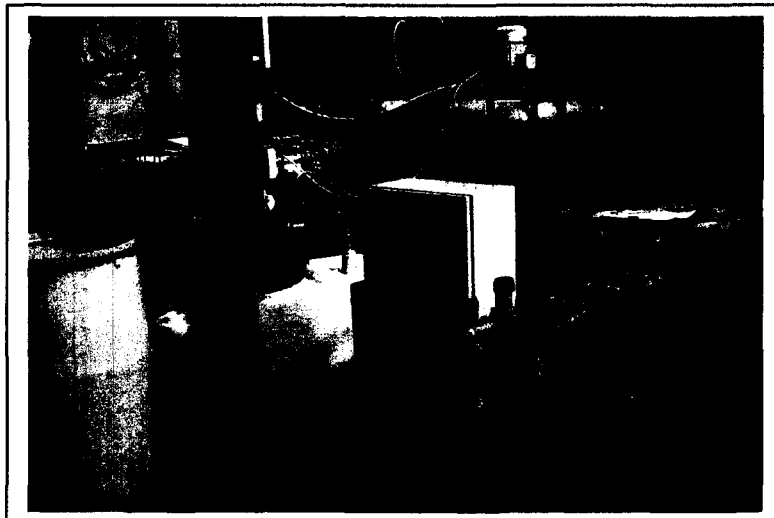


**Technische & Economische haalbaarheid
MF- UF concepten**

Technische & Economische haalbaarheid MF- UF concepten



Auteur:	Bjorn Korthouwer
Opleiding:	Algemene Operationele Techniek
Afstudeerplaats:	Vitens Laboratorium en procestechnologie BV
Bedrijfsbegeleider:	Dhr. S. Bakker
Afstudeerbegeleider:	Dhr. R. Zoete
Datum:	Augustus 2004

Voorwoord

Dit verslag is geschreven in het kader van mijn afstuderen van mijn opleiding Algemene Operationele Techniek(AOT) aan de Faculteit Natuur en Techniek van de Hogeschool van Utrecht.

De afstudeeropdracht is voltooid bij waterbedrijf Vitens NV in de proefhal aan de Elsbeekweg te Enschede.

Ik wil mijn afstudeerbegeleider vanuit Vitens, Simon Bakker bedanken en de begeleider vanuit school Roelant Zoete voor de begeleiding en de ondersteuning tijdens mijn afstudeerperiode bij Vitens.

Daarnaast wil ik Doeke Schippers bedanken voor zijn inzet tijdens mijn afstuderen. Aan Bas Rietman ben ik veel dank schuldig voor de hoeveelheid hulp en informatie die ik heb verkregen.

Tevens wil ik Dik Brummel, Ferdi Moes en Emiel Krabbebos bedanken voor de vele steun, lol en hulp die ik heb gekregen tijdens mijn verblijf aan de Elsbeekweg.

Daarnaast wil ik mijn ouders heel hartelijk bedanken voor de vele gesprekken die we hebben gevoerd over mijn toekomst en over wat ik nu echt wil. Niet alleen tijdens mijn afstuderen, maar ook tijdens mijn hele schoolcarrière. Zij waren het die al die tijd achter mij stonden in al mijn beslissingen en hebben mij altijd gesteund en geholpen om de juiste beslissingen te nemen.

Samenvatting

Micro(MF)- en ultrafiltratie(UF) zijn membraanprocessen die als zuiveringstap in de drinkwaterbereiding van oppervlaktewater kunnen worden toegepast. Met deze membraanprocessen worden micro- organismen en deeltjes voor een groot gedeelte tegengehouden. Micro- en ultrafiltratie kunnen goede economische en technische alternatieven zijn voor een conventionele zuivering, zoals snelfiltratie. Dit geldt alleen wanneer er een hoge flux bij een stabiel proces wordt verkregen. Bij het zuiveren van oppervlaktewater met micro- of ultrafiltratie is meestal een voorbehandeling noodzakelijk om een stabiel proces te verkrijgen.

Doel van dit onderzoek is het vaststellen van de effecten van de voorbehandeling, het uitvoeren van een optimalisatieonderzoek van de bedrijfsvoering van UF- SpiraSep en het vergelijken van de kostprijs van de onderzochte MF- en UF concepten.

Vaststellen effecten voorbehandeling

Op basis van vier punten, de vervuilingssnelheid, de voedingswaterkwaliteit, de stromingspotentiaal en de UV- adsorptie bij 254 nm, zijn de effecten van de voorbehandeling vastgesteld. De voorbehandeling bestond in dit onderzoek uit een pH- correctie en een ijzerdosering. Uit het onderzoek bleek dat de vervuilingssnelheid grotendeels wordt bepaald door de samenstelling van het voedingswater. De pH en de troebelheid van het voedingswater zijn hierbij belangrijke parameters. Door het verhogen van de pH wordt de vervuilingssnelheid beperkt. Door het doseren van 1 mg/l ijzer wordt de vervuilingssnelheid ook beperkt. Door deze twee te combineren is de beperking het grootst. Met de stromingspotentiaal tijdens een schoonwaterflux aan het eind van een filtratieperiode voor en na een chemische reiniging kan inzicht in de werking van de chemische reiniging worden verkregen. De stromingspotentiaal meting is een parameter waarmee sneller dan TMD en flux meting veranderingen van ladingscondities door vervuiling kan worden gedetecteerd. Door continu meten van de UV- adsorptie kan de voedingswater en permeaatkwaliteit worden gevolgd en inzicht in verwijdering van opgeloste organische stoffen worden verkregen. Met behulp van UV- spectrofotometrie een optimale voorbehandeling vastgesteld, dat bestaat uit een pH- correctie en een ijzerdosering.

Optimalisatie bedrijfsvoering SpiraSep

Zowel bij een korte- als een langere duurproef is bij 70 l/m².h een stabiel proces verkregen. Door technische storingen in de proefinstallatie van SpiraSep is het niet mogelijk geweest om bij een hogere flux langer het proces te volgen. In de exploitatiekosten vormt het chemicaliënverbruik de grootste kostenpost. De chemicaliënkosten worden hoofdzakelijk gevormd door natronloog en ijzerchloride bij de voorbehandeling. In een vervolgonderzoek zouden de effecten kunnen worden onderzocht op de vervuilingssnelheid en besparing van de exploitatiekosten worden verwezenlijkt.

Vergelijking kostprijs MF- UF concepten

Op basis van een installatie met een capaciteit van 200 m³/h, met 8000 draaiuren per jaar en met prijsopgaven is voor Memcor, ZeeWeed 500, SpiraSep en X- flow – UF- EPCE een kostprijs gemaakt. Op basis van de resultaten van deze kostprijs valt alleen X- flow – UF- EPCE af. Keuze voor een van de overige drie systemen zou op grond van andere aspecten moeten worden genomen, zoals stabiele bedrijfsvoering, onderhoud, storingsgevoeligheid, chemicaliënverbruik, milieu- en ARBO- aspecten

De voorbehandeling in het gehele filtratieproces van Memcor is afhankelijk van de samenstelling van de waterkwaliteit. Voor een goede bedrijfsvoering moet de watersamenstelling van het voedingswater continu worden gemeten. Enkele parameters hiervoor zijn: stromingspotentiaal, UV- adsorptie bij 254 nm, pH en de troebelheid.

Begrippenlijst

Adsorptie	Hechting van organische stoffen aan het membraanoppervlak. Hierbij speelt de lading van het membraan en de deeltjes een grote rol.
Bruto flux	De actuele flux.
Cavitatie	Een verschijnsel dat optreedt bij pompen wanneer de zuigdruk lager is dan de dampdruk. Hierdoor ontstaan dampbellen die kunnen imploderen, waardoor onherstelbare beschadigingen kunnen optreden.
Concentraat	De geconcentreerde volumestroom welke het membraan verlaat. Deze stroom bevat een hoge concentratie aan tegengehouden stoffen.
Cross- flow	Wijze van bedrijfsvoering. Bij cross- flow wordt de concentraatstroom gecirculeerd langs de voedingszijde van het membraanoppervlak. Een percentage van de voedingstroom verlaat het membraan als permeaat.
Dead- end	Wijze van bedrijfsvoering, waarbij de volledige voedingstroom door het membraan wordt geperst. Een periodieke terugspoeling is hierbij noodzakelijk.
Flux	De hoeveelheid geproduceerd permeaat per m ² membraanoppervlak en per tijdseenheid.
Membraanfiltratie	Een filtratietechniek waarbij met behulp van een membraan water gezuiverd kan worden.
Netto flux	De bruto flux gecorrigeerd naar de stilstandtijd door reiniging en het permeaatverbruik bij terugspoelingen.
Permeaat	De gezuiverde volumestroom die het membraan verlaat.
Permeabiliteit	De genormaliseerde flux waarbij de bruto flux gecorrigeerd is naar de TMD en temperatuur.
Recovery	Geproduceerde permeaat als percentage van de voedingsdebiet.
Schoonwaterflux	De flux verkregen bij het doorstromen van het membraan met van nanoporemaat bij een constante volumedebiet en druk.
Spacer	Scheidingsmateriaal van enveloppen bij spiraalgewonden membranen.
Stabiele bedrijfsvoering	De bedrijfsvoering waarbij geen continue afname van de permeabiliteit optreedt.
Stromingspotentiaal	De potentiaal dat ontstaat wanneer een ionische oplossing de geladen poriën van een membraan passeert.
Transmembraandruk(TMD)	De drijvende kracht bij membraanfiltratie. Het drukverschil over het membraan waardoor filtratie optreedt.
Troebelheid	Een indicatieve parameter voor de aanwezigheid van deeltjes in water.

Inhoudsopgave

Voorwoord	1
Samenvatting	2
Inleiding	5
Hoofdstuk 1 Theoretische achtergrond.....	6
1.1 Membraanprocessen.....	6
1.2 Membraanconfiguratie	7
1.3 Bedrijfsvoering.....	9
1.4 Membraanvervuiling.....	10
1.4.1 Meten van membraanvervuiling.....	10
1.5 Voorbehandeling	11
1.6 Membraanreiniging	12
Hoofdstuk 2 Beschrijving MF- en UF- concepten	13
2.1 MF- Memcor	13
2.1.1 De bedrijfsvoering.....	13
2.1.2 De proefinstallatie	14
2.2 UF- SpiraSep.....	14
2.2.1 De bedrijfsvoering.....	15
2.2.2 De proefinstallatie	16
2.3 X- flow - UF- EPCE.....	16
2.4 UF- ZeeWeed 500	17
Hoofdstuk 3 Werkwijze	18
Hoofdstuk 4 Resultaten.....	20
4.1 Vaststellen effecten voorbehandeling	20
4.1.1 Uitvoering	20
4.1.2 Bepalen condities voorbehandeling.....	21
4.1.3 Voedingswaterkwaliteit.....	22
4.1.4 Vervuilingssnelheid.....	23
4.1.5 Stromingspotentiaal meting.....	25
4.1.6 Continue meting UV- adsorptie	27
4.2 Optimalisatie bedrijfsvoering SpiraSep.....	28
4.2.1 Bepalen hoogst mogelijke flux bij stabiele bedrijfsvoering.....	28
4.2.2 Optimalisatie exploitatiekosten SpiraSep.....	30
4.3 Vergelijking kostprijs MF en UF concepten	31
Hoofdstuk 5 Conclusies.....	32
Hoofdstuk 6 Aanbevelingen.....	33
Literatuurlijst	34
Bijlage.....	35-68

Inleiding

Vitens is het jongste en grootste waterbedrijf van Nederland, op 17 mei 2002 ontstaan uit een fusie tussen drie grote Nederlandse waterbedrijven: Nuon Water, Waterbedrijf Gelderland en Waterleiding Maatschappij Overijssel. Vitens levert water in Friesland, Gelderland, Overijssel, de Noordoost Polder en in een aantal gemeenten in Drenthe. Jaarlijks produceert Vitens circa 265 miljoen m³ water voor meer dan 1,6 miljoen gezinnen, bedrijven en instellingen. Daarmee voorziet Vitens in de eerste levensbehoefte van ruim vier miljoen mensen. Vitens produceert drinkwater, met behulp van 85 drinkwaterproductiebedrijven, uit grond-, oppervlakte- en overinfiltraatwater. De afdeling Procestechnologie(PT) is een onderdeel van de afdeling laboratorium en procestechnologie van Vitens. De afdeling PT heeft binnen Vitens onder andere de volgende taken; optimaliseren van bestaande zuiveringsprocessen, het ontwerpen en het implementeren van nieuwe zuiveringsprocessen en het verrichten van proefonderzoeken. De proefonderzoeken worden onder andere verricht in een proefhal bij het innamestation aan de Elsbeekweg te Enschede. Op dit moment wordt de toepasbaarheid van directe zuivering van oppervlaktewater met behulp van micro- en ultrafiltratie concepten onderzocht.

Micro(MF)- en ultrafiltratie(UF)

Als zuiveringsstap in de drinkwaterbereiding van oppervlaktewater zijn MF en UF geschikte membraanprocessen. Deze membraanprocessen houden deeltjes en micro- organismen voor een groot tegen. Micro- en ultrafiltratie kunnen goede economische en technische alternatieven zijn voor een conventionele zuivering, zoals snelfiltratie. Dit geldt alleen wanneer er een hoge flux bij een stabiel proces wordt verkregen. Bij het zuiveren van oppervlaktewater met micro- of ultrafiltratie is meestal een voorbehandeling noodzakelijk om een stabiel proces te verkrijgen. De voorbehandeling kan een vlokvormingstap zijn die bestaat uit een pH- correctie en een ijzerdosering.

Doelstellingen

Dit onderzoek heeft de volgende doelstellingen:

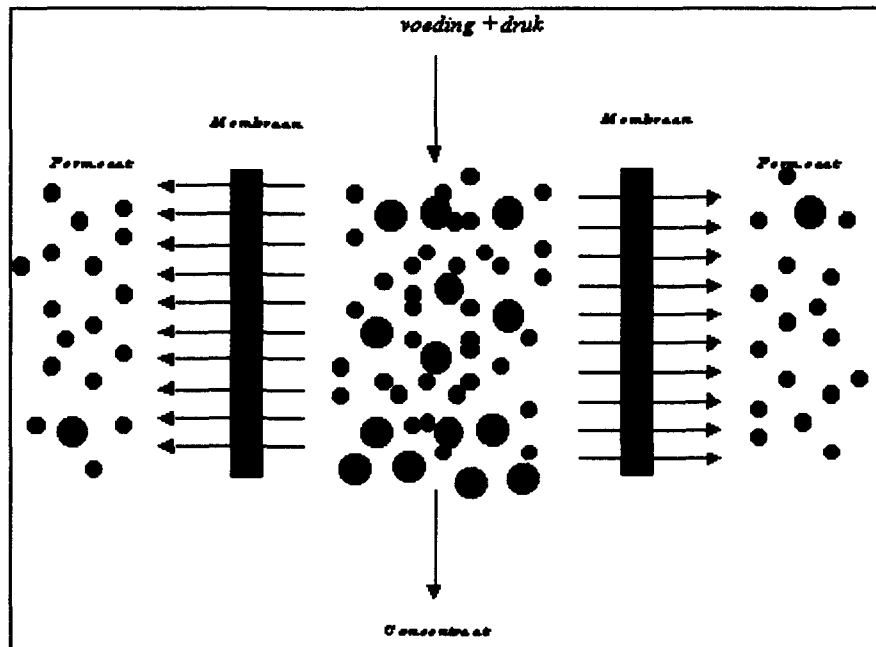
1. Vaststellen effecten voorbehandeling op de bedrijfsvoering van MF Memcor.
Naast de TMD/ flux en de voedingswaterkwaliteit wordt onderzocht of vervuiling van het membraan met behulp van stromingspotentiaal en UV- adsorptie kan worden gemeten. Ook worden de condities van de voorbehandeling met behulp van UV- spectrofotometrie bepaald.
2. Optimalisatie onderzoek van de bedrijfsvoering van UF- SpiraSep.
Bij dit deelonderzoek wordt onderzocht wat de hoogst mogelijke flux is bij een stabiele bedrijfsvoering. Tevens vindt een optimalisatie onderzoek plaats van het energie- en chemicaliënverbruik.
3. Vergelijking van de kostprijs van de onderzochte micro- en ultrafiltratie concepten.
Met behulp van de kostprijs per m³ geproduceerd permeaat worden de verschillende door Vitens onderzochte MF en UF concepten met elkaar vergeleken. Dit zijn MF- Memcor, UF- SpiraSep, UF- ZeeWeed 500 en X- flow – UF- EPCE.

Leeswijzer

In hoofdstuk 1 is de theorie van micro- en ultrafiltratie beschreven die van toepassing is tijdens deze opdracht. Hoofdstuk 2 beschrijft de verschillende membraanconcepten en bedrijfsvoeringen van MF- Memcor, UF- SpiraSep, UF- EPCE en UF- ZeeWeed 500. Vanuit de doelstellingen is in hoofdstuk 4 de werkwijze geformuleerd. Ten slotte staan in hoofdstuk 5 en 6 de conclusies en aanbevelingen.

Hoofdstuk 1 Theoretische achtergrond

Met behulp van membranen kan in principe in een of twee stappen drinkwater worden geproduceerd. Membraanfiltratie is een scheidingstechniek waarbij met behulp van een semi- permeabel membraan scheiding van vervuilende stoffen uit een voedingsstroom optreedt. De scheiding van vervuilende stoffen ontstaat door verschil in deeltjesgrootte van de stoffen en de poriegrootte van het membraan. De vervuilende stoffen zijn voornamelijk zouten, zwevende stoffen, grote moleculen, bacteriën en virussen. Bij membraanfiltratie in de drinkwaterproductie is de drijvende kracht een aangebracht drukverschil over het semi- permeabel membraan. Er zijn bij membraanfiltratie drie waterstromen te onderscheiden, de voedingsstroom, de permeaatstroom en de concentraatstroom. In figuur 1.1 is het principe van de werking van membraanfiltratie schematisch weergegeven.



Figuur 1.1 principe membraanfiltratie

1.1 Membraanprocessen

Het scheidend vermogen van het membraan is afhankelijk van de poriegrootte. Uitgaande van het verschil in poriegrootte zijn er vier verschillende drukgedreven membraanprocessen. In volgorde van afnemend scheidend vermogen zijn dit:

1. Hyperfiltratie of Omgekeerde Osmose (RO)
2. Nanofiltratie (NF)
3. Ultrafiltratie (UF)
4. Microfiltratie (MF)

Nanofiltratie en Omgekeerde Osmose

NF en RO worden toegepast om water te ontzouten en om andere bestanddelen, zoals kleurstoffen, micro- organismen en opgeloste stoffen, uit het water te filtreren. NF bezit de eigenschap tweewaardige ionen vrijwel geheel tegen te houden, terwijl eenwaardige ionen gedeeltelijk het membraan kunnen passeren. Hierdoor is NF bijvoorbeeld geschikt om grondwater te ontharden. Omgekeerde osmose wordt toegepast als water moet worden ontdaan van zowel één- als tweewaardige ionen. Met behulp van omgekeerde osmose is het bijvoorbeeld mogelijk om van zeewater drinkwater te maken.

Micro- en ultrafiltratie

Deze processen worden ingezet voor het verwijderen van een groot deel van de deeltjes en micro-organismen, zoals virussen uit het voedingswater. MF en UF worden vooral toegepast in de zuivering van oppervlaktewater, proceswater en afvalwater. Met deze processen alleen kan geen drinkwater worden geproduceerd. MF en UF zijn wel zeer geschikt als voorzuivering voor een NF of een RO-installatie bij productie van drinkwater. Micro- en ultrafiltratie kunnen alternatieven processen zijn voor de conventionele zuiveringsprocessen in de zuivering van oppervlaktewater, zoals snelfiltratie. Dit geldt alleen wanneer er voldoende opbrengst bij een stabiel proces wordt verkregen. Voor het verkrijgen van een stabiel proces is de optredende vervuiling een aandachtspunt van onderzoek.

In tabel 1.1 staat een overzicht van het scheidend vermogen van vervuilende stoffen door de verschillende membraanprocessen.

Tabel 1.1 scheidend vermogen van membraanprocessen

Proces	Poriegrootte (nm)	Deeltjes	Bacteriën	Virussen	Hardheid reductie	Opgeloste zouten
MF	100- 4000	+	+	+/-	-	-
UF	1,5 – 100	+	+	+	-	-
NF	0,5 – 2	+	+	+	+	+/-
HF/ RO	0,2 - 1	+	+	+	+	+

+ = goed verwijderbaar

+/- = matig verwijderbaar

- = slecht verwijderbaar

Bij membraanprocessen zijn een aantal parameters van belang om het proces te kunnen beschrijven. De tijdens de opdracht gebruikte parameters zijn in bijlage 1 op pagina 38 en 39 beschreven.

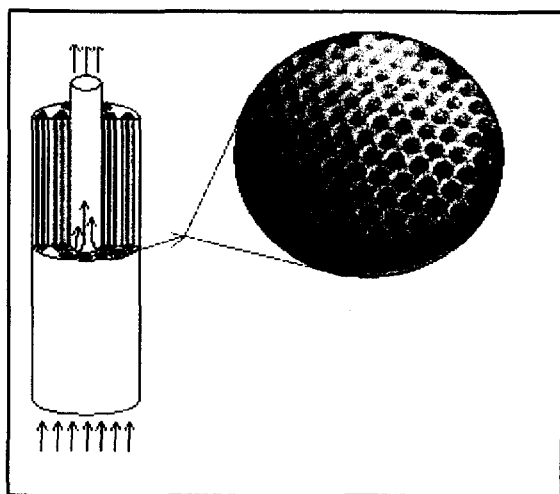
1.2 Membraanconfiguratie

In een membraanproces worden meerdere membranen gebruikt. Deze worden ondergebracht in een membraanmodule. Tijdens dit onderzoek zijn met twee verschillende membraanconfiguraties gewerkt.

1. Buisvormige membranen.
2. Spiraalgewonden membranen.

Buisvormige membranen

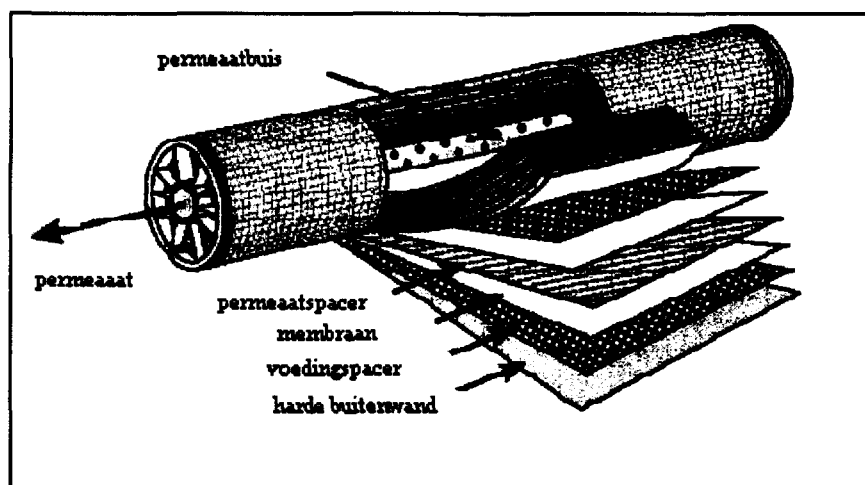
Buisvormige membranen kunnen onderverdeeld worden naar diameter, in tubulaire, capillaire en holle vezel membranen. Bij het tubulair membraan bevindt het membraan zich meestal aan de binnenkant van een buisje. Bij capillaire en holle vezel membranen vormt het membraanmateriaal het buisje. De filtratie bij capillaire en holle vezel membranen vindt over het algemeen outside- in plaats. Bij outside- in filtratie' stroomt het voedingswater langs de buitenzijde van de buisjes en het permeaat door de buisjes. Het permeaat verzamelt zich in de membraanmodule. Via de zijkant of via een geperforeerde permeaatbuis wordt het permeaat vervolgens afgevoerd. Er bestaat ook de mogelijkheid om inside- out filtratie toe te passen. In figuur 1.2 is een membraanmodule weergegeven met buisvormige membranen met inside- out filtratie.



Figuur 1.2 buisvormige membraanmodule

Spiraalgewonden membranen

Twee semi-permeabele wanden worden met de permeaatzijde tegen elkaar aangelegd, waardoor een soort envelop ontstaat. Drie zijde van de envelop worden vastgemaakt. Het membraan is aan de buitenzijde van de envelop aangebracht. In de envelop bevindt zich een permeaatspacer, die voldoende transport van het geproduceerde permeaat mogelijk maakt. Tussen de enveloppen bevindt zich een voedingspacer, deze zorgt ervoor dat voldoende transport van voedingswater mogelijk is. Afhankelijk van de diameter van de membraanmodule worden een aantal enveloppen en spacers om een geperforeerde permeaatbuis opgerold. De niet afgesloten zijde van de envelop staat in open verbinding met de gaten in de permeaatbuis. Op deze wijze is er een scheiding tussen de permeaatzijde en de voedingszijde van de module en is de afvoer van permeaat uit de module mogelijk. Nadat de enveloppen en spacers zijn opgerold wordt een harde buitenwand aangebracht. Deze zorgt voor de stevigheid van de module. De stromingsrichting is outside- in; aan de buitenzijde van de envelop stroomt het voedingswater en in de envelop het permeaat. In figuur 1.3 is een spiraal gewonden membraanmodule afgebeeld. Dit soort membraanmodules worden bij membranen overdruk die met overdruk werken in een drukvat geplaatst. Bij onderdrukmembranen is dit niet noodzakelijk.



Figuur 1.3 spiraalgewonden membraanmodule

1.3 Bedrijfsvoering

Bij micro- en ultrafiltratie worden in het algemeen de volgende drie verschillende bedrijfsvoeringen onderscheiden:

1. Cross- flow
2. Semi dead-end
3. Dead- end

In figuur 1.4 zijn de bedrijfsvoeringen schematisch weergegeven.

Cross-flow filtratie

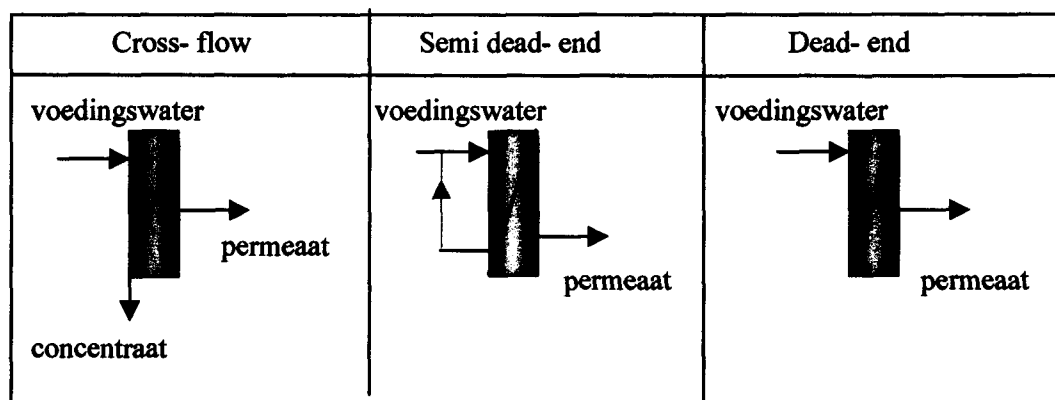
Bij cross- flow filtratie stroomt het grootste gedeelte van de voedingstroom langs het membraan. Slechts een gedeelte van het voedingswater wordt als permeaat geproduceerd. Het grootste gedeelte verlaat de module als concentraat. Het gevolg is dat bij cross-flow filtratie veel energieverlies ontstaat. De gehele voedingsstroom wordt immers onder druk gebracht. De voedingsstroom wordt met een bepaalde langsstroomsnelheid langs het membraan gepompt. Door deze stroming langs het membraan wordt ophoping van de hoeveelheid afgevangen stoffen beperkt.

Semi dead- end filtratie

Bij deze bedrijfsvoering werkt een deel van het filtratieproces onder dead- end condities en een deel onder cross- flow condities. Zoals bij cross- flow filtratie wordt bij semi dead- end filtratie een langsstroomsnelheid langs de membranen gecreëerd. In tegenstelling tot cross- flow wordt het concentraat niet geloosd maar gerecirculeerd. Er zal echter wel ophoping van afgevangen stoffen optreden. Hierdoor is reiniging noodzakelijk.

Dead- end filtratie

Bij dead- end filtratie wordt al het voedingswater door het membraan geperst. Hierdoor worden stoffen zoals micro- organismen en deeltjes door de membaan tegengehouden. Deze stoffen vormen een koeklaag op het membraanoppervlak. Na verloop van tijd zal de koeklaag steeds groter en compacter worden. Dit resulteert in weerstandsverhoging waardoor de flux afneemt en de TMD stijgt. Om compactie van de koeklaag te voorkomen moet deze van het membraanoppervlak verwijderd worden middels een periodieke reiniging. Doordat geen continue concentraatlozing plaats vindt wordt ten opzichte van cross- flow filtratie het energieverbruik beperkt. Bij alle door Vitens onderzochte MF en UF concepten wordt dead- end filtratie toegepast, door het lagere energieverbruik.



Figuur 1.4 bedrijfsvoering

1.4 Membraanvervuiling

Vervuiling van de membranen treedt altijd op, onafhankelijk van de gekozen bedrijfsvoering. De vervuiling is een belangrijk criterium in de toepasbaarheid van micro- en ultrafiltratie bij zuivering van oppervlaktewater. Vervuiling leidt tot vermindering van de membraanprestaties. Dit is te zien aan een afnemende flux en een stijgende TMD en daarmee een afnemende permeabiliteit. Er kunnen twee verschillende vormen van vervuiling bij micro- en ultrafiltratie worden optreden:

1. Niet- blijvende vervuiling
2. Blijvende vervuiling

Niet- blijvende vervuiling

Onder de niet- blijvende vervuiling wordt de vervuiling verstaan die door middel van terugspoelingen en chemische reinigingen verwijderd kunnen worden. Over de toepasbare reinigingen zal in paragraaf 1.6 worden gesproken. Tijdens dead- end filtratie vormen tegengehouden stoffen een koeklaag op het membraanoppervlak. Na verloop van tijd zal de koeklaag moeten worden verwijderd om afname van de membraanprestaties te voorkomen.

Naast het tegenhouden van stoffen door het membraan kan adsorptie van deeltjes of opgeloste organische stoffen, zoals humus- zuren aan het membraanoppervlak plaats vinden. Daarbij spelen de oppervlaktelading van deeltjes en de ladingscondities van het membraan een grote rol. Tevens kunnen poriën verstopt raken doordat deeltjes vast komen te zitten in de poriën van het membraan. Door het goed uitvoeren van een voorbehandeling kan adsorptie en porieverstopping worden beperkt. In paragraaf 1.5 komt de voorbehandeling aan de orde. De niet- blijvende vervuiling resulteert slechts in een tijdelijke afname van de permeabiliteit van het membraan in de tijd.

Blijvende vervuiling

Bij een blijvende vervuiling kan na herhaaldelijke terugspoelingen en chemische reinigingen de opgetreden vervuiling niet meer verwijderd worden. Dit wordt zichtbaar door een continue afname van de permeabiliteit in de tijd. Toepassing van micro- en ultrafiltratie is in deze gevallen praktisch en economisch niet meer aantrekkelijk. Veelvuldig chemisch reinigen blijkt onvoldoende effectief en resulteert in een verhoging van de exploitatiekosten. Daarnaast wordt de levensduur van de membranen beperkt.

1.4.1 Meten van membraanvervuiling

Normaal wordt bij membraanfiltratie de vervuiling gemeten en beoordeeld op de afname van de permeabiliteit in de tijd. Een afname van de permeabiliteit wordt veroorzaakt door afname van de flux en een toename van de TMD. Bij membraanfiltratie is deze afname echter pas na enkele weken zichtbaar. In dit onderzoek zijn twee extra metingen toegepast om te onderzoeken of de blijvende vervuiling in een eerder stadium gedetecteerd wordt:

1. Stromingspotentiaal
2. Continue meting UV- adsorptie bij 254 nm

Stromingspotentiaal

Het doel van deze meting is om te onderzoeken of eerder dan TMD en flux meting in het filtratieproces een indicatie van blijvende vervuiling kan worden vastgesteld. Stromingspotentiaal is de potentiaal dat ontstaat wanneer een ionische oplossing de poriën van een geladen membraan passeert. Met de stromingspotentiaal worden de ladingscondities van het membraan gemeten. De potentiaal wordt gemeten door twee elektroden in het voedingswater en in het permeaat. Het Memcor membraan heeft een negatieve oppervlaktelading, hierdoor zijn interacties van geladen deeltjes mogelijk. Door deze interactie kan adsorptie optreden en tot blijvende vervuiling leiden. De stromingspotentiaal is afhankelijk van parameters zoals: pH, viscositeit, ionsterkte, geleidingsvermogen, druk en het volumedebiet.

De stromingspotentiaal wordt onder standaard condities tijdens een schoonwaterflux gemeten aan het einde van een filtratieperiode voor en na een chemische reiniging. Door de metingen te vergelijken kan een indicatie van de effectiviteit van de chemische reiniging en de ladingcondities van het membranen worden verkregen. In hoofdstuk 3 wordt de procedure van de stromingspotentiaal meting behandeld.

Continue meting UV- adsorptie

Doel van de UV- adsorptie meting bij 254 nm is het continu volgen van de voedingswater- en de permeaatkwaliteit op basis van opgeloste organische stoffen. Door middel van een UV- spectrofotomeetcel wordt de UV- adsorptie van opgeloste organische stoffen zoals humus- zuren gemeten. Deze stoffen vertonen adsorptie in het UV gebied met een maximum bij een golflengte van 190 tot 254 nm. Vergelijkbaar met de UV- adsorptie meting zijn DOC en kleur analyse, waarmee opgeloste organische stoffen worden gedetecteerd. Verwacht wordt dat bij een verschil van UV- adsorptie in het voedingswater en het permeaat verwijdering er sprake is verwijdering van humus- zuren. Deze verwijdering kan worden veroorzaakt door insluiting bij vlokvorming of door adsorptie aan het membraanoppervlak. Waarbij adsorptie aan het membraanoppervlak kan leiden tot blijvende vervuiling van het membraan.

1.5 Voorbehandeling

Afhankelijk van de aard en de eigenschappen van het membraanmateriaal en de samenstelling van de waterkwaliteit is het veelal noodzakelijk om vooraf aan MF en UF een voorbehandeling toe te passen. In dit onderzoek is de voorbehandeling een on- line vlokvorming. Vlokvorming ontstaat door het toevoegen van een vlokmiddel zoals FeCl_3 of AlCl_3 . Deze vlokvorming is pH afhankelijk. Het doel van de vlokvorming is het beperken van porieverstopping, adsorptie door deeltjes en het makkelijker verwijderen van de koeklaag tijdens een terugspoeling. Hierdoor heeft vlokvorming een gunstig effect op de membraanprestaties.

Deeltjes, humus- zuren en micro- organismen in oppervlaktewater hebben over het algemeen een negatieve oppervlaktelading. Door gelijknamige ladingen stoten deze deeltjes elkaar af. Hierdoor kunnen ze lang in zwevende toestand blijven. Door middel van het toevoegen van een sterk positief geladen vlokmiddel, zoals FeCl_3 wordt de oppervlaktelading van de deeltjes gedeeltelijk geneutraliseerd. Hierdoor wordt de interactie tussen deeltjes en het membraanoppervlak beperkt. Doordat deeltjes elkaar niet afstoten kunnen ze elkaar naderen en kan vlokvorming optreden. Door middel van roeren wordt de botsingskans vergroot waardoor vlokvorming wordt bevorderd. Doordat deeltjes samenklonteren tot vlokken en hierdoor makkelijker door het membraan worden tegengehouden wordt de permeabiliteit vergroot. De effectiviteit van vlokvorming kan worden vergroot door aanpassing van de pH. Naast toevoeging van ijzer deeltjes veroorzaakt de pH een verandering in de oppervlaktelading van de deeltjes. Deze oppervlaktelading kan worden gemeten met de zetapotential. Zetapotential is een belangrijke parameter waarmee de elektrische interactie tussen deeltjes wordt bepaalt. Met behulp van UV- spectrofotometrie kan een indicatie worden verkregen van de optimale condities van de voorbehandeling.

UV- spectrofotometrie

Veel opgeloste organische stoffen zoals humus- zuren vertonen adsorptie in het UV- gebied. Met een maximum rond een golflengte van 190 tot 254 nm. Het effect van pH- correctie en ijzerdosering op water kunnen met UV- spectra worden vastgesteld. De combinatie van pH- correctie en ijzerdosering waarbij de meeste verwijdering van opgeloste organische stoffen optreedt wordt gezien als optimale condities voor de voorbehandeling.

1.6 Membraanreiniging

In een Vitens onderzoek is vastgesteld dat micro- en ultrafiltratie alleen praktisch en economisch toepasbaar is bij een netto flux van minimaal 50 l/m².h. Bij deze minimale flux kunnen micro- en ultrafiltratie concurrerend zijn met conventionele zuiveringsprocessen, zoals snelfiltratie.

De beheersing van optredende vervuiling is bij micro- en ultrafiltratie noodzakelijk voor het verkrijgen van een voldoende hoge flux. Om vervuiling van het membraan te voorkomen moet filtratie worden onderbroken voor een reiniging. Dit kan met behulp van twee soorten reiniging:

1. Hydraulische reiniging
2. Chemische reiniging.

Hydraulische reiniging

Een hydraulische reiniging bestaat over het algemeen uit een periodieke terugspoeling en een voorwaartse spoeling. Om de effectiviteit te vergroten wordt tijdens deze spoelingen lucht geïnjecteerd. Bij de terugspoeling wordt de permeaatstroom in tegengestelde richting door het membraan geperst. Door een terugspoeling worden de afgevangen stoffen van het membraanoppervlak gelicht. Tevens vindt er een spoeling in de membraanporiën plaats, waardoor stoffen die door adsorptie en porieverstopping zijn achtergebleven worden verwijderd.

Door een voorwaartse spoeling na de terugspoeling met voedingswater uit te voeren worden de opgelichte stoffen uit de membraanmodule gespoeld. Tijdens een voorwaartse spoeling wordt vaak lucht toegevoegd om meer turbulente stroming aan de voedingszijde van het membraan te veroorzaken. Hierdoor kan de koeklaag op het membraan beter worden verwijderd. Over het algemeen vindt een hydraulische reiniging elke 15-20 minuten plaats. Tijdens de hydraulische reiniging kan geen productie plaatsvinden, waardoor de netto opbrengst(flux) wordt verminderd.

Chemische reiniging

Er zullen ondanks de periodieke hydraulische reiniging stoffen achterblijven op het membraanoppervlak en aan en in het membraan. Deze deeltjes kunnen met behulp van een chemische reiniging worden losgeweekt of opgelost. Een veel gebruikte reinigingsmethode is het spoelen met een zure en basische oplossing. Een reiniging met natriumhypochloriet wordt vaak toegepast, voor de desinfecteren werking.

Een nadeel van hydraulisch- en chemisch reinigen is dat het hoge kosten met zich meebrengt vanwege het chemicaliënverbruik en de bedieningskosten. Ook het feit dat de installatie uit productie moet en permeaat wordt gebruikt veroorzaakt hogere exploitatiekosten. Door het toepassen van chemische reinigingen wordt de levensduur van de membranen verkort.

Bij het optimaliseren van de bedrijfsvoering is een minimale chemicaliënverbruik het streven.

Hoofdstuk 2 Beschrijving MF- en UF- concepten

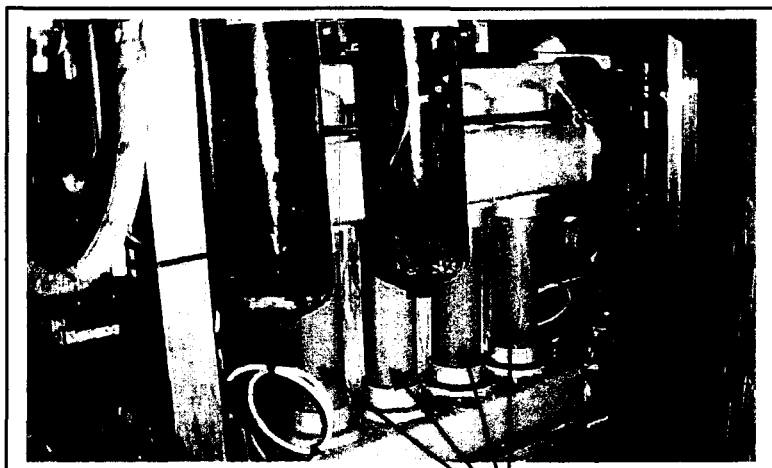
In dit hoofdstuk worden de door Vitens onderzochte MF en UF concepten beschreven. De resultaten verkregen uit de verschillende periode van onderzoek staan in bijlage 2 op pagina 39 en 40 in vier tabellen opgesomd. De volgende MF en UF concepten worden behandeld:

1. MF- Memcor
2. UF- SpiraSep
3. X- flow - UF- EPCE
4. UF- ZeeWeed 500

2.1 MF- Memcor

Bij Memcor wordt een luchtgespoelde microfiltratie membraan toegepast. Door een luchtstroom tijdens een terugspoeling door de holle kern van de capillaire membranen vindt in principe een betere verwijdering plaats van de koeklaag. De deeltjes die zich aan en in de poriën bevinden worden zo beter verwijderd. Een membraanmodule bevat een aantal capillaire membranen met een poriegrootte van 200 nm. De membranen zijn vervaardigd van polypropyleen. Iedere membraanmodule heeft een membraanoppervlak van 1 m². De filtratie geschiedt dead- end en outside- in. Het voedingswater stroomt door een aangebracht drukverschil door de wand van het capillair naar de holle kern.

In de proefinstallatie zijn 4 verticaal parallelgeschakelde membraanmodules opgenomen. In figuur 2.1 staan de membraanmodules afgebeeld.



Figuur 2.1 Memcor membraanmodules

2.1.1 De bedrijfsvoering

De bedrijfsvoering van Memcor bestaat uit een aantal kenmerkende punten. Deze punten worden hieronder kort beschreven.

Terugspoeling

Bij de terugspoeling wordt water en lucht onder hoge druk in de holle kern van het capillair geperst. Dit zorgt voor een snelle luchtstroom langs de wanden van de membranen. Hierdoor zetten de capillaire op en worden de koeklaag en de deeltjes die zich aan en in de poriën bevinden losgeblazen. Het doel van Memcor is om het aantal chemische reinigingen hierdoor te beperken.

Na de terugspoeling wordt tijdens de voorwaartse spoeling voedingswater gebruikt om de los geblazen deeltjes uit de membraanmodule te spoelen. Het interval tussen een hydraulische reiniging is 20 minuten, de lengte van de spoeling 3 minuten.

Chemische reiniging

De resterende vervuiling wordt verwijderd met een periodieke chemische reiniging. De periodieke chemische reiniging bij de Memcor proefinstallatie wordt handmatig uitgevoerd. Dit is een beperking van de proefinstallatie. De chemische reiniging bestaat uit een zure/ base combinatie. Hiervoor is natriumperboraat met een pH van 11,5 - 12 gebruikt en een zoutzuur oplossing met een pH van 1,5 - 2.

Voorbehandeling

Voorafgaand aan de Memcor microfiltratie is het noodzakelijk gebleken om een voorbehandeling uit te voeren. De voorbehandeling is een pH- correctie en een vlokvormingdosering.

2.1.2 De proefinstallatie

De Memcor proefinstallatie bestaat naast de membraanmodules uit een breaktank, doseerunit, vlokvormingstank, schoonwatertank en een spoelwatervat. In bijlage 3 en 4 is de proefinstallatie schematisch weergegeven, bijlage 3 op pagina 41 geeft de waterstromen weer in filtratiefase en bijlage 4 op pagina 42 tijdens de terugspoeling.

In de voedingsleiding is een troebelheidsmeter is opgenomen. De troebelheid wordt continu gemeten. Naast de troebelheid wordt ook de UV- adsorptie van het voedingswater continu gevolgd, door een UV- adsorptie meting bij 254 nm. In de permeaatleiding wordt ook de UV- adsorptie gemeten.

De proefinstallatie bevat een doseerunit en een pH- regeling. Met de doseerunit wordt natronloog en FeCl_3 gedoseerd. De doseerunit is pH gestuurd. Een pH- sensor meet de zuurgraad in de vlokvormingstank en is verbonden aan een PID- regelaar, die de pH- waarde stuurt. Met de mogelijkheid om een setpoint in te stellen is iedere zuurgraad van het voedingswater te bereiken. De pH wordt verhoogd met behulp van een natronloogdosering. Als vlokmiddel wordt FeCl_3 gebruikt. De FeCl_3 oplossing wordt door een doseerpomp in de vlokvormingstank gedoseerd. De verblijftijd van het voedingswater in de vlokvormingstank is constant. Door middel van een roerinstallatie wordt de botsingskans van de deeltjes vergroot.

Het water dat de vlokvormingstank verlaat is het voedingswater na vlokvorming. In het voedingswater na vlokvorming is een doorstroomarmatuur gemonteerd, waarin een elektrode is bevestigd. In de permeaatstroom is ook een elektrode geplaatst. Met de twee elektrodes wordt de stromingspotentiaal gemeten. Het voedingswater na vlokvorming stroomt de breaktank in, hiervandaan wordt het membraan gevoed, door de voedingspomp. De schoonwatertank bevat NF- permeaat van een proefinstallatie in de proefhal met een 0,01 molair NaCl oplossing Deze oplossing wordt tijdens de schoonwaterflux gebruikt.

Bij de Memcor proefinstallatie wordt de flux ingesteld door middel het veranderen van de voedingsdruk van de frequentie gestuurde voedingspomp. Tijdens filtratie blijft de voedingdruk en daarmee de TMD constant en neemt de flux in de tijd af. Om de flux op zijn beginwaarde te herstellen moet de voedingsdruk worden verhoogd. Doordat zowel de TMD als de flux in de tijd varieert, kan de permeabiliteit niet worden bepaald. Dit is een beperking van de proefinstallatie.

2.2 UF- SpiraSep

Het toegepaste spiraalgewonden SpiraSep membraan is een polyethersulfon membraan, de poriegrootte bedraagt 50 nm. Een SpiraSep module heeft door toepassing van een dikkere voedingsspacer hogere voedingskanalen dan de reguliere spiraal gewonden membraanmodules. Hierdoor wordt het aanstromen van voedingswater en lucht vergemakkelijkt. De hogere voedingskanalen hebben als voordeel dat er meer vuilbergend vermogen wordt gecreëerd tijdens filtratie. Bovendien kan tijdens terugspoelen de koeklaag makkelijker uit de membraanmodule verwijderd worden. In deze proefinstallatie zijn 4 membraanmodules van elk 9,75 m² opgenomen. In figuur 2.2 zijn de 4 membraanmodules te zien in het bovenaanzicht van de proefinstallatie.



Figuur 2.2 membraanmodule

2.2.1 De bedrijfsvoering

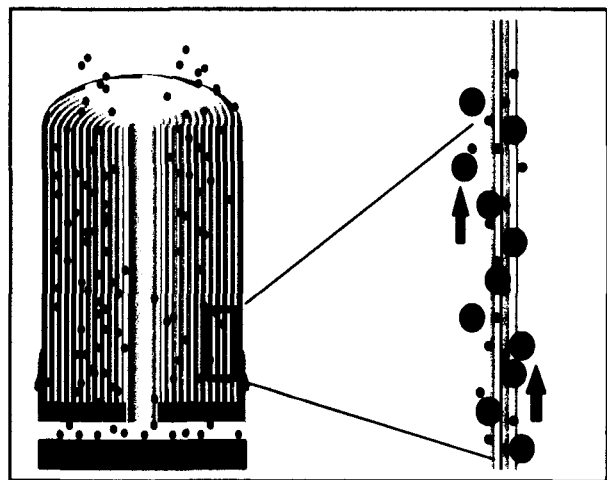
Het Trisep concept heeft voor SpiraSep een eigen, unieke bedrijfsvoering ontwikkelt. Met deze bedrijfsvoering wordt getracht de vervuiling van het membraan beheersbaar te maken.

Terugspoeling

De waterstroom wordt omgekeerd waardoor de koeklaag van het membraanoppervlak wordt verwijderd en uit de membraanmodule gespoeld. Tijdens het terugspoelen kan een desinfectiemiddel, zoals NaOCl worden gedoseerd aan het permeaat waarmee wordt teruggespoeld.

Luchtinjectie tijdens terugspoeling

Tijdens filtratie bestaat bij SpiraSep de mogelijkheid om continu, discontinu of geen luchtinjectie uit te voeren. De luchtinjectie is een soort van voorwaartse spoeling. Lucht wordt onder de verticaal opgestelde membraanmodules geïnjecteerd door een blower. In figuur 2.3 is in een schematische weergave te zien dat de luchtbelletjes door de module omhoog stromen. Bij deze opwaartse luchtstroom wordt een deel van de afgevangen stoffen uit de module gespoeld. De vorming van een koeklaag op het membraan wordt door de continue luchtinjectie verstoord. Hierdoor zijn met een continue luchtinjectie langere filtratie perioden mogelijk ten opzichte van discontinu of geen luchtinjectie.



Figuur 2.3 luchtinjectie

Onderdrukmembraan

Onderdruk membranen werken over het algemeen bij een lagere TMD dan overdruk membranen. Door deze lagere TMD treedt vervuiling in mindere mate op. Bij een hogere TMD wordt de koeklaag meer samengeperst en daardoor compacter. Door periodieke reiniging en de luchtinjectie wordt de vervuiling verder beperkt.

Chemische reiniging

De chemische reiniging wordt dagelijks uitgevoerd en bestaat alleen uit een citroenzuur reiniging. De chemische reiniging wordt volledig geautomatiseerd uitgevoerd. De lengte van een reiniging is 23 minuten. De chemische reiniging bestaat uit een cyclus van spoelen, weken en uitspoelen. Tijdens het spoelen wordt permeaat gebruikt met een natriumhypochloriet oplossing.

Dead- end filtratie

Bij SpiraSep is er sprake van een soort dead- end filtratie ondanks een 5% concentraatafvoer. De modules zijn aan beide zijden geopend en al het water dat de module instroomt, zal ook als permeaat de module verlaten. Wanneer de luchtinjectie actief is wordt via de open bovenzijde een zeer kleine hoeveelheid voedingswater uit de module getransporteerd

Voorbehandeling

Ook bij SpiraSep membranen is een voorbehandeling tijdens het onderzoek toegepast. De condities van de voorbehandeling zijn overgenomen uit het onderzoek met Memcor.

2.2.2 De proefinstallatie

De SpiraSep membraanmodules zijn getest in en proefinstallatie van Trisep. In bijlage 5 en 6 zijn schematische weergaven van de proefinstallatie opgenomen, bijlage 5 op pagina 43 geeft de waterstromen weer in filtratiefase en bijlage 6 op pagina 44 tijdens de terugspoelfase. Tijdens het onderzoek is door een vaste stand van de voedingsklep de hoeveelheid voedingswater constant gebleken. Het voedingswater komt na de vlokmiddel dosering en natronloogdosering in de vlokvormingscompartimenten, waarna het in de membraantank komt. De vlokvormingstijd is tijdens filtratie constant maar varieert door een verandering in de flux. In de membraantank hangen de 4 membraanmodules verticaal. Tijdens filtratie wordt door een blower lucht langs het membraanoppervlak geïnjecteerd. Het luchtverbruik wordt door middel van een volumestroommeter zichtbaar. De frequentie voor permeaatproductie en terugspoelen is apart instelbaar. De pH van het voedingswater en het permeaat wordt continu gemeten evenals de temperatuur van het voedingswater. Hiervoor is een klep opgenomen waarmee de hoeveelheid in te stellen is. De volumestroom van het voedingswater, de permeaatproductie en de afluut aan concentraat worden continu gemeten. In de leiding tussen de membranen en de permeaatpomp wordt de permeaatdruk gemeten. Dit meetpunt is ter hoogte van het waterniveau in de tank aangebracht.

2.3 X- flow - UF- EPCE

UF- UPCE staat voor ultrafiltratie Enhanced PreCoat Engineering. Het is een door Vitens en KIWA ontwikkelde techniek en is toepasbaar op elk tubulair en capillair membraan. In het onderzoek is gebruik gemaakt van een capillair membraan van X- flow. Gedurende de eerste halve minuut van een filtratierun wordt enkele seconden een deeltjessuspensie op het membraan aangebracht. Deze relatief grote deeltjes met een smalle grootteverdeling vormen een makkelijker te verwijderen, doorlaatbare en onsamendrukbare laag op het membraan. De deeltjes in het voedingswater worden in de koeklaag afgevangen. De pre- coat met haar vervuiling, is makkelijker te verwijderen tijdens de terugspoeling. Als pre- coat wordt diatomiet gebruikt.

2.4 UF- ZeeWeed 500

Het ZeeWeed 500 model van de Canadese leverancier Zenon is een ultrafiltratie membraan. Het zijn capillaire onderdrukmembranen volgens het filtratieprincipe met outside- in filtratie. De poriegrootte van het toegepaste membraan bedraagt 40 nm. De cassette (module) met capillaire membranen zijn ondergedompeld in een tank waar het voedingswater zich bevindt. Een pomp recirculeert de inhoud over deze tank. Aan de inhoud van deze tank wordt voedingswater gevoed en een deel als concentraat afgevoerd. Aan het voedingswater worden geen chemicaliën toegevoegd. Door de geringe toegepaste onderdruk is de TMD beperkt. Op de bodem van de tank wordt lucht geïnjecteerd. Dit creëert een extra recirculatie patroon in de tank en minimaliseert het bezinken van deeltjes terwijl de luchtbelletjes de membranen in beweging houden en schoonmaken. Hierdoor wordt mogelijke afzetting van vervuiling op het membraanoppervlak verwijderd en voorkomen. Door de outside- in filtratie blijft de vervuiling aan de buitenzijde van het membraan.

Hoofdstuk 3 Werkwijze

In dit hoofdstuk staat de werkwijze van de verschillende onderzoeken beschreven. De opdracht bestaat uit drie onderzoeksdoelen:

1. Vaststellen effecten voorbehandeling Memcor
2. Optimalisatie bedrijfsvoering SpiraSep
3. Vergelijking kostprijs MF- UF concepten

1. Vaststellen effecten voorbehandeling Memcor

Bij het vaststellen van de effecten van de voorbehandeling worden twee onderzoeken onderscheiden:

1. Het bepalen van de optimale condities van de voorbehandeling.
2. Het vaststellen van de effecten van de voorbehandeling op de bedrijfsvoering van Memcor.

Bepalen optimale condities voorbehandeling

Door middel van bekerglasexperimenten worden verschillende condities van pH- correctie en ijzerdosering in het voedingswater uitgevoerd. Van iedere combinatie wordt een UV- scan gemaakt met behulp van een UV- spectrofotometer. De combinatie van pH- correctie en ijzerdosering waarbij de laagste UV- adsorptie wordt gemeten is de optimale conditie van de voorbehandeling. Deze combinatie wordt vervolgens toegepast bij het vaststellen van de effecten van de voorbehandeling op de bedrijfsvoering van Memcor. De toegepaste procedure staat in bijlage 10 op pagina 49.

Vaststellen effecten voorbehandeling

Bij het vaststellen van de effecten van de voorbehandeling worden vier mogelijke combinaties van het wel/ niet uitvoeren van een pH- correctie en/ of Fe dosering getest. Iedere run wordt uitgevoerd bij een beginflux van $87,5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$. Om de 20 minuten wordt een terugspoeling uitgevoerd van 3 minuten. Een run duurt twee dagen en is onderdeel van een cyclus dat uit de volgende onderdelen bestaat:

1. chemische reiniging
2. schoonwaterflux
3. run
4. schoonwaterflux

In bijlage 7 op pagina 45 en 46 staat een beschrijving van het doorlopen van deze cyclus.

Bij dit onderzoek wordt gebruikt gemaakt van de proefinstallatie van Memcor, zie voor de beschrijving van de proefinstallatie paragraaf 2.1.2. Tijdens het onderzoek wordt een datalogger toegepast. Meetsignalen zoals de voedingsdruk, voeding- en permeaatflow, troebelheid (in voedingswater), UV- adsorptie 254 nm en stromingspotentiaal worden met behulp van een datalogger opgeslagen.

Tijdens elke run worden vier parameters gebruikt waarmee het effect van de voorbehandeling wordt vastgesteld.

1. Vervuilingssnelheid:

Met het continu meten van de TMD gedurende een run wordt het effect van de voorbehandeling onderzocht op de TMD stijging. Om de TMD stijging zichtbaar te kunnen maken wordt om de 24 uur de flux naar $87,5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ gecorrigeerd.

2. Waterkwaliteit:

De waterkwaliteit worden bij iedere run geanalyseerd op troebelheid, ijzer, UV- extinctie en DOC. Daarnaast wordt de troebelheid continu in het voedingswater gemeten. Met deze parameters wordt beoordeeld wat de effecten zijn van de voorbehandeling.

3. Stromingspotentiaal:

Stromingspotentiaal is in onderzoek bij Vitens en Kiwa om vervuiling te detecteren. In dit onderzoek wordt de stromingspotentiaal meegenomen om vervuiling sneller te detecteren dan TMD en flux meting. De stromingspotentiaal wordt tijdens een schoonwaterflux aan het eind van een run voor en na een chemische reiniging gedurende 15 minuten gemeten. Door de twee metingen te vergelijken wordt onderzocht meer inzicht verkregen van de effectiviteit van de chemische reiniging en de ladingscondities van het membraan.

3. Continue UV- adsorptie 254 nm:

Bij het toepassen van de continue UV- adsorptie meting bij 254 nm wordt onderzocht of veranderingen in het voedingswater zichtbaar zijn in de membraanprestaties. Tevens wordt onderzocht of adsorptie aan het membraan optreedt van organische opgeloste stoffen.

2. Optimalisatie bedrijfsvoering SpiraSep

Het tweede deelonderzoek is een optimalisatie onderzoek van de bedrijfsvoering van SpiraSep. Overeenkomst tussen dit onderzoek en het onderzoek naar de effecten van de voorbehandeling is onder andere dat bij SpiraSep een voorbehandeling toepast wordt.

Het optimalisatieonderzoek richt zich op de volgende twee aspecten:

1. Bepalen hoogst mogelijke flux bij stabiele bedrijfsvoering.
2. Optimalisatie energie- en chemicaliënverbruik.

Bepalen hoogst mogelijke flux bij stabiele bedrijfsvoering

De stabiele bedrijfsvoering wordt beoordeeld op de continuïteit van de permeabiliteit. Voor het bepalen van de hoogst mogelijke flux zijn twee experimenten uitgevoerd. Ter indicatie van het TMD verloop wordt in het eerste experiment de TMD gemeten bij verschillende fluxen. Iedere flux wordt gedurende een filtratierun van 15 minuten uitgevoerd. Uit de resultaten van dit experiment wordt het TMD verloop en de permeabiliteit tijdens een langere periode gemeten. In bijlage 8 op pagina 47 staan de instellingen van de bedrijfsvoering vermeld die tijdens de experimenten worden toegepast.

Optimalisatie energie- en chemicaliënverbruik.

Met behulp van de berekende exploitatiekosten wordt theoretisch bepaald wat de winstpunten kunnen zijn in de bedrijfsvoering van SpiraSep. Door middel van onderzoek worden de effecten van deze punten op de bedrijfsvoering onderzocht.

3. Vergelijking kostprijs MF en UF concepten

Voor alle door Vitens onderzochte MF en UF concepten wordt op basis van een $200 \text{ m}^3/\text{h}$ installatie een kostprijsberekening bepaald. De resultaten worden vervolgens met elkaar vergeleken.

Hoofdstuk 4 Resultaten

De resultaten met Memcor en SpiraSep zijn specifiek voor het Twentekanaalwater in de periode van 22 maart tot 16 juli 2004, waarin het onderzoek is uitgevoerd.

4.1 Vaststellen effecten voorbehandeling

In paragraaf 4.1.1 staat de uitvoering van het onderzoek beschreven. In paragraaf 4.1.2 staan de resultaten beschreven van de UV- scans die zijn gemaakt voor het bepalen van de optimale condities van de voorbehandeling. Paragraaf 4.1.3 bevat de kenmerken van de voedingswaterkwaliteit die tijdens dit onderzoek varieerde. In de paragrafen 4.1.4 tot en met 4.1.7 worden de effecten van de voorbehandeling op de volgende vier parameters beoordeeld:

1. Waterkwaliteit.
2. Vervuilingssnelheid.
3. Stromingspotentiaal.
4. UV- adsorptie bij 254 nm.

4.1.1 Uitvoering

Tijdens het uitvoeren van deze opdracht is twee maal de kwaliteit van het voedingswater sterk veranderd. In bijlage 9 op pagina 48 staan de gebeurtenissen die deze veranderingen hebben veroorzaakt beschreven. Hierdoor zijn runs bij drie verschillende waterkwaliteiten uitgevoerd. Door de veranderde waterkwaliteit zijn niet alle combinaties van voorbehandeling bij dezelfde waterkwaliteit onderzocht. Er zijn in totaal zeven runs uitgevoerd op drie verschillende waterkwaliteiten, die in het vervolg waterkwaliteit A, B en C genoemd worden. In tabel 4.1 staan de uitgevoerde runs op de waterkwaliteiten A, B en C.

Tabel 4.1 Uitgevoerde runs met Memcor

Uitgevoerde run nummer	Datum uitvoering	Water kwaliteit	pH- correctie uitgevoerd	FeCl ₃ dosering uitgevoerd
Run 1	22 – 24 maart	A	Ja, 7,4 -> 8,1	Ja, 1 mg/ l Fe
Run 2	26 – 29 maart	A	Nee, 7,4	Ja, 1 mg/ l Fe
Run 3	27 – 29 april	B	Ja, 7,4 -> 8,0	Ja, 1 mg/ l Fe
Run 4	3 – 5 mei	B	Nee, 7,4	Ja, 1 mg/ l Fe
Run 5	10 - 13 mei	B	Ja, 7,4 -> 8,1	Nee
Run 6	16 – 18 mei	C	Nee, 8,6	Ja, 1 mg/ l Fe
Run 7	21 – 23 mei	C	Nee, 8,6	Nee

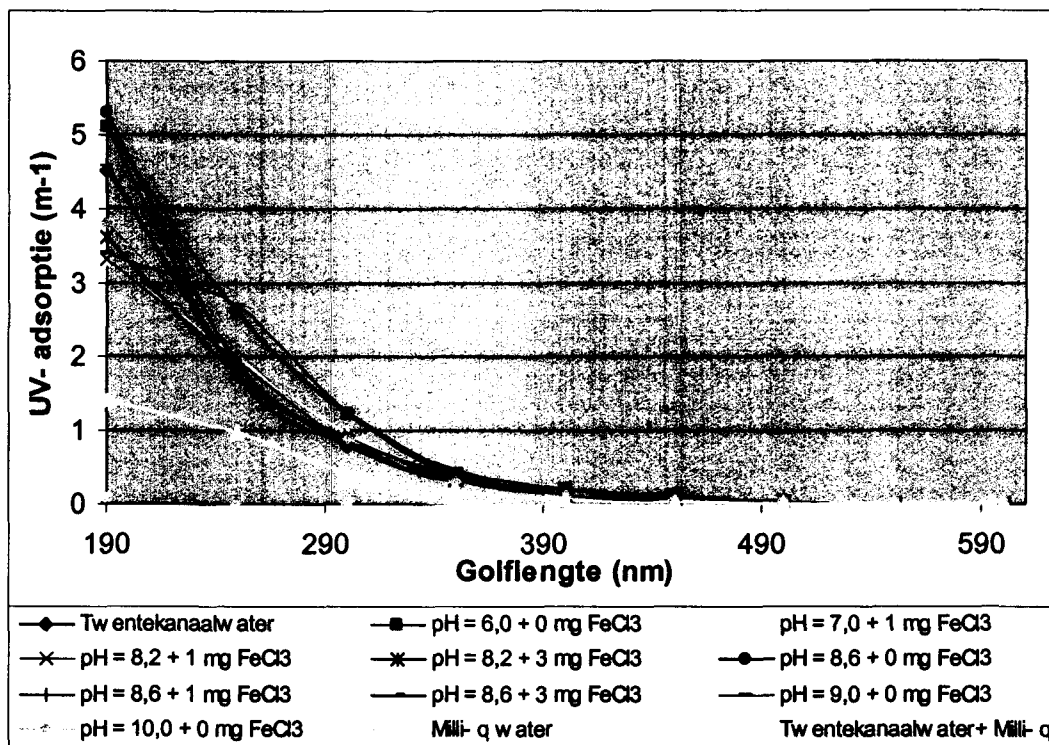
Bij waterkwaliteit A zijn twee runs uitgevoerd. De samenstelling van het voedingswater tijdens die runs bestond uit een mengsel van Twentekanaalwater en gezuiverd grondwater van pompstation Hengelo (mengverhouding 1:2). De samenstelling van waterkwaliteit B bestond alleen uit Twentekanaalwater. De verandering wordt gekenmerkt door een toename van de troebelheid in het voedingswater. Waarschijnlijk is deze toename van troebelheid veroorzaakt door turbulentie in het voedingswater. Op waterkwaliteit B zijn run 3, 4 en 5 uitgevoerd. Na run 5 is de pH van het voedingswater van 7,4 naar 8,6 gestegen. Tevens is bij waterkwaliteit C de troebelheid gedaald tot eenzelfde waarde als bij waterkwaliteit A.

4.1.2 Bepalen condities voorbehandeling

Voorafgaand aan het onderzoek van Memcor in de periode augustus 2003 tot januari 2004 de optimale conditie van de voorbehandeling bepaald. Met behulp van bekersglasexperimenten zijn verschillende ijzer doseringen bij een pH van 7 en 8 uitgevoerd. Van deze combinaties zijn UV- scans met een spectrofotometer gemaakt. Het experiment is met Twentekanaalwater met trommelzeving. De trommelzeef heeft een poriegrootte van 0,5 mm. Het voedingswater had tijdens het onderzoek een pH van 7,4.

Uit het resultaat van de UV- scans bleek dat een kleine dosering 1 mg/l ijzer en een pH- correctie van 7,4 naar 8,0 resulteerde in de laagste UV- adsorptie. Met deze voorbehandeling is vervolgens een stabiele bedrijfsvoering verkregen. De hoogst mogelijke flux bedroeg 87,5 l/m²·h. Op basis van deze voorstudie zijn de condities van pH- correctie en ijzerdosering toegepast.

In juni 2004 zijn opnieuw de optimale condities van de voorbehandeling bepaald, naar aanleiding van veranderingen in de voedingswaterkwaliteit. In paragraaf 4.1.3 zal hier verder op in gegaan worden. In bijlage 10 op pagina 49 staat de gevolgde procedure voor het bepalen van de optimale condities in dit onderzoek. In figuur 4.1 zijn de grafieken van de gemaakte UV- scans te zien. Het Twentekanaalwater had bij het uitvoeren van de bekersglasexperimenten een pH van 8,2 en een ijzergehalte van 0,5 mg/l ijzer.

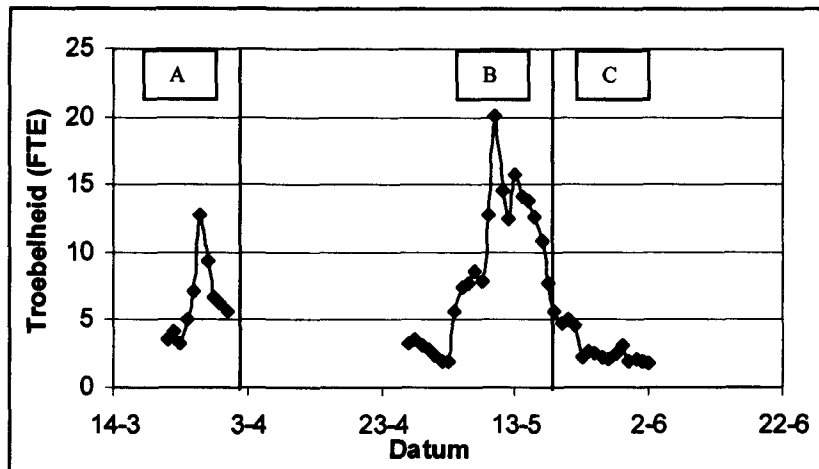


Figuur 4.1 Resultaten gemaakte UV- scans

Zoals verwacht wordt bij milli- q water nagenoeg geen UV- adsorptie gemeten. Ook het mengsel van milli- q water en Twentekanaalwater blijkt een lagere UV- adsorptie te hebben dan de andere geteste combinaties. Uit de grafiek blijkt tevens dat bij de combinaties pH = 8,6 en 3 mg/l Fe en pH = 8,6 en 1 mg/l Fe de laagste UV-adsorptie wordt gemeten. Het verschil is echter minimaal. In bijlage 11 op pagina 50 staan de resultaten van de monsters. Uit deze resultaten blijkt dat bij deze twee combinaties ook de meeste kleur wordt verwijderd ten opzichte van de overige combinaties. De laagste dosering ijzer heeft de voorkeur vanwege het lagere chemicaliënverbruik.

4.1.3 Voedingswaterkwaliteit

In figuur 4.2 staat de troebelheid van het voedingswater afgebeeld die gedurende de 7 runs is gemeten. De troebelheid specifiek in de periode van een waterkwaliteit staat in de figuur aangegeven. De gegevens zijn afkomstig van de continue troebelheidsmeter die is opgenomen in de proefinstallatie van Memcor.



Figuur 4.2 troebelheid

In de grafiek is duidelijk te zien dat bij waterkwaliteit B de troebelheid van het voedingswater hoger is dan bij waterkwaliteit A en C. De troebelheid is opgelopen van $\pm 3,5$ tijdens run 3 tot 15 FTE tijdens run 4 en 5. Bij waterkwaliteit A en C is nagenoeg een gemiddelde van $\pm 3,0$ gemeten.

Uit de laboratoriumanalyses zijn de pieken in het voedingswater niet terug te vinden. Tijdens iedere run is twee maal een monster genomen, na het verhogen van de flux. Het gemiddelde van deze twee metingen staat in tabel 4.2. Hieruit blijkt dat de waarden van de monsternamen ten opzichte van de continue meting niet betrouwbaar zijn. Dit komt mede door het verschil tussen moment van monster nemen en het analyseren op het laboratorium en het optreden van bezinking van deeltjes. De resultaten van de continue meting wordt hierom als de goede meting beschouwd. Doordat de troebelheid in het permeaat niet continu is gemeten zijn deze resultaten van de monsters als juist beschouwd.

Tabel 4.2 Resultaten laboratoriumanalyses

Run nummer	Water kwaliteit	Voedings water	Voedingswater na vlokvorming	Permeaat	IJzer Permeaat
1	A	3,0	5,6	0,05	<0,01 mg/ l
2	A	3,5	6,2	0,05	<0,01 mg/ l
3	B	3,3	8,0	0,43	<0,01 mg/ l
4	B	4,6	8,9	0,69	<0,01 mg/ l
5	B	10,1	13,1	0,55	<0,01 mg/ l
6	C	3,0	7,2	0,09	<0,01 mg/ l
7	C	3,1	6,9	0,07	<0,01 mg/ l

De verhoging van de troebelheid in het voedingswater na vlokvorming wordt mede veroorzaakt door het toevoegen van 1 mg/l Fe. Tijdens filtratie en voorbehandeling wordt het ijzer in het permeaat gereduceerd tot <0,01 mg/l. Verder is bij run 3, 4 en 5 een hogere troebelheid in het permeaat gemeten. De veranderingen in de troebelheid van het voedingswater heeft duidelijk gevolgen voor de permeaatkwaliteit.

Naast de troebelheid zijn de DOC en UV- adsorptie geanalyseerd door het laboratorium van het voedingswater en het permeaat. Tijdens run 6 en 7 zijn deze niet bepaald. In tabel 4.3 geeft de resultaten weer run 1 tot en met 5.

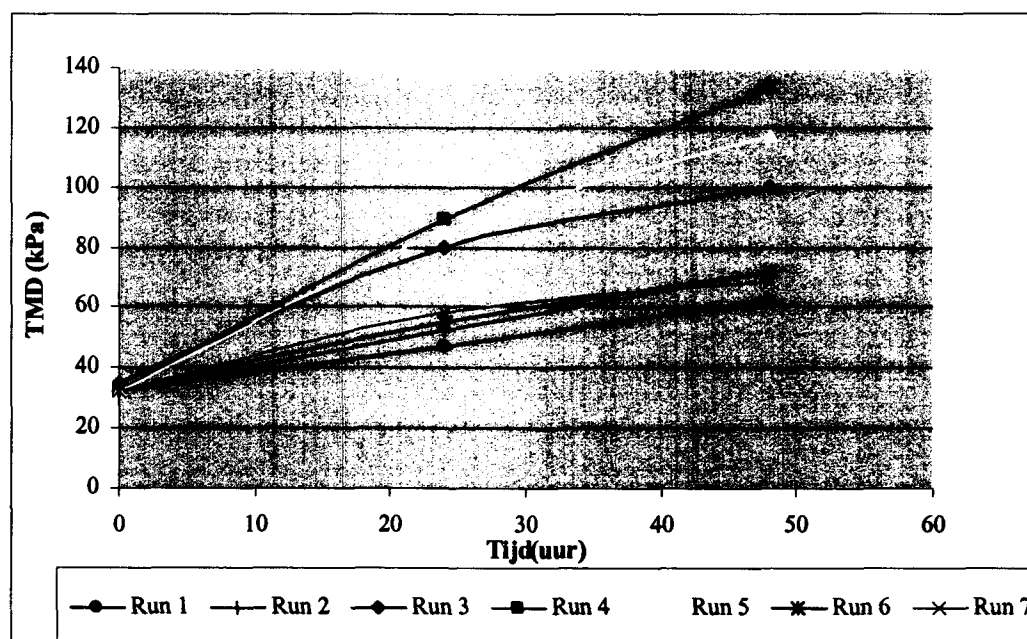
Tabel 4.3 overzicht chemisch onderzoek

Run nummer	Parameter	Water-kwaliteit	Voedings-water	Voedingswater na vlokvorming	Permeaat
1	DOC(mg/l)	A	9,0	8,8	8,9
2	DOC(mg/l)	A	9,3	8,9	8,9
3	DOC(mg/l)	B	8,2	8,0	7,4
	UV- adsorptie		3,0	3,0	3,0
4	DOC(mg/l)	B	8,2	8,2	7,8
	UV- adsorptie		3,0	3,0	2,9
5	DOC(mg/l)	B	8,8	8,8	8,8
	UV- adsorptie		3,0	2,9	2,9

Uit de tabel blijkt dat door de microfiltratie en een geringe ijzerdosering nauwelijks een verwijdering van opgeloste stoffen plaats vindt. De verwijdering kan deels door adsorptie aan de vlokken en/ of deels door adsorptie aan het membraanoppervlak optreden.

4.1.4 Vervuilingssnelheid

De vervuilingssnelheid wordt uitgedrukt in de TMD stijging bij flux van 87,5 l/ m per dag. Bij de Memcor proefinstallatie daalt de flux in de tijd en blijft de TMD op de bedieningspaneel constant. Om de TMD stijging zichtbaar te maken is na 24 en 48 uur de flux op 87,5 l/m²·h. Het verloop van de TMD in de tijd is met behulp van de meetpunten na 24 en 48 uur in figuur 4.3 uitgezet.



Figuur 4.3 verloop TMD in de tijd

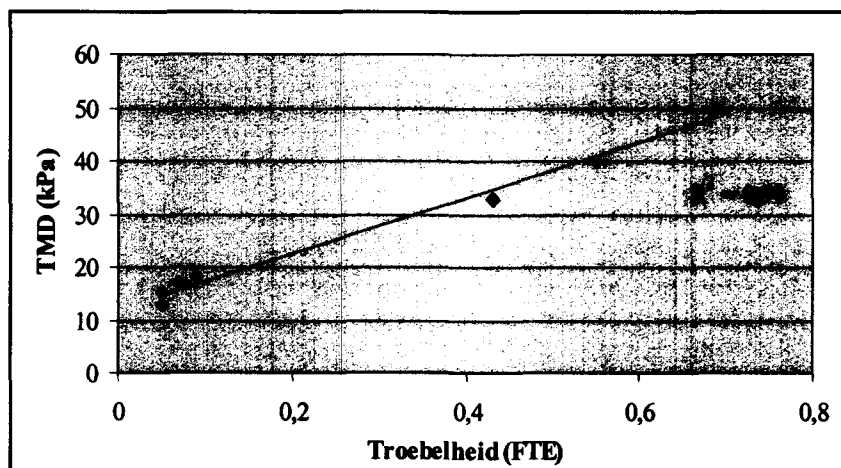
Iedere run is na de chemische reiniging bij ± 35 kPa begonnen. De runs hebben dezelfde startcondities gehad, waardoor vergelijking mogelijk wordt. Aan de hand van het verloop van de TMD in figuur 4.3 is de vervuilingssnelheid berekend. De vervuilingssnelheid wordt uitgedrukt in de drukstijging per dag en berekend door het gemiddelde te nemen van de begindruk en einddruk. In tabel 4.4 staan van alle zeven uitgevoerde runs per waterkwaliteit de vervuilingssnelheden.

Tabel 4.4 vervuilingssnelheid runs per waterkwaliteit

pH	Fe dosering	Vervuilingssnelheid per waterkwaliteit		
		A	B	C
Ja	Ja	run 1 = 13 kPa/ dag	run 3 = 33 kPa/ dag	-
Nee	Ja	run 2 = 15 kPa/ dag	run 4 = 50 kPa/ dag	run 7 = 18 kPa/ dag
Ja	Nee	-	run 5 = 40 kPa/ dag	-
Nee	Nee	-	-	run 6 = 17 kPa/ dag

Uit figuur 4.3 en tabel 4.4 blijkt dat de vervuilingssnelheid bij run 3, 4 en 5 op waterkwaliteit B hoger is dan bij de runs uitgevoerd op waterkwaliteit A en C. Uit de gegevens blijkt verder dat de natuurlijke pH verandering en een daling van de troebelheid van voedingswaterkwaliteit C een gunstig effect op de vervuilingssnelheid hebben gehad. Het is aannemelijk dat de vervuilingssnelheid bij waterkwaliteit B lager zou zijn geweest als de pH was verhoogd tot 8,6. Uit de resultaten blijkt verder dat door het verhogen van de pH en het doseren van 1 mg/l ijzer de vervuilingssnelheid het meest wordt beperkt. Het verhogen van de pH heeft meer invloed gehad op de vervuilingssnelheid dan de ijzerdosering. Het verschil tussen de effecten van de voorbehandeling zijn bij run 3, 4 en 5 het beste te zien.

Zoals in paragraaf 4.1.2 is gezien is de troebelheid in het permeaat bij voedingswaterkwaliteit B hoger geweest dan bij waterkwaliteit A en C. In figuur 4.4 zijn de vervuilingssnelheden uit tabel 4.4 tegen de troebelheid van het permeaat uit tabel 4.2 elkaar uitgezet. Aan de figuur is ook een trendlijn met regressie toegevoegt.



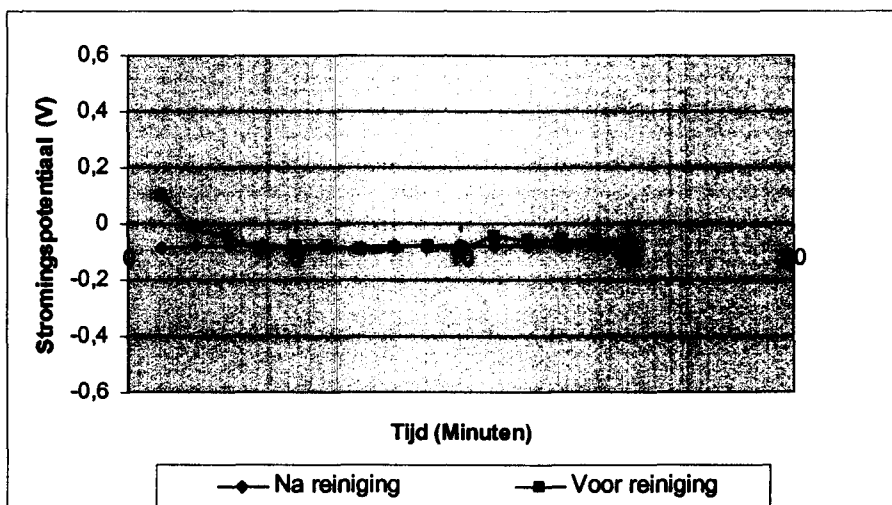
Figuur 4.4 relatie TMD en troebelheid permeaat

Uit de figuur blijkt er een verband ($R^2 = 0,99$) bestaat tussen de toename van het TMD en de troebelheid in het permeaat. Verder blijkt uit de figuur de TMD en de troebelheid in het permeaat door de voorbehandeling wordt beperkt. De meeste beperking vindt plaats door een pH verhoging en ijzerdosering. Blijkbaar vindt bij deze condities van voorbehandeling een betere vlokvorming plaats waardoor deeltjes beter worden tegengehouden door het membraan en tijdens een terugspoeling worden verwijderd.

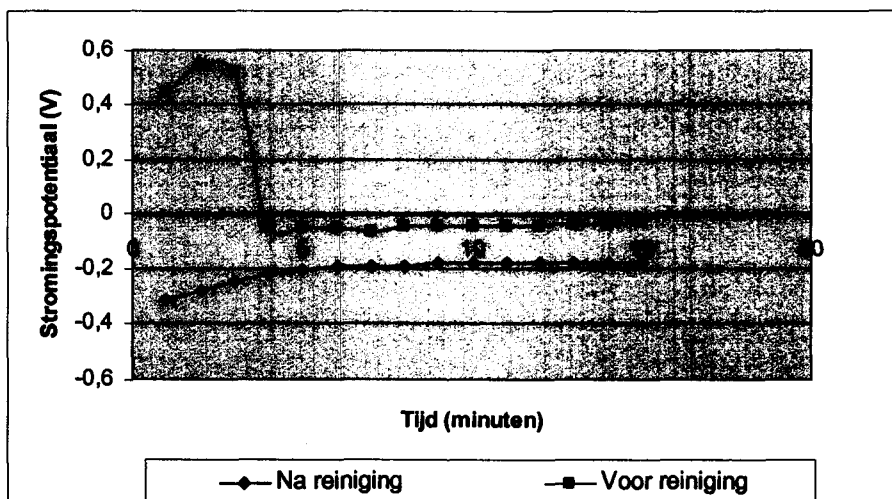
4.1.5 Stromingspotentiaal meting

De stromingspotentiaal is tijdens een schoonwaterflux aan het eind van een run voor en na een chemische reiniging gemeten, zie bijlage. Tijdens run 1 en 2 zijn deze niet gemeten, omdat de meting nog niet beschikbaar waren. De stromingspotentiaal is ook continu gemeten. De meetresultaten van run 3 tot en met 7 staan in bijlage 12a tot en met 12f op pagina 51 tot 53. Variaties in de voeding, zoals druk, flow, pH, ionsterkte en viscositeit beïnvloeden de stromingspotentiaal. Daardoor is interpretatie van de meetgegevens van de stromingspotentiaal tijdens filtratie niet eenvoudig.

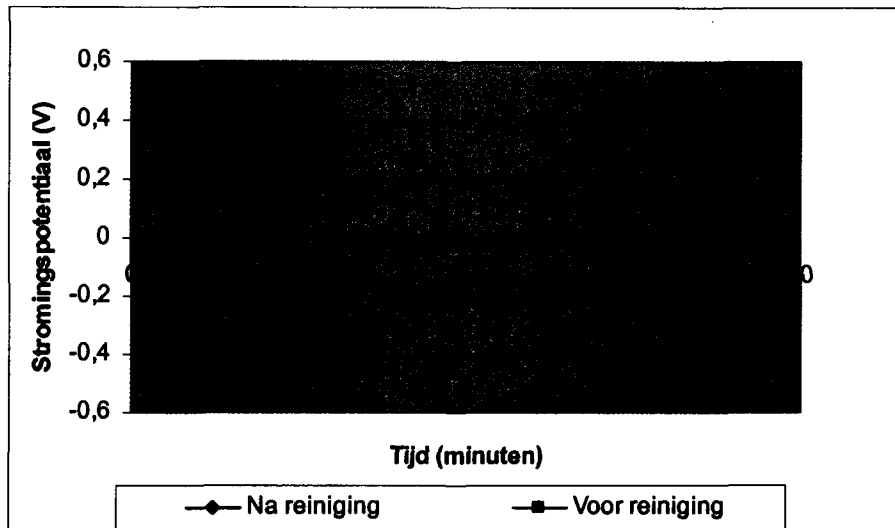
In figuur 4.5a tot en met figuur 4.5f staan de grafieken van de stromingspotentiaal tijdens de schoonwaterfluxen van run 3 tot en met 7 afgebeeld. In de figuren zijn twee grafieken uitgezet. De grafiek van het schone membraan is verkregen tijdens een schoonwaterflux na een chemische reiniging. Na een run van 2 dagen is de grafiek met het vuile membraan verkregen. Een schoonwaterflux is gedurende 15 minuten uitgevoerd. De condities tijdens de schoonwaterfluxen staan in bijlage 13 op pagina 54.



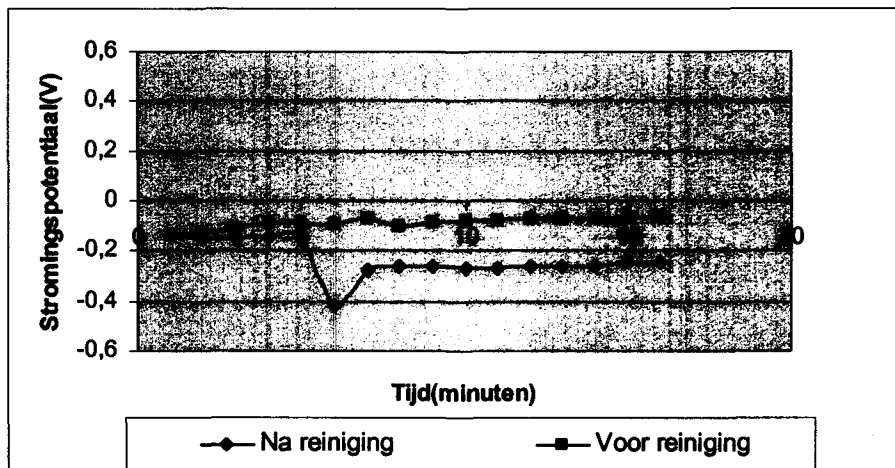
Figuur 4.5a stromingspotentiaal aan einde run voor en na reiniging bij run 3



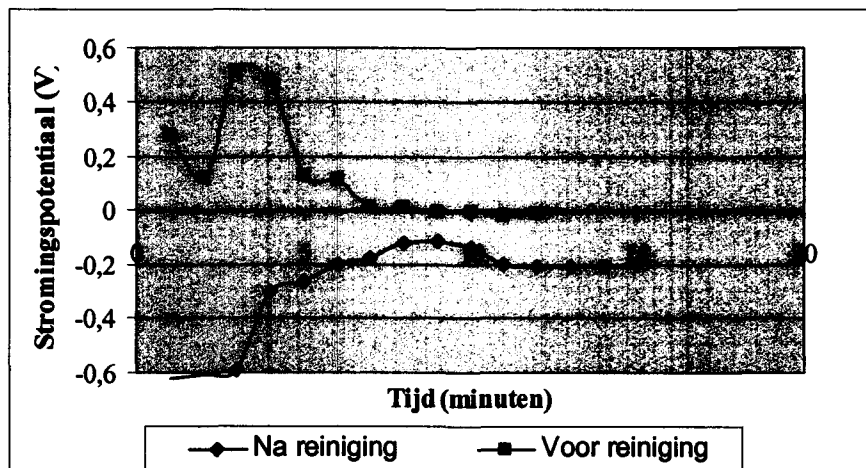
Figuur 4.5b stromingspotentiaal aan einde run voor en na reiniging bij run 4



Figuur 4.5c stromingspotentiaal aan einde run voor en na reiniging bij run 5



Figuur 4.5d stromingspotentiaal aan einde run voor en na reiniging bij run 6



Figuur 4.5e stromingspotentiaal aan einde run voor en na reiniging bij run 7

Uit de grafieken blijkt dat bij de stromingspotentiala van run 3 en 4 na de chemische reiniging een geleidelijk verloop van de stromingspotentiala wordt gemeten. Bij run 5, 6 en 7 is het verloop minder geleidelijk. Dit heeft te maken met variaties in het volumebediet. Uiteindelijk komen alle stromingspotentialameting op een stabiel niveau. De verschillen tussen de eindwaarden tussen stromingspotentiala voor en na reiniging zijn in tabel 4.5 naast elkaar gezet.

Tabel 4.5 eindwaarde stromingspotentiala

Stromingspotentiala (V)	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6	Run 7
Voor reiniging	-0,04	-0,01	+0,01	-0,04	0
Na reiniging	-0,05	-0,19	-0,19	-0,21	-0,20
Verschil	0,01	0,18	0,20	0,17	0,20

Uit de tabel blijkt dat het verschil tussen de stromingspotentiala voor en na reiniging bij run 4, 5, 6 en 7 nagenoeg gelijk is ($\pm 0,2$ V). Bij run 3 is het verschil minimaal. Het is aannemelijk dat het niet goed uitvoeren van de chemische reiniging bij run 3 deze afwijkende meting heeft veroorzaakt. Uit de gegevens blijkt dat de ladingscondities van het membraan tijdens een run van 2 dagen veranderen. Ondanks periodieke terugspoelingen worden blijkaar niet alle tegengehouden stoffen volledig van het membraan verwijderd. Na een chemische reiniging worden de ladingscondities van het membraan hersteld. De ladingscondities van het membraan voor en na reiniging bij run 4, 5, 6 en 7 nagenoeg gelijk zijn gebleven. Dit maakt de aanwezigheid blijvende vervuiling onwaarschijnlijk.

4.1.6 Continue meting UV- adsorptie

Alleen tijdens waterkwaliteit B is de UV- adsorptie 254 nm continu gemeten. Hierdoor kan de UV- adsorptie alleen van run 3, 4 en 5 met elkaar worden vergeleken. In bijlage 14a tot en met 14c op pagina 55 staan de meetresultaten van run 3, 4 en 5. In deze grafieken is de UV- adsorptie in het voedingswater en het permeaat weergegeven. Uit die grafieken blijkt dat de meetgegevens een vrij constant niveau hebben. De gemiddelde waarde van UV- adsorptie gedurende de runs van het voedingswater en het permeaat zijn in tabel 4.6 gezet.

Tabel 4.6 UV- adsorptie meting

UV- adsorptie (CU)	Run 3	Run 4	Run 5
Voedingswater	$\pm 0,50$	$\pm 0,47$	$\pm 0,85$
Permeaat	$\pm 0,37$	$\pm 0,32$	$\pm 0,50$
Verschil	0,13	0,15	0,35

Uit deze gegevens blijkt dat er een verwijdering optreedt van opgeloste organische stoffen zoals humus- zuren. Deze stoffen zijn door vlokvorming of door adsorptie aan het membraanoppervlak verwijderd. Verder blijkt uit de tabel dat er in het voedingswater bij run 5 een sterke verhoging van UV- adsorptie wordt gemeten. Ook in het permeaat is de verhoging gemeten. Dit duidt erop dat bij run 5 ofwel door vlokvorming of door adsorptie aan het membraanoppervlak meer opgeloste organische stoffen zijn verwijderd.

4.2 Optimalisatie bedrijfsvoering SpiraSep

Het optimaliseren van de bedrijfsvoering van SpiraSep is tijdens dit deelonderzoek tweeledig geweest:

1. Bepalen van de hoogst mogelijke flux bij stabiele bedrijfsvoering
2. Optimalisatie van energie- en chemicaliëngebruik.

4.2.1 Bepalen hoogst mogelijke flux bij stabiele bedrijfsvoering

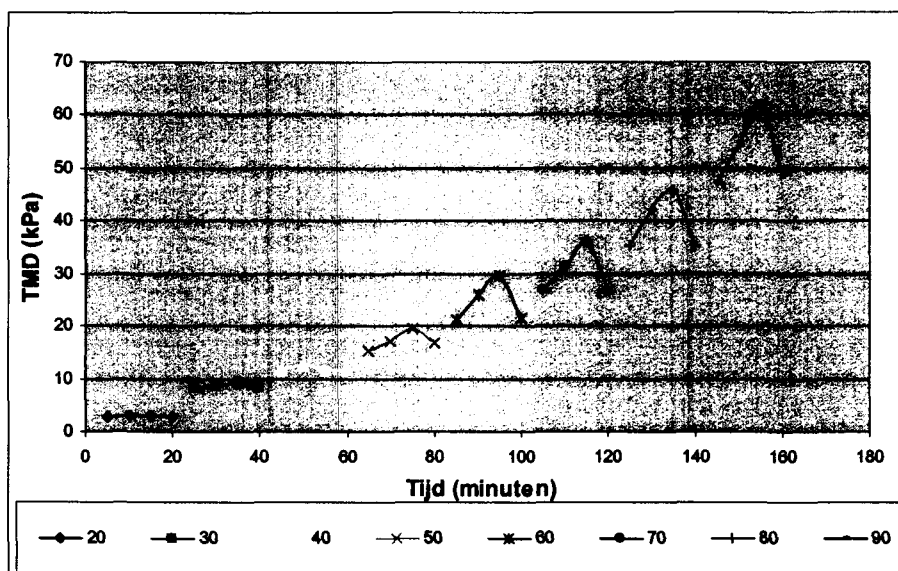
Tijdens de gehele periode van onderzoek is de pH van het voedingswater gecorrigeerd 8,6 en is gemiddeld 0,5 - 1 mg/l Fe gedoseerd. Dit zijn de optimale condities van de voorbehandeling zoals beschreven in paragraaf 4.1.2.

Aan het begin van dit experiment is gebleken dat de dagelijkse automatische chemische reiniging niet uitgevoerd kon worden door een softwarefout in de besturing. Hierdoor is een chemische reiniging met chloorbleekloog handmatig uitgevoerd. De chemische reiniging is uitgevoerd op 7-6, 11-6 en op 17-6.

Verloop TMD bij verschillende fluxen

Bij een bepaalde flux is gedurende 20 minuten 4 keer de TMD gemeten. Na 15 minuten vond steeds de terugspoeling plaats. Deze meting is uitgevoerd bij fluxen van 20 tot en met 90 l/m²·h.

Figuur 4.6 geeft het drukverloop weer bij de beproefde fluxen. Het voedingswater had tijdens dit experiment een constante troebelheid in het voedingswater van 4,2 FTE en een pH van 8,5.

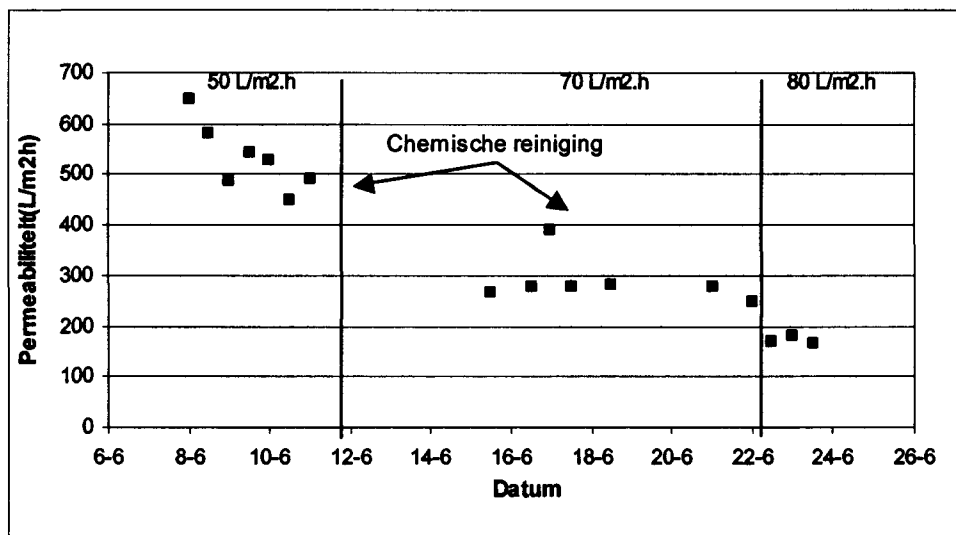


Figuur 4.6 Verloop TMD bij verschillende fluxen

Uit de grafiek blijkt dat tijdens runs met fluxen van 20 tot en met 40 l/m²·h geen significante stijging van de TMD is waargenomen. Vanaf 50 l/m²·h vindt die stijging wel plaats. Deze stijging neemt toe na mate de flux wordt verhoogd. Het TMD verloop bij 60 en 70 l/m²·h is nagenoeg hetzelfde. Verder blijkt dat bij iedere flux de terugspoeling de TMD nagenoeg hersteld tot de beginwaarde. De maximale TMD van het membraan is 70 kPa. Bij 90 l/m²·h wordt een TMD gemeten van 63 kPa. Dit ligt dicht tegen de maximale waarde van 70 kPa aan.

Permeabiliteit bij langere filtratieruns

Uit de resultaten verkregen uit het voorgaande experiment is besloten om het drukverloop bij een flux van 50, 70 en 80 l/m²·h gedurende enkele dagen te volgen. Tijdens deze periode is de TMD gemeten en de permeabiliteit bepaald. Figuur 4.7 geeft de permeabiliteit weer per beproefde flux.



Figuur 4.7 permeabiliteit

In figuur 4.7 is te zien dat permeabiliteit direct na de chemische reiniging op 7-6 hoger is dan tijdens langere filtratie. De permeabiliteit stabiliseert zich vervolgens op een vrij constante waarde van 500 l/m²·h·bar bij 20°C. In de periode van 12-6 tot en met 16-6 is de proefinstallatie niet bedreven. Na de chemische reiniging op 12-6 is de membranentank met kraanwater gevuld. Bij 70 l/m²·h ligt de permeabiliteit vrij constant op een waarde 270 l/m²·h·bar bij 20°C, ook na de chemische reiniging van 17-7. Na het verhogen van de flux naar 80 l/m²·h is de permeabiliteit gedaald tot 180 l/m²·h·bar bij 20°C. Door langdurig filtratie bij hoge TMD begon de permeaatpomp tijdens de filtratieperiode met 80 l/m²·h cavitatie verschijnselen te vertonen. Het experiment is om deze reden gestaakt.

De permeabiliteitsafname door het verhogen van 50 naar 70 en 80 l/m²·h is te verklaren uit het feit dat in een zelfde tijdseenheid bij een hogere flux meer deeltjes worden tegengehouden. Hierdoor neemt de weerstand toe en veroorzaakt bij een TMD stijging. Door deze TMD stijging neemt de permeabiliteit af. Daarnaast heeft een hogere troebelheid in het voedingswater een rol gespeeld in de afname van de permeabiliteit. In bijlage 15 op pagina 56 is de troebelheid van het voedingswater afgebeeld. In dezelfde grafiek is de pH van het voedingswater afgebeeld. De sterk wisselende pH van het voedingswater is gedeeltelijk ondervangen door een continu uitgevoerde pH- correctie naar 8,6.

4.2.2 Optimalisatie exploitatiekosten SpiraSep

Met behulp van een berekeningmodel is voor 1 m^3 geproduceerd permeaat de kostprijs berekend. De exploitatiekosten zijn bij dit onderzoek opgebouwd uit energie- en chemicaliënkosten. Uitgangspunten hierbij zijn de instellingen van de bedrijfsvoering, zoals deze in bijlage 7 zijn opgesteld bij een productie van $70 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ en een TMD van 30 kPa. Het energieverbruik van de blower en de permeaatpomp is door Trisep bij $70 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ en 30 kPa gegeven. Het chemicaliënverbruik is op basis van tabel 3 in bijlage 2 op pagina 40. De kosten voor de gebruikte chemicaliën zijn bij Vivochem BV opgevraagd en zijn bulkprijzen. De prijzen staan in het berekeningsmodel.

Het berekeningsmodel waarmee de kosten zijn berekend voor de situatie voor optimalisatie staat in bijlage 13 op pagina 57. Hieruit komt een exploitatiekostprijs van $0,0267 \text{ €/m}^3$ geproduceerd permeaat. De kostenbesparing in de bedrijfsvoering van SpiraSep zijn op drie vlakken onderzocht:

1. Verkleinen verschil netto- en bruto flux
2. Verlagen chemicaliënverbruik
3. Verlagen energieverbruik

Verkleinen verschil netto- en bruto flux

Bij het verkleinen van het verschil tussen de netto- en de bruto flux zijn de stilstandtijd van de installatie door terugspoeling en chemische reiniging en het permeaatverbruik tijdens de reinigingen belangrijk. Het verlagen van het verschil tussen netto- en de bruto flux komt tot uitdrukking in lagere energiekosten. De terugspoelingen blijken het grootste aandeel in het verschil tussen netto- en bruto flux te hebben. In bijlage 17 op pagina 58 staat de exploitatiekostprijs waarbij 2 terugspoeling per uur in plaats van 4 keer per uur wordt uitgevoerd. Het verschil tussen de netto- en bruto flux bij 2 keer terugspoelen is nu $5,5 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$. Door het verminderen van de terugspoelingen wordt ook het verbruik van NaOCl verminderd. In de kostprijs wordt deze aanpassing in $0,0017 \text{ €/m}^3$ als kostenbesparing uitgedrukt. Dit is 6,4% van de totale kostprijs. De invloed van het verminderen van de terugspoelingen kan invloed hebben op de permeabiliteit in de tijd. Vervuiling van het membraan zal naar verwachting sneller optreden.

Verlagen chemicaliën gebruik

Het grootste aandeel (43%) in de exploitatiekosten zijn de chemicaliënkosten benodigd voor de voorbehandeling. Daarnaast hebben de chemicaliënkosten ten behoeve van de chemische reiniging en het energieverbruik van de blower een groot deel in de exploitatiekosten met 20%.

In bijlage 18 op pagina 59 staat het model waarin deze kostenbesparing te zien is. Door technische storingen (cavitatie permeaatpomp) is het niet mogelijk geweest om de effecten van de voorbehandeling op de vervuilingssnelheid bij SpiraSep te onderzoeken. Uit de ervaring met Memcor, is gebleken dat door het weglaten van de voorbehandeling de vervuilingssnelheid toe neemt. Of dit ook voor SpiraSep geldt, is niet bekend. Ook het effect op de bedrijfsvoering wanneer het verbruik van citroenzuur tijdens een chemische reiniging of een ander reinigingsprocedure is niet onderzocht.

Verlagen energieverbruik

Het aandeel van de energiekosten maken 32% van de totale exploitatiekosten uit. De energiekosten bestaat voor 63% uit de blower en 37% van de permeaatpomp. Het is geen optie om de energiekosten te verlagen door de permeaatpomp minder te laten draaien, omdat dan ook de flux daalt. Het enige winstpunt in het verlagen van energiekosten is door het luchtverbruik tijdens filtratie te verlagen. Tijdens de experimenten in paragraaf 4.2.1 beschreven is $8,5 \text{ m}^3/\text{h}$ per m^2 membraanoppervlak lucht aan het membraan toegevoerd. Door het verlagen van de luchttoevoer met $1 \text{ m}^3/\text{h}$ kan $0,000635 \text{ €/m}^3$ worden bespaard. De invloed van het verminderen van het luchtverbruik heeft echter wel invloed op de bedrijfsvoering. Er moet rekening worden gehouden met het feit dat de TMD bij een bepaalde flux door het verminderen van het luchtverbruik zal stijgen.

4.3 Vergelijking kostprijs MF en UF concepten

Aan de hand van een standaard kostenspreadsheet, gebaseerd op volledige nieuwbouw, is voor SpiraSep, Memcor, ZeeWeed 500 en X- flow – UF- EPCE de kostprijs berekend voor 1 m³ geproduceerd permeaat. Het is een globale kostprijsberekening, die is gebaseerd op een membraaninstallatie met een capaciteit van 200 m³/ h en die 8000 uur per jaar produceert met een piekfactor van 1,5. Uitgangspunten zijn de resultaten van de resultaten verkregen uit onderzoeken die door Vitens zijn uitgevoerd. Deze resultaten staan in bijlage 2 op pagina 41 opgesomd. Er is bij deze kostprijsberekening geen rekening gehouden met het verwerken en afvoeren van de reststoffen, BTW en verzekeringen.

De opbouw van deze spreadsheet staat in bijlage 19 op pagina 60 en 61 beschreven. Hierin worden de formules en waarden beschreven die zijn toegepast in de berekening. In bijlage 20 op pagina 62 staan van alle vier de concepten de kosten voor de installatie, het gebouw en de membranen. De membraan- en bouwkosten zijn bij de verschillende leveranciers van de installatie opgevraagd. De afwijking die deze budgetoffertes hebben is $\pm 15\%$. Voor X- flow – UF- EPCE zijn de bouwkosten aangenomen op basis van de proefinstallatie op de Elsbeekweg. In bijlage 21 op pagina 63 en 64 zijn de energie- en chemicaliënkosten berekend. Voor SpiraSep zijn de energie- en chemicaliënkosten al in paragraaf 4.2.2 berekend. Voor X- flow – UF- EPCE zijn de energiekosten aangenomen op basis van de proefinstallatie.

In bijlage 22a tot en met 22d op pagina 65 tot en met 68 staan voor SpiraSep, Memcor, X- flow- UF- EPCE en Zenon de kostprijsberekeningen. De resultaten van kostprijsberekeningen zijn in tabel 4.7 opgenomen.

Tabel 4.7 kostprijs per m³ geproduceerd permeaat

Naam	R&A* €/ jaar	O&M** €/ jaar	Chemicaliën €/ jaar	Energie €/ jaar	MF*** €/ jaar	Totaal €/ jaar	Kostprijs €/ m ³
X- flow UF- EPCE	104.676	25.416	161.184	20.160	39.996	351.432	0,23
Memcor	100.085	24.301	26.992	19.200	21.056	191.634	0,13
Zenon ZeeWeed 500	100.670	24.443	21.456	19.200	50.000	215.769	0,14
SpiraSep	64.977	15.777	29.040	13.536	46.155	169.484	0,12

* R&A betekent rente en afschrijving.

** O&M betekent bedrijfsvoering en onderhoud.

*** MF betekent membraanvervanging.

Op basis van tabel 4.7 blijkt dat de drie concepten nagenoeg dezelfde kostprijs voor 1 m³ geproduceerd permeaat hebben. X- flow - UF- EPCE ligt duidelijk hoger in de kosten. Op grond van deze berekeningen zou alleen X- flow afvallen. Keuze voor een van de overige drie systemen zou op grond van andere aspecten moeten worden genomen. Aspecten die voor de hand liggen zijn: stabiele bedrijfsvoering, onderhoud, storingsgevoeligheid, chemicaliënverbruik, milieu- en ARBO- aspecten.

Hoofdstuk 5 Conclusies

Naar aanleiding van de verkregen resultaten kunnen de volgende conclusies worden getrokken voor de drie doelstellingen in de opdracht.

- Voorbehandeling bij Memcor is noodzakelijk voor het verkrijgen van een voldoende hoge flux bij een stabiel proces.
- De optimale condities van de voorbehandeling zijn afhankelijk van de voedingswaterkwaliteit.
- Door verhoging van pH en toevoegen van ijzer aan het voedingswater wordt bij Memcor de vervuilingssnelheid bij een flux van $87,5 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$ beperkt.
- De troebelheid en de pH van het voedingswater zijn belangrijke parameters bij het bepalen van de voedingswaterkwaliteit.
- Met UV- spectrofotometrie wordt inzicht verkregen in de optimale condities van de voorbehandeling.
- Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat de stromingspotentiaal meting volgens de schoonwaterflux methode inzicht geeft in het effectiviteit van de chemische reiniging. Daarnaast wordt inzicht verkregen in de ladingscondities van het membraan.
- De continue meting van UV- adsorptie bij 254 nm blijkt een relevante parameter te zijn van de voedingswaterkwaliteit.
- Continue meting van troebelheid, pH, stromingspotentiaal, UV- adsorptie bij 254 nm zijn noodzakelijk voor het verkrijgen van een optimale bedrijfsvoering met Memcor.
- Gedurende een periode van 6 dagen is met SpiraSep een stabiel proces verkregen bij een flux bij $70 \text{ l/m}^2\cdot\text{h}$.
- In de exploitatiekosten van SpiraSep zijn de kosten van chemicaliën benodigd voor de voorbehandeling de grootste kostenplaats met een aandeel van 43%.
- Op basis van de kostprijs valt alleen X- flow – UF- EPCE af. Keuze voor een van de overige drie systemen zou op grond van andere aspecten moeten worden genomen, zoals stabiele bedrijfsvoering, onderhoud, storingsgevoeligheid, chemicaliënverbruik, milieu- en ARBO- aspecten.

Hoofdstuk 6 Aanbevelingen

- Door meer inzicht te verkrijgen in het bepalen van de juiste condities van de voorbehandeling kan sneller en beter worden gereageerd op fluctuaties in de voedingwaterkwaliteit.
- Vitens en Kiwa verrichten onderzoek naar de toepassing van de stromingspotentiaal als indicatieve parameter. Gezien de resultaten uit dit onderzoek wordt verder onderzoek als indicatieve parameter bij membraanvervuiling aanbevolen.
- Meer onderzoek verrichten naar de toepassing van de continue meting van UV- adsorptie bij 254 nm, met name van wanneer de voedingswaterkwaliteit kan variëren.
- Het continu meten van relevante parameters, zoals troebelheid, pH, stromingspotentiaal, UV- adsorptie van het voedingswater maakt het mogelijk om processen te sturen.
- Naast de genoemde parameters is het zetapotentiaal, theoretisch gezien, een goede aanvulling naast UV- spectrofotometrie bij het bepalen van de optimale condities van de voorbehandeling.
- Aanbevolen wordt om te onderzoeken of met SpiraSep een stabiele bedrijfsvoering wordt verkregen zonder voorbehandeling. Hiermee kunnen de exploitatiekosten worden gereduceerd.
- Vaststellen van de effecten op de bedrijfsvoering door verminderen luchtverbruik tijdens filtratie.
- Het wordt aanbevolen om vergelijking op basis van punten zoals: stabiele bedrijfsvoering, onderhoud, storingsgevoeligheid, chemicaliënverbruik, milieu- en ARBO- aspecten een vergelijking te maken om tot een goede keus te komen.

Literatuurlijst

Studieboeken

- Verhagen, J. Themaboek/ dictaat: Rioolwaterzuivering, nummer: O 09.02/ 121, HvU.
- Verhagen, J. Dictaat, Basisinformatie waterkwaliteit, nummer O 09.02/ 614
- Verhagen, J. Dictaat, Practicumhandleiding water, nummer O 09.02/ 613
- Verhagen, J. Thema water, drinkwaterproductie.
- Syllabus: Energie en water, 1999
- Van Efferen, B. Afstudeerverslag, Grootchalige membraanfiltratie bij de drinkwaterproductie, augustus 1995, TU Delft.
- Rietman, B. Afstudeerverslag, technische haalbaarheid SpiraSep, 27 mei 2004
- Wortel, N.C en Bakker, S. Microfiltratie oppervlaktewater PS Elsbeekweg(Vitens), Grontmij, 31 maart 2004.
- Mulder, M. Basic Principles of Membrane technology, second edition, Kluwer Academic publishers, 1997.

Internetsites

www.inge.ag.de
www.lennotech.nl
www.memcor.nl
www.norit.nl
www.trisep.com
www.vitens.nl

Tijdschriften

H₂O, april 2004

Bijlage

Inhoudsopgave bijlage

Bijlage 1: Procesparameters

Bijlage 2: Overzicht van de MF- UF concepten

Bijlage 3: Schematische weergave proefinstallatie Memcor tijdens filtratie

Bijlage 4: Schematische weergave proefinstallatie Memcor tijdens terugspoeling

Bijlage 5: Schematische weergave proefinstallatie SpiraSep tijdens filtratie

Bijlage 6: Schematische weergave proefinstallatie SpiraSep tijdens terugspoeling

Bijlage 7: Uitgebreid werkplan cyclus van runs

Bijlage 8: Instellingen bedrijfsvoering SpiraSep

Bijlage 9: Gebeurtenissen tijdens onderzoek

Bijlage 10: Procedure bepalen optimale condities voorbehandeling

Bijlage 11: Resultaten monsters UV- scans

Bijlage 12: Stromingspotentiaal tijdens filtratie

Bijlage 13: Condities tijdens schoonwaterfluxen

Bijlage 14: UV- adsorptie tijdens filtratie

Bijlage 15: Troebelheid + pH tijdens onderzoek SpiraSep

Bijlage 16: Berekeningsmodel exploitatiekosten SpiraSep

Bijlage 17: Berekeningsmodel exploitatiekosten SpiraSep zonder reinigingen

Bijlage 18: Berekeningsmodel exploitatiekosten SpiraSep zonder voorbehandeling

Bijlage 19: Opbouw spreadsheet kostprijsberekening

Bijlage 20: Berekening bouwkosten proefinstallatie 200 m³/h

Bijlage 21: Berekening energie- en chemicaliënkosten

Bijlage 22: Kostprijsberekeningen SpiraSep, Memcor, X- flow – UF- EPCE en ZeeWeed 500

Bijlage 1 ProcesparametersDe flux

Met de flux wordt berekend hoeveel permeaat er per tijdseenheid per vierkant meter door het membraan stroomt. Het permeaat wordt gedefinieerd als het product en daardoor een belangrijke parameter. Flux wordt aangeduid met het symbool J en uitgedrukt in $\text{l/m}^2 \cdot \text{h}$

$$J = V_p / A_m$$

J	= flux	$(\text{L/m}^2 \cdot \text{h})$
V_p	= permeaatdebiet	(l/h)
A_m	= membraanoppervlak	(m^2)

A_m	= $\pi \cdot d_c \cdot l_{ef} \cdot n$	
d_c	= binnendiameter buisjes	(m)
l_{ef}	= effectieve lengte buisjes	(m)
n	= aantal buisjes	

De netto flux

De hoeveelheid permeaat die door een installatie per tijdseenheid wordt geproduceerd per m^2 membraanoppervlak. De (bruto) flux wordt hierbij gecorrigeerd op het permeaatverbruik bij terugspoelingen en chemische reinigingen en de stilstandtijd van de installatie, als gevolg van het uitvoeren van de terugspoelingen en chemische reinigingen.

$$J_n = \frac{Q_p \cdot T_p \cdot n_p - (Q_t \cdot T_t \cdot n_t + Q_{ch} \cdot T_{ch} \cdot n_{ch})}{A_{\text{membraan}} \cdot 24 \text{ h} - (T_t \cdot n_t + T_{ch} \cdot n_{ch})}$$

Q_p = geproduceerd permeaat

T_p = 24 h

n_p = filtratierun (= 1)

Q_t = permeaatverbruik tijdens terugspoeling

T_t = lengte van terugspoeling

n_t = aantal terugspoelingen per 24 h

Q_{ch} = permeaatverbruik tijdens chemische reiniging

T_{ch} = lengte van chemische reiniging

n_{ch} = aantal chemische reiniging per 24 h

De transmembraandruk (TMD)

Het benodigde drukverschil om het voedingswater te filtreren wordt transmembraandruk (TMP) genoemd.

$$\text{TMP} = P_{\text{voeding}} - P_{\text{permeaat}}$$

TMP = transmembraandruk (kPa)

P_{voeding} = voedingsdruk (kPa)

P_{permeaat} = permeaatdruk (kPa)

De permeabiliteit

Standaard wordt de permeabiliteit in de membraantechniek uitgedrukt als MTC. MTC staat voor massa transport coëfficiënt. Hierbij wordt de bruto flux gecorrigeerd naar een temperatuur van 20°C en naar de TMD.

$$MTC = \frac{J \cdot TCF}{TMD} \text{ in L/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar bij } 20^\circ\text{C}$$

TCF = temperatuur correctie factor

$$TCF = \exp(-1065 \cdot ((1/T_{ref}) - (1/273 + T_{act}))) \quad -1065 \text{ is de membraanconstante}$$

De recovery en de retentie

De recovery is het aandeel water dat door het membraan wordt doorgelaten. De retentie is het aandeel vervuiling van het voedingswater dat wordt tegengehouden. Deze twee parameters bepalen de concentratie aan stoffen dat is afgevangen.

$$\text{Recovery} = \frac{Q_{\text{permeaat}}}{Q_{\text{voedingswater}}} \cdot 100\%$$

$$\text{Retentie} = \frac{x_{\text{voc}} - x_{\text{per}}}{x_{\text{voc}}} \cdot 100\%$$

Bijlage 2 Overzicht MF- UF concepten

In tabel 1 tot en met 4 zijn de gegevens weergegeven van X- flow UF- EPCE, Memcor, Zenon ZeeWeed 500 en SpiraSep.

Tabel 1 algemene gegevens

Naam	Membraan proces	Membraan Oppervlakte m ²	Membraan Materiaal	Poriegrootte nm	Membraan configuratie
X- flow UF-EPCE	UF	35	Polyethersulfon	10	Capillair
Memcor	MF	15	Polypropyleen	200	Capillair
Zenon ZeeWeed 500	UF	31	Polyvinylidene	40	Capillair
SpiraSep	UF	9,75	Polyethersulfon	50	Spiraal gewonden

Tabel 2 vergelijking voorbehandeling/ chemische reiniging

Naam	Zuur	Basisch	Chloor	Peroxide	Voor-behandeling
X- flow UF- EPCE	HCL	NaOH	-	H ₂ O ₂	Pre- coat Diatomoet
Memcor	HCL	NaBO ₃	-	-	FeCl ₃ + loogdosering
Zenon ZeeWeed 500	Citroenzuur	-	-	-	Geen
SpiraSep	Citroenzuur	-	Elke terugspoeling	-	FeCl ₃ + loogdosering

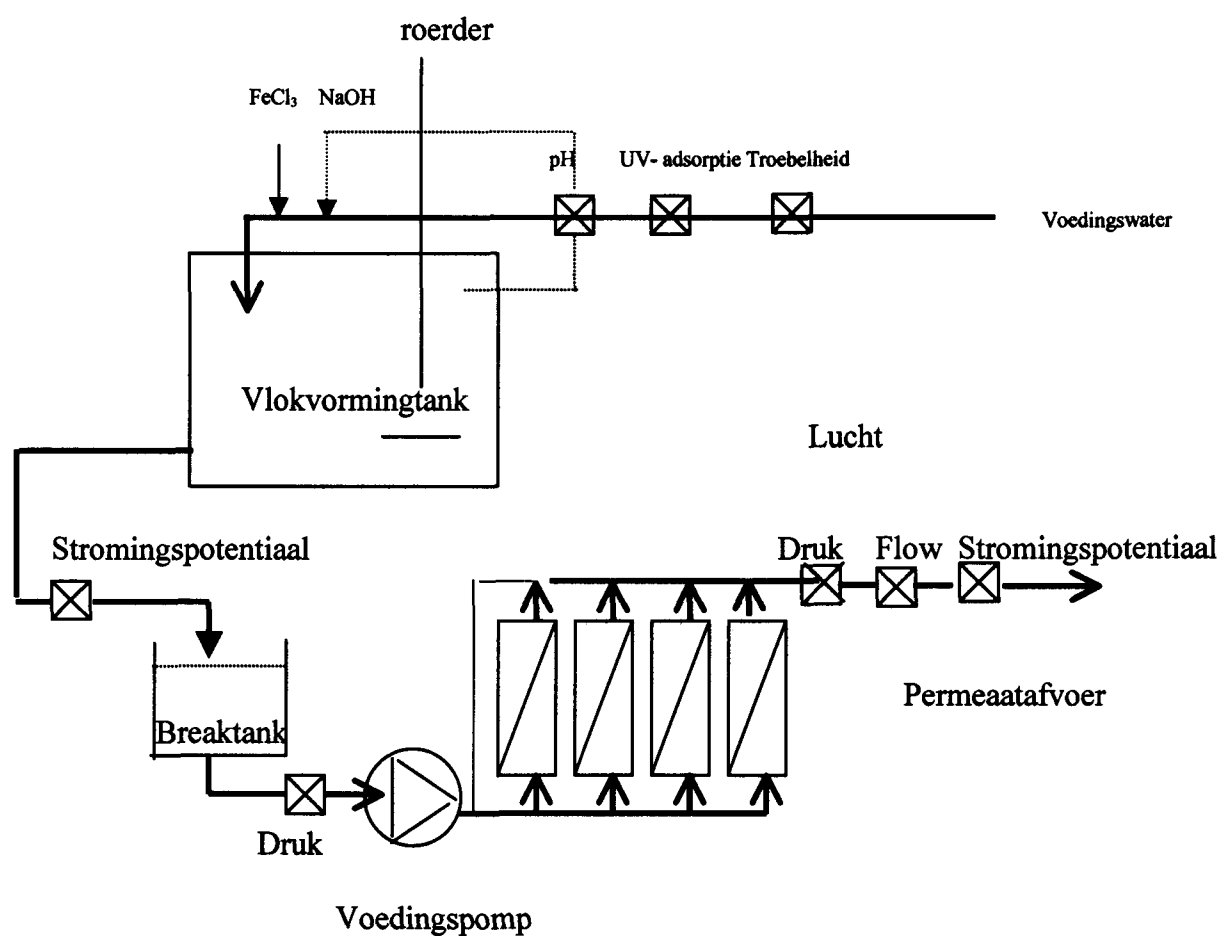
Tabel 3 chemicaliënverbruik

Naam	HCL mg/l	Citroenzuur mg/l	NaOH mg/l	NaBO ₃ mg/l	NaOCl mg/l	H ₂ O ₂ mg/l	FeCl ₃ / l mg/l	Diatomiet g/ m ³
X- flow UF- EPCE	3,3		2,3	-	-	2,6	-	84
Memcor	4,6		5,4	5,2	-	-	3,1	-
Zenon ZeeWeed 500	-	4,4	-	-	-	-	-	-
SpiraSep	-	1,9	6,0	-	0,6	-	3,5	-

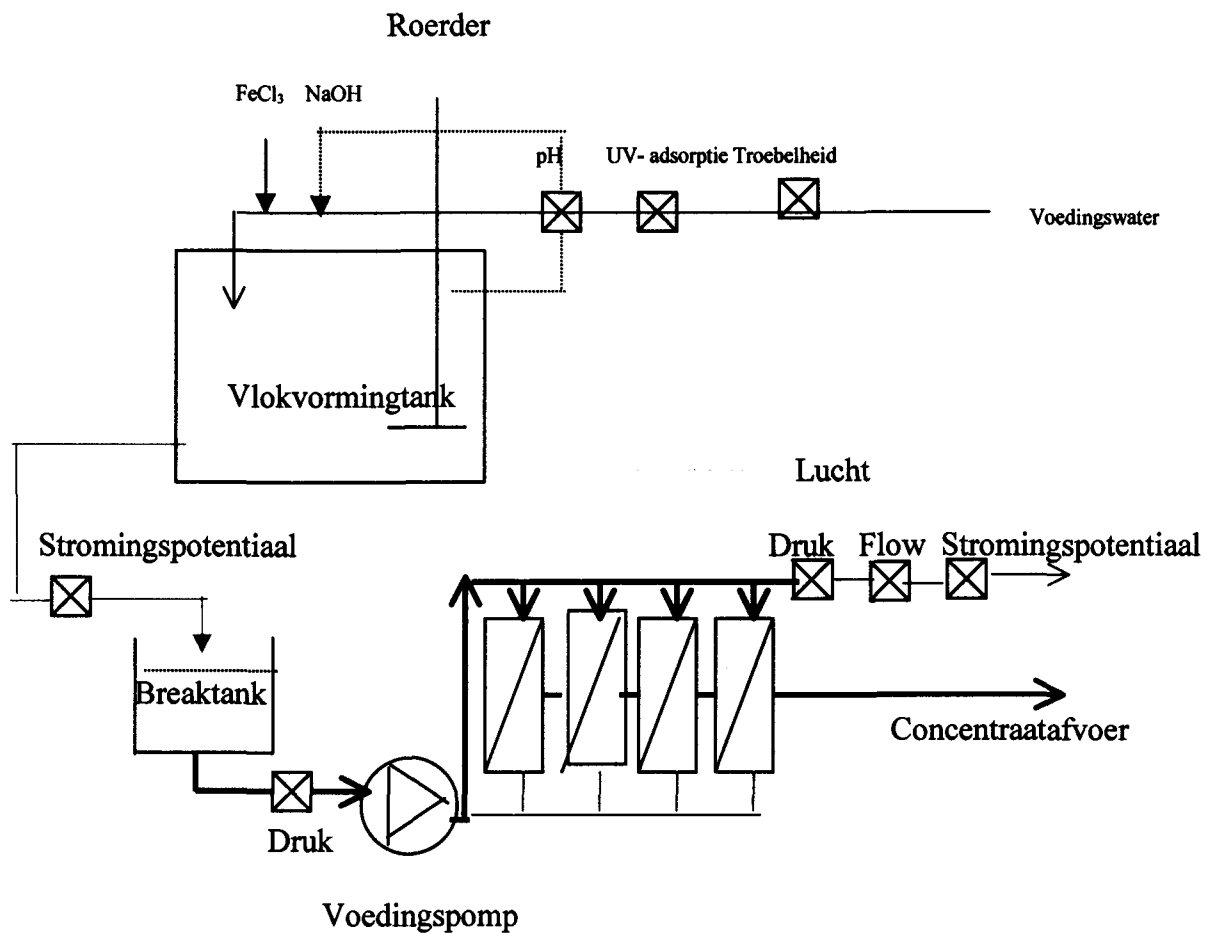
Tabel 4 procesgegevens

Naam	Instroomsnelheid m/s	Bruto flux L/m ² · h	TMD kPa	Permeabiliteit L/m ² · h · bar	Netto flux L/m ² · h
X- flow UF- EPCE	0,09	53	60	120	45
Memcor	-	85	32	285	76
Zenon ZeeWeed 500	-	40	16	230	32
SpiraSep	0,11	72	16	500	65

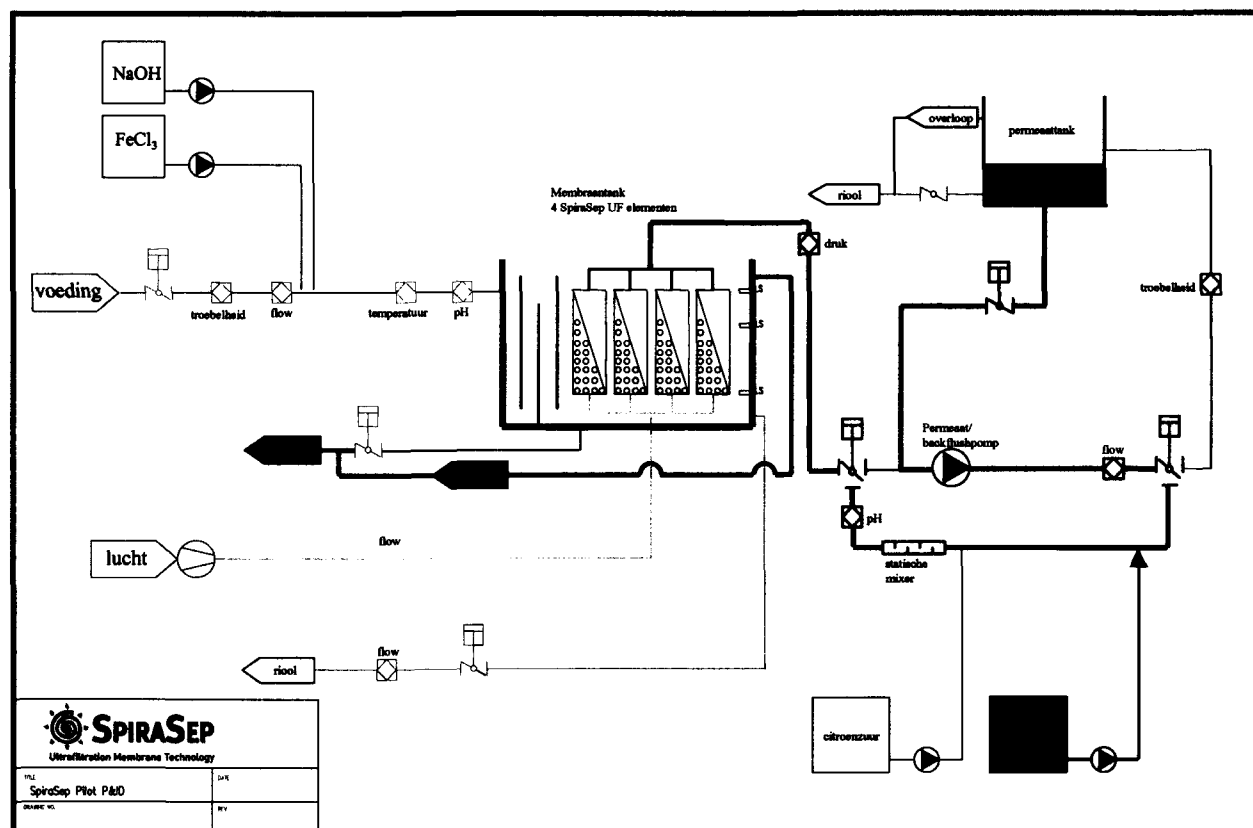
Bijlage 3 Schematische weergave proefinstallatie Memcor tijdens filtratie



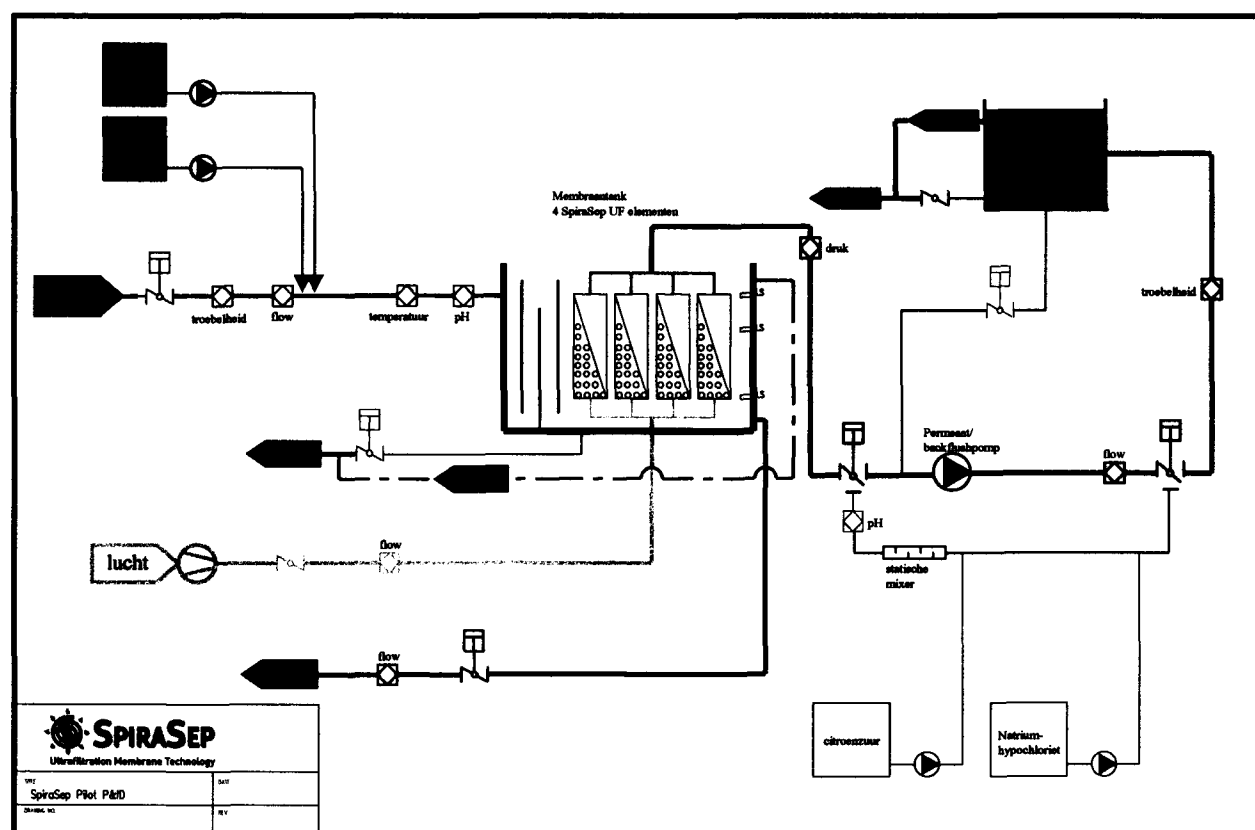
Bijlage 4 Schematische weergave proefinstallatie Memcor tijdens terugspoeling



Bijlage 5 Schematische weergave proefinstallatie SpiraSep tijdens filtratie



Bijlage 6 Schematische weergave proefinstallatie SpiraSep tijdens terugspoeling



Bijlage 7 Uitgebreid werkplan cyclus runs

In het volgende staat de procedure die gevolgd dient te worden voor het uitvoeren van een cyclus met Memcor.

De chemische reiniging

1. Uitvoeren van twee handmatige terugspoeling.
2. Afsluiters voedingswater dicht draaien en het nog aanwezige water uit de voedingstank weg laten stromen.
3. De voedingstank vullen met 10 liter kraanwater van circa 10°C.
4. 200 gram Natriumperboraat in 10 liter kraanwater van circa 60°C oplossen en in voedingstank doen.
5. Permeatafsluiter op recirculeren zetten en gedurende 30 minuten, de oplossing laten recirculeren door het membraan, met de volgende instellingen;
TMD = 0,4 bar
Pv = 0,4 bar
Qv = 600 L/h
6. Na 30 minuten recirculeren de oplossing voor 30 minuten laten weken.
7. Uitvoeren van een handmatige terugspoeling, waardoor de reinigingsvloeistof en de vuildeeltjes los laten van het membraan.
8. De reinigingsvloeistof met de vuildeeltjes met gewoon kraanwater uitspoelen daarna de voedingstank en het membraanmodules leeg laten lopen.
9. De basische oplossing zorgt ervoor dat de poriën van het membraan zich vergroten, om deze weer op de normale grootte te brengen moet er een reiniging met een zure oplossing worden uitgevoerd.
10. 20 ml HCl oplossen in 20 liter kraanwater in de voedingstank.
11. De zuuroplossing gedurende 30 minuten recirculeren door het membraan en daarna gedurende 30 minuten laten weken in het membraan.
12. Tot slot moet de zure oplossing worden verwijderd uit het membraan en uit de voedingstank.

Schoonwaterflux

13. Na de chemische reiniging wordt tijdens deze schoonwaterflux de stromingspotentiaal gemeten gedurende 15 minuten. Het schoonwater komt van de schoonwaterfluxtank. Het schoonwater is permeaat van een NF- membraan. Aan het permeaat wordt 0,01 molair NaCl toegevoegt om de geleidbaarheid te verhogen.
14. De pH, het geleidingsvermogen van het NF- permeaat moet constant zijn. De druk, de volumestroom waarmee het schoonwater wordt aangevoerd moet constant zijn. Bij de proefinstallatie Memcor wordt deze aanvoer geregeld door het niveau in de breaktank. Bij het dalen van het niveau onder de bovenste vlotter zal de voedingsklep dicht gestuurd worden, waardoor de stromingspotentiaal wordt beïnvloed. Het volumedebiet moet zodanig worden geregeld dat de voedingsklep open gestuurd blijft.
15. De grafiek die de stromingspotentiaal weergeeft tijdens deze schoonwaterflux is de referentie voor de volgende schoonwaterflux
16. Nadat de schoonwaterflux gedurende circa 15 minuten over het membraan is bepaald, wordt het water weer verwijderd uit het membraan en de voedingstank.

De run

17. De schoonwaterflux afsluiter wordt dichtgezet en de voedingswaterafsluiter kan worden open gedraaid.
18. Gedurende 48 uur wordt er een run uitgevoerd In de eerste run van twee dagen wordt het voedingswater voorbehandeld met een pH- correctie met natronloog van pH = 7,4 naar pH = 8 en 1 mg/ l ijzerdosering
19. De automatische terugspoeling wordt om de 20 minuten uitgevoerd. De flux wordt ingesteld op 87,5 l/ m².h.
20. Tijdens de run wordt 2 maal een monster worden genomen van het voedingswater, het voedingswater na voorbehandeling en van het permeaat. De monsters worden geanalyseerd op troebelheid, UV- adsorptie bij 245 nm, ijzergehalte en DOC.

Er zijn in totaal 4 verschillende runs waarbij verschillende combinaties van pH- correctie en ijzerdosering mogelijk zijn:

Mogelijke combinatie	pH- correctie	1 mg/ l ijzer dosering
1	Ja	Ja
2	Nee	Ja
3	Ja	Nee
4	Nee	Nee

Schoonwaterflux

21. Na de run, wordt een tweede schoonwaterflux bepaald. De grafiek van de stromingspotentiaal wordt nu vergeleken met de grafiek van de stromingspotentiaal van de eerste schoonwaterflux- bepaling.
22. De condities van het NF- permeaat, zoals pH, temperatuur, geleidingsvermogen, druk en volumedebiet moeten hetzelfde zijn als tijdens de eerste schoonwaterflux.

Chemische reiniging

Een volgende run kan worden uitgevoerd.

Bijlage 8 Instellingen bedrijfsvoering SpiraSep

Processtap		
Terugspoeling	Frequentie	15 min.
	Lengte	45 s
	Flow	3,2 m ³ / h
	Desinfectiemiddel (NaOCl)	5 mg/ l
Luchtinjectie	Frequentie	Continu
	Flow	8,5 m ³ / h per element
Chemische reiniging	Frequentie	Dagelijks
	Spoeltijd	10 min
	Spoel permeaatflow	1 m ³ / h
	Weektijd	10 min
	Uitspoeltijd	3 min
	Uitspoel permeaatflow	3,2 m ³ /h
	Zuurgraad Citroenzuur	pH= 4
Voorbehandeling	pH- correctie	
	IJzerdosering	

Bijlage 9 Gebeurtenissen tijdens onderzoek

Vitens neemt water in vanuit het Twentekanaal aan de locatie Elsbeekweg te Enschede. Op deze locatie wordt oppervlaktewater gezuiverd middels floccuatie. Het gezuiverde water wordt verpompt naar de locatie Weerseloseweg te Enschede (circa 5 km) alwaar het water infiltreert in de bodem. Na een verblijftijd van minimaal 15 dagen in de bodem wordt dit water opgepompt en gezuiverd tot drinkwater. Op de locatie Elsbeekweg staat een proefhal van Vitens. In deze proefhal vinden onder andere diverse ultrafiltratie proeven plaats. De proefhal wordt gevoed met hetzelfde water waarmee ook de flotatie wordt gevoed.

In augustus 2003 heeft er bij bandenfabrikant Vredenstein een grote uitslaande brand plaats gevonden. Tijdens het blussen van de brand is bluswater in het Twentekanaal terechtgekomen. Hierdoor is het water ernstig vervuild. De inname van oppervlaktewater is toen direct gestaakt. Het gedeelte van het Twentekanaal waaruit oppervlaktewater wordt ingenomen is een doodlopende arm van het kanaal. Door de sluizen tussen Enschede en Hengelo te sluiten kon dit gedeelte van het kanaal worden geïsoleerd. Om de drinkwaterproductie in dit gedeelte van de provincie Overijssel te kunnen waarborgen is een 5 kilometer lange noodleiding gelegd vanaf het innamepunt aan de Elsbeekweg tot voorbij de zuivering. Tevens is het innamestation uitgebreid met een poederkool dosering om de aanwezige verontreinigingen uit het water te verwijderen. Bij de sluizen heeft Rijkswaterstaat een zuivering opgesteld om het water uit het geïsoleerde vervuilde gedeelte van het Twentekanaal te kunnen zuiveren. Als gevolg van onder andere regenwater zal het niveau in de tijd stijgen. Om het niveau te kunnen beheersen dient een hoeveelheid water uit dit geïsoleerde gedeelte te worden verpompt naar de andere kant van de sluizen. Omdat daar nu de inname van het oppervlaktewater voor drinkwaterbereiding plaats vindt wordt dit water gezuiverd. Het voedingswater voor de proefhal bestond uit een mengsel van gezuiverd grondwater van pompstation Hengelo en oppervlaktewater van het Twentekanaal (mengverhouding 2:1). Deze waterkwaliteit wordt waterkwaliteit A genoemd.

Door een defect van deze zuivering is eind maart 2004 ongezuiverd water vanuit het geïsoleerde gedeelte van het Twentekanaal verpompt tot achter de sluizen. De concentratie aan verontreinigende stoffen is daardoor zover toegenomen dat Vitens genoodzaakt was om de inname van oppervlaktewater ten behoeve voor drinkwaterbereiding te staken. Speciaal om alleen de proefhal te voeden is een voorziening gemaakt waarmee de Twentekanaalwater uit het vervuilde gedeelte kan worden ingenomen. Drie weken nadat de watertoevoer is onderbroken kon de proefinstallatie weer worden voorzien van Twentekanaalwater. Het voedingswater voor de proefhal bestond vanaf eind april uit (puur) Twentekanaalwater. Voor het onderzoek wordt deze waterkwaliteit B genoemd. Belangrijke constatering is dat de waterkwaliteit van het vervuilde gedeelte van het Twentekanaalwater afweek ten opzichte van waterkwaliteit A, vooral door een hogere troebelheid. Mede doordat in begin mei het Twentekanaal werd opengesteld voor bootverkeer is de troebelheid van het Twentekanaalwater sterk gestegen. De boten zorgen voor een grote turbulentie in het water, waardoor verontreinigende stoffen in het voedingswater terecht komen.

Vanaf half mei is een tweede verandering in de waterkwaliteit geconstateerd. Nadat de troebelheid zich in het voedingswater van de proefhal heeft gestabiliseerd is de pH van het Twentekanaalwater gestegen, van 7,4 naar gemiddeld 8,5. Er zijn pieken van boven de pH = 9,0 gemeten. Wat de oorzaak is van deze pH stijging in het voedingswater is onduidelijk. De waterkwaliteit wordt door deze verandering van de pH, waterkwaliteit C genoemd. Zo wordt waterkwaliteit B gekenmerkt door een hoge troebelheid en waterkwaliteit C door een pH- verhoging.

Bijlage 10 Procedure bepalen optimale condities voorbehandeling

Bekerglazen van 2,5 l worden gevuld met 1 l Twentekanaalwater. Vervolgens wordt m.b.v. zoutzuur en natronloog de gewenste pH ingesteld en tevens een bepaalde hoeveelheid ijzerchloride toegevoegd (zie tabel 1) Tijdens het vlokformingsproces wordt permanent en met een constante snelheid geroerd. Voor vlokvormingstijd wordt in alle gevallen 10 minuten aangehouden. Deze waarde komt overeen met de verblijftijd in de proefinstallatie, voordat het voedingswater de membranen bereikt. Na 10 minuten wordt uit de bekerglazen een monster genomen. Deze monsters worden gefiltreerd met een 0,45 µm membraan en vervolgens onderzocht op gehalte Fe, Ca, DOC. Tevens wordt de kleur bepaald en een UV- scan gemaakt (golflengte 200-600 nm).

Tabel 1

Zuurgraad (pH)	1 bekerglas ijzerdosering	2 bekerglas ijzerdosering	3 bekerglas ijzerdosering	Vlokvormingstijd (minuten)
6,0	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
6,5	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
7,0	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
7,5	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
8,0	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
8,6	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
9,0	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
9,5	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0
10,0	1 mg/ l Fe	2 mg/ l Fe	3 mg/ l Fe	10,0

Als referentie dient een UV- scan met milli- Q water, een scan van Twentekanaalwater (wel gefiltreerd) en een mengsel van milli- Q water met Twentekanaalwater (mengverhouding 1:1).

Benodigheden onderzoek:

Voor het uitvoeren van deze testsessie zijn de volgende materialen nodig:

1. 18 Liter Twentekanaalwater
2. pH meter
3. 3 bekerglazen van 2 liter + magneetroeders
4. zoutzuuroplossing 0,1 N
5. natronloogoplossing 0,1 N
6. stopwatch
7. spectrofotometer met UV- scan
8. monsters

Overzicht fysisch/chemisch onderzoek:

Analyses: Fe, Ca, DOC/kleur

Meting: pH, UV-scan (200-600nm)

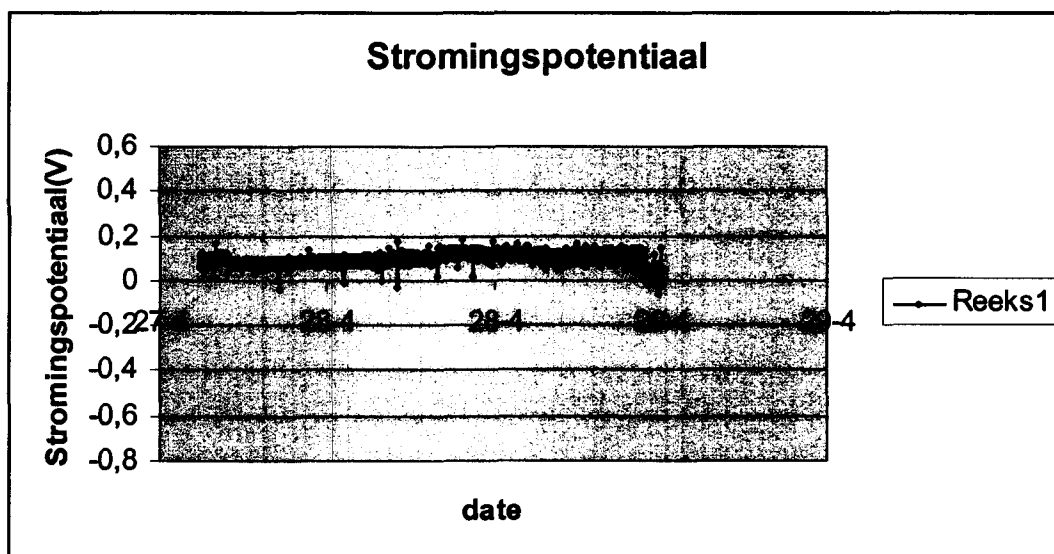
Bijlage 11 Resultaten monsters UV- scans

Conditie voorbehandeling	Kleur	UV- extinctie 254 nm
Twentekanaalwater	17,2	19,1
pH = 6,0 + 0 mg FeCl ₃ / l	20,8	25,1
pH = 7,0 + 1 mg FeCl ₃ / l	16,8	19,5
pH = 8,2 + 1 mg FeCl ₃ / l	16,6	18,8
pH = 8,2 + 3 mg FeCl ₃ / l	15,0	17,7
pH = 8,6 + 0 mg FeCl ₃ / l	16,9	19,4
pH = 8,6 + 1 mg FeCl ₃ / l	16,1	17,9
pH = 8,6 + 3 mg FeCl ₃ / l	14,8	17,7
pH = 9,0 + 0 mg FeCl ₃ / l	25,1	26,4
pH = 10,0 + 0 mg FeCl ₃ / l	19,1	23,9

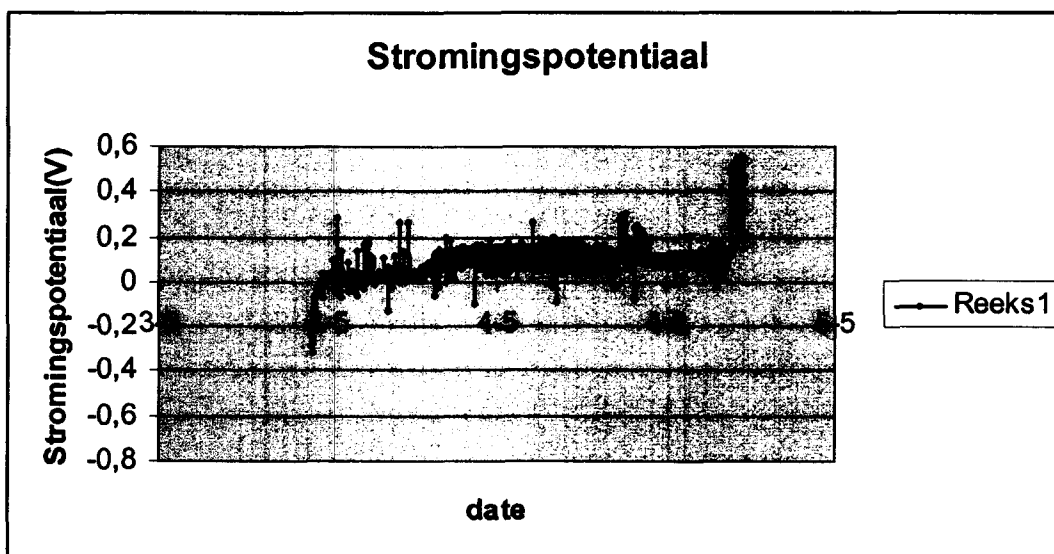
Het ijzergehalte in het voedingswater (Twentekanaalwater) is 0,4 mg/l.

Bijlage 12 Stromingspotentialaal meting tijdens filtratie

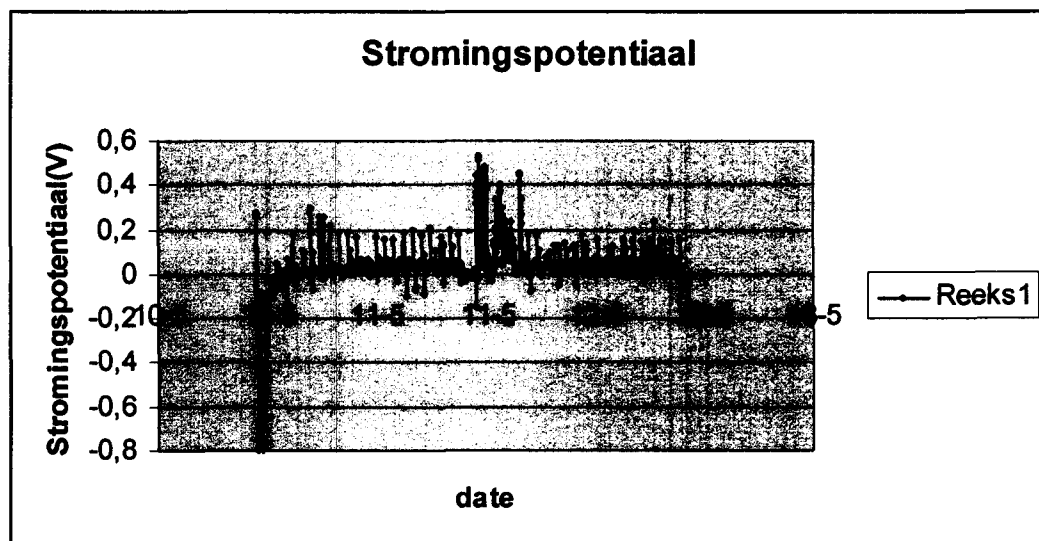
12a: Grafiek stromingspotentialaal tijdens filtratie bij run 3



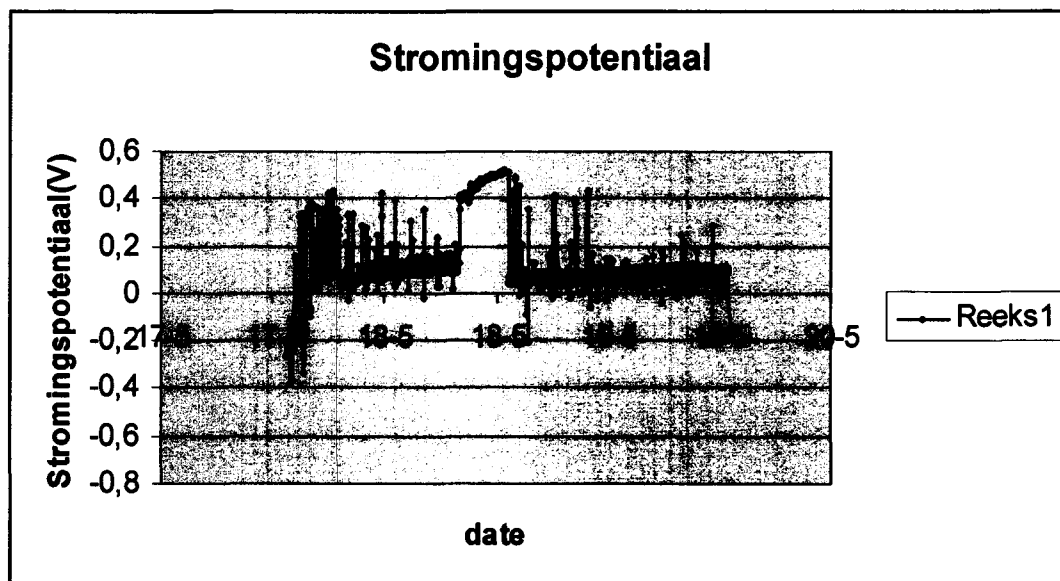
12b: Grafiek stromingspotentialaal tijdens filtratie bij run 4



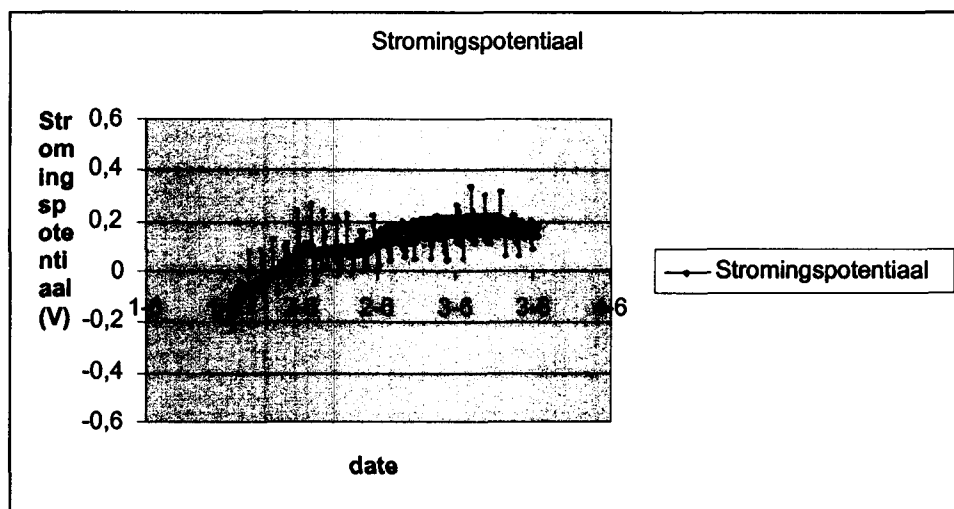
12c: Grafiek stromingspotentiaal tijdens filtratie bij run 5



12d: Grafiek stromingspotentiaal tijdens filtratie bij run 6



12e: Grafiek stromingspotentiaal tijdens filtratie bij run 7



Bijlage 13 Condities tijdens schoonwaterflux meting

Run 3

Schoonwaterflux na reiniging
 TMP = 40 kPa
 Flux = 139,5 l/m²h

pH = 7,8
 Geleidbaarheid = 1601 µS/ cm
 Temperatuur = 19°C

voor reiniging
 TMP = 100 kPa
 Flux = 87,5 l/m²h

pH = 7,8
 Geleidbaarheid = 1610 µS/ cm
 Temperatuur = 19°C

Run 4

Schoonwaterflux na reiniging
 TMP = 40 kPa
 Flux = 126 l/m²h

pH = 7,7
 Geleidbaarheid = 1618 µS/ cm
 Temperatuur = 18°C

voor reiniging
 TMP = 133 kPa
 Flux = 87,5 l/m²h

pH = 7,8
 Geleidbaarheid = 1600 µS/ cm
 Temperatuur = 18,1°C

Run 5

Schoonwaterflux na reiniging
 TMP = 40 kPa
 Flux = 126 l/m²h

pH = 7,8
 Geleidbaarheid = 1601 µS/ cm
 Temperatuur = 17°C

voor reiniging
 TMP = 113 kPa
 Flux = 87,5 l/m²h

pH = 7,8
 Geleidbaarheid = 1620 µS/ cm
 Temperatuur = 17°C

Run 6

Schoonwaterflux na reiniging
 TMP = 40 kPa
 Flux = 139,75 l/m²h

pH = 8,3
 Geleidbaarheid = 1700 µS/ cm
 Temperatuur = 22°C

voor reiniging
 TMP = 67 kPa
 Flux = 87,5 l/m²h

pH = 8,4
 Geleidbaarheid = 1620 µS/ cm
 Temperatuur = 21,5°C

Run 7

Schoonwaterflux na reiniging
 TMP = 40 kPa
 Flux = 139,75 l/m²h

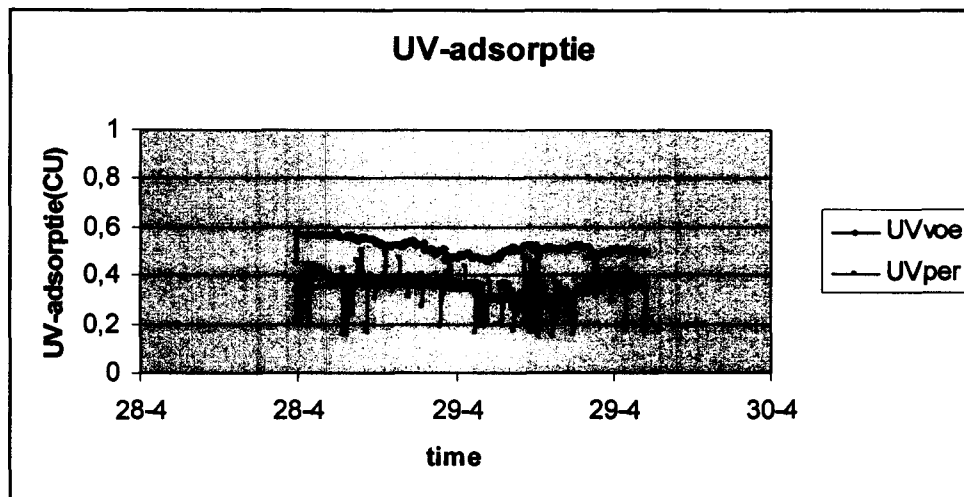
pH = 8,5
 Geleidbaarheid = 1700 µS/ cm
 Temperatuur = 22°C

voor reiniging
 TMP = 69 kPa
 Flux = 87,5 l/m²h

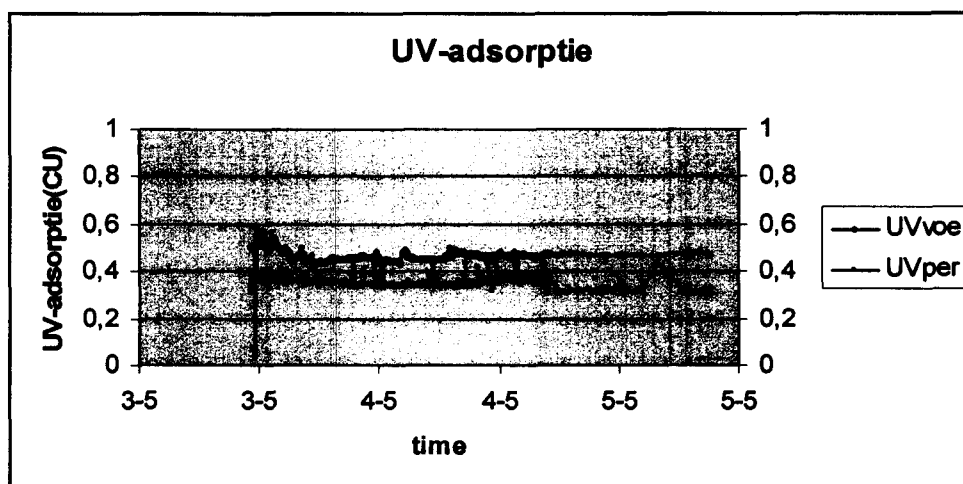
pH = 8,4
 Geleidbaarheid = 1710 µS/ cm
 Temperatuur = 22,5°C

Bijlage 14 UV- adsorptie tijdens filtratie

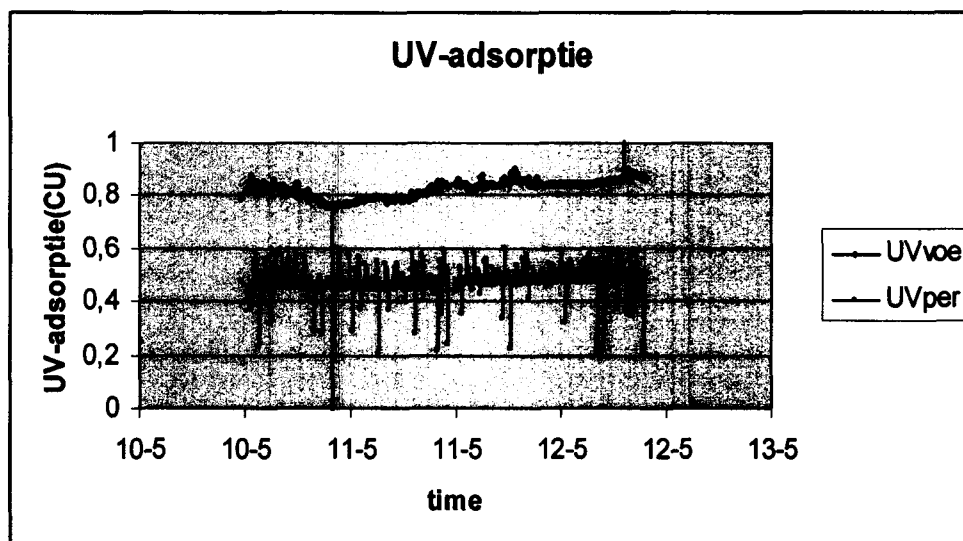
14a: Grafiek UV- adsorptie run 3



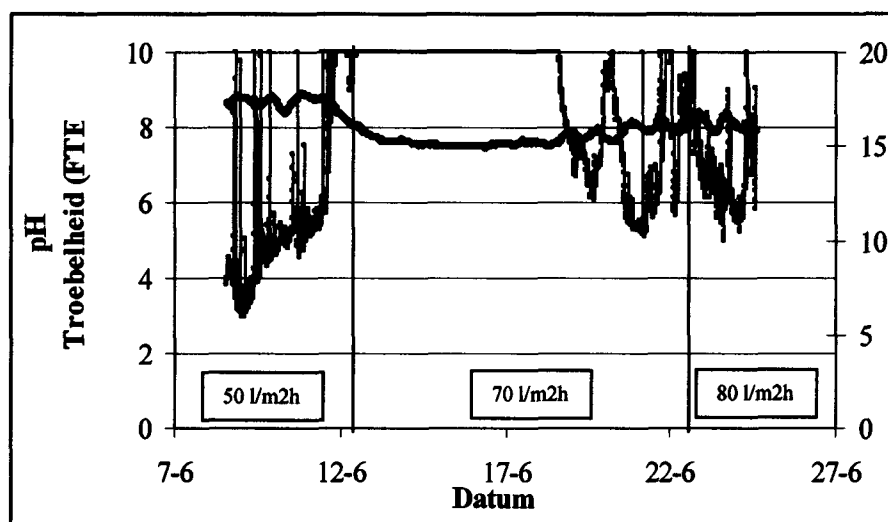
14b: Grafiek UV- adsorptie run 4



14c: Grafiek UV- adsorptie run 5



Bijlage 15 Troebelheid + pH tijdens onderzoek SpiraSep



Bijlage 16 Berekeningsmodel exploitatiekosten SpiraSep

Rekenmodel voor bepalen van de winstpunten in de bedrijfsvoering van SpiraSep.

	70	l/m ² .h
	2730	L/h
Gemiddelde TMP bij bruto flux =	30	kPa
Permeabiliteit	226,3	L/m ² .h.bar bij 20°C
Terugspoeling		
Interval terugspoeling =	4	n/h
Lengte terugspoelen =	45	s/n
Flow terugspoelen =	3,81	m ³ /h
Permeaatspoeling =	190,5	L/h
Chemische reiniging		
Lengte van spoelperiode =	10	min
Flow voor spoeling =	1	m ³ /h
Lengte van weekperiode =	10	min
Lengte van uitspoeling =	3	min
Flow voor uitspoeling =	3,2	m ³ /h
Frequentie =	1	n/dag
Permeaatspoeling =	13,6	L/h
Stilstand =	0,0660	/h
Productietijd	0,834	h
Membraanoppervlak	39	m ²

Terugspoeling		
Dosering NaOCl =	0,6	mg/l
Kosten NaOCl	0,2	euro/L
Kosten per m ³ permeaat	0,0011	euro/m ³
Chemische reiniging		
Zuur dosering =	1,900	mg/m ³
kosten per citroenzuur =	3,0	euro/L
Kosten per m ³ permeaat	0,0067	euro/m ³
Voortbehandeling		
Verbruik FeCl ₃	3,5	mg/m ³
Kosten per liter FeCl ₃	0,58	euro/L
Kosten FeCl ₃ per m ³ permeaat	0,0066	euro/m ³
Verbruik NaOH	8	mg/m ³
Kosten per liter NaOH	0,2	euro/L
Kosten NaOH per m ³ permeaat	0,0047	euro/m ³
Luchtspoeling		
Flow continu luchtspoeling	8,5	m ³ /h
Vermogen blower	8,73	kW
Kosten per kWh	0,06	euro/kWh
Energieverbruik per m ³ permeaat	0,0064	euro/m ³
Pompvermogen		
Energieverbruik bij 72 l/m ² .h	6,25	kW
Kosten per kWh =	0,06	euro/kWh
Kosten per m ³ permeaat	0,0031	euro/m ³
Totale chemicaliënkosten	0,0182	euro/m ³
Totale energiekosten	0,0065	euro/m ³
Totale exploitatiekosten	0,0267	euro/m ³

Bijlage 18 Berekeningmodel exploitatiekosten SpiraSep zonder voorbehandeling

Rekenmodel voor bepalen van de winstpunten in de bedrijfsvoering van SpiraSep.

	72	
	2730	
	30	
	226,3	L/m2.h.bar bij 20°C
Bruto flux =	70	l/m2.h
Bruto flow =	2730	L/h
TMP bij bruto flux =	30	kPa
Permeabiliteit	226,3	L/m2.h.bar bij 20°C
Terugspoeling		
Interval terugspoeling =	4	n/h
Lengte terugspoelen =	45	s/n
Flow terugspoelen =	3,81	m3/h
Permeaatspoeling =	190,5	L/h
Chemische reiniging		
Lengte van spoelperiode =	10	min
Flow voor spoeling =	1	m3/h
Lengte van weekperiode =	10	min
Lengte van uitspoeling =	3	min
Flow voor uitspoeling	3,2	m3/h
Frequentie =	1	n/dag
Permeaatspoeling =	13,6	L/h
Stilstand =	0,0680	/h
Productietijd	0,934	h
Membraanoppervlak	39	m2

Terugspoeling		
Dosering NaOCl =	0,6	mg/l
Kosten NaOCl	0,2	euro/L
Kosten per m3 permeaat	0,0011	euro/m3
Chemische reiniging		
Zuur dosering =	1,900	mg/m3
kosten per citroenzuur =	3,0	euro/L
Kosten per m3 permeaat	0,0057	euro/m3
Voorbehandeling		
Verbruik FeCl3	0	mg/m3
Kosten per liter FeCl3	0,58	euro/L
Kosten FeCl3 per m3 permeaat	0,0000	euro/ m3
Verbruik NaOH	0	mg/m3
Kosten per liter NaOH	0,2	euro/ L
Kosten NaOH per m3 permeaat	0,0000	euro/ m3
Luchtspoeling		
Flow continu luchtspoeling	8,5	m3/h
Vermogen blower	6,73	kWh
Kosten per kWh	0,06	euro/kWh
Energieverbruik per m3 permeaat	0,0054	euro/m3
Pompvermogen		
Energieverbruik bij 72 l/m2.h	6,25	kWh
Kosten per kWh =	0,06	euro/kWh
Kosten per m3 permeaat	0,0031	euro/m3
Totale chemicaliënkosten	0,0068	euro/m3
Totale energiekosten	0,0085	euro/m3
Totale exploitatiekosten	0,0153	euro/m3

Bijlage 19 Opbouw spreadsheet kostprijsberekening

De kostprijsberekening is gebaseerd op een installatie van 200 m³/h, die het gehele jaar met 10% stilstand moet produceren. Hierdoor worden 8000 productie- uren gerekend. Er wordt rekening gehouden met een piekfactor van 1,5. Hierdoor moet de installatie 1.600.000 m³/jaar produceren. De kostprijsberekening is opgebouwd uit de bouwkosten, investeringen en de exploitatiekosten.

De bouwkosten

Onder de bouwkosten vallen de membraanmodules, de pompen, elektronische, en werktuigkundige onderdelen, appendages en leidingwerk, en de chemicaliënopslag. Daarnaast zijn er de kosten voor het gebouw, waarin de installatie wordt geplaatst, algemene voorzieningen en de automatiseringskosten. De bouwkosten voor het gebouw wordt € 300/ m² grondoppervlak gerekend. Het benodigde grondoppervlak van de installatie is hiervoor bepalend. Onder de algemene voorzieningen vallen de inrichtingskosten en de bijkomende kosten. Hiervoor wordt 5% van de bouwkosten genomen. De automatiseringskosten bestaat uit een besturingssysteem, met software en de verbinding met de meetapparatuur en appendages. In de kostprijsberekening worden de automatiseringskosten PLC genoemd. De kosten worden op € 25.000 gesteld.

De investeringen

Onder de investeringen worden de totale kosten verstaan die nodig zijn voor het aanschaffen van de installatie, het gebouw, de PLC en de algemene voorzieningen, het monteren van de installatie en de staartkosten (engineeringkosten).

Voor de montagekosten wordt 30% van de bouwkosten en de algemene voorzieningen genomen en voor de staartkosten 15% van de bouwkosten, montagekosten en PLC kosten. Onder de montagekosten vallen de montagearbeid en materialen. Onder de staartkosten worden kosten voor training, beschrijvingen, tekeningen en dergelijke verstaan.

De exploitatiekosten

Onder de exploitatiekosten worden de jaarlijkse kosten verstaan en bestaan uit de volgende onderdelen:

- De som van de rente en afschrijving (R+A)
- Bediening en onderhoudskosten (O&M)
- De energiekosten
- De chemicaliënkosten.
- De membraanvervanging (MF)

Vitens gebruikt als afschrijvingmethodiek de annuïteit, waarbij de som van de rente en de afschrijving wordt berekend. De investering wordt over 15 jaar afgeschreven en rekt met een rentepercentage van 6%, anno 2004. Deze annuïteit geldt voor het afschrijven van de membraaninstallatie, het gebouw, de PLC en de algemene voorzieningen.

De annuïteit wordt berekend met de volgende formule:

$$\text{Annuïteit} = \frac{(1 + (x * 0,01))^{(y * x * 0,01)}}{(1 + (x * 0,01))^{(y-1)}} * 100\%, \text{ waarin } x = \text{rentepercentage, } y = \text{afschrijfperiode}$$

Berekening:

$$\text{Annuïteit} = \frac{(1 + (6 * 0,01))^{(15 * 6 * 0,01)}}{(1 + (6 * 0,01))^{(15-1)}} * 100\% = 10,3\%$$

Voor bediening en onderhoudskosten wordt een vast percentage van 2,5% van de investering genomen.

De membranen worden op een andere manier afgeschreven. Vitens schrijft de membranen over 5 jaar af(20%). De jaarlijkse kosten die met de membraanafschrijving (MF) zijn gemoeid, wordt berekend met de volgende formule:

$$MF = 20\% * 0,01 * \text{membraanprijs per m}^2 * \text{aantal m}^2 \text{ membraanoppervlak.}$$

Het energieverbruik bij een installatie van 200 m³/ h is niet evenredig met de gebruikte energie bij de proefinstallaties. Hierom zijn het energieverbruik opgevraagd bij de leveranciers. Voor X- flow- UF- EPCE zijn de energiekosten aangenomen. De kosten voor 1 kWh worden gehouden op € 0,06.

Voor het berekenen van het chemicaliënverbruik bij de installatie van 200 m³/ h is gebruikt gemaakt van het verbruiken bij de proefinstallaties. Deze verbruiken staan in bijlage 2, tabel 3. De kosten per chemicaliën zijn opgevraagd bij Vogelenzang BV. De opgave is voor bulkafname.

Bijlage 20 Inventarisatie proefinstallatie 200 m³/ h**1. Membraanprijs**

$$\text{Vergelijking: } \frac{Q_{\text{permeaat}} (\text{m}^3/\text{h}) * 1000 (\text{l/m}^3) * \text{€}/\text{m}^2}{J_n (\text{l/m}^2.\text{h})} = \text{€}$$

Zenon - ZeeWeed 500	Memcor	X- flow- UF- EPCE	SpiraSep
€ 40/ m ²	€ 40/ m ²	€ 45/ m ²	€ 75/ m ²
32 l/m ² .h	76 l/m ² .h	53 l/m ² .h	65 l/m ² .h
€ 240.000	€ 145.2000	€ 200.025	€ 220.320

* Bij Memcor is de membraanprijs met 40% verlaagd vanwege de concurrentiele positie van Memcor en het feit dat ze ondergedompelde membraansystemen leveren die aanzienlijk goedkoper zijn.

2. Installatie

Zenon	Memcor	X- flow- UF- EPCE	SpiraSep
Membranen	Membranen	Membranen	Membranen
Membraantank	Breaktank	Membraantank	Membraantank
2 Permeaatpomp	1 Permeaatpomp	1 Permeaatpomp 1 Terugspoelpomp	1 Permeaatpomp 1 Concentraatpomp
Blower + luchthead			Blower
1 Permeaattank + 1 permeaatheader	1 Permeaattank 1 Vlokvormingstank 1 Concentraattank	1 Permeaattank 1 Concentraattank	1 Permeaattank
Appendages/ leidingwerk	Appendages/ leidingwerk	Appendages/ leidingwerk	Appendages/ leidingwerk
Ophangconstructie	Ophangconstructie	Ophangconstructie	Ophangconstructie
	Roerder + aandrijving		
Doseringen - Citroenzuur (pomp + tank)	Doseringen - NaOH (regelaar + tank + pomp) - IJzer (pomp + tank)	Doseringen - Diatomiet (2 pomp + 2 tank) - H ₂ O ₂ (pomp + tank) - NaOH (pomp + tank) - HCl (pomp + tank)	Doseringen - Citroenzuur (pomp + tank) - NaOCl (pomp + tank) - NaOH (pomp + tank) - HCl (pomp + tank)

Deze lijst is exclusief een compressor, voorfilter 1-5 mm, chemicaliënopslag en meetapparatuur.

3. Gebouw

Zenon	Memcor	X- flow- UF- EPCE	SpiraSep
210 m ² (21 * 10)	350 m ² (20 * 17,5)	400 m ² (20 * 20)	210 m ² (21 * 10)
€ 300/ m ²	€ 300/ m ²	€ 300/ m ²	€ 300/ m ²

Kosten

Kostenplaats	Zenon	Memcor	X- flow- UF- EPCE	SpiraSep
1. Membranen	€ 240.000	€ 145.2000	€ 200.025	€ 220.320
2. Installatie	€ 370.000	€ 435.000	€ 400.000	€ 159.800
3. Gebouw	€ 63.000	€ 105.000	€ 120.000	€ 63.000

Bijlage 21 Berekening energie- en chemicaliënkostenEnergie- en chemicaliënverbruik

X- flow - UF-EPCE		Memcor	
Chemicaliëngebruik:	3,3 mg/m ³ HCl, 2,3 mg/m ³ NaOH, 2,6 mg/m ³ H ₂ O ₂ , 84 g/ m ³ Diatomiet	Chemicaliëngebruik:	4,6 mg/m ³ HCl, 5,4 mg/m ³ NaOH 5,2 mg/m ³ NaBO ₃ , 3,1mg/ m ³ FeCl ₃
Energieverbruik:	0,21 kWh/ m ³	Energieverbruik:	0,2 kWh/ m ³
Zenon ZeeWeed 500		SpiraSep	
Chemicaliëngebruik:	4,4 mg/m ³ Citroenzuur	Chemicaliëngebruik:	1,9 mg/m ³ Citroenzuur 6,0 mg/m ³ NaOH 0,6 mg/m ³ NaOCl 3,5 mg/ m ³ FeCl ₃
Energieverbruik:	0,2 kWh/ m ³	Energieverbruik:	0,14 kWh/ m ³

Energie- en chemicaliënprijzen

Energie	kosten 0,06 €/ kWh
----------------	------------------------------

Chemicaliën	dichtheid	concentratie	factor	kosten
Citroenzuur		1	1	3,00 €/ kg
Diatomiet		1	1	1,10 €/ kg
Natriumperboraat (NaBO ₃)		1	1	0,80 €/ kg
Waterstofperoxide (H ₂ O ₂)	1000 kg/ m ³	15%	6,7	0,40 €/ l
Natronloog (NaOH)	1200 kg/ m ³	25%	4,0	0,20 €/ l
Natriumhypochloriet (NaOCl)	1300 kg/ m ³	15%	6,7	0,20 €/ l
IJzerchloride (FeCl ₃)	1420 kg/ m ³	40%	2,5	0,58 €/ l
Zoutzuur (HCl)	1300 kg/ m ³	33%	3,0	0,20 €/ l

Prijzen zijn opgevraagd bij Vogelenzang BV.

Gebruikte formule voor omrekenen van mg/m³ naar €/ m³ en €/ jaar

$$\frac{\text{factor} * (\text{mg/ m}^3 * \rho) * \text{€/ L}}{1.000.000} = \text{€/ m}^3$$

$$\text{€/ m}^3 * 8760 \text{ h/ jaar} * 200 \text{ m}^3/ \text{h} = \text{€/ jaar}$$

Voorbeeld berekening: Kosten voor 3,3 mg/m³ HCl

$$\frac{3,0 * (3,3 * 1300) * 0,20}{1.000.000} = 0,0026 \text{ €/ m}^3$$

$$0,0026 \text{ €/ m}^3 * 8760 * 200 = 4.160 \text{ €/ jaar}$$

Berekening energie- en chemicaliënkosten

Naam	Chemicaliën €/ m ³	Energie €/ m ³	Totaal €/ m ³	Totaal €/ jaar
X- flow- UF-EPCE	HCL = 0,00260 NaOH = 0,00181 H ₂ O ₂ = 0,00393 Diatomiet = 0,09240	= 0,01260	= 0,1133	= 181.344
Memcor	HCl = 0,00362 NaOH = 0,00425 FeCl ₃ = 0,00584 NaBO ₃ = 0,00416	= 0,01200	= 0,0272	= 46.192
Zenon ZeeWeed 500	Citroenzuur = 0,01342	= 0,01200	= 0,0254	= 40.656
SpiraSep	NaOH = 0,00473 NaOCl = 0,00113 FeCl ₃ = 0,00659 Citroenzuur = 0,00570	= 0,00846	= 0,0267	= 42.576

Bijlage 22

22a: Kostprijsberekening SpiraSep

Project **SpiraSep**
 Bedrijf **Vitens BV**
 Datum **3-8-2004**

Ontwerpsdebiet 200 m³/h
 Productor ontwerp 1,8
 Bedrijfsuren 8000 per jaar
 Gemiddeld debiet 200,0 m³/h
 Jaarproductie 1800000 m³/jaar

PLC	26.000	[€]		
algemene voorzieningen	8	% van bouwkosten		
montage	30	% van bouwkosten + algemene voorzieningen		
staarkosten	16	% van bouwkosten + montage + PLC		
Rente + Afschrijving	10,30	%	annuïtaire afschrijving (hulpberekening)	R+A %
Onderhoud	2,6	%	afschrijving (jaar)	15 10,30
membranevervang	20	%	rente percentage	6
energie	0,08	€ per kWh		
membraneprijs	78	€/m ² Spiraal geworden SpiraSep		
personeelsbelesting	0,2	FTE		
personeelskosten	60.000	[€/jaar]		

UITKOMSTEN BEREKENING			
percentage		kosten	prijs per m ³
rente + afschrijving	36	rente + afschrijving 72074 [€/jaar]	0,045 €/m ³
bedrijfsvoering + onder	9	bedrijfsvoering + onderhoud 17500 [€/jaar]	0,011 €/m ³
personeelskosten	6	personeelskosten 12000 [€/jaar]	0,006 €/m ³
membranevervang	24	membranevervang 46155 [€/jaar]	0,029 €/m ³
energie	7	energie 13536 [€/jaar]	0,008 €/m ³
chemicalien	15	chemicalien 29040 [€/jaar]	0,018 €/m ³
Totaal	100	Totaal 180305 [€/jaar]	0,119 €/m ³

Verdeling van de jaarlijkse kosten



■ rente + afschrijving	■ bedrijfsvoering + onderhoud
□ personeelskosten	■ membranevervang
■ energie	■ chemicalien

aantal	jaar/no				bouwkosten	investering	R+A [€/y]	O&M [€/y]	E [€/y]	Chem [€/y]	MF [€/y]	totaal (excl. afvalstoffen)		
1	ultrafiltratie	membranoppervlak [50-1500 m ²]	3077	m ²	360120 [€]	598279 [€]	58512	14207	13536	29040	46155	161450 €/jaar	0,101 €/m ³	ultrafiltratie
1	gebouw	oppervlak [m ²]	210	m ²	42000 [€]	62790 [€]	6465	1570				8035 €/jaar	0,005 €/m ³	gebouw
	subtotaal				422120 [€]	631069 [€]	64977	16777	13536	29040	46155	169484 €/jaar	0,106 €/m³	
1	algemene voorzieningen	percentage totale bouwkosten incl. gebouw	5 %		21106 [€]	31553 [€]	3249	789				4038 €/jaar	0,00 €/m ³	algemene
1	PLC	PLC	25.000 [€]		25.000 [€]	37375 [€]	3848	834				4783 €/jaar	0,00 €/m ³	PLC
	totaal				468226 [€]	699998 [€]	72074	17600	13536	29040	46155	178308 €/jaar	0,111 €/m³	

Prijs 0,111 €/m³, excl. personeel, analyses, verwerking/afvoer afvalproducten
 Personeelskosten 0,008 €/m³
 Totaal 0,119 €/m³, excl. analyses, verwerking/afvoer afvalproducten

22c: Kostprijsberekening X- flow – UF- EPCE

Project **X- flow- UF- EPCE**
 Bedrijf **Vitens BV**
 Datum **3-8-2004**

Ontwerpsdebiet	200	m3/h
Piekfactor ontwerp	1,5	
Bedrijfsuren	8000	per jaar
Gemiddeld debiet	200,0	m3/h
Jaarproductie	1600000	m3/jaar
PLC	25.000	[€]
algemene voorzieningen	5	% van bouwkosten
montage	30	% van bouwkosten + algemene voorzieningen
staartkosten	15	% van bouwkosten + montage + PLC
Rente + Afschrijving	10,30	%
Onderhoud	2,5	%
membraanvervang	20	%
energie	0,06	€/kWh
membraanprijs	45	€/m2 capillaire NF
personeelsbelasting	0,2	FTE
personeelskosten	60.000	€/jaar

UITKOMSTEN BEREKENING			
percentage		kosten	prijs per m3
rente + afschrijving	30	rente + afschrijving 113758 [€/jaar]	0,071 €/m3
bedrijfsvoering + onde	7	bedrijfsvoering + onderhoud 27621 [€/jaar]	0,017 €/m3
personeelskosten	3	personeelskosten 12000 [€/jaar]	0,008 €/m3
membraanvervang	11	membraanvervang 39996 [€/jaar]	0,025 €/m3
energie	6	energie 20160 [€/jaar]	0,013 €/m3
chemicalien	43	chemicalien 161184 [€/jaar]	0,101 €/m3
Totaal	100	Totaal 374719 [€/jaar]	0,234 €/m3

Verdeling van de jaarlijkse kosten



- rente + afschrijving
- personeelskosten
- energie
- bedrijfsvoering + onderhoud
- membraanvervang
- chemicalien

serial	jaar/no				bouwkosten	investering	R+A [€/y]	O&M [€/y]	E [€/y]	Chem [€/y]	MF [€/y]	totaal (excl. stoffen, excl. ecotax)		
1	ultrafiltratie	membraanoppervlak [50-1500 m2]	4444	m2	600025 [€]	897037 [€]	62361	22426	20160	161184	39996	336127 €/year	0,210 €/m3	ultrafiltratie
1	gebouw	oppervlak [m2]	400	m2	80000 [€]	119800 [€]	12314	2990				15304 €/year	0,010 €/m3	gebouw
	subtotaal				680025 [€]	1016637 [€]	104676	25416	20160	161184	39996	351432 €/year	0,220 €/m3	
1	algemene voorzieningen	percentage totale bouwkosten incl. gebouw	5	%	34001 [€]	50632 [€]	5234	1271				6505 €/year	0,00 €/m3	algemene
1	PLC	PLC	25.000	[€]	25.000 [€]	37375 [€]	3848	934				4783 €/year	0,00 €/m3	PLC
	totaal				739026 [€]	1104844 [€]	113758	27621	20160	161184	39996	362719 €/year	0,227 €/m3	

Prijs 0,227 €/m3, excl. personeel, analyses, ecotax, verwerking/afvoer afvalproducten
 Personeelskosten 0,008 €/m3
 Totaal 0,234 €/m3, excl. analyses, ecotax, verwerking/afvoer afvalproducten

22d: Kostprijsberekening Zenon ZeeWeed 500

Project **Zenon**
Bedrijf **Vitens BV**
Datum **3-8-2004**

Ontwerpdebiet 200 m3/h
Piekfactor ontwerp 1,5
Bedrijfsuren 8000 per jaar
Gemiddeld debiet 200,0 m3/h
Jaarproductie 1800000 m3/jaar

PLC	25.000	[€]	
algemene voorzieningen	5	% van bouwkosten	
montage	30	% van bouwkosten + algemene voorzieningen	
staartkosten	15	% van bouwkosten + montage + PLC	
Rente + Afschrijving	10,30	%	annuïtaire afschrijving (hulpberekening)
Onderhoud	2,5	%	afschrijving (jaar)
membraanvervang	20	%	rente percentage
energie	0,06	€/per kWh	
membraanprijs	40	€/m2 capitaire UF	
personeelsbelasting	0,2	FTE	
personeelskosten	80.000	[€/year]	

UITKOMSTEN BEREKENING			
percentage		kosten	prijs per m3
rente + afschrijving	46	rente + afschrijving 108552 [€/year]	0,068 €/m3
bedrijfsvoering + onde	11	bedrijfsvoering + onderhoud 26900 [€/year]	0,017 €/m3
personeelskosten	5	personeelskosten 12000 [€/year]	0,008 €/m3
membraanvervang	21	membraanvervang 50000 [€/year]	0,031 €/m3
energie	8	energie 19200 [€/year]	0,012 €/m3
chemicalien	9	chemicalien 21456 [€/year]	0,013 €/m3
Totaal	100	Totaal 238807 [€/year]	0,149 €/m3

Verdeling van de jaarlijkse kosten



■ rente + afschrijving
□ personeelskosten
■ energie
■ bedrijfsvoering + onderhoud
■ membraanvervang
■ chemicalien

aantal yea/no				bouwkosten	investering	R+A [€/y]	O&M [€/y]	E [€/y]	Chem [€/y]	MF [€/y]	totaal (excl. afvalstoffen, excl. ecotax)	
1	ultrafiltratie	membraanoppervlak [50-1500 m2]	6260 m2	612000 [€]	914940 [€]	94205	22874	19200	21456	50000	207734 €/year	0,130 €/m3
1	gebouw	oppervlak [m2]	210 m2	42000 [€]	62790 [€]	6465	1570				6035 €/year	0,005 €/m3
	subtotaal			654000 [€]	977730 [€]	100670	24443	19200	21456	50000	215769 €/year	0,135 €/m3
1	algemene voorzieningen	percentage totale bouwkosten incl. gebouw	5 %	32700 [€]	48867 [€]	5033	1222				6256 €/year	0,00 €/m3
1	PLC	PLC	25.000 [€]	25.000 [€]	37375 [€]	3848	934				4763 €/year	0,00 €/m3
	totaal			711700 [€]	1063992 [€]	109552	26600	19200	21456	50000	226807 €/year	0,142 €/m3

Prijs 0,142 €/m3, excl. personeel, analyses, ecotax, verwerking/afvoer afvalproducten
Personeelskosten 0,008 €/m3
Totaal 0,149 €/m3, excl. analyses, ecotax, verwerking/afvoer afvalproducten