, reiniging en wisselen van containers, dienen te worden geregistreerd in een logboek. Tevens dient een aparte registratie te worden bijgehouden van de hoeveelheden afgevoerd zeefgoed.



## 4 BELUCHTINGSTANK

### 4.1 Inleiding

In de beluchtingstank vindt de daadwerkelijke afbraak en omzetting plaats van complexe verbindingen tot onder andere; opgeloste verbindingen, koolzuurgas, stikstof- en fosfaatverbindingen. Deze omzettingen vinden plaats door de aanwezige bacteriën (actief slib) in afwisselend zuurstofrijke, zuurstofarme en/of zuurstofloze omstandigheden. Een en ander is afhankelijk van de configuratie van de zuiveringsinstallatie. De verschillende configuraties van een MBR worden besproken in paragraaf 4.2. In het vervolg van dit hoofdstuk wordt ingegaan op de volgende processen:

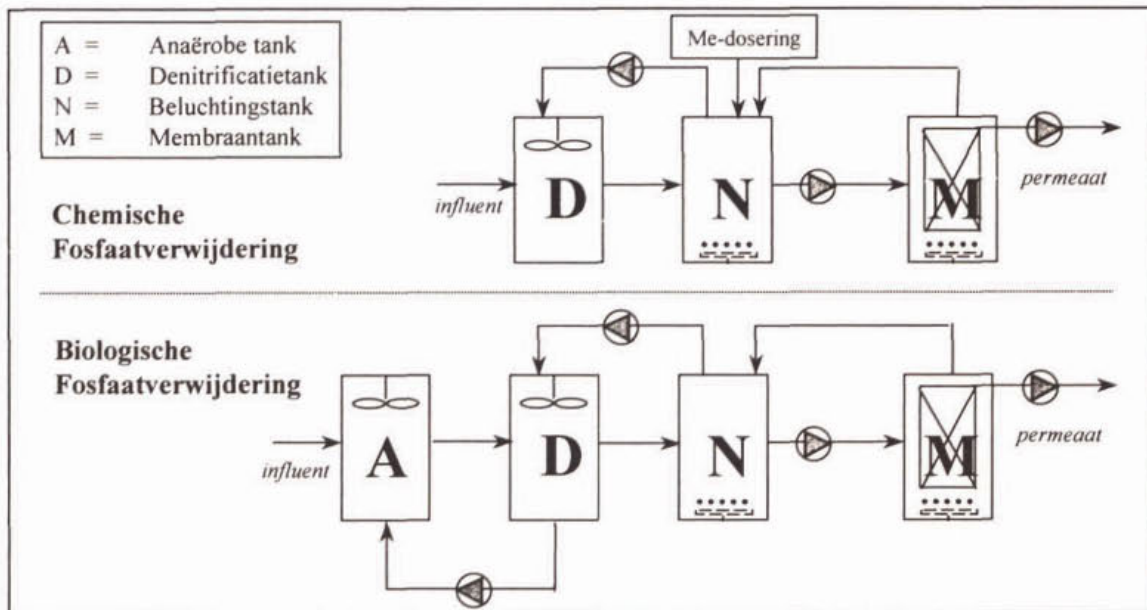
- stikstofverwijdering (nitrificatie en denitrificatie);
- fosfaatverwijdering (chemisch of biologisch);
- slibproductie en spuislibonttrekking;
- drijfslagvorming- en verwijdering.

### 4.2 Systeemconfiguratie

De beluchtingstank kan niet los worden gezien van de membraantank. Ook in de membraantank is een hoog slibgehalte aanwezig, wordt zuurstof ingebracht en vinden bovengenoemde processen plaats. Bij het ontwerp van een MBR dient hiermee rekening te worden gehouden.

De configuratie van de beluchtingstank is afhankelijk van een aantal aspecten, met name van de wijze van fosfaatverwijdering, de influentsamenstelling en de effluenteisen.

De fosfaatverwijdering kan chemisch of biologische plaatsvinden, zoals beschreven wordt in paragraaf 4.3.2. Voor biologische fosfaatverwijdering is een extra anaërobe tank benodigd. In Afbeelding 5 zijn de (sterk vereenvoudigde) systeemconfiguraties voor beide processen schematisch weergegeven. In deze handleiding zal worden uitgegaan van deze procesconfiguraties.



Afbeelding 5 - Schematische weergave van de systeemconfiguraties

De influentsamenstelling is met name van invloed op de grootte van de verschillende compartimenten en de verhouding daartussen. Indien de CZV/stikstof-verhouding laag is, zal de denitrificatieruimte groter zijn.

De effluenteisen met betrekking tot stikstof bepalen grotendeels de configuratie van de voor-denitrificatietank en de beluchtingstank. Hoe hoger de eisen (lagere effluentconcentraties), hoe groter de recirculatiestromen tussen en in deze tanks dienen te zijn. Dit aspect wordt nader toegelicht in paragraaf 4.5.1.

## 4.3 Beschrijving

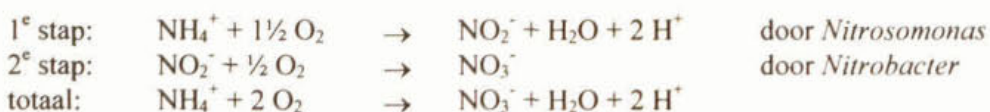
### 4.3.1 Stikstofverwijdering

Stikstof komt in het huishoudelijke afvalwater voor in de vorm van ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) en als organisch gebonden stikstof. Deze twee groepen stikstof vormen samen het zogenaamde Kjeldahl-stikstof ( $\text{N}_{\text{Kj}}$ ). Het organisch gebonden stikstof wordt tijdens het beluchtingsproces omgezet in ammonium. Dit proces wordt ammonificatie genoemd.

Het ammonium wordt door twee achtereenvolgende processen uit het afvalwater verwijderd. Het eerste proces is de nitrificatie; de omzetting van ammonium in nitraat. Het tweede proces is de denitrificatie; de omzetting van nitraat in stikstofgas. Daarnaast wordt een deel van de Kjeldahl-stikstof via het spuislib verwijderd. Voor een nadere toelichting over stikstofverwijdering wordt verwezen naar het STOWA handboek stikstofverwijdering [ref. 4]. Hierna worden beide stikstofverwijderingsprocessen kort beschreven.

#### Nitrificatie

Nitrificatie is een biologisch proces waarbij ammonium-stikstof door nitrificerende ("autotrofe") bacteriën wordt geoxideerd. De reactie verloopt in twee stappen die door twee verschillende groepen bacteriën wordt uitgevoerd.



Uit de reactievergelijkingen blijkt dat de nitrificatie een strikt aëroob proces is. Om de nitrificatie ongestoord te laten verlopen moet de zuurstofconcentratie minimaal 1-2 mg  $\text{O}_2$ /l bedragen. Het proces neemt sterk af bij zuurstofconcentraties lager dan 0,5 mg/l. Het proces is eveneens sterk afhankelijk van de zuurgraad en de temperatuur. De optimale pH ligt tussen 7 en 8. Het nitrificatieproces heeft een daling van de pH tot gevolg. Bij onvoldoende buffercapaciteit kan de pH te veel dalen en de nitrificatie worden geremd.

De groeisnelheid van de autotrofe nitrificerende bacteriën in het actief slib is lager dan die van de heterotrofe bacteriën. De groeisnelheid is bovendien sterk temperatuurafhankelijk. Dit heeft tot gevolg dat de nitrificatiesnelheid in de winter zeer laag kan zijn. In het uiterste geval kunnen bij een te hoge slibbelasting de nitrificeerders worden verdrongen door heterotrofe bacteriën en langzaam uit het systeem verdwijnen.

### Denitrificatie

Denitrificatie is een biologisch proces waarbij nitraat tot  $N_2$  of  $N_2O$  wordt omgezet. Het komt voort uit het vermogen van de meeste heterotrofe bacteriën in het actief slib om, bij afwezigheid van zuurstof, over te gaan van zuurstofademing op nitraatademing. Voor een goed verloop van de denitrificatie gelden de volgende eisen:

- zuurstofconcentratie lager dan 0,3 mg/l;
- BZV/N-verhouding 4 - 5 (minimaal 3).

De reactievergelijking ziet er sterk vereenvoudigd als volgt uit:



Bij de denitrificatie vindt gecombineerde BZV(CZV)- en nitraatverwijdering plaats. Omdat door denitrificatie BZV(CZV) wordt verwijderd, kan bespaard worden op de hoeveelheid beluchtingsenergie in de beluchtingstank.

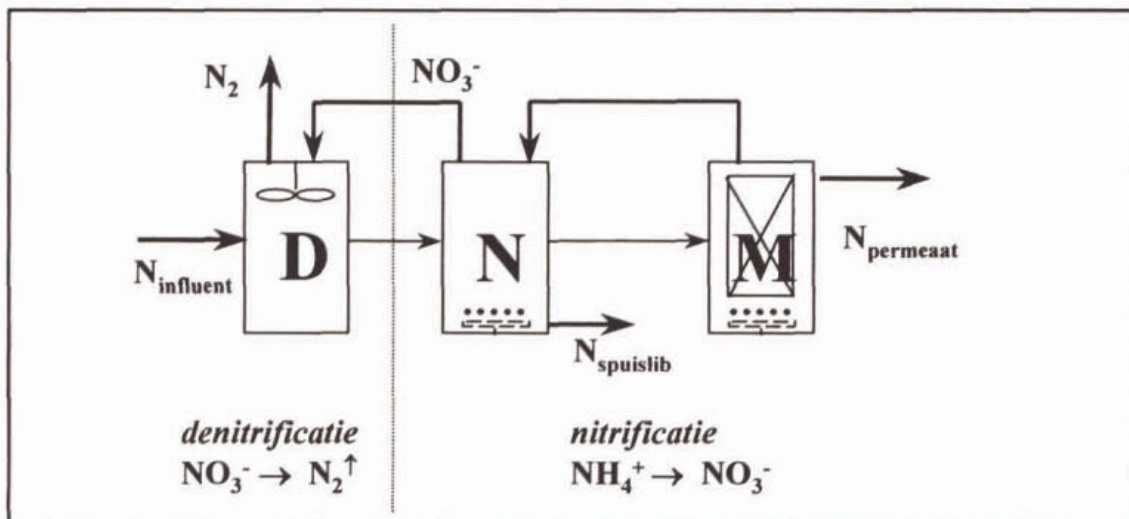
Bij de nitrificatie treedt een daling van de zuurgraad op, bij de denitrificatie is een pH-stijging waar te nemen. In een systeem, waarin beide processen plaatsvinden, zal de pH-verandering gering zijn, onder de eerdergenoemde randvoorwaarde dat voldoende buffercapaciteit in het afvalwater aanwezig is.

Er bestaan meerdere uitvoeringsvormen van het denitrificatieproces. In een MBR wordt over het algemeen uitgegaan van voordennitrificatie, mogelijk in combinatie met simultane denitrificatie. Bij voordennitrificatie wordt een nitraatrijk actiefslibmengsel uit de beluchtingstank in contact gebracht met afvalwater dat veel organisch materiaal (uitgedrukt als BZV of CZV) bevat. De recirculatie van deze nitraathoudende stroom naar de voordennitrificatieruimte moet zo hoog zijn dat voldoende nitraat naar de denitrificatieruimte wordt gevoerd om de denitrificatiecapaciteit van de ruimte volledig te benutten.

De stikstofverwijdering is de resultante van de volgende processen:

- nitrificatie (N);
- denitrificatie (D);
- inbouw van stikstof in celmateriaal.

In Afbeelding 6 wordt dit schematisch weergegeven.



Afbeelding 6 - Schematische stikstofbalans van een MBR-installatie

#### 4.3.2 Fosfaatverwijdering

Fosfaatverwijdering kan op diverse manieren plaatsvinden:

- fysisch-chemische fosfaatverwijdering:
  - préprecipitatie (zie paragraaf 3.6);
  - simultane precipitatie;
- biologische fosfaatverwijdering.

##### *Fysisch-chemische fosfaatverwijdering*

Bij de fysisch-chemische fosfaatverwijdering worden met name ijzer- en aluminiumzouten toegepast voor de vorming van fosfaatneerslagen. Bij de reactie van ijzer en aluminium met fosfaat worden precipitaten zoals  $\text{FePO}_4$  en  $\text{AlPO}_4$  gevormd. Daarnaast wordt fosfaat gebonden aan metaalhydroxyde-complexen die neerslaan en deel uitmaken van het actief slib. Het aandeel van het fysisch-chemisch gebonden fosfaat in actief slib zal naast de aanwezige concentratie van de diverse metalen ook afhankelijk zijn van de heersende zuurgraad in het actief slib.

Bij simultane fosfaatverwijdering wordt in de beluchtingstank metaalzout gedoseerd in de beluchtingsruimte. Kenmerk is dat het chemisch fosfaatslib samen met het biologische surplusslib wordt afgevoerd. Bij deze vorm van defosfatering ontstaat spuislib met een groter aandeel aan anorganisch materiaal. Deze vorm van verwijdering wordt in Nederland het meest toegepast.

##### *Biologische fosfaatverwijdering*

Bij deze wijze van fosfaatverwijdering worden geen chemicaliën gebruikt, maar wordt het fosfaat biologisch in het slib vastgelegd. Hiertoe is een anaërobe tank benodigd, welke de selectie van de zogenaamde fosfaataccumulerende organismen (PAO's) bevordert. Deze organismen zijn in staat om onder aërobe (en anoxische) omstandigheden fosfaat in verhoogde mate op te nemen. Het in het afvalwater aanwezige opgeloste fosfaat wordt dan opgeslagen als poly-fosfaat. Dit poly-fosfaat zal vervolgens worden verwijderd met het spuislib (surplusslib), dat rechtstreeks uit de beluchtingstank of uit de retourstroom van de membraantank wordt onttrokken. Onder anaërobe omstandigheden wordt het in het slib opgeslagen fosfaat afgegeven. In de anaërobe tank zal het fosfaatgehalte daarom relatief hoog zijn.

Aangezien het biologische fosfaatverwijderingsproces gevoelig kan zijn voor externe invloeden zoals de influentsamenstelling, de beluchting, de spuislibonttrekking en de procestemperatuur, wordt vaak een metaalzoutdoseerinstallatie stand-by gezet om eventuele (seizoens-) fluctuaties te kunnen opvangen.

Een MBR met een anaërobe tank is schematisch weergegeven in Afbeelding 5.

Voor een nadere toelichting over biologische fosfaatverwijdering wordt verwezen naar het STOWA-handboek biologische fosfaatverwijdering [ref. 3].

#### 4.3.3 Spuislib

De hoeveelheid biomassa in een actiefslibstelsel neemt toe doordat de bacteriën zich vermenigvuldigen. Bovendien wordt een deel van de aangevoerde afvalstoffen opgeslagen in het slib, wat ook een toename van de biomassa tot gevolg heeft.

Voor het zuiveringsproces dient de slibconcentratie zoveel mogelijk constant te worden gehouden. Regelmatig dient daarom spuislib (ook wel surplusslib genoemd) te worden afgelaten.

Een MBR beschikt, net als een conventioneel actiefslibstelsel, over een separate spuislibonttrekking. Deze faciliteit zal direct in de slibretourleiding na de membranen plaatsvinden of rechtstreeks uit de beluchtingstank. De aflaat zal meestal in of na een beluchte zone zijn gesitueerd om een zo hoog mogelijk fosfaatgehalte in het spuislib te realiseren.



#### 4.3.4 *Drijfslaag*

Een drijfslaag bestaat uit slibvlokken die gaan opdrijven in de beluchtingstank of de voordennitricatietank, en kan worden veroorzaakt door:

- gasbelletjes die zich aan de biomassa hechten;
- de aanwezigheid van hydrofobe (waterafstotende) stoffen, zoals vetten;
- aanwezigheid van draadvormige micro-organismen.

##### *Gasbelletjes*

Het hoge(re) drogestofgehalte in een MBR veroorzaakt een hogere viscositeit. Door ingevangen gasbelletjes kan het slib gaan drijven. Hierbij kunnen twee processen een rol spelen:

- het ontstaan van luchtbelletjes door (overmatige) beluchting;
- het ontstaan van stikstofbelletjes ten gevolge van denitrificatieprocessen.

##### *Vetten*

Van het in het afvalwater aanwezige vet zal slechts een deel in de voorbehandeling worden verwijderd. Een groot deel, met name geëmulgeerd vet, zal in de beluchtingstank terechtkomen. Door turbulentie als gevolg van pompen en beluchting kan de drijfslaag zoveel mogelijk worden verkleind en worden "opgenomen" door de biomassa. Een groot deel zal door de biomassa worden afgebroken. Toch zal specifiek onder koude omstandigheden een vethoudende drijfslaag kunnen ontstaan door grotere verschillen in viscositeit en (water)oplosbaarheid.

##### *Draadvormige micro-organismen*

Lichtslib wordt vrijwel altijd veroorzaakt door een te sterke groei van (hydrofoob) draadvormige micro-organismen, waardoor een drijfslaag kan ontstaan. Met de vorming van een drijfslaag kan ook normale biomassa worden afgevangen. Verwijdering is belangrijk aangezien de laag als kweekvijver van draadvormende bacteriën kan functioneren.

Draadvormende micro-organismen kunnen mogelijk specifiek worden bestreden. Bij gebruikmaking van chemicaliën dient eerst te worden onderzocht of deze invloed hebben op de membranen of de membraanfiltratie.

Voor meer informatie wordt verwezen naar het STOWA lichtslibhandboek [ref. 5].

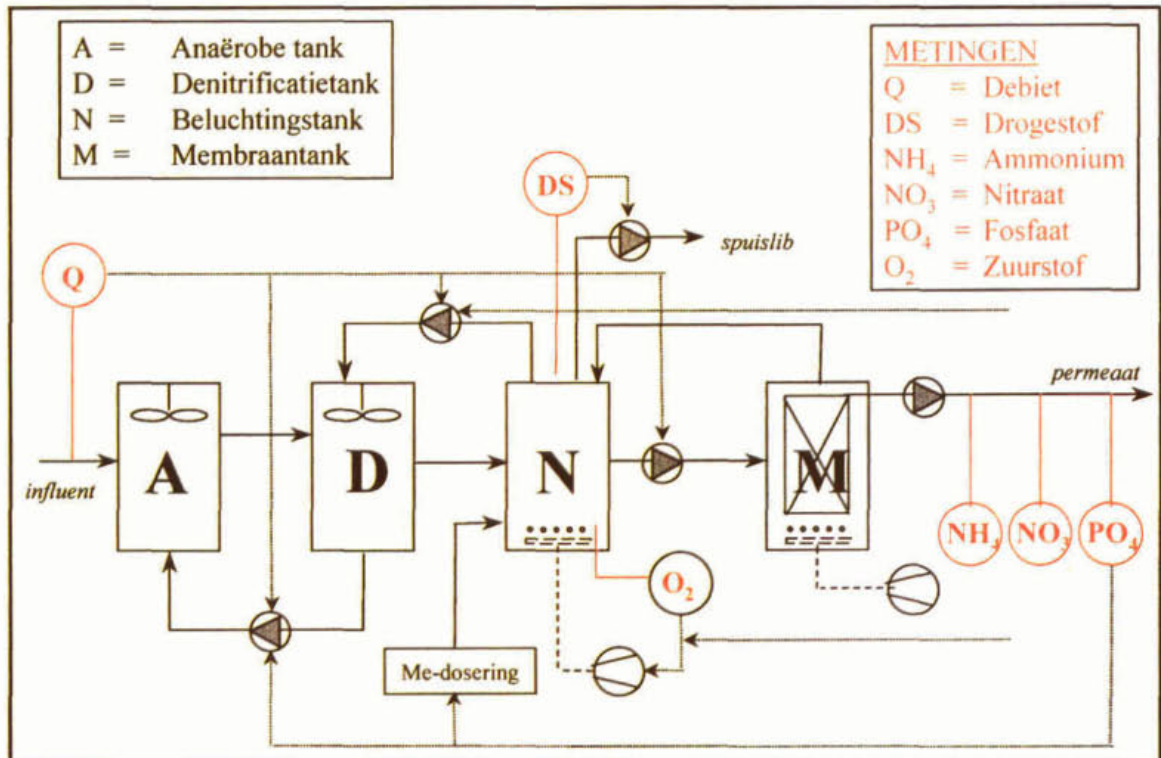
##### *Drijfslaagverwijdering*

Omdat een drijfslaag meestal uit membraanvervuilende (hydrofobe) stoffen bestaat, zal in de beluchtingstank een drijfslaagverwijdering noodzakelijk zijn, alvorens het slib/watermengsel in de membraantank terecht komt. De drijfslaagverwijdering vindt plaats door middel van een (drijvende) ruimer die op de beluchtingstank is geplaatst. De drijfslaag zal worden afgescheiden en afgevoerd.

## 4.4 **Meetsignalen en procesregelingen**

Voor de procesregeling van de beluchtingstank is een aantal metingen van belang. De belangrijkste metingen zijn schematisch weergegeven in Afbeelding 7.

Voor de beluchterregeling is in iedere beluchtingstank een zuurstofmeter geïnstalleerd. De beluchterregeling is afhankelijk van het type beluchtingssysteem en de configuratie van de beluchtingstank. Ook de beluchting in de membraantank is van invloed op de beluchterregeling. Met de recirculatiestroom uit de membraantank wordt een grote hoeveelheid zuurstof in de beluchtingstank ingebracht.



Afbeelding 7 - Schematische weergave meet- en regeltechniek van de beluchtingstank

Door het hoge slibgehalte in een MBR, en het ontbreken van nabezinktanks, is de hydraulische verblijftijd in een MBR aanzienlijk korter dan in een conventioneel actiefslibstelsysteem. Dit heeft invloed op de eisen die worden gesteld aan de beluchterregeling. Het is van groot belang dat de regeling snel en adequaat kan reageren op veranderingen.

Over het algemeen zijn één of meer beluchtingseenheden continue in bedrijf, waarbij deze samen met overige beluchtingseenheden worden geregeld aan de hand van de zuurstofmeting. Bij een laag zuurstofgehalte wordt een beluchtingseenheid opgetoerd of in gebruik genomen en bij een hoog zuurstofgehalte wordt de beluchtingseenheid afgetoerd of uit bedrijf genomen. Meestal kent een beluchtingseenheid een minimale looptijd. Na het buiten bedrijf stellen, wordt de opstart voor een bepaalde periode geblokkeerd.

De zuurstofinbreng in de beluchtingstank kan worden geregeld door:

- in- en uitschakelen van een beluchtingseenheid;
- op- en afvoeren van een beluchtingseenheid;
- het wijzigen van de setpoints van de zuurstofregeling;
- het verplaatsen van de zuurstofmeters ten opzichte van de beluchtingseenheid.

Regeling van de zuurstofgehalten op basis van de effluentsamenstelling (met name ammonium en nitraat) is van groot belang voor een optimaal zuiveringsproces. De optimalisatie van de verschillende processen kan echter tegenstrijdige ingrepen vereisen.

De fosfaatverwijdering wordt aangestuurd door signalen afkomstig van een fosfaatmonitor in het permeaat. Afhankelijk van het type fosfaatverwijdering kan de bedrijfsvoering worden gewijzigd door aanpassing van:

- biologische fosfaatverwijdering: de recirculatiestroom naar de anaërobe tank;
- chemische fosfaatverwijdering: de Me/P-verhouding van de chemicaliëndosering.

Voor het meten en registreren van de slibconcentratie is in iedere beluchtingtank een slibconcentratiemeter aangebracht, waarmee het spuislibregiem kan worden geregeld.

De recirculatiepompen zijn geregeld op basis van het influentdebiet en kunnen eventueel handmatig of automatisch worden bijgestuurd op basis van de on-line metingen.

De mengers in de anaërobe tank en de mengers / voortstuwers in de voordennitrificatieruimte, zijn continu in bedrijf. De sturing van de eventuele mengers / voortstuwers in de beluchtingsruimte is vaak gekoppeld aan de beluchterregeling.

De beluchtingstank beschikt over een (drijvende) drijfslaagruimer, waaraan geen registratieapparatuur of procesregeling is verbonden.

#### 4.5 Bedrijfsvoering en bediening

Een goede bedrijfsvoering kenmerkt zich door een goed zuiveringsrendement, een minimaal energieverbruik en de productie van slib met goede karakteristieken. De procesvoering dient plaats te vinden en geoptimaliseerd te worden op basis van:

- stikstofverwijdering (nitrificatie / denitrificatie);
- fosfaatverwijdering;
- slibkarakteristieken;
- energieverbruik.

De parameters waarmee de biologische processen in een MBR te sturen zijn, zijn hieronder weergegeven:

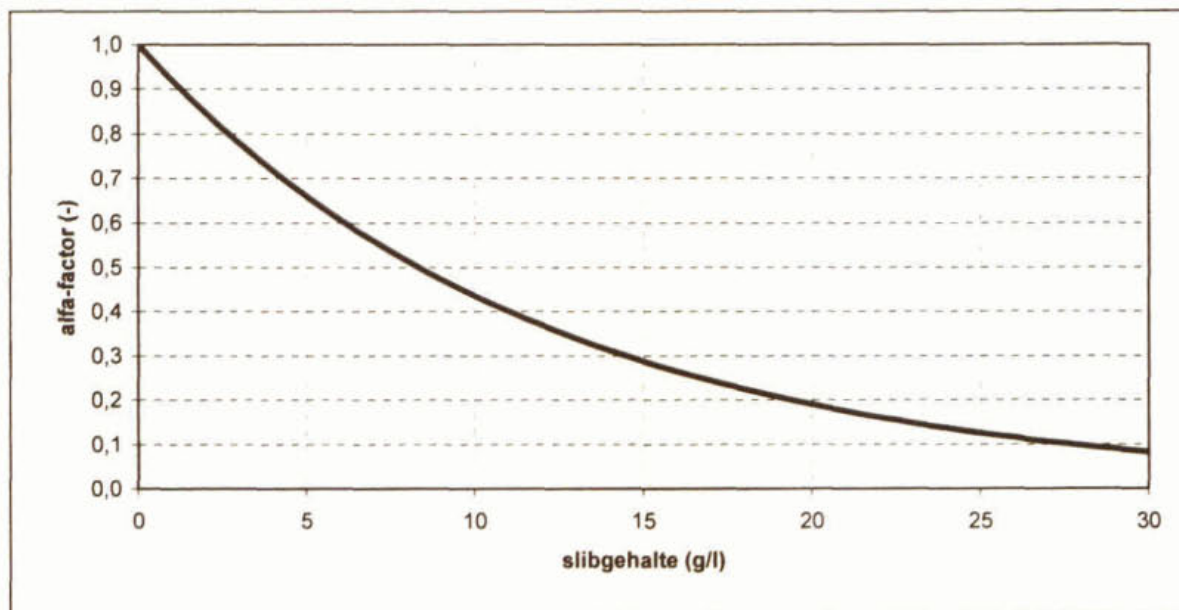
- het slibgehalte in de beluchtingstank;
- de zuurstofinbreng;
- de recirculatiestromen (zie Afbeelding 5):
  - van de beluchtingstank naar de voordennitrificatietank;
  - van de membraantank naar de beluchtingstank;
  - van de voordennitrificatie naar de anaërobe tank (biologische fosfaatverwijdering);
- de metaalzoutdosering (chemische fosfaatverwijdering).

In Tabel 6 is schematisch weergegeven hoe de processen (nitrificatie, denitrificatie, slibproductie en slibstabilisatie, fosfaatverwijdering, energieverbruik) kunnen worden beïnvloed door wijziging van de zuurstofinbreng.

**Tabel 6 - Invloed zuurstofinbreng op de verschillende processen in een MBR**

stuurparameter	door:	gevolg:
O <sub>2</sub> -inbreng vergroten	verhogen setpoint O <sub>2</sub> -regeling	1. nitrificatie verloopt beter 2. denitrificatie verloopt minder goed 3. biologische fosfaatverwijdering verloopt beter, mits geen zuurstof naar de anaërobe tank wordt gebracht 4. chemische fosfaatverwijdering geen effect 5. lagere slibproductie, betere vlokstructuur 6. energieverbruik stijgt

De effectiviteit van de zuurstofinbreng is gerelateerd aan het slibgehalte. Bij een hoger slibgehalte, zoals in een MBR, neemt de viscositeit (stroperigheid) van het slib toe en kost het meer energie om dezelfde hoeveelheid zuurstof in het water te brengen. Dit wordt aangeduid met de alfa-factor. Een mogelijke relatie tussen het drogestofgehalte en de alfa-factor is weergegeven in Afbeelding 8.



Afbeelding 8 - Relatie tussen het slibgehalte en de alfa-factor (volgens Günder, ref. 6)

#### 4.5.1 Stikstofverwijdering

Het stikstofverwijderingsproces is een combinatie van nitrificatie en denitrificatie zoals is beschreven in paragraaf 4.3.1. De stikstofverwijdering is afhankelijk van de volgende factoren:

- beschikbaarheid van organische stof (BZV/CZV), o.a. afhankelijk van de influentsamenstelling en de werking van de voorbehandeling;
- systeemconfiguratie en beluchterregeling;
- lokatie en grootte van de recirculatiestromen;
- slibgehalte;
- procestemperatuur.

Het ontwerp en de bedrijfsvoering van de stikstofverwijdering zijn tevens afhankelijk van de stikstof-effluenteis. Een belangrijk verschil tussen een conventioneel actiefslibstelsysteem en een MBR is het feit dat in een MBR intensieve beluchting plaatsvindt bij de scheiding van water en slib. Dit houdt in dat in de membraantank van de MBR:

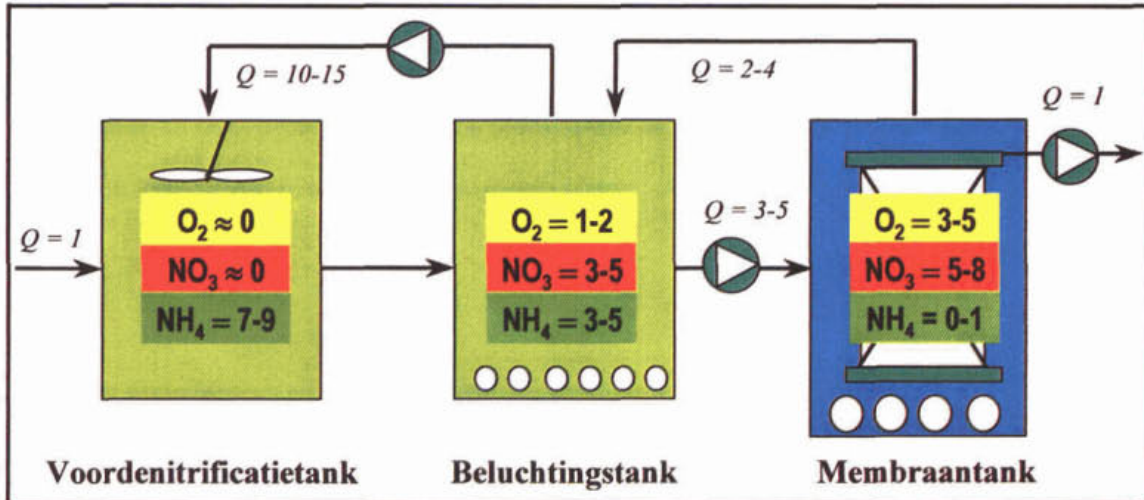
- het zuurstofgehalte heel hoog is;
- de nog aanwezige ammonium wordt geoxideerd tot nitraat;
- geen denitrificatie, en dus geen verlaging van de totaal-stikstofconcentratie plaatsvindt;
- het nitraatgehalte het hoogst is.

De stikstof-effluenteis heeft daarom invloed op zowel de benodigde recirculatiestromen als de instellingen van de beluchterregeling. In Tabel 7 is voor drie verschillende stikstof-effluenteisen het benodigde recirculatie-debiet van de beluchtingstank naar de voordennitrificatietank berekend. Voor de effluenteis van 10 mg  $N_{\text{totaal}}/l$  is deze situatie schematische weergegeven in Afbeelding 9.

Tabel 7 - Effect van de effluenteis op de bedrijfsvoering van de MBR

effluenteis [mg N <sub>total</sub> /l]	effluentgehalte [mg N/l]			(afloop) beluchtingstank [mg N/l]			Recirculatie <sup>#</sup> [-]
	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	N <sub>org.</sub>	NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	N <sub>org.</sub>	
10	0 - 1	5 - 8	1 - 2	3 - 5	3 - 5	1 - 2	10 - 15
5	0,5	2,5 - 3,5	1 - 2	1 - 2	2 - 3	1 - 2	15 - 25
2,2 (MTR)	0,1	0,1 - 1,1	1 - 2	0,1	0,1 - 1,1	1 - 2	50 - 500

# recirculatiefactor t.o.v. het influentdebiet, uitgaande van 50 mg N/l in het influent en recirculatie vanuit (de afloop van) de beluchtingstank



Afbeelding 9 - Balans over de MBR installatie bij effluenteis van 10 mg N<sub>total</sub>/l

De benodigde recirculatieverhouding tussen de beluchtingstank en de voordenenitrificatietank is sterk afhankelijk van de effluenteis (zie Tabel 7). Aangezien het nitraatgehalte in een MBR het hoogst is in de membraantank, zou recirculatie vanuit de membraantank naar de (voor)denitrificatietank de voorkeur hebben. Echter, met deze recirculatiestroom wordt niet alleen nitraat maar ook een grote hoeveelheid zuurstof teruggevoerd. Deze zuurstofvracht heeft een negatieve invloed op de denitrificatiecapaciteit van de installatie.

De recirculatiepomp kan worden gestuurd op basis van het influentdebiet. Hoe hoger het influentdebiet des te meer organische stof beschikbaar is voor denitrificatie, des te meer nitraat vanuit de beluchtingstank gerecirculeerd kan worden. Bij een te laag nitraatgehalte in de overloop van de voordenenitrificatietank (<1 mg NO<sub>3</sub>-N/l) kan geconcludeerd worden dat de capaciteit van het denitrificatiecompartiment groter is dan de nitraataanvoer naar dat compartiment. Het debiet naar het denitrificatiecompartiment kan dan worden vergroot.

Bij een voldoende hoge ammoniumconcentratie in de voeding naar de membraantank kan ook in de membraantank nitrificatie optreden. Dit heeft een verlaging van het energieverbruik van de installatie tot gevolg aangezien de ingebrachte zuurstof in de membraantank kan worden benut. De mate waarin dit kan plaatsvinden is sterk afhankelijk van de effluenteis, zoals weergegeven in Tabel 7. Het totale stikstofgehalte in het effluent zal niet worden beïnvloed.

De instelling van de beluchterregeling dient er op gericht te zijn om reeds een vergaande stikstofverwijdering in de beluchtingstank te realiseren.

#### 4.5.2 Fosfaatverwijdering

De bedrijfsvoering van de fosfaatverwijdering is over het algemeen gebaseerd op het influent-debiet en het gemeten fosfaatgehalte in het permeaat. Een mogelijkheid is dat de metaalzoutdosering is ingesteld op een proportionele verhouding met het influentdebiet. Deze verhouding kan handmatig worden bijgesteld op basis van de laboratoriumanalyses van het fosfaatgehalte in het influent. Daarnaast kan de Me/P-verhouding van de metaalzoutdosering, al dan niet automatisch, bijgestuurd worden op basis van de on-line fosfaatmeting in het permeaat.

In Tabel 8 zijn de stuurparameters voor de simultane chemische P-verwijdering weergegeven. Er is vooralsnog geen eenduidig verband aan te geven tussen de chemicaliëndosering en de werking van de membranen.

**Tabel 8 - Overzicht van invloedsfactoren m.b.t. simultane chemische P-verwijdering**

stuurparameter	door:	gevolg:
verhogen chemicaliëndosering	verhogen Me/P-verhouding	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toename precipitatie van fosfaat</li> <li>• verlaging P-concentratie permeaat</li> <li>• toename spuislibproductie</li> <li>• toename gloeirest van het slib</li> </ul>

Bij biologische P-verwijdering zal in de praktijk een voldoende grote anaërobe zone moeten worden toegepast om een zo groot mogelijke P-afgifte te verkrijgen. Vervolgens dient daarna de zuurstofconcentratie in de beluchtingstank dusdanig te zijn dat het grootste deel van het fosfaat weer in de biomassa wordt opgeslagen. In combinatie met een voldoende grote spuislib stroom kan dan aan de geldende eisen worden voldaan.

In Tabel 9 zijn de stuurparameters voor de biologische P-verwijdering weergegeven. Hierbij blijkt dat het effect van bepaalde maatregelen sterk afhankelijk is van de omstandigheden. Hierbij is het van belang te weten welke parameter limiterend is voor de effectiviteit van de biologische fosfaatverwijdering.

**Tabel 9 - Overzicht van invloedsfactoren m.b.t. biologische P-verwijdering**

stuurparameter	door:	gevolg:
verhogen recirculatie naar anaërobe tank	verhogen pompdebiet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toename drogestofgehalte in de anaërobe tank</li> <li>• verlaging verblijftijd in de anaërobe tank</li> <li>• mogelijke toename O<sub>2</sub> en NO<sub>3</sub> terugvoer</li> <li>• toe- of afname van de fosfaatafgifte<sup>§</sup></li> <li>• verlaging van hydrolyse van vetzuren</li> <li>• fosfaat effluentgehalte neemt toe of af<sup>§</sup></li> </ul>
verhoging slibgehalte beluchtingstank	verlagen spuislibdebiet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• toename van de fosfaatafgifte en opname</li> <li>• verlaging van de spuislibproductie</li> <li>• fosfaat effluentgehalte neemt toe of af<sup>§</sup></li> </ul>
verhoging zuurstofgehalte beluchtingstank	toename beluchting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hogere fosfaatopname</li> <li>• verlaging fosfaat effluentgehalte</li> </ul>

§ het netto effect is afhankelijk van de omstandigheden en de limiterende factoren

Indien niet al het fosfaat via biologische fosfaatverwijdering wordt verwijderd, zal met een aanvullende ijzer- of aluminiumzoutdosering het resterende opgeloste fosfaat chemisch worden vastgelegd. Vaak wordt ten behoeve van calamiteiten bij biologische P-verwijdering een doseerinstallatie standby gezet. De dosering kan op twee lokaties in het actiefslibproces plaatsvinden.

Uit het oogpunt van precipitatie is dosering van de chemicaliën in de anaërobe fase, daar waar de fosfaatconcentratie in de vloeistoffase het hoogst is, te verkiezen. Bij overdosering in de anaërobe fase ontstaat echter het gevaar dat de biologische fosfaatophopingsactiviteit daalt. Dosering in de aërobe fase, bijvoorbeeld bij een puntbeluchter, is uit regeltechnisch oogpunt te verkiezen. In vergelijking met het doseren in de anaërobe fase zal het doseringsniveau hoger liggen. Bij beide doseerpunten is een goede menging noodzakelijk.

#### 4.5.3 Spuislib

Uitgangspunt voor het ontwerp is een slibgehalte in de beluchtingstank van 10-12 kg/m<sup>3</sup>. Een te hoog slibgehalte heeft een negatieve invloed op de alfa-factor (zie Afbeelding 8) en daarmee op de efficiëntie van de zuurstofinbreng. In het extreme geval kan de zuurstofinbreng zo slecht worden dat niet voldoende zuurstof kan worden ingebracht, waardoor het rendement van de biologische processen verslechtert.

Het effect van het verhogen van het slibgehalte op de verschillende processen in een MBR is weergegeven in Tabel 10.

**Tabel 10 - Invloed slibgehalte op de verschillende processen in een MBR**

stuurparameter	door:	gevolg:
slibgehalte verhogen	verlagen spuislibafvoer	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. nitrificatie verloopt beter (mits de zuurstofinbreng niet beperkend is)</li> <li>2. denitrificatie verloopt beter</li> <li>3. invloed op biologische fosfaatverwijdering (zie Tabel 9)</li> <li>4. lagere slibproductie, betere slibstabilisatie (mits de zuurstofinbreng niet beperkend is)</li> <li>5. energieverbruik stijgt</li> <li>6. membranen worden zwaarder belast</li> </ol>

Bij een conventionele rwzi vindt bij RWA buffering van slib in de nabezinktank plaats. Ditzelfde zal in een MBR-installatie het geval zijn, aangezien de recirculatieverhouding ( $Q_{rec} / Q_{per}$ , zie 5.5.2) afneemt bij hogere aanvoer. Gestreefd moet worden naar een zo constant mogelijk drogestofgehalte in de beluchtingstank. Het slibgehalte in de membraantank is direct gerelateerd aan het slibgehalte in de beluchtingstank.

Aangezien de biologische processen bij hogere temperaturen sneller verlopen kan worden overwogen om onder zomerse omstandigheden het drogestofgehalte te verlagen. Door de verbetering van de zuurstofinbreng die dit tot gevolg heeft, kan een energiebesparing worden bereikt.

#### 4.5.4 Drijfslag

De drijfslag wordt naar een drijfslagput afgevoerd via een (drijvende) drijfslagafvoerconstructie. Een afsluiter in de afvoerleiding van deze constructie kan automatisch (of handmatig) worden bediend. Over het algemeen zal dit op basis van een tijdsklokinstelling zijn. Indien de drijfslag in omvang toeneemt, dient de instelling van deze automatische regeling te worden gewijzigd.

Het niveau in de beluchtingstank kan variëren ten gevolge van variaties in de aanvoer en de vertraagde reactie hierop van de permeaatpompen. Ook ten gevolge van wijzigingen in de bedrijfsvoering van de membranen door reiniging, relaxatie en dergelijke, kan het niveau in de tank variëren. Ten gevolge hiervan kan ook het niveau van de drijfslaagflaats variëren.

Visuele inspectie over de conditie van een mogelijke drijfslaag is noodzakelijk om een inschatting te kunnen maken van de microbiologische en chemisch-fysische aspecten van deze drijfslaag. Op basis hiervan kan de optimale bestrijdingmethode worden gekozen.

#### 4.6 Monsternamen en registratie

Om de werking van de inrichting te controleren, dienen monsters te worden genomen en geanalyseerd. De analyses ten behoeve van de lozingsvergunning en voor het bijsturen van de zuivering dienen te worden uitgevoerd volgens de NEN-normen.

Voor de dagelijkse controle kan worden volstaan met de gegevens van de on-line metingen van  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{P}_{\text{ortho}}$ , of als deze niet beschikbaar zijn, met dagelijkse metingen van deze parameters uitgevoerd volgens Dr. Lange methoden.

Door de grote dagvariaties van influent en effluent zijn steekmonsters voor het karakteriseren van deze stromen ongeschikt. Influent en effluent moeten derhalve volumeproportioneel worden bemonsterd. Voor alle overige vloeistofstromen kan meestal met een steekmonster worden volstaan.

Een algemeen bemonsterings- en analyseschema voor een MBR-installatie is weergegeven in Tabel 11.

Tabel 11 - Bemonsterings- en analyseschema

Analyses	Eenheid	Influent ruw	Influent voorbehandeld	Slib	Permeaat
<i>wekelijkse analyses</i>					
pH	-	vp			
CZV	mg/l	vp	vp		vp
BZV	mg/l	vp			vp
totaal-N	mg/l				vp
Nitriet-N,	mg/l				vp
Nitraat-N	mg/l				vp
Ammonium-N	mg/l	vp			vp
Kjeldahl-N	mg/l	vp	vp		vp
Ortho-P	mg/l	vp			vp
P-totaal	mg/l	vp	vp		vp
Onopgeloste bestanddelen	mg/l	vp	vp		
Slibgehalte	g/l	vp	vp	st	
Gloeirest	%			tp	
Temperatuur	°C	tp	tp		tp
<i>Incidentele analyses</i>					
Microscopisch beeld				i	
SVI	ml/g			i	
CST	s			i	
Viscositeit	mPas			i	
$\alpha$ -factor	-			bc	
vp	= volume-proportioneel monster	i	= incidenteel		
st	= steekmonster	bc	= bij calamiteiten		
tp	= ter plekke				



Enkele malen per jaar kan het effluent worden bemonsterd op:

- zware metalen (Hg, Ag, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb en Zn);
- PAK's (de 16 van EPA);
- minerale olie;
- BTEX (benzeen, toluen, ethylbenzeen en xylenen);
- bacteriën en virussen.

De monsternamen dienen middels steekbemonstering te worden uitgevoerd.

Monsternamen van de drijfslag en analyse door microscopisch onderzoek of vet-analyse kan uitwijzen welke oorzaak aan de drijfslag ten grondslag ligt. Pas dan kunnen adequate maatregelen worden getroffen om de drijfslag te verwijderen, c.q. door specifieke bestrijding of preventieve maatregelen.



## 5 MEMBRAANFILTRATIE

### 5.1 Algemeen

In een MBR wordt het permeaat (of effluent) door middel van membraanfiltratie van het slib gescheiden. De filtratie vindt plaats met behulp van membranen. Er zijn vele verschillende typen en uitvoeringsvormen op de markt. De belangrijkste kenmerken van de membranen in een huishoudelijke MBR zijn:

- de membranen hebben een poriediameter van 0,4 - 0,03  $\mu\text{m}$  (micro- of ultrafiltratie);
- de membranen zijn ondergedompeld in het actief slib;
- met behulp van een permeaatpomp wordt de binnenzijde van de membranen op (geringe) onderdruk gebracht, waardoor permeaatonttrekking plaatsvindt;
- de membranen zijn geplaatst in separate membraancompartimenten;
- er vindt recirculatie van actief slib van de membraancompartimenten naar de beluchtingstank plaats;
- er vindt grove-bellenbeluchting onder de membranen plaats om vervuiling te voorkomen;
- de membranen dienen periodiek chemisch te worden gereinigd.

Bij de bedrijfsvoering van een MBR-installatie is een aantal parameters van belang welke niet bij een conventionele installatie van toepassing is. Dit betreft parameters die gerelateerd zijn aan de membraaninstallatie. De belangrijkste termen zijn hier beschreven.

#### **Transmembraandruk**

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

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

#### **Flux**

De flux is de hoeveelheid permeaat in liters die per  $\text{m}^2$  membraanoppervlak per tijdseenheid wordt gefiltreerd, en wordt uitgedrukt als:

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

#### **Permeabiliteit**

De permeabiliteit wordt berekend aan de hand van het quotiënt van de flux en de TMP en is een maat voor de weerstand over het membraan en daarmee voor de vervuiling van het membraan:

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

In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste aspecten met betrekking tot de membraanfiltratie beschreven. In paragraaf 5.2 is allereerst ingegaan op het ontwerp van een MBR-installatie. De proces-toestanden waarin een membraantank zich kan bevinden zijn beschreven in paragraaf 5.3. In paragraaf 5.4 zijn de belangrijkste aspecten betreffende membraanvervuiling en reiniging benoemd. In paragraaf 5.5 tenslotte zijn de bedrijfsvoeringsaspecten van een MBR beschreven.

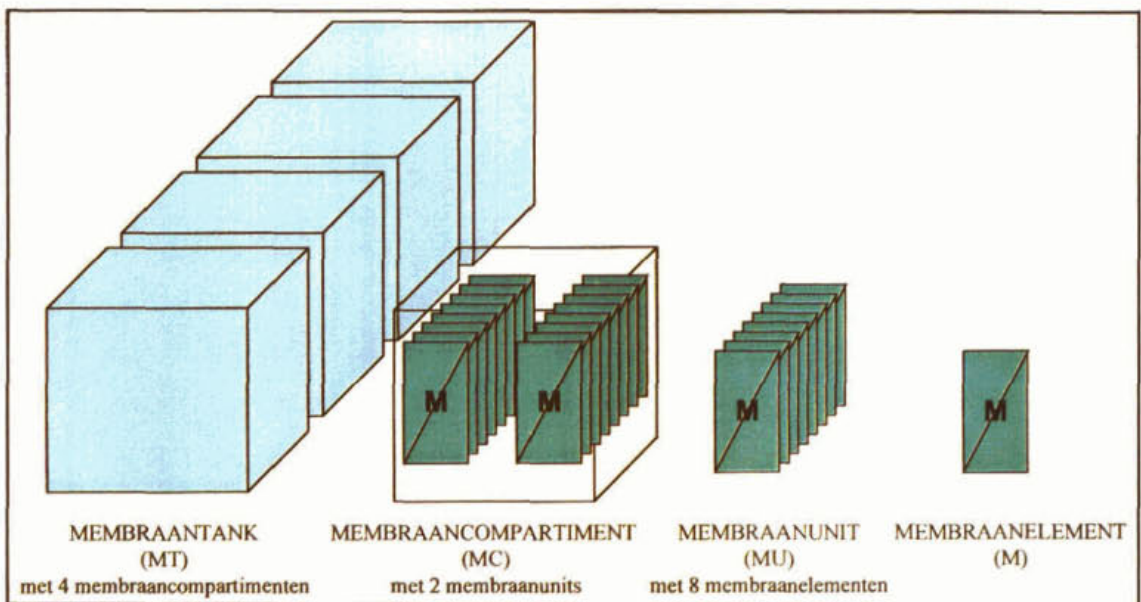
## 5.2 Ontwerpaspecten

Een membraanfiltratie-installatie in een MBR bestaat over het algemeen uit drie onderdelen:

- de membraantank;
- de chemicaliën aanmaak- en doseerinstallatie (CADI);
- de permeaatbuffertank.

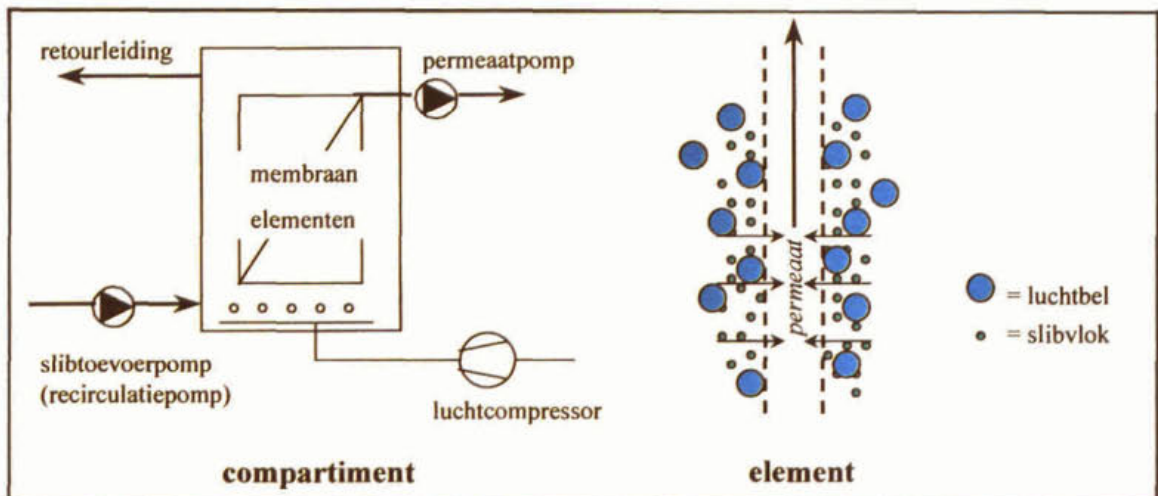
### 5.2.1 Membraantank

In Afbeelding 10 is een schematisch overzicht gegeven van een membraantank (MT). Een MT kan uit een aantal membraancompartimenten (MC) bestaan. Afhankelijk van het type membraan bevinden zich in een membraancompartiment een aantal membraanunits (MU), elk opgebouwd uit een aantal membraanelementen (M). In het vervolg van deze handleiding zal deze terminologie worden aangehouden.



Afbeelding 10 - Schematische weergave van de membraanfiltratie-installatie

De opbouw van een membraancompartiment en de werking van een membraanelement zijn schematisch weergegeven in Afbeelding 11.



Afbeelding 11 - Schematische weergave van een membraancompartiment en een membraanelement

De membraanfiltratie is een geïntegreerd onderdeel van de gehele zuiveringsinstallatie. De verschillende processen die plaatsvinden in een MBR-installatie kennen een sterke onderlinge samenhang en het proces dient daarom te worden benaderd als één geheel. De membraantank wordt gevoed vanuit de beluchtingstank, vanuit de membraantank gaat vervolgens weer een recirculatiestroom terug naar de beluchtingstank. In het ontwerp kan er ook worden gekozen om de retourstroom te pompen en de toevoerstream onder vrij verval te laten verlopen.

Ten gevolge van de slibrecirculatie vindt uitwisseling van droge stof en zuurstof plaats, maar wordt ook de stikstofverwijdering en de beluchting beïnvloedt. De invloed die beide procesonderdelen op elkaar hebben is beschreven in hoofdstuk 4.

Voor de in een huishoudelijke MBR toegepaste membranen kan over het algemeen worden uitgegaan van de volgende kentallen:

- een RWA ontwerpflux van 25-45 l/(m<sup>2</sup>.h);
- een DWA flux van 10-20 l/(m<sup>2</sup>.h);
- een TMP van 0,05-0,10 bar;
- een permeabiliteit van 200-400 l/(m<sup>2</sup>.h.bar);
- een maximaal toelaatbare TMP van 0,4-0,6 bar.

### 5.2.2 *Chemicaliën aanmaak- en doseerinstallatie (CADI)*

Ten behoeve van de (chemische) reiniging van de membranen beschikt de installatie over een aantal opslagtanks voor chemicaliën en een chemicaliën aanmaak- en doseerinstallatie (CADI). De chemische reiniging is beschreven in paragraaf 5.4.3.

In het aanmaakvat wordt de desbetreffende chemicalie op de juiste aanmaakconcentratie gebracht. Hiertoe wordt een bepaalde hoeveelheid permeaat toegevoerd vanuit de permeaatbuffer tegelijkertijd met, of voorafgaand aan, een dosering van de gewenste chemicalie. Door middel van een debietmeter en een gestuurde pomp wordt de gewenste concentratie bereikt. In sommige gevallen worden genoemde oplossingen in het aanmaakvat tevens op pH gebracht met loog en/of zoutzuur, alvorens te worden gebruikt.

In bijlage 2 is een P&ID weergegeven van een CADI.

### 5.2.3 *Permeaatbuffertank*

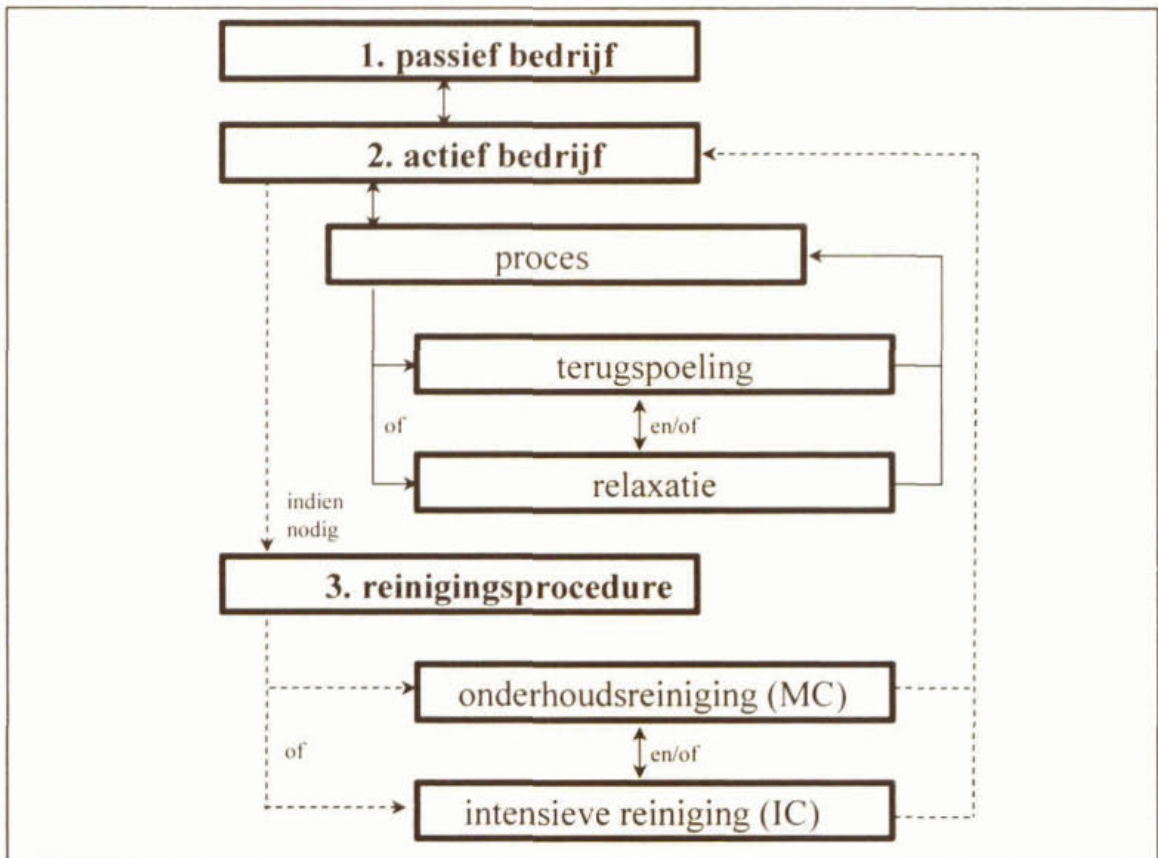
De permeaattank is bedoeld als opvangtank voor het geproduceerde permeaat. Het dient tevens als buffer bij calamiteiten indien een membraan "doorslaat", aangezien in deze tank troebelheidsmeters zijn geplaatst die de werking van de membranen controleren.

De voorraad permeaat wordt hoofdzakelijk gebruikt voor het terugspoelen van de membranen of als voorraad voor het aanmaken van diverse oplossingen, zoals:

- chemicaliën ten behoeve van de membraanreiniging;
- chemicaliën ten behoeve van de fosfaatprecipitatie;
- aanmaken van eventuele PE-oplossingen.

### 5.3 Procestoestanden

Bij de procesvoering van de membraanfiltratie kunnen de membraancompartimenten zich in drie verschillende fasen bevinden, zoals schematisch weergegeven in Afbeelding 12.



Afbeelding 12 - Procesvoering van de membraanfiltratie

#### 1. PASSIEF BEDRIJF

Het membraancompartiment is buiten bedrijf. Ter voorkoming van slibbezinking en anaërobe omstandigheden vindt (minimale) recirculatie en minimale of intermitterende beluchting plaats.

#### 2. ACTIEF BEDRIJF

Het membraancompartiment is in bedrijf. Er vindt recirculatie plaats van slib en er vindt beluchting plaats. Binnen de actieve fase kunnen, afhankelijk van het type membraan, verschillende toestanden optreden:

- **procestoestand:** Door de onderdruk die de permeaatpomp aan de permeatzijde veroorzaakt wordt permeaat onttrokken. Hierbij vindt beluchting en slibrecirculatie plaats;
- **relaxatietoestand.** De relaxatiefase is bedoeld om de membranen te ontspannen, waardoor mogelijke vervuiling wordt verwijderd. De permeaatonttrekking is uit terwijl de beluchting van het membraan en de recirculatiepomp aan staan;
- **terugspoeltoestand.** De terugspoeltoestand is bedoeld om mogelijke membraanvervuiling in en op het membraan los te maken door het kortstondig terugspoelen van het membraan. Gedurende korte tijd wordt permeaat in omgekeerde richting door de membranen gepompt; de zogenaamde back-pulse of back-flush.

### 3. REINIGINGSPROCEDURE

De membranen worden periodiek chemisch gereinigd. De frequentie en intensiteit verschilt per type membraan en is afhankelijk van het verloop van de permeabiliteit. De membranen worden gereinigd door blootstelling aan reinigingsvloeistoffen. De verschillende reinigingsmethoden zijn beschreven in paragraaf 5.4.3.

Het contact tussen membranen en reinigingschemicaliën kan zowel actief als passief geschieden. Bij een passieve reiniging zijn de membranen ondergedompeld in de chemicaliën-oplossing. Bij een actieve blootstelling worden chemicaliën vanaf de permeaatzijde door het membraan gepompt. Een actieve reiniging kan worden gevolgd door een passieve reiniging.

De procesinstellingen tijdens de verschillende fasen zijn gerelateerd aan het type membraan. Sommige membranen maken alleen gebruik van relaxatie, anderen alleen van terugspoelen of terugspoeling in combinatie met relaxatie. De algemene instellingen zijn weergegeven in Tabel 12.

Tabel 12 - Procesinstellingen tijdens verschillende toestanden

TOESTAND	PASSIEF	ACTIEF			REINIGING
		<i>Proces</i>	<i>Relaxatie</i>	<i>Terugspoel</i>	
Actie					
Permeaatonttrekking	nee	JA	nee	omgekeerd	nee
Recirculatie	minimaal	JA	JA	JA	nee
Beluchting	minimaal	JA	JA	JA	soms
Chemicaliëndosering	nee	nee	nee	soms	JA

Als tweede tekening in bijlage 2 is een P&ID opgenomen waarin twee mogelijke configuraties van een membraantank zijn weergegeven:

- een concept met de mogelijkheid tot terugspoeling (bovenste schema);
- een concept waarin de membraanunits boven elkaar zijn geplaatst, met separate permeaatpompen (onderste schema).

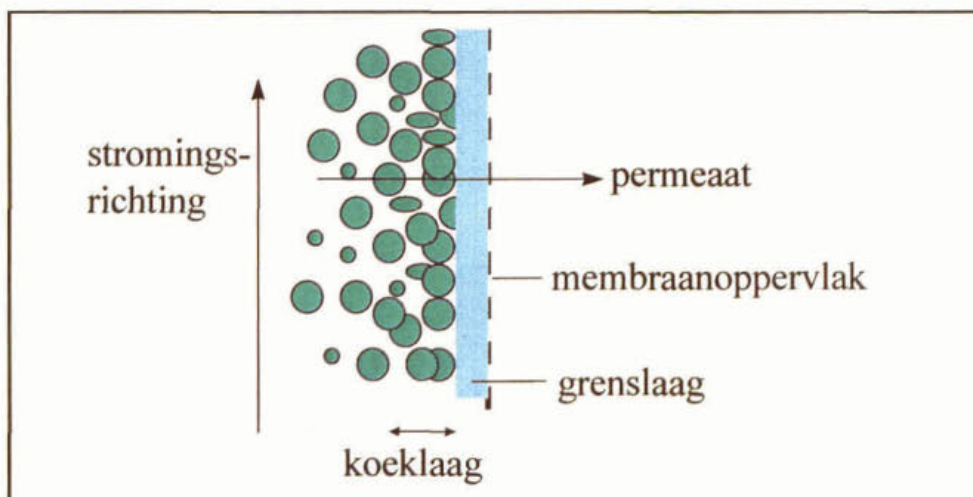
## 5.4 Membraan vervuiling en reiniging

In het kader van het STOWA pilot-onderzoek op de rwzi naar de toepassing van MBR [ref. 1] is een deelstudie uitgevoerd naar membraanvervuiling en reiniging. Voor gedetailleerde informatie over de achtergronden van deze processen wordt verwezen naar deze rapportage [ref. 7]. In deze paragraaf zullen de belangrijkste aspecten van de membraanvervuiling en reiniging nader worden toegelicht.

Allereerst wordt kort ingegaan op het begrip koekfiltratie. Het is in feite een soort vervuiling en van wezenlijk belang voor een goede werking van de membranen.

### 5.4.1 Koekfiltratie

Het belangrijkste mechanisme dat als basis dient voor de membraanfiltratie is de vorming van een filterkoek. In Afbeelding 13 is schematisch de filtrerende werking van de koeklaag en het membraan weergegeven. Deze poreuze filterkoek is essentieel voor de werking van de membranen en fungeert als het ware als een voorfiltratiestap. De koeklaag bestaat uit bacteriemateriaal waarin diverse macromoleculen zich ophopen. Deze laag is meestal hydrofiel van samenstelling. Tussen de koeklaag en het membraan is nog een kleine grenslaag (steunlaag) aanwezig, die de hydrofiel-sliblaag van de meestal hydrofobe membranen scheidt.



Afbeelding 13 - Schematische voorstelling van de koeklaag, grenslaag en membraanoppervlak

Door het drukverschil tussen de slibzijde en de permeaatzijde wordt de koeklaag in stand gehouden. Door drukschommelingen kan deze grenslaag worden aangetast, waarbij wijzigingen op kunnen treden in de vervuiling van het membraan.

#### 5.4.2 Membraanvervuiling

Door fysisch-chemische interactie tussen slib en het membraanoppervlak kan vervuiling van het membraan optreden. In het algemeen kan membraanvervuiling worden onderverdeeld in twee categorieën, namelijk micro- en macro vervuiling.

Tabel 13 – Verschillende typen membraanvervuiling

Micro	Macro
1 scaling	1 koekvorming (zie paragraaf 5.4.1)
2 biofilm	2 influentvervuiling
3 organische vervuiling / adsorptie	(grof vuil, plastic, vet, haar, papier)
4 porieblokkering	

#### Scaling

Scaling treedt op naar aanleiding van het verschuiven van chemische evenwichten. Als gevolg van overschrijding van het oplosbaarheidproduct kunnen zouten neerslaan. Door concentratiepolarisatie kan dit op het membraan plaatsvinden. Bij de membranen die worden toegepast in een MBR zal dit echter relatief gering zijn.

#### Biofilm

De vorming van een biofilm op het membraan wordt veroorzaakt door biologische activiteit. Er zijn verschillende processen die hierbij een rol kunnen spelen:

- lyses (het afsterven van bacteriën);
- de vorming van extra-cellulaire producten (extra-cellular polymeric substances EPS);
- de vorming van oplosbare microbiologische producten (Soluble Microbial Products SMP).

Anderzijds kunnen ook delen van slibvlokken, met name bij aanwezigheid van draadvormende bacteriën, de poriën verstopen.



#### *Organische vervuiling / adsorptie*

Verbindingen als polymeren, olie, oplosmiddelen en dergelijke kunnen chemische interacties aangaan met het membraan, waardoor zelfs irreversibele vervuiling aan of in het membraan ontstaat.

#### *Porieverstopping*

Porieverstopping kan ontstaan doordat kleine deeltjes fysiek de porie verstoppen. De deeltjes kunnen zowel uit organische als anorganische stoffen bestaan. Soms kunnen deze door terugspoelen weer worden verwijderd. Anderzijds kan ook een definitieve verstopping ontstaan, die de efficiëntie en/of levensduur van de membranen verkleind.

#### *Influentvervuiling*

Voor influentvervuiling wordt verwezen naar de voorbehandeling (hoofdstuk 3). Indien de voorbehandeling niet goed werkt, kunnen stoffen uit het influent ook verstoppingen of zelfs beschadiging van het membraan veroorzaken.

### 5.4.3 *Membraanreiniging*

Om vervuiling van de membranen te voorkomen of te verwijderen worden verschillende procedures toegepast. De meeste leveranciers kennen een aantal schoonmaakprocedures:

1. grove bellenbeluchting;
2. terugspoeling en/of relaxatie;
3. chemische reiniging.

De bedrijfsvoering van de bellenbeluchting wordt beschreven in paragraaf 5.5.3. Hardnekkige verstopping kan alleen met terugspoelen of chemische reinigingen worden verwijderd.

De meest toegepaste reinigingschemicaliën zijn:

- *verwijdering van organische vervuiling:*
  - natriumhypochloriet, NaOCl (reiniging door actief chloor);
  - waterstofperoxide, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (reiniging door actieve zuurstof);
- *verwijdering van anorganische vervuiling:*
  - oxaalzuur;
  - citroenzuur.

Sommige zuren worden eventueel aangezuurd met zoutzuur om hun werking te verbeteren. NaOCl wordt mogelijk op pH gebracht m.b.v. natronloog. De volgorde van reinigen wordt voorgeschreven door de membraanleverancier. Hierin wordt ook aangegeven of na afloop een pH-correctie wordt toegepast of dat het membraan met permeaat dient te worden gespoeld. Niet elk membraan is bestand tegen elke chemicalie, hierbij dienen de instructies van de leverancier te worden gevolgd.

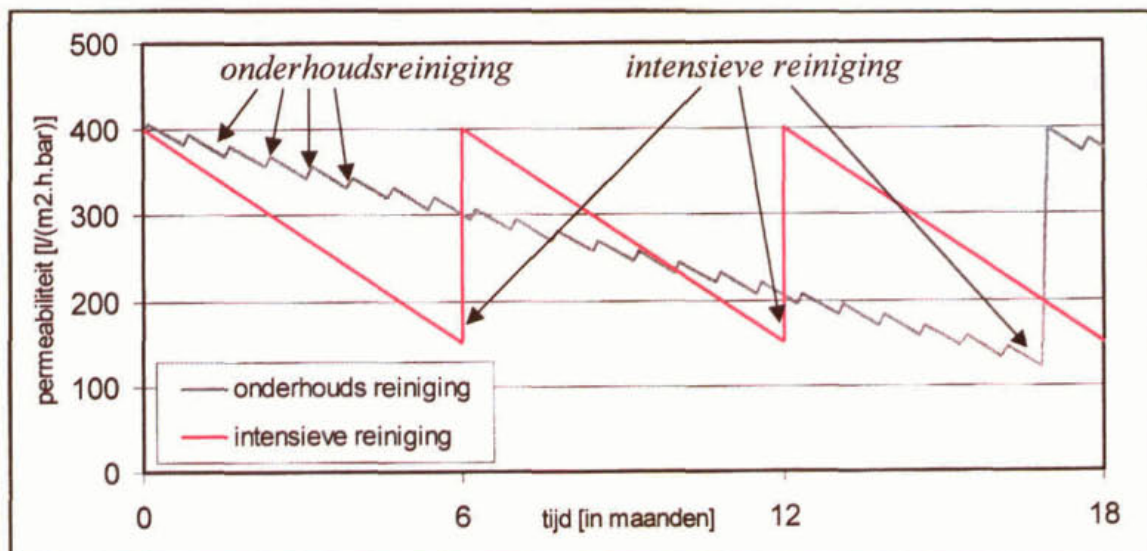
Zoals weergegeven in paragraaf 5.3 zijn er twee belangrijke reinigingstypen te onderscheiden:

- de onderhoudsreiniging (*maintenance cleaning* - MC);
- de intensieve reiniging (*intensive cleaning* - IC).

#### *Onderhoudsreiniging*

De onderhoudsreiniging wordt over het algemeen toegepast om de permeabiliteit van de membranen op een hoog niveau te houden. Het doel is om de benodigde TMP laag te houden waardoor membraanvervuiling minder snel of helemaal niet optreedt. De toegepaste reinigingsconcentratie is relatief laag, de inwerktijd relatief kort en de frequentie relatief hoog.

Het effect van de onderhoudsreiniging is schematisch weergegeven in Afbeelding 14.



Afbeelding 14 - Karakteristiek verloop van de permeabiliteit

Tijdens de onderhoudsreiniging wordt over het algemeen het gehele membraancompartiment gedraaid, alvorens de membranen te spoelen met reinigingschemicaliën. Deze reiniging wordt periodiek uitgevoerd of aan de hand van het verloop van de permeabiliteit.

#### *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. Deze reiniging dient te worden uitgevoerd als de permeabiliteit zich door de onderhoudsreiniging niet meer of onvoldoende herstelt. Voor sommige membraantypen is de intensieve reiniging de enige toegepaste chemische reinigingsmethode.

Het effect van de intensieve reiniging is schematisch weergegeven in Afbeelding 14.

De uitvoering van de intensieve reiniging verschilt per membraantype. Voor sommigen dient, alvorens tot een intensieve reiniging kan worden overgegaan, de membraantank te worden ontdaan van slib door het aansturen van een slibretourpomp of een drain. Eventueel wordt aanhangend slib en afvalwater afgespoten met permeaat. Voor andere systemen kan de intensieve reiniging direct op de ondergedompelde membranen plaatsvinden.

De normale procedure is het weken van de membranen in een oplossing van natrium hypochloriet, gevolgd door het weken van de membranen in een oplossing van citroenzuur of oxaalzuur, waaraan voldoende zoutzuur of fosforzuur is toegevoegd om de pH te verlagen tot een waarde van 2,0.

Afhankelijk van de membraanleverancier kunnen zowel schoonmaakprocedure als schoonmaakchemicaliën variëren.

## 5.5 Bedrijfsvoering

### 5.5.1 Aantal compartimenten en permeaatdebiet

Een membraantank is opgebouwd uit één of meerdere membraancompartimenten. Tijdens hogere aanvoer (RWA) zijn alle compartimenten in bedrijf. Bij lagere aanvoer kunnen de membraanunits van één of meer compartimenten uit bedrijf worden genomen. Dit heeft als voordeel dat deze membraanunits kunnen herstellen (relaxatie) en dat energie kan worden bespaard. Bovendien kunnen de fluxvariaties worden geminimaliseerd wat een stabiele procesvoering bevordert.

Een mogelijke instelling van een installatie met vier membraancompartimenten is weergegeven in Tabel 14. Hierbij zijn alle vier compartimenten in bedrijf bij een aanvoer die groter is dan 45% van het maximale ontwerpdebiet. Bij lagere aanvoer zijn 1, 2 of 3 compartimenten in bedrijf.

Tabel 14 - Regeling membraanfiltratie

Aanvoer [% van maximum]	Aantal compartimenten / flux [% van maximum]			
	1	2	3	4
laag 0 - 5	0 #	0	0	0
5 - 15	20 - 60	0	0	0
15 - 30	30 - 60	30 - 60	0	0
30 - 45	40 - 60	40 - 60	40 - 60	0
hoog 45 - 100	45 - 100	45 - 100	45 - 100	45 - 100

# Tijdens lage aanvoer ('s nachts) zal de aanvoer worden gebufferd in de beluchtingstank, periodiek zal één compartiment worden ingeschakeld

Het aantal in bedrijf zijnde (actieve) membraancompartimenten wordt gestuurd op basis van het influentdebiet. De permeaatpompen van de in bedrijf zijnde membraancompartimenten worden gestuurd aan de hand van een niveaumeting in de beluchtingstank. Het permeaatdebiet van elk in bedrijf zijnde compartiment is gelijk.

De maximale tijd dat een compartiment in bedrijf is onder DWA omstandigheden is instelbaar (b.v. 6 uur). Wanneer een compartiment 6 uur in bedrijf is geweest wordt deze uit bedrijf genomen en wordt het compartiment dat het langst uit bedrijf is geweest of welke de hoogste permeabiliteit heeft, in bedrijf genomen.

### 5.5.2 Recirculatiepomp

Met de recirculatiepompen wordt de toevoer vanuit de beluchtingstank naar de membraancompartimenten verzorgd. Elk membraancompartiment heeft één (of meerdere) recirculatiepompen. De recirculatiepompen zijn frequentiegestuurd.

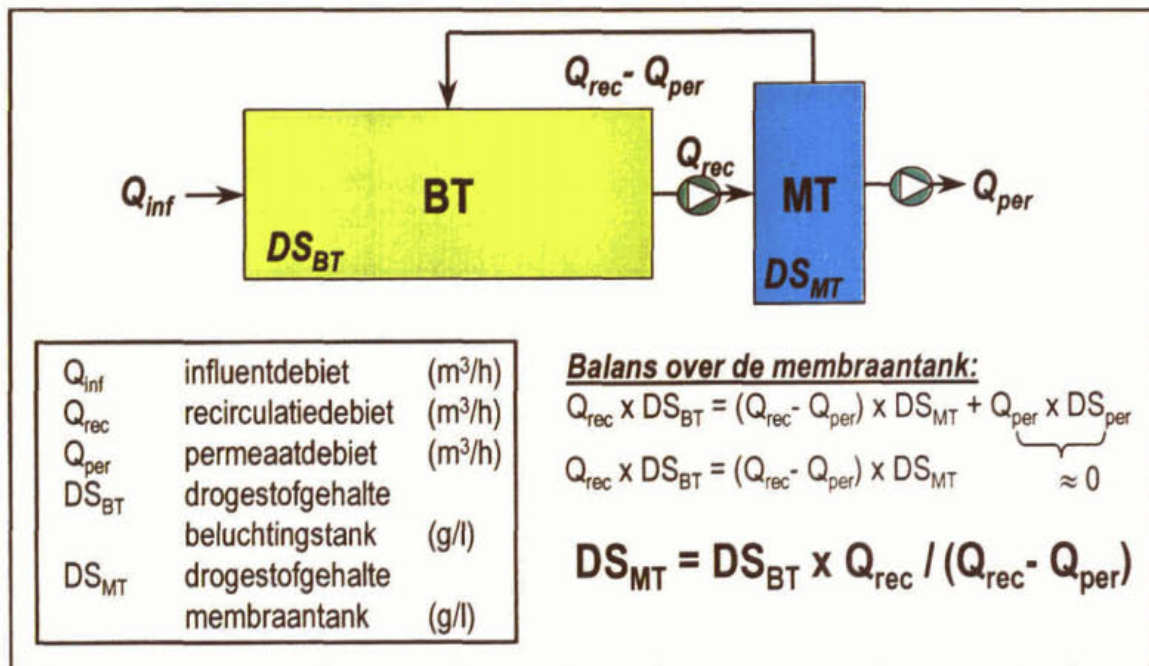
De recirculatiepomp heeft als doel het slibgehalte in de membraancompartiment op een gewenst niveau of onder een bepaald maximum te houden.

De instelling van de spuislibpomp zorgt er voor dat het slibgehalte in de beluchtingstank op het ingestelde niveau wordt geregeld (zie paragraaf 4.5.3). De instelling van de recirculatiepomp bepaald vervolgens het slibgehalte in de membraancompartimenten.

In Afbeelding 15 is een massabalans over de membraantank opgesteld. Hieruit is de relatie tussen het drogestofgehalte in de beluchtingstank en het recirculatie-debiet te berekenen. In Tabel 15 is voor een aantal bedrijfssituaties het drogestofgehalte in de membraantank berekend.

De recirculatiepomp is over het algemeen geregeld als functie van het permeaatdebiet. Hierbij is een ondergrens instelbaar welke wordt bepaald door:

- regelbereik van de pomp;
- gewenste minimale recirculatie ten behoeve van de stikstofverwijdering (zie paragraaf 4.5.1).



Afbeelding 15 - Massabalans over de membraantank

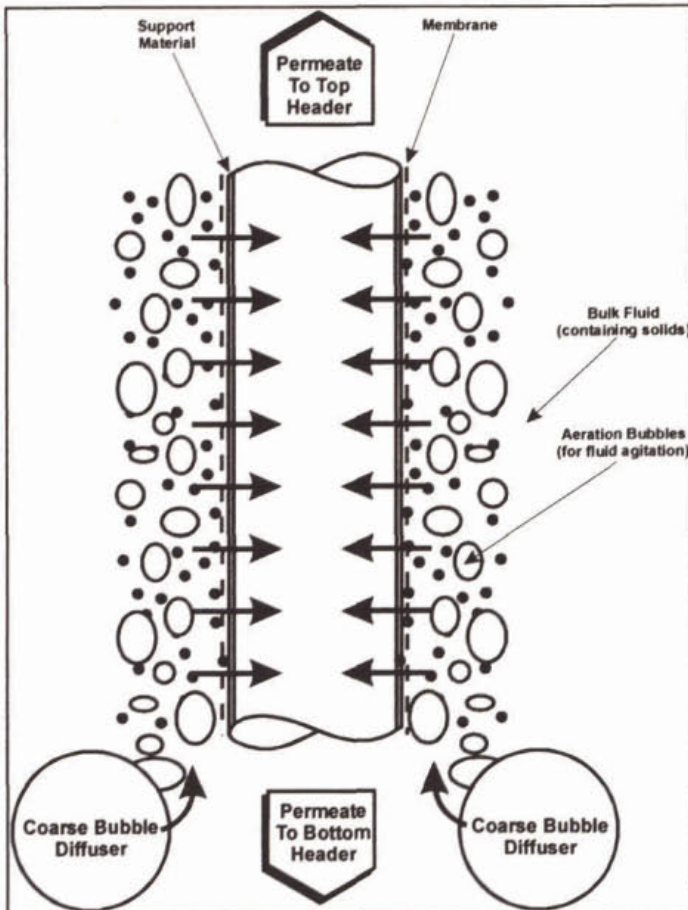
Tabel 15 - Berekening van het drogestofgehalte in de membraantank

DS-gehalte beluchtingstank	Influentdebiet (relatief)	Recirculatie-debiet (relatief)	Rec. verhouding (Q <sub>rec</sub> / Q <sub>inf</sub> )	DS-gehalte membraantank
[g/l]	[%]	[%]	[-]	[g/l]
10	100	300	3	15
10	100	500	5	12,5
10	50	300	6	12
10	50	500	10	11,1
12	100	300	3	18
12	100	500	5	15

Indien de recirculatiepomp uitvalt terwijl permeaatonttrekking blijft plaatsvinden, zal indikking van het slib in het membraancompartiment plaatsvinden. Om dit te voorkomen is in de overstortgoot van de membraancompartimenten een niveaudetectiemeting aanwezig. Indien geen overstort plaatsvindt worden de permeaatpompen uitgeschakeld en een alarm gegeven.

### 5.5.3 Membraanbeluchting

Ter voorkoming van slibophoping en verstopping tussen de membranen wordt over het algemeen grove bellenbeluchting toegepast. Deze beluchting is, afhankelijk van het type membraan, continu of discontinu in bedrijf. In Afbeelding 16 is dit principe schematisch weergegeven voor een capillair membraan.



Afbeelding 16 - Schematische weergave van de grove-bellenbeluchting

### 5.5.4 Symmetrie

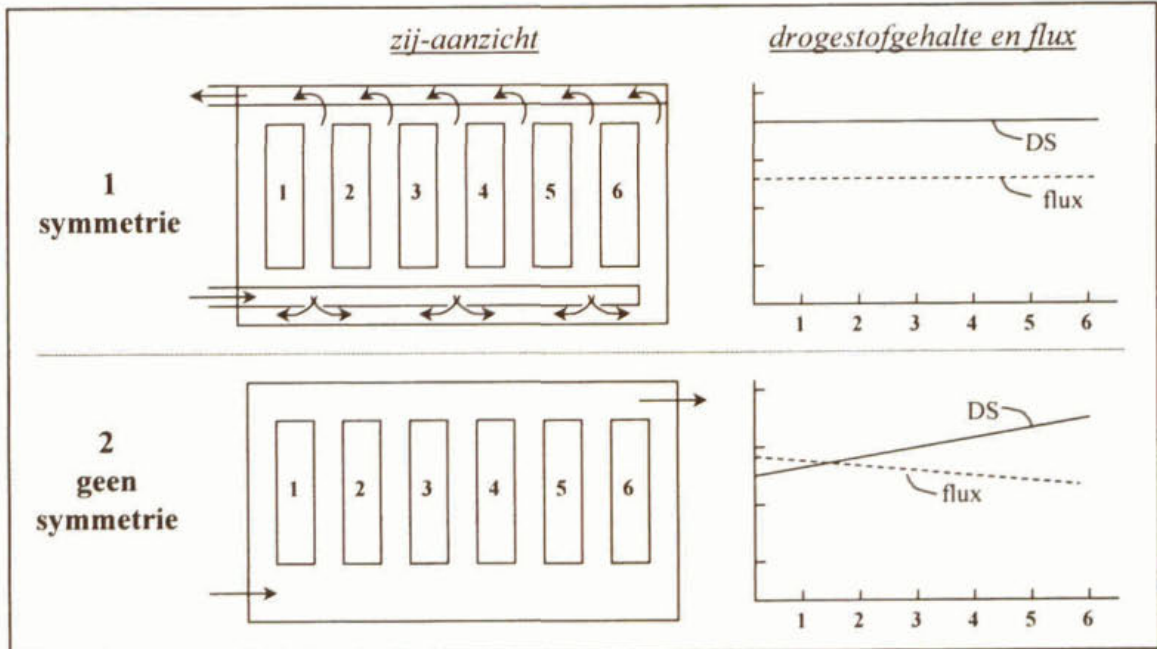
Voor een goede werking van de membraaninstallatie is het van groot belang dat alle membraanunits in een compartiment onder gelijke omstandigheden kunnen functioneren. Een compartiment moet "symmetrisch" zijn ontworpen en worden belast. Deze symmetrie betreft zowel het drogestofgehalte, de beluchting en de chemische reiniging.

Indien geen symmetrie aanwezig is zal een deel van de membraanunits zwaarder worden belast dan een ander deel. Dit heeft tot gevolg dat deze membraanunits sneller zullen vervuilen, waardoor de andere membraanunits een hogere flux zullen verwerken en vervolgens ook versneld vervuilen.

De symmetrie zal worden toegelicht aan de hand van het drogestofgehalte. Het drogestofgehalte in de beluchtingstank dient zo veel mogelijk constant te worden gehouden, zoals beschreven in paragraaf 4.3.3. In de membraantank zal het slibgehalte door indikking hoger zijn dan in de beluchtingstank, zoals weergegeven in paragraaf 5.5.2. Een te hoog drogestofgehalte in de membraantank kan een verlaging van de permeabiliteit tot gevolg hebben. Het maximaal toelaatbare slibgehalte in de membraantank verschilt per membraantype, maar is over het algemeen 15-20 g/l.

Het drogestofgehalte in de membraantank kan worden gestuurd door de recirculatiepomp(en). In Afbeelding 17 zijn twee mogelijke membraancompartiment configuraties weergegeven.

1. aanvoer centraal, afvoer via een overstortgoot over de gehele lengte van het compartiment;
2. aanvoer aan de ene kant, afvoer aan de andere kant van het compartiment.



Afbeelding 17 - Membraancompartiment met en zonder symmetrie

Symmetrie houdt in dat de aanvoer en afvoer van slib naar en van de membraancompartimenten zoveel mogelijk verdeeld over het compartiment moet plaatsvinden. Dit heeft als resultaat dat het drogestofgehalte in het gehele compartiment gelijk is, waardoor alle membraanunits een gelijke drogestofbelasting hebben. Als gevolg hiervan zullen ook alle membraanunits in het compartiment eenzelfde hoeveelheid permeaat onttrekken, oftewel een gelijke flux hebben.

In de tweede configuratie van Afbeelding 17 is een situatie weergegeven waarbij de aan- en afvoer van slib elk aan een andere kant van het compartiment plaatsvindt. Als gevolg hiervan is het slibgehalte rond membraanunit 1 gelijk aan het slibgehalte in de beluchtingstank en bij membraanunit 6 aan het slibgehalte in de retourslibstroom. Aangezien zes membraanunits aan één permeaatpomp zijn gekoppeld zal een verschil in drogestofbelasting leiden tot een verschil in flux. Via membraanunit 1 zal de permeaatonttrekking makkelijker verlopen dan via membraanunit 6.

Eenzelfde situatie kan zich voordoen indien de membraanbeluchting ongelijk is verdeeld. Als rond membraanunit 1 veel en rond membraanunit 6 weinig beluchting plaatsvindt, zal membraanunit 6 sneller vervuilen en zal een niet-symmetrische situatie ontstaan.

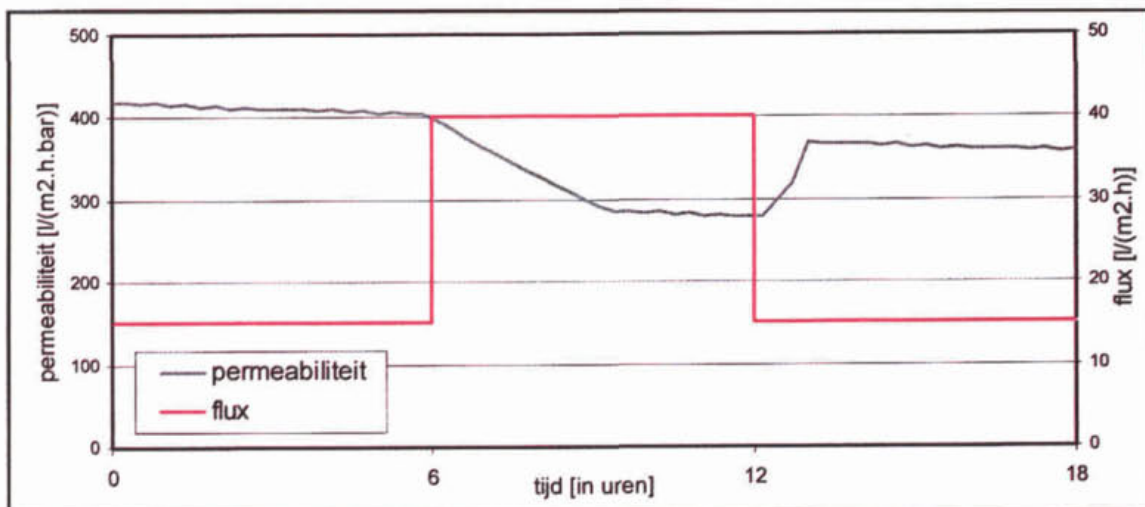
De bedrijfsvoerder dient daarom regelmatig te controleren of de membraanbeluchting gelijk verdeeld is over de membraanunits. Dit zal plaatsvinden aan de hand van een visuele inspectie van het luchtbelvenpatroon in de compartimenten.

### 5.5.5 Permeabiliteit

Het functioneren van de membranen wordt gecontroleerd aan de hand van druksensoren en troebelheidsmetingen. Op basis van de druksensoren wordt de transmembraandruk (TMP) en de permeabiliteit bepaald. Zoals weergegeven in paragraaf 5.1 is de permeabiliteit het quotiënt van de flux en de TMP. Een lagere permeabiliteit betekent dat een groter drukverschil nodig is om eenzelfde flux te kunnen verwerken. Het verloop van de permeabiliteit is dus een maat voor de vervuiling van de membranen.

De transmembraandruk over de membranen wordt per membraancompartiment continu automatisch gemeten. In het besturingssysteem worden deze waarden, in combinatie met de permeaatdebieten, omgerekend en gepresenteerd als permeabiliteit. Op basis van de trends in de permeabiliteit kan de bedrijfsvoerder beslissen of, en welke, reiniging nodig is. Indien de permeabiliteit (voor lange tijd) onder een bepaalde waarde komt of een dalende trend te zien is die sterker is dan zou mogen worden verwacht, zal een alarm worden afgegeven. Een beslissingsondersteunend systeem kan de bedrijfsvoerder helpen bij de interpretatie van de trends en het inspeken hierop.

Ook in de dagelijkse procesvoering zal de permeabiliteit fluctueren. De permeabiliteit is namelijk van vele factoren afhankelijk, zoals de flux(-variaties), de procestemperatuur, de viscositeit van het slib en de vervuiling van de membranen. Het effect van een verandering van de flux tijdens RWA op de permeabiliteit is schematisch weergegeven in Afbeelding 18. Bij een toename van de flux van 15 naar 40 l/(m<sup>2</sup>.h) neemt de permeabiliteit af van 400 tot ca. 280 l/(m<sup>2</sup>.h.bar). Nadat de flux weer is verlaagd, neemt de permeabiliteit weer toe.



Afbeelding 18 - Het verloop van de permeabiliteit bij een piekbelasting

Indien de troebelheid in het permeaat van een compartiment een bepaalde waarde overstijgt, zal het betreffende compartiment automatisch worden uitgeschakeld. Het gevaar is aanwezig dat het vervuilde permeaat in de permeaatbuffer wordt opgevangen en vervolgens bij het terugspoelen de binnenzijde (permeatzijde) van de overige membranen vervuult.

### 5.5.6 *Chemische reiniging*

Omdat niet alle membranen resistent zijn voor dezelfde chemicaliën dienen de reinigingsvoorschriften van de desbetreffende leverancier strikt te worden gevolgd. In deze paragraaf wordt een globale weergave gegeven van een reiniging.

De procedure start met het aanmaken van de benodigde reinigingschemicaliën, vervolgens worden de desbetreffende membranen of membraantank geïsoleerd van het zuiveringsproces, door de toevoerklep of pomp te stoppen en de benodigde kleppen te sluiten. Mogelijk wordt de desbetreffende membraanunit gedraaid. Alle in het membraancompartiment aanwezige membraanunits worden in principe gelijktijdig gereinigd. Indien de membraanunits binnen een membraancompartiment door meer dan één permeaatpomp worden bediend, is het mogelijk de units ombeurten te reinigen.

Na een goede menging en een eventuele pH-correctie van de reinigingschemicalie wordt deze in het membraan of in de membraantank gebracht m.b.v. een spoelwaterpomp, waarbij gedurende enige tijd het membraan wordt blootgesteld aan de desbetreffende chemicalie. Sommige leveranciers gebruiken de permeaatpomp om in omgekeerde richting de schoonmaakchemicaliën te doseren. Na de aangegeven tijd wordt het chemicalie af- of teruggevoerd, waarna het volgende membraancompartiment kan worden gespoeld.

Het verkregen spoelwater (mits niet sterk vervuild) kan na gebruik worden teruggepompt naar de aanmaaktank, waarbij vervolgens de oplossing weer op de gewenste concentratie wordt gebracht door toevoeging van een geconcentreerde oplossing (afhankelijk van de specificaties van de leveranciers kan de troebelheidsmeter in de permeaatleiding dienen om te bepalen of spoelwater terug wordt gevoerd).

Nadat een volledig membraancompartiment met de daarin aanwezige membraanunits is gereinigd, kan het betreffende compartiment weer in bedrijf worden genomen.

Indien noodzakelijk wordt de bovenstaande procedure vervolgens identiek uitgevoerd voor de overige membraancompartimenten, waarbij het totale chemicaliënverbruik wordt beperkt.

Bij het werken met chemicaliën dient de nodige voorzichtigheid in acht te worden genomen. De gevaarsaspecten van de chemicaliën dienen bekend te zijn. De productinformatie van de leverancier, het etiket en de chemiekaart vermelden deze aspecten. In bijlage 3 zijn de veiligheidskaarten van de belangrijkste chemicaliën opgenomen.



- [1] MBR for municipal wastewater treatment - Challenging the traditional technologies  
Pilot plant research Beverwijk WWTP, final report  
STOWA rapport 2002-11a
- [2] MBR special  
H<sub>2</sub>O, October 2001
- [3] Handboek biologische fosfaatverwijdering  
STOWA rapport 2001-15
- [4] Handboek stikstofverwijdering  
STOWA rapport 1993-07
- [5] Handboek voorkomen en bestrijden van licht slib  
STOWA rapport 1988-03
- [6] Günder, Berthold  
Das Membranbelebungsverfahren in der kommunalen Abwasserreinigung  
München, 1999
- [7] Development MBR technology for large wwtp's – pilot research wwtp Beverwijk  
Side study 2: Membrane fouling and cleaning  
STOWA rapport 2002-11b



## **Bijlage 1 Verklarende woordenlijst**

### **Actief slib**

Biomassa van in water gesuspenderde bacteriën (vlokken), welke worden geproduceerd door de afbraak van in afvalwater aanwezige organische verbindingen onder aërobe (zuurstofrijke) en/of anoxische (zuurstofarme) omstandigheden.

### **Aërobe omstandigheden (condities)**

Dit zijn omstandigheden waarbij in het water opgelost zuurstof aanwezig is.

### **Alfa-factor ( $\alpha$ - factor)**

De verhouding tussen de zuurstofoverdrachtscoëfficiënt in afvalwater / actiefslimbegsel en de zuurstofoverdrachtscoëfficiënt in schoon water.

### **Anaërobe omstandigheden (condities)**

Omstandigheden waarbij in het water opgelost zuurstof, nitraat en nitriet afwezig zijn.

### **Anoxische omstandigheden (condities)**

Omstandigheden waarbij het gehalte aan opgelost zuurstof minder is dan 0,5 mg/l en waarbij nitraat en nitriet als zuurstofdonor actief zijn.

### **Backpulse or backflush (terugspoeling)**

Omgekeerd debiet van het permeaat door het membraan voor de verwijdering van vervuiling.

### **Biologische fosfaatverwijdering (Bio-P)**

Het vermogen van bepaalde bacteriën om grote hoeveelheden opgelost (ortho)-fosfaat als onopgelost polyfosfaat in hun cel op te slaan.

### **Cake filtration (koekfiltratie)**

Filtratie door een uit slibvlokken en macromoleculen bestaande poreuze filterkoek op het membraanoppervlak.

### **Chemische precipitatie**

Chemische reactie in de waterfase, waarbij uit twee in water oplosbare stoffen een in water onoplosbare stof ontstaat, die neerslaat.

### **Cleaning In Place (CIP) Tank**

Opslagvat voor permeaat om het spoelen van de membranen mogelijk te maken.

### **Chemisch Zuurstof Verbruik (CZV)**

Een maat voor het zuurstofverbruikend vermogen van organische stoffen, aanwezig in afvalwater. CZV wordt uitgedrukt als de hoeveelheid zuurstof verbruikt door oxidatie in een chroom-zuur milieu onder nauwkeurig gedefinieerde omstandigheden.

### **Cross Flow (dwarsstroom)**

Een term die gebruikt wordt om de vloeistofstroom parallel aan het membraanoppervlak aan te duiden. Deze dwarsstroom staat loodrecht op de stroomrichting van het permeaat.

### **Denitrificatie**

De reductie van nitraat en/of nitriet naar stikstofgas door heterotrofe bacteriën in een zuurstof-arm (anoxisch) aquatisch milieu.

**DSVI (Diluted Sludge Volume Index)**

Het volume in milliliters dat door 1 gram slib wordt ingenomen na 30 minuten bezinken onder specifieke omstandigheden.

**Desinfectie**

Behandeling van afvalwater om het aantal pathogene kiemen tot onder vastgestelde grenzen te laten afnemen.

**DWA (Droog Weer Aanvoer)**

Het aanvoerdebiet naar een afvalwaterzuiveringsinstallatie in afwezigheid van neerslagwater.

**Flux**

De permeaatflux is het permeaatdebiet per eenheid van membraanoppervlak ( $m^2$ ) en wordt uitgedrukt als  $[l/m^2 \cdot h]$  (liter per vierkante meter per uur). De verkregen waarde voor de permeaatflux is afhankelijk van de drukval over het membraan (TMP = trans membraan druk) en de membraanvervuiling.

**Hydrofiel**

Wateraantrekkend. Tegengestelde van hydrofoob.

**Hydrofoob**

Waterafstotend. Tegengestelde van hydrofiel.

**Intensieve reiniging (IC)**

Een reiniging welke er op gericht is om het membraan weer de oorspronkelijke permeabiliteit terug te geven. IC's vinden plaats met een lage frequentie in tegenstelling tot de MC's (onderhoudsreiniging).

**Maintenance Cleaning (MC)**, zie onderhoudsreiniging.

**Membraan**

Een soort filter met kleine poriën, dat onder andere wordt toegepast om actief slib en gezuiverd effluent van elkaar te scheiden.

**Microfiltratie**

Filtratie van deeltjes  $>0,05 \mu m$ .

**Membraantank (MT)**

De ruimte waarin zich de membraanunits bevinden.

**MTR (Maximaal Toelaatbaar Risico)**

Een in de Vierde Nota waterhuishouding gedefinieerde minimum waterkwaliteit. Voor stikstof en fosfaat is dit gesteld op respectievelijk  $2,2 \text{ mg } N_{\text{totaal}}/l$  en  $0,15 \text{ mg } P_{\text{totaal}}/l$ .

**Nitrificatie**

De oxidatie van ammonium naar nitriet en nitraat door de activiteit van autotrofe bacteriën onder aërobe omstandigheden.

 **$N_{kj}$** 

Kjeldahl-stikstofconcentratie (ook wel TKN). De som van organisch gebonden stikstof en ammoniumstikstof.

**N<sub>totaal</sub>**

Totaal-stikstofconcentratie. De som concentratie van Kjeldahl-stikstof, nitriet- en nitraat-stikstof.

**Maintenance cleaning (MC)**

Dit is een onderhoudsreiniging van de membranen die op reguliere basis plaatsvindt. Deze reiniging heeft hoofdzakelijk een preventief karakter om hardnekkige vervuiling van het membraanoppervlak te voorkomen of te bestrijden.

**P<sub>totaal</sub>**

Totaal Fosfor. De som van alle organische fosforverbindingen en alle anorganische fosforverbindingen.

**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 (transmembraandruk TMP), die op het water wordt uitgeoefend.

De definitie van de permeabiliteit is de membraanflux gedeeld door de TMP over het membraan. Als bijvoorbeeld een membraansysteem opereert bij een permeaat flux van  $10 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$  met een TMP van 0,05 bar dan is de permeabiliteit gelijk aan  $10/0,05 = 200 \text{ l}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$ .

**Permeaat**

Dit is het effluent van een membraaninstallatie.

**Préprecipitatie**

Chemische precipitatie in de voorbezinktank.

**Proportionele monstername**

Monstername, waarbij de fluctuaties in het debiet van de te bemonsteren stroom worden meegenomen.

**Relaxatie (ontspanning)**

Met ontspanning of relaxatie wordt bedoeld dat in actief bedrijf de permeaatpomp gedurende een bepaalde tijd wordt gestopt, waardoor de onderdruk aan de permeaatzijde van het membraan afneemt. Dit heeft een reinigend effect op het membraan.

**Respiratiesnelheid**

De snelheid waarmee zuurstof door bacteriële activiteit wordt weggenomen.

**RWA (Regen Weer Aanvoer)**

Als regel is dit het maximale debiet dat door een afvalwaterzuiveringsinstallatie kan worden verwerkt.

**Simultane precipitatie**

Chemische precipitatie in het actiefslibstelsysteem.

**Slib**

Een mengsel van vaste stoffen en aanhangend water dat zich uit afvalwater door sedimentatie afscheidt.

**Slibleeftijd**

De tijd in dagen die het actief slib nodig heeft om zichzelf volledig te vervangen.

**Slibontwatering**

Het reduceren van het watergehalte in slib; veelal door middel van mechanische arbeid.

**Slibbelasting**

De hoeveelheid verontreiniging, uitgedrukt als kg CZV of als kg BZV, die aan het actief slib per eenheid van massa en per eenheid van tijd wordt toegevoerd. [kg CZV/(kg DS.d)] of [kg BZV/(kg DS.d)]

**Slibbehandeling**

Processen in de sliblijn, zoals stabilisatie, indikking, ontwatering, conditionering, droging, verbranding en dergelijke, die als doel hebben om het geproduceerde slib om te zetten in een vorm waarin het kan worden afgevoerd of hergebruikt.

**Specifieke surplusslibproductie**

De verhouding van de toename van de hoeveelheid actief slib en de hoeveelheid verwijderde verontreinigingen, uitgedrukt in kg DS/kg CZV<sub>verwijderd</sub>.

**Spuislib (Surplusslib)**

Dit is het slib dat ontstaat door afbraak van verontreinigingen en op regelmatige basis uit de afvalwaterzuiveringsinstallatie verwijderd dient te worden.

**SS (Suspended Solids)**

De concentratie aan gesuspendeerde vaste stoffen in een vloeistof (onopgeloste bestanddelen).

**Surplusslib (zie spuislib)****Terugspoeling (Backflush)**

Met terugspoeling wordt bedoeld dat in actief bedrijf de permeaatpomp wordt gestopt, om dan met een omgekeerde draairichting weer te worden gestart. Het permeaat wordt gedurende een korte tijd terug gepompt door het membraan. Vervolgens wordt de permeaat pomp weer gestopt, de draairichting omgekeerd, en weer gestart. De permeaat onttrekking volgt nu weer zijn gewone loop. Door terug te spoelen wordt het membraan gereinigd.

**Trans Membraan Druk (TMP)**

De TMP is de drukval over het membraan, tussen de slibzijde en de permeatzijde. De TMP 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 TMP kan worden gevarieerd door het debiet van de permeaatpomp te veranderen.

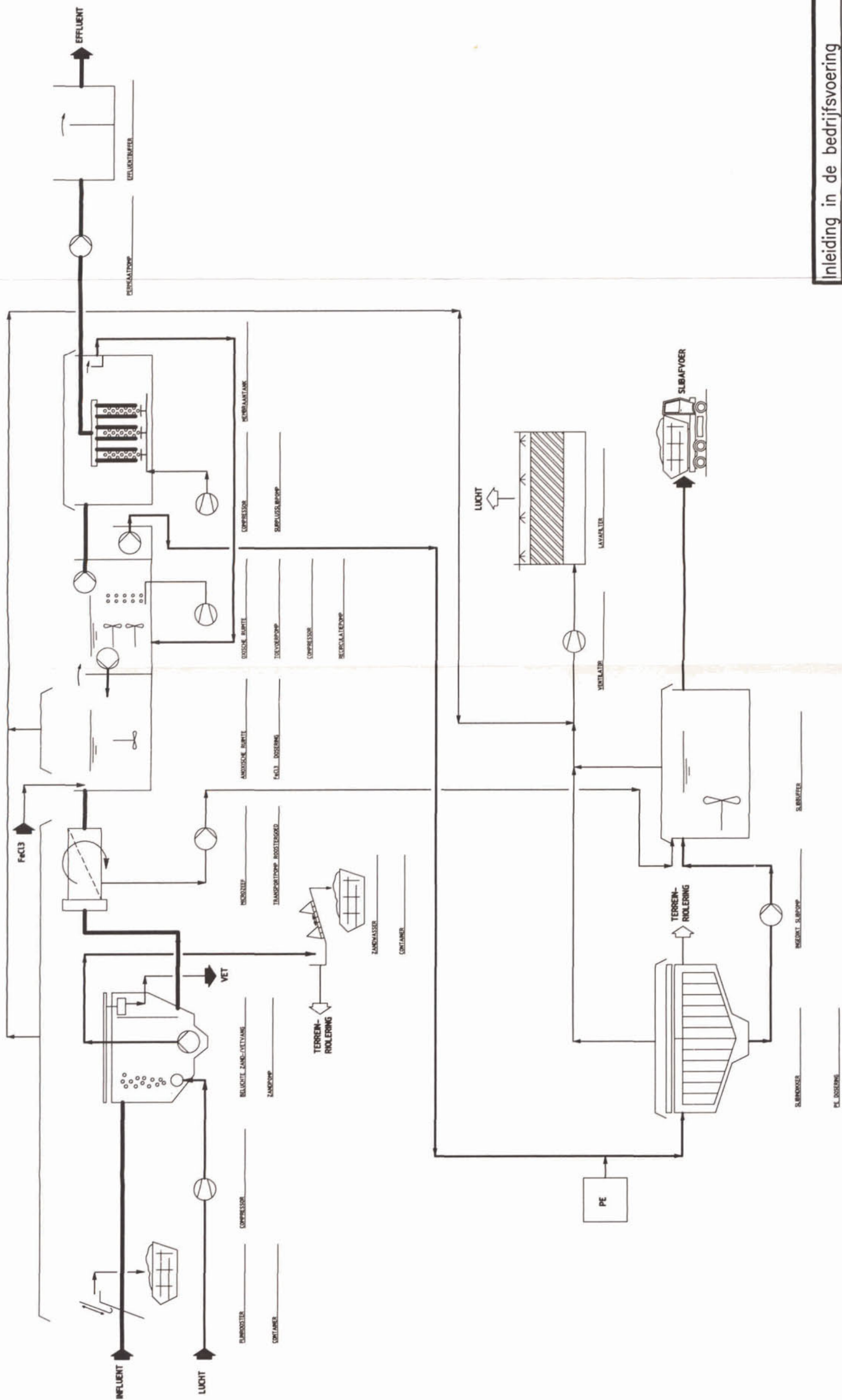
**Ultrafiltratie (UF)**


Filtratie van deeltjes groter dan 0,005 µm.

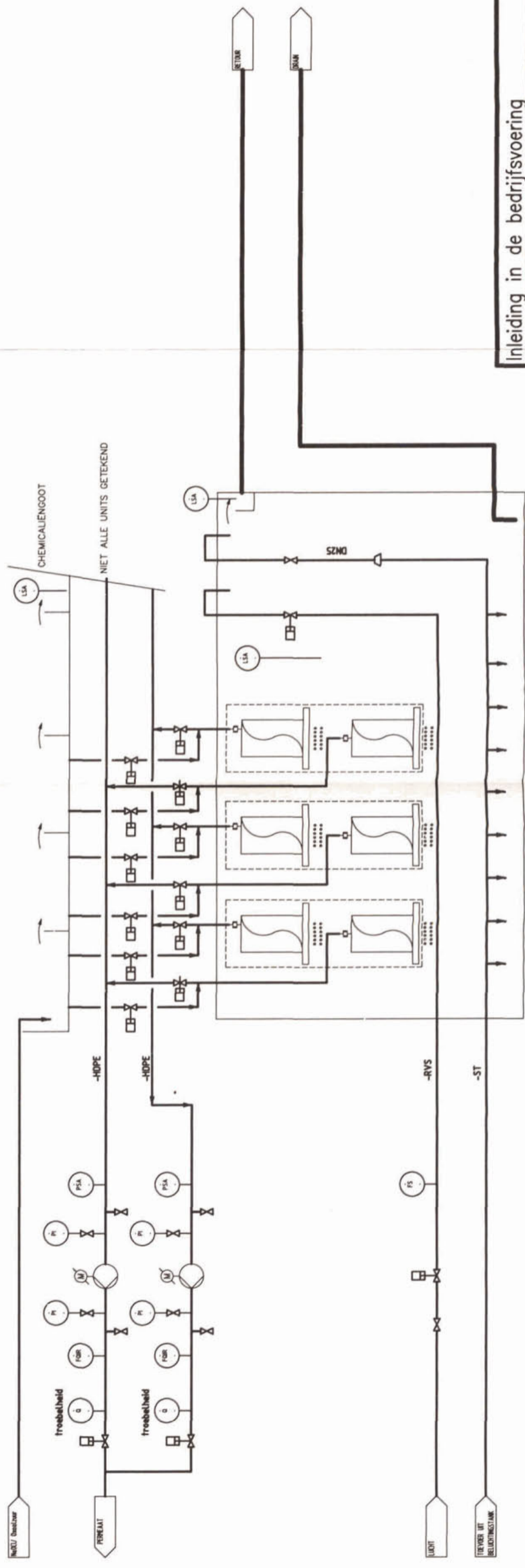
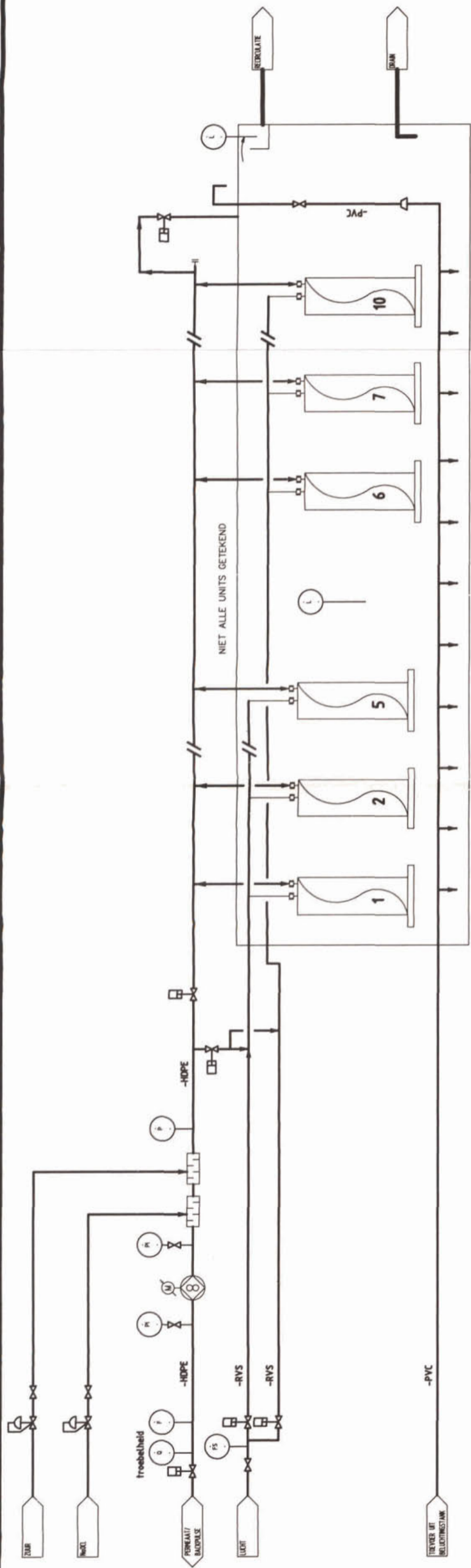
**Bijlage 2 Processchema en P&ID's**





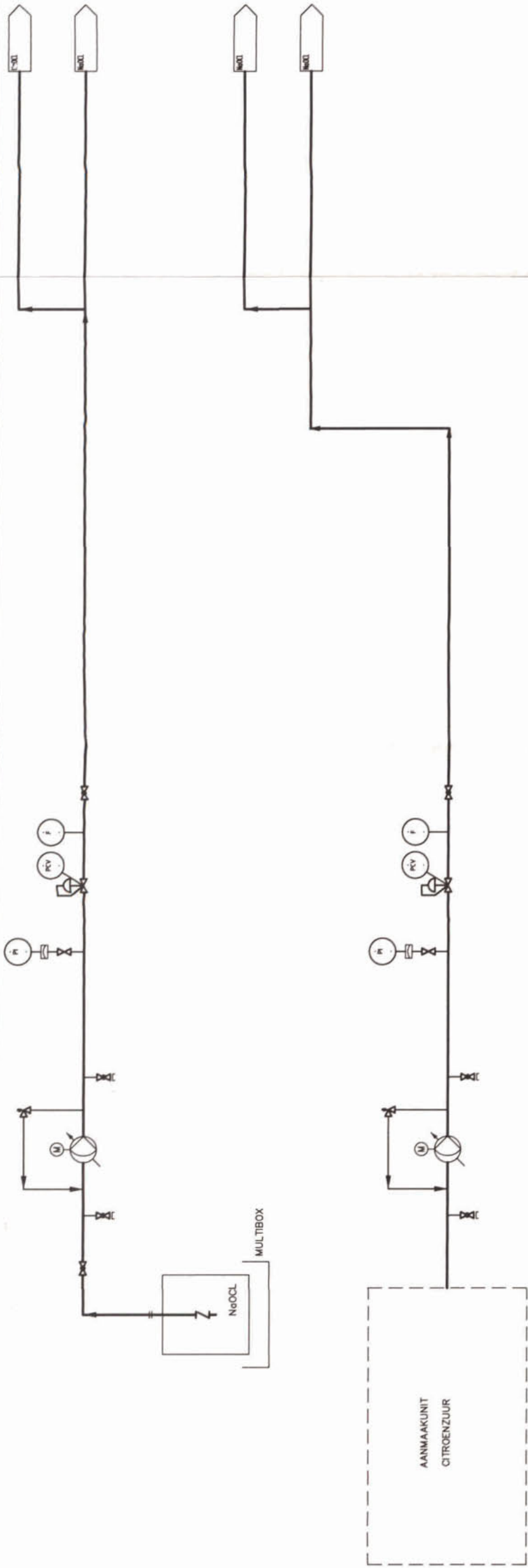


Inleiding in de bedrijfsvoering	
STOWA	Processchema MBR Overzicht membraninstallatie
	
T8270-01-004 P0101	



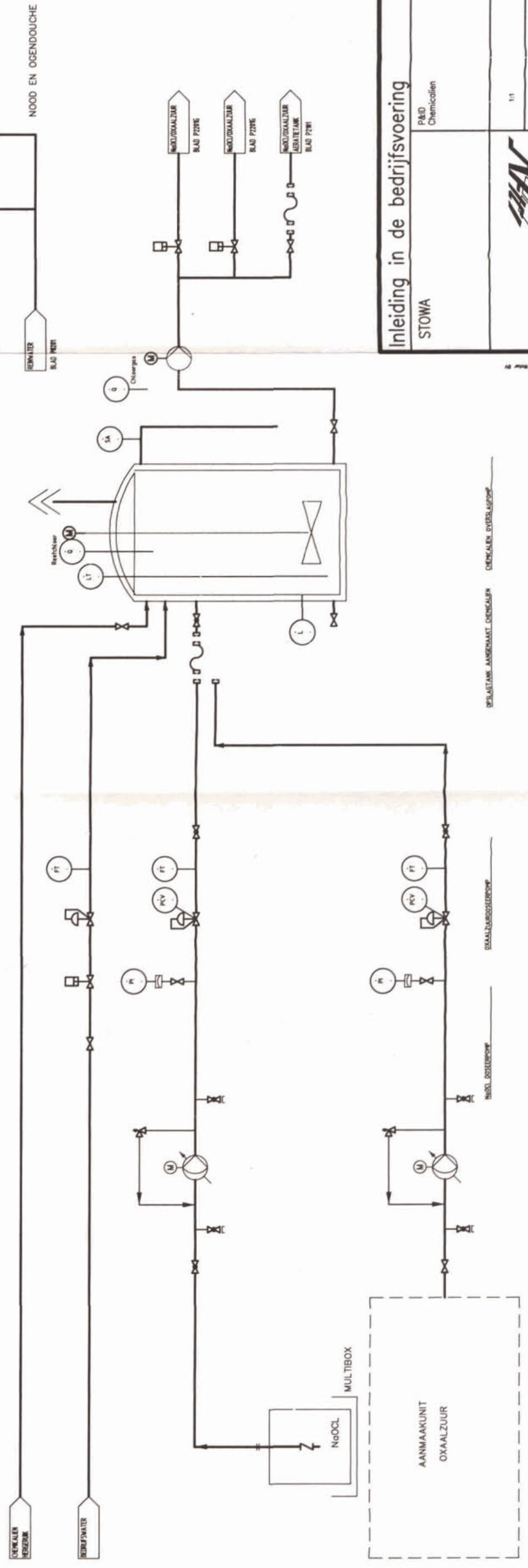
Inleiding in de bedrijfsvoering	
STOWA	P&ID Membraantank
11	11
	
T8270-01-004 P0102	

DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_  
 DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_ DEBELAATDOP \_\_\_\_\_



NaOCL DOSEERPOMP

OXALAALZUURDOSEERPOMP



NaOCL DOSEERPOMP

OXALAALZUURDOSEERPOMP

DEFALSTATIE AANMAAKT. CHEMICALEN

CHEMICALEN OVERSLAGPOMP

# Inleiding in de bedrijfsvoering

STOWA

PA&D  
Chemicalien




11

T8270-01-004 P0103



**Bijlage 3 Veiligheidskaarten**

## CHLOORBLEEKLOOG

(oplossing met 150 g/l actief chloor)

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		BELANGRIJKE GEGEVENS
Kookpunt, °C	n.b.	<b>HELDERE GEELGROENE VLOEISTOF MET TYPERENDE GEUR</b> Oplossing van natriumhypochloriet in water met 12,5% actieve chloor (150 g/l). De stof ontleedt bij verhitting en onder invloed van zonlicht onder vorming van zuurstof, dat brandbevorderend werkt. De stof is een sterk oxidatiemiddel en reageert heftig met brandbare en reducerende stoffen met kans op brand en explosie. <sup>1)</sup> De oplossing in water is een sterke base en reageert heftig met zuren en is corrosief o.a. ten opzichte van aluminium en zink. Tast alle metalen aan.
Smeltpunt, °C	n.b.	
Relatieve dichtheid (water = 1)	1,2	MAC-waarde niet vastgesteld
Oplosbaarheid in water, g/100 ml	volledig	Het is niet bekend of bij geurwaarneming schadelijke effecten te verwachten zijn. <sup>2)</sup>
		<b>Wijze van opname/inademingsrisico:</b> De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de damp en door inslikken. Van deze stof zijn over de snelheid waarmee een voor de gezondheid gevaarlijke concentratie in de lucht kan worden bereikt, onvoldoende gegevens bekend. <b>Directe gevolgen:</b> De stof werkt bijtend op de huid, de slijmvliezen, de ogen en de ademhalingsorganen. Inademing van damp en/of nevel kan ademnood veroorzaken (longoedeem). <sup>3)</sup> <b>Gevolgen voor het milieu:</b> Deze stof is giftig voor het watermilieu.
Brutoformule:	ClNaO	
Relatieve molecuulmassa	74,4	
DIRECTE GEVAREN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN
<b>Brand:</b> niet brandbaar, doch bevordert brand van andere stoffen, bij vele reacties kans op brand en explosie.		bij brand in directe omgeving: alle blusstoffen toegestaan.
<b>Explosie:</b>		bij brand: tanks/vaten koel houden door spuiten met water.
SYMPTOMEN	PREVENTIE	EERSTE HULP
<b>Inademen:</b> <i>bijtend</i> , keelpijn, hoesten, ademnood.	ruimtelijke afzuiging, plaatselijke afzuiging, ademhalingsbescherming (filtertype B).	frisse lucht, rust, halfzittende houding en naar ziekenhuis vervoeren.
<b>Huid:</b> <i>bijtend</i> , roodheid, pijn, blaren, wonden.	handschoenen (neopreen, PVC), gerichte beschermende kleding.	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of douchen en naar arts verwijzen.
<b>Ogen:</b> <i>bijtend</i> , roodheid, pijn, slecht zien.	gelaatsscherm.	minimaal 15 minuten spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar (oog)arts brengen, blijven spoelen tijdens vervoer.
<b>Inslikken:</b> <i>bijtend</i> , keelpijn, misselijkheid, buikkramp.		mond laten spoelen. GEEN braken opwekken en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren.
NOODSITUATIE / OPRUIMING / OPSLAG		ETIKETTERING
<b>NOODSITUATIE:</b> Acuut gezondheidsgevaar! Bij meer dan 50 liter: gevarezone ONMIDDELLIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen!		<b>Afleveringsetiket:</b>
<b>Opruimen gemorst product:</b> Draag handschoenen, laarzen, filtermasker met filtertype B en gelaatsscherm. Extra ventilatie. <b>Gemorst product</b> indammen, zorgvuldig opzuigen en eventueel hergebruiken. <b>Restant</b> opnemen in inert absorptiemiddel (geen zaagsel) of verwijderen met water. <b>Spoelwater</b> afvoeren naar riool. Eventuele vaten etiketteren en afvoeren volgens regionale regels. <b>Opslag:</b> Gescheiden van brandbare stoffen, reductiemiddelen en zuren, koel, donker.		 Bijtend
		R: 31-34 S: (1/2)-28-45-50 Nota B
		<b>KGA</b> : 02
OPMERKINGEN		
<sup>1)</sup> Vanwege brandgevaar verontreinigde kleding uitspoelen met veel water. <sup>2)</sup> Over de reukgrens van deze stof zijn onvoldoende gegevens bekend. <sup>3)</sup> De verschijnselen van longoedeem openbaren zich veelal pas na enkele uren en worden versterkt door lichamelijke inspanning; rust en opname in een ziekenhuis is daarom noodzakelijk. Bij vergiftiging door deze stof is specifieke eerste hulp noodzakelijk: de benodigde middelen (zuurstof 100%) moeten met gebruiksaanwijzing beschikbaar zijn. Chloorbleekloog kristalliseert uit beneden -20°C. Verpakking: speciaal materiaal.		

## OXAALZUUR WATERVRIJ

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN	BELANGRIJKE GEGEVENS	
Kookpunt, °C Sublimatiepunt, °C Smeltpunt (ontleedt), °C Relatieve dichtheid (water = 1) Oplosbaarheid in water, g/100 ml          Brutoformule: Relatieve molecuulmassa	n.b. 157 189 1,7 8,3          C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub> 90,1	<b>KLEURLOZE HYGROSCOPISCHE KRISTALLEN of WIT HYGROSCOPISCH POEDER. (NAGE-NOEG) REUKLOOS</b> De stof ontleedt bij verhitting of verbranding onder vorming van giftige dampen (o.a. koolmonoxide en mierzuur, zie aldaar). De oplossing in water is een matig sterk zuur en is corrosief. Reageert heftig met oxidatiemiddelen met kans op brand en explosie. Reageert heftig met vele andere stoffen.  MAC-waarde Oxaalzuur is (nageneog) reukloos. De MAC-waarde kan ongemerkt overschreden worden. 1 mg/m <sup>3</sup>  <b>Wijze van opname/inademingsrisico:</b> De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van de aerosol, door inademing van stofdeeltjes en door inslikken. Blootstelling aan deze stof kan vastgesteld worden door een bepaling van deze stof en/of zijn afbraakproduct in urine. Deze stof verdampst bij 20 °C praktisch niet; als poeder kan bij verstuiven echter snel een schadelijke concentratie in de lucht ontstaan. <b>Directe gevolgen:</b> De stof werkt bijtend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen. Bij inslikken bijtend. Inademing van oxaalzuur kan chronische ontsteking van de bovenste luchtwegen veroorzaken. De stof kan inwerken op de calciumhuishouding, met als gevolg stuiprekkingen en afwijkingen van de nieren. Blootstelling kan tot bewusteloosheid leiden. Blootstelling kan bij grote hoeveelheden de dood tot gevolg hebben. Na blootstelling onder medische observatie stellen. <b>Gevolgen bij langdurige, herhaalde blootstelling:</b> Contact met de huid kan door beschadiging een eczeemachtige huidaanandoening veroorzaken.
<b>DIRECTE GEVAREN</b>	<b>PREVENTIE</b>	<b>BLUSSTOFFEN</b>
<b>Brand:</b> brandbaar.	geen open vuur en niet roken.	sproeistraal water, poeder.
<b>SYMPTOMEN</b>	<b>PREVENTIE</b>	<b>EERSTE HULP</b>
<b>WORDT DOOR DE HUID OPGENOMEN</b>	<b>STRENGE HYGIENE!</b>	<b>IN ALLE GEVALLEN ARTS RAADPLEGEN!</b>
<b>Inademen:</b> <i>bijtend</i> , keelpijn en hoesten, branderig gevoel, neusbloeding, moeizaam ademen, kortademigheid, stuiprekkingen.	ventilatie (indien niet in poedervorm), plaatselijke afzuiging of ademhalingsbescherming (filtertype P2).	frisse lucht, rust, halfzittende houding, arts raadplegen en zo nodig naar ziekenhuis vervoeren.
<b>Huid:</b> <i>bijtend</i> , roodheid en pijn, branderig gevoel, blauwe vingers.	handschoenen (butylrubber, PVC), gerichte beschermende kleding	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen en wassen met water en zeep en naar arts verwijzen.
<b>Ogen:</b> <i>bijtend</i> , roodheid en pijn, slecht zien, ernstige brandwonden.	stofbril, gelaatsscherm of oogbescherming in combinatie met ademhalingsbescherming.	minimaal 15 minuten spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar (oog)arts brengen, blijven spoelen tijdens vervoer.
<b>Inslikken:</b> <i>bijtend</i> , branderig gevoel, buikkramp, braken, shock, stuiprekkingen, bewusteloosheid.		mond laten spoelen, GEEN braken opwekken, twee glazen water laten drinken en onmiddellijk naar ziekenhuis vervoeren.
<b>NOODSITUATIE / OPRUIMING / OPSLAG</b>		<b>ETIKETTERING</b>
<b>NOODSITUATIE:</b> Acut gezondheidsgevaar! Bij meer dan 50 kilo: gevarezone ONMIDDELLIJK ontruimen en (laten) afzetten. Deskundige waarschuwen!  <b>Opruimen gemorst product:</b> Draag handschoenen, laarzen en verse luchtkap/persluchtmasker. <i>Gemorst product</i> zorgvuldig opzuigen/opscheppen en eventueel hergebruiken. <i>Restant</i> onschadelijk maken met bicarbonaat (pas op voor reactie). <i>Reactieproduct</i> verwijderen met water. <i>Spoelwater</i> afvoeren naar riool. Eventuele vaten etiketteren en afvoeren volgens regionale regels. <b>Opslag:</b> Gescheiden van oxidatiemiddelen en sterke basen.		<b>Afleveringsetiket:</b>  <div style="text-align: center;">                       Schadelijk                 </div> R: 21/22 S: (2)-24/25  NFPA: <div style="text-align: center;">  </div> KGA : 03
<b>OPMERKINGEN</b>		
Laat arts zo nodig NVIC (030-274 88 88) of het Belgisch Antigifcentrum (070-245.245) bellen voor aanwijzingen over verdere behandeling. Luchtlichte verpakking toepassen.		

CAS-nummer: [77-92-9]  
 2-hydroxy-1,2,3-propanetricarbonzuur



## CITROENZUUR

FYSISCHE EIGENSCHAPPEN		BELANGRIJKE GEGEVENS	
Ontleedt beneden het kookpunt, °C	ca. 200	<b>KLEURLOZE KRISTALLEN</b> Stofexplosie aangetoond indien in fijn verdeelde vorm gemengd met lucht. De oplossing in water is een matig sterk zuur. Reageert met basen en is corrosief. Reageert heftig met oxidatiemiddelen.	MAC-waarde
Smeltpunt, °C	153 <sup>1)</sup>		
Zelfontbrandingstemperatuur, °C	1000	niet vastgesteld	
Explosiegrenzen, g/m <sup>3</sup> in lucht	60 · n.b.	<b>Wijze van opname/inademingsrisico:</b> De stof kan worden opgenomen in het lichaam door inademing van stofdeeltjes en door inslikken. Deze stof verdampft bij 20 °C praktisch niet; als poeder kan bij verstuiven echter al snel een gevaarlijke concentratie in de lucht ontstaan. <b>Directe gevolgen:</b> De stof werkt irriterend op de ogen, de huid en de ademhalingsorganen.	
Minimum ontstekingsenergie, mJ	> 10		
Dampspanning in mbar bij 20 °C	< 0,1		
Relatieve dichtheid (water = 1)	1,54		
Oplosbaarheid in water, g/100 ml	59		
Log P octanol/water	-1,7		
Brutoformule:	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O <sub>7</sub>		
Relatieve molecuulmassa	192,1		
DIRECTE GEVAREN	PREVENTIE	BLUSSTOFFEN	
<b>Brand:</b> brandbaar.	geen open vuur en niet roken.	sproei-straal water, poeder.	
<b>Explosie:</b> fijn verdeeld stof met lucht explosief.	stofafzetting voorkomen, gesloten systeem, stof-explosie veilige elektrische apparatuur en verlichting.		
SYMPTOMEN	PREVENTIE	EERSTE HULP	
<b>Inademen:</b> keelpijn, hoesten, kortademigheid.	ventilatie (indien niet in poedervorm), plaatselijke afzuiging of ademhalingsbescherming (filtertype P2).	frisse lucht; rust en arts raadplegen.	
<b>Huid:</b> roodheid, pijn.	handschoenen (butylrubber, PVC).	verontreinigde kleding uittrekken, huid spoelen met veel water of douchen.	
<b>Ogen:</b> roodheid, pijn.	stofbril.	minimaal 15 minuten spoelen met water (evt. contactlenzen verwijderen), dan naar (oog)arts brengen.	
<b>Inslikken:</b> keelpijn, buikpijn.		mond laten spoelen en arts raadplegen.	
NOODSITUATIE / OPRUIMING / OPSLAG		ETIKETTERING	
<b>NOODSITUATIE:</b> Kans op stofexplosie! Bij meer dan 50 kilo: gevarezone ONMIDDELLUK ontruimen en (laten) alzetten. Deskundige waarschuwen! <b>Opruimen gemorst product:</b> Draag handschoenen, laarzen, filtermasker met filtertype P2 en ge-lastscherm. <b>Gemorst product</b> zorgvuldig opscheppen en eventueel hergebruiken. <b>Restant</b> zorgvuldig verzamelen en opslaan in vaten. <b>Eventuele laatste resten</b> verwijderen met water. <b>Spoelwater</b> afvoeren naar riool. <b>Vaten etiketteren</b> en afvoeren volgens regionale regels. <b>Opslag:</b> Gescheiden van sterke basen en oxidatiemiddelen.		<b>Afleveringsetiket:</b> vraag leverancier  <b>KGA : 03</b>	
OPMERKINGEN			
<sup>1)</sup> Het schijnbare smeltpunt van citroenzuurmonohydraat is 100°C.			

