

De technologie om de waterkringloop te sluiten

*ir. Joris F.G.M. van der Ven, ir. Hans P.C. Ramaekers en ing. Guido C.G. Roncken
Triqua bv, Proces- en watertechnologie.*

Inleiding

Op diverse conferenties is de laatste jaren geconstateerd dat het tekort aan voldoende zoetwater van goede kwaliteit één van de grotere wereldproblemen gaat worden in de komende decennia. Centraal bij dit probleem staat de waterkringloop. Ondanks het feit dat de mondiale waterkringloop gesloten is, zijn lokale kringlopen (regio, stad, industrie, huishoudens, etc.) vaak niet gesloten. Een steeds grotere bevolkingsdruk, een verdere verstedelijking, een versnelde afvoer van water en een hoge mate van vervuiling dragen sterk bij aan het water tekort op lokaal niveau. Hierdoor ontstaat een steeds grotere behoefte aan duurzaam waterbeheer. In de eerste plaats ligt hierbij de prioriteit op preventie en doelmatig gebruik van water. Daarnaast worden geavanceerde technieken om de waterkringloop te sluiten steeds belangrijker. Membraanfiltratie is één van de belangrijkste technologieën om de lokale waterkringlopen te sluiten. In dit artikel wordt ingegaan op het principe van membraanfiltratie en toepassingen van membraanfiltratie in de waterkringloop.

Membraanfiltratie

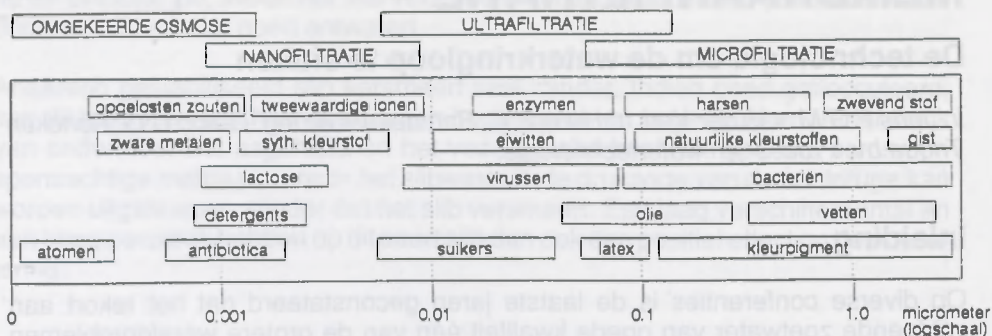
Soorten membraanfiltratie

Bij membraanfiltratie vindt scheiding van componenten plaats op basis van deeltjesgrootte en een drijvende kracht. Het medium dat zorg draagt voor de scheiding van de deeltjes is het zogenaamde membraan. De drijvende kracht voor membraanscheiding kunnen drukverschillen, een elektrisch veld of concentratieverschillen zijn. Bij concentratieverschillen spreekt men van dialyse en bij het toepassen van een elektrisch veld van elektrodialyse. Met behulp van elektrodialyse is het mogelijk om ionen uit water te verwijderen. Een belangrijke toepassing van elektrodialyse is het terugwinnen van zuren en logen uit een zoutoplossing. Het meest toegepast is membraanfiltratie waarbij druk als drijvende kracht wordt toegepast. Afhankelijk van de poriëngrootte van het membraan kunnen de in tabel 1 omschreven verschillende typen van membraanscheiding op basis van druk als drijvende kracht onderscheiden worden.

Tabel 1: Membraanfiltratietypen

Type	poriëngrootte	drukverschil
microfiltratie	1 - 0,1 μm	0,2 - 4 bar
ultrafiltratie	0,01 - 0,1 μm	0,3 - 10 bar
nanofiltratie	0,001 - 0,01 μm	5 - 20 bar
omgekeerde osmose	< 0,0001 μm	10 - 150 bar

Met microfiltratie worden met name gesuspenderde deeltjes afgescheiden. Met ultrafiltratie worden ook grotere moleculen (eiwitten, colloïden, etc.) en bacteriën

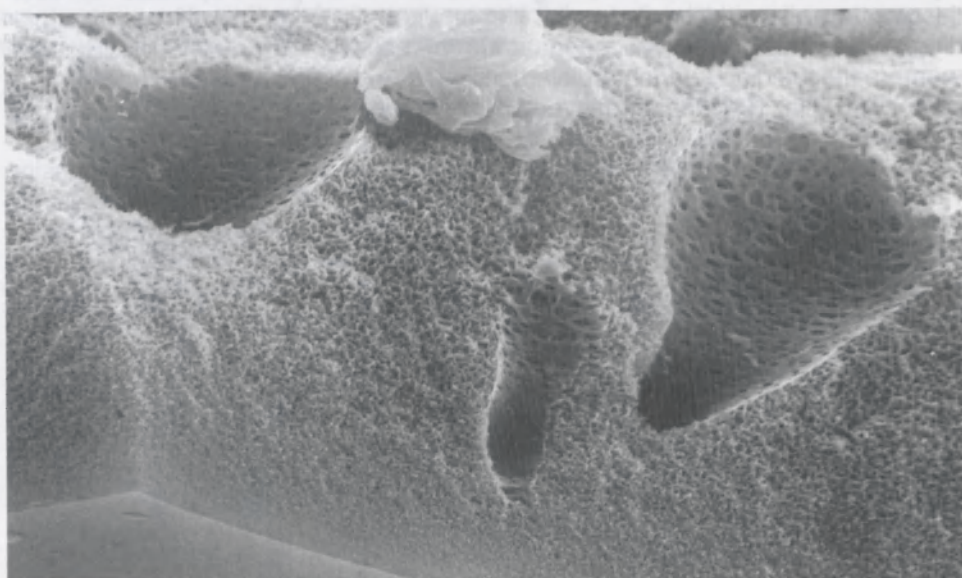


Figuur 1 Componenten die met verschillende typen membraanfiltratie kunnen worden afgescheiden

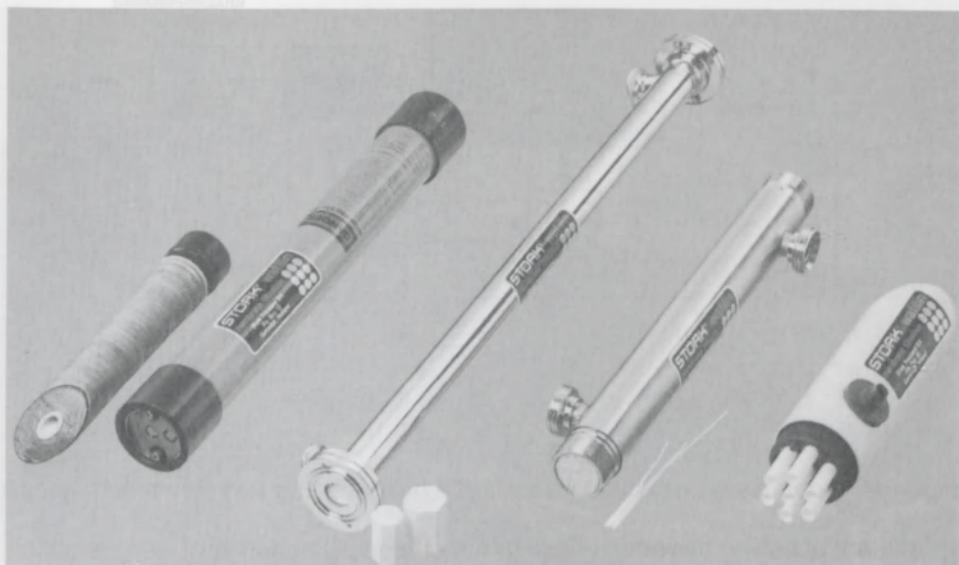
en virussen afgescheiden. Met nanofiltratie kunnen ook kleinere moleculen en tweewaardige ionen afgescheiden worden. Met omgekeerde osmose (ook wel hyperfiltratie genoemd) wordt praktisch alles van water gescheiden, inclusief zouten. Met behulp van omgekeerde osmose kan men in principe drinkwater bereiden uit elke type water. In figuur 1 wordt schematisch een indicatie gegeven van de componenten die met membraanfiltratie kunnen worden afgescheiden.

Het membraan

Bovengenoemde membranen zijn veelal uit kunststof vervaardigd. De membraanhuid bevindt zich op een poreuze onderlaag die zorgt voor de afvoer van het permeaat en steun geeft aan het membraan. In figuur 2 is een microscopische opname van een membraan weergegeven. Naast kunststofmembranen bestaan



Figuur 2. Microscopische opname van een membraanfilter



Figuur 3. Verschillende typen membranen

ook membranen op koolstofbasis en ceramische membranen. Deze membranen zijn over het algemeen duurder dan kunststofmembranen, maar zijn wel chemisch en temperatuur resistent en hebben bovendien vaak een langere levensduur. Het membraan kan op verschillende manieren vormgegeven worden. De bekendste uitvoeringen zijn:

- holle vezel membranen: vezels met een diameter van 1 à 2 mm, waarbij het membraan aan de buiten- en binnenkant van de vezel zit;
- buisvormige membranen: buizen met een diameter van 3 tot 25 mm, waarbij het membraan aan de binnenkant van de buis zit;
- spiral wound: plaatvormige membranen die als een rol zijn opgewikkeld;
- plate & frame: plaatvormige membranen.

In figuur 3 staan de diverse membraantypes weergegeven.

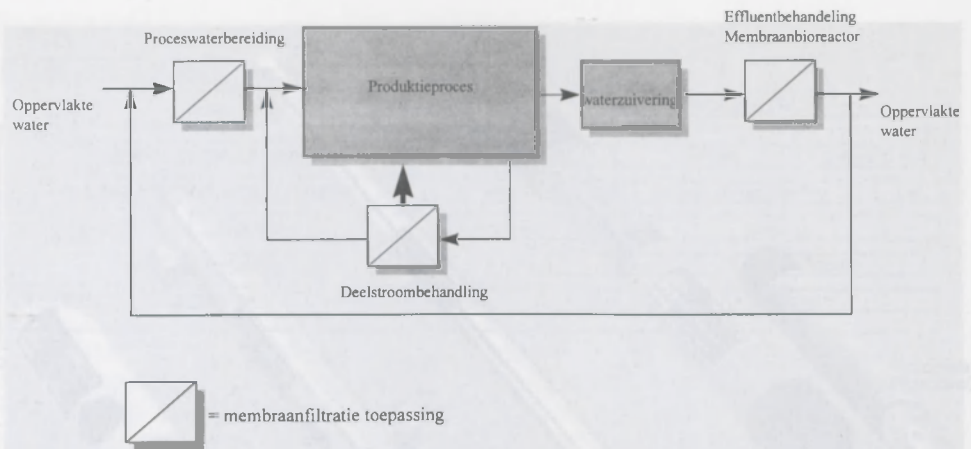
Configuratie

Het membraansysteem kan in verschillende configuraties geplaatst worden. In de eerste plaats zijn er diverse vormen van stromingsregime over de membranen te onderscheiden, zoals cross flow, dead-end en hybride flow (zie kader 1). Daarnaast kunnen de membranen onderling op een bepaalde manier geschakeld worden. Het type configuratie komt voort uit het doel waarvoor men membraanfiltratie wil toepassen (zie kader 2).

Toepassingen

Binnen het waterbeheer kan membraanfiltratie onder meer op de volgende plaatsen worden toegepast:

- proceswaterbereiding uit oppervlaktewater;
- deelstroombehandeling met terugwinning van waardevolle stoffen;



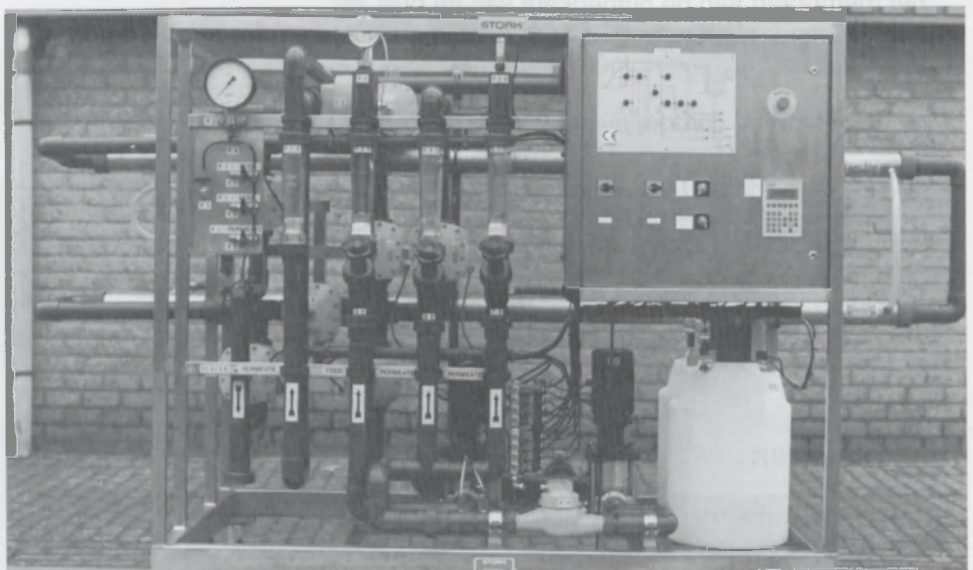
Figuur 4. Toepassing van membraanfiltratie bij de sluiting van de waterkringloop

- effluent polishing bij waterzuiveringen met mogelijkheden voor hergebruik;
- slib/water scheiding in combinatie met een biologische reactor.

In figuur 4 wordt schematisch weergegeven hoe de waterkringloop in een systeem met membraanfiltratietechnieken gesloten kan worden.

Proceswaterbereiding uit oppervlaktewater

In het kader van de verdroging worden steeds strengere eisen gesteld aan het gebruik van grondwater. Tevens bestaat tegenwoordig een heffing op het gebruik van grondwater van f 0,21/m³. Door uit oppervlaktewater proceswater te bereiden wordt de verdroging tegengegaan. Met name grote waterverbruikers, zoals de papierindustrie, tonen veel interesse voor deze toepassing.



Figuur 5. Hybride membraanfiltratie voor de bereiding van proceswater uit oppervlaktewater



Figuur 6. Laboratoriumschaal membraanfiltratie-unit

Bij de bereiding van proceswater uit oppervlaktewater wordt over het algemeen het hybride membraan-filtratiesysteem gebruikt. Afhankelijk van de capaciteit liggen de kosten voor dit type membraanfiltratie op circa f 0,10 tot f 1,-/m³. In figuur 5 staat een hybride membraanfiltratiesysteem weergegeven.

Deelstroombehandeling

Bij deelstroombehandeling is het in de meeste gevallen de bedoeling om waardevolle componenten en schoon water terug te winnen. Het scheidingsrendement is hierbij van groot belang:

Praktijkvoorbeelden van deelstroombehandeling zijn te vinden binnen industriële processen:

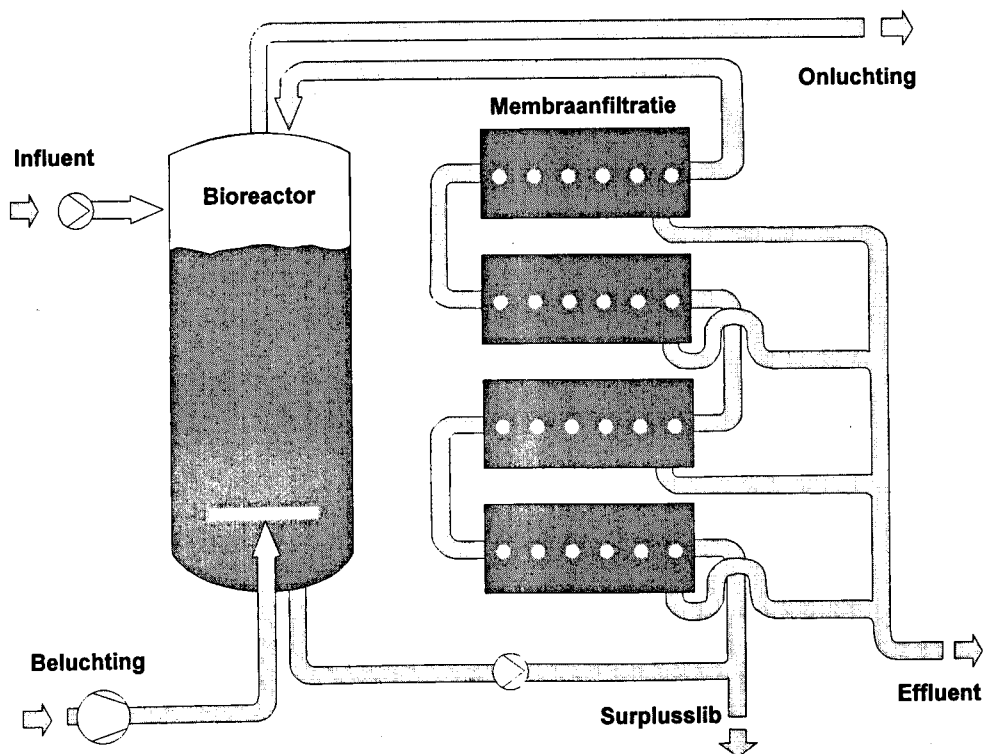
- papierfabriek: terugwinnen van kleurstoffen, vezels en proceswater;
- metaalbewerking: behandeling spoelbaden voor het terugwinnen van proceswater en actieve stoffen;
- fabrikant van kunstharsen: terugwinnen van grondstoffen uit afvalwater en ontlasting van de zuivering.

Het toe te passen type membraanfiltratie bij deelstroombehandeling is geheel afhankelijk van de specifieke probleemstelling. De haalbaarheid van membraanfiltratie voor het behandelen van specifieke deelstromen kan op kleine schaal goed worden getest. Een proef op laboratoriumschaal geeft al een goed beeld van het scheidingsrendement, de permeaatflux en de maximale concentratiefactor. In figuur 6 staat een lab-schaal proefinstallatie weergegeven.

Effluentpolishing van afvalwaterzuiveringen

Membranfiltratie kan goed ingezet worden om het effluent van een afvalwaterzuivering-polishing te behandelen. Het verder behandelen van het effluent van een rwzi kan twee doelen hebben:

- lozing vindt plaats in een kwetsbaar gebied, zodat de kwaliteit van het effluent



Figuur 7. Schematische weergave van de membraanbioreactor

direct uit de nabezinktank onvoldoende is. Voor de afscheiding van de aanwezige zwevende stof is microfiltratie veelal toereikend;

- het effluent van de afvalwaterzuivering wordt hergebruikt. Dit kan plaats vinden bij een industrie die zijn eigen waterkringloop wil sluiten of bij een rioolwaterzuivering, zodat een tweede kwaliteit water geproduceerd wordt voor de industrie of voor huishoudens. Hierbij moet goed gelet worden op concentreren van bepaalde stoffen (zouten) in het watercircuit. Wanneer het water gebruikt gaat worden als een tweede kwaliteit water (spoelwater, schrobwater, water voor toiletspoeling) is het vaak nodig dat het water vrij is van bacteriën en virussen. Om dit te bewerkstelligen zal over het algemeen ultrafiltratie toegepast worden.

Bij effluentpolishing zal veelal hybride flow membraanfiltratie toegepast worden. Kosten liggen bij effluentpolishing tussen f 0,40 en f 1,-/m³.

Membranen voor de scheiding van biomassa en gezuiverd water

Wanneer membraantechnologie gebruikt wordt voor de scheiding van biomassa en gezuiverd water wordt gesproken van zogenaamde membraanbioreactoren. Hierbij wordt de nabezinktank vervangen door membraanfiltratie. In figuur 7 staat het principe van een membraanbioreactor schematisch weergegeven.

Door het toepassen van membranen kan een hoger droge stofgehalte in de bioreactor behaald worden (30 - 40 g/l in plaats van 4 - 6 g/l) en worden door de membranen ook moeilijk afbreekbare verbindingen tegengehouden, zodat deze door een langere verblijftijd uiteindelijk wel worden afgebroken. Door het hoge droge stof-



*Figuur 8 .
Full scale membraanbioreactor voor de behandeling van percolatiewater*

gehalte vindt vergaande mineralisatie plaats in de membraanbioreactor, waardoor de slibproductie zeer laag ligt. Gezien het feit dat het effluent een betere kwaliteit kent dan bij de toepassing van nabezinktanks en vrij is van zwevende stof, bacteriën en virussen, is het effluent geschikt voor hergebruik.

Voor industriële toepassingen en de behandeling van percolatiewater is de membraanbioreactor al vaak ingezet. Hierbij zijn volumebelastingen gehanteerd van 15 - 20 kg CZV/m³.d. Dit is circa een factor 20 maal hoger dan in conventionele systemen. De bioreactoren worden bij deze hoge belastingen onder druk bedreven (3 bar), zodat de zuurstofoverdracht geen beperking vormt in het bouwvolume. In tabel 2 wordt aan de hand van enkele voorbeelden een indicatie gegeven van de zuiveringscapaciteit van membraanbioreactoren.

Tabel 2 Zuiveringsrendementen van membraanbioreactoren

Afvalwater	Component	Influent [mg/l]	Effluent [mg/l]	Verwijdering [%]
Percolatie	CZV	1.600	400	75
	BZV	400	< 5	> 98
	NKj	800	< 2	> 98
Industrieel	CZV	20.000	125	99
	BZV	15.000	< 5	> 99
	NKj	1.200	< 2	> 99

In figuur 8 staat een full scale membraanbioreactor weergegeven voor de behandeling van percolatiewater van een stortplaats.

Nieuwe ontwikkelingen

Gezien het feit dat de beschikbaarheid voor voldoende schoon water mondiaal alleen maar toeneemt, zullen membraanfiltratiesystemen steeds meer toegepast gaan worden. De ontwikkelingen op technisch gebied richten zich momenteel voornamelijk op verlaging van investerings- en bedrijfsvoeringskosten. Dit leidt veelal tot compleet nieuwe moduultypes en nieuwe procesconfiguraties.

Dergelijke ontwikkelingen maken de toepassingsmogelijkheden voor membraanfiltratie binnen de afvalwaterbehandeling steeds breder. Voor minder verontreinigde afvalwaterstromen kan in specifieke gevallen op basis van economische redenen al vaak voor vergaande zuivering gekozen worden. Zeker daar waar het

aspect hergebruik en lage slibproductie een rol speelt is de inzet van membranen of membraanbioreactoren aantrekkelijk.

In Japan, Hong Kong en Korea wordt inmiddels op veel plaatsen het afvalwater van flatgebouwen, hotels, kantoorcomplexen, etc. ingezameld en gezuiverd met membraanbioreactoren voor hergebruik als spoelwater, toiletspoeling, beregning, etc.

Ook in Nederland bestaat een toenemende belangstelling voor het toepassen van membraanfiltratie bij de behandeling van water. Het maken van proceswater of een tweede kwaliteit water uit oppervlaktewater of effluent van zuiveringen is volop in ontwikkeling. Deelstroombehandeling wordt bij de industrie meer en meer toegepast. Het toepassen van membraanfiltratie als vervanging van de nabezinktanks van rwzi's komt steeds dichterbij. Het grote voordeel is dat de capaciteit van de rwzi op deze wijze eenvoudig verveelvoudigd kan worden, minder slib gevormd wordt en een zeer goed effluentkwaliteit geproduceerd wordt, die eventueel is in te zetten voor hergebruik.

Ook de toepassing van membraanbioreactoren bij kleinschalige toepassingen, zoals IBA's (individuele behandeling afvalwater), wasstraten, wasserijen, etc. staat in de belangstelling. Voordeel is dat door toepassing van membranen een uitermate bedrijfszeker en robuust systeem gebouwd kan worden, waarbij hergebruik een optie is.

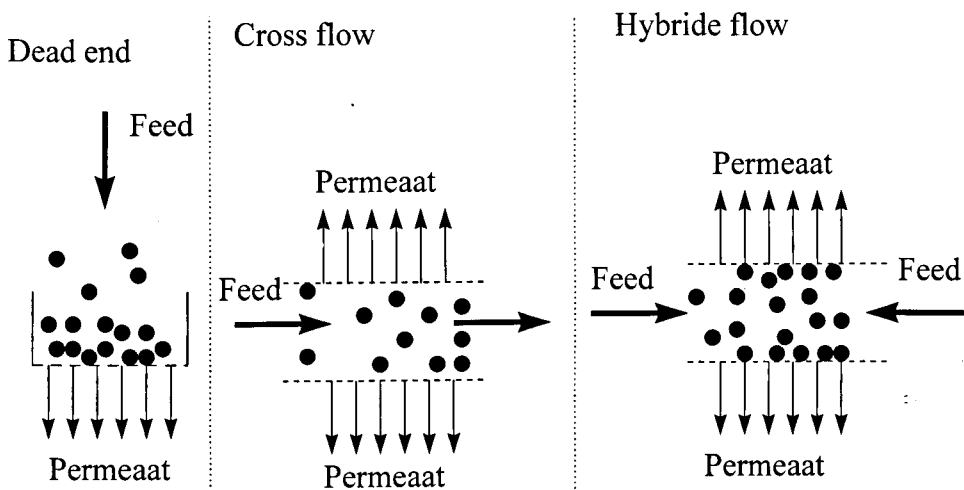
Momenteel worden membraanfiltratiesystemen ontwikkeld gecombineerd met een bioreactor die geschikt zijn voor de behandeling van huishoudelijk afvalwater en andere minder geconcentreerde afvalwaterstromen. Deze systemen kenmerken zich door lage operationele kosten en een hoge bedrijfszekerheid. Door de toepassing van membraanfiltratie kan uit afvalwater elke gewenste kwaliteit effluent geproduceerd worden en wordt hergebruik afhankelijk gemaakt van de toepasingsmogelijkheden van het her te gebruiken water.

Kader 1 Dead end, cross flow en hybride flow

Om vervuiling in membraanfilters tegen te gaan en een zo hoog mogelijke flux te verkrijgen, worden diverse typen stromingsregime toegepast. De meest simpele vorm van filtratie is de zogenaamde dead-end filtratie. Hierbij wordt het te filtreren medium direct door het filter geperst. Het af te scheiden materiaal vormt een koek op het filter. Hierdoor neemt de weerstand van het filter steeds verder toe in de loop van de tijd, zodat het filter periodiek teruggespoeld moet worden.

Bij cross flow filtratie stroomt het te filtreren medium met grote snelheid langs het membraan. Over het membraan heerst een drukverschil, zodat de vloeistof door het membraan geperst wordt. Wanneer deze stroom turbulent is, zal praktisch geen koekfiltratie optreden. De weerstand van het membraan wordt dan bepaald door de poriegrootte, concentratiepolarisatie en eventuele gelvorming of verstoppingen. Ten gevolge van de hoge stroomsnelheid over de membranen kost deze vorm van membraanfiltratie relatief veel energie. Cross flow membraanfiltratie is met name geschikt om stoffen op te concentreren. Deze vorm van membraanfiltratie wordt dan ook veelal toegepast bij deelstroombehandelingen of bij de scheiding van biomassa en effluent.

Bij hybride flow is er een combinatie tussen cross flow en dead end. Gedurende een bepaalde tijd wordt het membraan als dead-end bedreven. Wordt de flux te



Figuur 9. Dead-end, cross flow en hybride flow membraanfiltratie

laag, dan wordt kortstondig overgeschakeld op cross-flow filtratie en wordt het membraan kortstondig teruggespoeld. Hierdoor kan het membraanoppervlak effectief schoon worden gehouden. Voordeel van deze manier van membraanfiltratie is een bijzonder laag energieverbruik. Dit type filtratie is alleen toepasbaar op relatief schone waterstromen, zoals oppervlaktewater of effluent van rwzi. Het doel hierbij is filtreren en niet opconcentreren.

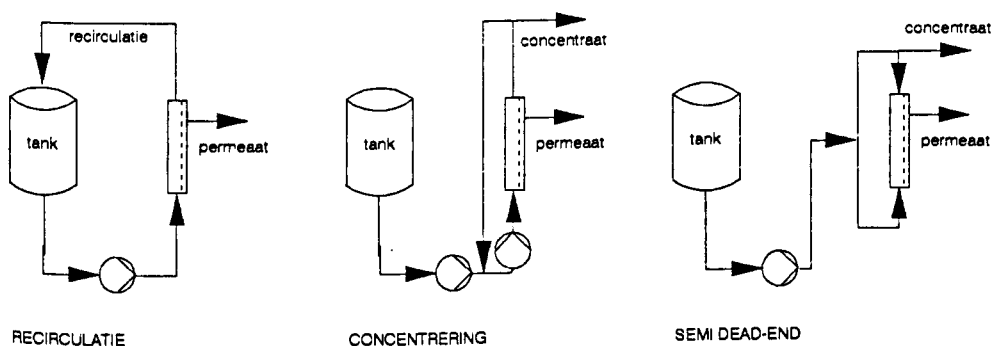
De verschillende vormen van membraanfiltratie staan in figuur 9 weergegeven.

Kader 2 Hoe te komen tot een bepaald type membraanfiltratie

Bij de keuze van een bepaald type membraanfiltratie is het belangrijk om een aantal uitgangspunten goed te definiëren:

- wat moet de selectiviteit van het membraan zijn;
- wil ik concentreren of filtreren;
- wat doe ik met mijn concentraat.

De selectiviteit van het membraan wordt bepaald door het membraantype (micro-, ultra-, nano- of hyperfiltratie) en de opgelegde procesomstandigheden. Ook binnen de membraantypes zijn weer allerlei variaties in poriegrootte en membraanei-



Figuur 10. Verschillende configuraties voor membraanfiltratie

genschappen (hydrofoob, hydrofiel, etc.). Voorts is de membraanvorm van belang (buis, holle vezel, piral wound, etc.) voor de verstoppings gevoeligheid en de reinigbaarheid.

Op basis van het feit of het gaat om filtreren of concentreren en de mogelijkheden om het concentraat te verwerken wordt de configuratie van het membraansysteem bepaald. In figuur 10 staat een aantal configuraties weergegeven.

Een belangrijke parameter bij membraanfiltratie vormt de flux. De flux wordt uitgedrukt in $\text{l/m}^2\cdot\text{h}$ en zegt iets over de capaciteit van het membraan. Hoe hoger de flux hoe minder membraanoppervlak en dus hoe goedkoper het systeem qua investering, energieverbruik en membraanvervanging. De flux, wordt vaak sterk bepaald door vervuiling van de membranen. Door het toepassen van de juiste membranen en de juiste reinigingsmethoden kan vervuiling tegenwoordig tot een minimum beperkt worden. Een degelijk laboratorium- en pilotonderzoek is van wezenlijk belang voor de juiste keuze van een membraansysteem en de bedrijfsvoering daarvan.

Met dank aan Stork Friesland voor het beschikbaar stellen van een aantal illustraties.