

Scaling Problemen na omgekeerde osmose

Door

L.A. Dekker

Bachelor Thesis

Begeleider: Ir. Amir Haidari

Tweede begeleider: Dr. Ir. Bas Heijman

Inhoudsopgave

Inleiding.....	1
1. Theorie	2
1.1 Membraan processen.....	2
1.2 Omgekeerde osmose.....	2
1.2.1 Voorbehandeling.....	3
1.2.2 RO unit.....	3
.....	4
1.2.3 Nabehandeling	4
1.2.4 Remineralisatie.....	5
1.3 Doelstelling.....	5
2 Methodologie	6
2.1 Hatenboer Water BV opstelling	6
2.2 Proefopstelling TU Delft	6
2.2.1 Ion Chromatograaf machine (IC).....	7
3 Resultaten en discussie	8
3.1 Experiment 1: Samples met fosfaat	9
3.2 Experiment 2 en 3: Samples met humuszuren	10
3.2.1 Experiment 2: Humuszuren (4 mg/l).....	10
3.2.2 Experiment 3: Humuszuren (1 mg/l).....	11
4 Conclusie & aanbevelingen	13
4.1 Conclusie	13
4.2 Aanbevelingen.....	13
Bibliografie	14
Bijlage 1	15

Inleiding

Een tekort aan zoet water zal in de toekomst een groot probleem zijn. Daarom zijn er diverse technologieën, die het mogelijk maken om zout of brak water naar zoet water om te zetten. Eén van deze technologieën is omgekeerde osmose (Reverse Osmosis (RO)). Aan deze technologie kleven echter nog nadelen. Een van deze nadelen is de kalkaanslag (scaling) die bij het product van dit proces sneller optreedt dan bij water geproduceerd met conventionele technieken. In dit rapport wordt geprobeerd een oplossing voor dit probleem te vinden.

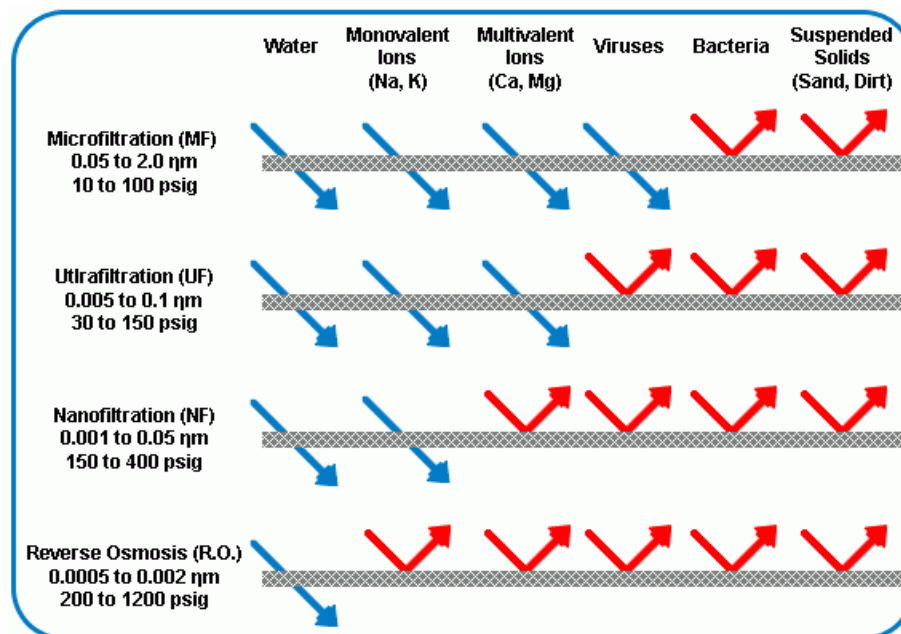
Het doel van dit rapport is om beter te begrijpen waarom er een verschil in scaling is tussen water geproduceerd met RO -en kraanwater. Er zal worden onderzocht of dit gerelateerd is aan het tekort aan fosfaten en humuszuren in RO water. Dit zal gedaan worden door een experimentopstelling te maken. Het RO water, met en zonder de fosfaten en/of humuszuren, zal gedurende een week onderzocht worden op de snelheid en hoeveelheid van scaling.

Het eerste hoofdstuk gaat theoretisch in op de werking van Reverse Osmosis. In hoofdstuk 2 zal uitgelegd worden hoe het experiment in zijn werk zal gaan. In hoofdstuk 3 zullen de resultaten van dit experiment te zien zijn en bediscussieerd worden. De conclusie van het experiment en de daarbij behorende aanbevelingen zullen in het vierde hoofdstuk getrokken worden.

1. Theorie

1.1 Membraan processen

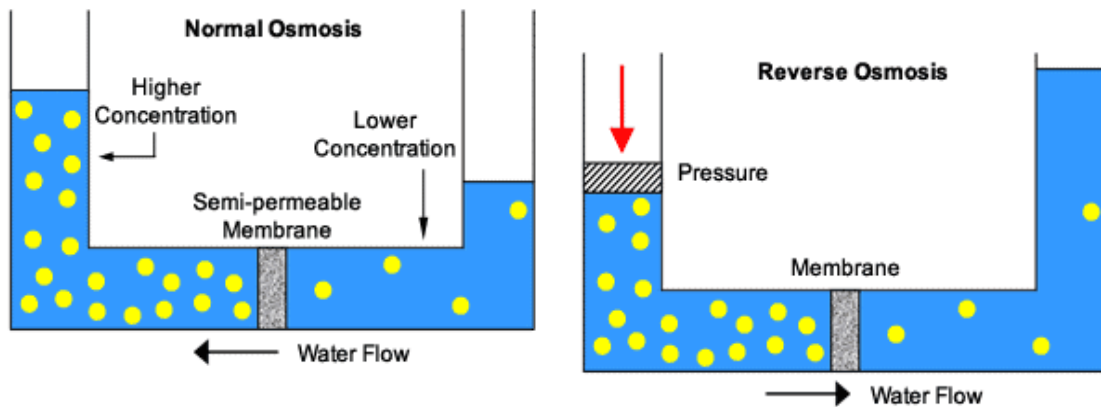
Membraan systemen scheiden het zout uit een oplossing. Ze worden geclassificeerd in vier categorieën, gebaseerd op hun drijvende kracht (B. VanDer Bruggen, 2003): Elektrische krachten, drukkrachten, scheiding door concentratieverschillen en scheiding door hitte gradiënten. Een door druk gedreven membraan wordt vaak gebruikt in drink -en afvalwaterbehandeling. Vier types door druk gedreven membranen zijn: Microfiltratie (MF), Ultrafiltratie (UF), Nanofiltratie (NF) en omgekeerde osmose (RO). Het verschil tussen deze membraanprocessen is grotendeels gebaseerd op de grootte en type van de deeltjes die niet kunnen passeren. MF en UF laten bijvoorbeeld geen fijnstof en micro-organismen door. NF verwijdert alle opgeloste deeltjes, behalve monovalente ionen. RO verwijdert wel veel monovalente ionen, zoals Natrium (Na^+) en kalium (K^+) (Alspach, 2007). Water geproduceerd door RO kan dus puur water genoemd worden. Figuur 1 laat zien welk membraan, welk deeltje doorlaat.



Figuur 1 Filtratie eigenschappen van de verschillende membranen (A. Pabby, 2008)

1.2 Omgekeerde osmose

Osmose doet zich voor, als een oplossing een semipermeabele laag passeert. De richting van deze stroming is vanaf de kant met een lage concentratie in de oplossing naar de kant met de hoge concentratie. De druk die nodig is om osmotisch evenwicht te bereiken noemt men de osmotische druk (Lodish H, 2000). Omgekeerde osmose is het omgekeerde van dit proces. Door middel van druk wordt de vloeistof, met een hoge concentratie aan ionen, door de semipermeabele laag geduwd. Alleen het water passeert deze laag. Deze techniek produceert op deze manier nagenoeg puur water met een zeer lage concentratie aan ionen. Het proces van Reverse Osmosis bestaat meestal uit een voorbehandeling, de omgekeerde osmose zelf en de nabehandeling.



Figuur 2 Principe van osmose en reverse osmose

1.2.1 Voorbehandeling

De voorbehandeling is nodig om het water gereed te maken voor het passeren door het membraan in de RO-module. Alle organische, colloïdale en biologische materie wordt verwijderd. Zo wordt de hoogste efficiëntie bereikt en is de levensduur van de RO-elementen langer (N. P. Isaias, 2001).

1.2.2 RO unit

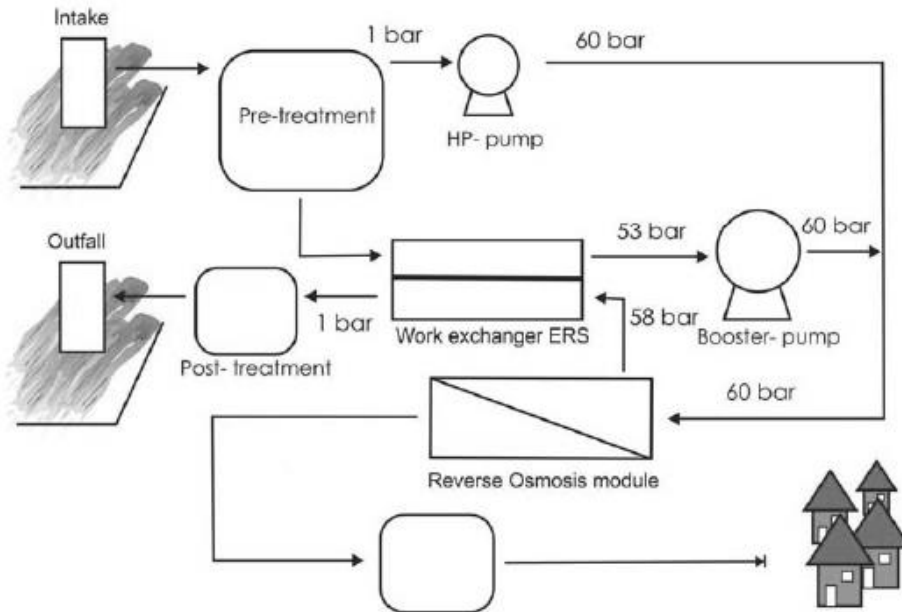
Hier vindt het daadwerkelijke proces van omgekeerde osmose plaats. Een stroom water met debiet Q_f met concentratie C_f stroomt de module binnen. Dit water wordt door het membraan geperst. Dit product noemt men permeaat en heeft debiet Q_p en concentratie C_p . Het water, met het substraat, dat niet het membraan passeert wordt gescheiden afgevoerd. Dit water noemt men concentraat, met debiet Q_c en concentratie C_c . De concentratie in het permeaat C_p is significant minder dan in concentratie C_f , hoewel er weinig water door het membraan stroomt (10 tot 15 procent).

De stroombalans is:

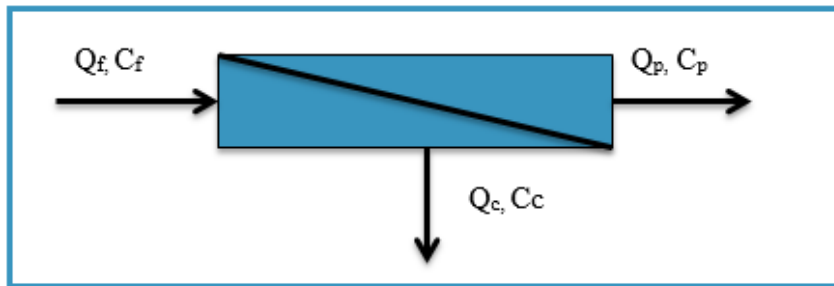
$$Q_f = Q_c + Q_p \quad (\text{Vergelijking 1.1})$$

De massabalans is:

$$Q_f \cdot C_f = Q_c \cdot C_c + Q_p \cdot C_p \quad (\text{Vergelijking 1.2})$$



Figuur 3 Vereenvoudigd schema van Reverse Osmosis (C. Fritzmann, 2007)



Figuur 4 Reverse Osmosis module (Anwari, 2015)

1.2.3 Nabehandeling

Het permeaat heeft een erg lage concentratie aan deeltjes en mag puur water genoemd worden. Aan standaard drinkwater zitten echter eisen, opgesteld door World Health Organization. Ook blijkt dat dit pure water corrosie in de transportpijpen en instrumenten veroorzaakt. Daarom is een remineralisatie proces nodig. Om te voldoen aan de vereisten van drinkwater, moet een bepaalde hoeveelheid calcium toegevoegd worden. Deze verschillen per land en per toepassing van het water. De vereisten bij de marine zijn bijvoorbeeld niet strikt, terwijl in Nederland in standaard drinkwater altijd 1-1,5 mmol/l Ca^{2+} ionen zit (Kožíšek, 2001).

Tijdens het remineralisatie proces wordt het water besmet door de materialen die hiervoor gebruikt worden. Hierdoor komen er bacteriën en andere onzuiverheden in dit water, die een negatief effect hebben op bijvoorbeeld de transportleidingen. Daarom is er een desinfectie nodig. Het water wordt na de remineralisatie gedesinfecteerd met Uv-straling (P. J. de Moel, 2006).

Corrosiviteit van water wordt vaak gemeten aan de hand van de Langelier Saturation Index (LSI) (Lut, 2005). Als de LSI positief is, zal er afzetting van calciumcarbonaat (scaling) plaatsvinden. Als de LSI gelijk is aan nul, is het water niet agressief en zal er geen scaling plaatsvinden. Als de LSI negatief is, is het corrosief. De scaling is niet per se een negatief effect. De afzetting kan werken als een bescherm laag van pijpleidingen. Daarom heeft een LSI met een waarde iets hoger dan 0 de voorkeur (P. J. de Moel, 2006).

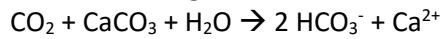
De LSI wordt gedefinieerd als:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_s$$

(Vergelijking 1.3)

1.2.4 Remineralisatie

Er zijn verschillende remineralisatie processen. De meest gebruikte en meest effectieve methode is de oplossing van calciumcarbonaat met koolstofdioxide in water. Om een de vereiste hoeveelheid calciumionen te voldoen, wordt het water onder toevoeging van CO₂ door een kalksteenfilter geleid. De chemische reactie in het permeaat dat de filter passeert is als volgt:



CO₂ wordt toegevoegd om een hoger concentratie van Ca²⁺ ionen te verkrijgen. Het onderzoek van Sherzad Anwari laat zien dat de richting van stroom water niet relevant is voor het effect in het remineralisatie proces (Anwari, 2015).

1.3 Doelstelling

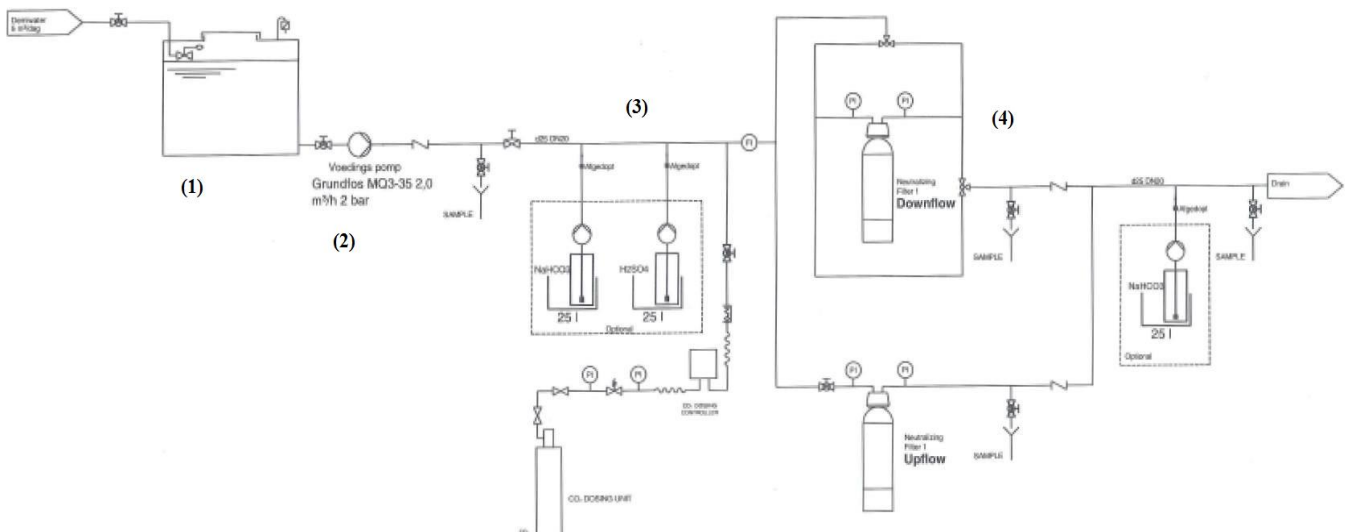
Water wat verkregen wordt met omgekeerde osmose laat een snellere scaling zien wanneer het verhit wordt dan water verkregen met conventionele technieken met dezelfde Ca²⁺ concentratie. Daarom zijn machines die dit water gebruiken gevoeliger voor onderhoud en gebruiken ze meer energie.

In dit experiment wordt onderzocht waardoor deze vroege scaling plaatsvindt. Verwacht wordt dat de oorzaak hiervan ligt in de afwezigheid van kalk remmende stoffen als humuszuren en fosfaten. Daarom zullen in het experiment deze stoffen aan het permeaat toegevoegd worden.

2 Methodologie

2.1 Hatendoer Water BV opstelling

Om de scaling problemen van boilers en andere verwarmingsmachines te onderzoeken heeft Hatendoer Water BV een proefopstelling gemaakt. Deze opstelling produceert geremineeraliseerd water afkomstig uit het RO permeaat. De schematische weergave van deze opstelling is te zien in figuur 5.



Figuur 5 Schematische weergave proefopstelling Hatendoer Water BV (Ruijter)

Het permeaat stroomt in een tank (1) met een constante waterhoogte. Met een ventiel (2) wordt het debiet constant gehouden, wat erg belangrijk is in dit experiment. Het water wordt in een demineralisatietank (3) gepompt. Hierin worden substanties, zoals koolstofdioxide, bicarbonaat en zwavelzuur toegevoegd. De richting van het water kan worden gekozen (4), waarna de monsters genomen worden. Hatendoer Water BV zorgt voor monsters voor het onderzoek en levert deze in flessen van 2,5 liter. Hierbij leveren ze hun eigen metingen per monster, wat betreft pH, hardheid en temperatuur.

2.2 Proefopstelling TU Delft

De flessen van 2,5 liter worden verdeeld over twee flessen van 1 liter. Aan één fles worden geen humuszuren/fosfaten toegevoegd, aan de andere fles wel. Aan dit water wordt zand toegevoegd, wat gedesinfecteerd is met ethanol en gedroogd is in de oven. Dit zand stelt de verwarmingselementen voor van bijv. de boiler en versnelt de neerslag van calciumcarbonaat (Anwari, 2015). Het water wordt verhit tot 90 graden Celsius. Ook wordt een magneet toegevoegd die constant roteert in de fles. Zo is de watertemperatuur in de fles homogeen en wordt de turbulentie die normaal in een verwarmingsmachine voorkomt gemodelleerd. De fles wordt afgesloten met een systeem die weergegeven wordt in figuur 6. De thermometer wordt gebruikt om te meten of de temperatuur constant blijft. De injectiespuit wordt gebruikt om monsters te nemen. Deze injectiespuit is verbonden met de fles door middel van een kraantje. Deze voorkomt evaporatie van CO₂ gedurende het experiment. Om de fles wordt een dubbele laag aluminiumfolie gewikkeld als isolatie om de temperatuur constant te houden.

Na de start van de proef wordt de eerste 2,5 uur elk half uur en aan het eind van de dag een monster genomen. De daaropvolgende dagen worden er elke dag 4 monsters genomen. De tijdperiode vanaf de start tot het einde van de proef bedraagt een week. Hierin worden 26 monsters per fles genomen.

De vials worden gelabeld en zijn klaar om gemeten te worden met de ion chromatograaf machine (IC).

2.2.1 Ion Chromatograaf machine (IC)

Na de start van de proef wordt de eerste 2,5 uur elk half uur en aan het eind van de dag een monster genomen. De daaropvolgende dagen worden er elke dag 4 monsters genomen. De tijdperiode vanaf de start tot het einde van de proef bedraagt een week. Hierin worden 26 monsters per fles genomen.

De vials worden gelabeld en zijn klaar om gemeten te worden met de ion chromatografie machine (IC).

Het Waterlab van de TU Delft heeft een Metrohm IC systeem, die bestaat uit een auto-sampler, een anionensysteem, een kationensysteem een computer met MagIC Net software. IC wordt gebruikt om anorganische en organische anionen en kationen te scheiden en te meten (R.M. Cassidy and S. Elchuk, 1982). Het meten van anionen en kationen kan onafhankelijk van elkaar gedaan worden met verschillende machines. In dit onderzoek is alleen de kationen machine nodig om de Ca^{2+} concentraties te meten in de vials. De IC scheidt de ionen op basis van hun samenhang. Een HPLC pomp drukt het eluent onder hoge druk door de kolom. Aan het eind van de kolom bevindt zich een conductiviteit detector die het signaal, afgegeven door de ionen, detecteert. Elke piek in dit signaal geeft een bepaalde concentratie weer van het desbetreffende ion, in dit geval calcium.

De auto-sampler is in staat om 56 monsters per keer te meten. Een oplossing van 3 mmol salpeterzuur wordt gebruikt om tussen elke meting de kolom te reinigen. Om het systeem te kalibreren en de metingen van de IC te controleren zijn er bekende concentraties nodig. Deze worden 'standaarden' genoemd. In dit onderzoek worden standaarden gebruikt met als concentratie Ca^{2+} : 1, 10 en 50 mg/l. Verder wordt er na elke reeks monsters een zogenaamde 'blanco' gebruikt. Een blanco is een vial met ultra puur water (UPW).. Deze worden gebruikt als extra controle en om het systeem extra te reinigen.



Figuur 6 TU Delft Proefopstelling

3 Resultaten en discussie

In dit hoofdstuk zullen de resultaten verkregen met de Ion Chromatograaf gerapporteerd worden. Per experiment zal een grafiek gepresenteerd worden met hierin de verschillende soorten water. Verder zal er per experiment de hoeveelheid scaling per soort water na 72 uur in een kolomgrafiek gegeven worden.

Het geleverde water van Hatenboer heeft verschillende CO₂- concentraties. Hierdoor heeft elk monster een andere calciumconcentratie. De eerste term in de naam van het monster is het debiet door de calciumcarbonaatkolom, wat voor elk monster hetzelfde is, nl. 310 l/h. De tweede term is de CO₂ –dosering. Er zijn drie verschillende doseringen, nl. 7,2 l/uur, 9,6 l/uur en 12,0 l/uur. De laatste term in de naam is de toevoeging (fosfaat (P) of humuszuren (ha)) en de hoeveelheid (0 mg/l, 1 mg/l of 4 mg/l). Dus wanneer Q310_C7,2_P1 genoemd wordt, wordt er gesproken over het monster gemaakt met een debiet van 310 l/h, met een CO₂ –dosering van 7,2 l/uur, waar tijdens het experiment 1 mg/l fosfaat aan toegevoegd is.

In de eerste paragraaf zullen de resultaten van de soorten water, behandeld met fosfaat (1mg/l) te zien zijn. In de tweede paragraaf zullen de resultaten van de soorten water behandeld met humuszuren (respectievelijk 4 mg/l en 1 mg/l) te zien zijn.

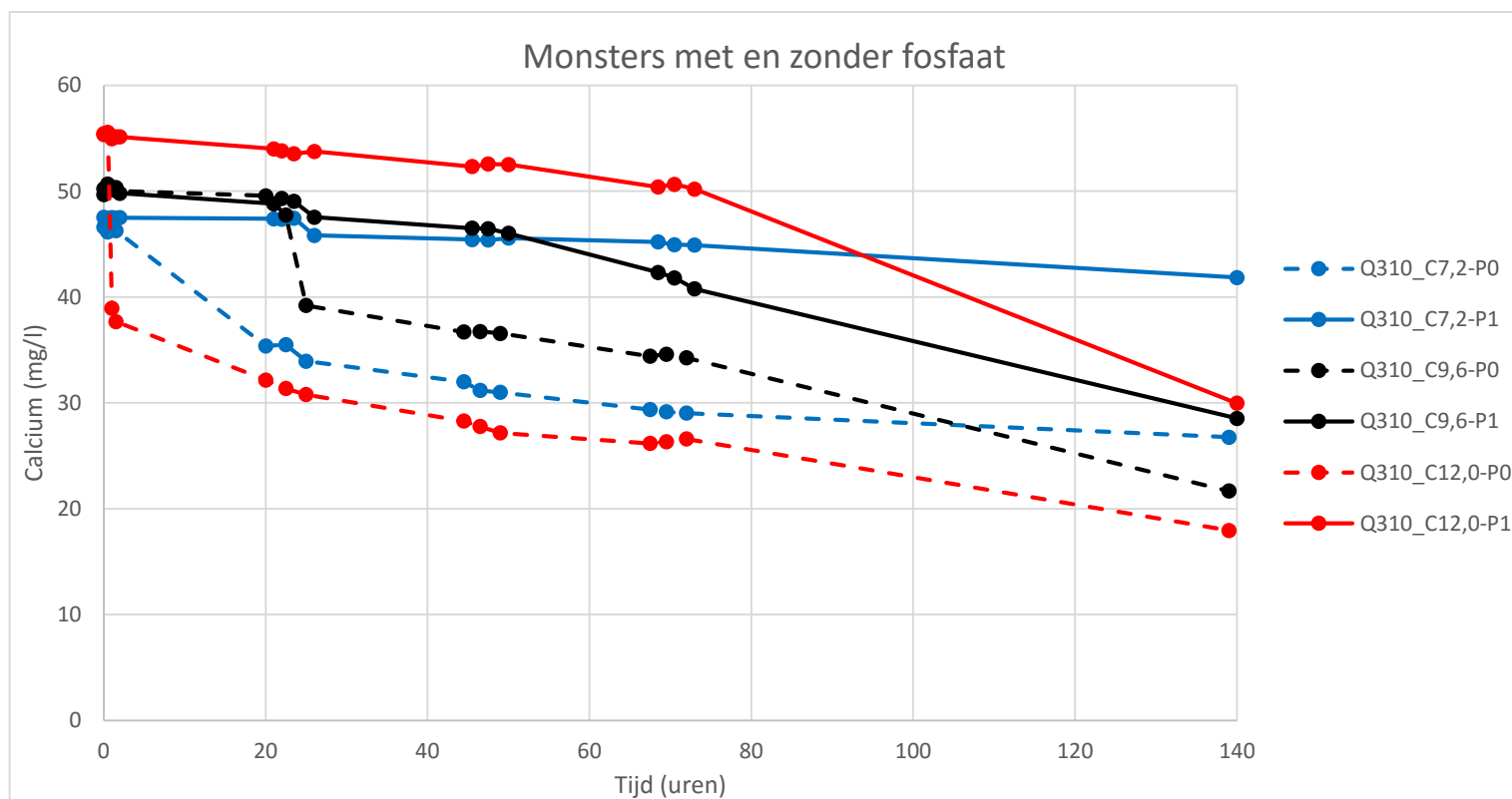
Tabel 1 laat de gemeten resultaten zien, gemaakt door Hatenboer-water direct nadat zij de monsters genomen hadden. Hoewel in elk experiment hetzelfde debiet en CO₂ –dosering is toegepast, zijn de gemeten waarden niet gelijk aan elkaar. Dit komt door de onnauwkeurigheden van de meetinstrumenten tijdens het monsters nemen of tijdens het meten.

	Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
	pH	EC (µs/cm)	pH	EC (µs/cm)	pH	EC (µs/cm)
Q310_C7,2	7,21	205	7,24	190	6,97	196
Q310_C9,6	7,11	218	7,16	212	7,07	207
Q310_C12,0	7,06	240	7,14	237	6,83	245

Tabel 1 Gegevens Hatenboer

3.1 Experiment 1: Samples met fosfaat

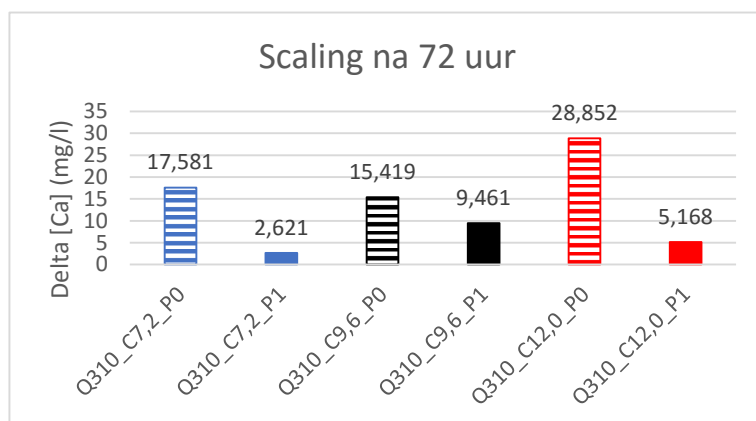
In het eerste experiment wordt 1 mg/l natriumtrifosfaat (Na_3PO_4) toegevoegd. Dit betekent een toevoeging van 0,58 mg/l fosfaat. Van de flessen zonder fosfaat zijn 13 monsters genomen en van de flessen met fosfaat zijn 15 monsters genomen verspreid over één week. In het weekend zullen geen monsters genomen worden. Dit betekent dat de grafiek vanaf 72 uur tot 140 uur een lineaire scalingsverloop laat zien, terwijl dit in werkelijkheid anders kan verlopen.



Figuur 7 Monsters met en zonder fosfaat

Allereerst kan uit figuur 7 afgeleid worden, dat elk water een verschillende beginconcentratie calcium heeft. Hoe hoger de CO_2 -dosering, hoe hoger de calciumconcentratie. Zoals in tabel 1 gezien kan worden, geldt ook voor de elektrische conductiviteit (EC): hoe hoger de CO_2 -dosering, hoe hoger de EC en dus de calciumconcentratie. Deze resultaten komen dus overeen.

Ook kan uit figuur 7 afgeleid worden, dat er in alle flessen zonder fosfaat snelle scaling plaatsvindt binnen 25 uur. Dit is tegenstelling tot de flessen met fosfaat waarbij de scaling geleidelijk gaat. Wel vindt de scaling in elk soort water volgens een ander verloop plaats en treedt de snelle scaling op verschillende momenten op. Uit de grafiek blijkt dan ook dat scaling een plots fenomeen is en min of meer random plaatsvindt. Over het proces dat aanzet tot scaling is nog erg weinig bekend.



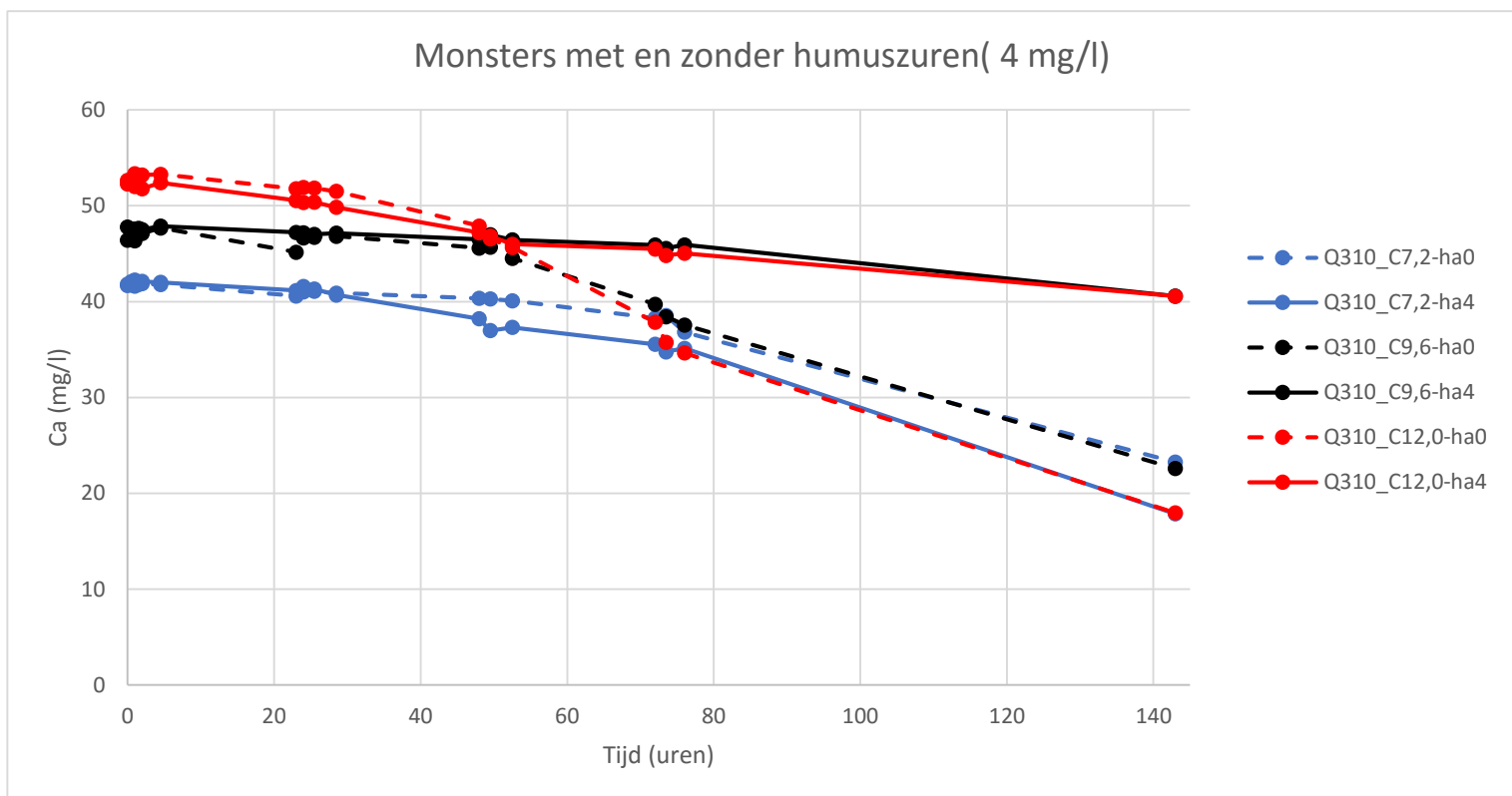
Figuur 8 Scaling na 72 uur

De eindconcentraties van Q310_C9,6_P0 en Q310_C12,0_P0 komen min of meer overeen. Q310_C7,2_P0 is echter veel hoger. Dit verschil kan liggen in de lage CO₂ –dosering van dit soort water. Uit de andere experimenten zal telkens blijken dat dit soort water afwijkend gedrag vertoont. Verder blijkt uit figuur 8, dat er na 72 uur in de flessen water met toevoeging van fosfaat meer scaling is plaatsgevonden dan in de flessen water zonder toevoeging. Het verschil is tussen Q310_C7,2_P0 en Q310_C7,2_P1 bijna 15 mg/l en tussen Q310_C12,0_P0 en Q310_C12,0_P1 zelfs meer dan 23 mg/l na 72 uur.

3.2 Experiment 2 en 3: Samples met humuszuren

3.2.1 Experiment 2: Humuszuren (4 mg/l)

In het tweede experiment wordt 4 mg/l humuszuren toegevoegd. Van de flessen zonder en met humuszuren zijn 16 monsters genomen, verspreidt over één week. In het weekend zullen geen monsters genomen worden. Dit betekent dat de grafiek vanaf 72 uur tot 143 uur een lineaire scalingsverloop laat zien, terwijl dit in werkelijkheid anders kan verlopen.



Figuur 9 Monsters met en zonder humuszuren (4 mg/l)

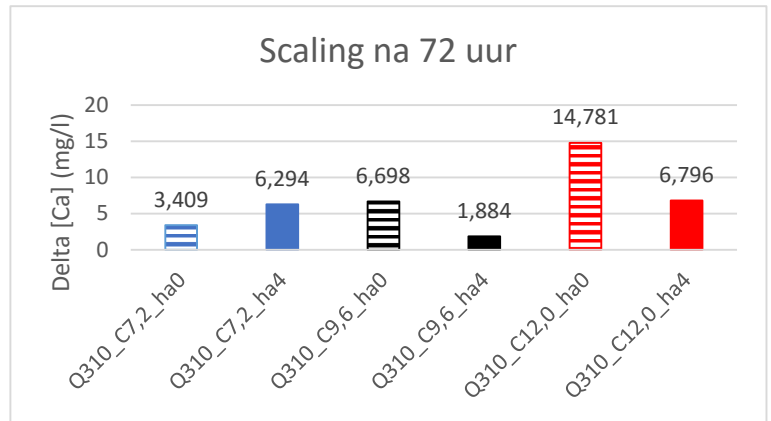
Als eerste kan ook uit figuur 9 afgeleid worden, dat een hogere CO₂ –dosering leidt tot een hoger calciumconcentratie. Ook dit komt overeen met de EC uit tabel in van de verschillende monsters. Als tweede is te zien dat de snelle scaling bij Q310_C7,2_P0 na 72 uur plaatsvindt, terwijl deze bij Q310_C9,6_P0 en Q310_C012,0_P0 na 52,5 uur plaatsvindt. Zoals eerder vermeld is, kan het tijdstip van scaling moeilijk voorspeld worden en kan deze plots plaatsvinden.

Vanaf 0 tot 52,5 uur verloopt de scaling in de soorten zonder toevoeging en met toevoeging nagenoeg hetzelfde. Scaling in de soorten Q310_C9,6_P1 en Q310_C12,0_P1 verlopen over het hele experiment gezien hetzelfde. Q310_C7,2_P1 wijkt daarentegen weer af en heeft een eindconcentratie na 143 uur die zelfs onder de eindconcentraties ligt van de soorten zonder toevoeging. Alle drie soorten water zonder toevoeging hebben min of meer eenzelfde eindconcentratie na 143 uur. Ook blijkt uit figuur 9 dat het soort water met de laagste CO₂-dosering weer afwijkend gedrag vertoont.

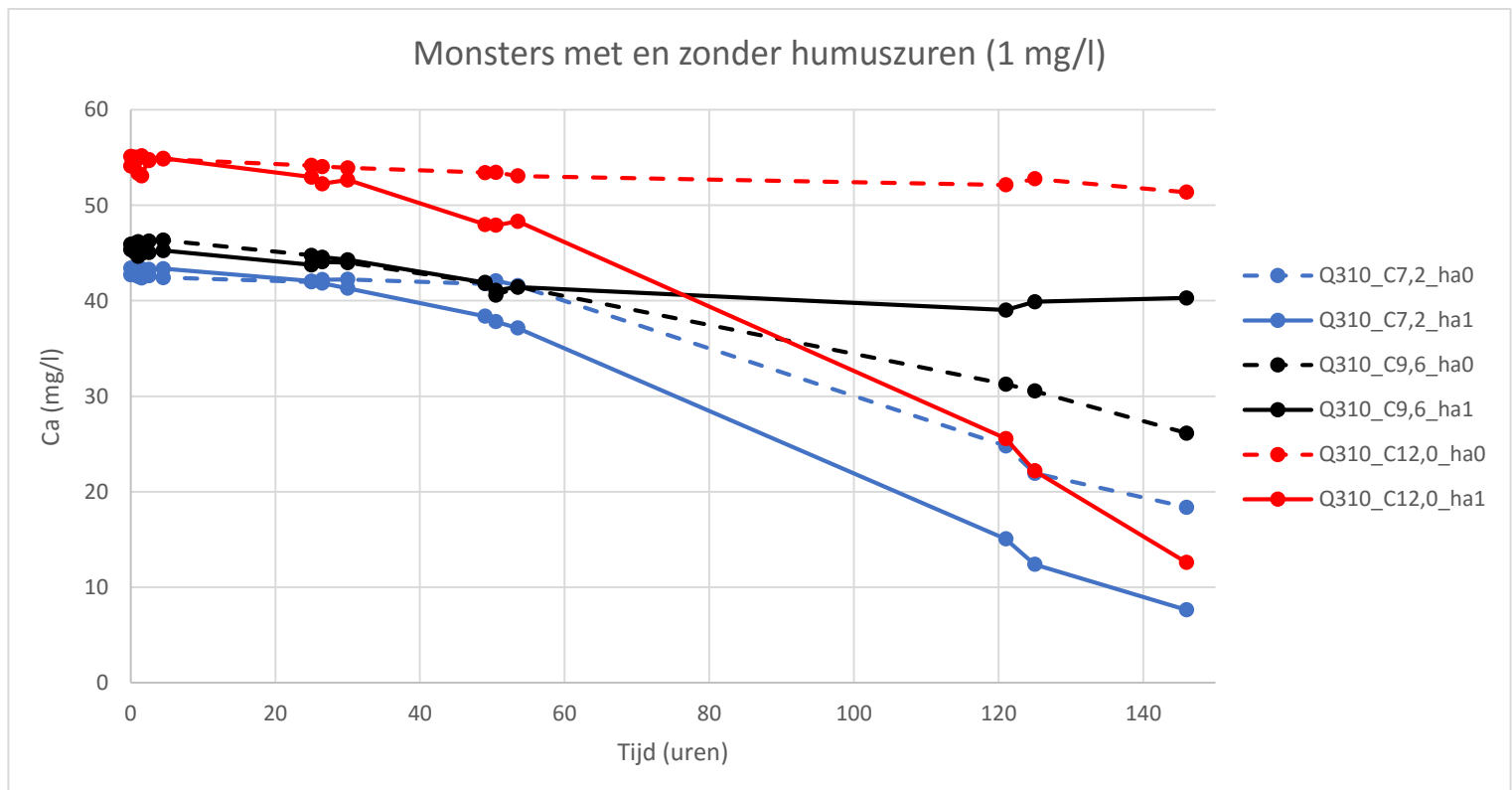
Na 72 uur blijkt wel dat de flessen met toevoeging van humuszuren minder scaling laten zien, wat betreft soorten Q310_C9,6 en Q310_C12,0 dan de soorten zonder toevoeging van humuszuren. Deze verschillen zijn echter niet groot. Het grootste verschil is te zien bij Q310_C12,0 en bedraagt nog geen 8 mg/l.

3.2.2 Experiment 3: Humuszuren (1 mg/l)

In het derde experiment wordt 1 mg/l humuszuren toegevoegd. Van de flessen zonder en met humuszuren zijn 14 monsters genomen, verspreid over één week. Een verschil met de vorige experimenten is, dat in plaats van op maandag, het experiment op dinsdag is gestart. Hierdoor valt het weekend, waarin niet gemeten wordt, op een ander moment in het proces. Zo kan gezien worden, wat er gebeurt in de periode vanaf 121 uur.



Figuur 10 Scaling na 72 uur



Figuur 11 Monsters met en zonder humuszuren (1 mg/l)

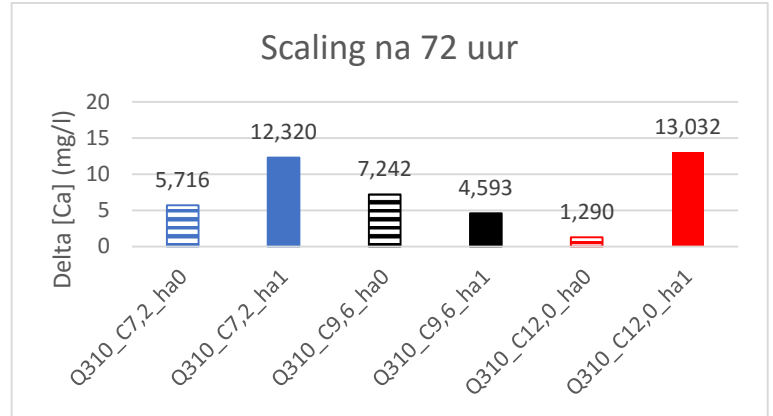
Ook uit figuur 11 kan afgeleid worden, dat een hogere CO₂-dosering leidt tot een hoger calciumconcentratie. Ook dit komt weer overeen met de EC van de verschillende soorten water uit tabel 1.

Bij elk soort water vindt geleidelijke scaling plaats. Vanaf 53,5 uur lijkt deze scaling sneller te gaan, uitgezonderd de soorten Q310_C9,6_ha1 en Q310_C12,0_ha0. Dit hoeft echter niet zo te zijn, aangezien de scaling in deze tijd ook plots kan hebben plaatsgevonden. Wel is ook hier afwijkend gedrag te zien in de soort met de laagste CO₂-dosering. Wel vertoont Q310_C12,0_ha1 hetzelfde gedrag als Q310_C7,2_ha1.

De soorten Q310_C7,2_ha0 en Q310_C12,0_ha0 komen lager uit dan respectievelijk Q310_C7,2_ha1 en Q310_C12,0_ha1. Zoals te zien is in figuur 12, vertoont Q310_C12,0_ha0 bijna geen scaling. Een factor die hierin een rol kan spelen is de pH. Bij een lagere pH verloopt de scaling langzamer. Zoals uit tabel 1 blijkt, is de pH van het water in het laatste experiment wat lager dan in de voorgaande experimenten.

In tegenstelling tot de eerder experimenten liggen de eindconcentraties van elk soort water uit elkaar. Geen van de soorten water heeft hetzelfde scalingsverloop. Dit kan verklaard worden door het eerder genoemde pH-verschil.

Het verloop van scaling verloopt in de laatste periode, die nu wel gemeten is, min of meer lineair. Zoals uit figuur 12 blijkt, is er in dit experiment een afwijkende scaling na 72 uur in vergelijking met de voorgaande experimenten.



Figuur 12 Scaling na 72 uur

4 Conclusie & aanbevelingen

In deze experimenten is de calciumconcentratie van in totaal 264 monsters gemeten. De resultaten zijn in voorgaand hoofdstuk in grafieken geplot en vervolgens bediscussieerd. In dit hoofdstuk zullen de conclusies op basis van deze resultaten en discussie getrokken worden. Ook zullen een aantal aanbevelingen gedaan worden, die in acht genomen kunnen worden in de verdere voortgang van dit project.

4.1 Conclusie

In experiment 1 kan gezien worden dat de scaling die plaatsvindt in de monsters met toevoeging van Na_3PO_4 minder is dan in de monsters zonder toevoeging van Na_3PO_4 . Hieruit kan geconcludeerd worden dat een toevoeging van 1 mg/l Na_3PO_4 helpt om scaling tegen te gaan.

In experiment 2 kan worden waargenomen dat vanaf 52,5 uur bij soorten Q310_C0,16 en Q310_C0,20 de soort met toevoeging van humuszuren minder scaling optreedt dan in de soort zonder toevoeging van humuszuren. In experiment 3 is hetzelfde te zien aangaande soort Q310_C0,16. In alle andere soorten is dit verschijnsel echter niet waar te nemen. Daarom kan er geconcludeerd worden dat het onduidelijk is of een toevoeging van humuszuren helpt om scaling tegen te gaan. Wel lijkt het aannemelijk dat een toevoeging van 4 mg/l beter in staat zal zijn om scaling tegen te gaan dan een toevoeging van 1 mg/l. In experiment 2 is namelijk in het algemeen minder scaling te zien dan in experiment 3.

4.2 Aanbevelingen

Uit de experimenten zijn resultaten gekomen die tot duidelijke conclusie hebben geleid. Er is echter uit nog veel onduidelijkheid. Daarom geeft deze paragraaf een aantal aanbevelingen die kunnen leiden tot betere conclusies in de voortgang van dit project.

De eerste aanbeveling is om te experimenteren met toevoeging van minder Na_3PO_4 dan 1 mg/l. Zo kan een optimale concentratie van de toevoeging gevonden worden en leidt dit tot de goedkoopste toevoeging van fosfaten.

De tweede aanbeveling is meer experimenten te doen met toevoeging van humuszuren. Zo kunnen er betere conclusies getrokken worden of deze stoffen helpen om scaling tegen te gaan.

Als er tot de conclusie gekomen wordt dat toevoeging van humuszuren kan helpen om scaling tegen te gaan, is de derde aanbeveling om te experimenteren met toevoeging van fosfaat en humuszuren tegelijk. Zo is het mogelijk om een mogelijke correlatie tussen deze stoffen te vinden, zodat deze beide kunnen helpen om scaling te voorkomen.

Bibliografie

- A. Pabby, S. R. (2008). *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*.
- Alspach, B. (2007). *Manual of water supply practices*.
- Anwari, S. (2015). *Remineralization of reverse osmosis permeate*. Delft.
- B. VanDer Bruggen, C. V. (2003). *A review of pressure-driven membrane processes in wastewater treatment and drinking water production*. Environmental Progress 22.
- C. Fritzmann, J. L. (2007). *State-of-the-art of reverse osmosis desalination*.
- Isaias, N. P. (2001). *Experience in reverse osmosis pretreatment*.
- Kožišek, F. (2001). *Health significance of drinking water calcium and magnesium*.
- Lodish H, B. Z. (2000). *Molecular Cell Biology*. New York.
- Lut, M. (2005). *Hydraulic behaviour of particles in a drinking water distribution system design and first operation of a test rig*.
- N. P. Isaias. (2001). *Experience in reverse osmosis pretreatment*.
- P. J. de Moel, J. J. (2006). *Drinking Water Principles and Practices*.
- R.M. Cassidy and S. Elchuk. (1982). *Dynamically coated columns for the separation of metal ions and anions by ion chromatography*.
- Ruijter, J. A., *Remineralization process in the hatenboerwater bv complex*.

Bijlage 1

Plan van aanpak Bachelor eindwerk CTB3000

Naam: Lennart Dekker

Studentnummer; 4158482

Email: ladekker93@hotmail.com

Onderwerp: Scaling probleem na omgekeerde osmose

Begeleiders: Amir Haidari en Bas Heijman

Algemene informatie

Schoon drinkwater is een van meest belangrijke aspecten in het leven van de mens. In veel landen is schoon drinkwater geen vanzelfsprekendheid. Daarom is in dit vakgebied nog genoeg te onderzoeken en te verbeteren. Manieren voor het verkrijgen van schoon drinkwater zijn membraan technologieën. Een van deze technologieën is "Reverse Osmosis" (RO). Met deze manier wordt zout water omgezet in zoet water. Deze techniek is erg aantrekkelijk voor o.a. scheepvaart.

Het water geproduceerd door RO is bijna puur water, met een erg lage ionenconcentratie en geen organische deeltjes. Drinkbaar water moet echter aan een bepaalde hardheid voldoen volgens de wet van veel landen en volgens internationale richtlijnen. Ook heeft dit pure water corrosieve effecten op transportleidingen en instrumenten. Daarom wordt aan dit water weer Ca^{2+} en Mg^{2+} toegevoegd met een kalksteenfilter.

Het blijkt dat na verhitting van dit water, in bijv. boilers of wasmachines, er sneller calciumcarbonaat neerslaat dan met water geproduceerd met conventionele zuiveringstechnieken. Daarom verbruiken deze machines meer energie en zijn ze gevoeliger voor onderhoud.

Doel

Beter begrijpen waarom er een verschil in scaling is tussen RO water en kraanwater. Er zal worden onderzocht of dit gerelateerd is aan het tekort aan humuszuren en/of fosfaten in RO water.

Literatuur

Verschillende literatuur is al voorhanden, doordat twee Bachelor studenten, nl. Sherzad Anwari en Ismail Mercimek, al aan dit onderzoek hebben gewerkt. Mijn onderzoek zal een voortgang van hun onderzoek zijn. Hun resultaten zullen mede bepalend zijn voor mijn onderzoek.

Contact

Ik heb twee begeleiders. Mijn eerste begeleider is Amir Haidari. Hem kan ik altijd bereiken voor vragen. We spreken wekelijks af op een nader te bepalen tijdstip. Mijn tweede begeleider is Bas Heijman. Hem kan ik ook bereiken voor vragen. Verder zal hij alleen aanwezig zijn op de peilmomenten. Ik word op weg geholpen door Sherzad Anwari die mij wijst in het onderzoek en het lab.

Locatie

Het onderzoek wordt uitgevoerd in het Waterlab. Hierin bevindt zich ook de uitrusting, die ik hiervoor nodig heb.

Om in het Waterlab aan de slag te kunnen is een veiligheidsinstructie verplicht. Deze instructie heb ik gevolgd op 3 september o.l.v. meneer Schuit.

Tijdsplanning

Sherzad is in week 1 en 2 nog bezig met zijn onderzoek. Met mijn eigen onderzoek kan ik dus in week 3 starten.

Week 1 en 2: Schrijven van opzet verslag, theorie en methodologie.

Week 3-7: Maandag: naar Hatenboer-water om samples op te halen.

Dinsdag :Opstelling klaar zetten.

Woensdag: Metingen verrichten.

Donderdag en vrijdag: Resultaten analyseren en rapporteren.

Week 8: Eindrapport schrijven en eindpresentie voorbereiden.