

BTO 2018.064 | April 2018

## **BTO** rapport

Behandeling van brak  
grondwater



# BTO 2018.064

Behandeling van brak grondwater

BTO 2018.064 | April 2018

**Opdrachtnummer**

402116

**Projectmanager**

Dr. Ir. Bas Wols

**Opdrachtgever**

BTO – Speerpuntonderzoek Vitens

**Kwaliteitsborger(s)**

Prof. Dr. Ir. Emile Cornelissen

**Auteur(s)**

Luuk de Waal, MSc

Ing. Hans Huiting

**Verzonden aan**

BTO participanten

**Jaar van publicatie**  
2018

**Meer informatie**

Luuk de Waal, MSc  
T +31 (0)306069551  
E [luuk.de.waal@kwrwater.nl](mailto:luuk.de.waal@kwrwater.nl)

**Keywords**

Brak grondwater,  
ontzoutingstechnieken,  
omgekeerde osmose, eutectische  
vrieskristallisatie

PO Box 1072  
3430 BB Nieuwegein  
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511  
F +31 (0)30 60 61 165  
E [info@kwrwater.nl](mailto:info@kwrwater.nl)  
I [www.kwrwater.nl](http://www.kwrwater.nl)



BTO 2018.064 | April 2018 © KWR

Alle rechten voorbehouden.

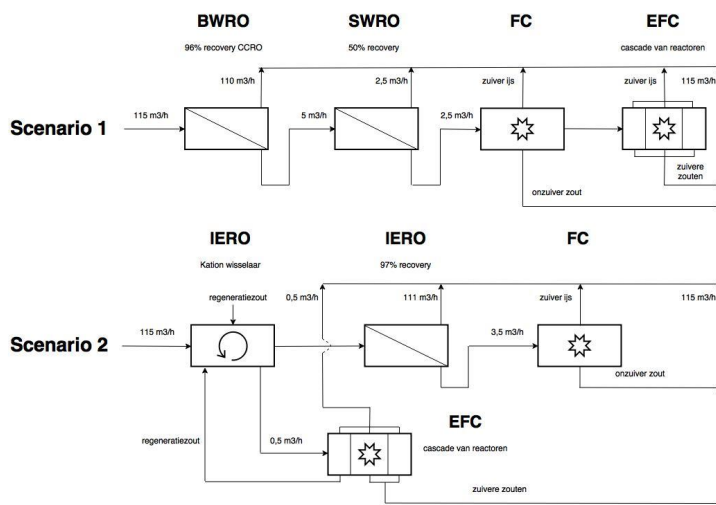
Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

# BTO Managementsamenvatting

## Omgekeerde osmose in combinatie met vrieskristallisatie kan Vitens de gewenste zero liquid discharge drinkwaterproductie met hoogwaardige reststoffen opleveren

**Auteur(s)** Luuk de Waal, MSc en Ing. Hans Huiting

Op basis van het Grondstoffenakkoord wil ook Vitens zuiniger en slimmer omgaan met grondstoffen, in dit geval (brak) grondwater. Verder onderzoeken en ontwikkelen van (eutectische) vrieskristallisatie na behandeling met omgekeerde osmose (*closed circuit reverse osmosis* (CCRO) of *ion exchange reverse osmosis* (IERO)) kan de door Vitens gewenste *zero liquid discharge* drinkwaterproductie opleveren waarbij een deel van de reststoffen van hoge kwaliteit is. Dit blijkt uit onderzoek op basis van literatuur en expertbevindingen, waarbij dertien technieken zijn bestudeerd. Op deze basis zijn totaalconcepten ontwikkeld. Drie andere technieken (*multi-stage flash* (MSF), *multi-effect distillation* (MED) en *supercritical water desalination* (SCWD)) bleken wel in staat om in één stap vier kritische stoffen te verwijderen (ammonium, chloride, ijzer en methaan), maar leveren vloeibare en/of gasvormige reststromen op die hen ongeschikt maken voor productie met *zero liquid discharge*.



Beoogde totaalconcepten voor productie van kwalitatief hoogwaardig water uit brak grondwater waarbij de vrijkomende reststoffen in de vaste fase verkeren

### Belang: drinkwater produceren met enkel reststoffen van hoge kwaliteit

Op basis van het Grondstoffenakkoord wil ook Vitens zuiniger en slimmer omgaan met grondstoffen, in dit geval (brak) grondwater. Bij de productie van drinkwater voor 5.6 miljoen klanten uit voornamelijk zoet grondwater komt een reststroom vrij die mineralen en zouten bevat die op dit moment niet wordt (her)gebruikt. Daarom zoekt Vitens technieken voor (drink)waterproductie die enkel reststoffen van

hoge kwaliteit opleveren, zodat die reststoffen nuttig kunnen worden gebruikt. Daarom wilde Vitens waterbehandelingstechnieken laten screenen op mogelijkheden om met *zero-liquid discharge* brak grondwater op te werken naar (drink)water. Deze techniek wil Vitens kunnen inzetten op willekeurige locaties en onafhankelijk van locatie-afhankelijke lozingsisen.

### Aanpak: literatuurstudie en expertbeoordelingen

Gebaseerd op een screening van de SCOPUS database en input van KWR-experts is een lijst samengesteld van dertien technieken die toegepast kunnen worden voor ontzouting van brak grondwater. Deze ontzoutingstechnieken zijn kort beschreven, inclusief in de literatuur beschreven toepassingen voor behandeling van brak grondwater. Ze zijn vervolgens beoordeeld op hun vermogen om een aanzienlijk deel van vier kritische componenten uit het brakke grondwater te verwijderen: ammonium, chloride, ijzer en methaan. Deze stoffen zijn geselecteerd aan de hand van door Vitens geleverde waterkwaliteitsgegevens van brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan. Daarnaast is per ontzoutingstechniek een inschatting gemaakt van de kwaliteit van de reststroom en in welke fase (vast, vloeibaar, gas) die reststroom verkeert.

### Resultaat: omgekeerde osmose in combinatie met eutectische vrieskristallisatie levert meeste perspectief

Drie ontzoutingstechnieken (*multi-stage flash* (MSF), *multi-effect distillation* (MED) en *supercritical water desalination* (SCWD)) zijn volgens de studie in staat om in één stap zowel ammonium, chloride, ijzer als methaan te verwijderen uit brak grondwater. MSF en MED leveren vloeibare en/of gasvormige reststromen op en zijn daarmee niet geschikt voor *zero-liquid discharge* productie van (drink)water uit brak grondwater in één stap. Daarvoor is alleen SCWD geschikt. De kwaliteit van het vaste restproduct van SCWD wordt echter dusdanig laag ingeschat dat geen hoogwaardigere toepassing dan storten mogelijk lijkt. Bovendien lijkt de SCWD techniek niet ver genoeg ontwikkeld te zijn voor pilot- of full-scale toepassing.

De enige ontzoutingstechniek waarbij de reststroom in de vaste fase verkeert en de kwaliteit dusdanig hoog is dat hergebruik in de chemische sector mogelijk lijkt, is eutectische vrieskristallisatie (Eutectic Freeze Crystallisation, EFC). EFC-technologie ontwikkelt zich momenteel van een batch proces met lage capaciteit ( $\sim < 1 \text{ m}^3$ ) naar een continu proces met hogere capaciteit ( $\sim > 1 \text{ m}^3/\text{uur}$ ). Als een geïntegreerde (en daardoor energie-efficiënte) cascade van EFC-reactoren kosteneffectief kan worden geproduceerd, worden de toepassingsmogelijkheden in de praktijk beter. Omdat EFC idealiter met een zo geconcentreerd mogelijke voedingsstroom wordt gevoed, ligt

(voor)behandeling van brak grondwater met een andere ontzoutingstechniek voor de hand.

### Voorbehandeling

Omgekeerde osmose (Reverse Osmosis, RO) wordt als bewezen ontzoutingstechniek voor onder andere brak grondwater ingezet in full-scale productie-installaties bij drinkwaterbedrijven. Daarom zijn zes alternatieve RO-technieken uitgediept en vergeleken met een traditioneel RO ontwerp. Uit een softwarematige doorrekening van een traditioneel RO ontwerp blijkt dat 92,5% recovery behaald kan worden bij gebruik van pH correctie en anti-scalant. Theoretische berekeningen/modellen tonen dat *closed circuit reverse osmosis* (CCRO) van Desalitech een hogere recovery kan realiseren dan het traditionele RO-ontwerp. Het *ion exchange reverse osmosis* (IERO)-concept, waar een kationwisselaar voor een (traditionele) RO-installatie wordt geplaatst, lijkt ook in staat een hogere recovery dan het traditionele RO ontwerp te kunnen realiseren. Op basis van dit onderzoek zijn totaalconcepten uitgewerkt voor productie van kwalitatief hoogwaardig water uit brak grondwater, waarbij de vrijkomende reststoffen in de vaste fase verkeren.

### Implementatie: onderzoek combinatie van vrieskristallisatie met CCRO en IERO

Aanbevolen wordt de alternatieve RO-concepten (CCRO en IERO) in combinatie met (eutectische) vrieskristallisatie te onderzoeken om te komen tot een *zero-liquid discharge* behandeling van brak grondwater. Deze totaalconcepten zullen in een vervolgstudie verder moeten worden uitgediept om hun praktische haalbaarheid en kans op succesvolle implementatie te kunnen inschatten.

### Rapport

Dit speerpuntonderzoek voor Vitens is beschreven in het rapport *Behandeling van brak grondwater* (BTO-2018.064).

# Samenvatting

Op basis van de uitgevoerde literatuurstudie is geconcludeerd dat de ontzoutingstechnieken multi-stage flash (MSF), multi-effect distillation (MED) en supercritical water desalination (SCWD) in staat zijn om in één stap zowel ammonium, chloride, ijzer en methaan te verwijderen uit brak grondwater van Ceintuurbaan winput 1965\_01 van Vitens. Voor de ontzoutingstechnieken MSF en MED geldt dat de reststromen zich in de vloeibare en/of gas fase bevinden. Hieruit volgt dat de beoogde zero-liquid discharge (ZLD) productie van (drink)water uit brak grondwater in één stap enkel mogelijk lijkt met de SCWD ontzoutingstechniek. De kwaliteit van het vaste restproduct van SCWD is echter dusdanig laag ingeschat dat er geen hoogwaardigere toepassing dan storten mogelijk lijkt. Bovendien lijkt de SCWD techniek niet ver genoeg ontwikkeld te zijn om toegepast te kunnen worden op pilot schaal of in een industriële full-scale omgeving. De enige ontzoutingstechniek waarbij de reststroom zich in de vaste fase bevindt en de kwaliteit dusdanig hoog is dat hergebruik in de chemische sector mogelijk lijkt is eutectische vrieskristallisatie (EFC).

Uit een verdiepend onderzoek naar de EFC technologie blijkt dat de ontwikkeling van een batch proces met lage capaciteit ( $\sim <1\text{m}^3$ ) naar een continu proces met hogere capaciteit ( $\sim >1\text{m}^3/\text{uur}$ ) op dit moment gaande is. Als de EFC techniek in die mate ontwikkelt dat een geïntegreerde (en daardoor energie-efficiënte) cascade van EFC reactoren kosteneffectief geproduceerd kan worden, neemt het aantal mogelijke toepassingen in de praktijk sterk toe. Omdat EFC idealiter met een zo geconcentreerd mogelijke voedingsstroom gevoed wordt, ligt (voor)behandeling van brak grondwater met een andere ontzoutingstechniek voor de hand.

Omgekeerde osmose (Reverse Osmosis, RO) is een bewezen ontzoutingstechniek en wordt toegepast door drinkwaterbedrijven in full-scale installaties die gevoed worden met onder andere brak grondwater. Om deze reden zijn een zestal alternatieve RO technieken uitgediept en vergeleken met een traditioneel RO ontwerp. Uit een softwarematige doorrekening van een traditioneel RO ontwerp blijkt dat 92,5% recovery behaald kan worden wanneer pH correctie en anti-scalant toegepast worden. Gebaseerd op de theoretische berekeningen/modellen van de verschillende alternatieve RO designs blijkt dat closed circuit reverse osmosis (CCRO) van Desalitech in staat is om een hogere recovery te realiseren dan het traditionele RO ontwerp. Het ion exchange reverse osmosis (IERO) concept, waar een kationwisselaar voor een (traditionele) RO installatie wordt geplaatst, lijkt als enige andere alternatieve RO techniek ook in staat een hogere recovery te halen dan het traditioneel RO ontwerp.

Als aanbeveling voor verder onderzoek zijn beide bovengenoemde alternatieve RO concepten (CCRO en IERO) vervolgens verwerkt in combinatie met de (eutectische) vrieskristallisatie techniek om tot een zero-liquid discharge (ZLD) behandeling van brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan te komen. Deze totaalconcepten zullen in een vervolgstudie verder moeten worden uitgediept om hun praktische haalbaarheid en kans op succesvolle implementatie te kunnen inschatten.

# Inhoud

<b>Samenvatting</b>	<b>4</b>
<b>Inhoud</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>6</b>
<b>2 Literatuuronderzoek</b>	<b>7</b>
2.1 Kader en omschrijving literatuuronderzoek	7
2.2 Beschrijving ontzoutingstechnieken	8
2.3 Vergelijking ontzoutingstechnieken	12
<b>3 Beoordeling van technieken</b>	<b>15</b>
3.1 Omgekeerde osmose	15
3.2 Vrieskristallisatie	19
3.3 Eutectische vrieskristallisatie	20
<b>4 Conceptuele beschrijving totaalconcept</b>	<b>25</b>
<b>5 Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>28</b>
5.1 Conclusies	28
5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek	29
<b>6 Geciteerde werken</b>	<b>30</b>
<b>Bijlage I Waterkwaliteit winput 1965-01 Ceintuurbaan Vitens 2012-2017</b>	<b>36</b>
<b>Bijlage II Waterkwaliteit winput 1965-01 Ceintuurbaan Vitens 2015-2017</b>	<b>38</b>
<b>Bijlage III Norm drinkwater</b>	<b>40</b>
<b>Bijlage IV Traditioneel RO berekening</b>	<b>44</b>
<b>Bijlage V Desalitech CCRO berekening</b>	<b>49</b>
<b>Bijlage VI ROTEC FRRO berekening</b>	<b>51</b>
<b>Bijlage VII : Eutectische temperatuur en concentratie van verschillende zouten</b>	<b>57</b>
<b>Bijlage VIII Technology readiness level (TRL) tabel Europese definitie</b>	<b>58</b>

# 1 Inleiding

Op 24 januari 2017 heeft Vitens, samen met 179 andere partijen, het grondstoffenakkoord getekend. Deze partijen hebben afgesproken om zuiniger en slimmer met onze grondstoffen, producten en diensten om te gaan. Het doel om in 2030 in Nederland 50% minder primaire grondstoffen te gebruiken (waaronder mineralen, metalen en fossiele brandstoffen) is een concreet voorbeeld uit dit ambitieuze akkoord. Het grondstoffenakkoord zelf is onderdeel van het Rijksbreed programma Circulaire Economie (Dutch National Government, 2016).

De Nederlandse ondergrond is rijk aan grondstoffen. Eén daarvan is grondwater, waar een belangrijk deel (ca. 60%) van ons drinkwater uit geproduceerd wordt (KWR, 2016). Het grondwater dat we nodig hebben voor drinkwater wordt opgepompt uit grondlagen die tussen de 10 tot 300 meter diep liggen. Het Rijk werkt samen met provincies, gemeenten en waterschappen binnen het Programma Bodem en Ondergrond om te borgen dat de ondergrond duurzaam, efficiënt en veilig wordt gebruikt, zodanig dat benutten en beschermen met elkaar in balans zijn (Rijksoverheid, 2017).

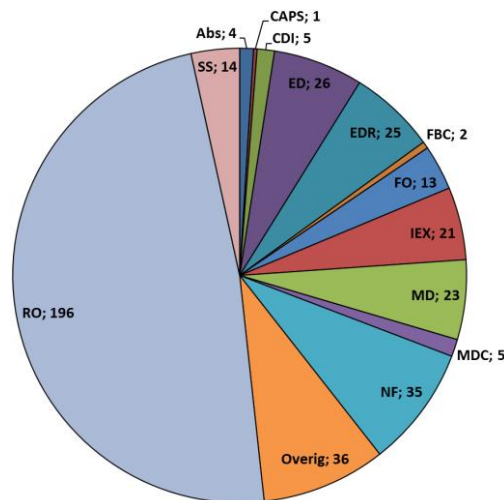
Voor de productie van het drinkwater voor 5.6 miljoen klanten gebruikt Vitens voornamelijk zoet grondwater als bron. De reststroom die daarbij vrijkomt kan onder andere mineralen en zouten bevatten, stoffen die op dit moment niet worden gebruikt. Het is voor Vitens daarom van belang om technieken te vinden die naast de productie van (drink)water enkel reststoffen van hoge kwaliteit produceren die nuttig gebruikt kunnen worden. Het doel van deze literatuurstudie is dan ook om waterbehandelingstechnieken te screenen op de mogelijkheid om met zero-liquid discharge (ZLD) brak grondwater op te werken naar (drink)water. Deze behandelingstechniek of combinatie van behandelingstechnieken zou vervolgens op een willekeurige winlocatie toegepast kunnen worden, onafhankelijk van locatie-afhankelijke lozingseisen. Voorwaarde is wel dat de staat van ontwikkeling van de desbetreffende techniek op een dusdanig niveau is dat toepassing op de beoogde schaal mogelijk is. Dit kan worden ingeschat met behulp van de technology readiness level (TRL), zie Bijlage VIII. Binnen deze literatuurstudie voor Vitens zijn 13 zuiveringstechnieken onderling vergeleken op basis van verwijderingspotentieel van een viertal geselecteerde indicatorcomponenten, kwaliteit en fase (gas/vloeistof/vaste stof) van de reststroom. Het (drink)water moet voldoen aan geldende waterkwaliteitseisen (zie Bijlage III), waarbij het toegestaan is om een tekort aan zouten aan te vullen.



## 2 Literatuuronderzoek

### 2.1 Kader en omschrijving literatuuronderzoek

Om een overzicht van waterbehandelingstechnieken die in de wetenschappelijke literatuur worden beschreven om brak grondwater te zuiveren is de online database SCOPUS gebruikt. Het invoeren van de trefwoorden 'brackish groundwater desalination' leverde in totaal 403 hits op die vervolgens geordend zijn op basis van het aantal citaties. Figuur 1 is indicatief voor de onderverdeling van deze hits op basis van onderzochte technieken voor behandeling van brak grondwater. De behandelingstechnieken die meegenomen zijn in Figuur 1 worden genoemd in de 100 meest geciteerde artikelen van het totale aantal artikelen. Het grootste deel (48%) van de artikelen is gerelateerd aan de behandeltechniek reverse osmosis, gevolgd door elektrolyse & elektrolyse reversaal (13%), nanofiltratie (9%) en membraandistillatie (6%).



FIGUUR 1: AANTAL ARTIKELEN PER ONTZOUTINGSTECHNIEK BINNEN ZOEKBEREIK LITERAATUURSTUDIE (403 ARTIKELEN). ABSORPTIE (ABS), COMPACT ACCELERATED PRECIPITATION SOFTENING (CAPS), CAPACITIVE DE-IONIZATION (CDI), ELECTRODIALYSIS (ED), ELECTRODIALYSIS REVERSAL (EDR), FLUIDIZED BED CRYSTALLIZER (FBC), FORWARD OSMOSIS (FO), ION EXCHANGE (IEX), MEMBRANE DISTILLATION (MD), MICROBIAAL DESALINATION CELL (MDC), NANOFILTRATION (NF), REVERSE OSMOSIS (RO) EN SOLAR STILL (SS)

Op basis van zowel de resultaten van de literatuurstudie en input van de binnen KWR aanwezige experts is een lijst samengesteld van dertien technieken die toegepast kunnen worden voor ontzouting van brak grondwater. Van deze technieken is een korte omschrijving gegeven waarbij eventueel in de literatuur beschreven toepassingen in brak grondwater behandeling vermeld zijn. De beschreven ontzoutingstechnieken zijn vervolgens beoordeeld (op basis van zowel literatuur en expert judgement) op hun vermogen om een aanzienlijk deel van vier kritische componenten uit het brakke grondwater te verwijderen. Deze vier stoffen zijn geselecteerd op basis van de door Vitens aangeleverde gemiddelde waterkwaliteit van pompstation Ceintuurbaan winput 1965\_01 (zie Bijlage I). Daarnaast is er per ontzoutingstechniek een inschatting (wederom op basis van literatuur en expert judgement) gemaakt van de kwaliteit van de reststroom en in welke fase (vast, vloeibaar, gas) de reststroom zich bevindt (zie 2.3 - Tabel 1).

## 2.2 Beschrijving ontzoutingstechnieken

### 2.2.1 Reverse osmosis

Omgekeerde osmose (Reverse osmosis, RO) is een drukgedreven membraanscheidingsproces waarbij op basis van verschillen in oplosbaarheid en diffusie in/door het membraanmateriaal puur water gewonnen wordt uit een mengsel van mono-, di- en multi-valente ionen, opgeloste stoffen en deeltjes (Greenlee, Lawler, Freeman, Marrot, & Moulin, 2009). Dit resulteert in een hoofdstroom (permeaat) van zeer zuiver water en een reststroom (concentraat) waarin de originele bestanddelen van het voedingswater in verhoogde concentratie aanwezig zijn. Het permeaat is geschikt te maken voor consumptie door remineralisatie. RO wordt voornamelijk op grote schaal en wereldwijd toegepast om water te ontzouten, waaronder brak grondwater. Er zijn verschillende RO concepten die qua onderliggende techniek geavanceerder zijn dan de standaard commercieel verkrijgbare applicatie, zoals bijvoorbeeld Put RO<sup>1</sup> (Haidari, Blankert, Timmer, Heijman, & van der Meer, 2017), Closed circuit RO<sup>2</sup> (Desalitech, 2018; Warsinger, Tow, Nayar, Maswadeh, & Lienhard V, 2016), High recovery precipitation RO<sup>3</sup> ("HiPRO," 2009), Ion exchange RO<sup>4</sup> (Heijman, Vrouwenfelder, Hofman, & Kappelhof, 2002) en Flow reversal RO<sup>5</sup> (ROTEC, 2018).

### 2.2.2 Nanofiltratie

Nanofiltratie (NF) is een druk gedreven membraanproces waarbij op basis van deeltjesgrootte en elektrostatische interactie met, oplosbaarheid in en diffusie door het membraan water en monovalente ionen gewonnen wordt uit een mengsel van mono-, di- en multi-valente ionen, opgeloste stoffen en deeltjes (Mohammad et al., 2015). NF wordt op grote schaal gebruikt voor verwijdering van organische microverontreinigingen en ontharding (verwijdering van di- en multi-valente ionen) uit onder andere brak grondwater (Van Der Bruggen & Vandecasteele, 2003) maar ook om de recovery van een RO installatie te verhogen (Afrasiabi & Shahbazali, 2011).

### 2.2.3 Membraandestillatie

Membraandestillatie (MD) is een temperatuur gedreven scheidingsproces waarbij het verschil in dampdruk tussen een warme en koude vloeistof zorgt voor permeatie van waterdamp door een hydrofoob poreus membraan (Alkhudhiri, Darwish, & Hilal, 2012; Tijning, Choi, Lee, Kim, & Shon, 2014). Variaties op deze basistechniek zijn directe contact membraandestillatie (DCMD), airgap membraandestillatie (AGMD), vacuüm membraandestillatie (VMD) en sweep gas membraandestillatie (SGMD). Er zijn in de literatuur enkele publicaties te vinden waar MD wordt toegepast voor het ontzouten van brak grondwater (Hou et al., 2010; Sivakumar, Ramezaniapour, & O'Halloran, 2015).

---

<sup>1</sup> De omgekeerde osmose unit wordt in zijn geheel in een brak grondwater put geplaatst waar geproduceerde concentraat ingebracht wordt in diepere grondlagen en het permeaat wordt opgepompt naar het aardoppervlak

<sup>2</sup> Afwisselende recirculatie van voedingswater en concentraat over een enkele stage omgekeerde osmose membraanunit zorgt voor een instelbare recovery (tot 98%) en verminderde membraanvervuiling door neerslag van zouten

<sup>3</sup> Het HiPRO concept maakt gebruik van meerdere ultrafiltratie en omgekeerde osmose stages in serie, waarbij slecht oplosbare zouten tussentijds geprecipiteerd worden

<sup>4</sup> Door positieve divalente ionen uit te wisselen met positieve monovalente ionen in een kation wisselaar wordt de scaling potentie van het water aanzienlijk verlaagd voordat het behandeld wordt door reverse osmosis

<sup>5</sup> Het FRRO concept voorkomt scaling door de stroomrichting door de module om te draaien voordat de inductietijd voor kristalvorming bij oververzadiging van zouten verstreken is

#### 2.2.4 Elektrolyse

Elektrolyse (ED) is een elektrische potentiaal gedreven membraanproces waarbij in verschillende compartimenten lading selectieve membranen afwisselend zijn geplaatst in een constant potentiaalverschil (Xie, Shon, Gray, & Elimelech, 2016; Xu & Huang, 2008). Ionen migreren onder invloed van dit potentiaalverschil uit de voedingsstroom naar de concentraatstroom, waarbij een stroom met gereduceerde ion-concentratie overblijft (dilluaat). ED wordt al meer dan 50 jaar op industriële schaal toegepast voor het ontzouten van onder andere brak grondwater (Strathmann, 2010).

##### 2.2.4.1 Omgekeerde elektrolyse

Gepulste elektrolyse (Electrolyse reversal, EDR) is een elektrische potentiaal gedreven membraanproces waarbij in verschillende compartimenten lading selectieve membranen afwisselend zijn geplaatst in een periodiek wisselend potentiaalverschil (Afrasiabi & Shahbazali, 2011). Afgezien van dit periodiek wisselende potentiaalverschil werkt de techniek volgens hetzelfde principe als elektrolyse (ED). Er is geen informatie gevonden over het toepassen van deze techniek voor brak grondwater.

##### 2.2.4.2 Shock elektrolyse

Shock elektrolyse (Shock electrolysis, SED) is een proces waarbij het aanbrengen van een overgelimiteerde stroom een de-ionisatie shockwave teweegbrengt door een poreus medium. Hierbij worden geladen en ongeladen deeltjes fysiek van elkaar gescheiden in de vloeistofstroom (Schlumpberger, Lu, Suss, & Bazant, 2015). Door dit gedeelte van de vloeistofstroom af te scheiden ontstaat er stroom met voornamelijk ongeladen deeltjes en een geconcentreerde stroom met verhoogde concentratie geladen deeltjes. Toepassing voor brak grondwater ontzouting wordt genoemd, maar is nog niet in de praktijk geïmplementeerd (Chandler, 2015).

#### 2.2.5 Ionenwisseling

Ionenwisseling (Ion exchange, IEX) maakt gebruik van een hars welk geladen is met positieve of negatieve ionen gebonden aan geladen groepen (Weiss, 1966). Deze aan het hars gebonden ionen worden vervolgens uitgewisseld met geladen deeltjes in de te behandelen vloeistof waardoor de kwaliteit van dit water veranderd. Periodieke regeneratie of / en gedeeltelijke vervanging van de hars is nodig. Ionenwisseling kan toegepast worden om calcium en magnesium ionen te verwijderen uit grondwater (Hayani, Mountadar, Tahiri, & Mountadar, 2016), maar ook om negatief geladen ionen zoals sulfaat te verwijderen uit grondwater (Smith & Sengupta, 2015).

#### 2.2.6 Vrieskristallisatie en Eutectische vrieskristallisatie

Vrieskristallisatie (Freeze crystallization, FC) maakt gebruik van kristalvorming van zowel het oplosmedium als van de componenten die vervolgens gescheiden worden op basis van het verschil in dichtheid (Randall & Nathoo, 2015). De efficiëntie van de FC technologie is afhankelijk van de concentratie van stoffen in de voedingsstroom; een hogere concentratie geeft een hogere scheidingsefficiëntie. Er is geen voorbehandeling nodig en de FC techniek is in staat om verwijderingspercentages van bijna 100% te behalen. Het in serie plaatsen van FC installaties die bedreven worden op specifieke temperaturen maakt het mogelijk om selectief bepaalde zouten te laten kristalliseren. Deze vorm van vrieskristallisatie wordt eutectische vrieskristallisatie (EFC) genoemd. EFC is met succes gebruikt om zouten terug te winnen uit membraanconcentraat stromen en andere synthetische geconcentreerde reststromen (Randall, Nathoo, & Lewis, 2011). Er is geen informatie gevonden over het toepassen van deze techniek voor de behandeling van brak grondwater.

### 2.2.7 Capacitieve de-ionisatie

Capacitieve de-ionisatie (Capacitive deionization, CDI) maakt gebruik van poreuze elektroden die onder invloed van een potentiaalverschil geladen deeltjes uit de voedingsstroom (tijdelijk) immobiliseren (Porada, Zhao, Van Der Wal, Presser, & Biesheuvel, 2013). Na opheffing van het potentiaalverschil over de elektroden gaan deze deeltjes weer in oplossing wat een geconcentreerdere stroom oplevert. CDI wordt toegepast in met name afgelegen gebieden voor behandeling van brak water en oppervlaktewater (Mossad, Zhang, & Zou, 2013; Oren, 2008). In Willora, Australië, heeft een installatie met 420 L/uur gedraaid om brak grondwater te ontzouten (Mossad et al., 2013).

### 2.2.8 Multi-stage flash destillatie & Multi-effect destillatie

Multi-stage flash destillatie (Multi-stage flash distillation, MSF) en multi-effect destillatie (Multiple effect distillation, MED) zijn temperatuur gedreven processen waarbij onder verlaagde druk in verschillende compartimenten een deel van het voedingswater verdampt (El-Dessouky, Ettouney, & Al-Roumi, 1999; Sen et al., 2011). Na condensatie wordt het water opgevangen waarna de gereduceerde stroom met verhoogde concentratie van opgeloste stoffen het systeem verlaat. Beide zijn bewezen technieken die wereldwijd worden gebruikt om op grote schaal gedestilleerd water te produceren, zoals in Egypte en de Verenigde Staten (El-Sadek, 2010; Whitworth & Lee, 2003). Er is geen informatie gevonden over het toepassen van deze techniek voor de behandeling van brak grondwater.

### 2.2.9 Zonnecondensator

In een zonnecondensator (solar still, SS) wordt met behulp van zonne-energie water verdampt (Vishwanath Kumar, Kumar, Prakash, & Kaviti, 2015). Het gecondenseerde water wordt opgevangen en heeft verlaagde concentraties aan opgeloste deeltjes. De productiecapaciteit hangt af van de hoeveelheid energie die de zon levert. Er is geen informatie gevonden over het toepassen van deze techniek voor de behandeling van brak grondwater.

### 2.2.10 Forward osmosis

Forward osmosis (FO) is een door osmotische druk gedreven membraanproces waarbij er water door een semi-permeabel membraan vanuit het voedingswater de draw solution ingetrokken wordt tot er een evenwichtssituatie is bereikt. Door deze verdunde draw solution te concentreren met bijvoorbeeld reverse osmosis wordt er water met hoge kwaliteit geproduceerd. Er zijn meerdere studies beschikbaar waarin met FO kwalitatief hoogwaardig water wordt geproduceerd van brak grondwater (Lotfi et al., 2015; Phuntsho et al., 2014; Phuntsho, Hong, Elimelech, & Shon, 2013).

### 2.2.11 Continue elektro de-ionisatie

Continue elektro de-ionisatie (Continuous electro de-ionization, CEDI) is een elektrisch potentiaal gedreven techniek waarbij lading selectieve ionenwisselingharsen afwisselend zijn geplaatst in een constant potentiaalverschil (Wood, Gifford, Arba, & Shaw, 2010). Ionen migreren onder invloed van dit potentiaalverschil uit de compartimenten met ionenwisselingharsen naar de compartimenten zonder ionenwisselingharsen, welke de concentraatstroom oplevert. Het geproduceerde water is zeer zuiver en wordt ook wel ultrapuur water genoemd. Deze techniek wordt voornamelijk gebruikt om kwalitatief hoogwaardig water nog verder op te zuiveren, voor gebruik in bijvoorbeeld de semiconductor-industrie. CEDI is dus niet geschikt voor directe behandeling van brak grondwater.

### 2.2.12 Superkritische water ontzouting

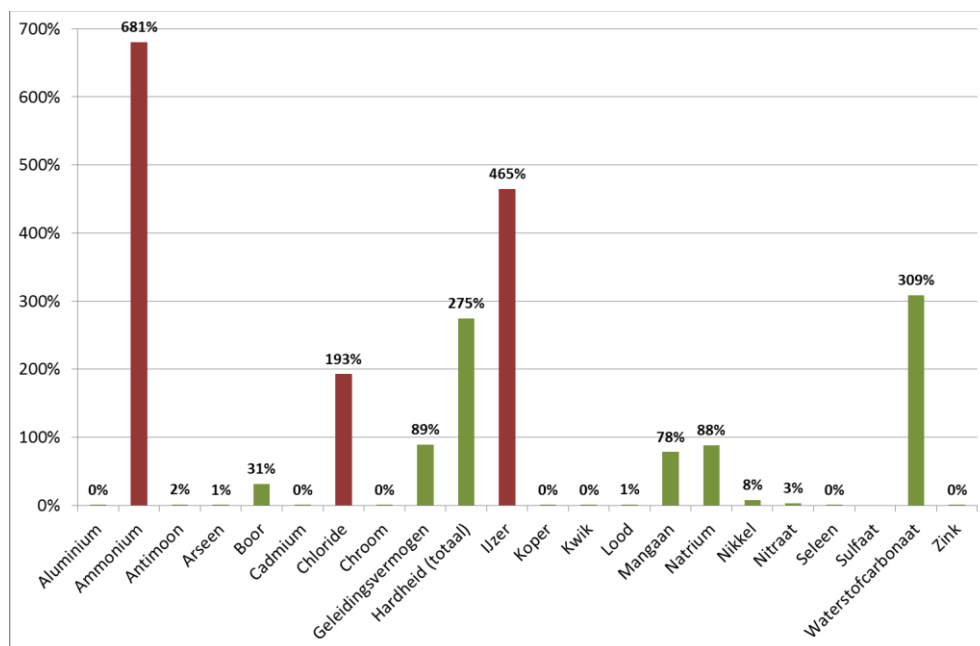
Superkritische water ontzouting (supercritical water desalination, SCWD) is een nieuwe techniek waarmee het voedingswater naar kritische condities gebracht wordt (374.15°C en 221 bar) (Odu, Van Der Ham, Metz, & Kersten, 2015). Onder deze omstandigheden verliest het water zijn polarisatie waardoor de oplosbaarheid van de in het water opgeloste stoffen met enkele orden daalt. Hierdoor komen alle opgeloste stoffen uit het water, waardoor er naast zuiver water een vaste bulk restproduct geproduceerd wordt. Er zijn geen toepassingen op pilotschaal bekend op het moment van schrijven.

### 2.2.13 Microbiologische ontzouting cel

Een microbiologische ontzoutingscel (Microbial desalination cell, MDC) is een elektrisch potentiaal gedreven ontzoutingstechniek waarbij ionen door ion-selectieve membranen worden gedreven (Carmalin Sophia, Bhalambaal, Lima, & Thirunavoukkarasu, 2016; Kim & Logan, 2013; Sevda, Yuan, He, & Abu-Reesh, 2015). Het unieke van dit proces ten opzichte van elektrodialyse is dat dit potentiaalverschil wordt opgewekt door bacteriële afbraak van organisch materiaal. Naast de productie van ontzout water produceert de ontzoutingscel ook waterstofgas. Er zijn enkele studies waarin MDC's op laboratoriumschaal zijn toegepast voor behandeling van brak water (Carmalin Sophia et al., 2016; Khazraee Zamanpour, Kariminia, & Vosoughi, 2017; Saeed et al., 2015) maar toepassingen voor brak grondwater ontzouting zijn niet gevonden.

### 2.3 Vergelijking ontzoutingstechnieken

Om de componenten te identificeren die in te hoge concentratie aanwezig zijn ten opzichte van de geldende drinkwaternorm (zie Bijlage III) uit de door Vitens aangeleverde gemiddelde waterkwaliteit van pompstation Ceintuurbaan winput 1965\_01 (zie Bijlage I), is de procentuele waarde van verschillende componenten uit het brak grondwater ten opzichte van de drinkwaternorm (100% lijn in de grafiek) geplot in Figuur 2. Ammonium (polyatomisch monovalent kation), chloride (mono-atomisch monovalent anion) en ijzer (monoatomisch polyvalent kation) zijn in ruim hogere mate aanwezig in vergelijking met de drinkwaternorm. De hoeveelheid mangaan en natrium zijn relatief hoog ten opzichte van de drinkwaternorm maar overschrijden de norm niet. Om deze reden zijn enkel ijzer en chloride opgenomen bij de kritische componenten.



FIGUUR 2: GEMIDDELDE WATERKwalITEIT VITENS WINPUT 1965-01 TEN OPZICHTE VAN DE NORM DRINKWATER (NORM-WAARDE = 100% LIJN IN GRAFIEK)

Ammonium is een monovalent positief geladen ion wat in een pH-afhankelijk evenwicht is met het ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Bij de pH van het brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan (pH = 7.7) ligt dit evenwicht sterk naar het ammonium ion. Desalniettemin kan dit evenwicht bij behandeling met een ontzoutingstechniek verschuiven en/of de retentie van deze stof door de gebruikte ontzoutingstechniek beïnvloeden. Ammoniak is een molecuul zonder lading wat zich in de gasfase bevindt. Ammonium is de 'opgeloste vorm' van ammoniak, een ion met een positieve lading. Deze eigenschappen in combinatie met de hoeveelheid ammonium die in het brak grondwater aanwezig is ( $\pm$  zeven keer meer dan de norm) maakt het een 'kritische component'.

Chloride is een monovalent negatief geladen ion met een kleine ion-radius. Monovalente ionen kunnen een hogere passage hebben door sommige ontzoutingstechnieken omdat bijvoorbeeld de elektrostatische interacties minder sterk zijn. De hoeveelheid chloride in het brak grondwater ( $\pm$  twee keer hoger dan de norm) en het feit dat het een monovalent ion is maken het een 'kritische component'.

Ijzer is een polyvalent positief geladen ion welk in grondwater voornamelijk als divalent ion ( $\text{Fe}^{2+}$ ). Wanneer het in contact komt met een oxidator (zoals zuurstof) wordt divalent ijzer geoxideerd tot trivalent ijzer, welke onoplosbare ijzerhydroxides vormt. Onder andere om deze reden moet ijzer verwijderd worden voordat het bijvoorbeeld het distributienetwerk ingepompt wordt. Om bovengenoemde redenen in combinatie met de hoeveelheid ijzer dat aanwezig is in het grondwater ( $\pm$  vijf keer meer dan de norm) is ijzer een 'kritische component'.

Methaan is de meest eenvoudige koolwaterstof die er bestaat ( $\text{CH}_4$ ). Het is een ongeladen en klein molecuul wat zich onder standaard condities in de gasfase bevindt. Het bevindt zich in grondwater omdat er in grond bacteriën zitten die onder zuurstofloze omstandigheden methaan vormen. Er is geen norm binnen het drinkwaterbesluit (zie Bijlage III) voor het methaangehalte in drinkwater maar wel voor bacteriën (*Aeromonas* spp.) die methaan kunnen gebruiken voor groei. Het is daarom aan te bevelen om de hoeveelheid methaan die zich in het brak grondwater van pompstation Ceintuurbaan winput 1965\_01 met een factor negen te verlagen (Reijnen, 1994). Deze reden in combinatie met het feit dat methaan een ongeladen gas is, maakt het een 'kritische component'.

Omdat deze studie als uitgangspunt antropogeen onbelast grondwater heeft meegekregen zijn andere 'kritische componenten' zoals medicijnresten, bacteriën en/of desinfectie-eigenschappen van de geselecteerde ontzoutingstechnieken buiten beschouwing gelaten. Naast de beoordeling van de ontzoutingstechnieken op de verwijdering van de hierboven beschreven 'kritische componenten' is ook de kwaliteit van de reststroom beoordeeld.

Tabel 1 geeft de resultaten van de beoordeling overzichtelijk weer. De technieken met een '+' bij een bepaalde kritische component kunnen deze component verwijderen uit het brak grondwater naar een hoeveelheid lager dan de norm uit het drinkwaterbesluit. De technieken met een '~' verwijderen een bepaalde component wel, maar mogelijk niet voldoende om te voldoen aan de norm. De technieken met een '-' verwijderen deze component niet of nauwelijks. De fysische fase van de vrijkomende reststroom is ingedeeld in vast (S = solid) en vloeibaar (L = liquid). De kwaliteit van de reststroom is beoordeeld met een '+' als de zuiverheid hoog genoeg lijkt voor (her)gebruik in overige industriële processen en met '-' als dit niet het geval is.

TABEL 1: BEOORDELING VAN WATERBEHANDELINGSTECHNIEKEN OP VERWIJDERINGSPOTENTIEEL VAN AMMONIUM, CHLORIDE, IJZER (II) EN METHAAN UIT BRAK GRONDWATER NAAR DRINKWATERNORM EN OP KWALITEIT VAN DE VRIJKOMENDE RESTSTROOM

Techniek	RO	MD	NF	ED	IEX	EFC	FC	CDI	MSF/ MED	SS	FO	CEDI	SCWD	MDC
<b>Component</b>														
Ammonium	+	~	~	+	~	~	~	~	+	~	+	+	+	+
Chloride	+	+	~	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Ijzer (II)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Methaan	-	+	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-
<b>Reststroom</b>														
Fase	L	L	L	L	L	S	S	L	L	S	L	L	S	L
Kwaliteit	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 1 laat zien dat enkel MSF/MED en SCWD in staat worden geacht om de vier kritische componenten in voldoende mate uit het grondwater te verwijderen. Merk op dat, rekening houdend met het zero-liquid discharge (ZLD) concept, de MSF/MED technieken nog steeds niet voldoen aan het doel van deze studie: het produceren van een vaste of gasvormige reststroom van hoogwaardige kwaliteit naast de productie van (drink)water. SCWD is de enige techniek die alle vier de kritische componenten verwijderd en een vaste reststroom produceert. Daarmee voldoet SCWD aan het ZLD concept en zou onafhankelijk van lokale lozingsseisen gebruikt kunnen worden voor de productie van zeer zuiver water. In combinatie met een andere ontzoutingstechniek welke de componenten methaan en ammonium verwijderd kan een zonnecondensator een ZLD totaalconcept realiseren. Desalniettemin is de zonnecondensator techniek niet meegenomen in deze studie omdat er hoogstwaarschijnlijk te weinig zonuren in Nederland zijn (Jubran, Ahmed, Ismail, & Abakar, 2000; SolarGIS, 2011) om deze techniek op een economisch en praktisch haalbare manier in te zetten.

Van de dertien onderzochte ontzoutingstechnieken is EFC de enige techniek waarmee een vaste en kwalitatief hoogwaardige reststroom geproduceerd kan worden. Door EFC te combineren met één of meerdere ontzoutingstechnieken lijkt een totaalconcept voor brak grondwaterbehandeling met ZLD en een hoogwaardige reststroom mogelijk.



## 3 Beoordeling van technieken

Op basis van de in 2.3 gemaakte vergelijking van ontzoutingstechnieken is (in overleg met Vitens) de keuze gemaakt om de ontzoutingstechnieken omgekeerde osmose (Reverse osmosis, RO) en eutectische vrieskristallisatie (Eutectic freeze crystallization, EFC) verder uit te diepen. De reden voor deze keuze is gebaseerd op het feit dat de RO techniek binnen Vitens al enkele jaren wordt toegepast en daarmee een bewezen techniek is voor brak grondwaterbehandeling en EFC een techniek is welke het verst in ontwikkeling lijkt van de technieken die een vaste reststroom van hoge kwaliteit kunnen genereren. Deze verdieping bestaat voor RO uit een gedetailleerde uitwerking van een RO concept met een zo hoog mogelijke recovery uitgaande van de door Vitens aangeleverde waterkwaliteit en kwantiteit (115 m<sup>3</sup>/uur). Voor EFC is door middel van uitgebreide screening van bestaande literatuur een inschatting gemaakt voor energieverbruik, mogelijke debieten, zuiverheid van gevormde zouten en technology readiness level (TRL). Voor de beoordeling van beide technieken is uitgegaan van de gemiddelde waterkwaliteit van winput 1965\_01 Ceintuurbaan in de periode 2015-2017 welke waar nodig aangevuld is met gegevens uit 2006-2015 (zie Bijlage II).

### 3.1 Omgekeerde osmose

Uitgaande van de waterkwaliteit uit Bijlage II is een traditioneel RO ontwerp doorgerekend met behulp van reverse osmosis system analysis (ROSA) 9.1 software van membraanfabrikant DOW en Membrane Master 4 software van anti-scalant producent Genesys International (zie Bijlage IV). Met behulp van ROSA kan gegeven een waterkwaliteit en configuratie van een reverse osmosis installatie worden berekend of een stabiele bedrijfsvoering mogelijk lijkt. Met de Membrane Master software kan gegeven een waterkwaliteit en enkele procestechnische parameters (bijvoorbeeld merk en type membraanmodule en beoogde recovery) de invloed van anti-scalants en pH-correctie op verschillende type scaling gesimuleerd worden. Middels het handboek kosten voor kleinschalige waterbehandeling is een schatting voor de CAPEX en OPEX voor een dergelijke RO installatie gemaakt (DHV Water B.V., 2000). Dit traditionele RO ontwerp is vervolgens vergeleken met verschillende RO concepten (zie 2.2.1) die tijdens het literatuuronderzoek gevonden zijn.

#### 3.1.1 Beschrijving traditioneel RO ontwerp

Het gekozen traditionele RO ontwerp voor behandeling van 115 m<sup>3</sup>/uur brak grondwater bestaat uit drie stages met achtereenvolgens elf, vijf en twee drukbuizen. De keuze voor drie stages is gebaseerd op de eis voor zero-liquid discharge (ZLD) behandeling van brak grondwater om tot hoge recovery's te komen. Hoe hoger de recovery, hoe kleiner het volume van de reststroom en daarmee hoe dichter bij het realiseren van een ZLD behandeling. In iedere drukbuis zitten zes DOW Filmtec XLE 440 elementen. Dit type membraanelement is geschikt voor brak water voedingsstromen en wordt gemaakt door de gerenommeerde membraanfabrikant DOW waarvan ook de simulatiesoftware (Reverse osmosis system analysis, ROSA) wordt gebruikt. De voeding van de tweede en derde stage zijn voorzien van een booster pomp van respectievelijk 2 bar en 3 bar. De boosterpompen zorgen ervoor dat de individuele maximale element recovery niet boven de limiet uitkomt (voor de DOW Filmtec XLE 440 elementen geldt 19% als de limiet). Een individueel DOW Filmtec XLE 440 element met een recovery hoger dan 19% zal door de hoge permeaatflux sneller vervuilen in vergelijking tot andere elementen, waardoor er vaker dan noodzakelijk een chemische reiniging moet worden uitgevoerd (The Dow Chemical Company, 2017). Door de pH van de

voedingsstroom te verlagen van 7.5 naar 6.9 (overeenkomend met 52.05 mg/L HCl dosering) en Genesys SI antiscalant te gebruiken kan deze RO configuratie theoretisch stabiel draaien op 92.5% recovery (106.4 m<sup>3</sup>/uur permeaat). Gebaseerd op de ROSA projectie van dit RO ontwerp bedraagt de specifieke energie 0.36 kWh/m<sup>3</sup> geproduceerd water.

Uitgaande van en rekening houden met de hierboven beschreven installatie, een afschrijvingsperiode van 20 jaar op de gehele installatie, een jaarlijks membraanvervangingspercentage van 10% (Cornelissen & Harmsen, 2013), personeelskosten van 0,2 FTE, onderhoudskosten van 5%, een rente van 1,5%, membraankosten van €20 per m<sup>2</sup> spiraalgewonden membraanoppervlak, 8760 bedrijfsuren per jaar, gebouw van 100 m<sup>2</sup>, automatiseringskosten van €50.000, 5% van totale kosten voor algemene voorzieningen, energiekosten van €0,10 per kWh en een flux van 25 L/uur per m<sup>2</sup> membraanoppervlak is met behulp van DHV kostenraming kleinschalige waterzuivering (DHV Water B.V., 2000) een inschatting van de kosten van een dergelijke installatie gemaakt welke zijn weergegeven in Tabel 2.

TABEL 2: KOSTENINSCHATTING VAN EEN 115 M<sup>3</sup>/UUR REVERSE OSMOSIS INSTALLATIE

Bouwkosten	Investeringskosten	Energie	Chemicaliën	Membraanvervanging	Specifieke kosten
[€]	[€]	[€/jaar]	[€/jaar]	[€/jaar]	[€/m <sup>3</sup> ]
€ 481760	€ 664829	€ 37274	€ 110874	9200	0,26

### 3.1.2 Beschrijving alternatieve RO concepten

Closed Circuit Reverse Osmosis (CCRO) is een door Desalitech (Desalitech, 2018) gecommmercialiseerde techniek welke hoge recovery (tot 98%) behaald door het continue recirculeren van de concentraatstroom over een enkele stage RO membranen. Het volume van het geproduceerde permeaat wordt gecompenseerd door dezelfde hoeveelheid vers voedingswater. Vlak voordat de inductietijd voor kristalvorming verstreken is en er zoutkristallen uit (het door het recirculeren inmiddels supergeconcentreerde) concentraat neerslaan op het membraanoppervlak wordt het concentraat uit het systeem verwijderd (brine stroom). Vervolgens wordt er een nieuwe recirculatiecyclus gestart met vers voedingswater. Hierdoor daalt de zoutconcentratie tijdelijk onder de kritische concentratie waarbij kristalvorming optreedt.

Een proefberekening van Desalitech gebaseerd op de door Vitens aangeleverde waterkwaliteit (zie Bijlage II), een pH correctie van het brak grondwater van 7.7 naar 6.0 middels HCl dosering en gebruik van Vitec 4000 anti-scalant resulteert in een theoretisch stabiele bedrijfsvoering op 96% recovery (zie Bijlage V). Uitgaande van een totale pomp efficiëntie van 0,76 bedraagt de specifieke energie 0.42 kWh/m<sup>3</sup> geproduceerd water.

Put RO (PuRO) is een techniek waarbij een RO module verticaal in een put in de grond wordt bedreven (Haidari et al., 2017). Hierbij wordt de concentraatstroom van de (op 50% recovery draaiende) RO module in een dieper gelegen aquifer ingebracht en het geproduceerde permeaat opgepompt naar het aardoppervlak. De aquifer waarin het concentraat geloosd wordt moet door een bovenliggende aquitard gescheiden zijn van de aquifer waaruit het voedingswater wordt onttrokken. De PuRO techniek is dus enkel toepasbaar op locaties waar twee geschikte aquifers (één voor onttrekking van brak grondwater, één voor het inbrengen van concentraat) gescheiden zijn door een aquitard. Merk op dat voor traditionele brak grondwater reverse osmosis de aanwezigheid van een aquitard ook vereiste is. De kosten voor het produceren van water met de PuRO techniek worden geschat op 0,35 €/m<sup>3</sup>. Kapitaalkosten zijn hoger voor PuRO ten opzichte van conventionele brak grondwater

ontzouting wat met name veroorzaakt wordt door de productiekosten van de PuRO drukbuis. De operationele kosten voor PuRO zijn vergelijkbaar met conventionele brak grondwater ontzouting; het energieverbruik van PuRO ligt 39% lager maar de onderhoudskosten liggen hoger. De PuRO techniek maakt het dus mogelijk om op locaties met geschikte geologische eigenschappen water van hoge kwaliteit te produceren met een vloeibare reststroom die het aardoppervlak niet bereikt (en dus ook niet behandeld / afgevoerd hoeft te worden).

High Recovery interstage Precipitation Reverse Osmosis (HiPRO) van Aveng Water technology is een proces bestaande uit drie stages (met in elke stage een reactor, bezinker, ultrafiltratie (UF)- en reverse osmosis (RO) unit) met name gericht op voedingswaters met een lage concentratie monovalente ionen ("Personal communication Andrew Linington - Aveng Water," 2017). In de eerste stage wordt de pH verhoogt door toevoeging van calciumcarbonaat in de reactor en zware metalen verwijderd in bezinker. Na behandeling van het supernatant van de bezinker met UF wordt het aan de RO unit gevoed. Het concentraat van de RO in de eerste stage is super-gesatureerd met zouten met lage oplosbaarheid (bijvoorbeeld calciumsulfaat en magnesiumhydroxide). Door in de tweede en derde stage de pH verder te verhogen (door toevoeging van calciumcarbonaat) en calciumsulfaat entkristallen toe te voegen komen de zouten met lage oplosbaarheid uit oplossing. Door deze zouten deels te laten bezinken en deels af te vangen met UF, kan er door het toepassen van meerdere stages een hoge recovery (95 - 99%) behaald worden. Wanneer er een significante hoeveelheid monovalente ionen in het water aanwezig is, is het aannemelijk dat deze hoge recovery niet behaald kan worden. Een mogelijke verklaring hiervoor zijn hogere oplosbaarheid en/of pH onafhankelijke oplosbaarheid van zouten met monovalente ionen.

Ion-exchange Reverse Osmosis (IERO) is een proces waarin ionenwisseling en RO worden gecombineerd (Heijman et al., 2002). Voorafgaand aan behandeling met RO worden scaling vormende ionen (calcium en andere tweewaardige ionen) uitgewisseld met natrium ionen in het voedingswater. Doordat zouten van natrium ionen over het algemeen een hogere oplosbaarheid hebben, kan de RO op hogere recovery (97%) opereren dan regulier mogelijke recovery's (75-85%) zonder toepassing van anti-scalants of verlaging van de pH. Door de uitwisseling van bivalente ionen voor mono-valente ionen neemt de osmotische waarde van het water wel toe waardoor meer pompdruk (=energie) nodig is om dit water te ontzouten. Dit verklaart het hogere energieverbruik. Bij toepassing van het IERO concept wordt er naast de concentraatstroom van de RO ook een regeneraatstroom van de kationwisselaar gevormd; deze regeneraatstroom bevat naast scaling vormende ionen ook ionen afkomstig van zout dat gebruikt wordt om de kationwisselaar te regenereren.

Flow Reversal Reverse Osmosis (FRRO) is een door ROTEC (ROTEC, 2018) gecommmercialiseerde techniek waarbij hoge recovery behaald wordt door de stromingsrichting door de RO modules periodiek om te draaien. Omdat de concentratie van ionen stijgt naarmate het water verder de drukbuis ingaat, ontstaat er een concentratieprofiel in de RO drukbuis. In de laatste module voor het einde van een drukbuis zal de concentratie ionen het hoogst zijn, waarbij oververzadiging van een bepaalde zouten kan ontstaan. Na het verlopen van een bepaalde tijd in oververzadigde condities waarin zoutkristallen met een kritische afmeting worden gevormd (inductietijd) zullen er van dit oververzadigde zout kristallen vormen op het membraanoppervlak. Bij de FRRO techniek wordt de doorstroomrichting omgedraaid voor het bereiken van de inductietijd waardoor de oververzadigingscondities worden opgeheven. Hierdoor kan onder dezelfde condities (verlaging van pH, toevoeging van anti-scalants) een hoge recovery behaald worden. Een proefberekening van ROTEC gebaseerd op de door Vitens aangeleverde waterkwaliteit (zie Bijlage II), een pH correctie van het brak grondwater van 7.70 naar 7.45 middels HCl dosering en gebruik van Genesys LF anti-scalant resulteert in een theoretisch stabiele

bedrijfsvoering op 90% recovery (zie Bijlage VI). Uitgaande van een totale pomp efficiëntie van 0,76 bedraagt de specifieke energie 0.65 kWh/m<sup>3</sup> geproduceerd water.

### 3.1.3 Vergelijking traditionele RO met alternatieve RO concepten

In Tabel 3 zijn de hierboven genoemde RO concepten met enkele kentallen weergegeven. Deze kentallen zijn gebaseerd op de in 3.1.2 genoemde literatuur en op de waterkwaliteit van Ceintuurbaan winput 1965\_01 (zie Bijlage II) gebaseerde simulaties ontvangen van de leveranciers.

TABEL 3: KENTALLEN VAN VERSCHILLENDE RO CONCEPTEN VOOR BEHANDELING VAN BRAK GRONDWATER (ZIE BIJLAGE II)

Techniek	Recovery	Aantal stages	Anti-scalant	pH-correctie	Specifieke energie
	[%]	[#]	[mg/L]	[mg/L]	[kWh/m <sup>3</sup> ]
Traditioneel	92,5	3	1,5 (Genesys SI)	52,1 (100% HCl)	0,36
CCRO	96	1	2,2 (Vitec 4000)	75,1 (100% HCl)	0,43*
PuRO	50	1	-	-	0,55
HiPRO	>95 (divalente ionen)	>1	-	- (lime; CaCO <sub>3</sub> )	onbekend
IERO	97	3	-	-	onbekend
FRRO	90	2	86,6 (Genesys LF)	2,8 (100% HCl)	0,65*

\*gebaseerd op een totale pomp efficiëntie van 0,76

Het behalen van zero-liquid discharge (ZLD) behandeling van brak grondwater met behulp van in Tabel 3 weergegeven RO technieken niet mogelijk omdat geen enkele RO techniek 100% recovery haalt. Ook het PuRO concept waar enkel water van hoge kwaliteit naar het aardoppervlak gepompt wordt heeft een vloeibare reststroom; de concentraatstroom wordt in een diepere grondlaag ingebracht. Omdat deze concentraatstroom niet op het aardoppervlak verwerkt hoeft te worden kan de PuRO techniek gezien worden als een vorm van ZLD behandeling van brak grondwater maar sec genomen is PuRO geen ZLD behandeling van brak grondwater. Omdat de PuRO techniek selectief toepasbaar is vanwege de vereiste aanwezigheid van een specifieke grondsamenstelling die door geologisch onderzoek vastgesteld moet worden, wordt deze techniek verder buiten beschouwing gelaten. Van de overige alternatieve RO technieken zijn er twee concepten die in theorie op hogere recovery dan het traditioneel ontwerp kunnen functioneren; het CCRO en IERO concept. Om deze reden zullen deze concepten onderdeel uitmaken van twee voorstellen van een totaalconcept voor behandeling van brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan.

### 3.1.4 Vergelijking RO concept met verdamping / destillatie technieken

Het ontzouten van zeewater wordt over de gehele wereld steeds meer toegepast voor de watervoorziening van de industrie en maatschappij (Karagiannis & Soldatos, 2008; Van der Bruggen & Vandecasteele, 2002). De technieken die hiervoor veelvuldig gebruikt worden (onder andere RO, MSF & MED) hebben een ontwikkeling doorgemaakt in de afgelopen decennia waardoor de prijs per m<sup>3</sup> geproduceerd water afneemt.

Hoewel MSF een relatief eenvoudig en betrouwbaar ontzoutingsproces is, is er in de laatste jaren een duidelijke trend naar MED en RO te onderscheiden; RO produceert ±65% van de totaal geïnstalleerde ontzoutingscapaciteit (Van der Bruggen & Vandecasteele, 2002; Zarzo & Prats, 2018). Voornaamste reden voor deze verschuiving is de energieconsumptie van de technieken per m<sup>3</sup> geproduceerd water, zie Tabel 4 (Ghaffour, Missimer, & Amy, 2013). Merk op dat het specifiek energieverbruik van MSF en MED in Tabel 4 gebaseerd zijn op industriële zeewater ontzouting installaties en onder andere afhankelijk zijn van de lokale condities en watersamenstelling. De beduidend lagere energieconsumptie van brak water omgekeerde osmose (BWRO) ten opzichte van MED en MSF is een belangrijk gegeven omdat 50 - 60% van de totale kosten voor ontzouting de energiekosten zijn (Voutchkov, 2017; Zarzo & Prats, 2018).

TABEL 4: TOTAAL ENERGIEVERBRUIK (THERMISCH & ELECTRISCH) VOOR COMMERCIEEL TOEGEPASTE ONTZOUTINGSTECHNIKEN OP GROTE SCHAAL (BWRO = BRAK WATER OMGEKEERDE OSMOSE, SWRO = ZEEWATER OMGEKEERDE OSMOSE) MSF = MULTI-STAGE FLASH DESTILLATIE, MED = MULTI-EFFECT DESTILLATIE)

Ontzoutingstechniek	BWRO	SWRO	MSF	MED
Totaal energieverbruik (kWh/m <sup>3</sup> )	0.5 - 2.5	3 - 4	10 - 16	5.5 - 9

### 3.2 Vrieskristallisatie

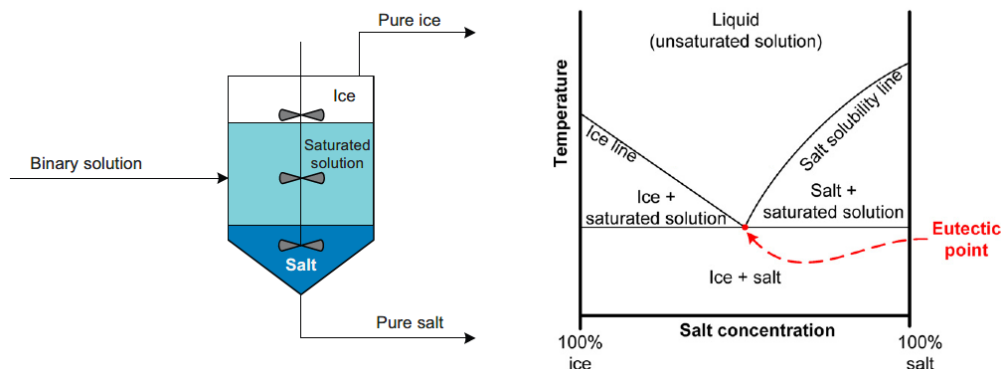
Vrieskristallisatie (FC) is een scheidingstechniek welke op basis van kristallisatie componenten uit een mengsel kan scheiden. Door het mengsel af te koelen tot onder het vriespunt worden waterkristallen (ijs) gevormd. Doordat de ionen van aanwezige zouten in het mengsel zich niet in de kristalstructuur van het ijs worden ingebouwd, wordt het water gescheiden van de in het mengsel aanwezige zouten. Door het ijs te verwijderen uit de reactor stijgt de concentratie zouten in de reactor. Wanneer er oververzadiging optreedt vormen deze zouten ook kristallen die door hun hogere dichtheid dan het mengsel gescheiden worden van het op het mengsel drijvende ijs.

Naast het stollen van het water bij vrieskristallisatie kan het water ook verdampt worden om scheiding te bewerkstelligen. Verdampingstechnieken zoals multi-stage flash (MSF) en multi-effect distillation (MED) worden vaker toegepast in vergelijking tot vrieskristallisatie (Whitworth & Lee, 2003). Theoretisch is de energie-efficiëntie van scheiden op basis van kristallisatie circa 7 maal hoger in vergelijking met verdamping omdat de stollingswarmte van water (6.01 kJ mol<sup>-1</sup>) bijna zeven keer lager is dan de warmte die nodig is voor verdamping van water (40.6 kJ mol<sup>-1</sup>) (M. Hasan, Rotich, John, & Louhi-Kultanen, 2017).

### 3.3 Eutectische vrieskristallisatie

Een speciale vorm van vrieskristallisatie is eutectische vrieskristallisatie (EFC). EFC is op hetzelfde principe gebaseerd als vrieskristallisatie maar wordt onder specifieke omstandigheden bedreven. Voor elke zoutoplossing bestaat een eutectisch punt (EP). Op het EP van een zoutoplossing zijn er drie fasen in evenwicht: ijs, zout en oplossing met een specifieke concentratie van dat zout. Deze specifieke zoutconcentratie wordt de eutectische concentratie genoemd en de temperatuur waarop dit evenwicht zich instelt wordt de eutectische temperatuur genoemd. Wanneer een zoutoplossing meerdere positief en negatief geladen ionen bevat heeft elk zout een specifieke eutectische concentratie en eutectische temperatuur (zie Bijlage VII). Doordat zoutkristallen een hogere dichtheid en waterkristallen (ijs) een lagere dichtheid hebben dan verzadigde oplossing vindt er scheiding tussen zoutkristallen en ijs plaats (zie Figuur 3, aangepast uit Fernández-Torres, Ruiz-Beviá, Rodríguez-Pascual, & Von Blottnitz, 2012). In de praktijk worden de gevormde zoutkristallen en het gevormde ijs na het verlaten van de reactor gewassen met respectievelijk verzadigde oplossing en zuiver water.

Er zijn voornamelijk twee categorieën EFC reactoren te onderscheiden: suspension crystallization en layer crystallization (Hasan et al., 2017). Bij suspension crystallization wordt de vloeistof afgekoeld tot een specifieke temperatuur terwijl de oplossing actief geroerd wordt. Bij layer crystallization klusteren de ijskristallen samen op het gekoelde oppervlak. De koeling van de reactoren vindt meestal plaats door middel van een koude luchtstroom of door koelvloeistof door een mantel om de reactor te pompen.



FIGUUR 3: SCHEMATISCHE WEERGAVE EFC REACTOR (LINKS) EN FASE DIAGRAM (RECHTS)

Op basis van literatuur uit de SCOPUS database zijn recente ontwikkelingen en inzichten in EFC technologie in kaart gebracht. Alle artikelen die met de zoekterm "eutectic freeze crystallization" zijn gevonden, na 2010 gepubliceerd zijn en relevante informatie over de ontwikkeling van EFC bevatten zijn weergegeven in Tabel 5. De in deze tabel beschreven onderzoeken beschrijven voor het grootste deel batch experimenten met een natriumsulfaat oplossing op lab-schaal. Ondanks dat natriumsulfaat gewoonlijk aanwezig is in effluenten van de textiel-, glas- en mijnindustrie blijft het een modelmatrix voor deze effluent stromen. De batch experimenten op kleine schaal met industriële matrix tonen aan dat het mogelijk is om uit deze matrix zuiver zout (>95%) te produceren en verontreinigingen zoals een organische kleurstof te scheiden van zuiver water. Wanneer deze experimenten op grotere schaal in continue opererende reactoren kunnen worden geverifieerd, komt de toepassing van EFC een stap dichterbij. Op basis van de in Tabel 5 getoonde literatuurstudie en gegevens van COOL Separations ("Persoonlijke communicatie Ben Brocades - COOL Separations," 2017) wordt de EFC techniek op verschillende criteria beoordeeld (zie 3.3.1 - 3.3.3).

### 3.3.1 Technology readiness level

Gebaseerd op literatuurdata (zie Tabel 5) en persoonlijke communicatie wordt gesteld dat EFC op het moment van schrijven niet genoeg ontwikkeld om toegepast te worden op full scale:

- De haalbaarheid en potentie van EFC is aangetoond (Fernández-Torres, Randall, Melamu, & von Blottnitz, 2012; Mehdi Hasan et al., 2017; Randall et al., 2011)
- Zowel toepassingsgericht (Becheleni, Rodriguez-Pascual, Lewis, & Rocha, 2017; Peters, Chivavava, Rodriguez-Pascual, & Lewis, 2016; Randall, Zinn, & Lewis, 2014; Rodriguez Pascual et al., 2010) als fundamenteel onderzoek (Chivavava, Rodriguez-Pascual, & Lewis, 2014; Fernández-Torres, Ruiz-Beviá, et al., 2012; M. Hasan et al., 2017; Mehdi Hasan et al., 2017) vindt plaats in lab studies, voornamelijk in binaire systemen (Becheleni et al., 2017; Chivavava et al., 2014; M. Hasan et al., 2017; Mehdi Hasan et al., 2017; Peters et al., 2016). Enkele onderzoeken beschrijven de toepassing van EFC op voor de industrie relevante waterstromen zoals concentraat van een membraaninstallatie (Randall et al., 2011) en afvalwater van de textielindustrie (Randall et al., 2014).
- Toepassingsgericht onderzoek vindt plaats (Becheleni et al., 2017; Peters et al., 2016; Randall et al., 2014; Rodriguez Pascual et al., 2010)
- Fundamenteel onderzoek vindt plaats (Chivavava et al., 2014; Fernández-Torres, Ruiz-Beviá, et al., 2012; M. Hasan et al., 2017; Mehdi Hasan et al., 2017)
- De eerste stappen naar pilot installaties worden genoemd (COOL Separations, 2018; Randall et al., 2011)

Op basis van deze punten kan de technology readiness level (TRL) van EFC ingeschat worden door gebruik te maken van de definities van de Europese unie (European Commission, 2015), zie Bijlage VIII. Op het moment van schrijven wordt de TRL van EFC ingeschat op niveau 5.

### 3.3.2 Kosten en bedrijfsvoering

Tabel 5 laat zien dat het grootste deel van de onderzoeken worden uitgevoerd met batch reactors, variërend in inhoud tussen 0.7 en 180 L. Zowel qua volume ( $< 1\text{ m}^3$  per experiment) en qua bedrijfsvoering staan de beschreven onderzoeken nog ver af van de in praktijk gewenste bedrijfsvoering; een continu (of semi-batch) proces met een capaciteit in de range van  $1\text{--}5\text{ m}^3$  per uur. Dit maakt het doen van een gegronde uitspraak over te behalen debieten en het inschatten van de kosten voor full scale toepassingen niet mogelijk op basis van de in Tabel 5 genoemde literatuur. COOL Separations (voorheen EFC Separations) is een spin-off bedrijf van TU Delft dat de (E)FC techniek commercialiseert en verder ontwikkelt (COOL Separations, 2018). Het bouwen van een full-scale installatie met een capaciteit van  $3\text{ m}^3/\text{uur}$  kost circa 2,5 miljoen euro en gebruikt circa  $35\text{ kWh}/\text{m}^3$  aan energie en  $2400\text{ L}$  koelwater per  $\text{m}^3$  geproduceerd water ("Persoonlijke communicatie Ben Brocades - COOL Separations," 2017). Uitgaande van deze gegevens en de aannamen beschreven in 3.1.1 komt dit grofweg neer op €16,72 per  $\text{m}^3$  geproduceerd water door de hierboven beschreven FC installatie. In deze berekening zijn de kosten van het koelwatertransport (circa  $7,2\text{ m}^3/\text{h}$ ) en de eventuele opbrengsten van de gevormde zouten niet meegenomen; de inschatting is dat de kosten voor het koelwatertransport en de opbrengsten van de gevormde zouten laag zijn ten opzichte van de productiekosten. Merk op dat de hierboven genoemde getallen uitsluitend van toepassing zijn op een installatie waarbij de aanwezige zouten niet separaat worden uitgekristalliseerd. De kosten voor een EFC installatie met dezelfde capaciteit zullen dus hoger liggen omdat er meerdere koelers in serie geplaatst moeten worden voor separate zoutkristallisatie, inclusief transport en wassen van deze zouten.

### 3.3.3 Zuiverheid gevormde zouten

Verschillende artikelen uit Tabel 5 rapporteren hoge ( $>95\%$ ) zuiverheden van gevormde zoutkristallen door EFC. Dit is te verklaren door de synthetische matrix waarin deze experimenten zijn uitgevoerd, hoewel er ook een studie is gevonden waarin vergelijkbare zuiverheden worden aangetoond met een complexe matrix van afvalwater uit de mijnindustrie (Randall et al., 2011). Het meerdermaal wassen van zowel ijs- als zoutkristallen heeft een positief effect op de zuiverheid. Dit geeft aan dat de onzuiverheden zich niet in de kristalstructuur van de zoutkristallen bevinden maar aan de oppervlakte van de kristallen. Het lijkt dus mogelijk om zuiver ( $>95\%$ ) zout terug te winnen uit de voedingsstroom. Door meerdere EFC reactoren in serie te plaatsen met een specifieke temperatuur kan er in elke reactor een specifiek zout gevormd worden. Een overzicht van verschillende zouten met hun eutectische temperaturen en concentraties is te vinden in Bijlage VII (Pronk, 2006).



TABEL 5: LIJST MET RELEVANTE HITS UIT DE LITERATUURSTUDIE NAAR EUTECTISCHE VRIESKRISTALLISATIE

Procesbeschrijving				Belangrijke bevindingen	Bron
Continu / batch	Capaciteit / inhoud reactor	Type reactor	Voedingswater		
Batch	710 mL	Air-cooled, non-stirred static layer growth system	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oplossing	Langer vriezen resulteert in zuiverdere ijskristallen. 95% zuiver zout geproduceerd.	(M. Hasan et al., 2017)
Batch	2000 mL	Coolant cooled, scraped surface heat exchanger (SSHE)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + phenol oplossing	Additie van phenol heeft een afname in nucleatiesnelheid en een toename van groeisnelheid en inductietijd tot gevolg voor zowel zout- als ijskristallen. 100% zuiver zout geproduceerd.	(Becheleni et al., 2017)
Batch	2000 mL	Coolant cooled, non-stirred static layer growth	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oplossing	Een hogere roersnelheid en lagere mate van onderkoeling zorgen voor een toename in inductietijd ( $t_{ind}$ ). Computational fluid dynamics (CFD) model gebruikt.	(Hasan et al., 2017)
Continue	3.6 L / uur	Coolant cooled, stirred continuous reactor	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oplossing	Additie van anti-scalant kan een afname in nucleatiesnelheid en toename van groeisnelheid van ijskristallen tot gevolg hebben. Voor zoutkristallen heeft de aanwezigheid van anti-scalant geen effect op de nucleatiesnelheid en een toename van groeisnelheid tot gevolg. 95,9% zuiver zout geproduceerd.	(Peters et al., 2016)
Batch	1500 mL	Coolant cooled SSHE	110 µm gefilterd textiel afvalwater	Kleurstoffen worden niet opgenomen in geproduceerde ijskristallen. Het meermalig wassen van het ijs verhoogt de zuiverheid significant. 96% zuiver zout geproduceerd.	(Randall et al., 2014)

Batch	10.000 mL	Coolant cooled SSHE	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> oplossing	Supersaturatie en verblijftijd heeft invloed op afmeting en morfologie van zout- en ijskristallen. Er is een bepaalde mate van onderkoeling waarbij de afmeting van de gevormde kristallen een maximum behaald	(Chivavava et al., 2014)
-	-	-	-	Voor optimale bedrijfsvoering is een vaste stof gehalte van 20% en 40% gewenst voor respectievelijk continue en batch EFC reactoren	(Fernández-Torres, Ruiz-Beviá, et al., 2012)
-	-	-	-	LCA analyse toont aan dat EFC in vergelijking met verdamping kristallisatie (evaporative crystallisation, EC) een lichtere milieubelasting heeft	(Fernández-Torres, Randall, et al., 2012)
Batch	1500 mL	Coolant cooled SSHE	High recovery precipitating reverse osmosis (HiPRO) brine	Na behandeling met EFC moet 3% van het concentraat van een RO waterzuivering als afval verwerkt worden. 96,4% zuiver zout geproduceerd. Ontwikkeling van een EFC pilot installatie is gestart.	(Randall et al., 2011)
Batch	180.000 mL	Coolant cooled SSHE	Petrochemische afvalstroom; vnl. natrium(bi)carbonaat	Beschrijving van een opgeschaalde EFC reactor. Een hitte transport flux van 5kWh/m <sup>2</sup> voorkomt problematische ijsvorming. 99% zuiver zout geproduceerd.	(Van Spronsen et al., 2010)
Batch	130.000 mL	Coolant cooled SSHE	Industriële afvalstroom, vnl. natrium(bi)carbonaat	Een hitte transportflux van 10.5 kWh/m <sup>2</sup> is haalbaar zonder problematische ijsvorming	(Rodriguez Pascual et al., 2010)

## 4 Conceptuele beschrijving totaalconcept

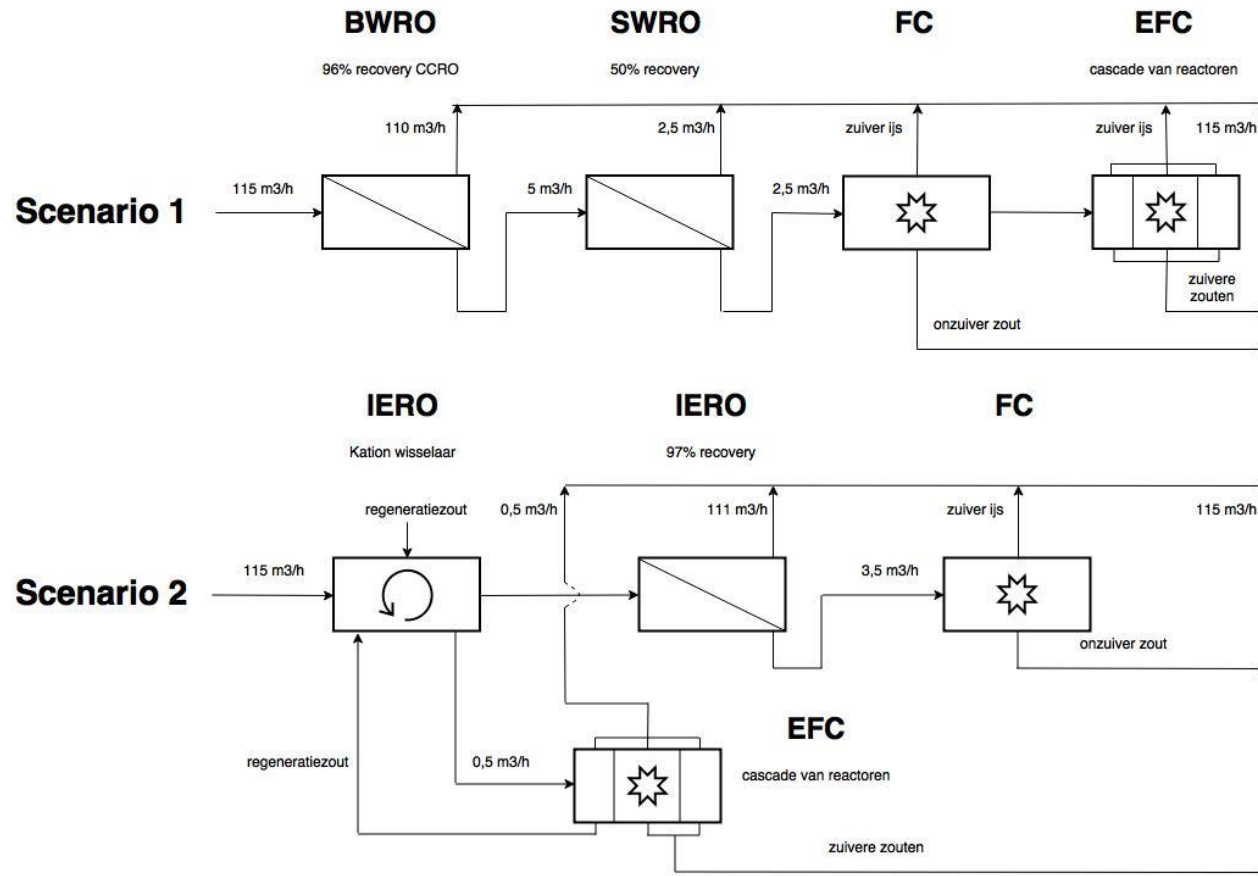
Op basis van de in deze studie uitgediepte technieken RO en (E)FC zijn er twee totaalconcepten opgesteld die mogelijk geschikt kunnen zijn voor de productie van kwalitatief hoogwaardig water van brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan van Vitens. Deze twee totaalconcepten zijn weergegeven in Figuur 4 en worden in de hierop volgende tekst beschreven. Merk op dat de kentallen in Figuur 4 slechts een indicatieve functie hebben; ze zijn gebaseerd op expertise binnen KWR en veronderstellingen op basis van de in Bijlage II beschreven waterkwaliteit. De aanbeveling voor vervolgstudie is het bedienen van een 1 m<sup>3</sup>/uur pilotinstallatie waarin (één van) deze totaalconcepten beproeft worden op het brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan.

### Beschrijving scenario 1:

Na correctie van de pH en toevoeging van anti-scalant wordt het brak grondwater behandeld met de CCRO techniek vanwege de hoge mogelijke recovery. De resulterende concentraatstroom wordt door een zeewater reverse osmosis unit (SWRO) verder ingedikt. Vrieskristallisatie (Freeze Crystallization, FC) concentreert door middel van ijsvorming de resulterende concentraatstroom van de SWRO verder op. De oplossing die overblijft (maximaal circa 2,5 m<sup>3</sup>/uur), welke een hoge concentratie zouten bevat van de zouten waarvan het eutectisch punt niet is bereikt, wordt vervolgens door een eutectische vrieskristallisatie (eutectic freeze crystallisation, EFC) installatie behandeld. Deze EFC installatie vormt zout(en) in zuivere vorm waarna alle overgebleven reststromen zich in de vaste fase bevinden. Het door FC gevormde zout wordt hergebruikt of afgevoerd, de door EFC gevormde zouten kunnen worden hergebruikt in voor deze zouten relevante chemische processen. Zero-liquid discharge (ZLD) wordt bereikt door kristallisatie met achtereenvolgens FC en EFC van de concentraatstroom van de SWRO unit.

### Beschrijving scenario 2:

Het brak grondwater wordt door een ionenwisselaar behandeld waardoor bivalente ionen worden verwijderd; dit is de eerste stap van het IERO concept. Door EFC toe te passen op de hierbij ontstaande regeneraatstroom kunnen zuivere zouten worden teruggewonnen. Het door ionenwisseling behandelde water wordt behandeld met reverse osmosis (IERO). Door de resulterende concentraatstroom met vrieskristallisatie (Freeze Crystallization, FC) te behandelen kan de resterende stroom verder worden geconcentreerd en zullen alle aanwezige zouten in onzuivere vorm uit oplossing komen. Desgewenst kan er ook EFC worden toegepast op (een deel van) deze stroom, afhankelijk van de wens om een aanwezig zout zuiver terug te winnen. Het door FC gevormde zout wordt afgevoerd, de door EFC gevormde zouten kunnen worden hergebruikt als regeneratiezout voor de ionenwisselingskolom en in voor deze zouten relevante chemische processen. Zero-liquid discharge (ZLD) wordt bereikt door kristallisatie van het water dat aanwezig is in de regeneraatstroom van de ionenwisselaar en de concentraatstroom van de IERO installatie.



FIGUUR 4: BEOOGDE TOTAALCONCEPTEN VOOR PRODUCTIE VAN KWALITATIEF HOOGWAARDIG WATER UIT BRAK GRONDWATER WAARBIJ DE VRIJKOMENDE RESTSTROMEN ZICH IN DE VASTE FASE BEVINDEN

Beide totaalconcepten zijn gebaseerd op RO en FC technieken, waarbij de combinatie het behalen van ZLD mogelijk maakt. Merk op dat voor het verwijderen van methaan wellicht een extra behandelingsstap moet worden toegevoegd (zie 2.3). RO is een bewezen techniek, welke op de beoogde schaal (115 m<sup>3</sup>/uur) toegepast kan worden. Van de in 3.1 uitgewerkte RO concepten behaald het CCRO concept de hoogste recovery op (enkel ph-gecorrigeerd en anti-scalant toegevoegd) brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan. Dit RO concept (en bijbehorende recovery) is daarom opgenomen in scenario 1 in Figuur 4. De oplopende concentraties in de concentraatstroom stelt echter een limiet aan de mogelijkheden van elk RO concept; het behalen van 100% recovery is niet mogelijk. De zeewaterontzouting (SWRO) dikt de concentraatstroom van de CCRO brak grondwater reverse osmosis (BWRO) met een factor twee verder in, waarna verdere indikking met behulp van RO technieken in verband met silicaat scaling niet mogelijk is.

De geconcentreerde stroom uit het RO proces is voor de (E)FC juist een geschiktere voeding dan onbehandeld brak grondwater omdat er minder ijs gevormd hoeft te worden voordat er ook zouten gaan kristalliseren. Daarnaast past het lagere volume van de voedingsstroom beter bij de huidige staat van ontwikkeling van (E)FC. Het toepassen van EFC lijkt, voor zowel economische als praktische redenen, voorbehouden aan water met een simpele samenstelling. Wanneer de variëteit van aanwezige zouten afneemt, is de spreiding tussen eutectische temperaturen en eutectische concentraties groter waardoor het genereren van de specifieke condities waarbij één enkel zout kristalliseert gemakkelijk wordt. Het relatief koude grondwater (circa 13 graden Celsius) kan gebruikt worden als koelwater voor de gehele (E)FC installatie. Omdat de benodigde hoeveelheid koelwater (7,2 m<sup>3</sup>/uur koelwater voor een 3 m<sup>3</sup>/uur FC installatie) laag is ten opzichte van de 115 m<sup>3</sup>/uur voedingswater, zal de temperatuuroptocht van de totale voedingsstroom gering zijn.

Door de temperatuur van de FC installatie in scenario 1 zo in te stellen dat voor een groot deel van de in de oplossing aanwezige zouten het eutectisch punt wordt bereikt zullen deze zouten als onzuivere kristallen uit oplossing komen (zie Bijlage VII voor eutectische punten van verschillende zouten). Het idee is hiermee een versimpelde watersamenstelling te genereren, zodat EFC toegepast kan worden op deze resterende stroom. Door de EFC reactor(en) op specifieke plekken in het vrieskristallisatieproces te plaatsen kunnen selectief waardevolle zouten in zuivere vaste vorm teruggewonnen worden, terwijl de niet waardevolle zouten in onzuivere vaste vorm teruggewonnen worden. Omdat dit onzuivere zout een hoge concentratie calcium en magnesium bevat, wordt de mogelijkheid tot verdere toepassing van dit zout mogelijk beperkt.

De EFC reactor die in scenario 2 de regeneraatstroom van de ionenwisselaar behandelt, wordt gevoed met water met een relatief simpele samenstelling. Dit maakt het mogelijk gemakkelijker om naast het regeneraatzout ook andere zouten terug te winnen in zuivere vorm (denk aan calcium- en magnesiumchloride). Omdat het voedingswater van de FC unit weinig calcium, magnesium en sulfaat (zie Bijlage II) bevat is toepassing van het geproduceerde zout als strooizout wellicht mogelijk (Huiting, 2011).

Omdat de kosten voor een 3 m<sup>3</sup>/uur FC installatie circa een factor vier (zie Tabel 2 en 3.3.2) hoger zijn dan de kosten voor een 115 m<sup>3</sup>/uur traditionele RO installatie is het vanuit economische overwegingen aantrekkelijk om de recovery van de RO te maximaliseren. Hierdoor neemt het te behandelen volume met (E)FC af en daardoor worden de kosten voor het meest kapitaalintensieve onderdeel van de twee-staps zuivering geminimaliseerd. Voor RO installaties met alternatieve techniek (zie 2.2.1) zijn de kosten van een 115 m<sup>3</sup>/uur installatie niet bekend, maar verwacht wordt dat, zelfs als de kosten voor een dergelijke installatie hoger liggen dan een traditionele RO installatie, maximalisatie van de recovery een positief effect heeft op het totale kostenplaatje.

## 5 Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Conclusies

Van de onderzochte ontzoutingstechnieken worden enkel multi-stage flash, multi-effect destillatie en superkritische water ontzouting in staat geacht ammonium, chloride, ijzer(II) en methaan in voldoende mate te verwijderen uit brak grondwater van winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan. De technieken superkritische water ontzouting, zonnecondensator, vrieskristallisatie en eutectische vrieskristallisatie worden als enige in staat geacht een reststroom in vaste fase te produceren. Eutectische vrieskristallisatie is van deze technieken de enige die een hoogwaardig/afzetbare reststroom kan produceren en is om deze reden verder onderzocht. Om het beoogde totaalconcept (kwalitatief hoogwaardig water, zero-liquid discharge en herbruikbare reststroom) te bereiken is een combinatie van eutectische vrieskristallisatie en andere techniek(en) nodig. Hiervoor is reverse osmosis geselecteerd op basis van de in praktijk bewezen toepasbaarheid van reverse osmosis in full-scale installaties.

Omdat de huidige staat van ontwikkeling van eutectische vrieskristallisatie slechts een beperkte volumestroom behandeld kan worden moet de voedingsstroom voor deze laatste behandelingstap aanzienlijk worden gereduceerd ten opzichte van het door Vitens gedefinieerde ontwerpdebiet (115 m<sup>3</sup>/uur). De bouwkosten voor een continue EFC installatie met een debiet van 3 m<sup>3</sup>/uur zijn ingeschat op 2,5 miljoen euro en het verwacht energieverbruik van een dergelijke installatie is 35 kWh per m<sup>3</sup> geproduceerd water. Uit water met simpele samenstelling zijn zuivere zouten (>95%) succesvol geproduceerd. De technology readiness level van eutectische vrieskristallisatie is op het moment van schrijven ingeschat op niveau 5 van de Europese definitie.

Reverse osmosis is een bewezen techniek die reeds toegepast wordt op bovengenoemde schaal in Nederland en gebruikt ongeveer een factor vijf en negen minder energie per m<sup>3</sup> geproduceerd water in vergelijking met respectievelijk multi-effect destillatie en multi-stage flash. De specifieke kosten voor een traditionele brak grondwater reverse osmosis installatie op bovengenoemde schaal zijn ingeschat op €0,26 per m<sup>3</sup> geproduceerd water. Het closed circuit reverse osmosis concept haalt, in vergelijking met de in 3.1.2 beschreven RO concepten, de hoogste recovery op (pH-aangepast en anti-scalant gedoseerd) brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan. Door het toepassen van het ion exchange reverse osmosis concept lijkt het behalen van een met closed circuit reverse osmosis vergelijkbare recovery (96-98%) met een traditionele reverse osmosis installatie mogelijk.

Een totaalconcept voor de productie van hoogwaardig water uit brak grondwater met zero-liquid discharge en (deels) hoogwaardige reststromen lijkt mogelijk door de ontzoutingstechnieken reverse osmosis en eutectische vrieskristallisatie te combineren.

## 5.2 Aanbevelingen voor verder onderzoek

Door grondwater van Winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan voor te behandelen met een zandfilter en een beluchtingsstap, zouden ijzer, mangaan, methaan en ammonium mogelijk grotendeels verwijderd kunnen worden. In dit hierna te noemen voorbehandelde grondwater zouden er drie van de in totaal vier kritische componenten (zie 2.3) mogelijk in concentratie verlaagd worden onder de kritische waarden die gedefinieerd zijn in het drinkwaterbesluit (zie Bijlage III). Het is daarom aannemelijk dat de selectie uit de in 2.2 genoemde ontzoutingstechnieken zal veranderen op basis van de waterkwaliteit van het voorbehandelde grondwater. Daarnaast zou de verwijdering van multi-valente ionen zoals ijzer en mangaan mogelijk een positief effect kunnen hebben op de maximaal te behalen recovery van de reverse osmosis membraanfiltratie en op de bedrijfsvoering van de (eutectische) vrieskristallisatie. Merk op dat het zandfilter regelmatig teruggespoeld wordt, wat een vloeibare stroom genereert welke behandeld moet worden om tot zero-liquid discharge behandeling te komen.

Afhankelijk van de watersamenstelling en (combinatie van) zuiveringstechnieken kan de samenstelling van verscheidene processtromen gedetailleerder in kaart gebracht worden. Deze informatie, in combinatie met de marktwaarde van in het water aanwezige zouten, kan vervolgens gebruikt worden om een inschatting van de opbrengsten van een eutectische vries kristallisatie te maken. De opbrengsten kunnen vervolgens vergeleken worden met de in dit rapport ingeschatte kosten voor een vries kristallisatie proces.

Aanbevolen wordt om een pilot installatie van circa 1 m<sup>3</sup>/uur op brak grondwater uit winput 1965\_01 van pompstation Ceintuurbaan te plaatsen met de in scenario 2 (zie hoofdstuk 4 - Figuur 4) genoemde zuiveringstechnieken. Merk op dat voldoende verwijdering van methaan door deze combinatie van technieken een aandachtspunt is en er mogelijk een beluchtingsstap vereist is. Door eutectische vries kristallisatie toe te passen op de regeneraatstroom van de kationwisselaar kunnen mogelijk (een deel van) het regeneratiezout als calcium- en magnesiumchloride in zuivere vorm teruggewonnen worden. De verwijdering van calcium- en magnesium uit de voedingsstroom van de reverse osmosis membraanunit verlaagt de scaling-potentie en leidt mogelijk tot een hogere recovery, waarbij toepassing van de closed circuit reverse osmosis techniek mogelijk de maximaal haalbare recovery nog verder kan doen stijgen ten opzichte van traditionele reverse osmosis. Bovendien kan door verwijdering van calcium en magnesium uit het sulfaat-arme grondwater het onzuivere zout wat gevormd wordt door de vrieskristallisatie unit mogelijk afgezet worden als strooizout. Als afzet als strooizout mogelijk is heeft dit naast economische aspecten ook positieve implicaties op milieutechnisch gebied welke gekwantificeerd zouden kunnen worden door middel van een life cycle analysis (LCA) analyse. Op basis van de voorgestelde pilot en aanvullend literatuuronderzoek zou er een business case voor het met zero-liquid discharge produceren van drinkwater van brak grondwater gebruik makend van de ontzoutingstechnieken reverse osmosis en (eutectische) vrieskristallisatie opgesteld kunnen worden.

## 6 Geciteerde werken

- Afrasiabi, N., & Shahbazali, E. (2011). RO brine treatment and disposal methods. *Desalination and Water Treatment*, 35(February 2013), 39–53. <https://doi.org/10.5004/dwt.2011.3128>
- Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N. (2012). Membrane distillation: A comprehensive review. *Desalination*, 287, 2–18. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.08.027>
- Becheleni, E. M. A., Rodriguez-Pascual, M., Lewis, A. E., & Rocha, S. D. F. (2017). Influence of Phenol on the Crystallization Kinetics and Quality of Ice and Sodium Sulfate Decahydrate during Eutectic Freeze Crystallization. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 56(41), 11926–11935. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.7b02668>
- Carmalin Sophia, A., Bhalambaal, V. M., Lima, E. C., & Thirunavoukkarasu, M. (2016). Microbial desalination cell technology: Contribution to sustainable waste water treatment process, current status and future applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(3), 3468–3478. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.07.024>
- Chandler, D. L. (2015). Shocking new way to get the salt out. Retrieved October 25, 2017, from <http://news.mit.edu/2015/shockwave-process-desalination-water-1112>
- Chivavava, J., Rodriguez-Pascual, M., & Lewis, A. E. (2014). Effect of operating conditions on ice characteristics in continuous eutectic freeze crystallization. *Chemical Engineering and Technology*, 37(8), 1314–1320. <https://doi.org/10.1002/ceat.201400094>
- COOL Separations. (2018). COOL Separations. Retrieved March 16, 2018, from <https://www.coolseparations.nl/>
- Cornelissen, E. R., & Harmsen, D. J. H. (2013). Permeabiliteitdaling bij NF / RO-membraaninstallaties. *BTO*.
- Desalitech. (2018). Closed circuit reverse osmosis. Retrieved April 6, 2018, from <https://www.desalitech.com/solutions/ccro/>
- DHV Water B.V. (2000). *Handboek kosten kleinschalige waterbehandeling*.
- Dutch National Government. (2016). Nederland circulair in 2050, 72.
- El-Dessouky, H. T., Ettouney, H. M., & Al-Roumi, Y. (1999). Multi-stage flash desalination: Present and future outlook. *Chemical Engineering Journal*, 73(2), 173–190. [https://doi.org/10.1016/S1385-8947\(99\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S1385-8947(99)00035-2)
- El-Sadek, A. (2010). Water desalination: An imperative measure for water security in Egypt. *Desalination*, 250(3), 876–884. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.143>
- European Commission. (2015). Technology readiness levels (TRL). *HORIZON 2020 – WORK PROGRAMME 2014-2015 General Annexes, Extract from Part 19 - Commission Decision C*, (2014), 4995.
- Fernández-Torres, M. J., Randall, D. G., Melamu, R., & von Blottnitz, H. (2012). A comparative life



- cycle assessment of eutectic freeze crystallisation and evaporative crystallisation for the treatment of saline wastewater. *Desalination*, 306, 17–23.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.08.022>
- Fernández-Torres, M. J., Ruiz-Beviá, F., Rodríguez-Pascual, M., & Von Blottnitz, H. (2012). Teaching a new technology, eutectic freeze crystallization, by means of a solved problem. *Education for Chemical Engineers*, 7(4), e163–e168. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2012.07.002>
- Ghaffour, N., Missimer, T. M., & Amy, G. L. (2013). Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, 309(2013), 197–207.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.10.015>
- Greenlee, L. F., Lawler, D. F., Freeman, B. D., Marrot, B., & Moulin, P. (2009). Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges. *Water Research*, 43(9), 2317–2348. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.010>
- Haidari, A. H., Blankert, B., Timmer, H., Heijman, S. G. J., & van der Meer, W. G. J. (2017). PURO: A unique RO-design for brackish groundwater treatment. *Desalination*, 403, 208–216.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.09.015>
- Hasan, M., Filimonov, R., Chivavava, J., Sorvari, J., Louhi-Kultanen, M., & Lewis, A. E. (2017). Ice growth on the cooling surface in a jacketed and stirred eutectic freeze crystallizer of aqueous Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solutions. *Separation and Purification Technology*, 175, 512–526.  
<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.10.014>
- Hasan, M., Rotich, N., John, M., & Louhi-Kultanen, M. (2017). Salt recovery from wastewater by air-cooled eutectic freeze crystallization. *Chemical Engineering Journal*, 326, 192–200.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.05.136>
- Hayani, A., Mountadar, S., Tahiri, S., & Mountadar, M. (2016). Softening of hard water by ion-exchange with strongly acidic cationic resin. Application to the brackish groundwater of the coastal area of El Jadida province (Morocco). *Journal of Materials and Environmental Science*, 7(10), 3875–3884.
- Heijman, B., Vrouwenvelder, H., Hofman, J., & Kappelhof, J. (2002). Membranes in drinking water and industrial water production. *H2O Nr 21*, 12–13.
- HiPRO. (2009). Retrieved from  
[http://www.aveng.co.za/sites/group/files/downloads/medianews/media\\_releases/emalahle-ni-hipro.PDF](http://www.aveng.co.za/sites/group/files/downloads/medianews/media_releases/emalahle-ni-hipro.PDF)
- Hou, D. Y., Wang, J., Qu, D., Luan, Z. K., Zhao, C. W., & Ren, X. J. (2010). Desalination of brackish groundwater by direct contact membrane distillation. *Water Science and Technology*, 61(8), 2013–2020. <https://doi.org/10.2166/wst.2010.110>
- Huiting, H. (2011). Mogelijkheden strooizout uit zoute reststromen. *BTO 2011.032(s)*.
- Jubran, B. A., Ahmed, M. I., Ismail, A. F., & Abakar, Y. A. (2000). Numerical modelling of a multi-stage solar still. *Energy Conversion and Management*, 41(11), 1107–1121.  
[https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(99\)00157-0](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(99)00157-0)
- Karagiannis, I. C., & Soldatos, P. G. (2008). Water desalination cost literature: review and assessment. *Desalination*, 223(1–3), 448–456. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.02.071>

- Khazraee Zamanpour, M., Kariminia, H. R., & Vosoughi, M. (2017). Electricity generation, desalination and microalgae cultivation in a biocathode-microbial desalination cell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 843–848. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.045>
- Kim, Y., & Logan, B. E. (2013). Microbial desalination cells for energy production and desalination. *Desalination*, 308, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.07.022>
- KWR. (2016). Grondwater, drinkwater en mijnbouw: Achtergronddocument ten behoeve van de Structuurvisie Ondergrond, (December). Retrieved from [http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Nieuws\\_2017/ONLINE-achtergrond\\_grondwater\\_mijnbouw\\_Vewin.pdf](http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Nieuws_2017/ONLINE-achtergrond_grondwater_mijnbouw_Vewin.pdf)
- Lotfi, F., Phuntsho, S., Majeed, T., Kim, K., Han, D. S., Abdel-Wahab, A., & Shon, H. K. (2015). Thin film composite hollow fibre forward osmosis membrane module for the desalination of brackish groundwater for fertigation. *Desalination*, 364, 108–118. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.01.042>
- Mohammad, A. W., Teow, Y. H., Ang, W. L., Chung, Y. T., Oatley-Radcliffe, D. L., & Hilal, N. (2015). Nanofiltration membranes review: Recent advances and future prospects. *Desalination*, 356, 226–254. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.10.043>
- Mossad, M., Zhang, W., & Zou, L. (2013). Using capacitive deionisation for inland brackish groundwater desalination in a remote location. *Desalination*, 308(October 2011), 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2012.05.021>
- Odu, S. O., Van Der Ham, A. G. J., Metz, S., & Kersten, S. R. A. (2015). Design of a Process for Supercritical Water Desalination with Zero Liquid Discharge. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(20), 5527–5535. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b00826>
- Oren, Y. (2008). Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment - past, present and future (a review). *Desalination*, 228(1–3), 10–29. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.08.005>
- Personal communication Andrew Linington - Aveng Water. (2017).
- Persoonlijke communicatie Ben Brocades - COOL Separations. (2017).
- Peters, E. M., Chivavava, J., Rodriguez-Pascual, M., & Lewis, A. E. (2016). Effect of a Phosphonate Antiscalant during Eutectic Freeze Crystallization of a Sodium Sulfate Aqueous Stream. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 55(35), 9378–9386. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b02024>
- Phuntsho, S., Hong, S., Elimelech, M., & Shon, H. K. (2013). Forward osmosis desalination of brackish groundwater: Meeting water quality requirements for fertigation by integrating nanofiltration. *Journal of Membrane Science*, 436, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.02.022>
- Phuntsho, S., Lotfi, F., Hong, S., Shaffer, D. L., Elimelech, M., & Shon, H. K. (2014). Membrane scaling and flux decline during fertiliser-drawn forward osmosis desalination of brackish groundwater. *Water Research*, 57, 172–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.034>
- Porada, S., Zhao, R., Van Der Wal, A., Presser, V., & Biesheuvel, P. M. (2013). Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. *Progress in Materials*

- Science*, 58(8), 1388–1442. <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.03.005>
- Pronk, P. (2006). *Fluidized bed heat exchangers to prevent fouling in ice slurry systems and industrial crystallizers*. TU Delft. Retrieved from [https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewjB66Hch\\_3ZAhXLWBQKHbaEAKcQFggqMAA&url=https%3A%2F%2Frepository.tudelft.nl%2Fislandora%2Fobject%2Fuuid%3Ae2cf9ec0-fedc-4480-a8ab-ddf7a3a7afea%2Fdatastream%2F0BJ%2Fdownload&usg=AOvVaw](https://www.google.nl/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKewjB66Hch_3ZAhXLWBQKHbaEAKcQFggqMAA&url=https%3A%2F%2Frepository.tudelft.nl%2Fislandora%2Fobject%2Fuuid%3Ae2cf9ec0-fedc-4480-a8ab-ddf7a3a7afea%2Fdatastream%2F0BJ%2Fdownload&usg=AOvVaw)
- Randall, D. G., & Nathoo, J. (2015). A succinct review of the treatment of Reverse Osmosis brines using Freeze Crystallization. *Journal of Water Process Engineering*, 8, 186–194. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2015.10.005>
- Randall, D. G., Nathoo, J., & Lewis, A. E. (2011). A case study for treating a reverse osmosis brine using Eutectic Freeze Crystallization-Approaching a zero waste process. *Desalination*, 266(1–3), 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.08.034>
- Randall, D. G., Zinn, C., & Lewis, A. E. (2014). Treatment of textile wastewaters using Eutectic Freeze Crystallization. *Water Science and Technology*, 70(4), 736–741. <https://doi.org/10.2166/wst.2014.289>
- Reijnen, G. K. (1994). *Behandeling van methaanhoudend grondwater : effecten van de aanwezigheid en de verwijdering van methaan op de fysisch-chemische en biologische samenstelling van het drinkwater*.
- Rijksoverheid. (2017). Ruimtelijk beleid voor bodem en ondergrond. Retrieved October 6, 2017, from <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bodem-en-ondergrond/ruimtelijke-ordering-ondergrond>
- Rodriguez Pascual, M., Genceli, F. E., Trambitas, D. O., Evers, H., Van Spronsen, J., & Witkamp, G. J. (2010). A novel scraped cooled wall crystallizer. Recovery of sodium carbonate and ice from an industrial aqueous solution by eutectic freeze crystallization. *Chemical Engineering Research and Design*, 88(9), 1252–1258. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.07.015>
- ROTEC. (2018). Flow reversal reverse osmosis. Retrieved April 6, 2018, from <http://www.rotewater.com/index.php/rotec-reverse-osmosis-technology/scaling-prevention-technology>
- Saeed, H. M., Hussein, G. A., Yousef, S., Saif, J., Al-Asheh, S., Abu Fara, A., ... Aidan, A. (2015). Microbial desalination cell technology: A review and a case study. *Desalination*, 359, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.024>
- Schlumpberger, S., Lu, N. B., Suss, M. E., & Bazant, M. Z. (2015). Scalable and Continuous Water Deionization by Shock Electrodialysis. *Environmental Science and Technology Letters*, 2(12), 367–372. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5b00303>
- Sen, P. K., Sen, P. V., Mudgal, A., Singh, S. N., Vyas, S. K., & Davies, P. (2011). A small scale Multi-effect Distillation (MED) unit for rural micro enterprises: Part I-design and fabrication. *Desalination*, 279(1–3), 15–26. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.003>
- Sevda, S., Yuan, H., He, Z., & Abu-Reesh, I. M. (2015). Microbial desalination cells as a versatile technology: Functions, optimization and prospective. *Desalination*, 371, 9–17. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.05.021>
- Sivakumar, M., Ramezani-pour, M., & O'Halloran, G. (2015). Brackish water treatment for reuse

- using vacuum membrane distillation process. *Water Science & Technology*, 15(2), 362. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.116>
- Smith, R. C., & Sengupta, A. K. (2015). Integrating tunable anion exchange with reverse osmosis for enhanced recovery during inland brackish water desalination. *Environmental Science and Technology*, 49(9), 5637–5644. <https://doi.org/10.1021/es505439p>
- SolarGIS. (2011). Global horizontal irradiation. Retrieved from <http://www.warm-water.be/405210100>
- Strathmann, H. (2010). Electrodialysis, a mature technology with a multitude of new applications. *Desalination*, 264(3), 268–288. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.069>
- The Dow Chemical Company. (2017). System Design: Membrane System Design Guidelines for Commercial Elements, (Form No. 609-02054-0812), 1–3.
- Tijing, L. D., Choi, J. S., Lee, S., Kim, S. H., & Shon, H. K. (2014). Recent progress of membrane distillation using electrospun nanofibrous membrane. *Journal of Membrane Science*, 453, 435–462. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.11.022>
- Van der Bruggen, B., & Vandecasteele, C. (2002). Distillation vs. membrane filtration: Overview of process evolutions in seawater desalination. *Desalination*, 143(3), 207–218. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(02\)00259-X](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(02)00259-X)
- Van Der Bruggen, B., & Vandecasteele, C. (2003). Removal of pollutants from surface water and groundwater by nanofiltration: Overview of possible applications in the drinking water industry. *Environmental Pollution*, 122(3), 435–445. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00308-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00308-1)
- Van Spronsen, J., Pascual, M. R., Genceli, F. E., Trambitas, D. O., Evers, H., & Witkamp, G. J. (2010). Eutectic freeze crystallization from the ternary Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>-NaHCO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O system. A novel scraped wall crystallizer for the recovery of soda from an industrial aqueous stream. *Chemical Engineering Research and Design*, 88(9), 1259–1263. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2009.09.012>
- Vishwanath Kumar, P., Kumar, A., Prakash, O., & Kaviti, A. K. (2015). Solar stills system design: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 153–181. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.103>
- Voutchkov, N. (2017). Energy use for membrane seawater desalination - current status and trends. *Desalination*, (September), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.033>
- Warsinger, D. M., Tow, E. W., Nayar, K. G., Maswadeh, L. A., & Lienhard V, J. H. (2016). Energy efficiency of batch and semi-batch (CCRO) reverse osmosis desalination. *Water Research*, 106, 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.09.029>
- Weiss, D. E. (1966). The role of ion-exchange desalination in municipal water supplies. *Desalination*, 1(1), 107–128.
- Whitworth, T. M., & Lee, R. (2003). Desalting of saline waters - Applications to New Mexico. *New Mexico Geology*, 25(1), 16–20. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-1842434540&partnerID=40&md5=203a6f95b4fd23eabeea878edc8aa29b>

- Wood, J., Gifford, J., Arba, J., & Shaw, M. (2010). Production of ultrapure water by continuous electrodeionization. *Desalination*, 250(3), 973–976.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.084>
- Xie, M., Shon, H. K., Gray, S. R., & Elimelech, M. (2016). Membrane-based processes for wastewater nutrient recovery: Technology, challenges, and future direction. *Water Research*, 89, 210–221. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.11.045>
- Xu, T., & Huang, C. (2008). Electrodialysis-Based separation technologies: A critical review. *AIChE Journal*, 54(12). <https://doi.org/10.1002/aic.11643>
- Zarzo, D., & Prats, D. (2018). Desalination and energy consumption. What can we expect in the near future? *Desalination*, 427(November 2017), 1–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2017.10.046>

## Bijlage I Waterkwaliteit winput 1965-01 Ceintuurbaan Vitens 2012-2017

Component omschrijving	Gemiddelde waarde	Eenheid	Periode
Aluminium (Al), na aanzuren	0,612	µg/l	2012-2017
Ammonium	1,361	mg NH4 / l	2012-2017
Ammonium-N	1,058	mg N/l	2012-2017
Antimoon (Sb), na aanzuren	0,085	µg/l	2012-2017
Arseen (As), na aanzuren	0,090	µg/l	2012-2017
Barium (Ba), na aanzuren	10,017	µg/l	2012-2017
Beryllium (Be), na aanzuren	0,005	µg/l	2012-2017
Boor (B), na aanzuren	157,100	µg/l	2012-2017
Cadmium (Cd), na aanzuren	0,004	µg/l	2012-2017
Calcium (Ca), na aanzuren	85,181	mg/l	2012-2017
Carbonaat	0,000	mg/l	2012-2017
Cerium (Ce), na aanzuren	0,006	µg/l	2012-2017
Chloride	289,369	mg/l	2012-2017
Chroom (Cr), na aanzuren	0,082	µg/l	2012-2017
Cobalt (Co), na aanzuren	0,112	µg/l	2012-2017
Coliformen 37° C	0,000	kve/100 ml	2012-2017
Cyanide, totaal	-0,197	µg/l	2006-2008
Enterococcen	0,000	kve/100 ml	2012-2017
Escherichia coli 37 °C	0,000	kve/100 ml	2012-2017
Evenwichts-pH	7,523	pH	2012-2017
Fluoride	0,195	mg/l	2006-2008
Fosfaat-ortho	0,485	mg PO4 / l	2006-2008
Fosfaat-ortho-P	0,158	mg P/l	2006-2008
Gadolinium (Gd), na aanzuren	0,002	µg/l	2012-2017
Geleidingsvermogen bij 20 °C	112,267	mS/m	2012-2017
IJzer (Fe), na aanzuren	0,944	mg/l	2012-2017
Indium (In), na aanzuren	-0,001	µg/l	2012-2017
Kalium (K), na aanzuren	8,836	mg/l	2012-2017
Koloniegetal 22 °C	2,000	kve/ml	2012-2017
Koolstofdioxide	6,786	mg/l	2012-2017
Koolstofdioxide agressief	0,000	mg/l	2012-2017
Koper (Cu), na aanzuren	0,662	µg/l	2012-2017
Kwik (Hg), na aanzuren	0,001	µg/l	2012-2017
Lanthaan (La), na aanzuren	0,003	µg/l	2012-2017
Lithium (Li), na aanzuren	14,253	µg/l	2012-2017
Lood (Pb), na aanzuren	0,117	µg/l	2012-2017

Magnesium (Mg), na aanzuren	15,150	mg/l	2012-2017
Mangaan (Mn), na aanzuren	0,039	mg/l	2012-2017
Methaan	897,200	µg/l	2012-2017
Natrium (Na), na aanzuren	132,253	mg/l	2012-2017
Negatieve ionen	11,231	meq/l	2012-2017
Neodymium (Nd), na aanzuren	0,004	µg/l	2012-2017
Nikkel (Ni), na aanzuren	1,566	µg/l	2012-2017
Nitraat	1,435	mg NO3 / l	2012-2017
Nitraat-N	0,324	mg N/l	2012-2017
Nitriet	-0,001	mg NO2 / l	2006-2008
Nitriet-N	0,000	mg N/l	2006-2008
Opgelost Organisch Koolstof (DOC)	2,194	mg/l	2012-2017
Platina (Pt), na aanzuren	-0,001	µg/l	2012-2017
Positieve ionen	11,596	meq/l	2012-2017
Rubidium (Rb), na aanzuren	3,411	µg/l	2012-2017
Samarium (Sm), na aanzuren	0,001	µg/l	2012-2017
Seleen (Se), na aanzuren	0,032	µg/l	2012-2017
Silicaat	8,406	mg Si / l	2006-2008
Strontium (Sr), na aanzuren	537,200	µg/l	2012-2017
Sulfaat	-0,031	mg SO4 / l	2012-2017
Temperatuur in situ	13,083	°C	2012-2017
Thorium (Th), na aanzuren	0,008	µg/l	2012-2017
Titaan (Ti), na aanzuren	0,460	µg/l	2012-2017
Totaal Organisch Koolstof (TOC)	2,773	mg/l	2006-2010
Totale Hardheid	2,748	mmol/l	2012-2017
Totale Hardheid	15,390	°D	2012-2017
Uranium (U), na aanzuren	0,000	µg/l	2012-2017
Vanadium (V), na aanzuren	0,153	µg/l	2012-2017
Verzadigingsindex (SI)	0,137		2012-2017
Waterstofcarbonaat	185,172	mg/l	2012-2017
Zilver (Ag), na aanzuren	0,039	µg/l	2012-2017
Zink (Zn), na aanzuren	5,883	µg/l	2012-2017
Zuurgraad (pH)	7,674	pH	2012-2017
Zuurgraad (pH), in situ	7,730	pH	2012-2017
Zuurstof	0,650	mg/l	2006-2007

## Bijlage II Waterkwaliteit winput 1965-01 Ceintuurbaan Vitens 2015-2017

Component omschrijving	Gemiddelde waarde	Eenheid	Periode
Aluminium (Al), na aanzuren	<2	µg/l	2015-2017
Ammonium	1,287	mg NH4 / l	2015-2017
Ammonium-N	0,999	mg N/l	2015-2017
Antimoon (Sb), na aanzuren	<1	µg/l	2015-2017
Arseen (As), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Barium (Ba), na aanzuren	10,017	µg/l	2015-2017
Beryllium (Be), na aanzuren	<0,1	µg/l	2015-2017
Boor (B), na aanzuren	157,100	µg/l	2015-2017
Cadmium (Cd), na aanzuren	<0,1	µg/l	2015-2017
Calcium (Ca), na aanzuren	82,632	mg/l	2015-2017
Carbonaat	<10	mg/l	2012-2017
Cerium (Ce), na aanzuren	<1	µg/l	2015-2017
Chloride	264,296	mg/l	2015-2017
Chroom (Cr), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Cobalt (Co), na aanzuren	0,112	µg/l	2015-2017
Coliformen 37° C	<1	kve/100 ml	2015-2017
Cyanide, totaal	<5	µg/l	2006-2008
Enterococcen	<1	kve/100 ml	2015-2017
Escherichia coli 37 °C	<1	kve/100 ml	2015-2017
Evenwichts-pH	7,523	pH	2012-2017
Fluoride	0,195	mg/l	2006-2008
Fosfaat-ortho	0,485	mg PO4 / l	2006-2008
Fosfaat-ortho-P	0,158	mg P/l	2006-2008
Gadolinium (Gd), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Geleidingsvermogen bij 20 °C	103,217	mS/m	2015-2017
IJzer (Fe), na aanzuren	0,933	mg/l	2015-2017
Indium (In), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Kalium (K), na aanzuren	8,414	mg/l	2015-2017
Koloniegetal 22 °C	2,000	kve/ml	2015-2017
Koolstofdioxide	6,773	mg/l	2015-2017
Koolstofdioxide agressief	<1	mg/l	2012-2017
Koper (Cu), na aanzuren	0,662	µg/l	2015-2017
Kwik (Hg), na aanzuren	<0,02	µg/l	2015-2017
Lanthaan (La), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Lithium (Li), na aanzuren	14,253	µg/l	2015-2017
Lood (Pb), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017



Magnesium (Mg), na aanzuren	14,446	mg/l	2015-2017
Mangaan (Mn), na aanzuren	0,039	mg/l	2015-2017
Methaan	1015,667	µg/l	2015-2017
Natrium (Na), na aanzuren	123,767	mg/l	2015-2017
Negatieve ionen	10,637	meq/l	2015-2017
Neodymium (Nd), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Nikkel (Ni), na aanzuren	1,566	µg/l	2015-2017
Nitraat	<1	mg NO <sub>3</sub> / l	2015-2017
Nitraat-N	<0,2	mg N/l	2015-2017
Nitriet	<0,01	mg NO <sub>2</sub> / l	2006-2008
Nitriet-N	<0,003	mg N/l	2006-2008
Opgelost Organisch Koolstof (DOC)	2,314	mg/l	2015-2017
Platina (Pt), na aanzuren	<1	µg/l	2015-2017
Positieve ionen	11,014	meq/l	2015-2017
Rubidium (Rb), na aanzuren	3,411	µg/l	2015-2017
Samarium (Sm), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Seleen (Se), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Silicaat-Si	8,406	mg Si / l	2006-2008
Silicaat-SiO <sub>2</sub>	17,982	mg SiO <sub>2</sub> / l	2006-2008
Strontium (Sr), na aanzuren	537,200	µg/l	2015-2017
Sulfaat	<2	mg SO <sub>4</sub> / l	2015-2017
Temperatuur in situ	13,000	°C	2015-2017
Thorium (Th), na aanzuren	<0,05	µg/l	2015-2017
Titaan (Ti), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Totaal Organisch Koolstof (TOC)	2,773	mg/l	2006-2010
Totale Hardheid	2,656	mmol/l	2015-2017
Totale Hardheid	14,872	°D	2015-2017
Uranium (U), na aanzuren	<1	µg/l	2015-2017
Vanadium (V), na aanzuren	<0,5	µg/l	2015-2017
Verzadigingsindex (SI)	0,137		2012-2017
Waterstofcarbonaat	183,549	mg/l	2015-2017
Zilver (Ag), na aanzuren	<1	µg/l	2015-2017
Zink (Zn), na aanzuren	5,883	µg/l	2015-2017
Zuurgraad (pH)	7,683	pH	2015-2017
Zuurgraad (pH), in situ	7,737	pH	2015-2017
Zuurstof	0,650	mg/l	2006-2007

## Bijlage III Norm drinkwater

### Drinkwaterbesluit

Zichtdatum 07-11-2017

Geldig van 28-11-2015 t/m heden

#### Bijlage A. behorend bij hoofdstuk 3 van het Drinkwaterbesluit

Tabel I. Microbiologische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
<i>Escherichia coli</i>	0	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Enterococci	0	kve/100 ml	
Cryptosporidium	-		Noot 1
(Enterovirussen)	-		Noot 1
Giardia	-		Noot 1
Campylobacter	-		Noot 1
Bacteriophagen	-	pve/l	pve = plaquevormende eenheden Noot 1

Noot:

1) Micro-organismen mogen krachtens [artikel 21, eerste lid](#), en [artikel 25 van de wet](#), niet in een zodanige concentratie in het drinkwater voorkomen dat nadelige gevolgen voor de volksgezondheid kunnen ontstaan. Voor bepaalde micro-organismen, zoals virussen en protozoa (onder meer Cryptosporidium en Giardia), is het niet mogelijk om concentraties te meten op het zeer lage niveau, waarop blootstelling relevant is voor de gezondheid van de gebruiker. In plaats hiervan dient de eigenaar die gebruik maakt van oppervlaktewater als grondstof voor de bereiding van drinkwater op basis van metingen van de desbetreffende micro-organismen in de grondstof en gegevens over de verwijderingscapaciteit bij de verschillende zuiveringsprocessen (inclusief eventuele bodempassages) in overleg met de inspecteur een kwantitatieve risicoanalyse voor het bereide drinkwater op te stellen. De VROM-Inspectierichtlijn «Analyse microbiologische veiligheid drinkwater» dient hiertoe gebruikt te worden.

Voor het door middel van deze risicoanalyse berekende theoretische infectierisico geldt een grenswaarde van één infectie per 10 000 personen per jaar. De toetsing aan deze grenswaarde voor het infectierisico dient in elk geval te worden uitgevoerd voor Enterovirussen, Cryptosporidium en Giardia, maar geldt in principe ook voor andere pathogene micro-organismen. Indien het berekende infectierisico groter is dan de genoemde grenswaarde, dient de eigenaar met de inspecteur te overleggen over te nemen maatregelen.

De inspecteur kan bepalen dat voor kwetsbare grondwaterwinningen eenzelfde risicoanalyse wordt uitgevoerd.

Tot de groep van bacteriophagen worden in elk geval gerekend de somatische colifagen en de F-specifieke bacteriophagen.

Tabel II. Chemische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Acrylamide	0,10	µg/l	Noot 1
Antimoon	5,0	µg/l	
Arseen	10	µg/l	
Benzeen	1,0	µg/l	
Benzo(a)pyreen	0,010	µg/l	
Boor	0,5	mg/l	
Bromaat	1,0	µg/l	Bij desinfectie geldt een maximale waarde van 5,0 µg/l (als 90 percentielwaarde, met een maximum van 10 µg/l)
Cadmium	5,0	µg/l	
Chroom	50	µg/l	
Cyaniden (totaal)	50	µg/l	Noot 3
1,2-Dichloorethaan	3,0	µg/l	
Epichloorhydrine	0,10	µg/l	Noot 1
Fluoride	1,0	mg/l	
Koper	2,0	mg/l	Noot 2
Kwik	1,0	µg/l	
Lood	10	µg/l	Noot 2

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Nikkel	20	µg/l	Noot 2
Nitraat	50	mg/l	Noot 4
Nitriet	0,1	mg/l	Noot 4
N- nitrosodimethylamine (NDMA)	12	ng/l	
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) (som)	0,10	µg/l	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie hoger dan de detectiegrens. Noot 5
Polychloorbifenylen (PCB's) (individueel)	0,10	µg/l	Per stof.
PCB's (som)	0,50	µg/l	Som van gespecificeerde verbindingen met concentratie > 0,05 µg/l. Noot 6
Pesticiden (individueel)	0,10	µg/l	Per stof. Noot 7. Voor aldrin, dieldrin, heptachloor en heptachloorepoxide geldt een maximum waarde van 0,030 µg/l.
Pesticiden (som)	0,50	µg/l	Som van afzonderlijke pesticiden met concentratie hoger dan de detectiegrens.
Seleen	10	µg/l	
Tetra- en trichlooretheen (som)	10	µg/l	
Trihalomethanen (som)	25	µg/l	Noot 8
Vinylchloride	0,10	µg/l	Noot 1

## Noten:

1) Deze parameterwaarde heeft betrekking op de residuele monomeerconcentratie in het water, berekend aan de hand van specificaties inzake de maximum migratie van de overeenkomstige polymeer in contact met water, of betreft een feitelijk gemeten waarde.

2) Deze waarde geldt voor een monster van voor menselijke consumptie bestemd water dat via een passende steekproefmethode aan de kraan verkregen is, en dat representatief mag worden geacht voor de gemiddelde waarde die de verbruiker wekelijks binnen krijgt. Deze methode is beschreven in de «VROM-Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit».

3) Met behulp van de methode moet het totaal aan cyanide in elke vorm worden bepaald.

4) Ten aanzien van de concentraties nitraat en nitriet dient tevens te worden voldaan aan de voorwaarde dat  $[\text{nitraat}]/50 + [\text{nitriet}]/3 < 1$ , waarbij de rechte haken de concentratie in mg/l uitdrukken, voor nitraat in  $\text{NO}_3^-$  en voor nitriet in  $\text{NO}_2^-$ .

5) De gespecificeerde verbindingen zijn: pyreen, benzo(a)antracene, benzo(ghi)peryleen, fenantreen, indeno (1,2,3-cd)pyreen, anthracene, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen, chryseen en fluorantheen

6) De gespecificeerde verbindingen zijn: PCB nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153 en 180.

7) Onder pesticiden wordt verstaan: organische insecticiden, organische herbiciden, organische fungiciden, organische nematociden, organische acariciden, organische algiciden, organische rodenticiden, organische slimiciden en soortgelijke producten (onder meer groeiregulatoren). De norm van 0,1 µg/l geldt ook voor humaan toxicologisch relevante metaboliëten, afbraak- en reactieproducten van pesticiden. Voor metaboliëten van pesticiden en afbraak- of reactieproducten, die niet humaan toxicologisch relevant zijn, geldt een norm van 1,0 µg per liter.

8) De maximumwaarde geldt bij het gebruik van chloor(verbindingen) voor desinfectie; in de overige situaties geldt de maximumwaarde genoemd in Tabel IIIc bij gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen. De gespecificeerde verbindingen zijn: chloroform, bromoform, dibroomchloormethaan en broomdichloormethaan. De concentratie broomdichloormethaan mag niet hoger zijn dan 15 µg/l. De somwaarde van 25 µg/l geldt als 90 percentiel, met een maximum van 50 µg/l. Voor drinkwatervoorzieningen op mijnbouwinstallaties als bedoeld in [artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet](#), geldt als somwaarde 100 µg/l, waarbij het gehalte broomdichloormethaan maximaal 60 µg/l mag zijn.

Tabel IIIa. Indicatoren – Bedrijfstechnische parameters

Parameter	Maximum waarde (tenzij anders aangegeven)	Eenheid	Opmerkingen
Aeromonas (30 °C)	1000	kve/100 ml	kve = kolonievormende eenheden
Ammonium	0,20	mg/l	
Bacteriën van de coligroep	0	kve/100 ml	
Chloride	150 0	mg/l	Jaargemiddelde.

Parameter	Maximum waarde (tenzij anders aangegeven)	Eenheid	Opmerkingen
<i>Clostridium perfringens</i> (inclusief sporen)		kve/100 ml	
DOC/TOC	Geen abnormale verandering	mg/l	Noot 1
Geleidingsvermogen	125 bij 20 °C	mS/m	
Hardheid (totaal)	> 1	mmol/l	Totale hardheid te berekenen als aantal mmol Ca <sup>2+</sup> plus Mg <sup>2+</sup> /l. Normwaarde geldt uitsluitend bij toepassing van ontharding of ontzouting. Toetsing vindt plaats aan de 90 percentiel van de meetgegevens. Noot 2
Koloniegetal bij 22 °C	100	kve/ml	Geometrisch jaargemiddelde. Noot 2
Saturatie Index (SI)	> -0,2	pH- eenheden	Jaargemiddelde.
Temperatuur	25 °C		Geldt voor drinkwater
Vrij chloor	0,1 < mg/l < 0,3	mg/l	Noot 4
Waterstofcarbonaat	> 60	mg/l	
Zuurgraad	7,0 < pH < 9,5	pH- eenheden	
Zuurstof	>2	mg/l	

Noten:

- 1) Indien DOC/TOC (dissolved organic carbon/total organic carbon) niet wordt bepaald, dan dient de oxideerbaarheid met KMnO<sub>4</sub> te worden bepaald (norm 5,0 mg/l O<sub>2</sub>).
- 2) Deze parameter geldt niet voor water als bedoeld in [artikel 14 van het Warenwetbesluit Verpakte waters](#).
- 4) Geldt alleen voor zover bij drinkwatervoorzieningen op mijnbouwinstallaties, als bedoeld in [artikel 1, onderdeel o, van de Mijnbouwwet](#), natriumhypochloriet aan het drinkwater wordt toegevoegd ter desinfectie van het water. De contacttijd tussen het chloor en het water moet ten minste 30 minuten bedragen.

Tabel IIb. Indicatoren – Organoleptische/esthetische parameters

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Aluminium	200	µg/l	Noot 1
Geur	Aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	-	Noot 2
Kleur	20	mg/l Pt/Co	
IJzer	200	µg/l	
Mangaan	50	µg/l	
Natrium	150	mg/l	Jaargemiddelde (maximum 200 mg/l)
Smaak	Aanvaardbaar voor de gebruikers en geen abnormale verandering	-	Noot 2
Sulfaat	150	mg/l	
Troebelingsgraad 4 (tap) 1 (af pompstation)		FTE	FTE = formazine troebelingseenheden Noot 3.
Zink	3,0	mg/l	Na > 16 uur stilstand

Noten:

- 1) Bij (dreigende) overschrijding van een waarde voor aluminium van 30 µg/l dient dit aan de inspecteur gemeld te worden in verband met het eventueel gebruik van het drinkwater voor nierdialyse.
- 2) Analyse kan kwalitatief worden uitgevoerd. Indien het resultaat positief is dient een kwantitatieve analyse te worden uitgevoerd, bijvoorbeeld volgens de verdunningsmethode.
- 3) In aanvulling op de kwantitatieve eis geldt dat de troebelingsgraad aanvaardbaar voor de gebruikers dient te zijn en geen abnormale veranderingen mag vertonen.

Tabel IIc. Indicatoren – Signaleringsparameters (noot 1)

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
AOX	-	µmol X/l	

Parameter	Maximum waarde	Eenheid	Opmerkingen
Aromatische aminen	1	µg/l	Indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l. Noot 2
(Chloor)fenolen	1	µg/l	Indien metaboliet van pesticiden dan 0,1 µg/l Noot 2
Diglyme(n)	1	µg/l	
Ethyl tert-butyl ether (ETBE)	1	µg/l	
Gehalogeneerde monocyclische koolwaterstoffen	1	µg/l	Noot 4
Gehalogeneerde alifatische koolwaterstoffen	1	µg/l	Noot 4
Methyl tert-butyl ether (MTBE)	1	µg/l	
Monocyclische koolwaterstoffen / aromaten	1	µg/l	Noot 4
Overige antropogene stoffen	1	µg/l	Noot 3

## Noten:

- 1) Deze kwaliteitseisen zijn bedoeld voor het signaleren van mogelijke verontreinigingen. Wanneer de aangegeven waarde (1 µg/l) wordt gemeten is er geen risico voor de volksgezondheid, maar zal er nader onderzoek plaats vinden. Deze parameters (als groep) zijn bedoeld om de kwaliteit van de bron te bewaken.
- 2) Metabolieten van pesticiden, welke in humaan toxicologisch opzicht relevant zijn, vallen onder tabel II van deze bijlage. Voor de overige metabolieten geldt een norm van 1,0 µg/l (zie tabel II noot 7).
- 3) Met deze parameter worden stoffen bedoeld die niet behoren tot de andere parameters in deze tabel maar welke een bedreiging voor de drinkwatervoorziening kunnen zijn.
- 4) Voor enkele individuele stoffen uit deze parametergroep geldt ook een maximale waarde in tabel II.

Tabel IV. Parameterwaarden voor radon, tritium en indicatieve dosis voor drinkwater

Parameter	Parameterwaarde	Eenheid	Opmerkingen
Radon	100	Bq/l	Noot 1, 3
Tritium	100	Bq/l	Noot 2, 3
Indicatieve Dosis	0,10	mSv	Noot 3

## Noot 1:

- a. De lidstaten mogen voor radon een niveau bepalen dat niet mag worden overschreden en waaronder de optimalisering van de bescherming wordt voortgezet, zonder dat de watervoorziening op nationale of regionale schaal in gevaar wordt gebracht. Het niveau dat een lidstaat bepaalt ligt tussen 100 Bq/l en 1.000 Bq/l. Ter vereenvoudiging van de nationale wetgeving kunnen de lidstaten ervoor kiezen de parameterwaarde op dit niveau af te stemmen. Nederland legt op basis van bestaande metingen de grens op 100 Bq/L (uit eerdere monitoringsonderzoeken blijkt dat de maximale radonconcentratie in ruw water en drinkwater <20 Bq/L is).
- b. Wanneer de radonconcentraties 1.000 Bq/l overschrijden worden remediërende maatregelen zonder meer billijk geacht om redenen van stralingsbescherming. Dit is tot nu toe in Nederland niet aan de orde. Indien nodig is de praktische maatregel: beluchten.

Noot 2: Hoge tritiumniveaus kunnen duiden op andere kunstmatige radionucliden. Als de tritiumconcentratie de parameterwaarde ervan overschrijdt, is een analyse van de aanwezigheid van andere kunstmatige radionucliden noodzakelijk. Dit is geregeld in de Drinkwaterregeling en, in samenhang daarmee, de desbetreffende richtlijn van de Inspectie Leefomgeving en Transport (hierna: ILT).

Noot 3: De wijze van monitoring en berekening van de indicatieve dosis is geregeld in de [Drinkwaterregeling](#) en, in samenhang daarmee, de desbetreffende richtlijn van de ILT.

<sup>^</sup> [1] De waarde voor het aandeel eigen vermogen wordt gebaseerd op een financieringsstructuur die als redelijk wordt beschouwd voor de drinkwaterbedrijven, gegeven de situatie op de financiële markt. Deze waarde kan afwijken van het werkelijk aandeel eigen vermogen van de bedrijven.

<sup>^</sup> [2] De waarden van de in de formules genoemde parameters voor de bepaling van  $r_{VV}$  en  $r_{EV}$  zijn afhankelijk van de ontwikkelingen op de financiële markt. De bepaling van deze waarden zal plaatsvinden op basis van een analyse ten behoeve van de tweejaarlijkse vaststelling van de gewogen gemiddelde vermogenskostenvoet. Ter illustratie het volgende rekenvoorbeeld. Stel  $r_r$  is gelijk aan 4%,  $r_o$  is gelijk aan 0,5%,  $r_m$  is gelijk aan 9% en  $\beta_{EV}$  is gelijk aan 0,5, dan volgt dat  $r_{VV}$  is gelijk aan 4,5% en  $r_{EV}$  is gelijk aan 6,5%. Bij EV is gelijk aan 40%, volgt:  $r_{TV} = 4,5\% \times 0,6 + 6,5\% \times 0,4 = 5,3\%$ .

<sup>^</sup> [3] De marktriscopremie is het verschil tussen het verwachte rendement dat beleggers eisen voor het investeren in de marktportefeuille en de risicovrije rente.

# Bijlage IV Traditioneel RO berekening

ROSA Detailed Report

Page 1 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes  
 Project: Ceintuurbaan 2015-2017  
 Luuk de Waal, KWR

ROSA 9.1 ConfigDB u399339\_282  
 Case: 1  
 1/12/2018

**Project Information:** Winput 1965-01 2015-2017 Ceintuurbaan Vitens

**Case-specific:** FilmTec XLE 440 - booster tussen 1de en 2de trap (2 bar), booster tussen 2de en 3de trap (3 bar)

**System Details**

Feed Flow to Stage 1	115.00 m³/h	Pass 1 Permeate Flow	106.39 m³/h	Osmotic Pressure:	
Raw Water Flow to System	115.00 m³/h	Pass 1 Recovery	92.51 %	Feed	0.44 bar
Feed Pressure	8.39 bar	Feed Temperature	13.0 C	Concentrate	5.21 bar
Flow Factor	0.85	Feed TDS	702.33 mg/l	Average	2.82 bar
Chem. Dose (100% HCl)	19.59 mg/l	Number of Elements	108	Average NDP	6.25 bar
Total Active Area	4414.61 M²	Average Pass 1 Flux	24.10 lmh	Power	38.53 kW
Water Classification: Well Water SDI < 3				Specific Energy	0.36 kWh/m³

Stage	Element	#PV	#Ele	Feed Flow (m³/h)	Feed Press (bar)	Recirc Flow (m³/h)	Conc Flow (m³/h)	Conc Press (bar)	Perm Flow (m³/h)	Avg Flux (lmh)	Perm Press (bar)	Boost Press (bar)	Perm TDS (mg/l)
1	XLE-440	11	6	115.00	8.04	0.00	45.65	6.61	69.35	25.70	0.00	0.00	14.21
2	XLE-440	5	6	45.65	8.27	0.00	17.84	7.12	27.81	22.68	0.00	2.00	37.77
3	XLE-440	2	6	17.84	9.77	0.00	8.61	8.58	9.23	18.83	0.00	3.00	99.41

Name	Feed	Adjusted Feed	Pass Streams (mg/l as Ion)						
			Concentrate			Permeate			
			Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Total
NH4+ + NH3	1.22	1.29	3.16	7.78	15.59	0.08	0.20	0.49	0.15
K	8.41	8.41	20.82	52.28	106.58	0.24	0.63	1.65	0.47
Na	123.77	123.77	307.11	772.78	1578.08	3.07	8.31	22.01	6.08
Mg	14.45	14.45	36.07	91.39	187.78	0.21	0.58	1.52	0.42
Ca	82.63	82.63	206.33	522.84	1074.50	1.19	3.24	8.54	2.37
Sr	0.54	0.54	1.35	3.42	7.02	0.01	0.02	0.06	0.02
Ba	0.01	0.01	0.02	0.06	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00
CO3	0.58	0.08	0.59	4.59	20.89	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO3	183.55	151.79	377.89	950.37	1928.29	2.74	6.67	17.19	4.95
NO3	0.18	0.18	0.35	0.66	1.05	0.07	0.15	0.29	0.11
Cl	264.30	301.06	748.69	1888.51	3865.08	6.37	17.29	45.79	12.65
F	0.19	0.19	0.47	1.18	2.40	0.01	0.02	0.04	0.01
SO4	-0.04	-0.04	-0.10	-0.26	-0.53	0.00	0.00	0.00	0.00
SiO2	17.98	17.98	44.93	113.90	234.09	0.24	0.68	1.84	0.49
Boron	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO2	5.86	29.12	29.35	31.08	37.60	28.93	29.59	32.73	29.48
TDS	697.77	702.33	1747.68	4409.47	9020.94	14.21	37.77	99.41	27.70
pH	7.68	6.90	7.24	7.55	7.70	5.27	5.63	5.97	5.51

\*Permeate Flux reported by ROSA is calculated based on ACTIVE membrane area. DISCLAIMER: NO WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, AND NO WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, IS GIVEN. Neither FilmTec Corporation nor The Dow Chemical Company assume any obligation or liability for results obtained or damages incurred from the application of this information. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, customer is responsible for determining whether products are appropriate for customer's use. FilmTec Corporation and The Dow Chemical Company assume no liability, if, as a result of customer's use of the ROSA membrane design software, the customer should be sued for alleged infringement of any patent not owned or controlled by the FilmTec Corporation nor The Dow Chemical Company.

## ROSA Detailed Report

Page 2 of 3

Reverse Osmosis System Analysis for FILMTEC™ Membranes  
 Project: Ceintuurbaan 2015-2017  
 Luuk de Waal, KWR

ROSA 9.1 ConfigDB u399339\_282  
 Case: 1  
 1/12/2018

**Design Warnings**

-None-

**Solubility Warnings**

Langelier Saturation Index > 0  
 Stiff & Davis Stability Index > 0  
 CaF2 (% Saturation) > 100%  
 SiO2 (% Saturation) > 100%

Antiscalants may be required. Consult your antiscalant manufacturer for dosing and maximum allowable system recovery.

**Stage Details**

Stage	Element	Recovery	Perm Flow (m <sup>3</sup> /h)	Perm TDS (mg/l)	Feed Flow (m <sup>3</sup> /h)	Feed TDS (mg/l)	Feed Press (bar)
Stage 1	1	0.11	1.19	8.92	10.45	702.33	8.04
	2	0.12	1.13	10.45	9.26	791.60	7.67
	3	0.13	1.07	12.39	8.13	900.06	7.37
	4	0.14	1.02	14.88	7.06	1034.86	7.11
	5	0.16	0.97	18.23	6.04	1207.13	6.90
	6	0.18	0.92	22.97	5.07	1434.79	6.74
Stage 2	1	0.12	1.12	21.56	9.13	1747.68	8.27
	2	0.13	1.05	26.12	8.01	1989.50	7.97
	3	0.14	0.97	32.13	6.96	2284.94	7.72
	4	0.15	0.89	40.33	5.99	2650.79	7.51
	5	0.16	0.81	51.91	5.09	3108.90	7.35
	6	0.17	0.71	68.94	4.28	3685.84	7.22
Stage 3	1	0.11	1.02	56.01	8.92	4409.47	9.77
	2	0.12	0.92	69.43	7.90	4972.04	9.48
	3	0.12	0.82	87.20	6.98	5617.81	9.23
	4	0.12	0.72	111.08	6.16	6352.00	9.02
	5	0.11	0.62	143.66	5.44	7173.48	8.85
	6	0.11	0.52	188.47	4.82	8070.92	8.70

Permeate Flux reported by ROSA is calculated based on ACTIVE membrane area. DISCLAIMER: NO WARRANTY, EXPRESSED OR IMPLIED, AND NO WARRANTY OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, IS GIVEN. Neither FilmTec Corporation nor The Dow Chemical Company assume any obligation or liability for results obtained or damages incurred from the application of this information. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, customer is responsible for determining whether products are appropriate for customer's use. FilmTec Corporation and The Dow Chemical Company assume no liability, if, as a result of customer's use of the ROSA membrane design software, the customer should be sued for alleged infringement of any patent not owned or controlled by the FilmTec Corporation nor The Dow Chemical Company.

file:///C:/Program%20Files%20(x86)/Dow%20Chemical/ROSA9/MyProjects/Ceintuurb... 5-3-2018

## ROSA Detailed Report

Page 3 of 3

## Scaling Calculations

	Raw Water	Adjusted Feed	Concentrate
pH	7.68	6.90	7.70
Langelier Saturation Index	0.00	-0.86	2.07
Stiff & Davis Stability Index	0.55	-0.32	1.66
Ionic Strength (Molal)	0.01	0.01	0.18
TDS (mg/l)	697.77	702.33	9020.94
HCO <sub>3</sub>	183.55	151.79	1928.29
CO <sub>2</sub>	5.86	29.12	37.59
CO <sub>3</sub>	0.58	0.08	20.89
CaSO <sub>4</sub> (% Saturation)	0.00	0.00	-0.03
BaSO <sub>4</sub> (% Saturation)	-0.01	-0.01	-0.31
SrSO <sub>4</sub> (% Saturation)	0.00	0.00	-0.01
CaF <sub>2</sub> (% Saturation)	0.40	0.40	821.40
SiO <sub>2</sub> (% Saturation)	17.80	17.57	231.77
Mg(OH) <sub>2</sub> (% Saturation)	0.00	0.00	0.02

To balance: 17.70 mg/l Cl added to feed.





**User & Plant Details**

Project Name / Vitens Ceintuurbaan 1965<sub>0</sub>12015 – 2017  
 Reference  
 Contact Name Luuk de Waal  
 Company KWR  
 Date 25-1-2018  
 Report Author Luuk de Waal  
 Contact Number 030-6069551  
 Email Address luuk.de.waal@kwrwater.nl

**Water and Membrane Details**

Water Type Brackish Water  
 Membrane Manufacturer Dow  
 Membrane Type FilmTec XLE-440  
 Average Salt Passage 1.0 %

**Recommended Product** GENESYS SI

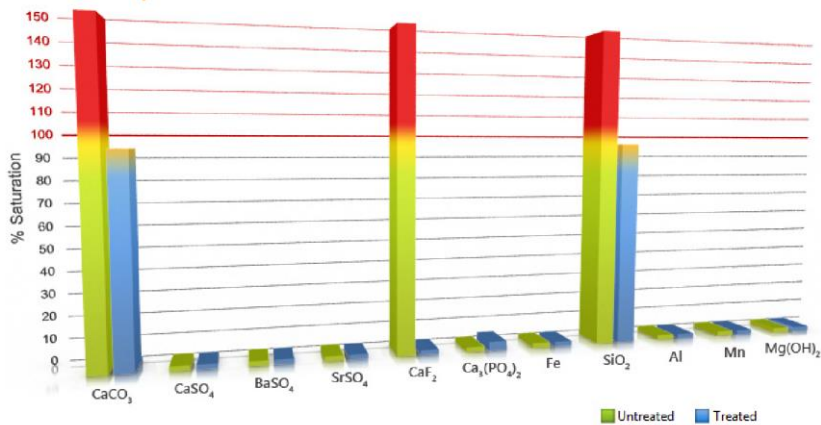
**Dosing Data**

For Scale Control - Feed 1.49 mg/l  
 For Iron Control - Feed 0.00 mg/l  
 Total Dosage 1.49 mg/l  
 Dose In Concentrate 19.81 mg/l  
 Set Dosing Pump To 148.57 ml/hr  
 Daily Requirement 3.57 l/day

**Acid Dosing**

pH Raw Water 7.50  
 pH Feed Water 6.90  
 HCl Acid Dosing 52.05 mg/l  
 Daily Requirement 121.74 l/day

**Saturation Graph**



**Scaling Indices**

	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SrSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	Mn(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>
Conc. Untreated	177.25	0.00	0.00	0.00	333.94	0.00	0.00	211.11	0.72	0.00	0.07
Conc. Treat.	94.96	0.00	0.00	0.00	2.39	0.00	0.00	95.96	0.47	0.00	0.00

visit [www.genesysro.com](http://www.genesysro.com)GENESYS  
INTERNATIONAL

## MM4 Report

KWR  
Groningenhaven 7, 3433 PE Nieuwegein

## Water Analysis Data

Component	Feed Water mg/l	Concentrate mg/l
Ca <sup>2+</sup>	82.63	1090.74
Mg <sup>2+</sup>	14.45	190.69
Na <sup>+</sup>	123.77	1633.72
K <sup>+</sup>	8.41	111.06
Ba <sup>2+</sup>	0.00	0.00
Sr <sup>2+</sup>	0.54	7.09
Fe <sup>3+</sup>	0.00	0.00
Al <sup>3+</sup>	0.00	0.01
Mn <sup>2+</sup>	0.00	0.00
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.00	0.00
Cl <sup>-</sup>	282.01	3722.52
F <sup>-</sup>	0.20	2.57
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	157.07	2073.28
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.07	0.94
CO <sub>2</sub>	26.66	26.66
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.18	2.38
SiO <sub>2</sub>	17.98	237.36
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.48	6.40

## Operation Details

Permeate Flow	106.4 m <sup>3</sup> /hr
Recovery Rate	92.5 %
Feed Flow	115.0 m <sup>3</sup> /hr
Concentration Factor	13.33
Concentrate Flow	8.6 m <sup>3</sup> /hr
pH Raw Water	7.5
pH Feed Water	6.9
Operating Pressure	14.0 Bar
Operating Temperature	13.0 °C
Operating Time	24.0 hr/day

## Water Indices

Index	Feed Water	Concentrate
pH	6.90	7.85
TDS	696.48	9434.06
Ionic Strength (I)	0.01	0.19
LSI	-0.86	2.32
Alkalinity ppm CaCO <sub>3</sub>	150.63	1704.81

## Scaling Indices Feed

Scalant Type	Feed Water Untreated (%)	Feed Water Treated (%)
CaCO <sub>3</sub>	71.17	38.13
CaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
BaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
SrSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
CaF <sub>2</sub>	0.46	0.00
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	17.86	8.12
Al(OH) <sub>3</sub>	0.06	0.04
Mn(OH) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Mg(OH) <sub>2</sub>	0.00	0.00

## Scaling Indices Concentrate

Scalant Type	Concentrate Untreated (%)	Concentrate Treated (%)
CaCO <sub>3</sub>	177.25	94.96
CaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
BaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
SrSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
CaF <sub>2</sub>	333.94	2.39
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Fe(OH) <sub>3</sub>	0.00	0.00
SiO <sub>2</sub>	211.11	95.96
Al(OH) <sub>3</sub>	0.72	0.47
Mn(OH) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Mg(OH) <sub>2</sub>	0.07	0.00

The data used in Genesys Membrane Master 4 is provided in good faith.  
The system operation is outside our control and we accept no product liability for consequential results

MM4 Software Version: v1.36.6 (DLL v1.11.22(D))  
Report generated at 10:20:20 on 05/03/2018



# Bijlage V Desalitech CCRO berekening



## Technical Summary

**Project:** KWR Watercycle Research Institute

Recovery: 96%      Date: 20-Jan-18  
 Customer: KWR      Prepared by: matt.jones@desa  
 Engineer: Luuk de Waal      Water Analysis date: 16-Jan-18  
 Note: Netherlands

### Water Chemistry

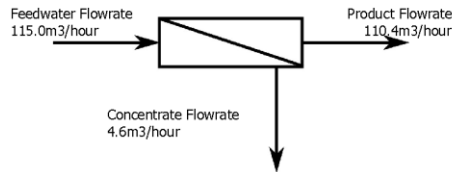
Cations(mg/l)	Entered Feed	Adjusted Feed	Calculated Concentrate
Sodium	123.77	123.77	3047.53
Potassium	8.40	8.40	204.92
Calcium	82.63	82.63	2047.98
Magnesium	14.45	14.45	358.04
Iron	0.30	0.30	7.20
Manganese	0.04	0.04	0.95
Barium	0.01	0.01	0.25
Strontium	0.54	0.54	13.31
Aluminium	0.00	0.00	0.00
Ammonium	1.29	1.29	30.90
<b>Anions(mg/l)</b>			
Chloride	264.30	350.25	8645.81
Sulfate	0.30	0.30	7.46
Bicarbonate	183.55	57.55	1379.43
Carbonate	0.00	0.01	12.41
Nitrate	0.00	0.00	0.00
Fluoride	0.20	0.19	4.75
Phosphate	0.49	0.49	11.52
Silica	8.41	8.41	208.99
Carbon Dioxide	0.00	124.94	124.94
TDS		705.52	17289.14

### Scaling Potential

Saturation Level	Entered Feed	Adjusted Feed	Calculated Concentrate
CCPP	5.82	-151.31	757.84mg/l
Calcium Sulfate CaSO4	0.00	0.00	0.01x
Barium Sulfate BaSO4	0.00	0.00	0.08x
Strontium Sulfate SrSO4	0.00	0.00	0.00x
Calcium Phosphate	0.04	0.00	91.66x
Calcium Fluoride CaF2	0.00	0.00	0.36x
Silica SiO2	0.10	0.10	2.52x
Magnesium Hydroxide Mg(OH)2	0.00	0.00	0.00x
<b>Saturation Indices</b>			
Langelier Saturation Index (LSI)	0.04	-2.13	1.41
Stiff and Davis Index (S&DI)	-0.20	-2.36	1.10
<b>System Parameters</b>			
pH	7.68	6.00	7.19
Ionic Strength	0.01	0.01	0.35
Temperature (deg.C)	13.00	13.00	13.00

### System Details

#### Used in Dosage and Feed Rate Calculations



Operating Conditions	
% Recovery	96
Hours per Day	24
Days per Week	7
Weeks per Year	52
Load Factor	100.0%

### Antiscalant Details

Antiscalant Selected	Vitec 4000
Dosage	2.24mg/l
Usage	13.60 lb per day.
Dosed Strength	100%
Pump Rate	1.44USGPD 3.80ml/m

There is one dosing pump and chemical tank per membrane train.  
 With 1 trains, each pump will deliver 1.44USGPD

### pH Correction

Chemical choice	Hydrochloric acid
Dosage:	75.1mg/l 100% HCl
Delivered Concentration:	36% HCl
Usage	1266.67 lb per day.
Site Dilution:	100%
Pump Rate	128.49USGPD 337.98ml/m

There is one dosing pump and chemical tank per membrane train.  
 With 1 trains, each pump will deliver 128.49USGPD

### CORPORATE OFFICES

**Avista Technologies, Inc.** *Global Headquarters*  
 140 Bosstick Blvd  
 San Marcos, CA 92069  
 Tel: +1.760.744.0536

**Avista Technologies (UK) Ltd**  
 13 Nasmyth Square, Houston Ind Estate  
 Livingston, EH54 5GG, UK  
 Tel: +44 (0) 131 449 6677





**Executive Summary**

**Project:** KWR Watercycle Research Institute

Recovery: 96%  
 Customer: KWR  
 Engineer: Luuk de Waal  
 Note: Netherlands

Date: 20-Jan-18  
 Prepared by: matt.jones@desa  
 Water Analysis date: 16-Jan-18

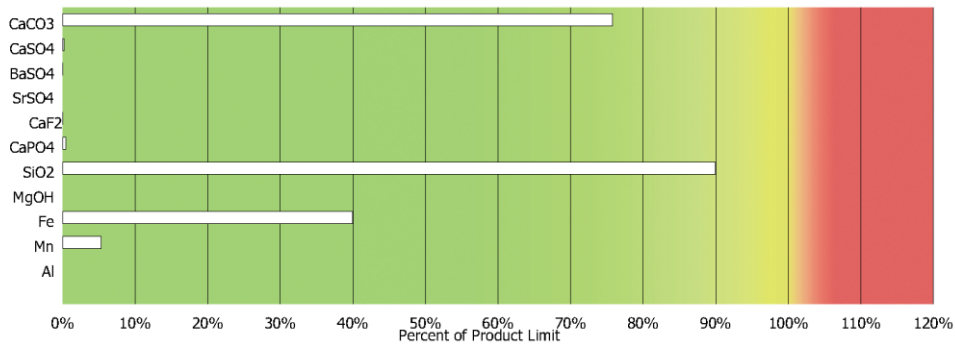
**Membrane and Water Type**

Feed Source: **Well Water**  
 Membrane Manufacturer: **Default**  
 Membrane Type: **High Rej Brackish**  
 Water Analysis Date: **16-Jan-18**

**Antiscalant Recommendations**

Recommended Product	Recommended Dosage	System Recovery
<b>Vitec 4000</b>	<b>2.2mg/l</b>	<b>96%</b>
Dosed Strength	Usage Per Day	pH Correction
<b>100%</b>	<b>13.60 lb</b>	<b>Hydrochloric acid</b>
		<b>75.1mg/l</b>

**Saturation Indices**



While every effort has been made to ensure the accuracy of this program, no warranty, expressed or implied, is given as actual application of the products is outside the control of Avista Technologies.

**CORPORATE OFFICES**

**Avista Technologies, Inc.** *Global Headquarters*  
 140 Bosstick Blvd  
 San Marcos, CA 92069  
 Tel: +1.760.744.0536

**Avista Technologies (UK) Ltd**  
 13 Nasmyth Square, Houstoun Ind Estate  
 Livingston, EH54 5GG, UK  
 Tel: +44 (0) 131 449 6677



AdvisorCi Version 4.4.5 Antiscalant data file

# Bijlage VI ROTEC FRRO berekening

<b>Lewabrane</b>	<b>LewaPlus</b>	<b>LANXESS</b> Emerging Chemistry
2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis	KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal ROTEC (B400 ULP ASD)	1/8
<b>General specification</b>		
<b>Project description</b>		
Project No.: KWR water	Date: 2018-02-21	
Project title: groundwater desal		
Project subtitle: ROTEC (B400 ULP ASD)		
Remarks:		
<b>Customer</b>		
Name:	Phone:	
Location:	Fax:	
Contact:	Mail:	
<b>Designer</b>		
Name: AST	Phone:	
Location:	Fax:	
Contact: Peled, dan	Mail: dan@ast-water.com	

## Notes and warning messages

- Design: Saturation values exceeded. Adjust feed water pH or use a scaling inhibitor.

<b>Lewabrane</b>	<b>LewaPlus</b>	<b>LANXESS</b> Emerging Chemistry					
2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis	KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal ROTEC (B400 ULP ASD)	2/8					
<b>Water analysis of feed</b>							
Water source:							
Water type: Brackish well	Country: Netherlands						
Source flow rate: 115.00 [m <sup>3</sup> /h]	Date of sampling: 2018-02-21						
<b>Cations</b>	Original Unit	[mg/l]	[meq/l]	<b>Anions</b>	Original Unit	[mg/l]	[meq/l]
Na	123.80000 [mg/l]	123.80000	5.38495	Cl	264.30000 [mg/l]	264.30000	7.45557
Ca	82.60000 [mg/l]	82.60000	4.12176	SO <sub>4</sub>	0.30000 [mg/l]	0.30000	0.00625
Mg	14.50000 [mg/l]	14.50000	1.19243	CO <sub>3</sub>	0.48574 [mg/l]	0.48574	0.01619
K	8.40000 [mg/l]	8.40000	0.21483	HCO <sub>3</sub>	183.60000 [mg/l]	183.60000	3.00885
Sr	0.54000 [mg/l]	0.54000	0.01233	NO <sub>3</sub>	0.00000 [mg/l]	0.00000	0.00000
Ba	0.01000 [mg/l]	0.01000	0.00015	F	0.20000 [mg/l]	0.20000	0.01053
NH <sub>4</sub>	1.30000 [mg/l]	1.30000	0.07206	SiO <sub>2</sub>	18.18000 [mg/l]	18.18000	0.30260
Fe(II)	0.90000 [mg/l]	0.90000	0.03223	B	0.16000 [mg/l]	0.16000	0.01480
Mn	0.00000 [mg/l]	0.00000	0.00000	PO <sub>4</sub>	0.50000 [mg/l]	0.50000	0.01579
H+		0.00002	0.00002	OH-		0.00414	0.00024
Sum C			11.03074	Sum A			10.51318
+ Na		0.00000	0.00000	+ Cl		18.33983	0.51734
<b>Others</b>				<b>Summary</b>			
Temperature	13.00 [°C]	Turbidity	0.00 [NTU]	Fe (total)	0.00 [ppm]	TDS	718.12 [ppm]
pH	7.68	SDI	0.00	Free chlorine	0.00 [ppm]	Conductivity	907.56 [µS/cm]
CO <sub>2</sub>	6.73 [mg/l]	TSS	0.00 [ppm]	H <sub>2</sub> S	0.00 [ppm]	Osmotic pressure	0.47 [bar]
		TOC	2.80 [ppm]			Ionic strength	0.013
<b>Comments</b>							



**LewaPlus**

KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal



2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis

ROTEC (B400 ULP ASD)

3/8

**System parameters**

Water type	Brackish well
Temperature	13.00 [°C]
Recovery	90.00 [%]
Hydraulic recovery	90.00 [%]
Pump discharge pressure	9.54 [bar]
Feed flow	115.00 [m³/h]
Feed flow to stage 1	115.00 [m³/h]
Permeate flow	103.50 [m³/h]
System permeate flow	103.50 [m³/h]

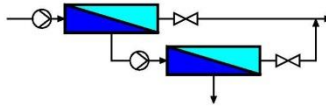
**pH adjustment**

pH	7.50
Chemical	HCl
Dosing (100%)	2.77 [mg/l]

**Membrane parameters**

Default membrane age	3.00 [a]
Average membrane age	3.00 [a]
Flux decline ratio	10.00 [%]
Salt passage increase	10.00 [%/a]
Average permeate flux	23.19 [l/m²/h]
<b>Permeate salinity</b>	11.75 [mg/l]
Permeate conductivity	17.06 [µS/cm]

**Design of pass 1**



**System configuration**

Pass	1 / 1
Number of stages / elements	2 / 120
Permeate blending	No
Permeate recirculation	No
Concentrate recirculation	No
Booster pump	Yes
Stage 2: Booster pressure	5.00 [bar]

**Stage**

	1	2
Element type	RO B400 ULP ASD	RO B400 ULP ASD
Vessels / Elements per vessel	12 / 8	3 / 8
Feed pressure [bar]	9.04	13.10
Concentrate pressure [bar]	8.10	11.75
Permeate pressure [bar]	1.00	1.00
Permeate flux [l/m²/h]	21.94	28.18
Feed flow rate per vessel [m³/h]	9.58	12.22
Concentrate flow rate per vessel [m³/h]	3.05	3.83



**LewaPlus**

KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal



2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis

ROTEC (B400 ULP ASD)

4/8

**Composition and scaling of pass 1**

Composition	Feed	Feed	Feed	Concentrate	Permeate	Permeate	Scaling	Feed water
	Raw water	Treated	Blended					
<b>Ions</b>	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]		
Na	123.800	123.800	123.800	1217.687	2.664	2.664	CaSO <sub>4</sub> [% Sat.]	0.01
Ca	82.600	82.600	82.600	821.236	0.625	0.625	BaSO <sub>4</sub> [% Sat.]	0.15
Mg	14.500	14.500	14.500	144.164	0.110	0.110	SrSO <sub>4</sub> [% Sat.]	0.00
K	8.400	8.400	8.400	79.927	0.534	0.534	SiO <sub>2</sub> [% Sat.]	19.98
Sr	0.540	0.540	0.540	5.369	0.004	0.004	CaF <sub>2</sub> [% Sat.]	0.08
Ba	0.010	0.010	0.010	0.100	0.000	0.000	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	-4.06
NH <sub>4</sub>	1.300	1.300	1.300	12.473	0.069	0.069	LSI	-0.21
Fe(II)	0.900	0.900	0.900	8.970	0.004	0.004	SDSI	-0.08
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>Scaling</b>	<b>Concentrate</b>
Cl	282.640	285.335	285.335	2806.535	4.516	4.516	CaSO <sub>4</sub> [% Sat.]	0.17
SO <sub>4</sub>	0.300	0.300	0.300	2.990	0.001	0.001	BaSO <sub>4</sub> [% Sat.]	2.44
CO <sub>3</sub>	0.486	0.314	0.314	47.545	0.000	0.000	SrSO <sub>4</sub> [% Sat.]	0.07
HCO <sub>3</sub>	183.600	179.317	179.317	1722.795	2.818	2.818	SiO <sub>2</sub> [% Sat.]	134.60
NO <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	CaF <sub>2</sub> [% Sat.]	464.68
F	0.200	0.200	0.200	1.961	0.004	0.004	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	-0.08
SiO <sub>2</sub>	18.180	18.180	18.180	179.082	0.302	0.302	LSI	2.63
B	0.160	0.160	0.160	0.692	0.101	0.101	SDSI	2.33
PO <sub>4</sub>	0.500	0.500	0.500	4.996	0.000	0.000	<b>Scaling</b>	<b>Permeate</b>
CO <sub>2</sub>	6.725	9.941	9.941	9.941	9.941	9.941	LSI	-5.41
TDS	[mg/l]	718.116	716.355	716.355	7056.376	11.752	RI	16.57
pH		7.680	7.500	7.500	8.411	5.739	CCPP	-24.28
Conductivity	[µS/cm]	907.563	909.032	909.032	8217.653	17.056		
Osmotic pressure	[bar]	0.472	0.472	0.472	4.216	0.009		
LSI		-0.023	-0.214	-0.214	2.627	-5.414		



**LewaPlus**  
KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal  
ROTEC (B400 ULP ASD)



2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis

5/8

**Stage details for pass 1**

Composition	Stage 1		Stage 2		
	Concentrate	Permeate	Concentrate	Permeate	
<b>Ions</b>	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	
Na	385.451	1.617	1217.687	5.922	
Ca	258.444	0.378	821.236	1.393	
Mg	45.368	0.066	144.164	0.245	
K	25.760	0.327	79.927	1.178	
Sr	1.690	0.002	5.369	0.009	
Ba	0.031	0.000	0.100	0.000	
NH <sub>4</sub>	4.002	0.042	12.473	0.153	
Fe(II)	2.819	0.002	8.970	0.009	
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	
Cl	888.391	2.739	2806.535	10.050	
SO <sub>4</sub>	0.940	0.001	2.990	0.002	
CO <sub>3</sub>	3.719	0.000	47.545	0.000	
HCO <sub>3</sub>	556.091	1.719	1722.795	6.242	
NO <sub>3</sub>	0.000	0.000	0.000	0.000	
F	0.622	0.002	1.961	0.008	
SiO <sub>2</sub>	56.643	0.182	179.082	0.675	
B	0.337	0.077	0.692	0.175	
PO <sub>4</sub>	1.568	0.000	4.996	0.001	
CO <sub>2</sub>	9.941	9.941	9.941	9.941	
TDS	[mg/l]	2231.873	7.157	7056.376	26.061
pH		7.961	5.526	8.411	6.082
Conductivity	[µS/cm]	2712.562	11.030	8217.653	36.086
Osmotic pressure	[bar]	1.409	0.005	4.216	0.019
LSI		1.209	-6.099	2.627	-4.348



**LewaPlus**  
KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal  
ROTEC (B400 ULP ASD)



2018-03-31 21:18:03 Module Reverse Osmosis

6/8

**Element details for pass 1 (22)**

Stage 1	Age	Recovery	Beta	Permeate Flux	Permeate Flow	Permeate TDS	Concentrate Flow	Concentrate TDS	Feed Flow	Feed TDS
# Element	[a]	[%]		[l/m <sup>2</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]
1 RO B400 ULP ASD	3.0	9.64	1.08	24.85	0.92	3.33	8.66	792.46	9.58	716.36
2 RO B400 ULP ASD	3.0	10.30	1.08	23.97	0.89	3.88	7.77	883.00	8.66	792.46
3 RO B400 ULP ASD	3.0	11.09	1.09	23.17	0.86	4.56	6.91	992.62	7.77	883.00
4 RO B400 ULP ASD	3.0	12.06	1.10	22.39	0.83	5.43	6.07	1128.05	6.91	992.62
5 RO B400 ULP ASD	3.0	13.25	1.11	21.63	0.80	6.71	5.27	1299.28	6.07	1128.05
6 RO B400 ULP ASD	3.0	14.70	1.13	20.82	0.77	8.60	4.49	1521.68	5.27	1299.28
7 RO B400 ULP ASD	3.0	16.47	1.14	19.90	0.74	11.49	3.75	1819.51	4.49	1521.68
8 RO B400 ULP ASD	3.0	18.61	1.17	18.78	0.70	15.98	3.05	2231.87	3.75	1819.51
Stage 2	Age	Recovery	Beta	Permeate Flux	Permeate Flow	Permeate TDS	Concentrate Flow	Concentrate TDS	Feed Flow	Feed TDS
# Element	[a]	[%]		[l/m <sup>2</sup> /h]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]	[m <sup>3</sup> /h]	[mg/l]
1 RO B400 ULP ASD	3.0	10.48	1.09	34.43	1.28	9.66	10.94	2492.09	12.22	2231.87
2 RO B400 ULP ASD	3.0	11.15	1.09	32.78	1.22	11.87	9.72	2803.23	10.94	2492.09
3 RO B400 ULP ASD	3.0	11.92	1.10	31.15	1.16	14.85	8.56	3180.65	9.72	2803.23
4 RO B400 ULP ASD	3.0	12.81	1.11	29.48	1.10	19.01	7.46	3645.22	8.56	3180.65
5 RO B400 ULP ASD	3.0	13.81	1.12	27.70	1.03	25.03	6.43	4225.10	7.46	3645.22
6 RO B400 ULP ASD	3.0	14.87	1.13	25.72	0.96	34.04	5.48	4957.14	6.43	4225.10
7 RO B400 ULP ASD	3.0	15.91	1.14	23.42	0.87	47.58	4.60	5886.05	5.48	4957.14
8 RO B400 ULP ASD	3.0	16.75	1.15	20.74	0.77	69.78	3.83	7056.38	4.60	5886.05

**LewaPlus**  
KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal

7/8

---

2018-03-31 21:18:03    Module Reverse Osmosis    ROTEC (B400 ULP ASD)

**Overview of system design**

Recovery rates		[%]
<b>Pass 1</b>	Recovery	90.00
	Hydraulic recovery	90.00
<b>System</b>	Recovery	90.00

Pass 1					
Feed pressure		9.04	[bar]		
Concentrate pressure		11.75	[bar]		
	Flow	TDS	Conductivity	pH	
	Position	[m³/h]	[mg/l]	[µS/cm]	[-]
Feed	F1.1	115.00	716.36	909.03	7.50
Permeate	P1.1	103.50	11.75	17.06	5.74
Concentrate	C1.1	11.50	7056.38	8217.65	8.41

Scaling Pass 1		[% Sat.]	
Concentrate	CaSO <sub>4</sub>		0.17
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	-0.08	BaSO <sub>4</sub>	2.44
LSI	2.63	SrSO <sub>4</sub>	0.07
SDSI	2.33	SiO <sub>2</sub>	134.60
		CaF <sub>2</sub>	464.68

**List of element types**

Type	Count
RO B400 ULP ASD	120

**LewaPlus**  
KWR water / 2018-02-21 / groundwater desal

8/8

---

2018-03-31 21:18:03    Module Reverse Osmosis (B30-MD53-R028)    ROTEC (B400 ULP ASD)

**Disclaimer**

This LewaPlus software program is used for the dimensioning and calculation of Ion Exchange resin and Reverse Osmosis (hereafter RO) membrane systems applied in water treatment applications.

Within this program, Lanxess makes available to the system designer certain know-how concerning the design and operation of specific Lanxess engineered ion exchange products (in unique system configurations such as fluidized bed, lift bed, multistep- and rinse bed technologies) as well as other existing ion exchange technologies. In addition, Lanxess makes available to the system designer certain information about the design and operation of RO membrane systems, including scaling calculations, chemical and energy costs projections, and capital and operating cost projections based on the pretreatment of the feed water, and design decisions made by the designer.

This know-how is given in good faith but without warranty. Our advice does not release you from the obligation to verify the information currently provided - especially that contained in our safety data and technical information sheets - and to test our products as to their suitability for the intended processes and uses. The application, use and processing of our products and the products manufactured by you on the basis of our technical advice are beyond our control and, therefore, entirely your own responsibility.

Our products are sold in accordance with the current version of our General Conditions of Sale and Delivery.





visit [www.genesysro.com](http://www.genesysro.com)

**GENESYS**  
INTERNATIONAL

# MM4 Report

### User & Plant Details

Project Name /  
Reference  
Contact Name  
Company  
Date  
Report Author  
Contact Number  
Email Address

### Water and Membrane Details

KWR	Water Type	Brackish Water
	Membrane Manufacturer	Brackish Water
	Membrane Type	Polyamide
	Average Salt Passage	0.5 %

### Recommended Product GENESYS LF

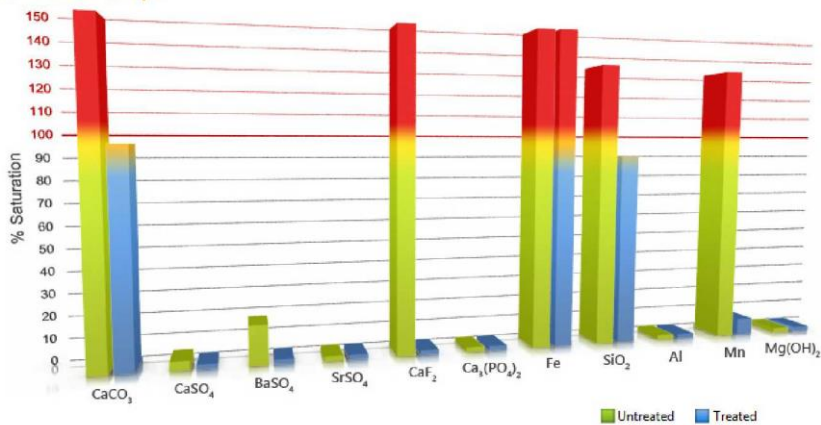
#### Dosing Data

For Scale Control - Feed	1.62 mg/l
For Iron Control - Feed	84.94 mg/l
Total Dosage	86.56 mg/l
Dose In Concentrate	865.58 mg/l
Set Dosing Pump To	7954.39 ml/hr
Daily Requirement	190.91 l/day

#### Acid Dosing

pH Raw Water	7.50
pH Feed Water	7.45
HCl Acid Dosing	2.25 mg/l
Daily Requirement	5.59 l/day

### Saturation Graph



### Scaling Indices

	CaCO <sub>3</sub>	CaSO <sub>4</sub>	BaSO <sub>4</sub>	SrSO <sub>4</sub>	CaF <sub>2</sub>	Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Fe(OH) <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al(OH) <sub>3</sub>	Mn(OH) <sub>2</sub>	Mg(OH) <sub>2</sub>
Conc. Untreated	186.79	0.10	17.79	0.06	170.59	0.00	8955	134.05	0.00	132.67	0.47
Conc. Treat.	96.62	0.04	0.36	0.01	1.22	0.00	597.00	89.37	0.00	8.84	0.01



visit [www.genesysro.com](http://www.genesysro.com)GENESYS  
INTERNATIONAL

# MM4 Report

## Water Analysis Data

Component	Feed Water mg/l	Concentrate mg/l
Ca <sup>2+</sup>	82.60	821.87
Mg <sup>2+</sup>	14.50	144.28
Na <sup>+</sup>	123.80	1231.81
K <sup>+</sup>	5.40	53.73
Ba <sup>2+</sup>	0.10	1.00
Sr <sup>2+</sup>	0.54	5.37
Fe <sup>3+</sup>	0.90	8.96
Al <sup>3+</sup>	0.00	0.00
Mn <sup>2+</sup>	0.04	0.40
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.30	2.99
Cl <sup>-</sup>	265.07	2637.41
F <sup>-</sup>	0.20	1.99
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	183.24	1823.25
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	0.29	2.93
CO <sub>2</sub>	8.76	8.76
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.50	4.98
SiO <sub>2</sub>	18.20	181.09
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0.50	4.98

## Operation Details

Permeate Flow	110.0 m <sup>3</sup> /hr
Recovery Rate	90.0 %
Feed Flow	122.2 m <sup>3</sup> /hr
Concentration Factor	10.00
Concentrate Flow	12.2 m <sup>3</sup> /hr
pH Raw Water	7.5
pH Feed Water	7.5
Operating Pressure	15.0 Bar
Operating Temperature	13.0 °C
Operating Time	24.0 hr/day

## Water Indices

Index	Feed Water	Concentrate
pH	7.45	8.31
TDS	696.39	6936.91
Ionic Strength (I)	0.01	0.14
LSI	-0.25	2.60
Alkalinity ppm CaCO <sub>3</sub>	151.94	1502.82

## Scaling Indices Feed

Scalant Type	Feed Water Untreated (%)	Feed Water Treated (%)
CaCO <sub>3</sub>	91.77	47.47
CaSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
BaSO <sub>4</sub>	0.86	0.02
SrSO <sub>4</sub>	0.00	0.00
CaF <sub>2</sub>	0.49	0.00
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Fe(OH) <sub>3</sub>	674.41	44.96
SiO <sub>2</sub>	17.69	11.79
Al(OH) <sub>3</sub>	0.00	0.00
Mn(OH) <sub>2</sub>	9.99	0.67
Mg(OH) <sub>2</sub>	0.00	0.00

## Scaling Indices Concentrate

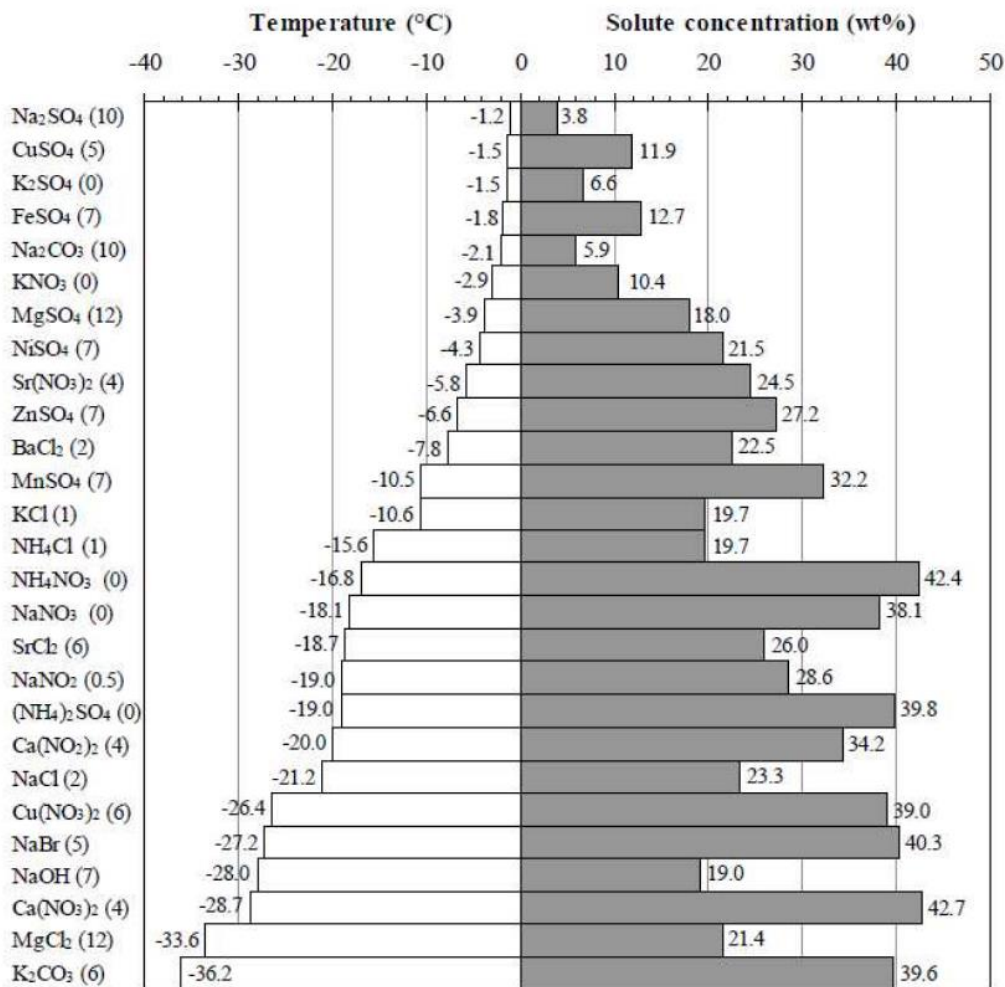
Scalant Type	Concentrate Untreated (%)	Concentrate Treated (%)
CaCO <sub>3</sub>	186.79	96.62
CaSO <sub>4</sub>	0.10	0.04
BaSO <sub>4</sub>	17.79	0.36
SrSO <sub>4</sub>	0.06	0.01
CaF <sub>2</sub>	170.59	1.22
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	0.00	0.00
Fe(OH) <sub>3</sub>	8955	597.00
SiO <sub>2</sub>	134.05	89.37
Al(OH) <sub>3</sub>	0.00	0.00
Mn(OH) <sub>2</sub>	132.67	8.84
Mg(OH) <sub>2</sub>	0.47	0.01

The data used in Genesys Membrane Master 4 is provided in good faith.  
The system operation is outside our control and we accept no product liability for consequential results

MM4 Software Version: v1.36.6 (DLL v1.11.22(D))  
Report generated at 21:42:07 on 31/03/2018



## Bijlage VII: Eutectische temperatuur en concentratie van verschillende zouten



## Bijlage VIII Technology readiness level (TRL) tabel Europese definitie

Technology readiness level	Omschrijving
TRL 1	basic principles observed
TRL 2	technology concept formulated
TRL 3	experimental proof of concept
TRL 4	technology validated in lab
TRL 5	technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 6	technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)
TRL 7	system prototype demonstration in operational environment
TRL 8	system complete and qualified
TRL 9	actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)