

BTO 2005.060
juni 2006

Membraanreiniging van NF/RO- installaties

Een literatuurstudie

BTO 2005.060
juni 2006

Membraanreiniging van NF/RO- installaties

Een literatuurstudie

© 2006 Kiwa N.V.
Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag
worden verveelvoudigd,
opgeslagen in een
geautomatiseerd
gegevensbestand, of
openbaar gemaakt, in enige
vorm of op enige wijze,
hetzij elektronisch,
mechanisch, door
fotokopieën, opnamen, of
enig andere manier, zonder
voorafgaande schriftelijke
toestemming van de
uitgever.

Kiwa N.V.
Water Research
Groningenhaven 7
Postbus 1072
3430 BB Nieuwegein

Telefoon 030 60 69 511
Fax 030 60 61 165
Internet www.kiwa.nl

Colofon

Titel

Membraanreiniging van NF/RO-installaties

Projectnummer

11.1513.100.003

Projectmanager

Wiel Senden

Kwaliteitsborger

Dick van der Kooij

Auteur

Emile Cornelissen

Dit rapport is niet openbaar en slechts verstrekt aan de opdrachtgevers van het Contractonderzoekproject/adviesproject. Eventuele verspreiding daarbuiten vindt alleen plaats door de opdrachtgever zelf.

Voorwoord

In het kader van het bedrijfstakonderzoek (BTO) projectonderdeel Q21-water Biofouling is een literatuurstudie uitgevoerd naar de reiniging van NF/RO-membranen. Het onderzoek is mede gefinancierd door de American Water Works Association Research Foundation (AwwaRF). De leden van de projectbegeleidingsgroep van het Q21-water Biofouling project zijn:

- Hilde Prummel (voorzitter)	WLN
- Wilfred Burger	Hydron ZH
- Sjack van Agtmaal	Evides
- Jacques van Paassen	Vitens
- Gilbert Galjaard	PWN
- Stephan van de Wetering	Brabant Water
- Maarten Nederlof	Vitens
- Jan Hofman	Kiwa Water Research
- Joost Kappelhof	Kiwa Water Research
- Hans Vrouwenfelder	Kiwa Water Research
- Dick van der Kooij	Kiwa Water Research
- Emile Cornelissen (secretaris)	Kiwa Water Research

Inhoud

	Voorwoord	1
1	Inleiding en doelstelling	7
2	Membraanvervuiling	9
2.1	Indeling van membraanvervuiling	9
2.2	Deeltjes en colloïdale vervuiling	9
2.3	Scaling (of anorganische vervuiling)	9
2.4	Organische vervuiling	10
2.5	Microbiële vervuiling en biofouling	10
3	Membraanreiniging	13
3.1	Bepalen van het reinigingsmoment	13
3.2	Methoden van membraanreiniging	14
3.3	Membraanreinigingsmiddelen	15
3.3.1	Zure reinigingsmiddelen	16
3.3.2	Alkalische of basische reinigingsmiddelen	17
3.3.3	Complexeerders of anti-oxidanten	17
3.3.4	Biocides	17
3.3.5	Detergenten of surfactanten	18
3.3.6	Enzymatische reinigingsmiddelen	18
3.3.7	Chaotropische reinigingsmiddelen	18
3.4	Membraanreinigingscondities	18
3.5	Ervaringen met membraanreiniging	21
3.5.1	Inventarisatie NF- en RO-installaties bij Nederlandse waterbedrijven	21
3.5.2	Literatuurstudie naar reinigingservaringen	21
3.5.3	Verwijdering van biofouling	27
3.6	Effectiviteit van membraanreiniging	30
3.6.1	Proces gerelateerde parameters	30
3.6.2	Fysisch chemische parameters	32
3.6.3	Biologische parameters	33
4	Chemische resistentie	37
4.1	Introductie	37
4.2	Compatibiliteitstesten	37
4.2.1	DRIP-rapport (Ishida et al, 2005)	37
4.2.2	Leveranciersinformatie	39
4.3	Chloorresistentie	39
5	Conclusies en aanbevelingen	43
6	Referenties	47

Bijlage I Commerciële producten	51
Bijlage II Leverancier informatie	53
Bijlage III Overzicht reinigingsmiddelen	55
Bijlage IV Overzicht literatuuronderzoek	56

Samenvatting

Membraanvervuiling is een complex proces en is vaak het resultaat van een combinatie aan effecten. Er worden doorgaans vier typen van membraanvervuiling geïdentificeerd, deeltjes en colloïdale vervuiling, scaling (of anorganische vervuiling), organische vervuiling en microbiële vervuiling of biofouling.

Het moment van reiniging is gebaseerd op bedrijfservaringen van membraaninstallaties. Veelal wordt hierbij een 50% toename in drukval en/of een 10% daling in de flux aangehouden.

Voor de verwijdering van membraanvervuiling worden chemische reinigingsmethoden toegepast. Voor de verwijdering van biofouling uit spiraalgewonden membraanelementen worden combinaties gebruikt van biocides, detergenten, enzymen en chaotropen zowel in de vorm van basischemicaliën als commerciële producten. De reinigingsprocedure is vaak complex; zo worden vaak mengsels gebruikt van diverse reinigingsmiddelen waarover geen informatie beschikbaar is. Het vinden van het juiste reinigingsprotocol is gebaseerd op 'trial en error'.

Uit de literatuurstudie naar reinigingservaringen blijkt dat slechts weinig gedegen studies beschikbaar zijn in de technische wetenschappelijke literatuur. Een klein deel (ca 20%) blijkt rechtstreeks verband te houden met het verwijderen van biofouling uit spiraalgewonden membraanelementen. Vele referenties geven een onvolledig beeld van de voedingswatersamenstelling, het type membraanvervuiling, de uitvoering van de reiniging en het resultaat van de membraanreiniging.

De effectiviteit van membraanreiniging wordt bepaald met verschillende methoden. Proces gerelateerde parameters zijn nuttig tijdens de bedrijfsvoering van membraaninstallaties. De interpretatie van deze parameters is echter lastig onder andere vanwege variaties in de voedingswatersamenstelling. Biologische methoden worden gebruikt om de totale levende en dode biomassa te bepalen voor en na membraanreiniging. Het blijkt belangrijker om biomassa te verwijderen dan het enkel af te doden.

De meest succesvolle reinigingsmiddelen voor verwijdering van biofouling bevatten mengsels van producten met complexerende (EDTA), oppervlakte actieve (SDS, Biz) en denaturerende (ureum) eigenschappen. Eenduidige informatie over gebruikte concentraties, reinigingsduur, temperatuur en langsstroomsnelheden ontbreekt. Complexerende chemicaliën binden de multivalente kationen, zoals vooral calcium die crosslinks vormen in de biofilms. Oppervlakte actieve stoffen (vooral anionische detergenten) zijn in staat de biomassa te solubiliseren. Denaturerende chemicaliën zijn in staat eiwitten te inactiveren of de structuur te veranderen, maar deze effecten worden niet duidelijk beschreven.

Er bestaat geen standaardisatie voor compatibiliteitstesten van membranen voor diverse reinigingsmiddelen. Bovendien wordt de compatibiliteit van membranen voor reinigingsmiddelen op een zeer kwalitatieve wijze gepresenteerd door membraanleveranciers. Een gedegen wetenschappelijke studie op het gebied van compatibiliteit ontbreekt heden ten dage. Een positieve uitzondering hierop vormt het onderzoek van de `Desalination Research and Innovation Partnership` waarin de interactie tussen verschillende RO-membranen en diverse reinigingsmiddelen is onderzocht. Er werd geconcludeerd dat de water- en zoutflux van RO-membranen toenemen met een toename in methyleen (CH₂) keten lengte binnen een homologe reeks van reinigingsmiddelen. Verder richt de wetenschappelijke literatuur op compatibiliteitsonderzoek zich vooral op chloorresistente NF/RO membranen. Ondanks 35 jaar onderzoek naar chloorresistente NF/RO membranen is er heden ten dage geen succesvolle commercieel membraan beschikbaar die kan concurreren met bestaande TFC PA-membranen.

Aanbevelingen voor verder onderzoek zijn het ontwikkelen van een standaardprotocol voor het uitvoeren en evalueren van een membraanreiniging in de praktijk en het ontwikkelen van een kleinschalige reinigungsopstelling om het effect van verschillende membraanreinigingsmiddelen en reinigungsmethoden te kunnen evalueren onder geconditioneerde omstandigheden.

1 Inleiding en doelstelling

Toepassing van membraanfiltratie bij de waterbehandeling wordt in veel gevallen belemmerd door het optreden van membraanvervuiling. Vervuiling van membranen door biomassa ('biofouling') is een hardnekkig probleem dat vooral wordt gesignaleerd bij de toepassing van spiraalgewonden membranen bij de bereiding van drinkwater, industriewater, hergebruik van afvalwater en de ontzouting van zeewater. Vorming van biomassa gaat meestal gepaard met accumulatie van anorganische en organische deeltjes, waardoor het vervuilingsproces wordt versneld.

Vervuiling kan worden verminderd door een uitgebreide voorbehandeling voor een membraanfiltratie installatie. Ook kan de toepassing van reinigingsmethoden de vervuiling beperken. Beide strategieën leiden echter tot een verhoging van de operationele kosten. Een optimale balans zou moeten worden gevonden tussen voldoende voorbehandeling en een effectieve reinigingsstrategie. In dit rapport worden alleen membraanreinigingsstrategieën behandeld.

Een bedrijfszekere toepassing van membraanfiltratie vereist gedegen kennis over de invloed en effecten van reinigingsmethoden op biofouling. Mede door de complexiteit van biofouling wordt de optimale reinigingsmethode momenteel alleen bepaald door 'trial & error' methoden in plaats van op wetenschappelijke gronden. Bovendien bestaat er op dit moment geen uniforme en doeltreffende methode voor membraanreiniging.

Het doel van dit rapport is het evalueren van beschikbare middelen en ervaringen op het gebied van membraanreiniging van NF/RO-installaties op basis van een literatuuroverzicht vooral voor het minimaliseren van biofouling in spiraalgewonden membraanelementen.

2 Membraanvervuiling

2.1 Indeling van membraanvervuiling

Membraanvervuiling is een zeer complex proces en is vaak het resultaat van een combinatie aan effecten. Bij membraanvervuiling spelen elektrostatische en hydrofobe/hydrofiele interacties van zowel het membraan als de vervuilende substanties een grote rol. Deze interacties spelen met name een rol bij organische componenten en microbiële activiteit (Liu, et al, 1998).

Er worden doorgaans vier typen van membraanvervuiling geclassificeerd (Hickman, 1991; Lui et al, 1998) :

- Deeltjes en colloïdale vervuiling
- Scaling (of anorganische vervuiling)
- Organische vervuiling
- Microbiële vervuiling en biofouling

Vaak treden verschillende typen van membraanvervuiling in combinatie met elkaar op. De verschillende typen van membraanvervuiling worden hieronder één voor één besproken.

2.2 Deeltjes en colloïdale vervuiling

Natuurlijke bronnen voor drinkwater bevatten doorgaans een geringe fractie aan biologisch inerte deeltjes en colloïden. Hierbij valt te denken aan silicaten, zoals zand, slib, klei en zoutneerslag. Als deze deeltjes en colloïden niet voldoende worden verwijderd door een eventuele voorbehandeling, zullen ze worden gevoed aan de NF/RO-installatie. Bij voldoende turbulentie in de membraanelementen zullen deze deeltjes en colloïden de installatie verlaten met de rest van de concentraatstroom. Indien echter de concentratie van deze inerte deeltjes/colloïden te hoog is of de turbulentie in de membraanelementen te gering, zal een accumulatie plaatsvinden van deze deeltjes/colloïden. Dit zal uiteindelijk leiden tot een toename in zoutpassage over het membraan, een toename in drukval over de membraanelementen en een afname van de flux door het membraan.

Niet biologisch inerte deeltjes en colloïden, zoals algen, bacteriën en bepaalde organische materialen worden hieronder besproken bij organische vervuiling (§2.4) en biofouling (§2.5).

2.3 Scaling (of anorganische vervuiling)

Tijdens het NF/RO membraanfiltratieproces wordt gezuiverd water verwijderd uit de voedingstroom. Het overblijvende water bevat een toenemende concentratie aan tegengehouden zouten. Als tijdens dit concentreringsproces de oplosbaarheid wordt overschreden van deze zouten, treedt anorganische neerslagvorming of scaling op. Vaak is deze anorganische neerslag zeer dicht en beïnvloedt het filtratie proces. Het gaat hier vooral om calcium, magnesium en barium zouten. Scaling leidt in het algemeen tot een afname in zoutpassage en flux door het membraan. Bij

vergaande scaling zal ook de drukval over de membraanelementen toenemen. Scaling treedt vooral op in de laatste elementen van een NF/RO-installatie (zie figuur 1).

Een andere vorm van scaling wordt veroorzaakt door ijzer- of aluminiumhydroxides. Dit kan het resultaat zijn van slecht werkende voorbehandelingsprocessen, zoals coagulatie en oxidatie. Ook deze vorm van scaling leidt tot een verhoging in zoutpassage en een flux verlaging (Hickman, 1991).



Figuur 1 Optreden van scaling in membraanelementen

2.4 Organische vervuiling

Veel oppervlaktewater, grondwater en afvalwater bevatten restmateriaal van de afbraak van organisch materiaal. Doorgaans is de hoeveelheid organisch materiaal in oppervlaktewater en afvalwater groter dan in grondwater (Lui et al, 1998). Dit natuurlijk organische materiaal (NOM) bestaat uit een complex mengsel van polysacchariden, humuszuren, fulvinezuren, oxidatie producten van humuszuren, kleine organische zuren en andere kleine organische bestanddelen. Polysacchariden zijn met name afkomstig uit algen. Humuszuren zijn anionische macromoleculen bestaande uit aromatische en alifatische componenten met primaire carboxyl en fenolische functionele groepen (Hong en Elimelech, 1997). De oplosbaarheid van de organische zuren neemt af bij een daling van de pH en bij een toename in concentratie aan divalente en trivalente kationen, zoals vooral Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} en Al^{3+} . Precipitatie en adsorptie van natuurlijk organisch materiaal (NOM) is de meest voorkomende vorm van organische vervuiling. Dit leidt meestal tot een afname in flux. Verder vormt een klein deel van NOM voeding voor biologische processen (zie § 2.5).

Andere typen van organische vervuiling worden veroorzaakt door de aanwezigheid van oliën en vetten. Deze zijn echter niet relevant voor drinkwaterproductie uit oppervlaktewater en grondwater.

2.5 Microbiële vervuiling en biofouling

In de meeste bronnen voor drinkwater komen bacteriën voor. Als deze niet afdoende worden verwijderd in een voortrein zullen deze bacteriën aan de

NF/RO installatie worden gevoed, vergelijkbaar met inerte deeltjes & colloïden. Door elektrostatische interacties, filament- en/of slijmvorming kunnen deze bacteriën zich hechten aan het membraanmateriaal en/of aan het spacermateriaal. Onder gunstige condities kunnen deze bacteriën zich vermenigvuldigen en een biofouling laag vormen (zie figuur 2). Dit laatste treedt op doordat extra cellulaire polymeer verbindingen (EPS) worden uitgescheiden die een viskeuze, slijmachtige en gehydrateerde gel vormt. EPS bestaat uit heteropolysacchariden en is sterk negatief geladen. De gel beschermt de bacteriën tegen hydraulische afschuifkrachten en chemische producten zoals biocides. Biofouling leidt in het algemeen tot een toename in zoutpassage en drukval en gaat meestal ook gepaard met een afname van de flux. Voorbehandeling met biofiltratie resulteert in een afname van biofouling.



Figuur 2 Biofouling bij membraanautopsie

3 Membraanreiniging

3.1 Bepalen van het reinigingsmoment

Als gevolg van membraanvervuiling neemt de effectiviteit van het membraanfiltratie proces af. Zowel de capaciteit als de kwaliteit van het permeaat kan hierbij afnemen (als gevolg van membraanvervuiling). Dit uit zich in een afname van de membraanflux of membraan transport coëfficiënt (MTC) en in een afname van de retentie of toename van de zoutpassage ('salt passage': SP) van het membraan. Bovendien neemt de energie behoefte toe als gevolg van vervuiling, uitgedrukt in een toename van de transmembraandruk ('transmembrane pressure': TMP) en een toename in de drukval ('normalised pressure drop' : NPD) over de membraaninstallatie. Om deze negatieve effecten op het membraanproces op te heffen moet tijdelijk en herhaaldelijk een effectieve membraanreiniging worden toegepast.

Het moment van membraanreiniging is essentieel. Indien te laat wordt gereinigd nemen capaciteitsverlies en operationele problemen verder toe, als gevolg van een daling in MTC en/of een stijging van de NPD. Als te vaak wordt gereinigd worden (onnodige) kosten gemaakt en is er bovendien kans dat het membraan sneller aangetast kan worden door membraanreinigingsmiddelen (zie Hoofdstuk 4 Chemische resistentie). Het moment van reiniging is gebaseerd op bedrijfservaring met membraaninstallaties en wordt gegeven door membraanleveranciers (Hickman, 1991).

De volgende criteria worden gebruikt voor het bepalen van het reinigingsmoment (Hickman, 1991) :

- 10% afname van de MTC (onder constante TMP)
- 10% toename van de TMP (onder constante MTC)
- 10% toename van de zoutpassage
- 50% toename van de drukval (NPD)

Bij deze criteria wordt aangenomen dat de samenstelling van het water en de recovery van de installatie niet veranderen.

Andere criteria worden gevonden bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven. Hierbij wordt een daling van de MTC met 15% gehanteerd als het moment van reinigen bij enkele NF/RO-installaties. Verder wordt een maximale TMP waarde gebruikt als reinigingscriterium. De waarde van deze maximale TMP hangt af van het ontwerp van de installatie. Een stijging van 10-15% van de NPD is een derde reinigingscriterium dat wordt toegepast. In sommige gevallen wordt een maximale NPD-waarde genomen als reinigingscriterium (Cornelissen, 2005).

De bepaling van het reinigingsmoment is gebaseerd op bedrijfservaringen met praktijkinstallaties. In de wetenschappelijke literatuur wordt over het reinigingsmoment weinig gerapporteerd. Peters et al (2004) maken een

kwalitatieve melding van een reiniging op basis van een zekere stijging in de NPD, wederom gebaseerd op bedrijfservaringen.

3.2 Methoden van membraanreiniging

Ondanks voorzuivering zullen membranen vroeg of laat vervuilen en wordt membraanreiniging noodzakelijk. Membraanreiniging kan worden onderverdeeld in vier groepen:

- Mechanische reiniging
- Hydrodynamische reiniging
- Gas/water reiniging
- Chemische reiniging

Een **Mechanische reiniging** wordt bereikt door de introductie van hoge afschuifkrachten aan het membraanoppervlak door een mechanische actie. Voorbeelden zijn een manuele spons reiniging van vlakke plaatmembranen of aan het gebruik van sponsballetjes bij de reiniging van buismembranen (Takadono et al, 184). Sonische reinigingsmethoden maken gebruik van ultrasone golven die resulteren in cavitatie van de vloeistof en zodanig turbulentie creëren aan het membraanoppervlak, voldoende om het membraan te reinigen (Deqian, 1987). Hoewel mechanische reinigingsmethoden zoals sonische reiniging zeer effectief zijn, is de toepasbaarheid beperkt. Zo is een mechanische reiniging bij spiraal gewonden membraanmodules onmogelijk en sonische reiniging zeer beperkt toepasbaar gezien de hoge energiekosten die ermee gepaard gaan.

Hydrodynamische reinigingsmethoden maken gebruik van water voor het bereiken van hoge afschuifkrachten aan het membraanoppervlak. Door toepassing van een (tijdelijke) toename van de langsstroomsnelheid (Deqian, 1987) of van gepulseerde voedingsstromen (Nyström, 1993) wordt de turbulentie vergroot aan het membraanoppervlak en kan reiniging worden bewerkstelligd. Voor de verwijdering van membraanvervuiling tijdens CIP wordt een minimale snelheid gehanteerd van 1.5 m/s, waarbij snelheden van 2.0 m/s geadviseerd worden (Bryers, 2000) ten opzichte van een snelheid van 0.1-0.2 m/s tijdens normale bedrijfsvoering. Het tijdelijk omkeren van de stroming door membraanelementen kan eveneens verontreinigingen verwijderen, maar is minder effectief volgens Deqian (1987). Periodiek terugspoelen ('backwash') van membranen is een zeer effectieve reinigingsmethode om accumulerende vuillagen van het membraan af te spoelen (Paul, 1984) (zie figuur 3). Deze periodieke terugspoeling is echter enkel effectief indien de vervuiling niet te sterk geadsorbeerd is aan het membraanoppervlak (Marshall et al, 1993). Het nadeel van periodieke terugspoeling is een verhoging van de energieconsumptie en het verlies van permeaat (Wenten et al, 1994). Hiernaast is terugspoeling uitsluitend mogelijk voor ultra- en microfiltratie membranen; terugspoeling van spiraalgewonden membraanelementen riskeert beschadiging van de lijmlagen van de membraanelementen.



Figuur 3 Periodiek terugspoeling als reinigingsmethode voor holle vezels

Door gebruik te maken van water en gas stroming tijdens membraanreiniging wordt turbulentie gecreëerd die zorgt voor hoge afschuifkrachten aan het membraanoppervlak. Verschillende methoden worden beschreven in de literatuur zoals onder andere ozon gas voor de verwijdering van scaling en biofouling (Deqian, 1987). Het meest toegepast is een periodieke of continue injectie van gecomprimeerde lucht. Verschillende hoeveelheden lucht en water verhoudingen worden gehanteerd in de literatuur (Laborie et al, 1997). Zogenaamde “slug flow” is het meest geschikte hydrodynamische regime voor membraanreiniging (Cabassud et al, 1997; Mercier et al, 1997). Op dit moment wordt in het kader van het BTO-programma onderzoek verricht aan lucht/water reiniging van spiraal gewonden modules.

Chemische reinigingsmethoden worden het meest toegepast voor de verwijdering van membraanvervuiling. Centraal hierbij is het gebruik van chemische membraanreinigingsmiddelen voor het oplossen, complexeren, oxideren, afdoden, solubiliseren, hydrolyseren en denatureren van de membraanvervuiling. Vanwege de complexiteit van membraanvervuiling zijn er vele membraanreinigingsmiddelen bekend, deze worden hieronder in §3.3 beschreven.

3.3 Membraanreinigingsmiddelen

Allereerst dient een onderscheid gemaakt te worden tussen producten die worden gebruikt voor de stabilisatie van het membraanproces en producten die dienen voor het reinigen van membranen en/of membraanelementen.

In het eerste geval gaat het om producten die zowel continu als discontinu kunnen worden gedoseerd aan de voeding van een membraaninstallatie. Dit zijn producten zoals onder andere anti-scalants, biocides en enzymen (Baldridge & Michalow, 2004). Deze producten worden toegepast om een membraanproces stabiel te laten verlopen en operationele problemen, zoals vooral membraanvervuiling zo lang mogelijk uit te stellen. Deze groep van producten maakt deel uit van de normale bedrijfsvoering van een membraaninstallatie. Om deze reden valt de groep van producten buiten het bestek van dit werk.

Membraanreiniging is nodig als er operationele problemen zoals flux afname en/of drukval toename optreden als gevolg van membraanvervuiling. De membraaninstallatie worden tijdelijk uit bedrijf genomen en gereinigd in een

zogenaamde “Cleaning In Place” (CIP). Dit houdt in dat de membranen in met een aparte reinigingsinstallatie worden gereinigd. De reinigingsmiddelen die een rol kunnen spelen gedurende de CIP zijn het onderwerp van dit werk. Een CIP wordt meestal uit gevoerd op de volledige membraaninstallatie of op delen van de installatie zoals een membraantrap.

Reinigingsmiddelen worden toegepast om de eerder genoemde (combinaties van) typen van membraanvervuiling op te lossen (zie Hoofdstuk 2). Gezien de complexiteit van het probleem is een groot aantal reinigingsmiddelen beschikbaar. Een onderverdeling van reinigingsmiddelen vindt plaats op basis van de reinigingsfunctie. De volgende indeling wordt hieronder gehanteerd (Whittaker et al, 1984; Kane en Middlemiss, 1985; Trägårdh, 1989).

- i. Zuren
- ii. Basen
- iii. Complexeerders of anti-precipitanten
- iv. Biocides
- v. Detergenten
- vi. Enzymen
- vii. Chaotropen

Op basis van zowel de informatie uit de literatuur en de informatie van de verschillende leveranciers van membraanreinigingsmiddelen wordt een overzicht van de invloed van de verschillende typen reinigingsmiddelen op de verschillende membraanvervuiling klassen weergegeven in tabel 1.

Tabel 1 Invloed type reinigingsproduct op membraanvervuiling

	Deeltjes	Scaling	Organisch	Biofouling
Zuren		X		
Basen			X	o
Complexeerders		X		o
Biocides				X
Detergenten	X		X	X
Enzymen			X	X
Chaotropen			X	X

X direct effect ; o indirect effect

3.3.1 Zure reinigingsmiddelen

De functie van zure reinigingsmiddelen is het oplossen van anorganische neerslagen (scaling). Ook dienen ze voor het oplossen van de anorganische matrix in een biofilm.

Commerciële zure reinigingsmiddelen verwijderen verbindingen als CaCO_3 , FeSO_4 , FeO , FeOH , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 , van een vervuild membraan. In de meeste gevallen worden ook metaaloxiden verwijderd. In enkele gevallen wordt er melding gemaakt van de verwijdering van eiwitachtig materiaal en biofouling. Dit wordt veroorzaakt door de

aanwezigheid van enzymen en detergenten in het zure reinigingsproduct. De hoofdbestanddelen van commerciële zure reinigingsmiddelen verschillen per leverancier. Enkele vermelde hoofdbestanddelen zijn citroenzuur, salpeterzuur en fosforzuur. Soms wordt er EDTA (Ethyleen Diamine Tetra Acetaat) of anionische of nonionische detergenten toegevoegd aan het zuur.

3.3.2 *Alkalische of basische reinigingsmiddelen*

Alkalische of basische reinigingsmiddelen worden gebruikt voor het oplossen van organische deposities.

Commerciële basische reinigingsmiddelen verwijderen organisch en biologisch materiaal van membraanoppervlakken (en spacermateriaal). Enkele van deze producten zijn ontwikkeld voor de verwijdering van een bepaalde groep van organisch materiaal zoals oliën en vetten van membraanoppervlakken. De hoofdbestanddelen van commerciële basische reinigingsmiddelen verschillen sterk per leverancier en zijn vaak onbekend. In enkele gevallen wordt gebruik gemaakt van isopropylalcohol, NaOH en/of Na_2CO_3 . Vaak worden detergenten toegevoegd (bijvoorbeeld sodium dodecyl sulfonaat (SDS) en triethanoamine dodecyl benzeen sulfonaat). Anionische en nonionische detergenten verwijderen vooral silicaten en colloïdale deeltjes. In sommige gevallen wordt EDTA gebruikt.

3.3.3 *Complexeerders of anti-oxidanten*

Complexeerders of anti-precipitanten verwijderen metalen en andere precipiterende ionen uit de oplossing en uit de vervuilingsslaag op een membraan. Een bekend voorbeeld hiervan is EDTA, dat onder andere wordt gebruikt voor de verwijdering van de hardheidsionen Ca^{2+} en Mg^{2+} .

Commerciële Complexeerders of anti-precipitanten zijn nauwelijks gevonden als aparte productgroep. In een enkel geval gaat het dan om een reinigingsproduct met als hoofdbestanddeel EDTA. De reden hiervoor is dat EDTA vaak wordt toegepast in andere productgroepen zoals zuren, basen en detergenten.

3.3.4 *Biocides*

Biocides doden micro-organismen door collisies of toxiciteit. Een onderverdeling kan worden gemaakt op basis van de aan- of afwezigheid van oxiderende eigenschappen van de biocide.

Commerciële biocides worden vooral toegepast voor de afdoding van biofilms op membraanoppervlakken. Specifiek wordt de afdoding van algen, schimmels, gistcellen, slijmvormende en sulfaatreducerende bacteriën vermeld voor diverse producten. De hoofdbestanddelen van commerciële biocides lopen sterk uiteen en kunnen worden onderverdeeld in oxiderende en niet-oxiderende producten. De volgende hoofdbestanddelen worden vermeld door verschillende leveranciers : chloor, chlooraminen, organische peroxides, glutaraldehyde, natrium-perboraat tetrahydraat, natrium metaboraat, 2,2-Dibromo-3-nitrilopropionamide (DBNPA), 2-chloro-4,6-dialkylamino-s triazine (CDAT), tributyl tetradecyl phosphonium chloride (TBTDPC) en 1-bromo 3-chloro 5,5-dimethylhydantoin (BCDMH).

Commerciële biocides worden vaak ook onderverdeeld in snelwerkende en langzaamwerkende biocides.

3.3.5 *Detergenten of surfactanten*

Detergenten of surfactanten verlagen de oppervlaktespanning van water. Dit leidt tot een betere bevochtiging van de vervuilingsslaag die hierdoor beter oplosbaar wordt. Hiernaast verhinderen detergenten of surfactanten dat vervuiling terug neerslaat op het membraan.

Commerciële detergenten voor membraanreiniging worden evenals basische producten gebruikt voor de verwijdering van organisch en biologisch materiaal van het membraanoppervlak. Meer bepaald worden oliën, vetten bacterieel slijm en kleurstoffen van zowel organische oorsprong (zoals lignines) als synthetische oorsprong verwijderd. Hiernaast worden commerciële detergenten ook toegepast voor de verwijdering van colloïdale neerslag. De samenstelling van commerciële detergenten is in alle gevallen onbekend. Het enige dat wordt gerapporteerd is dat er meer anionische dan nonionische detergenten worden gebruikt. In sommige gevallen wordt EDTA toegevoegd als complexeerder.

3.3.6 *Enzymatische reinigingsmiddelen*

Reinigingsmiddelen op basis van enzymen hydrolyseren de extrapolymere substanties (EPS) die worden gevormd door micro-organismen. Hierdoor wordt de hechting van vervuilingsslagen op het membraanoppervlak verminderd.

Commerciële enzymatische reinigingsmiddelen zijn vooral ontwikkeld voor de afbraak van een eiwitachtige vervuiling op membraanoppervlakken. Enzymen worden doorgaans toegepast in een combinatie met detergenten en/of basische producten. Informatie over de specifieke enzymen die gebruikt worden in commerciële enzymatische reinigingsmiddelen is niet toegankelijk.

3.3.7 *Chaotropische reinigingsmiddelen*

Chaotropische reinigingsmiddelen (vii) zorgen voor een denaturatie van eiwitten dat leidt tot een betere oplosbaarheid van organische componenten.

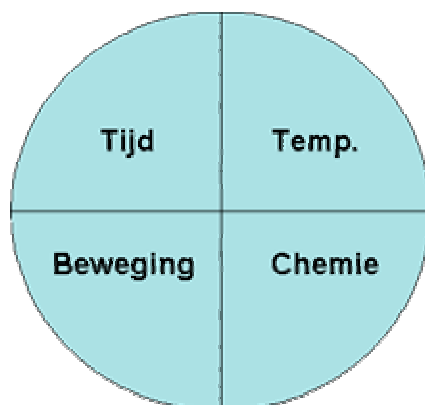
Commerciële chaotropen worden niet als aparte productgroep onderkent door leveranciers van membraanreinigingsmiddelen. Deze producten worden veelal geleverd in combinatie met andere producten. Enkele voorbeelden van producten zijn urea en SDS.

3.4 **Membraanreinigingscondities**

Een selectie van de meest effectieve membraanreinigingsmiddelen voor de verwijdering van een bepaald type van membraanvervuiling is niet voldoende voor een succesvolle reiniging. Het complete reinigingsprotocol moet optimaal zijn om membraanvervuiling afdoende te verwijderen. Een reinigingsprotocol bestaat uit één of meerdere reinigingstappen afgewisseld met het uitspoelen van de reinigingsmiddelen met water. Binnen één reinigingstap is een aantal parameters van belang voor de reiniging, deze zijn:

- Concentratie reinigingsproduct (of pH);
- Temperatuur tijdens membraanreiniging;
- Transmembraandruk tijdens reiniging;
- Stroomsnelheid tijdens membraanreiniging (langsstroomsnelheid);
- Duur van de reiniging (zowel spoeltijd als inweektijd);

Deze parameters worden hieronder beschreven.



Figuur 4 Vier parameters bepalen de effectiviteit van reiniging

De concentratie van het reinigingsmiddel bepaalt (mede) de snelheid van de reiniging (Liu et al, 2001). Membraanreiniging is in vele gevallen een chemische reactie waarin de reactiesnelheid evenredig is met de concentratie aan reactieproducten, in dit geval de reinigingsmiddelen. Hiernaast is membraanreiniging een interfase reactie tussen reinigingsmiddelen in de vloeistof fase enerzijds en membraanvervuiling als vaste fase anderzijds. Het concentratieprofiel van de reinigingsmiddelen aan de vervuilingzijde is eveneens een functie van de concentratie aan reinigingsmiddelen. Verhoging van de concentratie van reinigingsmiddelen leidt dus zowel tot verhoging van de reactiekinetiek van reiniging en verhoging van de stofoverdracht bij de vervuilingsslaag op het membraan. Doorgaans is dit stoftransport de beperkende schakel tijdens membraanreiniging (Liu et al, 2001).

De temperatuur tijdens de reinigingsprocedure bepaalt zowel de reactiesnelheid van membraanreiniging en de oplosbaarheid van de reinigingsmiddelen in water (Liu et al, 2001). Doorgaans vindt er een effectievere membraanreiniging plaats bij hogere temperaturen. Er is echter een limiet aan het verhogen van de temperatuur in verband met de stabiliteit van het membraanmateriaal. Voor polymere membraanmaterialen wordt doorgaans een limiet van 50°C gehanteerd (Hickman, 1991).

De stroomsnelheid tijdens membraanreiniging (langsstroomsnelheid) heeft een directe invloed op de afschuifkracht tussen de reinigingsmiddelen in oplossing en de vervuilingsslaag op het membraan. Een hoge stroomsnelheid is gewenst en zal de stofoverdracht tijdens membraanreiniging vergroten. De stroomsnelheid is echter begrensd door mechanische beperkingen van membraanmodules. Bij spiraalgewonden membraanelementen bestaat het risico van 'telescoping' bij te hoge stroomsnelheden waarbij de membraanenvolpen uit de drukbuis wordt gedrukt.



Figuur 5 Verschillende typen spiraalgewonden membraanelementen

De optimale stroomsnelheid hangt af per type membraanelement. In tabel 2 wordt de optimale stroomsnelheid gegeven voor verschillende typen spiraalgewonden membraanelementen. In figuur 5 wordt een indruk gegeven van de verschillende beschikbare typen membraanelementen.

Tabel 2 Optimale debieten voor diverse membraanelementen

Membraanelement [-]	Diameter [inch] / [cm]	Minimaal debiet [m ³ /h]	Maximaal debiet [m ³ /h]
2540-type	2,5 / 6,3	0,35	1,8
4040-type	4 / 10	0,7	3,6
8040-type	8 / 20	2,7	17,0

Transmembraandruk tijdens reiniging dient zo laag mogelijk te zijn. Te hoge drukken tijdens membraanreiniging kunnen namelijk leiden tot terugtransport van vervuilende componenten naar het membraanoppervlak (Hickman, 1991). De druk is afhankelijk van de drukval over de membraanelementen in relatie tot de stroomsnelheid gedurende membraanreiniging.

De duur van de reiniging (zowel spoeltijd als inweektijd) heeft een belangrijke invloed op het succes van de reinigingsmethode. Te weinig tijd voor reiniging kan leiden tot een onvoldoende verwijdering van de membraanvervuiling. Tijdens membraanreiniging is de membraaninstallatie uit bedrijf, zodat te lange membraanreinigingsprocedures leiden tot (onnodig) productieverlies. Meestal kan membraanvervuiling verwijderd worden met één uur circulatie van membraanreinigingsmiddelen (Hickman, 1991). Voor moeilijk te verwijderen membraanvervuiling zoals calciumsulfaat neerslagen, atomische polymeren en ontwikkelde biofilms zijn procedures nodig van meestal meer dan 8 uur (Hickman, 1991).

Verschillende membraanreinigingsprocedures zowel uit de praktijk als uit de literatuur zullen hieronder in meer detail worden besproken.

3.5 Ervaringen met membraanreiniging

3.5.1 *Inventarisatie NF- en RO-installaties bij Nederlandse waterbedrijven*

Een 15-tal NF/RO-installaties zijn geïnventariseerd in het kader van het Q21-water Biofouling deelproject (Cornelissen, 2005). Als gevolg van een verschil in aangeboden voedingswaterkwaliteit en de controle daarvan, worden verschillende reinigingsstrategieën gevolgd om tot een stabiele procesvoering te komen. Het eerste onderdeel daarin is de bepaling van het reinigingsmoment. Daarvoor worden drie criteria gehanteerd, daling in MTC, stijging van TMP en stijging van NPD. Welk criterium wanneer wordt toegepast hangt af van de installatie (voedingswaterkwaliteit) en van de reinigingsstrategie van het waterbedrijf.

De wijze waarop membraanreiniging wordt toegepast verschilt per installatie en per waterbedrijf. Meerdere reinigingsprotocollen worden toegepast afhankelijk van het type vervuiling dat optreedt. Meestal bestaat het reinigingsprotocol uit twee of drie stappen. Sommige reinigingsprotocollen bestaan uit een voorspoelfase en/of een inweekfase. Verschillende reinigingsmiddelen worden toegepast in verschillende concentraties bij verschillende temperaturen. Meestal wordt NaOH bij pH=11 toegepast bij een temperatuur van 35°C, voorafgegaan en/of gevolgd door een zure reiniging (citroenzuur, HCl of H₂SO₄) bij pH=1-2 bij een temperatuur van 40°C. In sommige gevallen worden commerciële reinigingsmiddelen gebruikt. Het reinigingsdebiet varieert bij de verschillende membraanreinigingen en loopt uiteen tussen 2-12 m³/h per drukvat .

Samenvattend kan worden geconcludeerd dat een reinigingsstrategie vooral wordt bepaald door de voedingswaterkwaliteit en de visie van het waterbedrijf. Er is echter geen uniformiteit in de bepaling van de voedingswaterkwaliteit. Er is een behoefte aan een standaardprotocol voor het uitvoeren en evalueren van een reiniging, ten einde de effectiviteit van verschillende reinigingsmethoden onder praktijkomstandigheden te kunnen vergelijken.

3.5.2 *Literatuurstudie naar reinigingservaringen*

Een literatuurstudie is uitgevoerd naar reinigingservaringen met behulp van zoekmachines zoals Google, Scholar.Google, Scirus en Aqualine. Verschillende zoeksleutels zijn gebruikt om de reinigingservaringen te kunnen inventariseren. De volgende zoeksleutels zijn gebruikt in verschillende combinaties : “Nanofiltration”, “Reverse Osmosis”, “Water Treatment”, “Membrane Cleaning”, “Cleaning-in-place”, “Chemical Cleaning” en “Cleaning”. Slechts zeer weinig artikelen zijn gevonden op het gebied van chemische reiniging. Na raadpleging van de beperkte set van artikelen bleek slechts ongeveer een dertigtal artikelen relevant. De onderstaande literatuurstudie naar reinigingservaringen is hierop gebaseerd.

In tabel 3 zijn de artikelen opgesomd die zijn gebruikt voor de literatuurstudie naar reinigingsservaringen inclusief het water- en vervuilingstype. Indien informatie beschikbaar is wordt ook de TDS (in mg/l), elektrisch geleidingsvermogen (in mS/cm) en TOC (in mg/l) vermeld.

Het voedingswater is ingedeeld in een achttal groepen, te weten afvalwater (AW), brakwater (BW), demiwater (DW), drinkwater (DrW), effluent water (EW), oppervlakte water (OW), putwater (PW) en zeewater (ZW).

In tabel 2 is indien informatie beschikbaar een onderverdeling gemaakt in het *vervuilingstype* in vier hoofdgroepen; biofouling, organische vervuiling, anorganische vervuiling en deeltjes vervuiling. Indien meer informatie beschikbaar was, dan is het tussen haakjes gespecificeerd. De groep biofouling is de verzamelnaam van vervuiling veroorzaakt door bacteriën, biofilm, biologische vervuiling, micro-organismen en biomassa. In een enkele referentie wordt het type bacteriën zelfs gespecificeerd zoals in Carnahan et al. (1995) en Darton & Turner (1991) waarin biofouling wordt toegeschreven aan respectievelijk *Pseudomonas* en sulfaat reducerende bacteriën. De groep organische vervuiling is een verzamelnaam voor allerlei organische componenten in het voedingswater. Veelal blijven deze componenten onvermeld in de referenties. In een enkel geval wordt vermeld dat de organische vervuiling NOM of meer specifiek humuszuur betreft. Andere referenties vermelden organische vervuiling als gevolg van de aanwezigheid van olie, vet en/of eiwit in het voedingswater. De groep anorganische vervuiling is een verzameling van neerslagvorming (of scaling) van anorganische zouten, meestal van hardheidszouten en ijzer- of silicaatverbindingen. Deze zijn gespecificeerd in tabel 2, indien bekend uit de referentie. Deeltjesvervuiling wordt aangeduid in tabel 2 als zwevende stof (ZS) vervuiling en omvat ook vervuiling door organische en anorganische deeltjes (bijvoorbeeld colloïden). Veelal blijft echter de exacte aard van de deeltjesvervuiling onbekend.

Tabel 3 Overzicht voedingswatergegevens diverse referenties

Nr	Referentie	Water	Temp	Type vervuiling	TDS	EG	TOC
[-]	[-]	[-]	[°C]	[-]	[mg/l]	[mS/cm]	[mg/l]
1	Beckman, 1973	EW	-	-	-	-	-
2	Burns & Roe, 1981	ZW	-	-	-	-	-
3	Carnahan et al, 1995	OW/GW	-	biofouling	-	-	3
4	Chen et al, 2003	EW	25	org.(NOM)	-	-	-
5a	Cho et al, 1999	OW	-	org.(NOM)	-	0,06	3,1
5b	Cho et al, 1999	GW	-	org.(NOM)	-	0,53	6,8
6	Darton & Turner, 1991	ZW	14-21	biofouling	36350	-	-
7	DiGiano et al, 2000	OW	23	org., biofouling, ZS	-	-	4-8
8a	Dudley et al, 1997	-	-	org.(NOM), anorg.(FeO)	-	-	-
8b	Dudley et al, 1997	BW	-	org., anorg. (Si, FeO, Al,MgSO ₃)	-	-	-
9	Duin et al, 2000	EW	-	ZS & biofouling	-	0,67	19*
10a	Ebrahim&Malik, 1987	ZW	< 35	ZS, biofouling, org., anorg.	-	-	-
10b	Ebrahim&Malik, 1987	ZW	< 35	ZS, biofouling, org., anorg.(Fe)	-	-	-
10c	Ebrahim&Malik, 1987	ZW	< 35	biofouling,org.(NOM),anorg.(Fe)	-	-	-
11a	Farinas, 1987	OW	-	anorg. (Ca,Mg)	500	-	-
11b	Farinas, 1987	PW	-	anorg. (Fe-Cr-Ni) & org.(olie)	6500	-	-
11c	Farinas, 1987	PW	-	anorg. (Si,Fe)	800	-	-
12	Grace, 1977	-	-	anorg. (gips, SiO ₂ , Fe)	-	-	-
13	Graham, 1989	BW	27	org. & ZS (anorg)	1700	-	-
14	Gwon et al, 2003	GW	-	anorg. (Ca, Si), org.	-	0,98	2,7
15	Hatch & Workm., 1984	PW	-	anorg. (Ca)	1300	-	-
16	Kimura et al, 2004	OW	var.	ZS,org.(NOM), anorg.(Mn, NH ₄)	-	-	2,4
17	Koo et al, 2001	DW	21	anorg. (Si, Ca & Mg)	300	-	-
18	Košutić, 2002	DrW	-	org. (humine)	3500	-	20
19a	Labib et al, 2003	DrW	-	anorg. & biofouling	-	-	-
19b	Labib et al, 2003	AW	-	ZS, anorg. (TDS), org.(eiwit,vet)	10000	-	-
20	Li & Elimelech, 2004	DW	20	org.(humine) + 1mM CaCl ₂	1-10	-	20
21	Li & Elimelech, 2005	DW	20-22	org.(humine) + 1mM CaCl ₂	20	-	-
22	Liikanen, 2002	OW	2-19	biofouling & org.	-	15	2,7
23	Luo, 2001	BW	21	org.(NOM), ZS & anorg.	950	1,6	4,2
24	Madaeni, 2001	ZW	25	anorg. (CaSO ₄ , Ca ₃ (PO ₄) ₂)	-	-	-
25	Madaeni & Mans.,2004	AW	25	org.(eiwit, vet),anorg.(Ca ₃ (PO ₄) ₂)	70000	-	-
26	McDonald et al, 2004	-	-	anorg.	-	-	-
27	Pervov,1991	BW	-	anorg.(CaCO ₃ & CaSO ₄)	10000	-	-
28a	Pervov,1999	GW	-	anorg. (Fe), ZS	1000	-	-
28b	Pervov,1999	DrW	-	biofouling	1000	-	-
29a	Peters et al, 2004	EW/GW	7-18	-	-	-	-
29b	Peters et al, 2004	GW	21-27	anorg.(H ₂ S)	-	-	-
29c	Peters et al, 2004	EW/GW	5-30	-	-	-	-
30	Sadhwani, 2001	ZW	20-22	-	-	51	-
31	Sadwani et al, 2002	ZW	20-22	biofouling & anorg.	-	51	-
32	Sallangos & Moss, 2001	ZW	25-30	-	-	58	-
33	Speth et al, 1998	OW	var.	biofouling	-	0,34	2
34	Wilf & Gluechk., 1985	BW	-	-	6000	-	-

Aw = afvalwater
Bw = brakwater

Ew = effluent water
Ow = oppervlaktewater

Dw = demiwater
Drw = drinkwater

Pw = putwater
Zw = zeewater

* uitgedrukt in mg/l COD

In tabel 3 wordt een overzicht gegeven van de referenties over reinigingsservaringen van NF en RO spiraal gewonden membraanelementen. Het eerste dat opvalt is dat vele referenties een onvolledig beeld geven van de voedingswatergegevens. Het type vervuiling is niet voor elke referentie bekend en gegevens over TDS, elektrische geleidingsvermogen en TOC ontbreken in de meeste gevallen.

De referenties beschrijven vervuiling- en reinigingsexperimenten uitgevoerd met verschillende typen voedingswater. Het meeste onderzoek wordt verricht aan zee- en brakwater (30%) gevolgd door grondwater (25%), oppervlakte water (15%), effluent- en afvalwater (15%) en drink- en demiwater (15%).

De typen vervuiling zijn verdeeld in een aantal hoofdgroepen. In de gevonden referenties wordt anorganisch vervuiling het meest genoemd (35%), gevolgd door organische vervuiling (30%), biofouling (20%) en ten slotte deeltjesvervuiling (15%). In veel referenties worden er combinaties van verschillende vervuilingstypen vermeld. Het is mogelijk dat bepaalde vervuilingstypen niet als zodanig worden onderkend door de auteurs van de referenties, zodat de verhoudingen wellicht een vertekend beeld geven van de realiteit.

Biofouling wordt bij nagenoeg elk voedingswater type genoemd als vervuilingstype, in het bijzonder bij zeewater (Ebrahim & Malik, 1987; Sadwani et al, 2002). Opvallend is dat biofouling ook optreedt tijdens NF en RO van het relatief hoog kwalitatieve voedingswatertype drinkwater (Labib et al, 2003; Pervov, 1999). Gedetailleerde gegevens over de samenstelling van het onderzochte drinkwater ontbreken echter. Ook de andere vervuilingstypen kunnen niet in verband worden gebracht met een bepaalde voedingswatertype.

De TDS-waarden komen overeen met de desbetreffende watersoort. Zo is de TDS voor zeewater ongeveer 35 g/l, ligt de TDS van brak- en putwater tussen 2- 10 g/l, is de TDS van grond-, oppervlakte en drinkwater <3,5 g/l en is de TDS van gedemineraliseerd water kleiner dan 0,3 g/l. Het elektrische geleidingsvermogen is voor alle watertypen ander dan zeewater kleiner dan 1,6 mS/cm, voor zeewater ligt deze waarde rond de 55 ms/cm. De gevonden TOC-waarden voor alle watertypen liggen tussen 2-8 mg/l.

In tabel 4 staan de proces- en membraangegevens vermeld uit de diverse referenties. De focus van dit rapport is op reinigingsservaringen van NF en RO membranen, met respectievelijk 25% en 70% van de referenties over NF en RO. In enkele referenties (Cho et al, 1999; Kimura et al, 2004) worden echter ook UF-membranen meegenomen als vergelijking.

Tabel 4 Proces- en membraangegevens uit diverse referenties

Nr	Procesgegevens			Membraangegevens				
	Proc	Schaal	TMP	Duur	Membr.	Leverancier	Type	A _m
[-]	[-]	[-]	[bar]	[dagen]	[-]	[-]	[-]	[m ²]
1	RO	-	-	-	-	-	-	-
2	RO	-	-	-	-	-	-	-
3	RO	lab	9,65	-	PA	Hydranautics	-	0,02
4	RO	lab	13,8	0,5	PA	Fluid systems	-	0,56
5a	UF	bench	-	1	PES	-	NTR7410	-
5b	UF	bench	-	1	PES	-	NTR7410	-
6	RO	full-scale	69	-	PA	Filmtec	FT 30	-
7	NF	lab	5,5	3-4	sulf.PES	Hydranautics	NTR-7450	0,02
8a	NF	lab	13,8	-	PA	-	-	2,3E-03
8b	RO	lab	13,8	-	PA	-	-	2,3E-03
9	NF	bench	4	112	PA	Stork	Tubulair	2,2
10a	RO	full-scale	-	177-618	PA	-	UOP1501/8600	-
10b	RO	full-scale	-	50-529	PA	DuPont	B-10 / B-9	-
10c	RO	full-scale	-	253-638	CA	Enro	Plate-frame G4	-
11a	RO	bench	-	-	PA	DuPont	B9-0840	-
11b	RO	bench	-	-	PA	DuPont	B10-6840	-
11c	RO	bench	-	-	CA	Fluid systems	ROGA 8150s	-
12	RO	-	-	-	-	-	-	-
13	RO	full-scale	-	-	CA/PA	-	-	-
14	NF	bench	-	126	PA	Hydranautics	ESNA 2540	2,1
15	RO	full-scale	27,6	2920	CA	DuPont	B-9	-
16	UF	bench	0,5	120	PSf	Hitachi	hydrophobic	-
17	RO	lab	24,1	17	PA	Osmonics	MS19/DS11	-
18	RO	lab	17	8	PA	-	5	1,3E-03
19a	RO	bench	-	-	PA	Hydranautics	CPA2	35
19b	RO	bench	17	35	PA	Filmtec	TW30-2540	-
20	NF	lab	6,8-8,3	0,3	PA	Filmtec	NF-270	4,1E-04
21	NF	lab	8,3	0,125	PA	Filmtec	NF-90/NF-270	4,5E-03
22	NF	bench	8	7	PA	Filmtec	NF255-400	30,8
23	RO	full-scale	11,5	730	PA	Filmtec	BW30-400	2453
24	RO	lab	17	0,2	PA	Filmtec	FT30	0,009
25	RO	lab	25	0,05	PA	Filmtec	FT30	0,002
26	RO	-	-	-	-	-	-	-
27	RO	bench	-	83	CA/PA	-	4040-type	-
28a	RO	bench	-	0,125	-	-	TFC	7,5
28b	RO	bench	-	0,125	-	-	TFC	7,5
29a	RO	full-scale	-	4380	-	-	-	2100
29b	RO	full-scale	-	2920	-	-	-	3675
29c	RO	full-scale	-	365	-	-	-	2100
30	RO	bench	67	-	PA	Filmtec	SW30HR	35
31	RO	bench	67	90	PA	Filmtec	SW30HR	35
32	RO	bench	-	800	PA	Koch	TFC2832SS-540	-
33	NF	bench	5,5	420	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-
34	RO	bench	30	200-2000	PA	-	HFF & SW	35

De schaal van de reinigingsexperimenten in de diverse referenties verschilt sterk en is gekoppeld aan het membraanoppervlak van de geteste membranen. Er worden drie schalen gehanteerd in tabel 4. In laboratorium schaal experimenten (lab) worden membraanreinigingsexperimenten uitgevoerd op zeer kleine schaal met een membraanoppervlak van kleiner dan 0,5m². Ongeveer 35% van de reinigingsexperimenten is op laboratoriumschaal uitgevoerd in de referenties. Onder de categorie bench-scale experimenten vallen reinigingsexperimenten die worden uitgevoerd op volledige membraanelementen, zoals 2,5-inch, 4-inch of 8-inch membraanelementen met respectievelijk een membraanoppervlak van 2,5m², 7,5m² en 35m². Ongeveer 45% van de reinigingsexperimenten is op bench-scale uitgevoerd in de referenties. In enkele gevallen (ca. 20% van de referenties) worden reinigingen uitgevoerd op volledige installaties (full-scale). Full-scale installatie bestaat uit een schakeling van diverse membraanelementen (meestal van het 8-inch type) en het totale membraanoppervlak van een installatie bedraagt dan een veelvoud van het membraanoppervlak van een enkel element.

De transmembraandruk (TMP) van de meeste NF en RO experimenten liggen tussen 5-15 bar. Voor de watertypen brak-, put-, en afvalwater wordt een experimentele TMP gehanteerd tussen 15-30 bar. Voor zeewater ligt de TMP nog hoger (ca. 65 bar). De duur van de experimenten is voor laboratorium schaal experimenten meestal enkele uren tot maximaal één week, voor bench-scale enkele weken tot enkele maanden en voor full-scale meestal enkele maanden tot zelf jaren.

De onderzochte membranen zijn voor het overgrote deel polyamide (PA) TFC membranen. In een enkele referentie worden nog cellulose acetaat (CA) membranen bestudeerd. De gebruikte membranen zijn meestal van de bekende membraanleveranciers DuPont, Hydranautics of Filmtec. In enkele referenties worden ook Fluid Systems, Koch en Osmotic membranen gebruikt. Verschillende typen membranen worden gebruikt in de referenties (zie tabel 4).

In tabel 5 wordt de voorbehandelingstrein weergegeven van diverse watertypen. Alleen de referenties zijn weergegeven waarvan de voorbehandeling bekend is. Voor de overige referenties geldt dat er geen voorbehandeling aanwezig is of dat de voorbehandeling niet wordt vermeld in het artikel.

In tabel 5 valt op dat de voorbehandeling sterk verschilt per referentie en dat er geen verband kan worden ontdekt tussen het watertype en het type voorbehandeling. Het valt verder op dat de meeste voorbehandelingen bestaan uit zandfiltratie en/of fijnfiltratie.

Tabel 5 Voorbehandelingrein van diverse watertypen

Ref nr. (tabel 3)	Watertype	filters (5 of 10µm)	coagulatie	sedimentatie	flotatie	x zandfiltratie	actieve kool	ontharding	MF/UF	nanofiltratie	dosering zuur	dosering bisulfit	dosering base	dosering AS
7	OW	X	X											
9	EW									X				
10a	ZW	X					X							
10b	ZW	X	X	X										
10c	ZW	X												
14	GW								X					
15	PW	X									X			X
16	OW			X										
19b	AW								X		X			
22	OW				X	X	X							
23	BW	X				X		X						
28a	GW													X
28b	DrW													X
29a	EW/GW	X				X		X				X	X	
29b	GW	X									X			
29c	EW/GW	X				X		X				X	X	
32	ZW	X	X			X								X
33	OW		X	X		X								

3.5.3 Verwijdering van biofouling

Een selectie is gemaakt uit de geraadpleegde literatuur op basis van het vervuilingstype. Alleen de referenties waarin biofouling een rol speelt (zie tabel 3) zijn meegenomen in dit onderdeel. In tabel 6 zijn de reinigingsmiddelen opgesomd die worden toegepast voor verwijdering van biofouling ingedeeld in de classificatie van §3.3.

Tabel 6 Verschillende reinigingsmiddelen tegen biofouling

groep	reinigingsproduct	groep	reinigingsproduct
zuren	(per)azijnzuur	biocide	waterstofperoxide
	citroenzuur		formaldehyde
	Ultrasil P75		metacide
	zwavelzuur		Na ₂ S ₂ O ₄
basen	oxaalzuur	detergent	natriumtripolyfosfaat
	zoutzuur		Triton X
	tannine zuur	enzymen	Lutanol M40 (PVME)
	Ultrasil P10		VR2604/14
	Ultrasil P141		bevaloid
complexeerders	NaOH		Ultrasil P50
	NH ₄ OH	andere	alcohol
	borax		NaCl
	EDTA		spons reiniging
	Na ₅ P ₃ O ₁₀		lucht

Uit tabel 6 volgt dat reinigingsmiddelen worden gebruikt uit elke groep om biofouling te verwijderen. Er worden hiervoor zowel basischemicaliën

gebruikt als commerciële producten. Voor meer informatie over de commerciële producten wordt verwezen naar bijlage III. De reinigingsmiddelen zoals opgesomd in tabel 6 worden meestal in combinatie toegepast, zo worden bijvoorbeeld detergenten vaak gemengd met basen (DiGiano et al, 2000; Sadwani et al, 2002 en Speth et al, 1998) of basischemicaliën met commerciële producten (Carnahan et al, 1995; Sadwani et al, 2002). Ook worden de membraanreinigingen vaak toegepast in verschillende twee of drie stappen, wederom met combinaties van reinigingsmiddelen (Darton en Turner, 1991; Ebrahim en Malik, 1987; Labib et al, 2003; Sadwani et al, 2002 en Speth et al, 1998). Tenslotte wordt er in een aantal referenties melding gemaakt van mechanische reiniging door gebruikmaking van sponzen (Carnahan et al, 1995) en van hydraulische reiniging met lucht (Labib et al, 2003).

De reinigingsprocedure is vaak zeer complex. Zoals hierboven is beschreven worden er mengsels gebruikt van diverse reinigingsmiddelen. Bovendien worden deze producten toegepast met verschillende concentraties, op verschillende temperaturen, met verschillende reinigingstijden en met verschillende langstroomsnelheden. Een selectie van de eerste stap van de procedures voor verwijdering van biofouling is gegeven in tabel 7.

Het eerste dat opvalt in tabel 7 is dat de gegevens zeer onvolledig zijn, van geen enkele referentie is de complete reinigingsprocedure volledig bekend. In enkele referenties wordt er uitsluitend melding gemaakt van een reinigingsduur (Pervov, 1999). Het is daarom moeilijk om algemene uitspraken te doen over membraanreiniging uit de literatuur. De volgende observaties zijn dan ook geheel gebaseerd op onvolledige gegevens en worden dus gemaakt onder voorbehoud.

De concentratie van het gebruikte reinigingsproduct hangt sterk af van het toegepaste reinigingsmiddel en ligt tussen 0,05% en 5%, met een gemiddelde concentratie van 1%. De temperatuur van het reinigingsmiddel is meestal omgevingstemperatuur rond de 20-35°C, echter in een enkel geval wordt gereinigd bij hogere temperaturen tot maximaal 55°C. De langstroomsnelheid tijdens reiniging is groter of komt overeen met de langstroomsnelheid tijdens normale bedrijfsvoering. De langstroomsnelheid tijdens reiniging ligt tussen 0,1-0,5 m/s, bij normale bedrijfsvoering ligt de langstroomsnelheid tussen 0,1-0,2 m/s. Een hogere langstroomsnelheid vergroot de turbulentie langs het membraanoppervlak en resulteert in een betere afvoer van de vervuilende componenten en het reinigingsmiddel (Cornelissen, 1997). De pH tijdens de reiniging hangt sterk af van het gebruikte reinigingsproduct en ligt tussen 2-12. De minimale en maximale pH-waarde tijdens reiniging is afhankelijk van het type membraanmodule en meer specifiek van het membraanmateriaal.

Tabel 7 Reinigingsprotocol van de eerste stap voor biofouling reiniging

Nr [-]	reinigingsproduct	Conc. [%]	Temp [oC]	snellheid [l/h]	pH [-]	tijd [min]	weken [min]	frq. [#]	Stap [#]
3	6 types	5-10	-	-	-	-	1080	-	1
3	azijnzuur	1M	-	-	-	-	1080	-	1
3	azijnzuur/ H ₂ O ₂	0,5M	-	-	-	-	1080	-	1
3	NaCl	10	-	-	4	-	240-360	-	3
6	basisch detergent	-	-	-	12	-	-	-	2
7	anion.detergent/NaOH	0,03	-	0,1m/s	10,3-11	60	-	2	1
9	H ₂ O ₂	<	-	0,5m/s	-	-	-	-	1
10a	citroenzuur/NH ₄ OH	2	25-40	4600/9100	2,5	45/60	-	-	2
10b	citroenzuur/formaldehyde	2/0,5	35	-	4	-	-	-	3
10b	Ultrasil P10	0,5	35	-	12	1560	-	-	3
10b	citroenzuur	2	35	-	4	1500	-	-	3
10b	Ultrasil P10	0,5	35	-	8	2820	-	-	3
10c	citroenzuur/NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60-120	-	-	3
10c	citroenzuur/NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60-120	-	-	2
19a	zuur	-	50-55	0	<	15	-	1	3
22	13 types	0,05-0,3	25	800-2000	2-12	15	-	1	3
28a	citroenzuur	2,0	-	-	-	90	-	-	1
28a	detergent	-	-	-	-	30-165	-	-	1
28a	tripolyfosfaat	-	-	-	-	45-180	-	-	1
28b	metacide	-	-	-	-	60/180	-	-	1
28b	tripolyfosfaat	-	-	-	-	60/180	-	-	1
31	NaOH	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	>	60	-	5	1
31	HCl	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	<	60	-	5	1
31	NaOH	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	>	60	-	5	2
31	NaOH/Ultrasil P10	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	>	60	-	5	1
31	HCl/Ultrasil P75	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	<	60	-	5	1
31	HCl/Ultrasil P75	0,5;0,8-1,0	20-22	2000	<	60	-	5	2
33	hydraulisch	-	-	0,2m/s	-	45	-	-	1
33	zwavelzuur	-	-	0,2m/s	2	45	-	-	1
33	comm. base/detergent	-	-	0,2m/s	-	45	-	-	1
33	zwavelzuur	-	-	0,2m/s	2	45	-	-	2
33	comm. base/detergent	-	-	0,2m/s	-	45	-	-	2
33	hydraulisch + zuur	-	-	0,2m/s	2	45	-	-	1
33	hydraulisch + base/detergent	-	-	0,2 m/s	-	45	-	-	1

De duur van de membraanreiniging varieert sterk per referentie. In tabel 7 loopt de reinigingsduur voor reinigingsprotocollen voor de verwijdering van biofouling uiteen van 15 minuten tot 26 uur. Farinas et al (1987) beschrijft zelfs een reinigingsprotocol met een totale duur van 115 uur. In tabel 7 is eveneens de inweektijd weergegeven. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen reinigingsduur en weektijd, waarbij tijdens reiniging een langsstroming wordt gehanteerd, wordt bij weken het reinigingsproduct zonder langsstroming in het membraanelement gehanteerd. De inweektijd varieert eveneens sterk en bedraagt 4 tot 16 uur. Tenslotte wordt in tabel 7 de frequentie van de reiniging en het totale aantal reinigingsstappen vermeld

Concluderend kan worden vermeld dat membraanreiniging voornamelijk kwalitatief, ongedetailleerd en onvolledig worden beschreven in de

literatuur. Er bestaat geen uniformiteit in de wijze waarop de reinigingsprotocollen worden uitgevoerd, bovendien verschillen ze sterk van elkaar op basis van vooral type en concentratie van het reinigingsproduct en de reinigingsduur. Veel van de beschreven reinigingsprotocollen worden getest en geselecteerd onder veranderende condities. Kortom, het vinden van het juiste reinigingsprotocol berust meer op 'trial and error'. De gemiddelde reinigingsmethode voor de verwijdering van biofouling vindt plaats bij een concentratie van 1,0% reinigingsmiddel bij een temperatuur van 30°C en een reinigingsduur van ca. 1-2 uur.

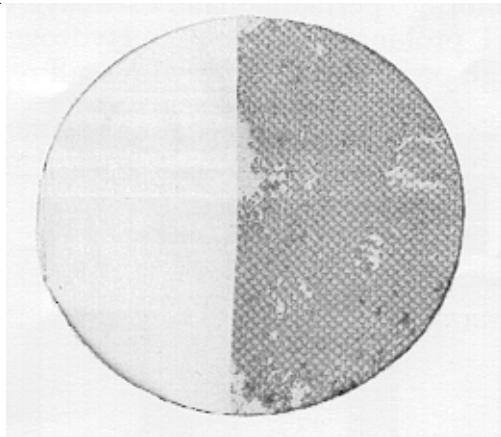
3.6 Effectiviteit van membraanreiniging

Uit de inventarisatie studie van de 15-tal NF/RO-installaties bij de Nederlandse drinkwaterbedrijven, volgt dat er geen directe informatie beschikbaar is over de evaluatie van membraanreiniging (Cornelissen, 2005). Hierbij wordt gedacht aan kwantitatieve gegevens over de verbetering van MTC-, TMP- en/of NPD-waarden als gevolg van een reiniging.

Gegevens over de effectiviteit van membraanreiniging uit literatuurgegevens geven meer informatie. Er zijn verschillende methoden om het effect van membraanreiniging te bepalen. Deze kunnen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen :

- Proces gerelateerde parameters;
- Fysisch chemische parameters;
- Biologische parameters.

Deze groepen van parameters worden hieronder in meer detail besproken.



Figuur 6 Het effect van membraanreiniging

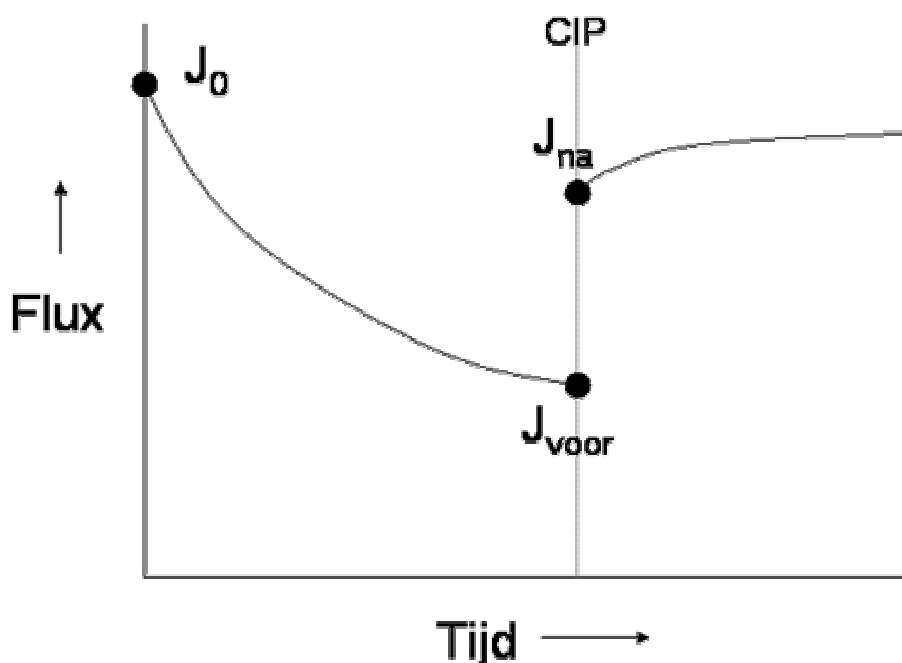
3.6.1 *Proces gerelateerde parameters*

Proces gerelateerde parameters zijn gebaseerd op een verandering van de flux, druk en retentie als gevolg van een membraanreiniging. Dit zijn in grote lijnen dezelfde parameters die worden gebruikt bij de bepaling van het reinigingsmoment (zie §3.1) . De parameters kunnen on-line worden gemeten in de installatie voor en na membraanreiniging en vereist geen ingreep in het proces zelf. Hieronder een opsomming van de proces gerelateerde parameters zoals gevonden in de literatuur:

- Flux recovery ratio $FR = J_{na} / J_{voor}$;
- Relatieve schoon water flux $RF = J_{na} / J_0$;

- Transmembraandruk recovery ratio TMP_{na}/TMP_{voor} ;
- Drukval recovery ratio $\Delta P_{na}/\Delta P_{voor}$;
- Retentie recovery ratio $RR = R_{na}/R_{voor}$.

Een succesvolle membraanreiniging zal resulteren in een toename van de FR, RF en RR en in een afname van de transmembraandruk en drukval recovery ratio's. In literatuur worden de FR, RF en RR het meest toegepast. De transmembraandruk recovery ratio en de drukval recovery ratio wordt uitsluitend toegepast door Graham (1989). Hieronder zal alleen de FR, RF en RR worden gebruikt van de proces gerelateerde parameters. FR en RF worden bepaald uit de begin flux van het schone membraan (J_0), de flux voor de membraanreiniging (J_{voor}) en de flux na membraanreiniging (J_{na}). Deze parameters worden aanschouwelijk gemaakt in figuur 7.



Figuur 7 Flux tijd curve met daarin J_0 , J_{voor} en J_{na}

De flux recovery ratio (FR) varieert sterk in de gevonden referenties en hangt vooral af van de membraanreiniging. De FR-waarde hangt echter ook af van de voorgeschiedenis van het vervuilde membraan, het type membraanvervuiling en het type membraan. De FR-waarde is de ratio tussen de flux na en de flux voor membraanreiniging en bepaalt de effectiviteit van de reiniging. In de referenties zijn FR-waarden gevonden uiteenlopend van 0,75 (negatief effect van reiniging) tot 3,66 (goede reiniging). In een enkel geval wordt er een FR-waarde gevonden van 7,33 (Koo et al, 1999) waarbij wordt gereinigd met een geconcentreerd en gecodeerd reinigingsmiddel. Voor een effectieve reiniging dient de FR-waarde groter te zijn dan 1,0. Indien de FR-waarde zeer hoog is, kan er echter sprake zijn van beschadiging van het membraan als gevolg van de membraanreiniging. Enkele voorbeelden van succesvolle reinigingsprocedures waarbij $FR > 2,0$ worden gerapporteerd door Liikanen et al (2002) en Maedani (2001). Meerdere reinigingsprocedures worden beschreven, echter een relatief korte reiniging (15-30 minuten) op een

hoge pH (10-11) en een hoge langsstroomsnelheid van 0,45 m/s met een combinatie van EDTA, SDS en NaOH lijkt veelbelovend. Het succes van deze membraanreiniging is vermoedelijk vooral toe te schrijven aan de hoge langsstroomsnelheid. Lagere langsstroomsnelheden van 0,1-0,2 m/s resulteren in minder succesvolle reinigingsprocedures (Speth et al, 1998; DiGiano et al, 2000).

De RF-waarde bepaalt in hoeverre de schoonwaterflux wordt benaderd als gevolg van een membraanreiniging na vervuiling. De relatieve schoon water flux (RF) varieert eveneens sterk in de gevonden referenties. In de referenties zijn RF-waarden gevonden uiteenlopend van 0,15 (slechte reiniging) tot 1,0 (goede reiniging). Indien er RF-waarden worden gevonden die groter zijn dan 1,0 dan kan er sprake zijn van beschadiging van het membraan als gevolg van de membraanreiniging. Enkele minder succesvolle reinigingsprocedures met RF-waarden <0,5 worden gerapporteerd door Madaeni & Mansourpanah (2004). Vermoedelijk zijn de lage RF-waarden te wijten aan het gebruik van zure reinigingsmiddelen voor de verwijdering van organisch materiaal, vooral eiwitten en vetten. Succesvolle reinigingsprocedures met RF-waarden van ca. 1,0 worden gerapporteerd in diverse referenties (DiGiano et al, 2000; Li en Elimelech, 2005; Madaeni & Mansourpanah, 2004). Het succes van de reinigingsmethoden is toe te schrijven aan het gebruik van combinaties van EDTA, NaOH en anionische detergenten, vooral SDS. Dit komt overeen met de resultaten van de FR-waarden.

De RR-waarde bepaalt de effectiviteit van membraanreiniging op basis van de verhouding van de retentie van het elektrische geleidingsvermogen voor en na membraanreiniging. De retentie recovery ratio (RR) varieert sterk in de gevonden referenties. In de referenties zijn RR-waarden gevonden uiteenlopend van 0,35-2,4. Bij RR-waarden <1,0 neemt de retentie af als gevolg van membraanreiniging, en kan zowel het gevolg zijn van een verwijdering van een vervuilingsslaag als van het beschadigen van het membraan. RR-waarden van >1,0 kunnen eveneens gevonden worden bij effectieve reinigingen. De interpretatie van een RR-waarde is lastig en zal in combinatie met RF en FR worden geëvalueerd.

Concluderend kan gezegd worden dat de procesgerelateerde parameters nuttig zijn tijdens de bedrijfsvoering van membraaninstallaties, omdat ze worden vastgesteld tijdens de bedrijfsvoering. De installatie hoeft niet te worden gestopt en membranen hoeven niet uit de installatie te worden gehaald om de effectiviteit van de reiniging te beoordelen. De interpretatie van deze parameters is echter lastig en kan in sommige gevallen alleen worden gedaan na enkele dagen van bedrijfsvoering na membraanreiniging, omdat de bedrijfsparameters niet direct zijn ingesteld na reiniging. Voor de membraanflux is dit schematisch weergegeven in figuur 7.

3.6.2 *Fysisch chemische parameters*

Fysisch-chemische parameters zijn gebaseerd op een absolute of percentuele hoeveelheid verwijderd materiaal van het membraanoppervlak. Deze parameters kunnen worden bepaald uit massabalans bepalingen of uit

destructief onderzoek bij autopsie studies. Massabalans bepalingen kunnen worden uitgevoerd met monstername metingen van de voeding-, concentraat- en permeaatstroom. Deze methode is niet destructief echter doorgaans zeer onnauwkeurig vanwege de indirecte bepaling gecombineerd met analytische onnauwkeurigheden. Autopsie studies zijn wel destructief echter leiden tot nauwkeurigere meetresultaten. In de literatuur zijn waarden gevonden voor de verwijdering van aluminium met diverse zuren (Liikanen et al, 2002), calcium met EDTA en diverse zuren (Farinas, 1987; Hatch en Workman, 1984; Liikanen et al, 2002), magnesium met EDTA en diverse zuren (Farinas, 1987; Hatch en Workman, 1984), ijzer met citroenzuur en polyfosfaten (Pervov, 1991; Liikanen et al, 2002; Ebrahim en Malik, 1987; Farinas, 1987; Hatch en Workman, 1984) en tenslotte voor total solids (Liikanen et al, 2002; Pervov, 1999).

3.6.3 *Biologische parameters*

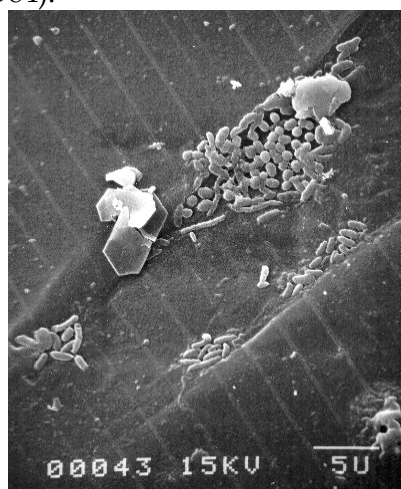
In enkele referentie is de afdoding en/of verwijdering beschreven van bacteriën en/of biofilms van oppervlakken of suspensies.

Penna et al (2001) ontwikkelde en suspendeerde twee bacterie culturen in een zout oplossing, een cultuur van lyofiele bacteriën en een referentie bacterie cultuur. Deze bacteriële suspensie is onderworpen aan diverse chemische producten die gebruikt worden voor desinfectie doeleinden. Hierna is de levensvatbaarheid van de bacteriën onderzocht door uitplating op agar voedingsbodems. Enkele door Penna et al (2001) onderzochte chemicaliën worden ook gebruikt bij membraanreiniging, zoals onder andere formaldehyde, natriumhypochloride, waterstofperoxide en perazijnzuur. De minimale concentraties van deze chemicaliën om diverse bacterie populaties 6-log eenheden te reduceren zijn respectievelijk 0,02%, 0,06%, 0,2% en 2%. Hieruit blijkt dat vooral perazijnzuur het minst effectief is voor het afdoden van cellen dan andere chemicaliën.

Johansen et al (1997) gebruikten verschillende enzymatische producten om geprepareerde biofilms van verschillende harde oppervlakken te verwijderen, zoals RVS en polypropyleen oppervlakken. Verwijdering van de biofilms door de enzymen werd bestudeerd met fluorescentie microscopie om het aantal levende en dode cellen te bepalen. Het blijkt dat oxidoreductase enzymen biofilms afdoden onder voldoende aërobe omstandigheden, maar niet verwijderen. Verwijdering vond wel plaats met polysaccharide hydrolyserende enzymen; deze enzymen vertoonden echter geen afdoding van de biofilm. Er werd daarom geconcludeerd dat een cocktail van diverse typen enzymen effectief zouden zijn bij de afdoding en verwijdering van biofilms. Een dergelijke conclusie wordt eveneens getrokken in een US-patent voor het doseren van enzymen om biofouling te verwijderen (Baldridge et al, 2004).

Whittaker et al (1984) beschrijft de verwijdering van biofilms van RO membraanoppervlakken uit de full-scale installatie Water factory 21 waarin effluent gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater. Verschillende geselecteerde reinigingsmiddelen worden ingedeeld in een 5-tal groepen (zie

§ 3.3) en worden met elkaar vergeleken op basis van verwijderingsefficiëntie van biofilms. De verschillende methoden die hiervoor worden aangewend zijn ATP-metingen, eiwit analyse, TDC en SEM onderzoek. Een voorbeeld van een SEM foto met een membraan met biologische vervuiling is gegeven in figuur 8. Het blijkt dat ureum-SDS mengsels en Biz (een commercieel enzymatisch wasmiddelpduct) de meest effectieve reinigingsmiddelen zijn. In het algemeen waren die mengsels van producten effectief die een combinatie van complexerende (EDTA), oppervlakte actieve (SDS, Biz) en denaturerende (ureum) eigenschappen hadden. Tenslotte werd geconcludeerd dat SEM de meest directe methode is om biofilm verwijdering te onderzoeken. TDC correleerde niet met het SEM onderzoek uitgevoerd door Whittaker et al (1984).



Figuur 8 Biologische membraan vervuiling

Het verschil tussen afdoding en verwijdering van biofilms van harde oppervlakken werd bestudeerd door Chen en Stewart (2000). Verschillende bacterie culturen werden aangebracht op RVS-wanden van een bioreactor. Verschillende overwegend basis chemicaliën werden gebruikt voor de afdoding en verwijdering van biofilms. Levensvatbaarheid van cellen werd bepaald door uitplating op agar voedingsbodems, en eiwitbepalingen geven een indicatie over de hoeveelheid biomassa. Het blijkt dat bepaalde chemicaliën effectief zijn bij het afdoden van biomassa, echter minder effectief zijn bij de verwijdering van biofilms, zoals monochlooramine. Andersom werkt SDS effectief bij de verwijdering van biomassa, echter minder effectief bij het afdoden. Voor succesvolle verwijdering van biofilms is afdoding minder relevant.

Concluderend zijn er diverse biologische methoden beschikbaar om biofilms te bestuderen, zowel de totale biomassa als de levende fractie van de biomassa. Hierdoor is het mogelijk een onderscheid te maken tussen afdoding en verwijdering van biofilms als gevolg van chemische reiniging. Het blijkt belangrijker om biomassa te verwijderen dan het alleen af te doden. De meest succesvolle reinigingsmiddelen bevatten mengsels van producten met complexerende (EDTA), oppervlakte actieve (SDS, Biz) en denaturerende (ureum) eigenschappen. Complexerende chemicaliën binden de multivalente kationen, zoals vooral calcium die crosslinks vormen in de biofilms (Chen en

Stewart, 2000). Oppervlakte actieve stoffen (vooral anionische detergenten) zijn in staat de biomassa te solubiliseren (Whittaker et al, 1984). Denaturerende chemicaliën zijn in staat polysaccharide te inactiveren of de structuur te veranderen afhankelijk van de duur van de behandeling.

4 Chemische resistentie

4.1 Introductie

Toepassing van chemische reiniging kan membraanvervuiling beperken, maar kan gepaard gaan met het verlies van integriteit van de membranen (Trägårdh, 1989). Whittaker et al (1984) vermeldt hierbij vooral het gebruik van oxiderende chemicaliën. Dit kan leiden tot een verslechtering van het scheidende vermogen van de membranen, resulterend in een kwaliteitsverlies van het behandelde water. In deze paragraaf staat de compatibiliteit of chemische resistentie van NF/RO membranen met reinigingsmiddelen centraal op basis van beschikbare gegevens. Wetenschappelijke literatuur naar chemische compatibiliteit focust zich met name op onderzoek naar chloor en chloorhoudende chemicaliën (zie § 4.3). Informatie over andere chemicaliën is afkomstig van een rapport van “Desalination Research and innovation Partnership (DRIP)” (§ 4.2.1) en van diverse NF/RO membraanleveranciers zoals Toray, Filmtec, Hydranautics en Desal (§ 4.2.2).

4.2 Compatibiliteitstesten

Bij de introductie van nieuwe reinigingsmiddelen of nieuwe membranen is het nodig om de chemische resistentie te testen van de producten op de membranen (Kelle Zeiher, 1996).

4.2.1 DRIP-rapport (Ishida et al, 2005)

Zeer weinig gedegen wetenschappelijke literatuur is beschikbaar over de compatibiliteit van NF/RO membranen met verschillende chemicaliën. Een positieve uitzondering hierop vormt het rapport van de “Desalination Research and Innovation Partnership (DRIP)”. Het doel van het onderzoek beschreven in dit rapport is de kennis te vergroten over de moleculaire interactie tussen chemische reinigingsmiddelen en verschillende typen RO membranen. Een hiaat in kennis is vastgesteld over de wijze van interactie tussen chemicaliën en membraanoppervlakken en het effect van chemische reinigingsmiddelen op de performance van de RO-membranen.

In de studie zijn acht typen RO membranen (PA-membranen, CA-membranen en een experimenteel PA-ureum type) onderzocht in combinatie met 37 chemische reinigingsmiddelen, verdeeld over de volgende groepen:

- Anionische reinigingsmiddelen;
- Anionische reinigingsmiddelen met chelaten;
- Kationische reinigingsmiddelen;
- Chelaten;
- Enzymen;
- Nonionische reinigingsmiddelen;
- Oxideerders;
- Zwitter ionische reinigingsmiddelen.

De membranen zijn gekarakteriseerd op basis van;

- hydrofobiciteit (met contacthoekmetingen);

- oppervlakte lading (met stromingspotentiaal metingen);
- oppervlakte ruwheid (met atomic force microscopy (AFM));
- moleculaire structuur (met Fourier transform infrarood spectroscopie (FT-IR)).

De interactie tussen de membranen en de chemische reinigingsmiddelen is bestudeerd met een beoordeling in de verschuiving van een FT-IR spectrum van een membraan voor en na interactie met een reinigingsmiddel. Verder zijn kwantitatieve structuur activiteitsrelaties of in het Engels quantitative structure activity relationships (QSAR) berekend voor elk chemische reinigingsmiddel. De membraan performance, zowel water- en zoutfluxen zijn ten slotte gecorreleerd met kunstmatige neurale netwerken of in het Engels artificial neural networks (ANN) aan deze QSARs.

Uit water- en zoutfluxen van de verschillende PA RO-membranen dat na één uur contact met de verschillende reinigingsmiddelen voornamelijk een daling werd gevonden voor beide parameters voor nonionische en cationische reinigingsmiddelen. Dit werd toegeschreven aan een krimp van de PA-toplaag structuur van deze membranen. Oxiderende reinigingsmiddelen leiden tot een toename in water- en zoutflux van de PA-membranen. CA-membranen vertoonden een minimaal effect aan verandering in water- en zoutfluxen, behalve in het geval van sterke oxiderende middelen die leidden tot een sterke toename voor zowel water- als zoutflux.

Met behulp van een verschuiving in FT-IR spectra van RO-membranen voor en na contact met diverse reinigingsmiddelen werd een uitspraak gedaan over de mate van interactie. De meeste reinigingsmiddelen (82%) vertoonden een sterke interactie met de verschillende membranen als gevolg van adsorptie. Deze resultaten kwamen echter niet geheel overeen met de resultaten van de water- en zoutfluxen. Er werd geconcludeerd dat deze methode (beoordeling van verschuiving in FT-IR spectra) niet gebruikt kan worden als enige parameter in de beoordeling van chemische compatibiliteit. Performance metingen zoals water- en zoutflux metingen blijven altijd noodzakelijk.

Voor de chemische reinigingsmiddelen werden verschillende QSAR's gebruikt, verdeeld over verschillende groepen zoals lading, polariteit, hydrofobiciteit en moleculaire complexiteit. Met kunstmatige neurale netwerken werden verschillende correlaties werden gelegd tussen deze QSAR's en de water- en zoutfluxen van de verschillende RO-membranen. Veel van de gebruikte QSAR's bleken een relatie te hebben met de water- en zoutfluxen van de membranen, echter de gevoeligheid varieerde sterk. Deze relaties kunnen worden gebruikt om het effect te voorspellen van chemische reinigingsmiddelen op de membraan performance. Op basis van het bovenstaande werd geconcludeerd dat de water- en zoutflux toeneemt met een toename in methyleen (CH₂) keten lengte binnen een homologe reeks van reinigingsmiddelen. Verder werd gevonden dat chemische reinigingsmiddelen met een hoge mate van chemische complexiteit en negatieve lading resulteerden in reductie van zoutpassage.

4.2.2 *Leveranciersinformatie*

Hiervoor bestaan verschillende procedures die verschillen per leverancier. Zo gebruikt Toray (Toray, 2003) zowel recirculatie testen als 'once through' testen om hun membranen te testen ten opzichte van verschillende reinigingsmiddelen. Filmtec gebruikt hiernaast statische testen waarbij membranen voor geruime tijd worden ondergedompeld in een reinigingsoplossing (Filmtec, 2000). Verder valt op dat voor gelijkaardige testen, zoals recirculatietesten geen overeenkomstige procesomstandigheden worden gekozen. Zo test Toray bijvoorbeeld 720 uur, terwijl Filmtec 1000 uur testen uitvoert. Ook toegepaste drukken, langsstroomsnelheden, membraanoppervlakken en fluxen variëren per procedure per leverancier. Ook zijn de meetmethoden niet gestandaardiseerd om de compatibiliteit te beoordelen. Zo bepaalt Toray de flux, de zoutretentie van een 1500 ppm NaCl-oplossing en de totale celtelling terwijl Filmtec enkel flux en zoutretentie van een 2000 ppm NaCl-oplossing bepaalt.

De compatibiliteit wordt door membraanleveranciers op verschillende manieren weergegeven. De compatibiliteit van Desal membranen wordt weergegeven in een tabel waarin diverse chemicaliën groepen, zoals onder andere organische groepen, oxiderende stoffen, anti scalants en oplosmiddelen, staan vermeld tegen 4 groepen Desal membranen. De compatibiliteit wordt in de meeste gevallen slechts uitgedrukt in 'ja' of 'nee'. In enkele gevallen wordt een hoeveelheid ppm-dagen vermeld. Op gelijkaardige kwalitatieve wijze presenteert Hydranautics de compatibiliteit van Hydracore-type membranen (Hydranautics, 2002).

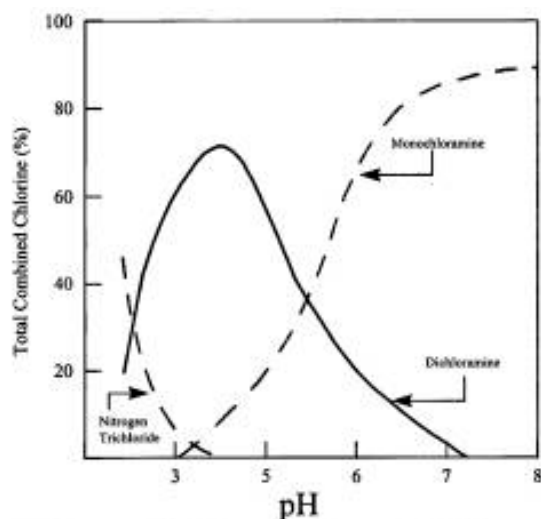
Concluderend kan worden gesteld door er geen standaardisatie bestaat voor compatibiliteitstesten. Bovendien wordt de compatibiliteit van membranen voor reinigingsmiddelen op een zeer kwalitatieve wijze gepresenteerd door membraanleveranciers. Een gedegen wetenschappelijke studie op het gebied van compatibiliteit ontbreekt heden ten dage.

4.3 **Chloorresistentie**

In de literatuur is relatief veel beschikbaar over de compatibiliteit van TFC-membranen met betrekking tot chloor. Chloor of chloorhoudende chemicaliën worden veelal gebruikt als biocide en maken een deel uit van de reinigingsmiddelen. Een onderscheid wordt gemaakt in :

- vrij chloor
- chloorverbindingen (zoals chlooramines)

Afhankelijk van de pH is vrij chloor aanwezig als hypochloriet (OCl^-) bij $\text{pH} > 8.5$ of als chloorzuur (HOCl) bij lage pH. Als chloor wordt gecombineerd met ammoniak (NH_3) worden chlooramines gevormd. Zo zijn monochlooramine (NH_2Cl), dichlooramine (NHCl_2) en trichlooramine (NCl_3) met elkaar in evenwicht afhankelijk van de pH (zie figuur 9). Bij een $\text{pH} > 8.5$ is er voornamelijk monochlooramine aanwezig.



Figuur 9 Verhouding van verschillende chlooramines in functie van de pH

Het effect van chloor op TFC PA-membranen is dualistisch. Bij korte contacttijden (< 2400 ppm.uur) met 0.1 mg/l chloor neemt de zoutretentie toe en de flux af en vindt een “krimp” plaats (Soice et al, 2004). Dit wordt beschouwd als een nabehandeling stap van commerciële TFC-membranen. Bij langere contacttijden neemt de zoutretentie af en de flux toe en vindt er degradatie plaats van de PA membraanstructuur (Knoell et al, 2005).

De performance (flux en retentie) van verschillende TFC-membranen in functie van de contacttijden van : (1) vrij chloor in de chloorzuur vorm (bij pH=5), (2) vrij chloor in de hypochloriet vorm (bij pH=9), (3) monochlooramine (bij pH=8.5) en (4) monochlooramine in aanwezigheid van 0.1 mg/l ijzer(II) is onderzocht door Knoell et al (2005). Er blijken verschillen te bestaan in chloorresistentie tussen de verschillende typen membranen. Concluderend werd gesteld dat veranderingen in de performance reeds werden waargenomen bij contacttijden van 25.000 ppm.uur aan chloor of chloorverbindingen. Dit komt overeen met 1 jaar bedrijfsvoering met TFC-membranen bij een dosering van 3.0 mg/l monochlooramines. De aanwezigheid van ijzer(II) versterkt het oxidatieve karakter van chloor en chloorhoudende verbindingen (Gabelich et al, 2005).

Contact met chloor leidt tot het loslaten van de PA toplaag structuur van de ondersteunende PSf structuur en het broos worden van de PA-membraan toplaag structuur (Soice et al, 2004). Dit laatste werd geconcludeerd uit een afname van de ductiliteit en veerkracht en een toename van stijfheid van de PA toplaag als gevolg van blootstelling aan chloor. Deze resultaten werden verkregen uit mechanische sterkte experimenten op dunne PA films aangebracht op druppels water na contact met verschillende concentraties aan chloor bij verschillende pH. Beschadiging van de PA-toplaagstructuur werd waargenomen bij een verandering van een lage pH naar een hoge pH<11 in de aanwezigheid van chloor. Dit vindt in de praktijk vaak plaats tijdens een membraanreiniging. Over het exacte mechanisme van deze beschadiging is veel literatuur verschenen (Glaser et al, 1994), echter valt dit buiten het bestek van dit rapport.

Onderzoek naar chloorresistente NF en RO membranen wordt reeds 35 jaar uitgevoerd. Desondanks is er heden ten dage geen succesvolle commercieel membraan beschikbaar die kan concurreren met de bestaande TFC PA-membranen. Een ideaal NF of RO membraan wordt gedefinieerd door Glater et al (1994) als een membraan met een goede performance (hogere flux en zoutretentie) gecombineerd met een goede chemische stabiliteit en chloorresistentie. Verschillende structuur eigenschappen worden opgesomd waaraan dit ideale membraan zou moeten voldoen (Glater et al, 1994).

5 Conclusies en aanbevelingen

Membraanvervuiling is een complex proces en is vaak het resultaat van een combinatie aan effecten. Er worden doorgaans vier **typen van membraanvervuiling** geclassificeerd, deeltjes en colloïdale vervuiling, scaling (of anorganische vervuiling), organische vervuiling en microbiële vervuiling of biofouling. Vaak treden deze verschillende typen van membraanvervuiling in combinatie met elkaar op. Membraanvervuiling kan worden verminderd door een uitgebreide voorbehandeling voor een membraanfiltratie installatie of door de toepassing van reinigingsmethoden. Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van beschikbare middelen en -ervaringen op het gebied van membraanreiniging van NF/RO-installaties onder andere voor het minimaliseren van biofouling in spiraalgewonden membraanelementen.

Het **moment van membraanreiniging** is essentieel. Er worden in de praktijk verschillende criteria gebruikt voor het bepalen van het reinigingsmoment, zoals afname van de MTC, toename van de TMP, toename van de zoutpassage en toename van de drukval. In de gevonden literatuur over membraanreinigingservaringen wordt echter zeer weinig gevonden over het moment van reiniging. Het moment van reiniging is enkel gebaseerd op bedrijfservaringen van membraaninstallaties en wordt gegeven door membraanleveranciers.

De verschillende **methoden voor membraanreiniging** kunnen worden onderverdeeld in vier groepen; mechanische reiniging, hydrodynamische reiniging, gas/water reiniging en chemische reiniging. Effectieve membraanreiniging hangt mede af van de afschuifkrachten die worden gerealiseerd aan het membraanoppervlak. Chemische reinigingsmethoden worden het meest toegepast voor de verwijdering van membraanvervuiling.

Vanwege de complexiteit van membraanvervuiling is een groot aantal **membraanreinigingsmiddelen** beschikbaar. Een onderverdeling van reinigingsmiddelen vindt plaats op basis van de reinigingsfunctie, zo worden de volgende productgroepen gebruikt bij chemische reinigingsmethoden : zuren, basen, complexeerdere of anti-precipitanten, biocides, detergenten, enzymen en chaotropen. Voor de verwijdering van biofouling worden combinaties gebruikt van biocides, detergenten, enzymen en chaotropen. Basen en complexeerdere kunnen een ondersteunende functie verrichten bij de verwijdering van biofouling.

Een **reinigingsprotocol** bestaat uit één of meerdere reinigingstappen afgewisseld met het uitspoelen van de reinigingsmiddelen met water. Binnen één reinigingstap zijn er een aantal parameters die van belang zijn voor de reiniging, zoals concentratie reinigingsproduct (of pH), temperatuur, langsstroomsnelheid en duur van de reiniging (zowel spoeltijd als inweektijd). Voor een optimale reiniging dienen deze reinigingsparameters in balans te zijn. Hoe deze balans er uit ziet is echter niet duidelijk en is maatwerk per specifieke situatie.

Uit de **ervaringen met membraanreiniging** van de Nederlandse waterbedrijven kan worden geconcludeerd dat een reinigungsstrategie vooral wordt bepaald door de voedingswaterkwaliteit en de visie van het waterbedrijf. Er is echter geen uniformiteit in de bepaling van de voedingswaterkwaliteit. Er is een behoefte aan een standaardprotocol voor het systematisch aanpakken en evalueren van een reiniging.

Uit de **literatuurstudie naar reinigungservaringen** blijkt dat slechts zeer weinig gepubliceerd onderzoek beschikbaar zijn op het gebied van chemische reiniging. Nog minder artikelen (ca 20%) blijken rechtstreeks verband te houden met het verwijderen van biofouling uit spiraalgewonden membraanelementen. Verder valt op dat vele referenties een onvolledig beeld geven van de voedingswatergegevens en het type membraanvervuiling. De onderzochte membranen zijn voor het overgrote deel polyamide (PA) TFC membranen.

Voor de **verwijdering van biofouling** uit spiraalgewonden membraanelementen worden zowel basischemicaliën als commerciële producten gebruikt. De reinigungsprocedure is vaak zeer complex, zo worden vaak mengsels gebruikt van diverse reinigungsmiddelen. De membraanreinigungs worden zeer ongedetailleerd en onvolledig beschreven in de literatuur. Er bestaat geen uniformiteit in de wijze waarop de reinigungsprotocollen worden uitgevoerd, bovendien verschillen ze sterk van elkaar op basis van vooral type en concentratie van het reinigungsproduct en de reinigungsduur. Veel van de beschreven reinigungsprotocollen worden getest en geselecteerd op 'trial & error'. Kortom, het vinden van een effectief reinigungsprotocol lijkt meer op kunst dan op wetenschap.

De **effectiviteit van membraanreiniging** wordt in de praktijk vastgesteld door een verbetering van de operationele parameters zoals MTC en NPD. In de literatuur worden verschillende methoden gevonden die kunnen worden ingedeeld in drie hoofdgroepen : proces gerelateerde parameters, fysisch chemische parameters en biologische parameters. Vooral proces gerelateerde en biologische parameters lijken interessant voor de beoordeling van de effectiviteit van membraanreiniging.

Proces gerelateerde parameters zijn nuttig tijdens de bedrijfsvoering van membraaninstallaties. De interpretatie van deze parameters is lastig en kan in sommige gevallen enkel worden gedaan na enkele dagen van bedrijfsvoering na membraanreiniging, omdat de bedrijfsparameters niet direct zijn ingesteld na reiniging.

Diverse **biologische methoden** zijn beschikbaar om biofilms te bestuderen voor en na membraanreiniging, zowel voor de bepaling van de totale biomassa als de levende fractie van de biomassa. De juiste methode moet worden geselecteerd op basis van onderzoek. Het is belangrijker om biomassa te verwijderen dan het enkel af te doden.

De **meest succesvolle reinigingsmiddelen** voor de verwijdering van biofouling bevatten mengsels van producten met complexerende (EDTA), oppervlakte actieve (SDS, Biz) en denaturerende (ureum) eigenschappen. Complexerende chemicaliën binden de multivalente kationen, zoals vooral calcium die crosslinks vormen in de biofilms. Oppervlakte actieve stoffen (vooral anionische detergenten) zijn in staat de biomassa te solubiliseren. Denaturerende chemicaliën zijn in staat polysaccharide te inactiveren of de structuur te veranderen.

Er bestaat geen standaard methode voor **compatibiliteitstesten** van membranen voor diverse reinigingsmiddelen. Bovendien wordt de compatibiliteit van membranen voor reinigingsmiddelen op een zeer kwalitatieve wijze gepresenteerd door membraanleveranciers. Een gedegen wetenschappelijke studie op het gebied van compatibiliteit ontbreekt heden ten dage.

Samengevat kan worden gesteld dat studies naar membraanreiniging een onoverzichtelijk beeld geven van de voedingswatersamenstelling, het type membraanvervuiling, de uitvoering van de reiniging en het resultaat van de membraanreiniging. De stand van de algemeen beschikbare membraanreinigingskennis is teleurstellend na jaren van onderzoek naar membraanfiltratie. Vermoedelijk is kennis beschikbaar bij leveranciers van reinigingsmiddelen, echter is deze informatie niet algemeen beschikbaar vanwege commerciële belangen. Een stap voorwaarts in het ophelderen van membraanreinigingsprocessen is het ontwikkelen van een protocol of systematiek voor de evaluatie van membraanreiniging in aanvulling op de inventarisatie van reinigingservaringen.

Aanbevelingen voor verder onderzoek worden hieronder opgesomd:

- Ontwikkelen van een standaardprotocol voor het uitvoeren en evalueren van een membraanreiniging, ten einde de effectiviteit van verschillende reinigingsmethoden onder praktijkomstandigheden te kunnen vergelijken.
- Ontwikkelen van een kleinschalige reinigungsopstelling om het effect van verschillende membraanreinigingsmiddelen en reinigingsmethoden te kunnen evalueren onder geconditioneerde omstandigheden.
- Berekenen van de kosten voor membraanreiniging voor verschillende membraanreinigingsmiddelen en reinigingsmethoden ten opzichte van de kosten voor een uitgebreidere voorzuivering.
- Bestuderen van milieu- en toxicologische aspecten van het gebruik en lozing van membraanreinigingsmiddelen.
- Bestuderen van de werking en het effect van enzymatisch reinigingsmiddelen op de verwijdering van biofouling.
- Onderzoek naar periodieke en continue dosering van lage concentraties aan biocides ter preventie of beheersing van biofouling.

6 Referenties

- Baldrige, J.W. & A. Michalow, *Biofilm reduction in crossflow filtration systems*, US Patent, 6.699.391, March, 2004.
- Bryers, D., *Biofilms II. Process analysis and applications*, Ed. James (2000) 337-381.
- Cabassud C., Laborie S. and Lainé J.M. (1997). *How slug flow can improve ultrafiltration flux in organic hollow fibres*. J. Membr. Sci. **128**, 93-101.
- Carnahan, R.P., L. Bolin & W. Suratt, *Biofouling of PVD-1 reverse osmosis elements in the water treatment plant of the city of Dunedin, Florida*, Desalination 102 (1995) 235-244.
- Chen, J.P., S.L. Kim & Y.P. Ting, *Optimization of membrane physical and chemical cleaning by a statistically designed approach*, J. Membr. Sci. 219 (2003) 27-45.
- Chen, X. & P.S. Stewart, *Biofilm removal caused by chemical treatments*, Wat. Res. 34(17) (2000), 4229-4233.
- Cho, J., G. Amy & J. Pellegrino, *Cleaning strategies for NOM-fouled membranes: cleaning-agent effectiveness and change in flux decline and NOM rejection after cleaning*, Proceedings of the membrane technology conference, 28th Feb- 3rd March, Long Beach (1999).
- Cornelissen, E.R. *Membrane fouling in wastewater filtration. Causes, consequences and prevention*. PhD-dissertatie, Technische Universiteit Twente, 1997
- Darton, E.G., & A.G. Turner, *Operating experiences in a seawater reverse osmosis plant in Gibraltar*, Desalination 82 (1991), 51-69.
- Darton, E.G., *Membrane chemical research: centuries apart*, Proceedings: Conference on membranes in drinking water and industrial water production, vol.2, Okt., L'Aquila, Italy (2000), 161-171.
- Deqian, R., *Cleaning and regeneration of membranes*, Desalination 62 (1987) 363-371.
- Desal, *chemical compatibility Desal membrane products*, p.1.
- Digiano, F.A., S. Arweiler & J.A. Riddick, *Alternative tests for evaluating NF fouling*, Journal Awwa, 92 (2) (2000) 103-114.
- Dudley, L & M. Fazel, *Crossflow studies to evaluate cleaning programs*, Ultrapure Water, Febr. (1997), 49-55.
- Duin, O. P. Wessels, H. van der Roest, C. Uijterlinde and H. Schoonewille, *Direct nanofiltration or ultrafiltration of WWTP effluent*, Proceedings: Conference on membranes in drinking water and industrial water production, vol.2, Okt., L'Aquila, Italy (2000), 105-112.
- Ebrahim, S. & A. Malik, *Membrane fouling and cleaning at DROP*, Desalination 66 (1987), 201-221.
- Ebrahim, S. *Cleaning and regeneration of membranes in desalination and wastewater applications: State-of-the-art*, Desalination 96 (1994), 225-238.
- Farinas, M., J.M. Granda, L. Gurtubai & M.J. Villagra, *Pilot experiences on the recovery of polluted reverse osmosis membranes*, Desalination 66 (1987), 385-402.
- Filmtec, *Filmtec membrane chemical compatibility testing guidelines*, june (2000), p.7.

- Gabelich, C.J., J.C. Franklin, F.W. Gerringer, K.O. Ishida & I.H. Suffet, *Chloramine tolerance of polyamide membranes: experiences with iron-coagulant residuals*, Proceedings of the membrane technology conference, 6-9th March, Phoenix (2005).
- Glater, J., S-K. Hong & M. Elimelech, *The search for a chlorine-resistant reverse osmosis membrane*, Desalination 95 (1994) 328-345.
- Graham, S.I., R.L. Reitz & C.E. Hickman, *Improving reverse osmosis performance through periodic cleaning*, Desalination 74 (1989), 113-124.
- Hatch, R.T., K. Workman & P.R. Comeau, *Operating results after replacement of acid and SHMP with the AF100 anitscalant at the Cape Coral municipal RO facility*, Proceedings of the 12th annual Conference of water supply Impr. Association (1984), 1-16.
- Hickman, C.E., *Membrane cleaning techniques*, Awwa Seminar Proceedings, Membrane Technologies in the Water Industry, March 10-13, Orlando (Fl) (1991) 329-344.
- Hong, S. & M. Elimelech, *Chemical and physical aspects of natural organic matter (NOM) fouling of nanofiltration membranes*, J. Membr. Sci. 132 (1997) 159-181.
- Hu, J.Y., L.F. Song, S.L. Ong, E.T. Phua & W.J. Ng, *Biofiltration pretreatment for reverse osmosis(RO) membrane in a water reclamation system*, Chemosphere 59 (2005), 127-133.
- Hydraunatics, HYDRACoRe. *Chlorine tolerant spiral wound NF color removal membrane elements*, <http://www.membranes.com/docs/tab/TABlog/pdf>, feb. (2002), 2-10.
- Ishida, K.P., R.M. Bold & D.W. Phipps, *Identification and evaluation of unique chemicals for optimum membrane compatibility and improved cleaning efficiency*. Submitted to : California Department of Water Resources, April (2005).
- Johansen, C., P. Falholt & L. Gram, *Enzymatic removal and disinfection of bacterial biofilms*, Appl. Environm. Microbiol., sept. (1997), 3724-3728.
- Kane, D.R. and N.E. Middlemiss, *Cleaning chemicals – state of knowledge in 1985*, in: Lund, D. (ed.); *fouling and cleaning – food processing*, 1985, 312-335.
- Kelle Zeiher, E.H., *Reverse osmosis iron and scale control: treatment, development and testing*, Ultrapure Water, March (1996), 36-41.
- Kimura, K., Y. Hane, Y. Watanabe, G. Amy & N. Ohkuma, *Irreversible membrane fouling during ultrafiltration of surface water*, Water Research 38 (2004) 3431-3441.
- Kiwa, BTO-rapport, *NF- en RO-installaties in beheer bij Nederlandse waterbedrijven. Overzicht ontwerpgegevens, bedrijfsvoering en membraanreiniging*, BTO 05.028, mei (2005).
- Knoell, T. *Municipal wastewater. Chlorine's impact on the performance and properties of polyamid membranes*. Ultrapure Water, April (2006).
- Knoell, T., E. Martin, K. Ishida & D. Phipps, *The effects of chlorine exposure on the performance and properties of polyamide reverse osmosis membranes*, Proceedings of the membrane technology conference, 6-9th March, Phoenix (2005).
- Koo, T., Y.J. Lee & R. Sheikholeslami, *Silica fouling and cleaning of reverse osmosis membranes*, Desalination 139 (2001), 43-56.
- Košutić, K. & B. Kunst, *RO and NF membrane fouling and cleaning and pore size distribution variations*, Desalination 150 (2002), 113-120.
- Labib, M.E., R. Lai, S.A. Weitzel & Y. Tabani, *Evaluation of cleaning spiral wounds membrane lements with the two-phase flow process*, Desal. & water purification R&D program report no.101, june (2003), 1-24.

- Laborie S, Cabassud C, Durand-Bourlier L. and Lainé J.M. (1997). *Flux enhancement by a continuous tangential gas flow in ultrafiltration hollow fibres for drinking water production: Effects of slug flow on cake structure*. *Filtr.&Sep.* **oct.** 887-891
- Li, Q. & M. Elimelech, *Natural organic matter fouling and chemical cleaning of nanofiltration membranes*, *Wat Sci. Techn.*: Water Supply, vol 4, no 5-6 (2004), 245-251.
- Li, Q. & M. Elimelech, *organic fouling and chemical cleaning of nanofiltration membranes :measurements and mechanisms*, *Environ. Sci. Technol.* 38 (2004), 4683-4693.
- Liikanen, R., J. Yli-Kuivila & R. Laukkanen, *Efficiency of various chemical cleanings for nanofiltration membrane fouled by conventionally-treated surface water*, *J. Membr. Sci.* 195 (2002), 265-276
- Liu, C, S. Caothien, J. Hayes, T. Caothuy, T. Otoyoy & T. Ogawa, *Membrane chemical cleaning : from art to science*, *Proceedings of the membrane technology conference*, 2-5th April, San Antonio (2001).
- Luo, M. & Z. Wang, *Complex fouling and cleaning-in-place of reverse osmosis desalination system*, *Desalination* 141 (2001), 15-22.
- Madaeni, S.S. & Y. Mansourpanah, *Chemical cleaning of reverse osmosis membranes fouled by whey*, *Desalination* 195 (2004), 13-24.
- Madaeni, S.S., T. Mohamamdi & M.K. Moghadam, *Chemical cleaning of reverse osmosis membranes*, *Desalination* 134 (2001), 77-82.
- Marshall, A.D., P.A. Munro and G.T. Agardh, *The effect of protein fouling in microfiltration and ultrafiltration on permeate flux, protein retention and selectivity. A literature review*. *Desalination* 91 (1993) 65-108.
- McDonald, J., D. Christophersen, *Reverse osmosis. Reduce membrane fouling with good CIP procedures*, *Ultrapure Water*, April (2004), 17-20.
- Mercier M., Fonade C. and Lafforgue-Delorme C. (1997). *How slug flow can enhance the ultrafiltration flux in minral tubular membranes*. *J. Membr. Sci.* **128**, 103-113
- Nyström, M. *Flux Enhancement*, in *Membranes in bioprocessing : Theory & Practice*, Blackie academic & prof. Editor : J.A. Howell & R.W. Field, 1993
- Paul, H. *Membrantrennung und Enidampfung, eine Wirtschaftliche und Umweltfreundliche Verfahrenskombination zur Aufarbeitung vanöhlhartige Industriewassern*, PhD-dissertatie, Universiteit van Aken, 1984.
- Penna, T.C.V., P.G. Mazzola & A.M.S. Martins, *The efficacy of chemical agents in cleaning and disinfection programs*, *BMC infectious diseases* 1:16 (2001), p.8.
- Pervov, A.G. *Scale formation prognosis and cleaning procedure schedules in reverse osmosis systems operation*, *Desalination* 83 (1991), 77-118.
- Pervov, A.G., *A simplified RO process design based on understanding of fouling mechanisms*, *Desalination* 126 (1999) 227-247.
- Peters, J., J. Bossler & D. Moyer, *Membrane cleaning: the advantages of off-site cleaning of RO membranes*, *Ultrapure Water*, April (2004), 21-26.
- Poulson, L.V., *Microbial biofilm in food processing*, *Lebensm.-Wiss. U. Techn.* 32 (1999) 321-326.

- Ridgeway, H.F. and H-C. Flemming, *Membrane biofouling*, in : Mallevialle J., P.E. Odendaal & M.R. Wiesner (eds.) *Water Treatment membrane processes*, AwwaRF, Lyonnaise des Eaux, Water research Commission of South Africa, 6.1-6.62.
- Sadhwani, J.J. & J.M. Veza, *Cleaning tests for seawater reverse osmosis membranes*, *Desalination* 139 (2001), 177-182.
- Sadwani, J. & J.M. Veza, *Chemical cleaning experiences for membranes*, *Proceedings: Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälische Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH*, Band 37, Mülheim an der Ruhr, 2002, ISSN 0941-0961.
- Sallangos, O. & P. Moss, *Pilot plant study at the Dhekelia seawater desalination plant: a review of the performance and operating data of the Koch Membrane Systems spiral-wound TFC® 2832SS-540 Magnum® seawater elements and study and interpretation of the normalized data using the NormPro software®*. *Desalination* 139 (2001) 125-129.
- Soice, N.P., A.R. Greenberg, W.B. Krantz & A. Norman, *Studies of oxidative degradation in polyamide RO membrane barrier layers using pendant drop mechanical analysis*, *J. Membr. Sci.* 243 (2004) 345-355.
- Takadono, S, H. [Iwahori](#), Y. [Yabushita](#), *Treatment of highly fouling wastewaters with tubular membrane system*, *Desalination* 49 (3) (1984), 347-355.
- Toray, *Antiscalant test procedure. Technical bulletin 010rev B*, aug. (2003), p.3.
- Trägårdh, G. *Membrane cleaning*, *Desalination* 71 (1989) 325-335.
- Wenten, I.G., A. Rasmussen en G. Jonsson *Membrane cleaning after beer clarification*. In : *Fouling and cleaning in foodprocessing*, 23-25 Maart 1994, Jesus College Cambridge, 1994.
- Whitaker, C., H. Ridgeway & B.H. Olson, *Evaluation of cleaning strategies for removal of biofilms from reverse-osmosis membranes*, *Appl. & Environm. Microb.* aug. (1984) , 395-403.
- Wilf, M. & P. Glueckstern, *Restoration of commercial reverse osmosis membranes under field conditions*, *Desalination* 54 (1985), 343-350.

Bijlage I Commerciële producten

Diverse leveranciers van membraanreinigingsproducten zijn gecontacteerd voor informatie over hun beschikbare reinigingsmiddelen of er is gezocht naar informatie op de website. Deze contact informatie is gebundeld in Bijlage II.

De commerciële membraanreinigingsmiddelen zijn in alle gevallen gecodeerd en hebben geen enkele referentie naar de samenstelling van het reinigingsproduct. De exacte samenstelling van commerciële membraanreinigingsmiddelen is in de meeste gevallen niet bekend. Hooguit is er informatie over het type van reinigingsproduct (zie § 2.1) en het hoofdbestanddeel. In tabel I.1 is een opsomming gegeven van de commerciële merknamen van diverse leveranciers van membraanreinigingsmiddelen per type van reinigingsproduct.

Tabel I.1 Merknamen van diverse leveranciers per producttype

Bedrijf	Merknaam	Type product
Alconox	-nox, -jet	Detergenten, enzymen
Applied Membr.	AM	Alle
Avista	RoCide™ RoClean™	Biocides Complex., detergenten, enzymen, zuren & basen
Biolab	Bellacide	Biocides
DOW	Aquacar	Biocides
Ecolab	P3-ultrasil	Detergenten, enzymen, zuren & basen
GEbetz	Biomate™ MBC Kleen MCT	Biocides Detergenten, zuren & basen
Genesys	Genesol	Biocides, detergenten, zuren & basen
Henkel	P3-ferrocid P3-ultraperm	Biocides Geen info
JohnsonDiversey	Divos	Detergenten, enzymen, zuren & basen
Lenntech	0302.OC	Alle
Nalco/permacare	Permaclean	Alle
Polysep	Flocide Floclean	Biocides Zuren & basen
Toray/ROPur	Aquaclean	Enzymen, zuren en basen
Trisep	TriClean	Alle
VSEP	NLR	Alle

Uit de tabel I.1 wordt duidelijk dat sommige bedrijven gespecialiseerd zijn in slechts één type reinigingsproduct, zoals bijvoorbeeld alleen biocides (DOW en Biolab). Andere bedrijven hebben het volledige spectrum aan reinigingsmiddelen in hun programma (onder andere Applied Membranes, Lenntech, Nalco, Trisep en VSEP).

Voor diverse leveranciers geldt dat per merknaam een brede range beschikbaar is aan membraanreinigingsmiddelen. Deze producten zijn dan vaak ontwikkeld voor een bepaald type vervuiling (bijvoorbeeld scaling of biofouling) of voor een bepaalde industrie (bijvoorbeeld specifiek voor

membranen in de voedingsindustrie). Een overzicht van de gevonden membraanreinigingsmiddelen is gegeven in bijlage III. Hierbij is onder andere een onderverdeling gemaakt naar producttype (volgens de indeling in §2.1), hoofdbestanddeel en verwijderbare membraanvervuiling. Per producttype zal de verwijderbare membraanvervuiling worden besproken. Hiernaast wordt indien mogelijk een uitspraak gedaan over enkele hoofdbestanddelen van een producttype.

Bijlage II Leverancier informatie

Diverse leveranciers zijn persoonlijk benaderd voor informatie over hun membraanreinigingsmiddelen. Dit zowel op de Aquatech 2004 van 1 oktober 2004 of per telefoon. In tabel II.1 is de informatie weergegeven van deze leveranciers.

De overige informatie is verkregen via de websites van leveranciers van membraanreinigingsmiddelen. De geraadpleegde websites staan opgesomd in tabel II.2.

Tabel II.1 Leveranciers membraanreinigingsmiddelen

Bedrijf	Contactpersonen	Tel. Nr.	E-mail
Avista	Neil Love	+44 (0)131 449.6677	nlove@avistatech.com.uk
Ecolab	Dolf vd. Berg	030 60 28 222	dolf.vandenberg@planet.nl
GE Betz	Paul Buijs	06 53 11 52 57	paul.buijs@ge.com
Genesys	Ted Darton David Golding	+44 (0)1260 276555 +44 (0)1352 762091	Tdarton@genesysro.com dgolding@genesysro.com
Henkel	Wolfgang Hater	+49 (0)211 797.xxx	wolfgang.hater@henkel.com
JohnsonDiversey	Steven Sleurink Paul Verbiest Marcel Dusamos	030 247 63 39	Steven.sleurink@johnsondiverse.com
Polysep	Johan Kriek	0651 130 806	trade@polysep.nl

Tabel II.2 Websites van de verschillende leveranciers van reinigingsmiddelen

Bedrijf	Website
Alconox	www.alconox.com/static/section_customer/ind_filter.asp
Applied Membr.	http://www.appliedmembranes.com/memcle2.htm
Avista	http://www.avistatech.com/index_us.htm
Biolab	www.wateradditives.com
DOW	http://www.dow.com/biocides/app/osmosis.htm
Ecolab	http://www.ecolab.com
GE Betz	http://www.gewater.com/pdf/KleenFactSheet.pdf
Genesys	http://www.genesysro.com/
Henkel	http://www.henkel.com
JohnsonDiversey	http://www.johnsondiverse.com
Lenntech	http://www.lenntech.com/replacement/osmo.htm
Nalco/permacare	http://www.derwentwatersystems.co.uk/
Polysep	no website
Toray/ROPur	http://www.ropur.com/online.html
Trisep	www.trisep.com
VSEP	www.membranecleaner.com/products/msds/NLR_505_MSDS.pdf

Bijlage III Overzicht reinigingsmiddelen

Alconox Inc	Terg-a-Zyme	enzymatic	-	-	anionic & surfactant	silt, clay, org.mat, Al, biofouling, proteins, oil & grease	x	x	x
Alconox Inc	Citranox	surfactant	-	<	anionic	FeO, metals, CO3-scales, hydroxides	x	x	x
Alconox Inc	Citrajel	surfactant	-	<	anionic	FeO, metals, CO3-scales, hydroxides	x	x	x
Alconox Inc	Alconox	surfactant	-	>	anionic	silt, clay, org.mat, Al, biofouling, oil & grease	x	x	x
Alconox Inc	Liquinox	surfactant	-	>	anionic	silt, clay, org.mat, Al, biofouling, oil & grease	x	x	x
Alconox Inc	Alcojet	-	-	>	anionic	silt, clay, org.mat, Al, heavy biofouling, oil & grease	x	-	x
Applied Membranes Inc	AM-11	acid	-	<		Mineral Scale	x	-	-
Applied Membranes Inc	AM-22	alkaline	-	>		Oil, Grease, Biological Matter & Grime	x	-	-
Applied Membranes Inc	AM-33	-	-	-		Organics	-	x	-
Applied Membranes Inc	AM-44	-	-	-		Mineral Scale	-	x	-
Applied Membranes Inc	AM-55	chelating agent	-	-	30% EDTA	Biofoulants	x	x	x
Applied Membranes Inc	AM-66	-	-	-		Biofoulants	-	x	-
Applied Membranes Inc	AM-77	surfactant	-	-	Anionics	Biofoulants	x	-	-
Applied Membranes Inc	AM-99	-	-	-		Silica and Silicates	x	x	-
Avista Technologies	RoCide™ DB-5	biocide	L	-	non-oxidizing 5% DBNPA	-	-	-	-
Avista Technologies	RoCide™ DB-20	biocide	L	-	non-oxidizing 20% DBNPA	-	-	-	-
Avista Technologies	RoCide™ IS-2	biocide	L	-		-	-	-	-
Avista Technologies	RoCide™ SC	biocide	-	-		-	-	-	-
Avista Technologies	RoCide™ LC	biocide	-	-	20% of RoCide™ SC	-	-	-	-
Avista Technologies	RoClean™ L211	surfactant	L	>	EDTA	low foaming - silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ L211e	surfactant	L	>	no EDTA	low foaming - silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ L403	acid/surfactant/chelator	L	<		metal hydroxides, CaCO3 & Fe	-	-	-
Avista Technologies	RoClean™ L404	acid	L	<	EDTA	metal foulants, e.g. Fe, Mn, Al, CaCO3	x	x	-
Avista Technologies	RoClean™ L607	surfactant	L	=		silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. Slime	-	x	-
Avista Technologies	RoClean™ L811	surfactant	L	>		CaSO4, BaSO4 & SrSO4	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ L212	surfactant	L	>		silt & coll. Foulants - surface waters	-	-	-
Avista Technologies	RoClean™ P111	surfactant	P	>	EDTA	silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ P111e	-	P	>	no EDTA	silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ P112	-	P	-	no EDTA	silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Avista Technologies	RoClean™ P303	acid	P	<	EDTA	metal foulants, e.g. Fe, Mn, Al, CaCO3	x	x	-
Avista Technologies	RoClean™ P303e	acid	P	<	no EDTA	metal foulants, e.g. Fe, Mn, Al, CaCO3	x	x	-
Avista Technologies	RoClean™ P703	-	P	-		metal foulants, e.g. Fe, Mn & Al	x	x	-
Avista Technologies	RoClean™ P911	-	P	-	no EDTA, low PO4	silt & organics e.g. colloidal clays, org. colour + bact. slime	x	-	-
Biolab	Bellacide 325	biocide	L	-	4% w/w 2-chloro-4,6-dialkylamino-s triazine	Algae	-	-	-
Biolab	Bellacide 329	biocide	L	-	44.7%w/w 4-chloro-2,6-dialkylamino-s-triazine	Algae	-	-	-
Biolab	Bellacide 350	biocide	L	=	50% tributyl, tetradecyl phosphonium chloride	bacteria, fungi & algae. Also Legionella.	-	-	-
Biolab	Bromicide	biocide	P	-	1-bromo 3-chloro 5,5-dimethylhydantoin (BCDMH)	bacteria, fungi & algae (broad spectrum)	-	-	-
Biolab	LiquiBrom 4600	biocide	P	>	sodium bromide	bacteria, fungi & algae (fast kill & broad spectrum)	-	-	-
Dow	Antimicrobial 7287	biocide	L	=	20% Solution of 2,2-Dibromo-3-nitriopropionamide (DBt)	bacteria, fungi, yeast, and algae	-	-	-
Dow	AQUACAR 504	biocide	L	-	4% glutaraldehyde	slime-forming and sulfate-reducing bacteria and algae	-	-	-
Dow	AQUACAR 514	biocide	L	-	14% Glutaraldehyde, 2.5% Alkyl dimethyl benzyl ammon	slime-forming and sulfate-reducing bacteria and algae	-	-	-
Dow	AQUACAR 515	biocide	L	-	15% Glutaraldehyde	slime-forming bacteria, sulfate-reducing bacteria, and algae	-	-	-
Dow	AQUACAR 542	biocide	L	-	42.5% Glutaraldehyde, 7.5% Alkyl dimethyl benzyl amm	slime-forming and sulfate-reducing bacteria and algae	-	-	-
Dow	AQUACAR 545	biocide	L	-	45% Glutaraldehyde	slime-forming bacteria, sulfate-reducing bacteria, and algae	-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 02	surfactant	-	-		fat & oil	-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 10	alkaline	-	>			-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 11	alkaline	-	>	strong alkaline		-	-	x
Ecolab	P3-ultrasil 25	biocide	-	-	Oxidizing chlorine		-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 41	alkaline	P	>	chlorine		-	x	-
Ecolab	P3-ultrasil 53	enzymatic	-	=		proteins	-	x	-
Ecolab	P3-ultrasil 54	-	-	-			-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 60a	-	-	-	buffer		-	x	-
Ecolab	P3-ultrasil 62	enzymatic	-	-		remove glucanases	-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 65	enzymatic	-	-			x	-	x
Ecolab	P3-ultrasil 73	acid	-	-	no phosphorus	anti-microbial effects	x	x	x
Ecolab	P3-ultrasil 75	acid	-	<	phosphoric & nitric acid		-	-	-
Ecolab	P3-ultrasil 110	alkaline	L	>	mild alkaline		-	-	x
Ecolab	P3-ultrasil 115	alkaline	L	>	strong alkaline		-	-	x
Ecolab	P3-ultrasil 130	alkaline	L	>	liquid surfactant-free		-	-	x
Ecolab	P3-ultrasil 141	alkaline	L	>	mild Alkaline		-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT103	-	L	<		CaCO3 & SO4 scales & metal hydroxides	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT107	-	L	=		colloidal & particulates & organics	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT403	-	P	<		CaCO3 & SO4 scales & metal hydroxides	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT511	-	L	>		colloidal & particulates & organics	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT411	alkaline	P	>		colloidal & particulates & biofouling	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT882	acid	L	<		biological & metal foulant	-	-	-
GE Betz Ltd	Kleen MCT442	acid	P	<		biological & metal foulant	-	-	-
GE Betz Ltd	Biomate™ MBC781	biocide	-	-	non oxidizing biocide		x	x	x
GE Betz Ltd	Biomate™ MBC881	biocide	-	-		reduce slime, bactericide, fungi & algae	x	x	x
GE Betz Ltd	Biomate™ MBC2881	biocide	-	-		reduce slime, bactericide, fungi & algae	x	x	x
Genesys International	Genesol 30	biocide	L	<	organobromine compound. Fast action	biofouling	x	x	-
Genesys International	Genesol 34	alkaline	L	>	Imminodisuccinic acic, nonionic & chelating agent	organic matter, Fe & hardness scale	x	x	-
Genesys International	Genesol 36	surfactant	L	=	anionic (salt of an alkyl benzene sulphonic acid)	organic fouling	x	x	-
Genesys International	Genesol 38	acid	L	<	ammoniated citric acid + nonionic biodispersant	inorganic scales & Fe	x	x	-
Genesys International	Genesol 40	alkaline	L	>	-	organic fouling	x	x	-
Genesys International	Genesol 50	alkaline	L	>	EDTA based.	organic & inorganic deposits	x	x	-
Genesys International	Genesol 32	biocide	L	<	low acting microbiocide		x	x	-
Henkel	P3-ultraperm	-	-	-			-	-	-
Henkel	P3-ferrocid	biocide	-	-	based on hypochloride		-	-	-
JohnsonDiversey	Divos 108 (VM21)	surfactant	-	-	mild Alkaline		-	-	-
JohnsonDiversey	Divos 116 (VM19)	surfactant	-	-	stronger alkaline		-	-	-
JohnsonDiversey	Divos 2 (VM13)	acid	-	-	surfactant		-	-	-
JohnsonDiversey	Divos 80-2 (VM1)	enzymatic	-	-	to use in addition with an alkaline Divos		-	-	-
JohnsonDiversey	Divos 98PE (VM3)	enzymatic	-	-	detergent		-	-	-

Lenntech	0302.OC120	-				suspend solids like iron and calcium carbonate			
Lenntech	0302.OC230	-				scaling layers of iron and calcium carbonate			
Lenntech	0302.OC340	-				iron particles			
Lenntech	0302.OC702	biocide		Desinfection fluid					
Lenntech	0302.OC716	surfactant		Emulsifier en dispersant cleaning fluid					
Lenntech	0302.OC739	biocide		Non-oxidative disinfection (biocide)					
Lenntech	0302.OC940	chelating agent		EDTA					
Lenntech	0302.OC970	-				oil & biofilms			
Nalco/Permcare	Permacean 67	alkaline	L	> anionic		colloidal & organic matter	x	x	x
Nalco/Permcare	Permacean 77	-	-	- buffer		iron	x	x	x
Nalco/Permcare	Permacean 87	acid	L	< strong acid		inorganic, iron oxide, iron hydroxide and proteinaceous material	x	x	-
Nalco/Permcare	Permacean 99	alkaline	L	> dispersants, inorganic builders & amphoteric surfactant		organic debris and biofouling	x	x	-
Nalco/Permcare	Permacean 11	biocide	-	- fast-acting, non-oxidising		planktonic and sessile micro-organisms	x	x	-
Nalco/Permcare	Permacean 33	acid	L	< -		acid-insoluble sulphates of calcium, barium and strontium, as well as calcium fluoride			
Nalco/Permcare	Permacean 55	biocide	-	- non-oxidising, non-ionic		microbial fouling	x	x	-
Nalco/Permcare	Permacean 56	biocide	-	- non-oxidising, non-ionic		microbial fouling	x	x	
Nalco/Permcare	Permacean 60	biocide	-	- surfactant		microbial fouling	-	-	x
Polysep	Floclean MC3	acid	P	< chelators, no surfactant		inorganic scales & metal hydroxides	x	-	-
Polysep	Floclean MC11	alkaline	P	> buffer, no surfactant		organics, silica & particulates	x	-	-
Polysep	Flocide 380	biocide	L	=		biofouling	x	-	-
Toray mb/Ropur	P3-aquaclean ACS	acid		organic acids & anionic surfactants					
Toray mb/Ropur	P3-aquaclean LAC	alkaline		dispersants and surfactants					
Toray mb/Ropur	P3-aquaclean SAL	alkaline		dispersants and anionic surfactants					
Toray mb/Ropur	P3-aquaclean ENZ	enzymatic		and surfactants, neutral					
Trisep	TriClean 210	acid	P	< organic acid		calcium carbonate, metal oxides, and sulfate scales	x	x	-
Trisep	TriClean 211	surfactant	L	= nonionic		polymer fouling, emulsified oil or manganese dioxide fouling			
Trisep	TriClean 212TF	alkaline	P	> Org. EDTA & NaOH		biological, organic, and silt	x	-	-
Trisep	TriClean 212CA	alkaline	P	= EDTA, buffer		organic and biological fouling	-	x	-
Trisep	TriClean 213	biocide	P	> nonionic, Na-perborate tetrahydrate, Na-metaborate		heavy organic or biological fouling	x	-	-
Trisep	TriClean 214TF	alkaline	L	> Org. EDTA & NaOH (50% TriClean 212TF)		biological, organic, and silt	x	-	-
Trisep	TriClean 214CA	alkaline	L	= EDTA, buffer (50% TriClean 212TF)		organic and biological fouling	-	x	-
Trisep	TriClean 217	acid	L	< organo diphosphonic acid		manganese dioxide or sulfate scale	x	x	-
Trisep	TriClean 218	alkaline	L	> isopropyl alcohol, EDTA, SDS, NaOH, Na2CO3		biological, organic and colloidal fouling	x	-	-
Trisep	TriClean 310	acid	L	< organic acid (40% TriClean 210)		calcium carbonate scale and iron and metal hydroxide colloids	x	-	-
VSEP	NLR 101	biocide	L	- buffer		biofouling			
VSEP	NLR 202	alkaline	L	= triethanolamine dodecylbenzene sulfonate		biological and colloidal foulants	x	x	x
VSEP	NLR 303	alkaline	L	= < 10% SDS		biological and organic materials, silt, particulates, colloids, silica and emulsified oil	x	x	x
VSEP	NLR 404	acid	L	< citric acid		FeSO4, Al2(SO4)3, BaSO4, CaSO4 & CaCO3 (dyes & inks)	x	x	x
VSEP	NLR 503	surfactant	L	> mixture of surfactants and chelating agents		organics, biological components, lignins, dyes and oil & grease	x	x	x
VSEP	NLR 505	surfactant	L	> mixture of surfactants and chelating agents		organics, biological components, lignins, dyes and oil & grease	x	x	x

Bijlage IV Overzicht literatuuronderzoek

Article				Feed						Process			Process				
Author	Magazine	Year	Nr	Project	Location	Watertype	Foulant type	Temp	Cond./TDS	TOC	Pretreatment	Process	Scale	Config.	TMP	feed flow	Duration
[-]	[-]	[-]	[-]					[°C]	[mS/cm]/[ppm]	[mg/l]					[bar]	[l/h]	[days]
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	Espoo City Waterwork	Finland	Surface	micro-org. & organ.	1,7-18,6	14,8 ± 3,22	2,7 ± 0,32	PAC/DAF/RSF	NF	pilot	4x 4040	8	1300	7
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-22	50,3-52,6	-	-	RO	bench	1x 8040	67	-	-
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	Las Palmas III	Spain	Sea	-	20-									

Article				Feed										Process					
Author	Magazine	Year	Nr	Project	Location	Watertype	Foulant type	Temp	Cond./TDS	TOC		Pretreatment	Process	Scale	Config.	TMP	feed flow	Duration	
[1]	[1]	[1]	[1]					[°C]	[mS/cm]/[ppm]	[mg/l]						[bar]	[l/h]	[days]	
Madaeni	Desal. 134	2001	3	Research	Iran	Sea	0.9CaSO ₄ +0.1Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	-	-	-	-	RO	MTA	CF-cell	17	0.45 m/s	0.2	
Madaeni	Desal. 134	2001	3	Research	Iran	Sea	0.9CaSO ₄ +0.1Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	-	-	-	-	RO	MTA	CF-cell	17	0.45 m/s	0.2	
Madaeni	Desal. 134	2001	3	Research	Iran	Sea	0.9CaSO ₄ +0.1Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	-	-	-	-	RO	MTA	CF-cell	17	0.45 m/s	0.2	
Madaeni	Desal. 134	2001	3	Research	Iran	Sea	0.9CaSO ₄ +0.1Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	-	-	-	-	RO	MTA	CF-cell	17	0.45 m/s	0.2	
Madaeni	Desal. 134	2001	3	Research	Iran	Sea	0.9CaSO ₄ +0.1Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	-	-	-	-	RO	MTA	CF-cell	17	0.45 m/s	0.2	
Ebrahim	Desal. 96	1994	4																
Hatch & Workman	Proc. 12th WSA	1984	4	Cape Coral	USA	Well	Ca-deposits	-	1300	-	-	Acid/AS/FF (5µm)	RO	full-scale	10x 22	400psig	-	2920	
Beckman	OSW. 882	1973	4	-	-	Sewage	-	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	gypsum scale	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	SiO ₂ scale	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	Fe-scale	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	Sea	-	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	Sea	-	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	Sea	-	-	-	-	-	-	RO	-	-	-	-	-	
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5	Sabha	Israel	Brackish	-	-	6000ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	30	2600	200-2000
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5	Sabha	Israel	Brackish	-	-	6000ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	30	2600	200-2000
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5	Sabha	Israel	Brackish	-	-	6000ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	30	2600	200-2000
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line I	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales	< 35	-	-	-	AC/FF(5µm)	RO	full-scale	40/7	-	-	177	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line I	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales	< 35	-	-	-	AC/FF(5µm)	RO	full-scale	40/7	-	-	402	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line I	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales	< 35	-	-	-	AC/FF(5µm)	RO	full-scale	40/7	-	-	437	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line I	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales	< 35	-	-	-	AC/FF(5µm)	RO	full-scale	40/7	-	-	471	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line I	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales	< 35	-	-	-	AC/FF(5µm)	RO	full-scale	40/7	-	-	618	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	50	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	217	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	308	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	317	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	485	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line II	Kuwait	Sea	SS, biol., org., scales, ir	< 35	-	-	-	Coag./floc./FF(5µm)	RO	full-scale	5/2	-	-	529	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	253	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	340	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	513	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	520	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	575	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	611	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	633	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	Doha plant-line III	Kuwait	Sea	biol., org., iron	< 35	-	-	-	FF(25µm)	RO	full-scale	Plate & frame	-	-	638	
Graham	Desal. 74	1989	7	Mobile Home Park, FL	USA	Brackish	mix org. & inorg. coll.silt	27	1700ppm	-	-	AS/FF(20µm)	RO	full-scale	3/2	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	Sarasota County, FL	USA	Brackish	org., silt & partic.	25	2500ppm	-	-	AS/FF(5µm)	RO	full-scale	-	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	Power generation	USA	-	metaloxides (alum)	23	914	-	-	SF/FF(5µm)	RO	full-scale	4/3/2	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	Nuclear power plant	USA	Brackish	-	-	-	-	-	SF/FF(5µm)	RO	full-scale	8/3	-	-	800	
Darton & Turner	Desal. 82	1991	8	Glen Rock	Gibraltar	Sea	S-reducing bact.	14-21	36350ppm	-	-	SF/FF(10µm)	RO	full-scale	2 x 3 (6)	69	-	-	
Pervov	Desal. 83	1991	9	Research	USSR	Brackish	CaCO ₃ & CaSO ₄	-	2000-	-	-	-	RO	bench	1x 4040	-	-	83	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Surface	Ca & Mg scales	-	500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Surface	Ca & Mg scales	-	500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	metals (Fe-Cr-Ni) & oil	-	6500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	metals (Fe-Cr-Ni) & oil	-	6500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	metals (Fe-Cr-Ni) & oil	-	6500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	metals (Fe-Cr-Ni) & oil	-	6500ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	Silicates & iron deposits	-	800ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	Silicates & iron deposits	-	800ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	Silicates & iron deposits	-	800ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	Research	Spain	Well	Silicates & iron deposits	-	800ppm	-	-	-	RO	bench	-	-	-	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	Research	Croatia	Tap	Humic acid - 20ppm	-	3500ppm	20ppm	-	-	RO	MTA	-	17	21	8	
Košutić	Desal. 150	2002	11	Research	Croatia	Tap	Humic acid - 20ppm	-	3500ppm	20ppm	-	-	RO	MTA	-	17	21	8	
Košutić	Desal. 150	2002	11	Research	Croatia	Tap	Humic acid - 20ppm	-	3500ppm	20ppm	-	-	RO	MTA	-	17	21	8	
Košutić	Desal. 150	2002	11	Research	Croatia	Tap	Humic acid - 20ppm	-	3500ppm	20ppm	-	-	RO	MTA	-	17	21	8	
Košutić	Desal. 150	2002	11	Research	Croatia	Tap	Humic acid - 20ppm	-	3500ppm	20ppm	-	-	RO	MTA	-	17	21	8	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	Research	Iran	Whey	proteins, fat, Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	70000ppm	-	-	-	RO	MTA	-	25	0.5m/s	0.05	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	Research	Iran	Whey	proteins, fat, Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	70000ppm	-	-	-	RO	MTA	-	25	0.5m/s	0.05	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	Research	Iran	Whey	proteins, fat, Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	70000ppm	-	-	-	RO	MTA	-	25	0.5m/s	0.05	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	Research	Iran	Whev	proteins, fat, Ca ₃ (PO ₄) ₂	25	70000ppm	-	-	-	RO	MTA	-	25	0.5m/s	0.05	

Article	Magazine	Year	Nr	Feed Project	Location	Watertype	Foulant type	Temp °C	Cond./TDS [mS/cm]/[ppm]	TOC [mg/l]	Process Pretreatment	Process	Scale	Config.	TMP [bar]	feed flow [l/h]	Duration [days]
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	Dunedin's WWTP	USA	surface/ground	bacteria (pseudomonas)			3 mg/l	-	RO	bench	flat sheet	9.65	-	-
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	Dunedin's WWTP	USA	surface/ground	bacteria (pseudomonas)			3 mg/l	-	RO	bench	flat sheet	9.65	-	-
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	Dunedin's WWTP	USA	surface/ground	bacteria (pseudomonas)			3 mg/l	-	RO	pilot	1x 8040	9.65	-	-
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	Durham WTP	USA	lake	org.matter, bact., colloid	23	-	4-8 mg/l	Coag./FF	NF	bench	flat sheet	5.5	0.1 m/s	3-4
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	Durham WTP	USA	lake	org.matter, bact., colloid	23	-	4-8 mg/l	Coag./FF	NF	bench	flat sheet	5.5	0.1 m/s	3-4
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	Durham WTP	USA	lake	org.matter, bact., colloid	23	-	4-8 mg/l	Coag./FF	NF	bench	flat sheet	5.5	0.1 m/s	3-4
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	Raleigh WTP	USA	lake	org.matter, bact., colloid	23	-	4-8 mg/l	Coag./FF	NF	bench	flat sheet	5.5	0.1 m/s	3-4
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	Fayetteville WTP	USA	lake	org.matter, bact., colloid	23	-	4-8 mg/l	Coag./FF	NF	bench	flat sheet	5.5	0.1 m/s	3-4
McDonald et al	Ultrapure Water	2004	28	General CIP procedur	-	-	Scales					RO		8040			
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	Pharma company	USA	municipal & well	-	7-18	-	-	SF/soft./NaOH/Bisulf./FF	RO	full-scale	3x (20x8040)	-	-	4380
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	US Agri-chem.	USA	well	H2S	21-27	-	-	H2SO4/5µm/1µm	RO	full-scale	5x (21x 8040)	-	-	2920
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	Brazos Valley Energy	USA	municipal & well	-	5-30	-	-	SF/soft./NaOH/Bisulf./FF	RO	full-scale	2x (30x8040)	-	-	365
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	various			Org.matter (humics), FeO					NF	bench	flat sheet	13.8	0.1 m/s	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	various			Org.matter (humics), FeO					NF	bench	flat sheet	13.8	0.1 m/s	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	various			Org.matter (humics), FeO					NF	bench	flat sheet	13.8	0.1 m/s	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	various		brackish	Org.mat., Si, FeO, Al, MgSO3					RO	bench	flat sheet	13.8	0.1 m/s	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	various		brackish	Org.mat., Si, FeO, Al, MgSO3					RO	bench	flat sheet	13.8	0.1 m/s	
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	NF	pilot	3x 4040 (p)	-		126
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	NF	pilot	3x 4040 (p)	-		126
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	NF	pilot	3x 4040 (p)	-		126
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	RO	pilot	3x 4040 (p)	-		110
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	RO	pilot	3x 4040 (p)	-		110
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	RO	pilot	3x 4040 (p)	-		110
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	Seoul	Korea	Groundwater	Ca-inorg., Si-organic	-	984 µS/cm	2.68 mg/l	UF	RO	pilot	3x 4040 (p)	-		110
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	Ohio River	USA	River	bacteria	var.	388 µS/cm	1.99 mg/l	coag/sedim./SF	NF	pilot	3x 4040 (s)	5.5	0.07-0.1 m/s	420

Article				Membrane/module													Cleaning	Cleaning method								
Author	Magazine	Year	Nr	Recovery	Material	Manufacturer	Type	Mem. Area	J _{pw}	MWCO	R(NaCl)	R(MgSO ₄)		trigger	Agent 1	Conc.	Temp	flowrate	pH	time	soak					
[1]	[1]	[1]	[1]	[%]				[m ²]	[L/m ² .h]	[g/mol]	[%]	[%]		[1]		[%]	[°C]	[l/h]	[1]	[min]	[min]					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			NaOH	0,06	25	800-2000	12,2	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			citric acid	1,6	25	800-2000	2,2	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			citric/oxalic acid	0,8/0,1	25	800-2000	2,1	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			oxalic acid	0,2	25	800-2000	1,9	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			HCl	0,3	25	800-2000	2	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			Na2S2O4	1	25	800-2000	-	15						
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			Ultrasil 73	1	25	800-2000	2,4	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			HCl	0,3	25	800-2000	2	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			HCl	0,3	25	800-2000	2	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			Na5P3O10/Na4EDTA	0,1/0,2	25	800-2000	10,9	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			NaOH/Na4EDTA	0,003/0,05	25	800-2000	10,9	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			Na4EDTA	0,2	25	800-2000	11	15	-					
Liikanen	J.Membr.Sci	2002	1	80	PA	Filmtec	NF255-400	4 x 7,7	-	200-300	-	-			Ultrasil 141	0,1	25	800-2000	11	15	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH	1	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl	1	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution A/B	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution A/B	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution A/B	1	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH/Ultrasil P10	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH/Ultrasil P10	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			NaOH/Ultrasil P10	1	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl/Ultrasil P75	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl/Ultrasil P75	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			HCl/Ultrasil P75	1	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution E/D	0,5	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution E/D	0,8	21	-	-	60	-					
Sadhwani	Desal. 139	2001	2	-	PA	Filmtec	SW30HR	35	-	-	-	-			solution E/D	1	21	-	-	60	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			HCl	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			HNO3	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			H3PO4	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			H2SO4	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			Citric acid	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			NH4OH	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			NH4Cl	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			KOH	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			NaOH	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			Yekta (dishwash)	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			Goli (dishwash)	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			SDS+NaOH	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+NaOH	0,05	25	0,45 m/s	-	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+KOH	0,05	25	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,004	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,008	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,012	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,024	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,034	50	0,45 m/s	11,4	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	9,1	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	9,6	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	10	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	10,6	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	11	30	-					
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-			EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	11,4	5	-					

Article					Membrane/module									Cleaning	Cleaning method								
Author	Magazine	Year	Nr	Recovery	Material	Manufacturer	Type	Mem. Area	J _{pw}	MWCO	R(NaCl)	R(MgSO ₄)		trigger	Agent 1	Conc.	Temp	flowrate	pH	time	soak		
[-]	[-]	[-]	[-]	[%]				[m²]	[L/m².h]	[g/mol]	[%]	[%]		[-]		[%]	°C]	[l/h]	[-]	[min]	[min]		
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-	-	-	EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	11,4	10	-		
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-	-	-	EDTA+SDS+NaOH	0,05	50	0,45 m/s	11,4	15	-		
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-	-	-	EDTA+SDS+NaOH	0,05	20	0,45 m/s	11,4	30	-		
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-	-	-	EDTA+SDS+NaOH	0,05	30	0,45 m/s	11,4	30	-		
Madaeni	Desal. 134	2001	3	-	PA	Filmtec	FT30	0,009	-	-	-	-	-	-	EDTA+SDS+NaOH	0,05	40	0,45 m/s	11,4	30	-		
Ebrahim	Desal. 96	1994	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Hatch & Workman	Proc. 12th WSA	1984	4	75	CA	DuPont	B-9	-	-	-	-	-	-	-	citric acid (sbl. Ammonia)	-	-	-	-	-	-		
Beckman	OSW. 882	1973	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	enz.det., Na-perborate, EDT	-	-	-	-	-	-		
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EDTA+NH ₄ HCO ₃ +zonyl FSA	-	-	-	-	-	-		
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	NH ₄ HF ₂	-	-	-	-	-	-		
Grace	OWRT 6509	1977	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	sodiumdethionite (Na ₂ S ₂ O ₄)	-	-	-	-	-	-		
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	tannic acid & WD3652	-	-	-	-	-	-		
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	PME & tergitol 1559	-	-	-	-	-	-		
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	CMS & separan CP-7HS	-	-	-	-	-	-		
Wilf & Gluechkstern	Desal. 54	1985	5	60	-	-	HFF	-	-	-	-	-	-	-	citric acid	2	-	-	4	-	-		
Wilf & Gluechkstern	Desal. 54	1985	5	60	PA	-	SW	35	-	-	80-85	-	-	-	citric acid	2	-	-	4	-	-		
Wilf & Gluechkstern	Desal. 54	1985	5	60	PA	-	SW	35	-	-	80-85	-	-	-	citric acid	2	-	-	4	-	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	-	UOP 1501 / 860	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	2	40	4600/9100	2,5	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	-	UOP 1501 / 860	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	2	40	4600/9100	2,5	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	-	UOP 1501 / 860	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	2	25	4600/9100	2,5	45	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	-	UOP 1501 / 860	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	2	45	4600/9100	2,5	45	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	-	UOP 1501 / 860	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	2	-	4600/9100	2,5	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	citric acid/formaldehyde	2/0,5	35	-	4	-	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	citric acid	2	35	-	4	-	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	citric acid	2	25	-	2,5	-	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	Ultrasil 10	0,5	35	-	12	1560	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	citric acid	2	35	-	4	1500	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	PA	DuPont	B-10 / B-9	-	-	-	-	-	-	-	Ultrasil 10	0,5	35	-	8	2820	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Enro	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Enro	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Schleicher &	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Enro	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Enro	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	60	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Schleicher &	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	120	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Enro	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	120	-		
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6	-	CA	Schleicher &	Plate-frame G4	-	-	-	-	-	-	-	citric acid & NH ₄ OH	1,5	-	-	3	90	-		
Graham	Desal. 74	1989	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Floclean 103	-	-	-	low	-	-		
Graham	Desal. 74	1989	7	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Floclean 411	-	-	-	high	-	-		
Graham	Desal. 74	1989	7	70	CA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Floclean 103A	-	-	-	low	-	-		
Graham	Desal. 74	1989	7	75	PA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Floclean 511	-	-	-	high	-	-		
Darton & Turner	Desal. 82	1991	8	30	PA	Filmtec	FT 30	-	-	-	-	-	-	-	caustic detergent	-	-	-	12	-	-		
Pervov	Desal. 83	1991	9	-	CA/PA	-	4040-type	-	-	-	-	-	-	-	EDTA	2	-	-	7	-	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B9-0840	-	-	-	-	-	-	-	EDTA	1	-	no	10	-	6000		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B9-0840	-	-	-	-	-	-	-	EDTA	1	-	no	10	-	12000		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B9-0840	-	-	-	-	-	-	-	EDTA	1	-	strong	10	240	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B10-6840	-	-	-	-	-	-	-	detergent A	1	-	-	9,4	240	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B10-6840	-	-	-	-	-	-	-	detergent A	5	-	-	9,4	240	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B10-6840	-	-	-	-	-	-	-	detergent B	1	-	-	11,8	240	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	PA	DuPont	B10-6840	-	-	-	-	-	-	-	detergent B	5	-	-	11,8	240	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	CA	Fluid systems	ROGA 8150s	-	-	-	-	-	-	-	NaF	2	-	-	9,6	1200	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	CA	Fluid systems	ROGA 8150s	-	-	-	-	-	-	-	SHEDT	2	-	-	7	6900	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	CA	Fluid systems	ROGA 8150s	-	-	-	-	-	-	-	EDTA	2	-	-	4	6900	-		
Farinas	Desal. 66	1987	10	-	CA	Fluid systems	ROGA 8150s	-	-	-	-	-	-	-	NaHSO ₃	2	-	-	3,2	6900	-		
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	PA	-	membrane 1	1,3E-03	72,5	-	96,7	-	-	-	Formulated alkaline clean.	-	-	21	-	-	-		
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	PA	-	membrane 2	1,3E-03	72,6	-	95,6	-	-	-	Formulated alkaline clean.	-	-	21	-	-	-		
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	PA	-	membrane 3	1,3E-03	32,4	-	87,1	-	-	-	Formulated alkaline clean.	-	-	21	-	-	-		
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	PA	-	membrane 4	1,3E-03	18,3	-	85,7	-	-	-	Formulated alkaline clean.	-	-	21	-	-	-		
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	PA	-	membrane 5	1,3E-03	18,9	-	89,5	-	-	-	Formulated alkaline clean.	-	-	21	-	-	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2,0E-03	50	-	-	-	-	-	HCl	0,01	25	0,3m/s	3,5	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2,0E-03	50	-	-	-	-	-	HCl	0,03	25	0,3m/s	3,3	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2,0E-03	50	-	-	-	-	-	HCl	0,05	25	0,3m/s	3	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2,0E-03	50	-	-	-	-	-	HCl	0,07	25	0,3m/s	2,9	10	-		

Article				Membrane/module										Cleaning		Cleaning method						
Author	Magazine	Year	Nr	Recovery	Material	Manufacturer	Type	Mem. Area	J _{wp}	MWCO	R(NaCl)	R(MgSO ₄)	trigger	Agent 1	Conc.	Temp	flowrate	pH	time	soak		
[1]	[1]	[1]	[1]	[%]				[m ²]	[L/m ² .h]	[g/mol]	[%]	[%]	[1]		[%]	°C]	[l/h]	[1]	[min]	[min]		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		HCl	0.10	25	0.3m/s	2.6	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₂ SO ₄	0.01	25	0.3m/s	3.4	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₂ SO ₄	0.03	25	0.3m/s	3.2	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₂ SO ₄	0.05	25	0.3m/s	3	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₂ SO ₄	0.07	25	0.3m/s	2.8	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₂ SO ₄	0.10	25	0.3m/s	2.5	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NaOH	0.01	25	0.3m/s	11.3	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NaOH	0.03	25	0.3m/s	11.6	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NaOH	0.05	25	0.3m/s	11.8	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NaOH	0.07	25	0.3m/s	12.1	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NaOH	0.10	25	0.3m/s	12.4	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		H ₃ PO ₄	0.05	25	0.3m/s	3.2	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		HNO ₃	0.05	25	0.3m/s	2.9	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		Oxalic acid	0.05	25	0.3m/s	4	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NH ₄ Cl	0.05	25	0.3m/s	-	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		SDS	0.05	25	0.3m/s	-	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		Triton-X100	0.05	25	0.3m/s	-	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		CTAB	0.05	25	0.3m/s	-	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		NH ₃	0.05	25	0.3m/s	10.5	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		Urea	0.05	25	0.3m/s	6.6	10	-		
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	PA	Filmtec	FT30	2.0E-03	50	-	-	-		EDTA	0.05	25	0.3m/s	5.2	10	-		
Luo	Desal. 141	2001	13	75	PA	Dow	BW30-400	2453	22.7	-	98.7	-		Citric acid	2	26	-	2	240	-		
Koo et al	Desal 139	2001	14	1	PA	Osmonics	MS19/DS11	-	50	-	-	-		MT5010	-	-	3.5 l/min	-	-	-		
Koo et al	Desal 139	2001	14	1	PA	Osmonics	MS19/DS11	-	50	-	-	-		MT3100	4 g/l	-	3.5 l/min	-	-	-		
Duin et al	Proc. L'Aquila	2000	15	80	PA	Stork	Tubular	2.20	-	-	25	-		H2O2	<	-	0.5m/s	-	-	-		
Hatch & Workman	Proc. 12th WSAI	1984	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-		Dionised water	-	20	470rpm	8.1	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		NaOH	-	20	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		EDTA	1 mM	20	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		EDTA	1 mM	20	470rpm	4.8	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	1 mM	20	470rpm	9	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	5 mM	20	470rpm	9	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	10 mM	20	470rpm	9	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	35 mM	20	470rpm	9	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	1 mM	20	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	5 mM	20	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	10 mM	20	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Envir.Sci.Tec	2004	17	1	PA	Filmtec	NF-270	4.1E-04	65	-	44%	53%		SDS	35 mM	20	470rpm	11	10	-		
Labib et al	Report USDIBR	2003	18a	-	PA	Hydranautics	CPA2	35	-	-	<95%	-		acid	-	50-55	0	<	15	-		
Labib et al	Report USDIBR	2003	18b	30	PA	Filmtec	TW30-2540	-	-	-	-	-		alkaline/air	-	-	-	-	-	-		
Labib et al	Report USDIBR	2003	18b	30	PA	Filmtec	TW30-2540	-	-	-	-	-		alkaline/air	-	-	-	-	-	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		NaOH	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	>	60	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		HCl	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	<	60	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		NaOH	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	>	60	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		NaOH + Ultrasil P10	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	>	60	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		HCl + Ultrasil P75	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	<	60	-		
Sadwani et al	Proc. Mülheim	2002	19	-	PA	Filmtec	SW30HR	35.00	-	-	-	-		HCl + Ultrasil P75	0.5,0.8-1.0	20-22	2000	<	60	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		Dionised water	-	20-22	470rpm	-	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		NaOH	-	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		EDTA	1mM	20-22	470rpm	4.8	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		EDTA	1mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		SDS	1mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		SDS	5mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		SDS	10mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-270	4.5E-03	64.8	-	-	-		SDS	35mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		Dionised water	-	20-22	470rpm	-	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		NaOH	-	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		EDTA	1mM	20-22	470rpm	4.8	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		EDTA	1mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		SDS	1mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		SDS	5mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4.5E-03	54	-	-	-		SDS	10mM	20-22	470rpm	11	10	-		

Article					Membrane/module										Cleaning	Cleaning method									
Author	Magazine	Year	Nr	Recovery	Material	Manufacturer	Type	Mem. Area	J _{wp}	MWCO	R(NaCl)	R(MgSO ₄)			trigger	Agent 1	Conc.	Temp	flowrate	pH	time	soak			
[1]	[1]	[1]	[1]	[%]				[m ²]	[L/m ² .h]	[g/mol]	[%]	[%]			[1]		[%]	°C]	[l/h]	[1]	[min]	[min]			
Li & Elimelech	Wat. Supp. (4)5-	2005	20	1	PA	Filmtec	NF-90	4,5E-03	54	-							SDS	35mM	20-22	470rpm	11	10	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								Citric acid	0,1M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaOH	0,1M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaOH	0,1M	-	4,3cm/s	-	300	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaOH	0,1M	-	17,2cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								SDS	0,001M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaCl	0,1M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaCl	0,1M	-	4,3cm/s	-	300	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaCl	0,1M	-	17,2cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								Citric acid	0,1M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								NaOH	0,1M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Cho et al	Awwa. 1999	1999	21	-	PES	-	NTR7410	-	1,5?								SDS	0,001M	-	4,3cm/s	-	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	25	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	25	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	25	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	25	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	50	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	50	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	50	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	50	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	50	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	50	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	50	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	25	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	1,00	25	-	11-12	30	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	25	-	11-12	60	-		
Chen et al	J. Membr. Sci.	2003	22	-	PA	Fluid systems	-	0,56	-	-	98,8	-					TriClean 212F	0,50	25	-	11-12	30	-		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					MilliQ-water	-	20	0,65 m/s	-	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					NaCl	0,1 M	20	0,65 m/s	-	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					EDTA	20 mM	20	0,65 m/s	-	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					HCl	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					Oxalic acid	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					NaOH	-	20	0,65 m/s	12	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					NaClO	500ppm	20	0,65 m/s	-	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					NaOH	-	20	0,65 m/s	12	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					Oxalic acid	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					HCl	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					Oxalic acid	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23	15	PSf	Hitachi	hydrophobic	-	21/8	750kda	-	-					HCl	-	20	0,65 m/s	2	-	1440		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									Citric acid	2,00	-	-	-	90	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent	-	-	-	-	30	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent	-	-	-	-	60	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent	-	-	-	-	105	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent	-	-	-	-	165	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	45	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	75	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	120	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	180	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									metacide	-	-	-	-	60	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									metacide	-	-	-	-	180	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	60	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									tripolyphosphate	-	-	-	-	180	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent A	-	-	-	-	60	-		
Pervov	Desal. 126	1999	24	-	-	-	TFC	7,50									detergent A	-	-	-	-	180	-		
Sallangos & Moss	Desal. 139	2001	25	50	PA	Koch	TFC2832SS-540										Permaclean 77	-	-	-	<	-	-		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Peroxide	10,00	-	-	-	-	1080		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Peroxide + Triton X	10,00	-	-	-	-	1080		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Alcohol + sponge	-	-	-	-	-	1080		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Formaldehyde	-	-	-	-	-	1080		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Sponge cleaning	-	-	-	-	-	1080		
Camahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0,02	44	-							Acetic acid	1M	-	-	-	-	1080		

Article					Membrane/module									Cleaning	Cleaning method							
Author	Magazine	Year	Nr	Recovery	Material	Manufacturer	Type	Mem. Area	J_{pW}	MWCO	R(NaCl)	R(MgSO ₄)		trigger	Agent 1	Conc.	Temp	flowrate	pH	time	soak	
[-]	[-]	[-]	[-]	[%]				[m ²]	[L/m ² ·h]	[g/mol]	[%]	[%]		[-]		[%]	°C]	[l/h]	[-]	[min]	[min]	
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0.02	44	-	-	-	-	-	Acetic acid + peroxide	0.5M	-	-	-	-	1080	
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0.02	44	-	-	-	-	-	NaCl	5.00	-	-	-	-	1080	
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	<	PA	Hydranautics	-	0.02	44	-	-	-	-	-	NaCl	10.00	-	-	-	4	?	240-360
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	30	sulf. PES	Hydranautics	NTR-7450	0.02	30	500	-	-	-	-	Anion.deterg. + 55mM NaOH	0.34 g/l	-	0.1 m/s	10.3-11	60		
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	80	sulf. PES	Hydranautics	NTR-7450	0.02	30	500	-	-	-	-	Anion.deterg. + 55mM NaOH	0.34 g/l	-	0.1 m/s	10.3-11	60		
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	73	sulf. PES	Hydranautics	NTR-7450	0.02	30	500	-	-	-	-	Anion.deterg. + 55mM NaOH	0.34 g/l	-	0.1 m/s	10.3-11	60		
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	80	sulf. PES	Hydranautics	NTR-7450	0.02	30	500	-	-	-	-	Anion.deterg. + 55mM NaOH	0.34 g/l	-	0.1 m/s	10.3-11	60		
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	80	sulf. PES	Hydranautics	NTR-7450	0.02	30	500	-	-	-	-	Anion.deterg. + 55mM NaOH	0.34 g/l	-	0.1 m/s	10.3-11	60		
McDonald et al	Ultrapure Water	2004	28												Acid cleanant	-	40-45	2000-9000	2-3	60-120	30-60	
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	75	-	-	-	2100	19.4	-	-	-	-	PD								
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	75	-	-	-	3675	30.9	-	-	-	-	-								
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29	75	-	-	-	2100	19.4	-	-	-	-	-								
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	<	PA	-	-	2.3E-03	118						cleaner A		30					
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	<	PA	-	-	2.3E-03	118						cleaner B		30					
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	<	PA	-	-	2.3E-03	118						cleaner C		30					
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	<	PA	-	-	2.3E-03	45						cleaner A							
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30	<	PA	-	-	2.3E-03	45						cleaner B							
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	12.7	PA	Hydranautics	ESNA 2540	2.10	42	200	85	-	-	-15% MTC	hydraulic	-	-	-	-	-	-	
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	12.7	PA	Hydranautics	ESNA 2540	2.10	42	200	85	-	-	-15% MTC	sulfuric acid	0.1 N	-	-	-	<	-	
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	12.7	PA	Hydranautics	ESNA 2540	2.10	42	200	85	-	-	-15% MTC	NaOH	0.1N	-	-	-	>	-	
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	12.4	PA	Hydranautics	ESPA 2540	2.10	55	200	99	-	-	-15% MTC								
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	8.7	PA	Saehan	RE-2540-TN	2.51	44	200	99	-	-	-15% MTC								
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	8.7	PA	Saehan	RE-2540-TN	2.51	44	200	99	-	-	-15% MTC								
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31	8.7	PA	Saehan	RE-2540-TN	2.51	44	200	99	-	-	-15% MTC								
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	hydraulic	-		0.2 m/s		45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	sulfuric acid	-		0.2 m/s	2	45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	comm. alk/detergent	-		0.2 m/s		45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	sulfuric acid	-		0.2 m/s	2	45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	comm. alk/detergent	-		0.2 m/s		45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	hydraulic + acid	-		0.2 m/s	2	45		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32	5-12	PA	Fluid systems	TFCS-4921	-	35.75	200	85	-	-	-15% MTC/+15% DF	hydraulic + alk/detergent	-						

Article														1%=10g/l							Results		
Author	Magazine	Year	Nr	frq. [#]	Agent 2	Conc. [%]	Temp °C	flowrate l/h	pH [-]	time [min]	soak [min]	frq. [#]	Agent 3	Conc. [%]	Temp °C	flowrate l/h	pH [-]	time [min]	soak [min]	frq. [#]	FR Jaft./Jbef.	PWF Jaft./Jo	TMP [-]
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	-																	1,80		
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	-																	2,02		
Carnahan et al	Desal. 102	1995	26	-	Triton X + air	0,2	-	-	8	30		-	Citric acid	-	-	-	2	120		-			
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	2																	1,24	1,02	
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	2																	1,24	0,84	
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	2																	1,23	0,86	
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	2																	1,10	0,95	
DiGiano et al	J.Awwa	2000	27	2																	1,00	0,86	
McDonald et al	Ultrapure Water	2004	28	-																			
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29																				
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29																				
Peters et al	Ultrapure Water	2004	29																				
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30																		0,83	0,91	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30																		0,75	0,86	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30																		0,99	1,05	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30																		1	0,56	
Dudlev et al	Ultrapure Water	1997	30		cleaner B																1	0,67	
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,13/1,09/1,0		
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,17/1,18/1,33		
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,58/1,64/3,0		
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																				
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,08/1,06/1,0		
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,18/1,19/1,05		
Gwon et al	Wat. Res. 37	2003	31																		1,51/1,25/1,08		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32																		1		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32																		1,10		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32		comm. alk/detergent	-		0,2 m/s		45											1,13		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32		sulfuric acid	-		0,2 m/s	2	45											1,08		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32																		1,10		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32																		1,69		
Speth et al	Envir.Sci.Tec	1998	32																		1,67		

Article												
Author	Magazine	Year	Nr	AP	Cond.rec.	Ret. Cond	Al-removal	Ca-removal	Mg-removal	Fe-removal	TS-removal	
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	Raft./Rbef.	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
Madaeni	Desal. 134	2001	3		-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni	Desal. 134	2001	3		-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni	Desal. 134	2001	3		-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni	Desal. 134	2001	3		-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni	Desal. 134	2001	3		-	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim	Desal. 96	1994	4									
Hatch & Workman	Proc. 12th WSA	1984	4		-	-	-	10%/20%/70%	1%/2%/12%	1%/2%/15%	-	
Beckman	OSW. 882	1973	4		-	-	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4		-	-	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4		-	-	-	-	-	-	-	
Grace	OWRT 6509	1977	4		-	-	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4		-	-	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4		-	-	-	-	-	-	-	
Burns & Roe	OWRT 9524	1981	4		-	-	-	-	-	-	-	
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5		0,6	96,1	-	-	-	-	-	
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5		0,45	-	-	-	-	-	-	
Wilf & Glueckstern	Desal. 54	1985	5		0,57	91,9	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,97	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		ineffect.	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		ineffect.	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,99	-	-	-	-	12ppm	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		ineffect.	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,86	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,70	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		1	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		-	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,73	-	-	-	-	4000ppm	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,66	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,7	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,45	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,43	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,34	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,48	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,70	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,53	-	-	-	-	-	-	
Ebrahim&Malik	Desal. 66	1987	6		0,63	-	-	-	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	0,55	1	-	-	-	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	0,83	1	-	-	-	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	0,67	1,14	-	-	-	-	-	-	
Graham	Desal. 74	1989	7	0,59	1,63	-	-	-	-	-	-	
Darton & Turner	Desal. 82	1991	8		-	-	-	-	-	-	-	
Pervov	Desal. 83	1991	9		-	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	5,5	1,5	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	7	2	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	45	10	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10	1	0,99	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	-	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	21%	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	25%	-	
Farinas	Desal. 66	1987	10		-	-	-	-	-	38%	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	1,02	95,9	-	-	-	-	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	0,91	82,5	-	-	-	-	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	1,03	80,1	-	-	-	-	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	1,01	84,2	-	-	-	-	-	
Košutić	Desal. 150	2002	11	-	0,94	81,4	-	-	-	-	-	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	-	-	-	-	-	-	-	
Madaeni & Mansourpa	Desal. 161	2004	12	-	-	-	-	-	-	-	-	

[illegible]

Article												
Author	Magazine	Year	Nr	AP	Cond.rec.	Ret. Cond	Al-removal	Ca-removal	Mg-removal	Fe-removal	TS-removal	
[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	Raft./Rbef.	[%]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	
Li & Elimelech	Wat.Supp.(4)5-	2005	20									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Cho et al	Awwa, 1999	1999	21									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Chen et al	J.Membr.Sci	2003	22									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Kimura et al	Wat. Res. 38	2004	23									
Pervov	Desal. 126	1999	24							25-140 mg/l		
Pervov	Desal. 126	1999	24								95 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								175 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								250 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								300 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								75 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								125 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								180 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								225 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								20 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								45 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								30 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								65 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								45 mg/l	
Pervov	Desal. 126	1999	24								85 mg/l	
Sallangos & Moss	Desal. 139	2001	25									
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		0,67/0,51							
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		1,17							
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		1,85							
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		0,43/0,33							
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		1,27							
Camahan et al	Desal. 102	1995	26		1,14							

[illegible]