



Bedrijfstakonderzoek
BTO 2024.035 | Februari 2024

**De rol van laag-, midden- en
hoogmoleculaire organische
stoffen op biologische
stabiliteit en nagroei**

Rapport

De rol van laag-, midden- en hoogmoleculaire organische stoffen op biologische stabiliteit en nagroei

BTO 2024.035 | Februari 2024

Dit onderzoek is onderdeel van het collectieve Bedrijfstakonderzoek van KWR, de waterbedrijven en Vewin.

Opdrachtnummer

402045-250, 402045-261

Projectmanager

Michiel Hootsmans, Erwin Beerendonk

Opdrachtgever

BTO - Thematisch onderzoek - Biologische veiligheid

BTO - Thematisch onderzoek - Zuivering

Auteurs

dr. Frits van Charante, ing. Danny Harmsen, dr. ir. Nikki van Bel

Kwaliteitsborgers

dr. Paul van der Wielen, dr. ir. Emile Cornelissen

Verzonden naar

Dit rapport is verspreid onder BTO-participanten.

Een jaar na publicatie is het openbaar.

Keywords:

BTO, *Legionella*, *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep, fractionering, membranen, biofilm

Jaar van publicatie
2024

Meer informatie

Frits van Charante, PhD

T +31 30 606 9585

E Frits.van.Charante@kwrwater.nl

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511

E info@kwrwater.nl

I www.kwrwater.nl

KWR

Februari 2024 ©

Alle rechten voorbehouden aan KWR. Niets uit deze uitgave mag - zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van KWR - worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enig andere manier.

Managementsamenvatting

Betere verwijdering van laagmoleculaire stoffen en biopolymeren tijdens de zuivering verbetert de biologische stabiliteit en vermindert biofilmvorming

Auteurs: Frits van Charante & Danny Harmsen

Op twee productielocaties (oppervlaktewater locatie Andijk, en grondwaterlocatie Spannenburg) is zowel het inkomend water als het reinwater gefractioneerd met drie opeenvolgende membranen om te achterhalen welke stofgroepen het meest bijdragen aan de groeipotentie van water. Hieruit bleek dat naast laag- en/of mediummoleculaire stoffen ook hoogmoleculaire stoffen een bijdrage leveren aan de groeipotentie van zowel het inkomend water als het drinkwater op Andijk, terwijl op productielocatie Spannenburg alleen laag- en/of mediummoleculaire stoffen belangrijk waren gezien ook de afwezigheid van hoogmoleculaire stoffen. Tijdens de zuivering was er een verschuiving in relatieve bijdrage aan de groeipotentie van mediummoleculaire naar laagmoleculaire fractie bij Spannenburg en van hoogmoleculaire en mediummoleculaire naar laagmoleculaire bij Andijk. Tevens werd gezien dat de laagmoleculaire fractie een belangrijke rol speelt bij biofilmvorming en groei van *Legionella*. Daarom wordt aanbevolen om op beide in ieder geval de verwijdering van laagmoleculaire stoffen te verbeteren in de zuivering waar nagroei een issue is in het drinkwaterdistributiesysteem en op Andijk ook een verdere verwijdering van hoogmoleculaire stoffen te bewerkstelligen.



De fractioneringsopstelling op productielocatie Andijk.

Belang: biologische stabiliteit drinkwater niet overall voldoende

De jaarlijkse rapportages van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) over de drinkwaterkwaliteit in Nederland laten zien dat de

wettelijke microbiologische parameters soms worden overschreden. In 2021 werd bijvoorbeeld in 3,9% van de monsters te veel *Legionella* gevonden. Dat betekent dat de mate van nagroei op enkele locaties in het Nederlandse distributiesysteem

onvoldoende onder controle is. Het is daarom belangrijk wegen te vinden om de biologische stabiliteit van het water te vergroten. Zodoende had dit onderzoek als doel de bijdrage van verschillende organische stoffracties aan groeipotentie en biofilmvorming te ontrafelen.

Aanpak: water fractioneren en groeipotentie van verschillende stoffenfracties bepalen

Op de productielocaties Andijk (oppervlakte) en Spannenburg (grondwater) is een fractioneringopstelling met drie opeenvolgende membranen ingezet om het ruw- en reinwater te splitsen in meerdere fracties met verschillende organische stofgroepen. Van deze laag-, medium-, en hoogmoleculaire fracties werden de groeipotentie en de groei van geselecteerde bacteriën bepaald met AOC-P17/Nox, AOC-A3, BPP-testen en groeiproeven met *Aeromonas*, *Legionella* en coliformen om te achterhalen welke organische stofgroepen de grootste impact hebben op de nagroei van micro-organismen.

Resultaten: het belang van verschillende stoffenfracties

Voor drinkwater geproduceerd op Spannenburg spelen hoogmoleculaire stoffen geen rol mede door hun afwezigheid. Het is niet exact te achterhalen of laag- en/of mediummoleculaire stoffen de groeipotentie bepalen. Voor drinkwater geproduceerd op Andijk spelen hoogmoleculaire stoffen wel een belangrijke rol bij de groeipotentie van het reinwater van Andijk, welke ook terugkwam bij het inkomende water. Naast de hoogmoleculaire stoffen zijn ook laag- en/of mediummoleculaire stoffen belangrijk. Groeipotentie vanuit laag en/of mediummoleculaire stoffen was lastig te scheiden door de niet volledige scheiding van deze stofgroepen en ontbrekende meetmethode om groeipotentie uit mediummoleculaire stoffen te bepalen.

Hoewel niet gemeten kon ook afgeleid worden dat de deeltjesfractie een grote bijdrage levert aan de groeipotentie van het water. Dit kon niet gekwantificeerd worden en alleen afgeleid op basis van de resultaten van de verschillende fracties in

vergelijking met het ongefractioneerde water en de massabalansen.

Tijdens de zuivering was er een verschuiving in relatieve bijdrage aan de groeipotentie van mediummoleculaire naar laagmoleculaire fractie bij Spannenburg en van hoogmoleculaire en mediummoleculaire naar laagmoleculaire bij Andijk.

Bij de groeiproeven waren de laagmoleculaire en/of mediummoleculaire stoffen het meest van belang voor de biofilmvorming. Ook voor nagroei van *Legionella* leken de laagmoleculaire stoffen het meeste bij te dragen, dit kan echter ook aan de biofilmconcentratie gerelateerd zijn. Voor coliformen en *Aeromonas* is onduidelijk welke stoffracties het meeste bijdragen aan de groei, aangezien deze alleen groei vertoonde bij de aanwezigheid van sediment, dat een overmaat aan voedingsstoffen bevat.

Toepassing: Verwijder zowel laag- als hoogmoleculaire stoffen

Op beide locaties kon een slecht onderscheidt gemaakt worden tussen groeipotentie van laag- en/of mediummoleculaire stoffen, maar werd de bijdrage van de laagmoleculaire fractie wel groter na de zuivering vergeleken met het voorbehandeld ruwwater. Verbetering van de zuivering op deze twee productielocaties zou zich daarom kunnen richten op betere verwijdering laagmoleculaire stoffen.

Op Andijk was duidelijk te zien dat zowel laagmoleculaire als hoogmoleculaire stoffen bijdragen aan de groeipotentie van het reinwater. Hoewel de verschillen tussen ruw- en reinwater al laten zien dat deze zuivering al veel biopolymereen verwijdert, kan de biologische stabiliteit nog worden verbeterd door verwijdering van hoogmoleculaire stoffen op Andijk te verbeteren.

Rapport

Dit onderzoek is beschreven in het rapport *De rol van laag-, midden- en hoogmoleculaire organische stoffen op biologische stabiliteit en nagroei* (BTO 2024.035).

Voorwoord

Dit project is uitgevoerd in nauwe samenwerking tussen de BTO-themagroep Zuivering en BTO-themagroep Biologische veiligheid. Dit rapport is een gezamenlijke rapportage van de respectievelijke projecten: Organische- en deeltjesfracties gerelateerd aan biologische stabiliteit; projectnummer 402045-261 en Organische- en deeltjesfracties die biofilmvorming in distributiesystemen veroorzaken en/of tot normoverschrijdingen leiden van *Aeromonas*, *Legionella* en bacteriën van de coligroep; projectnummer 402045-250. Vanwege de grote raakvlakken tussen beide projecten is een overkoepelende interdisciplinaire begeleidingsgroep opgezet met leden vanuit de themagroep Biologische Veiligheid (Anneke Roosma, Viten; Emmanuelle Prest, PWNT; Matthijs Rietveld, PWN; Wim Hijnen, Evides), de themagroep Zuivering (Rinnert Schurer, Evides; Stephan van de Wetering, Brabant Water; Liesbeth Verdickt, De Watergroep) en KWR (Emile Cornelissen, Danny Harmsen, Paul van der Wielen, Nikki van Bel, Frits van Charante). Daarnaast is nauw samengewerkt met PhD-student Cameron Dierendonck van de Universiteit Gent. Het merendeel van de analyses zijn uitgevoerd door het Microbiologisch en Chemisch laboratorium van KWR.

Inhoud

Rapport	2	
<i>Managementsamenvatting</i>	3	
Voorwoord	6	
Inhoud	7	
1	Introductie	10
1.1	Inleiding	10
1.1.1	Normoverschrijdingen van <i>Aeromonas</i> , bacteriën van de coligroep en <i>Legionella</i>	10
1.1.2	Condities voor groei <i>Aeromonas</i> , bacteriën van de coligroep, <i>Legionella</i> , en biofilmvorming	10
1.1.3	Biologische stabiliteit van verschillende waterfracties	11
1.1.4	Waterfracties en bacteriële groei	11
1.2	Doel	12
1.3	Aanpak	12
1.4	Leeswijzer	12
2	Materialen en methoden	13
2.1	Bron	13
2.1.1	Zuivering Spannenburg (grondwater)	13
2.1.2	Zuivering Andijk (oppervlaktewater)	13
2.2	Fractioneringsopstelling	14
2.3	Membranen	19
2.4	Experimentele opzet	19
2.4.1	Spannenburg	19
2.4.2	Andijk	21
2.4.3	Groeiproeven	24
2.5	Analyses	29
2.6	Berekeningen	29
2.6.1	Membraanprestaties	29
2.6.2	Data correctie voor LC-OCD en groeipotentie	30
3	Resultaten voorbehandeld ruwwater Spannenburg	32
3.1	Bedrijfsvoering	32
3.2	Chemische karakterisatie fracties	32
3.2.1	LC-OCD	32
3.2.2	DOC, o-fosfaat en ICP-MS	35
3.2.3	Massabalansen	36
3.3	Groeipotentie	37
3.3.1	AOC-P17/Nox en AOC-A3	37

3.3.2	Biomassaproductiepotentie (BPP)	40
-------	---------------------------------	----

4	Resultaten Reinwater Spannenburg	44
----------	---	-----------

4.1	Bedrijfsvoering	44
4.2	Chemische karakterisatie fracties	46
4.2.1	LC-OCD	46
4.3	Groeipotentie waterfracties	48
4.3.1	AOC-P17/Nox en AOC-A3	48
4.3.2	Biomassaproductiepotentie (BPP)	49
4.4	Groeiproeven	50
4.4.1	Sediment	51
4.4.2	ATP	51
4.4.3	ICP-MS	52
4.4.4	Verbruik organische fracties door LC-OCD	53
4.4.5	Bacteriën van de coligroep	53
4.4.6	<i>Aeromonas</i>	54
4.4.7	<i>Legionella</i>	55

5	Resultaten voorbehandeld ruwwater Andijk	57
----------	---	-----------

5.1	Bedrijfsvoering	57
5.2	Chemische karakterisatie fracties	57
5.2.1	LC-OCD	57
5.2.2	PHMOC, TOC, o-fosfaat en ICP-MS	60
5.2.3	Massabalansen	62
5.3	Groeipotentie waterfracties	64
5.3.1	AOC-P17/Nox	64
5.3.2	Biomassaproductiepotentie (BPP)	65

6	Resultaten Reinwater Andijk	68
----------	------------------------------------	-----------

6.1	Bedrijfsvoering	68
6.2	Chemische karakterisering fracties	69
6.2.1	LC-OCD	71
6.2.2	TOC	73
6.3	Groeipotentie waterfracties	75
6.3.1	AOC-P17/Nox en AOC-A3	75
6.4	Groeiproeven	77
6.4.1	Biomassaproductiepotentie (BPP)	77
6.4.2	ICP-MS	81
6.4.3	ATP	82
6.4.4	Bacteriën van de coligroep	83
6.4.5	<i>Legionella</i>	84

7	Discussie	86
----------	------------------	-----------

7.1	Functioneren membranen in de fractioneringsopstelling	86
7.1.1	Permeabiliteit	86
7.1.2	Selectiviteit van de membranen	87
7.2	Groeipotentie van NOM-fracties in Spannenburg en Andijk	90

7.2.1	Concentratie-effect	90
7.2.2	AOC-A3	90
7.2.3	AOC-P17/Nox	91
7.2.4	BPP-metingen	92
7.2.5	LM-fractie tussen tussenfiltraat/ruwwater en reinwater	93
7.2.6	Deeltjesfractie	93
7.3	Groei van verschillende bacteriën op NOM-fracties	94
7.3.1	ATP-metingen	94
7.3.2	Groei van <i>Aeromonas</i> , bacteriën van de coligroep en <i>Legionella</i>	94
7.3.3	Groeipotentie en groeiproeven	96
8	Conclusies en aanbevelingen	97
8.1	Conclusies	97
8.2	Aanbevelingen	98
9	Referenties	99
I	Foto's fractioneringsinstallatie	101
II	Membraanspecificaties	105
III	Analyses	114
IV	Monsternamen fractioneringsopstelling	117
	MP1 (inkomend water), MP4 (LM-fractie), MP6 (MM-fractie).	118
V	Bedrijfsvoering fractioneringsopstelling Spannenburg	119
VI	Bedrijfsvoering fractioneringsopstelling Andijk	127
VII	ATP-verversingswater en sediment	137
VIII	Massabalansen	138

1 Introductie

1.1 Inleiding

1.1.1 Normoverschrijdingen van *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella*

De microbiologische parameters *Aeromonas* en bacteriën van de coligroep zijn opgenomen in het Drinkwaterbesluit als bedrijfstechnische parameter. Ze hebben geen directe gezondheidskundige achtergrond, maar worden gebruikt om de integriteit van de waterbehandeling en het distributienet te bewaken en de microbiologische water kwaliteit te monitoren. *Aeromonas* wordt gebruikt als indicator voor nagroei in het distributiesysteem. Bij aanwezigheid van nutriënten in drinkwater, die bacteriën kunnen gebruiken voor groei, kan *Aeromonas* toenemen in het distributiesysteem en de wettelijke norm voor drinkwater (1000 kve/100 ml) overschrijden. De bacteriën van de coligroep kunnen niet alleen aanwezig zijn in de darm van mensen en dieren, maar ook in het milieu. Sommige soorten behorende tot de bacteriën van de coligroep kunnen zich ook vermeerderen in het distributiesysteem en deze soorten zijn daarom ook een indicatie voor nagroei. De wettelijke norm voor bacteriën van de coligroep in drinkwater is 0 kve/100 ml. De parameter *Legionella* heeft indirect een gezondheidskundige achtergrond omdat, naast minder gevaarlijke kweekbare legionellasoorten zoals *Legionella anisa*, ook *Legionella pneumophila* (de voornaamste veroorzaker van de veteranenziekte) wordt bepaald. De wettelijke norm voor *Legionella* in het Drinkwaterbesluit is 100 kve/l.

Uit de jaarlijkse rapportages van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) over de drinkwaterkwaliteit in Nederland, volgt dat de wettelijke parameter *Legionella* procentueel gezien het meest wordt overschreden van alle wettelijke parameters die worden bepaald van het gedistribueerde drinkwater (3,9% in 2021), gevolgd door *Aeromonas* (1,9% in 2021). Overschrijdingen van de norm voor bacteriën van de coligroep zijn daarentegen relatief laag (0,07% in 2021). Absoluut gezien wordt de norm voor *Aeromonas* het meest overschreden (160 in 2021) van alle wettelijke parameters, gevolgd door *Legionella* (66 in 2021) en bacteriën van de coligroep (41 in 2021). Uit deze resultaten blijkt dat op basis van de door de overheid aangewezen indicatorparameters voor de microbiologische kwaliteit van het drinkwater in het distributiesysteem, de mate van nagroei op enkele locaties in Nederland onvoldoende onder controle is.

1.1.2 Condities voor groei *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep, *Legionella*, en biofilmvorming

Naast de wettelijke microbiologische parameters voor nagroei, is ook overmatige biofilmvorming op de buiswand of op het sediment in zowel de waterbehandeling als het distributiesysteem onwenselijk. Biofilms spelen bijvoorbeeld een belangrijke rol bij nagroeiproblemen, zoals groei van opportunistische ziekteverwekkers (*L. pneumophila*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aspergillus fumigatus*) (van der Wielen, 2014) en esthetische klachten (waterpissebedden, geur/smaak, bruinwater). Daarnaast zou de biofilm ook indirect een rol kunnen spelen bij de overschrijdingen van bepaalde wettelijke parameters voor nagroei, omdat organismen zoals *Legionella* zich vermeerderen in protozoa die op de biofilm grazen of omdat ze groeien op hogere organismen, zoals is aangetoond voor *Aeromonas* (van Bel 2018). Om de oorzaak van biofilmvorming en de normoverschrijding van de wettelijke parameters aan te kunnen pakken is het belangrijk om te achterhalen welke organische stofgroepen via het drinkwater in het distributiesysteem verantwoordelijk zijn voor groei en biofilmvorming. Het uiteindelijke streven is om inzicht te krijgen in hoe de waterbehandeling zou kunnen worden aangepast om zo biofilmvorming te beheersen en normoverschrijdingen zo veel mogelijk te voorkomen. Voor *L. pneumophila* is bekend wat de minimale hoeveelheid biologisch afbreekbare stoffen (AOC van 1 µg C/l) moet zijn om groei van *L. pneumophila* plaats te kunnen laten vinden (van der Kooij et al., 2017). *Aeromonas* en bacteriën van de coligroep groeien ook alleen bij voldoende nutriënten, waarbij er indicaties zijn dat hogere concentraties van afbreekbare stoffen nodig zijn voor groei van deze twee bacteriegroepen dan voor *Legionella*. Voor alle drie de microbiologische parameters

is echter in meer of mindere mate onbekend op welke stoffen zij in het distributienet kunnen groeien. Voor *Aeromonas* is hierover de meeste informatie beschikbaar. Uit studies van KWR en Evides naar de groeieigenschappen van *Aeromonas*, is bekend dat *Aeromonas* kan groeien op o.a. aminozuren, vetzuren, enkele invertebraten, stoffen uit invertebraten en sediment uit een distributienet waar drinkwater wordt gedistribueerd dat is bereid uit oppervlaktewater uit het Biesboschreservoir (van Bel et al., 2016; van Bel et al., 2017; van Bel, 2018). Het is echter onbekend of, en in welke mate, groei van *Aeromonas* in distributiesystemen die worden gevoed door drinkwater bereid uit grondwater of oppervlaktewater uit andere bronnen (bv Gaasperplas, IJsselmeer) wordt veroorzaakt door vergelijkbare Natuurlijk Organisch Materiaal (NOM)-fracties, als die zijn waargenomen in de voorzieningsgebieden van Evides. De invloed van de verschillende NOM-fracties op groei van bacteriën van de coligroep of *Legionella* is nog onbekend.

1.1.3 Biologische stabiliteit van verschillende waterfracties

In het BTO-project “Deeltjessamenstelling en biologische stabiliteit - Isolatie en identificatie van organische- en deeltjesfracties gerelateerd aan biologische stabiliteit” dat in 2019/2020 binnen de themagroep Zuivering heeft gelopen, stond het begrijpen van de samenstelling van deeltjes/organische stoffen in het ruwwater en drinkwater (Lekkanaalwater en IJsselmeerwater) voor de drinkwaterbereiding bij enkele productielocaties centraal. In dat onderzoek is de samenstelling van deeltjes/organische stoffen bepaald door (i) de isolatie in fracties naar molecuulgewicht, (ii) de identificatie van deze verkregen fysieke organische- en deeltjesfracties, en (iii) het bepalen van de groeipotentie van deze verkregen fracties. Voedingswater (Lekkanaalwater en IJsselmeerwater) is in dat onderzoek succesvol gefractioneerd in een deeltjesfractie ($> 0,2 \mu\text{m}$), en in LC-OCD-fracties die worden ruwweg verdeeld in (i) hoogmoleculaire fractie (biopolymeren), (ii) mediummoleculaire fractie (humuszuren en building blocks), en (iii) een laagmoleculaire fractie (o.a. aminozuren en carbonzuren). Van deze vier afzonderlijke fracties zijn verschillende groeipotentieparameters bepaald met behulp van de AOC (P17/Nox)-methode, de biomassaproductie potentie methode voor drinkwater (BBP-W) en de methode om de deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organisch koolstof (PHMOC) te bepalen. Er zijn daarbij duidelijke verschillen gevonden in deze groeipotentieparameters tussen de verschillende fracties. De laagmoleculaire fractie is belangrijk voor de groeipotentie van het water, terwijl de invloed van de biopolymerenfractie minder belangrijk lijkt dan aanvankelijk werd gedacht. De groeipotentie van de deeltjesfractie is indirect bepaald, en lijkt de grootste invloed te hebben (Harmsen & Cornelissen, 2021). De succesvolle toepassing van de membraanfractionering in dat eerdere project, laat zien dat het dus een interessante tool kan zijn om te begrijpen welke deeltjes en/of organische stoffen in water biologische stabiliteit, biofilmvorming en/of groei van *Aeromonas*, *Legionella* en bacteriën van de coligroep veroorzaken.

1.1.4 Waterfracties en bacteriële groei

Na fractionering in de huidige projecten is de verwachting dat iedere NOM-fractie van het gefractioneerd reinwater, en voorbehandeld ruwwater een andere groeipotentie zal hebben, zoals eerder dus ook voor oppervlaktewater is waargenomen. De verschillen in groeipotentie van de NOM-fracties van reinwater, en voorbehandeld ruw- water, zullen naar verwachting ook resulteren in verschillen in biofilmvorming en groei van bovengenoemde bacteriesoorten (waarvan regelmatig normoverschrijdingen in het distributienet worden vastgesteld). De eerdergenoemde bacteriesoorten (*Aeromonas*, *Legionella*, bacteriën van de coligroep) gebruiken namelijk mogelijk andere NOM-fracties voor groei (direct of indirect door voorkeur van gastheerprotozoa voor bepaalde NOM-fractie). Inzicht in de groeipotentie van de verschillende NOM-fracties van drinkwater kan uiteindelijk mogelijk leiden tot identificatie van zuiveringsprocessen waarin de verantwoordelijke stofgroepen worden gevormd en optimalisatie of aanpassing van de zuivering om de verantwoordelijke stofgroepen gericht te verwijderen.

1.2 Doel

Het doel van dit project is om te onderzoeken welke deeltjesfracties en/of NOM-fracties (en de stofgroepen hierin), gebaseerd op membraanfractionering van voorbehandeld ruw- en drinkwater, belangrijk zijn voor de groeipotentie van het water en de biofilmvorming en groei van *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella* in het distributienet. Hiervoor wordt membraanfractionering van twee reinwater en twee voorbehandeld ruwwater typen (één grondwater, de ander oppervlaktewater) uitgevoerd en worden de fracties gebruikt om de groeipotentie, biofilmvorming en groei van bovengenoemde bacteriegroepen in het laboratorium te bepalen onder semi-stagnante condities (wekelijkse verversing) die een worstcasescenario in een distributiesysteem nabootsen. Door een combinatie van ruw- en drinkwater te onderzoeken kan gekeken worden welke stoffen verder verwijderd zouden moeten worden voor het behalen van een bepaalde drinkwaterkwaliteit.

1.3 Aanpak

Voor dit onderzoek wordt water gefractioneerd op twee locaties waarbij op iedere locaties zowel het reinwater als het voorbehandeld ruwwater wordt gefractioneerd en gemeten middels een opstelling met membranen van verschillende poriegrootten (microfiltratie, ultrafiltratie en nanofiltratie). Eerst wordt de opstelling bij Spannenburg geplaatst, waar drinkwater uit grondwater wordt geproduceerd. Daarna wordt de opstelling verplaatst naar Andijk, waar drinkwater uit oppervlaktewater wordt geproduceerd. Op beide locaties wordt eerst het reinwater gefractioneerd gedurende 16 weken en vervolgens het voorbehandeld ruwwater gedurende 8 weken. De resulterende fracties worden met chemische en microbiologische methoden gekarakteriseerd. Enkel met de NOM-fracties van het reinwater worden groei-experimenten gedaan met *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella*.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 worden de materialen en methoden toegelicht die zijn gebruikt voor de experimenten. Hoofdstuk 3 tot en met 6 beschrijven de verkregen resultaten. Deze zijn als volgt ingedeeld: hoofdstuk 3 bevat de resultaten van de voorbehandeld ruwwater van Spannenburg. De volgende hoofdstukken beschrijven de resultaten van de reinwaterexperimenten experimenten van Spannenburg, de voorbehandeld ruwwater op Andijk en de reinwaterexperimenten experimenten op Andijk. In hoofdstuk 7 worden al deze resultaten tezamen besproken in de discussie. Als laatste worden in hoofdstuk 8 de conclusies en aanbevelingen beschreven.

2 Materialen en methoden

2.1 Bron

2.1.1 Zuivering Spannenburg (grondwater)

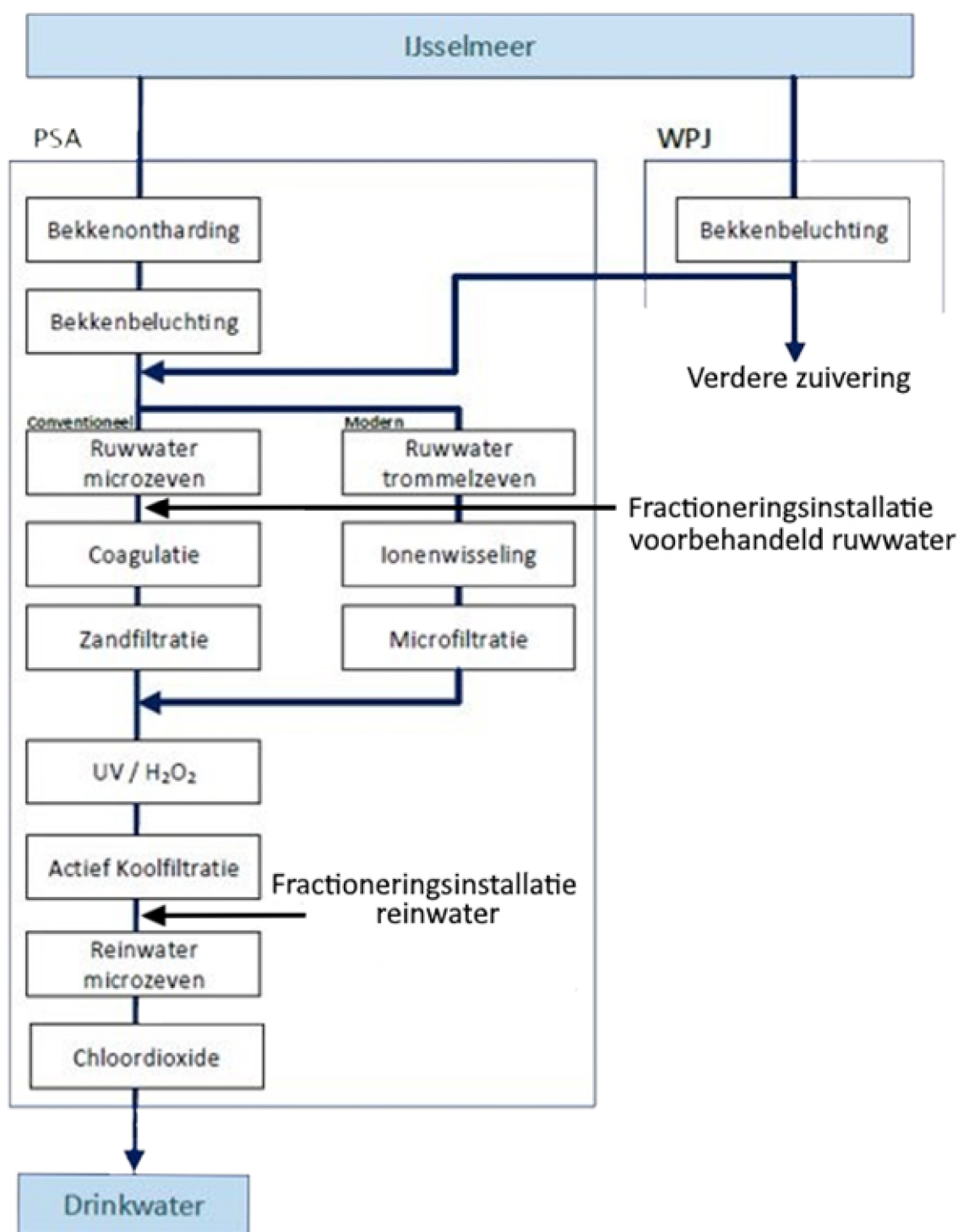
Er was gekozen voor een grond- en oppervlaktewaterlocatie omdat de verwachting is dat de samenstelling van DOC verschillend is tussen voorbehandeld ruw – en drinkwater geproduceerd uit twee verschillende watertypes. De eerste membraanfractioneringstesten (voor meer details zie paragraaf 2.2) vonden plaats op de productielocatie Spannenburg van Vitens. Hier wordt grondwater gewonnen en gezuiverd volgens het schema weergegeven in Figuur 2-1. Er zijn testen uitgevoerd aan het begin (voorbehandeld ruwwater = tussenfiltraat) en het einde van de zuivering (reinwater). Als voeding voor de reinwatertest is gekozen voor het water na de laatste zuiveringsstap (ionenwisselaars) en voor de reinwaterkelder. Aangezien het ruwe water grondwater is, is ervoor gekozen om voorbehandeld ruwwater (na beluchting en voorfiltratie stap zuivering) als voeding te gebruiken. Dit om problemen door vervuiling met ijzer of mangaan te voorkomen. In Figuur 2-1 zijn beide voedingspunten aangegeven.



Figuur 2-1 Zuiveringsstappen van productielocatie Spannenburg met de locatie van de fractioneringsinstallatie.

2.1.2 Zuivering Andijk (oppervlaktewater)

De tweede locatie waar de membraanfractioneringstesten plaatsvonden, was productielocatie Andijk van PWN. Hier wordt oppervlaktewater gewonnen vanuit het IJsselmeer. Een gedeelte van dit water wordt behandeld volgens het schema in Figuur 2-2. Als voeding voor de reinwatertest is gekozen voor het geproduceerde reinwater van de directe behandeling, waarbij de installatie voor de reinwater microzeven heeft gestaan. Het chloordioxide zou een negatieve invloed hebben gehad op de experimenten door mogelijke afdoding van bacteriën in bijv. de groeiproeven, dus is de fractioneringsopstelling (zie paragraaf 2.2) ervoor geplaatst. Voor de behandeld ruwwatertest is ervoor gekozen om het water na de microzeven als voeding te gebruiken. In Figuur 2-2 zijn beide voedingspunten aangegeven.



Figuur 2-2 Zuiveringsstappen van productielocatie Andijk. De pilotopstelling is geplaatst op het geproduceerde reinwater na actief-koolfiltratie, maar voor dosering van chloordioxide.

2.2 Fractioneringsopstelling

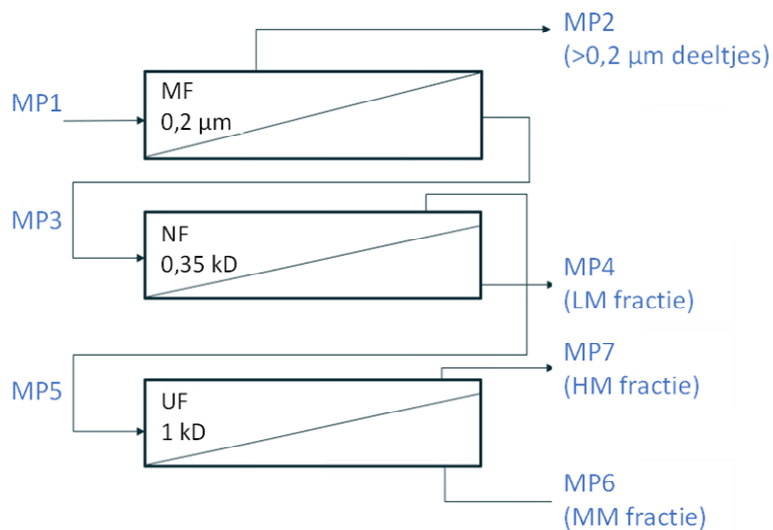
Uit onderzoek van Park et al., 2019 en Yin et al., 2020 is gebleken dat membraanfractionering op basis van verschillen in deeltjes- en molecuulgrootte, overeenkomend met de fracties die worden waargenomen met LC-OCD, het beste resultaat biedt. Tijdens eerder BTO-onderzoek is deze kennis gebruikt voor de ontwikkeling van een

nieuwe tool op basis van membraanfractionering voor de isolatie van deeltjes en organische stoffen fracties van oppervlaktewater (Harmsen & Cornelissen, 2021).

Tijdens de membraanfractionering (stap 1) worden deeltjes ($> 0,2 \mu\text{m}$) afgescheiden van opgeloste organische stoffen met een microfiltratie (MF)-membraan (stap 1), waarbij, na terugspoelen van het membraan, een deeltjesfractie ($> 0,2 \mu\text{m}$) ontstaat in het spoelwater. Vervolgens zal het MF permeaat verder worden gefractioneerd met een nanofiltratie (NF)-membraan (stap 2) waarbij het permeaat de zogenaamde laagmoleculaire (LM) fractie bevat bestaande uit kleine organische zuren en kleine neutrale componenten (LMWA en LMWN; $< 350 \text{ g/mol}$). De concentraatstroom van de NF wordt verder gesplitst met een ultrafiltratie (UF)-membraan (stap 3) waarbij twee fracties ontstaan, de hoogmoleculaire (HM) fractie (met onder andere biopolymeren en deeltjes $< 0,2 \mu\text{m}$; $> 1000 \text{ g/mol}$) en de mediummoleculaire (MM) fractie (met onder andere humuszuren en hydrolysaten; $350 - 1000 \text{ g/mol}$). Op deze wijze kan de in water aanwezige NOM worden gefractioneerd in vier verschillende fracties, waarbij de genoemde range van massa's, per fractie, zal afhangen van de gebruikte membranen. De vier fracties zijn:

1. Deeltjes $> 0,2 \mu\text{m}$ fractie
2. Hoogmoleculaire (HM) fractie ($> 1 \text{ kDa}$)
3. Mediummoleculaire (MM) fractie ($0,35 - 1 \text{ kDa}$)
4. Laagmoleculaire (LM) fractie ($< 0,35 \text{ kDa}$)

In Figuur 2-3 is de membraanfractionering schematisch weergegeven inclusief de codering van de monsters/stromen.



Figuur 2-3. Schematisch weergave membraanfractionering. Aangegeven is welke fracties door welk membraan geproduceerd worden.

In

Tabel 2-1 is aangegeven welke stofgroepen aanwezig zijn in de verschillende fracties.

Tabel 2-1. Bestanddelen van verschillende fracties na membraanfractionering van reinwater van Andijk en Spannenburg. De stofgroepen zijn gebaseerd op de LC-OCD analyse.

Codering	Waterfractie	Molecuulgrootte	Stofgroepen ^a	Omschrijving
DW (MP1)	Reinwater		Reinwater	
MP2	>0,2 µm deeltjes	>0,2 µm	>0,2 µm deeltjes	
MP3	Voeding NF		Reinwater zonder deeltjes >0,2 µm	Permeaat MF
LM (MP4)	LM-fractie	< 350 g/mol (<0,35 kDa)	LMW zuren + LMW neutrals	Permeaat NF
MP5	Voeding UF		Building blocks, humuszuren, biopolymeren	Concentraat NF
MM (MP6)	MM-fractie	350 – 1000 g/mol (0,35 – 1 kDa)	Building blocks, humuszuren	Permeaat UF
HM (MP7)	HM-fractie	> 1000 g/mol (>1 kDa)	Biopolymeren	Concentraat UF

^a Stofgroepen indien de fractionering 100% is

In eerder onderzoek werd de membraanfractionering batchgewijs uitgevoerd (Harmsen & Cornelissen, 2021). Om beter onderzoek te kunnen doen heeft KWR een membraanfractioneringsinstallatie gebouwd die continu kan worden bedreven. De installatie werd gevoed met een verse voedingsstroom, die continue wordt gescheiden in drie tot vier gefractioneerde waterstromen.

De fractioneringsinstallatie (UAN210001) bestaat uit drie units die ook apart van elkaar kunnen worden bedreven

1. MF-unit
2. NF-Unit
3. UF-Unit

De P&ID en foto's van de installatie zijn weergegeven in bijlage I.

Bij de bouw van de installatie is gebruik gemaakt van materialen die geen groeibevorderende stoffen afgeven die de biologische stabiliteit kunnen beïnvloeden. Daarom is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van RVS316. Indien dit niet mogelijk was zijn PVC-U slangen en Viton afdichtingen toegepast. De installatie kan zowel automatisch als handmatig worden bedreven. Elke unit heeft een eigen bedieningsscherm waarop de installatie schematisch staat afgebeeld (Figuur 2-4). In alle gevallen worden op het scherm de debieten, drukken en temperatuur weergegeven met uitzondering van de temperatuur van het voedingswater van de MF, deze is weergegeven op de debietsensor die in de voeding van de installatie is geplaatst (zie foto bijlage I). De data worden niet gelogd.

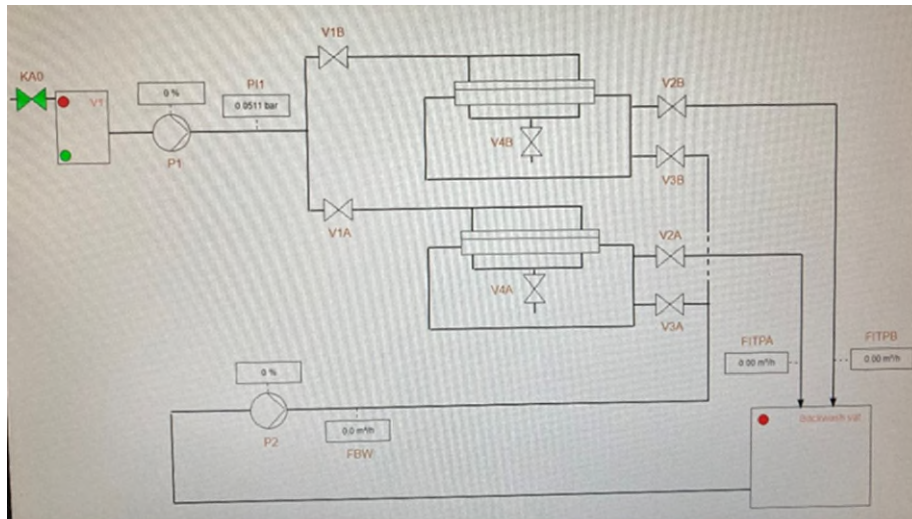
Het water wordt eerst over de MF-unit gevoerd. Deze bestaat uit twee parallel geplaatste 4 inch MF-membranen (Figuur 2-4) die gelijktijdig (parallel geplaatst) kunnen worden bedreven in dead-end modus¹. Daarnaast is het mogelijk om een regelmatige terugspoeling uit te voeren om het membraan schoon te spoelen. De terugspoeling wordt uitgevoerd met het geproduceerde water dat zich in de tank voor de NF-unit bevindt. Tijdens een terugspoeling wordt eerst het eerste membraan gespoeld gevolgd door het tweede membraan. Het geproduceerde water wordt vervolgens over de NF-unit geleid. Deze bestaat uit twee in serie geplaatste 4 inch NF-membranen waarbij het tweede membraan wordt gevoed met het concentraat van het eerste membraan. Het concentraat van

¹ Bij dead-end filtratie wordt al het water door het membraan gedrukt en blijven deeltjes/vervuiling groter dan de poriën van het membraan achter op het membraanoppervlak. Deze deeltje/vervuiling wordt met behulp van een terugspoeling verwijderd van het membraanoppervlak.

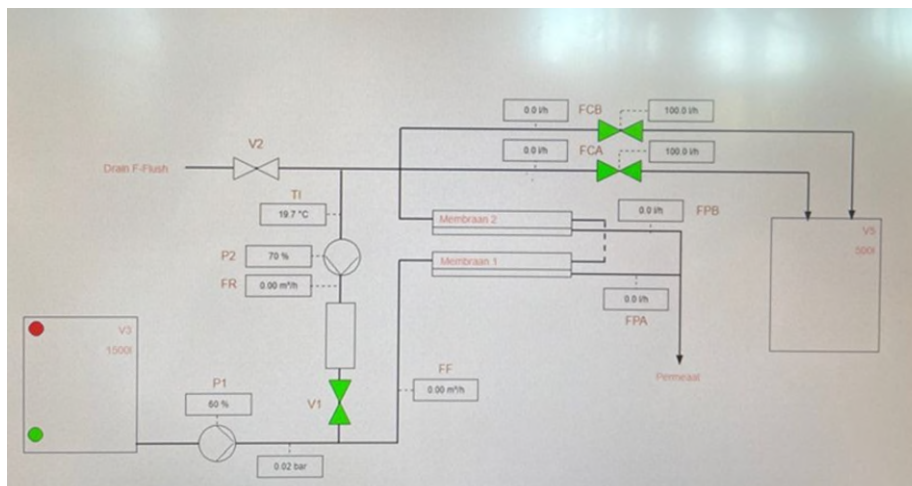
het tweede membraan wordt via twee regelkleppen afgevoerd. Om tot een juiste verhouding te komen dient op beide kleppen een tegendruk te worden geplaatst. Dit gebeurde in eerste instantie handmatig en is in het verloop van de testen aangepast en geautomatiseerd (voor meer details zie paragraaf 4.1). De installatie wordt bedreven in 'feed-and-bleed' modus, wat betekent dat een deel van het water wordt gerecirculeerd over de membranen en een deel van het permeaat en concentraat wordt afgevoerd. Hierbij wordt de voeding aangevuld met de hoeveelheid afgevoerde permeaat en concentraatstromen. Het permeaat wordt afgevoerd en het concentraat wordt opgevangen in een vat en verder behandeld met de UF-unit. De UF-unit bestaat uit één 2,5 inch UF-membraan. De installatie wordt bedreven in 'feed-and-bleed'² modus. Om opwarming tijdens de testen te voorkomen is de UF-unit voorzien van koeling. Om vervuiling van de NF- en UF-membranen te voorkomen is het mogelijk om een (automatische) forwardflush (FF) uit te voeren, waarbij voedingswater met hoge snelheid langs het membraan wordt gespoeld. Hiervoor wordt bij beide units het voedingswater van de desbetreffende units gebruikt.

² In feed and bleed modus wordt er continu net zoveel voedingswater toegevoegd aan het membraan als er permeaat en concentraat wordt afgevoerd.

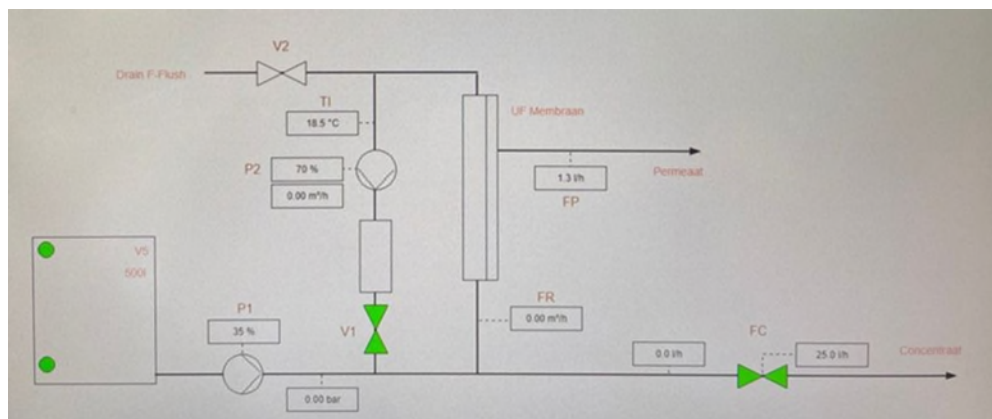
MF-unit



NF-Unit



UF-Unit



Figuur 2-4 beeldschermen inclusief schematische weergave installatie diverse membraanunits fractioneringsinstallatie KWR

2.3 Membranen

Op basis van eerder onderzoek (Harmsen & Cornelissen, 2021) en aanvullend onderzoek door Cameron Dierendonk (UGent, resultaten nog niet gepubliceerd) zijn de volgende membranen geselecteerd voor het uitvoeren van de testen.

MF: Twee Norit X-flow Capfil S30 FSFC PSU holle vezelmodules, membraanoppervlak $3,6 \text{ m}^2$, 0,8 mm hydraulische membraandiameter en een MWCO van 150 kDa van Pentair.

NF: Twee Microdyn Nadir modules met een membraanoppervlak van $7,9 \text{ m}^2$, 31 mills spacer en een MWCO van 200-300 Da. Deze werden gedurende de reinwatertest in Spannenburg (details zie paragraaf 4.1) vervangen door twee 4" Dupont FilmTec NF270 4040 modules met een membraanoppervlak van $7,6 \text{ m}^2$ en een MWCO van 300 – 400 Da. Tijdens alle andere testen zijn de TRISEP modules gebruikt.

UF: 1 Synder-Industrial-ST-PES-10kDa-L HM module, type ST2 2540HM met een membraanoppervlak van $2,42 \text{ m}^2$ en een 31 mills spacer van Synder.

Meer details over de membranen is terug te vinden in bijlage II.

2.4 Experimentele opzet

2.4.1 Spannenburg

Om zo lang mogelijk gebruik te kunnen maken van dezelfde membranen is ervoor gekozen om eerst de reinwatertest uit te voeren gevolgd door de test met het voorbehandeld ruwwater. Tenzij anders vermeld zijn de testen discontinu uitgevoerd. Voor de start van de reinwatertest is de installatie grondig gereinigd volgens de procedures beschreven in Harmsen & Cornelissen (2021), om ervoor te zorgen dat er geen stoffen aanwezig zijn die de biologische stabiliteit kunnen beïnvloeden en daardoor de testen kunnen verstoren. Daar het niet mogelijk was om op locatie te reinigen, is gekozen om op locatie tussen de testen de installaties/membranen weg te zetten in sulfiet (1 g/L) om biologische groei tijdens stilstand te beperken en voor aanvang van de test de installatie grondig te spoelen met het te testen water. Eerst is de MF gedurende een half uur gespoeld in one-pass. Deze werd vervolgens opgestart en met het geproduceerde water werd de NF gedurende een half uur gespoeld in one-pass. Met het geproduceerde water (NF-concentraat) werd als laatste de UF gedurende een half uur gespoeld in one-pass. Deze procedure is vergelijkbaar met de gehanteerde opstartprocedure zoals vermeld in het logboek bij aanvang van de testen (Bijlage VI.I) en op basis van de metingen uitgevoerd tijdens de aanvang van de testen dient dit voldoende te zijn op de sulfiet te verwijderen.

2.4.1.1 Reinwater

De reinwatertest vond plaats in de periode van 28 september 2021 tot en met 17 januari 2022. Gedurende deze periode heeft de installatie waar mogelijk (zie paragraaf 4.1) continu gedraaid met de instellingen zoals weergegeven in

Tabel 2-2. Tijdens de test was de recovery voor de NF-stap 50% wat neerkomt op een concentratiefactor (CF) van 2. Voor de UF-stap was de recovery 25% (CF =4).

Tabel 2-2. Instellingen van de drie membranen van de fractioneringsopstelling tijdens de reinwatertest in Spannenburg

		MF	NF	UF
Feed flow	L/uur	1200	450	100
Permeaat flow	L/uur		225	75
Concentraat flow	L/uur		225	25
Recirculatie flow	m ³ /uur		3,3 (max)	0,7 (max)
CF		1	2	4
Terugspoelen	L/uur	3000	3000	1000
Duur per terugspoelactie	min	1	5	5
Frequentie terugspoelen	per dag	24	1	1

Tijdens de testen zijn monsters genomen van de voeding (MP1), het permeaat van de NF (LM-fractie, MP4), het permeaat van de UF (MM-fractie, MP6) en het concentraat van de UF (HM-fractie, MP7) voor LC-OCD, TOC, ICPMS, AOC-P17/Nox, AOC-A3 en BPP om de organische stoffracties en de groeipotentie te karakteriseren. LC-OCD werd in week 0, 7 en 15 bepaald. ICPMS werd in week 0, 8 en 16 bepaald. De AOC-P17/Nox, AOC-A3, BPP werd alleen in week 0 bepaald. Het overzicht van de monsternamen, tijdstippen en punten is gegeven in Tabel 2-3. De test en monsternamen zijn uitgevoerd op 29 september 2021 (week 0), 16 november (week 7) en 12 januari 2022 (week 15). Een uitgebreide beschrijving van alle uitgevoerde analyses is terug te vinden in paragraaf 2.5. Tijdens de monsternamen werden alle op het scherm weergegeven debieten, drukken en temperaturen genoteerd (zie Figuur 2-4).

Tabel 2-3 Overzicht van welke analyses op welke waterfracties zijn uitgevoerd tijdens reinwatertest Spannenburg. Dit is exclusief analyses die op het groeiproef water (water dat uit de groeiproef komt) zijn uitgevoerd..

		DW	Concentraat MF	LM	Concentraat NF	MM	HM	MM (1:2)	HM (1:8)
Spannenburg	Groeiproeven	X		X		X	X		
	AOC-P17/Nox (wk 0)	X		X		X	X		
	AOC-A3 (wk 0)	X		X		X	X		
	BPP (wk 0)	X		X		X	X		
	LC-OCD (wk 0, 7, 15)	X		X	X (wk 7, 15)	X	X		
	ICP-MS (wk 0, 8, 16)	X		X		X	X		

2.4.1.2 Voorbehandeld ruwwater

De fractioneringstest van het voorbehandeld ruwwater vond plaats in de periode van 31 januari tot en met 29 maart 2022. Om vervuiling van de membranen tegen te gaan zijn er testen uitgevoerd aan het begin, na 4 en 8 weken. Tijdens een test werd de installatie op maandag opgestart en gedurende 24 uur bedreven. Daarna werden er monsters genomen. De monsternamen was op 31 januari, 1 februari en 29 maart. Nadat de monsters waren genomen werden de vaten zoveel mogelijk leeg gemaakt en de membranen in sulfiet (1 g/L) gezet. De instellingen waren hetzelfde als aan het einde van de reinwatertest met uitzondering van de terugspoeling en de forward flush, deze waren frequenter om vervuiling van de membranen tegen te gaan. De instellingen tijdens de voorbehandeld ruwwater test zijn weergegeven in Tabel 2-.

Tabel 2-4: Instellingen van de drie membranen van de fractioneringsopstelling tijdens de voorbehandeld ruwwater test in Spannenburg

		MF	NF	UF
Feed flow	L/uur	1000	300	80
Permeaat flow	L/uur		150	60
Concentraat flow	L/uur		150	20
Recirculatie flow	m ³ /uur		3,3 (max)	0,7 (max)
CF		1	2	4
Terugspoelen	L/uur	3000	3000	1000
Duur per terugspoelactie	min	1	5	5
Frequentie terugspoelen	per dag	48	6	6

Monsters werden genomen en geanalyseerd op LC-OCD, ATP, ICP-MS, o-fosfaat, AOC-P17/Nox, AOC-A3 en BPP. Alle beschikbare monsterpunten werden bemonsterd indien mogelijk om ook een massabalansberekeningen te kunnen uitvoeren. Een overzicht van de monsterpunten en corresponderende analyses zijn gegeven in Tabel 2-5. De monsternamen van het BW-water (MP2) vond als volgt plaats. De eerste 10 liter BW water van het eerste MF element werd opgevangen vervolgens werd ook de eerste 10 liter van het BW-water van het tweede MF-element opgevangen. Beide oplossingen werden gemengd en vervolgens geanalyseerd.

Tabel 2-5. Overzicht monsterpunten en analyses tijdens inlaattest Spannenburg

Monsterpunt	Waterfractie	Analyses
MP1	Voorbehandeld ruwwater	Alles
MP2	>0,2 µm deeltjes (BW water)	ATP, ICP-MS, o-fosfaat
MP3	Voeding NF	Alles
MP4	LM-fractie	Alles
MP5	Voeding UF	Alles
MP6	MM-fractie	Alles
MP7	HM-fractie	Alles

Tijdens de monsternamen werden alle op het scherm (zie Figuur 2-4) weergegeven debieten drukken en temperaturen genoteerd.

2.4.2 Andijk

De testen in Andijk zijn in dezelfde volgorde uitgevoerd als de testen op Spannenburg. Eerst de reinwatertest gevolgd door de test met het behandelde ruwwater na de microzeven. Voor de start van de reinwatertest is de installatie grondig gereinigd volgens de procedures beschreven in Harmsen & Cornelissen (2021) om ervoor te zorgen dat er geen stoffen aanwezig zijn die de biologische stabiliteit kunnen beïnvloeden en daardoor de testen kunnen verstoren. Aangezien het behandelde ruwwater de potentie heeft tot sterke vervuiling is extra (chemische) reiniging nodig. Daar het niet mogelijk was om op locatie te reinigen is ervoor gekozen om, op locatie, tussen de testen door de installaties/membranen weg te zetten in sulfiet (1 g/L) en voor aanvang van de test de installatie grondig te spoelen met het te testen water. Omdat de vervuiling zo sterk was is de installatie discontinu bedreven (voor meer details zie paragraaf 6.1 en bijlage 0).

2.4.2.1 Reinwater

De reinwatertest vond plaats in de periode van 21 juni tot en met 11 oktober 2022. De bedoeling was om de installatie continu te laten draaien. Dit was niet mogelijk omdat het MF te snel vervuilde ondanks de frequente

terugspoeling (paragraaf 6.1 en bijlage 0). Vanwege praktische overwegingen was niet mogelijk om de MF-membranen chemisch te reinigen en daarom is de installatie alleen opgestart tijdens dagen dat er water diende te worden bemonsterd. Daarom is er voor gekozen om de installatie tussendoor niet weg te zetten in sulfiet. De installatie werd opgestart bij de instellingen zoals weergegeven in

Tabel 2-. Monsternamen vond plaats nadat de laatste stap (UF) gedurende drie uur onder stabiele omstandigheden had gedraaid. Tijdens de test was de recovery (net als tijdens de test in Spannenburg) voor de NF-stap 50% (CF = 2). Voor de UF-stap was de recovery 25% (CF = 4).

Tabel 2-6. Instellingen van de drie membranen van de fractioneringsopstelling tijdens de reinwatertest in Andijk

		MF	NF	UF
Feed flow	L/uur	1100	300	80
Permeaat flow	L/uur		150	60
Concentraat flow	L/uur		150	20
Recirculatie flow	m ³ /uur		3,3 (max)	0,7 (max)
CF		1	2	4
Terugspoelen	L/uur	3000	3000	1000
Duur per terugspoelactie	min	1	5	5
Frequentie terugspoelen	per uur	4	0,25	0,25

Tijdens de testen zijn er monsters genomen van de voeding (MP1), het permeaat van de NF (LM-fractie, MP4), het permeaat van de UF (MM-fractie, MP6) en het concentraat van de UF (HM-fractie, MP6) voor LC-OCD, TOC, ICPMS-AOC-P17/Nox, AOC-A3 en BPP om de organische stoffracties te karakteriseren en de groeipotentie van bepaalde bacteriesoorten te testen. LC-OCD werd in week 0, 7 en 15 bepaald. De test en monsternamen zijn uitgevoerd op 26 juni 2022 (week 0), 15 augustus 2022 (week 8) en 26 september 2022 (week 14). Het overzicht van de monsternametijdstippen en -punten is gegeven in Tabel 2-7. Tijdens de monsternamen werden alle op het scherm weergegeven debieten drukken en temperaturen genoteerd.

Tabel 2-7 Overzicht van welke analyses op welke waterfracties zijn uitgevoerd tijdens reinwatertest Andijk. Dit is exclusief analyses die op het groeiproef water (water dat uit de groeiproef komt) zijn uitgevoerd.

		DW	Concentraat MF	LM	Concentraat NF	MM	HM	MM (1:2)	HM (1:8)
Andijk	Groeiproeven	X		X		X	X	X	X
	AOC-P17/Nox (wk 0, 7, 14)	X	X (wk 14)	X	X (wk 14)	X	X	X	X
	AOC-A3 (wk 0, 7, 14)	X	X (wk 14)	X	X (wk 14)	X	X	X	X
	BPP (wk 0, 7, 14)	X	X (wk 14)	X	X (wk 14)	X	X	X	X
	LC-OCD (wk 0, 7, 14)	X	X	X	X	X	X	X	X
	ICP-MS (wk 0, 8, 14)	X	X	X	X	X	X	X	X
	TOC (wk 0, 7, 14)	X	X	X	X	X	X	X	X

2.4.2.2 Ruwwater na microzeven

Het was de bedoeling om de testen op het ruwwater na microzeven op dezelfde manier uit te voeren als de reinwatertesten. De installatie opstarten aan het begin van de dag en vervolgens monsternamen nadat de laatste stap (UF) gedurende drie uur onder stabiele omstandigheden had gedraaid.

Tijdens de eerste test (25 oktober 2022) bleek dat de MF te snel vervuilde resulterend in een sterke afname in de productie, waardoor er niet voldoende water kon worden aangemaakt voor de tweede stap. Er is toen besloten om de frequentie van de terugspoeling aan te passen en terug te spoelen met reinwater (via de brandkraan in het PWN gebouw). Verder wordt afhankelijk van de drukopbouw een BW uitgevoerd bij een voedingsdruk > 2,9bar. Om ervoor te zorgen dat het proces van de NF/UF niet werd verstoord is er ook besloten om geen forward flush uit te voeren na iedere 4 uur.

De fractioneringstest op het ruwwater na microzeven vond plaats in de periode van 6 december 2022 tot en met 31 januari 2023. De test en monsternamen is uitgevoerd op 6 december 2022 (week 0) en 10 december (week 5) en 31 januari 2023 (week 8). De instellingen tijdens de test met het ruwwater na microzeven zijn weergegeven in Tabel 2-.

Tabel 2-8 Instellingen van de drie membranen van de fractioneringsopstelling tijdens de voorbehandeld ruwwater test in Andijk

		MF	NF	UF
Feed flow	L/uur	800	300	80
Permeaat flow	L/uur		150	60
Concentraat flow	L/uur		150	20
Recirculatie flow	m ³ /uur		3,3 (max)	0,7 (max)
CF		1	2	4
Terugspoelen	L/uur	3000	3000	1000
Duur per terugspoelactie	min	1	5	5
Frequentie terugspoelen	per uur	n.t.b.	Begin test	Begin test

Nadat de monsters waren genomen, werden de vaten zoveel mogelijk leeggemaakt en de membranen/installaties in sulfiet (1 g/L) gezet. De instellingen waren hetzelfde als tijdens de reinwatertest met uitzondering van de terugspoeling en de forward flush, deze waren frequenter om vervuiling van de membranen tegen te gaan.

Monsters werden genomen en geanalyseerd op LC-OCD, ATP, ICP-MS, o-fosfaat, AOC-P17/Nox, BPP en deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organisch koolstof (PHMOC). PHMOC werd geanalyseerd omdat het om monsters na behandeling van oppervlaktewater ging, waarin PHMOC relatief hoge concentraties heeft. Alle beschikbare monsterpunten werden bemonsterd indien mogelijk. Een overzicht van de monsterpunten en corresponderende analyses zijn gegeven in

Tabel 2-. De monstername van het BW-water (MP2) vond als volgt plaats. De eerste 10 liter BW water van het eerste MF element werd opgevangen vervolgens werd ook de eerste 10 liter van het BW-water van het tweede MF-element opgevangen. Beide oplossingen werden gemengd en geanalyseerd.

Tabel 2-9. Overzicht monsterpunten en analyses tijdens test met ruwwater na microzeven op locatie Andijk

Monsterpunt	Waterfractie	Analyses
MP1	Ruwwater na microzeven	Alles
MP2	>0,2 µm deeltjes (BW water)	ATP, ICP-MS, o-fosfaat
MP3	Voeding NF	Alles
MP4	LM-fractie	Alles
MP5	Voeding UF	Alles met uitzondering van PHMOC en o-fosfaat. ICP-MS alleen tijdens tweede en derde test
MP6	MM-fractie	Alles
MP7	HM-fractie	Alles

Tijdens de monsternamen werden alle op het scherm weergegeven debieten drukken en temperaturen genoteerd (zie Figuur 2-4).

2.4.3 Groeiproeven

Algemene opzet

Met de waterfracties uit de fractioneringsopstelling op het reinwater zijn groeiproeven uitgevoerd op beide locaties, vergelijkbaar met de BPP-materialentest zoals beschreven in LMB-006, conform NEN-EN 16421:2014 H4 methode 1. De opzet van de groeiproeven is gegeven in Tabel 2-10 voor Spannenburg en Tabel 2-11 voor Andijk. Bemonstering van het water met de verschillende fracties bij de fractioneringsopstelling is beschreven in Bijlage III. Elke groeiproef is in duplo ingezet.

Tabel 2-10. Opzet van groeiproeven van Spannenburg. Aangegeven is in welke periode het experiment is uitgevoerd, welke NOM fracties en materialen zijn gebruikt.

Spannenburg	
Periode	28 september 2021 – 17 januari 2022
Monster	Reinwater, LM-fractie, MM-fractie en HM-fractie
Materialen	Sediment en glazen ringen

Tabel 2-11. Opzet van groeiproeven van Andijk. Aangegeven is in welke periode het experiment is uitgevoerd, welke NOM fracties en materialen zijn gebruikt.

Andijk	
Periode	21 juni – 11 oktober 2022
Monster	Reinwater, LM-fractie, MM-fractie, HM-fractie, MM-fractie 2x verdund en HM-fractie 8x verdund
Materialen	Glazen ringen

Voor de groeiproef werden 16 glazen ringen met elk een oppervlakte van 17,1 cm², of 9 ml sediment per 900 ml water in een fles geïncubeerd bij 30°C. Hiervoor werd het sediment geresuspendeerd in reinwater met een steriele roervlo. Tijdens continu roeren is 9 ml sediment overgebracht naar de groeiproefflessen.

Iedere week werd het water verversd door nieuw geproduceerd water met de verschillende NOM-fracties op locatie te nemen en gekoeld naar het KWR-laboratorium te transporteren. In de flessen met glazen ringen werd tijdens de verversing het één-week-oude water (900 ml) afgegoten en vervolgens 900 ml van het nieuwe water toegevoegd. In de flessen met sediment is het één-week-oude water afgezogen waarbij 100 ml in fles overbleef en

dat werd vervolgens weer aangevuld met 800 ml van het nieuwe water. Hiermee werd voorkomen dat sediment wordt weggegoten tijdens het verversen. Na verversing werd extra stikstof (KNO_3 , eindconcentratie 30 mg/l) en fosfaat (H_3PO_4 , eindconcentratie 120 mg/l) gedoseerd om eventuele limitatie in groei door stikstof of fosfor te voorkomen.

De groeiproeven zijn aangeënt met 1 ml reinwater van de locaties en met bacteriesuspensies bestaande uit *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella*. Hierbij werden de suspensies van de drie groepen aan aparte flessen gedoseerd. Analyses op water, glas en sediment waren in weken met entingen zowel voor als na aanenten uitgevoerd. In de grafieken met de resultaten (hoofdstuk 4.4 en 6.4) zijn alleen de resultaten van vóór dosering getoond. Het monsterpunt na aanenten is met name gebruikt om te controleren of het enten goed is gegaan.

Inoculum *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep, *Legionella*

Alle bacteriestammen die in de groeiproef werden gedoseerd, waren drinkwaterisolaten afkomstig uit verschillende distributiegebieden en geïsoleerd door KWR (*Aeromonas*), Vitens of HWL (*Legionella* en bacteriën van de coligroep). Voor de groeiproeven werden de volgende stammen gedoseerd:

Aeromonas:

- *A. bestiarum/popoffii*
- *A. rivuli*
- *A. sobria*
- *A. veronii*

Bacteriën van de coligroep:

- *Lelliottia amnigena*
- *Serratia liquefaciens*
- *Buttiauxella agrestis*
- *Citrobacter freundii*

Legionella:

- *L. anisa*
- *L. erythra*
- *L. rubrilucens*
- (*L. pneumophila*)

Iedere bacteriesoort werd aan de groeiproeven gedoseerd, in de aanwezigheid van de natuurlijke microflora, zodat aantallen van 1×10^4 kve/900 ml per bacteriesoort werd verkregen, dus in totaal 4×10^4 kve/900 ml voor *Aeromonas*, 4×10^4 kve/900 ml bacteriën van de coligroep en 3×10^4 kve/900 ml *Legionella*. De inoculatie werd gedaan op dag 0, 7 en 14 (Spannenburg) of dag 0, 7, 14 en 56 (Andijk).

De stammen van *Aeromonas* en bacteriën van de coligroep waren opgekweekt in entflessen conform KWR-LMB Werkinstructie W-009-B.

De legionellastammen waren opgekweekt in een plaatjesmonitor. Hierin stroomde continu drinkwater langs PVC-P-plaatjes waarop een biofilm werd gevormd. Aan dit systeem werden één week voor de start van de groeiproeven *L. anisa*, *L. erythra* en *L. rubrilucens* gedoseerd. Ondanks dat *L. pneumophila* dus niet was gedoseerd, bleek deze wel aanwezig te zijn in de biofilm op de plaatjes, waardoor dus ook *L. pneumophila* werd gedoseerd aan de groeiproeven. Het water uit de plaatjesmonitor werd behandeld met hoge energie sonificatie (HES). Daarna heeft het water, inclusief de gedoseerde en opgekweekte legionellastammen, een hittebehandeling gekregen (30 minuten bij 50°C), voordat het aan de groeiproeven werd toegevoegd. Doordat het water uit de plaatjesmonitor werd toegevoegd aan de groeiproeven, werden hiermee wellicht ook andere bacteriesoorten gedoseerd.

Groeiproeven Spannenburg

De groeiproef van Spannenburg was op dag 0, 7 en 14 aangeënt met 1 ml reinwater van Spannenburg en met bacteriesuspensies bestaande uit *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella*. Hierbij werden de suspensies van de drie groepen aan aparte flessen gedoseerd. Analyses op water, glas en sediment waren in week 1 en 2 zowel voor als na aanenten uitgevoerd. In de grafieken met de resultaten (hoofdstuk 3.4) zijn alleen de resultaten van vóór dosering getoond. Het monsterpunt na aanenten is met name gebruikt om te controleren of het enten goed is gegaan.

In week 0, 8, 16 werden per fles drie glazen ringen uitgenomen en werd de biofilm losgetrild met HES volgens KWR-huisvoorschrift LMH-052 in 40 ml steriel drinkwater (week 0) of 80 ml fysiologische zout (week 8, 16). In week 1, 2,

4, 12 werd één glazen ring uitgenomen en behandeld met HES in 40 ml steriel drinkwater. Op de losgetrilde biofilm werden de analyses uit

Tabel 2-12 uitgevoerd.

De groeiproef met sediment alleen uitgevoerd met het reinwater van productielocatie Spannenburg. In het distributiegebied van Spannenburg was op donderdag 22 september 2021 een leiding gespuid waarna het niet-gefractioneerde sediment gekoeld naar KWR is vervoerd. Bij aankomst zijn de grote deeltjes ($> 10 \mu\text{m}$) eruit gezeefd. Op vrijdag 23 september 2021 werd het ATP-gehalte gemeten, waarna het sediment werd gepasteuriseerd gedurende 30 minuten bij 60°C en vervolgens koel bewaard bij 4°C tot gebruik in de groeiproeven op 28 september 2021 (Bijlage VII, Figuur VII-2). Tijdens monsternamen van de groeiproefkolven werd eerst het watermonster genomen. Daarna werd, na homogeen mengen van de water-sedimentsuspensie, een suspensiemonster genomen dat dus uit water en gesuspendeerd sediment bestond. De biofilm werd vervolgens van het sediment losgetrild door middel van Hoge Energie Sonificatie (HES) volgens KWR-huisvoorschrift LMH-052. Na HES werd het water, inclusief sediment en losgetrilde biofilm, ingezet voor microbiologische en chemische parameters.

In week 9 en week 13 werd het water in de groeiproeven niet verversd omdat er problemen waren met de fractioneringsopstelling en het water met de verschillende NOM-fracties niet bemonsterd kon worden.

Tabel 2-12. Experimentele opzet groeiproef op NOM-fracties van Spannenburg. Gegeven is wanneer welke analyse is uitgevoerd. Groeiproefwater: water uit de groeiproef; NOM-fracties: bemonsterde waterfracties uit de fractioneringsopstelling (alleen metingen gerelateerd aan de groeiproeven); glas: biofilm op glazen ringen; sediment: biofilm op gesuspendeerd sediment.

	Datum		Kweek ^b	ICP-MS	ATP
Dag 0	28-9-2021 ^a	Groeiproefwater	X		X
		Glas	X		X
		Sediment	X	X	X
Dag 7	5-10-2021 ^a	Groeiproefwater ^c	X		X
		NOM-fracties			X
		Glas ^c	X		X
		Sediment ^c	X		X
		Groeiproefwater ^d	X		X
Dag 14	12-10-2021 ^a	Groeiproefwater ^c	X		X
		Glas ^c	X		X
		Sediment ^c	X		X
		Groeiproefwater ^d	X		X
Dag 28	26-10-2021	Groeiproefwater	X		X
		Glas	X		X
		Sediment	X		X
Dag 42	9-11-2021	NOM-fracties			X
Dag 56	23-11-2021	Groeiproefwater	X	X	X
		NOM-fracties			X
		Glas	X	X	X
		Sediment	X	X	X
Dag 70	7-12-2021	NOM-fracties			X
Dag 84	21-12-2021	Groeiproefwater	X		X
		NOM-fracties			X
		Glas	X		X
		Sediment	X		X
Dag 98	4-1-2022	NOM-fracties			X
Dag 112	17-1-2022	Groeiproefwater	X	X	
		Glas	X	X	X
		Sediment	X	X	X

^a doseren van DW-ent aan groeiproeven in LM, MM en HM waterfracties, en dosering van *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella* aan alle groeiproeven.

^b aantal *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella* bepaald met kweekmethode.

^c Analyses ingezet voordat reinwater en bacteriestammen zijn geënt.

^d Analyses ingezet nadat reinwater en bacteriestammen zijn geënt.

Groeiproeven Andijk

In week 0, 8, 16 werden per fles vier glazen ringen uitgenomen en werd de biofilm losgetrild met HES volgens KWR-huisvoorschrift LMH-052 in 40 ml steriel drinkwater voor microbiologische analyses. In week 0, 1, 2, 4, 8, 10, 12, 14 en 16 werd één glazen ring uitgenomen en behandeld met HES in 40 ml steriel drinkwater voor microbiologische analyses. Op de losgetrilde biofilm werden de analyses uit **Error! Reference source not found.** uitgevoerd.

Hieronder zijn de verschillen tussen de groeiproeven van Spannenburg en Andijk beschreven. Er werden twee extra waterfracties gemaakt: de MM-fractie 2x verdund in mineraal medium en de HM-fractie 8x verdund in mineraal medium, om het geconcentreerde organisch stofgehalte tot een “normaal” reinwaterniveau te verdunnen. Deze concentratiefactoren komen overeen met de volumetrische concentratiefactoren van de MM en HM-fractie (Paragraaf 2.6). Het mineraalmedium werd gemaakt conform KWR-LMB Werkinstructie W-009-B. Er werd voor gekozen om voor de groeiproeven het water met de verschillende NOM-fracties in mineraal medium te verdunnen zodat er geen tekort aan mineralen ontstaat dat de groei van bacteriën negatief kan beïnvloeden. Vanwege een

tekort aan mineraal medium werd in week 0 – 4 de verdunning uitgevoerd in ultrapuur water (MilliQ-water). Op dag 0 werd aan alle flessen 9 ml IJsselmeer water (gefilterd 1,2 µm) toegevoegd.

Tabel 2-13. Experimentele opzet groeiproef op waterfracties van Andijk. Gegeven is wanneer welke analyse is uitgevoerd. Water: water uit de groeiproef; NOM-fracties: bemonsterde waterfracties uit de fractioneringsopstelling (alleen metingen gerelateerd aan de groeiproeven); glas: biofilm op glazen ringen.

	Datum		Kweek ^c	ICP-MS	ATP
Dag 0	21-6-2022 ^a	NOM-fracties		X	X
		Water ^e	X		X
		Glas ^e	X		X
Dag 7	28-6-2022 ^a	Water ^d	X		X
		Glas ^d	X		X
		Water ^e	X		
Dag 14	5-7-2022 ^a	Water ^d	X		X
		Glas ^d	X		X
		Water ^e	X		X
Dag 21	12-7-2022	NOM-fracties			X
Dag 28	19-7-2022	Water	X		X
		Glas	X		X
Dag 35	26-7-2022	NOM-fracties			X
Dag 42	2-8-2022	NOM-fracties			X
Dag 49	9-8-2022	NOM-fracties			X
Dag 56	16-8-2022 ^b	NOM-fracties		X	X
		Water ^d	X		X
		Glas ^d	X		X
		Water ^e	X		X
Dag 63	23-8-2022	NOM-fracties			X
Dag 70	30-8-2022	Water	X		X
		Glas	X		X
Dag 77	6-9-2022	NOM-fracties			X
Dag 84	13-9-2022	Water	X		X
		Glas	X		X
Dag 91	20-9-2022	NOM-fracties			X
Dag 98	27-9-2022	Water	X		X
		Glas	X		X
Dag 105	4-10-2022	NOM-fracties		X	X
Dag 112	11-10-2022	Water	X		X
		Glas	X		X

^a doseren van de drinkwater-ent aan groeiproeven in de LM, MM en HM-fracties, en dosering van bacteriën van de coligroep en *Legionella* aan alle groeiproeven.

^b doseren van bacteriën van de coligroep en *Legionella* aan alle groeiproeven.

^c aantal bacteriën van de coligroep en *Legionella* bepaald met kweekmethode.

^d Analyses ingezet voordat reinwater en bacteriestammen zijn geënt.

^e Analyses ingezet nadat reinwater en bacteriestammen zijn geënt.

Er zijn geen groeiproeven met sediment uitgevoerd, omdat de resultaten met het reinwater van Spannenburg lieten zien dat pasteurisatie van het sediment resulteerde in een hoge concentratie dode biomassa waarop

bacteriën tot hoge biomassaconcentraties konden groeien, waardoor de invloed van de verschillende NOM-fracties niet kon worden bepaald.

Aangezien van *Aeromonas* bekend is dat deze bacteriën hun niche hebben in het sediment (van der Wielen & Lut, 2016; Liu et al., 2017), en de sedimentconditie niet werd getest met het reinwater van Andijk is *Aeromonas* niet gedoseerd aan de groeiproeven met het reinwater van Andijk.

Legionella spp. en bacteriën van de coligroep werden extra gedoseerd in week 8 (naast week 0, 1 en 2). Aan het begin van de groei-experimenten was er niet of nauwelijks een biofilm aanwezig op het glas, waardoor bacteriën die hun niche hebben in de biofilm op glas mogelijk nog niet of onvoldoende in staat waren om te groeien. Dit is bijvoorbeeld waargenomen in eerdere proeven met *L. pneumophila* bij KWR (pers. comm. van der Kooij). Na acht weken was er wel een biofilm aanwezig, en hebben deze bacteriegroepen mogelijk een betere kans om zich te vestigen en te groeien als ze opnieuw gedoseerd worden. Door de latere enting zijn in week 10, 12, 14 en 16 het aantal *Legionella* spp. en bacteriën van de coligroep in de groeiproeven gemeten (in plaats van alleen in week 12 en 16 zoals in Spannenburg).

Voor de experimenten met het reinwater van Andijk was de plaatjesmonitor vier weken voor de start van de groeiproeven opgestart en werden de *Legionella*-stammen gedoseerd. In week 0 werd water (inclusief gedoseerde *Legionella*-stammen) uit de plaatjesmonitor gedoseerd aan de groeiproeven. Daarna was de plaatjesmonitor met *Legionella* kapotgegaan en het was niet mogelijk om op korte termijn een nieuwe plaatjesmonitor op te starten om daarin *Legionella* op te kweken. Als alternatief voor de defecte plaatjesmonitor werden daarom vanaf week 1 de legionellastammen op BCYE-agarplaten opgekweekt en geresuspendeerd in steriel leidingwater. De aantallen legionellabacteriën van deze suspensie werd bepaald met flowcytometrie, waarna de juiste hoeveelheid (XX) legionellabacteriën aan de groeiproef werd toegevoegd. Ondanks dat *L. pneumophila* niet werd gedoseerd aan de plaatjesmonitor, bleek deze wel aanwezig te zijn in het water en werd daardoor alleen op dag 0 gedoseerd aan de groeiproeven.

2.5 Analyses

Beschrijving van de analysemethoden zijn beschreven in bijlage III.

2.6 Berekeningen

2.6.1 Membraanprestaties

De prestatie van de membranen werd gedurende de experimenten gemonitord en berekend met de onderstaande formules.

$$Recovery (\%) = \frac{Permeaat \left(\frac{L}{h}\right)}{Voeding \left(\frac{L}{h}\right)} \times 100\%$$

$$Flux \left(\frac{L}{h \times m^2}\right) = \frac{Permeaat \left(\frac{L}{h}\right)}{Membraanoppervlakte (m^2)}$$

$$Permeabiliteit \left(\frac{L}{bar \times h \times m^2}\right) = \frac{Flux \left(\frac{L}{h \times m^2}\right)}{Voedingsdruk (bar)}$$

De flux en permeabiliteit werden niet gecorrigeerd voor de temperatuur.

2.6.2 Data correctie voor LC-OCD en groeipotentie

Voor de data-analyse is een berekening uitgevoerd om te bepalen wat de daadwerkelijke bijdrage van de drie fracties (laagmoleculaire stoffen, mediummoleculaire stoffen en hoogmoleculaire stoffen) is geweest aan de parameters. In deze berekeningen wordt gecorrigeerd voor de aanwezigheid van laag- en mediummoleculaire stoffen in de HM-fractie. Deze correctie kan alleen worden toegepast bij een hoge retentie. De retentie over het NF-membraan is echter laag, waardoor deze correctie voor de laagmoleculaire stoffen in de MM-fractie niet kan worden uitgevoerd. Vervolgens is een correctie toegepast op basis van de volumetrische concentratiefactor voor zowel de gecorrigeerde HM-fractie als de MM-fractie. De data voor het inkomende water en de LM-fractie blijven bij deze methode gelijk aan de ongecorrigeerde data. De correctie werd ook alleen gedaan met LC-OCD data en data uit de microbiologische parameters om daartussen beter een link te kunnen leggen. Voor de andere parameters werd deze correctie niet toegepast.

De volumetrische concentratiefactor is als volgt berekend:

$$Recovery (S) = \frac{\text{permeaat} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{inkomend} \left(\frac{l}{h} \right)} \leftrightarrow S = \frac{\text{inkomend} \left(\frac{l}{h} \right) - \text{concentraat} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{inkomend} \left(\frac{l}{h} \right)} \leftrightarrow S = 1 - \frac{\text{concentraat} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{inkomend} \left(\frac{l}{h} \right)}$$

$$Volumetrische\ Concentratiefactor\ (VCF) = \frac{\text{inkomend} \left(\frac{l}{h} \right)}{\text{concentraat} \left(\frac{l}{h} \right)} \leftrightarrow VCF = \frac{1}{1 - S}$$

De concentratiefactoren van de verschillende membranen (ten opzichte van het inkomende reinwater) werd bepaald door het debiet dat door de membranen gaat

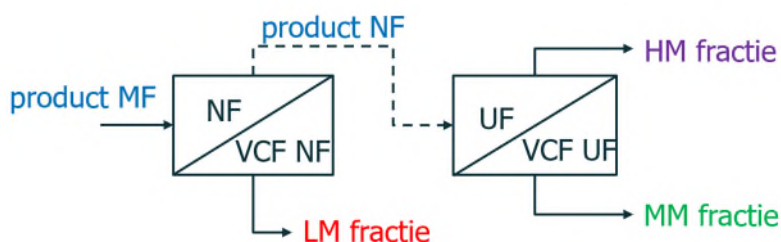
Tijdens alle testen werd de LM-fractie niet gecorrigeerd want de volumetrische concentratiefactor voor de LM-fractie is 1, de MM-fractie wordt gecorrigeerd met factor 2 en de HM-fractie met factor 8. Deze laatste VCF is 8 omdat de UF-fractie vier keer wordt geconcentreerd door het UF-membraan en twee keer door het NF-membraan van de stap ervoor (Bijlage V).

Basis van massabalans (C: concentratie, f: flow):

$$C_{\text{inkomend}} * f_{\text{inkomend}} = C_{\text{concentraat}} * f_{\text{concentraat}} + C_{\text{permeaat}} * f_{\text{permeaat}}$$

Uitgewerkte massabalans vanaf product van MF-membraan (AOC als voorbeeld) In Figuur 2-5 staat de schematische weergave van de opstelling waarover deze massabalans is opgesteld:

$$AOC(\text{product MF}) = \frac{AOC(HM)}{VCF_{NF} \cdot VCF_{UF}} + \frac{AOC(MM)}{VCF_{NF}} * \left(1 - \frac{1}{VCF_{UF}} \right) + AOC(LM) * \left(1 - \frac{1}{VCF_{NF}} \right)$$



Figuur 2-5: Schematische weergave van fractioneringsopstelling voor het NF en UF membraan

Dit kan worden herschreven als:

$$AOC(\text{product } MF) = \frac{AOC(HM) - AOC(MM)}{VCF_{NF} \cdot VCF_{UF}} + \frac{AOC(MM) - AOC(LM)}{VCF_{NF}} + AOC(LM)$$

De MM en HM werden uitgerekend volgens de volgende berekeningen (aangezien de MM-LM correctie vervalt door de te lage retentie):

$$HM \text{ gecorrigeerd} = \frac{HM - MM}{VCF_{NF} \cdot VCF_{UF}}$$

$$MM \text{ gecorrigeerd} = \frac{MM}{VCF_{NF}}$$

3 Resultaten voorbehandeld ruwwater Spannenburg

3.1 Bedrijfsvoering

De fractioneringstest met het voorbehandeld ruwwater vond plaats in de periode van 31 januari tot en met 29 maart 2022. Tijdens een test bij ps. Spannenburg (Vitens) werd de installatie op maandag opgestart en gedurende 24 uur bedreven. Een continue bedrijfsvoering bleek niet mogelijk vanwege vervuiling van de membranen. De monsternamen waren op 31 januari, 1 maart en 29 maart. In bijlage V zijn tabellen met de bedrijfsvoering van de MF, UF en NF inclusief de berekende recovery's en concentratiefactoren weergegeven. Tijdens de eerste test op 31 januari zijn ook de gegevens tijdens de opstart van de installatie genoteerd. Daarna zijn alleen de gegevens tijdens de monsternamen genoteerd. De installatie heeft tijdens de testdagen probleemloos gedraaid.

De temperatuur van het voedingswater lag rond de 13 °C. De temperatuur van de NF voeding lag rond de 12 °C en van de UF tussen de 10,6 en 11,5 °C tijdens de verschillende monsternamemomenten. Het NF-membraan was ingesteld op een recovery van 50 % (wat overeenkomt met een concentratiefactor van 2). De permeabiliteit was tijdens alle drie de monsternamemomenten 4,7 L/m²*uur*bar de recovery 50 % en de concentratiefactor 2,0. Het UF-membraan was ingesteld op een recovery van 75 % (wat overeenkomt met een concentratiefactor van 4). De permeabiliteit was tijdens het eerste, tweede en derde monsternamemoment respectievelijk 17,5, 15,5 en 17,5 L/m²*uur*bar. Tijdens alle drie de monsternamemomenten was de recovery was 76 % en de concentratiefactor 4,1.

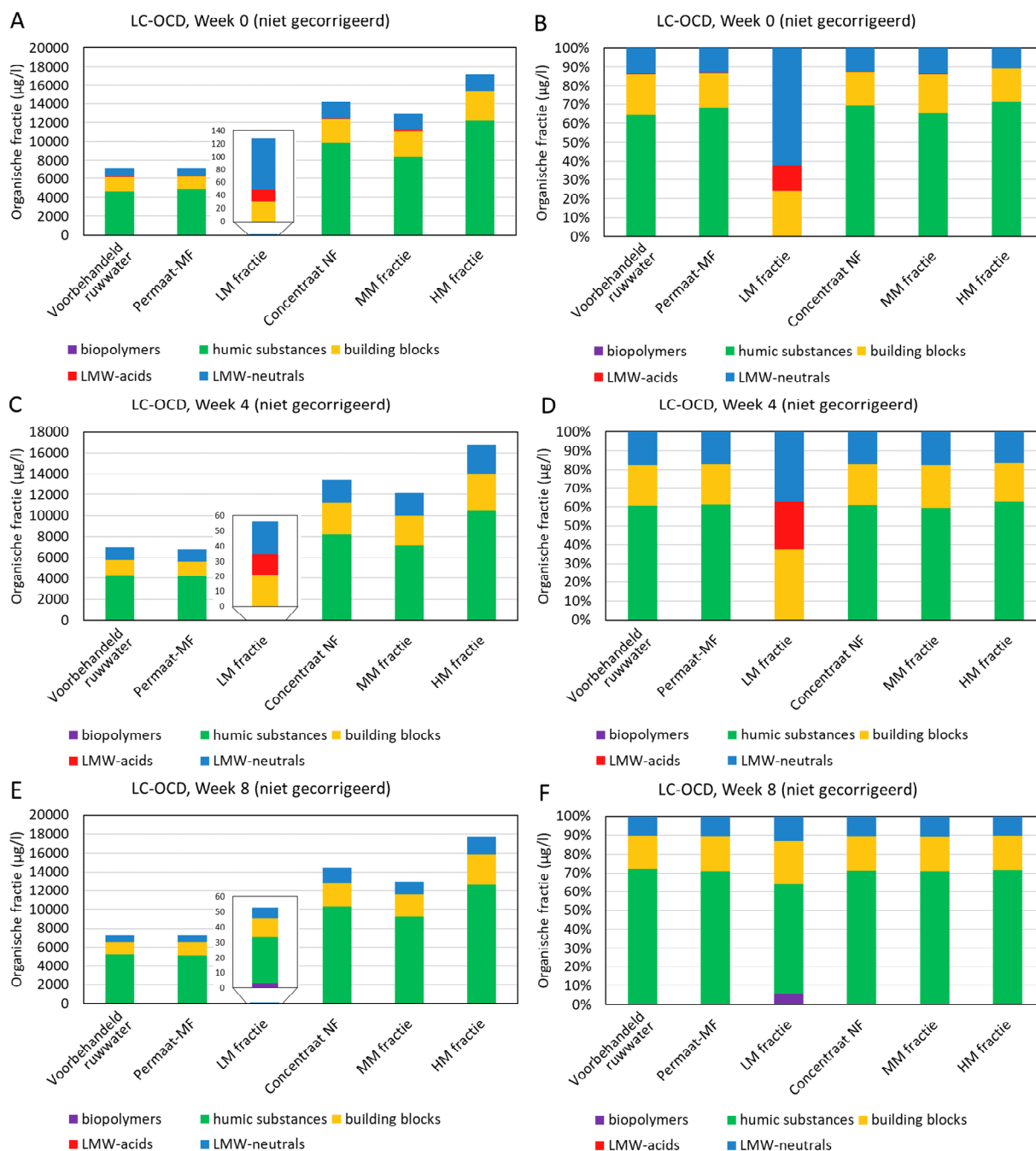
Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamen de installatie heeft gedraaid onder de voorgestelde condities.

3.2 Chemische karakterisatie fracties

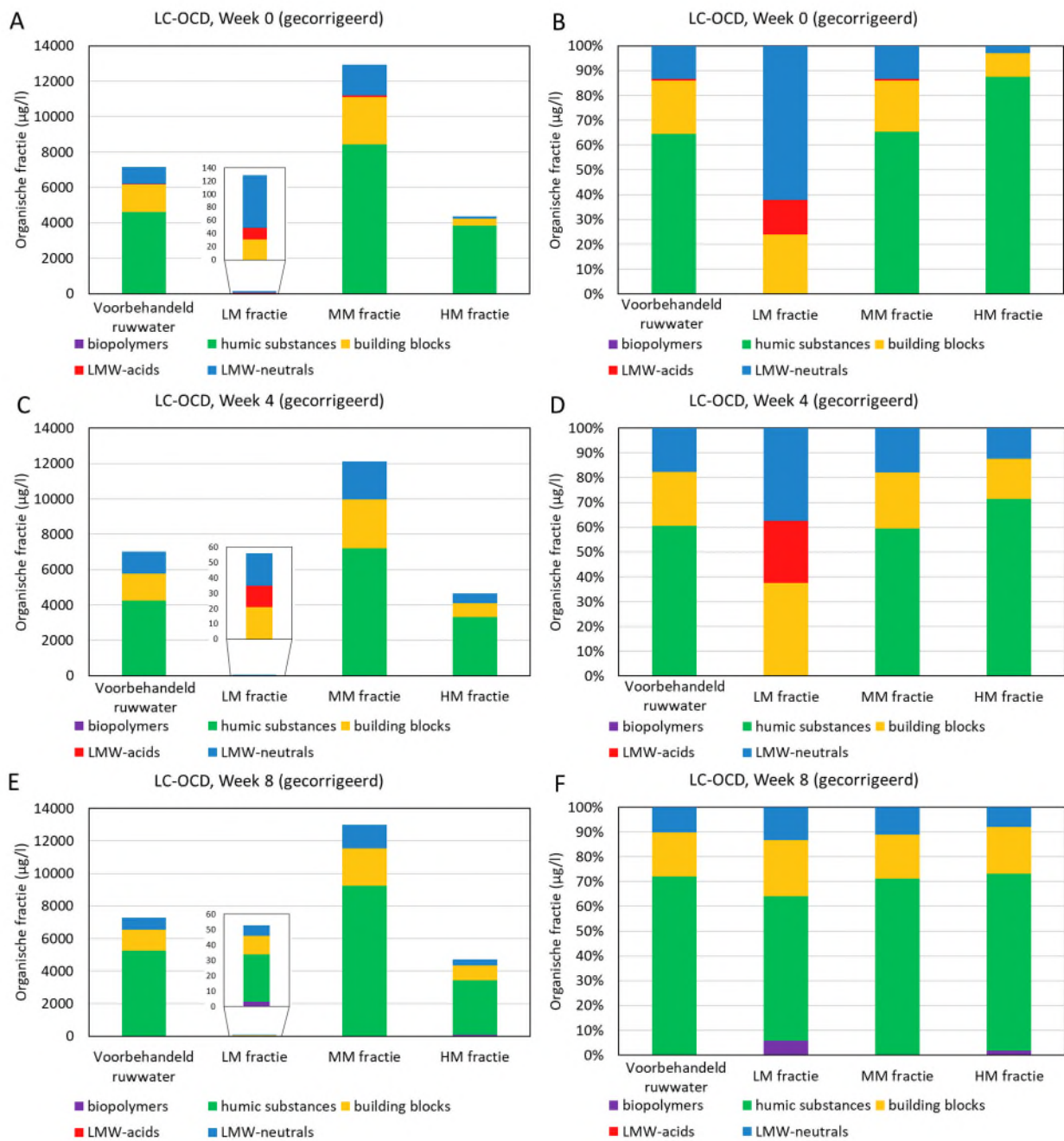
3.2.1 LC-OCD

Met de fractioneringsopstelling werd het voorbehandeld ruwwater gesplitst in verschillende fracties: laagmoleculair (LM), mediummoleculair (MM) en hoogmoleculair (HM) als waterstromen verkregen uit de fractioneringsopstelling. De LC-OCD profielen voor de verschillende fracties zijn weergegeven in Figuur 3-1. De LM-fractie had een lagere opgeloste organische koolstof (DOC) concentratie (179, 81 en 76 µg/l) in alle weken dan het voorbehandeld ruwwater (8401, 7762 en 8160 µg/l), de MM-fractie (14109, 13444 en 14288 µg/l) en de HM-fractie (19153, 18260 en 19311 µg/l). Een verschil in DOC-concentratie tussen de fracties was te verwachten gezien de concentratiestappen in het fractioneringsproces, echter was de concentratie in de LM-fractie erg laag, wat ook bij het reinwaterexperiment was geobserveerd. Er zaten geen substantiële verschillen in de LC-OCD-profielen van het voorbehandeld ruwwater en de MM-fractie en HM-fractie in de relatieve verdeling van de daadwerkelijk gemeten concentraties laag-, midden- en hoogmoleculaire stoffen voor week 0 en week 4 en week 8. Bij de LM-fractie waren er wel grote verschillen waar het percentage LM-stoffen afneemt van 76% in week 0 tot 17% in week 8. In week 8 waren hogere concentraties biopolymeren gemeten, maar ook in week 8 waren de biopolymeren < 1% van de DOC-concentratie in het voorbehandeld ruwwater.

Voor de berekening om de groeipotentie van de verschillende fracties te achterhalen wordt een correctie gedaan van HM-MM (paragraaf 2.6.2). Hierdoor is het ook nodig om hetzelfde te doen voor de LC-OCD resultaten zodat een beeld wordt gekregen van de samenstelling van deze gecorrigeerde fracties. Deze samenstelling is terug te vinden in Figuur 3-2.

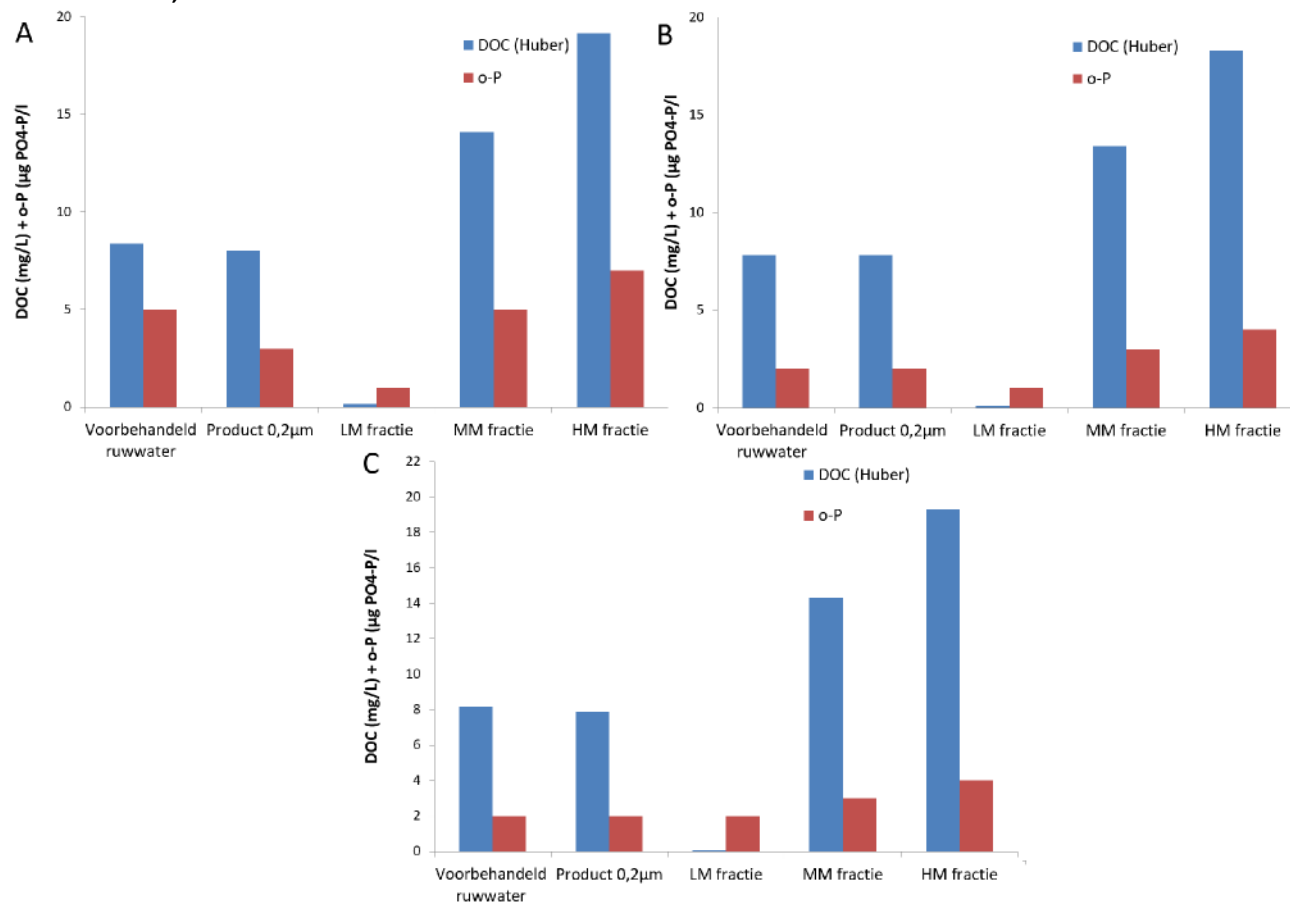


Figuur 3-1: LC-OCD resultaten van NOM-fracties Spannenburg. Voorbehandeld ruwwater, permeaat-MF LM-fractie, concentraat-NF, MM-fractie en HM-fractie. A, C en E: absolute waarden van week 0, 4 en 8 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling in week 0, 4 en 8.



Figuur 3-2: Theoretische LC-OCD resultaten voor Spannenburg. Voorbehandeld ruwwater na HM-MM correctie. A, C en E: absolute waarden voor week 0, 4 en 8 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling voor week 0, 4 en 8 respectievelijk.

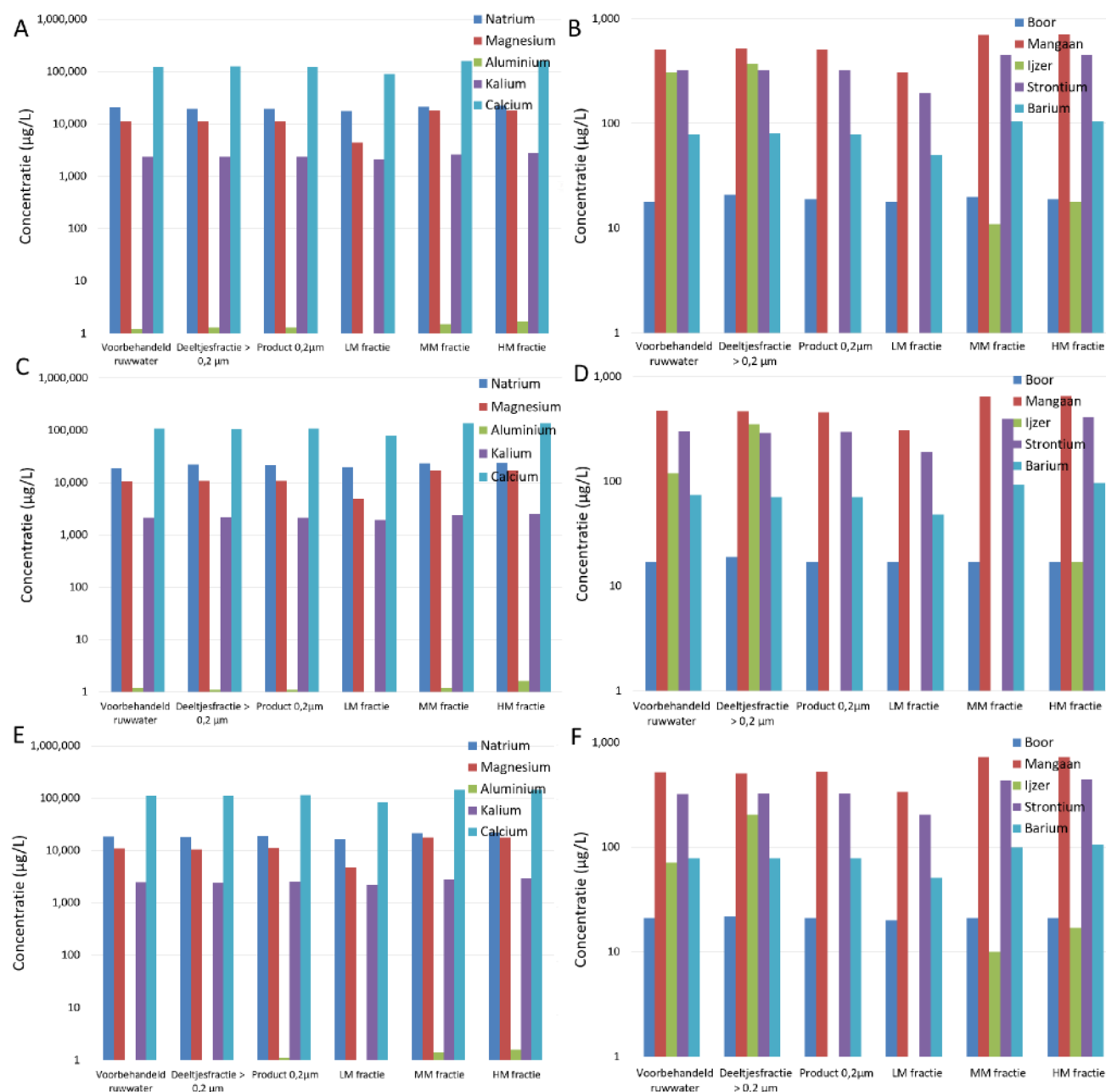
3.2.2 DOC, o-fosfaat en ICP-MS



Figuur 3-3: DOC en o-fosfaat resultaten van het voorbehandeld ruwwater op Spannenburg. A: week 0, B: week 4, C: week 8.

DOC- en o-fosfaatconcentraties waren gedurende alle weken maar weinig lager in het permeaat van het MF-membraan (DOC: 8,0, 7,8 en 7,88 mg/l, o-fosfaat: 3,0, 2,0 en 2,0 µg PO₄-P/l voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) ten opzichte van het inkomende water (DOC: 8,4, 7,8, 8,14 mg/l, o-fosfaat: 5,0, 2,0, 2,0 µg PO₄-P/l voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) (Figuur 3-3). Het meeste DOC en o-fosfaat was zoals verwachting door het MF-membraan gekomen. De concentraties waren het laagst in de LM-fractie (DOC: 0,18, 0,08 en 0,07 mg/l, o-fosfaat: 1,0, 1,0 en 2,0 µg PO₄-P/l voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) en het hoogst in de HM-fractie (DOC: 19,2, 18,3 en 19,3 mg/l, o-fosfaat: 7,0, 4,0 en 4,0 µg PO₄-P/l voor week 0, 4 en 8 respectievelijk), met de MM-fractie iets lager (DOC: 14,1, 13,4 en 14,3 mg/l, o-fosfaat: 5,0, 3,0 en 3,0 µg PO₄-P/l voor week 0, 4 en 8 respectievelijk). Het NF-membraan heeft dus een groot gedeelte van de DOC tegengehouden, terwijl een relatief groot gedeelte van het o-fosfaat niet is tegengehouden door het membraan. Dat de HM-fractie de hoogste concentraties bevatte gevolgd door de MM-fractie was ook verwacht gezien de concentratiefactoren in de opstelling.

De ICP-MS resultaten van de 10 metalen met de hoogste concentraties zijn weergegeven in Figuur 3-4. Uit de resultaten blijkt dat voornamelijk ijzer is tegengehouden door het MF-membraan. De metaalconcentraties in de deeltjesfracties waren hoger dan die in het voorbehandeld ruwwater en ook lagen de concentraties in de verschillende fracties ver beneden die gemeten in het voorbehandeld ruwwater.



Figuur 3-4: ICP-MS resultaten van 10 metalen in het voorbehandeld ruwwater op Spannenburg. A en B: week 0, C en D: week 4, E en F: week 8.

3.2.3 Massabalansen

De massabalansen voor de LC-OCD data zijn weergegeven in Tabel 3-1. Voor de CDOC, humic substances, building blocks en LMW-neutrals waren de massabalansen goed sluitend voor de drie membranen op de drie meetmomenten. Voor de biopolymeren en LMW-acids waren de massabalansen over het algemeen niet sluitend, maar voor deze stofgroepen waren de concentraties ook nabij de detectielimiet of eronder waardoor kleine meetfouten veel impact kunnen hebben op de massabalansen. Bij deze massabalansen is de ratio uitgerekend tussen de hoeveelheid DOC of andere stoffen in de voeding naar het membraan en de hoeveelheid van deze stoffen in het permeaat + concentraat. Dit moet in theorie uitkomen op 1. Voor de meeste stoffen waren deze massabalansen redelijk sluitend, binnen ongeveer 20% afwijking (0,8-1,2).

De massabalansen voor de ICP-MS data zijn weergegeven in Tabel 3-2. Voor de ICP-MS is het concentraat van het NF-membraan niet gemeten, waardoor er alleen een massabalans over het MF-membraan kon worden vastgesteld.

Voor alle metalen behalve ijzer waren de massabalansen sluitend. Dit duidt erop dat ijzer wellicht op de membranen is vastgehecht en daardoor verloren is gegaan in de waterfracties. Voor de groeipotentie metingen (hoofdstuk 3.3) waren de deeltjesfractie en NF concentraat niet gemeten waardoor hiervoor geen massabalansen kon worden opgesteld.

Tabel 3-1: Massabalansen van LC-OCD data (DOC, biopolymeren, humics, building blocks, LMW-acids en LMW-neutrals) van het water na de verschillende membranen gevoed met het voorbehandeld ruwwater van Spannenburg. Waarden zijn de verhouding tussen in-, en uitgaande stoffen (waarde van 1 = evenveel gemeten in de in-, en uitgaande stromen, waarde < 1 = meer in uitgaande stromen, waarde > 1 meer in ingaande stromen)

Week	Membraan	BPs	HS	BBs	LMWAs	LMWNs	CDOC
0	MF	0,43	0,95	1,16	2,05	1,03	1,00
0	NF	2,56	0,99	1,03	0,70	1,02	1,00
0	UF	3,78	1,05	0,93	0,61	1,00	1,02
4	MF	ND	1,02	1,03	ND	1,08	1,04
4	NF	ND	1,02	0,99	ND	1,00	1,01
4	UF	ND	1,02	1,01	ND	0,99	1,02
8	MF	0,70	1,02	0,96	ND	0,97	1,00
8	NF	1,10	1,02	1,05	ND	1,02	1,02
8	UF	1,23	1,02	1,02	ND	1,00	1,02

Tabel 3-2: Massabalansen van ICP-MS data in het water na MF-membraan gevoed met voorbehandeld ruwwater van Spannenburg. Waarden zijn de verhouding tussen in-, en uitgaande stoffen (waarde van 1 = evenveel gemeten in de in-, en uitgaande stromen, waarde < 1 = meer in uitgaande stromen, waarde > 1 meer in ingaande stromen)

Week	Membraan	Na	Mg	Al	K	Ca	B	Mn	Fe	Sr	Ba
0	MF	1,05	1,01	0,92	1,02	0,99	0,95	1,01	62,00	0,98	1,00
4	MF	0,87	0,98	1,09	0,98	1,02	1,00	1,02	24,00	1,02	1,04
8	MF	0,99	0,99	0,45	0,98	0,98	1,00	0,99	14,20	0,98	1,00

3.3 Groeipotentie

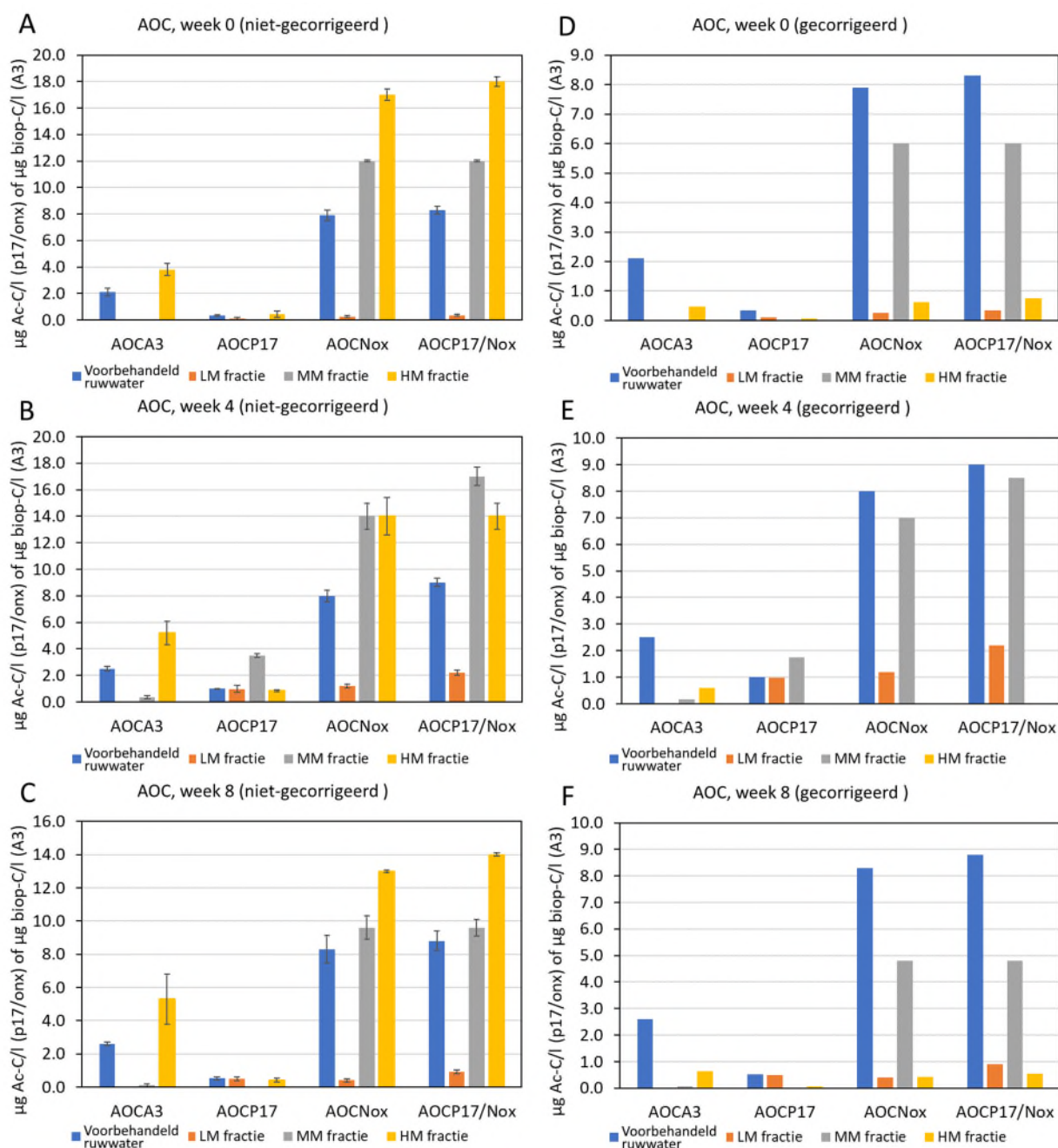
3.3.1 AOC-P17/Nox en AOC-A3

De resultaten voor de ongecorrigeerde concentraties AOC-P17/Nox en AOC-A3 zijn weergegeven in Figuur 3-5 A/B/C. De ongecorrigeerde concentratie AOC-A3 was het hoogst in de HM-fractie in alle weken ($3,8 \pm 0,46$, $5,2 \pm 0,897$ en $5,3 \pm 1,5$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk), gevolgd door het voorbehandeld ruwwater ($2,1 \pm 0,3$, $2,5 \pm 0,16$ en $2,6 \pm 0,13$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk). In de LM en MM-fractie is nagenoeg geen AOC-A3 gemeten in alle weken ($< 0,4$ $\mu\text{g biop-C/l}$). Dit resultaat komt overeen met de LC-OCD-resultaten waar de hoogmoleculaire stoffen verrijkt waren in de HM-fractie. De ongecorrigeerde concentratie AOC-P17/Nox was in twee van de meetweken ook het hoogst in de HM-fractie ($18 \pm 0,35$, $14 \pm 0,97$ en $14 \pm 0,1$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk), gevolgd door de MM-fractie ($12 \pm 0,06$, $17 \pm 0,7$ en $9,6 \pm 0,5$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk), het voorbehandeld ruwwater ($8,3 \pm 0,28$, $9 \pm 0,31$ en $8,8 \pm$

0,59 $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk) en de LM-fractie ($0,35 \pm 0,08$, $2,2 \pm 0,21$ en $0,91 \pm 0,11$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk). Dit kan ook gedeeltelijk verklaard worden door de concentratie van LM stoffen in de verschillende fracties. De HM-fractie bevatte ook de hoogste concentratie LM-stoffen, zodoende is het niet geheel onverwacht dat de AOC-P17/Nox concentratie ook het hoogste is in de HM-fractie ondanks dat deze AOC P17/Nox stoffen voornamelijk een lage moleculaire massa hebben (Escobar & Randall, 2001).

In Figuur 3-5 D/E/F staan de gecorrigeerde concentraties AOC-P17/Nox en AOC-A3 water met de verschillende fracties en de deeltjesfractie. De gecorrigeerde AOC-A3-concentratie was 0,48, 0,61 en 0,65 $\mu\text{g biop-C/l}$ in de HM-fractie. Doordat met de AOC-A3 methoden met name hoogmoleculaire stoffen worden gedetecteerd (Sack et al., 2011), was de gecorrigeerde AOC-A3-concentratie zoals verwacht voor een belangrijk deel in de HM-fractie terecht gekomen. In het niet gefractioneerde voorbehandeld ruwwater was de AOC-A3 concentratie echter 2,1, 2,5 en 2,6 $\mu\text{g biop-C/l}$, wat betekent dat een deel van de AOC-A3 niet is teruggevonden in het water met de verschillende fracties. Het is aannemelijk dat de niet teruggevonden AOC-A3 terecht is gekomen in de deeltjesfractie MP2 die wordt verkregen na de eerste membraanfiltratiestap, aangezien biopolymereen die met AOC-A3 worden bepaald voor een deel aanwezig zijn in biomassa en de intacte biomassa wordt in de deeltjesfractie geconcentreerd. Een mogelijke andere verklaring is dat ook een deel van de AOC-A3 is achtergebleven op de andere membranen. Aangezien er geen massabalans kon worden opgesteld, doordat de deeltjesfractie en NF concentraat niet zijn gemeten, kan de oorzaak niet met zekerheid bevestigd worden.

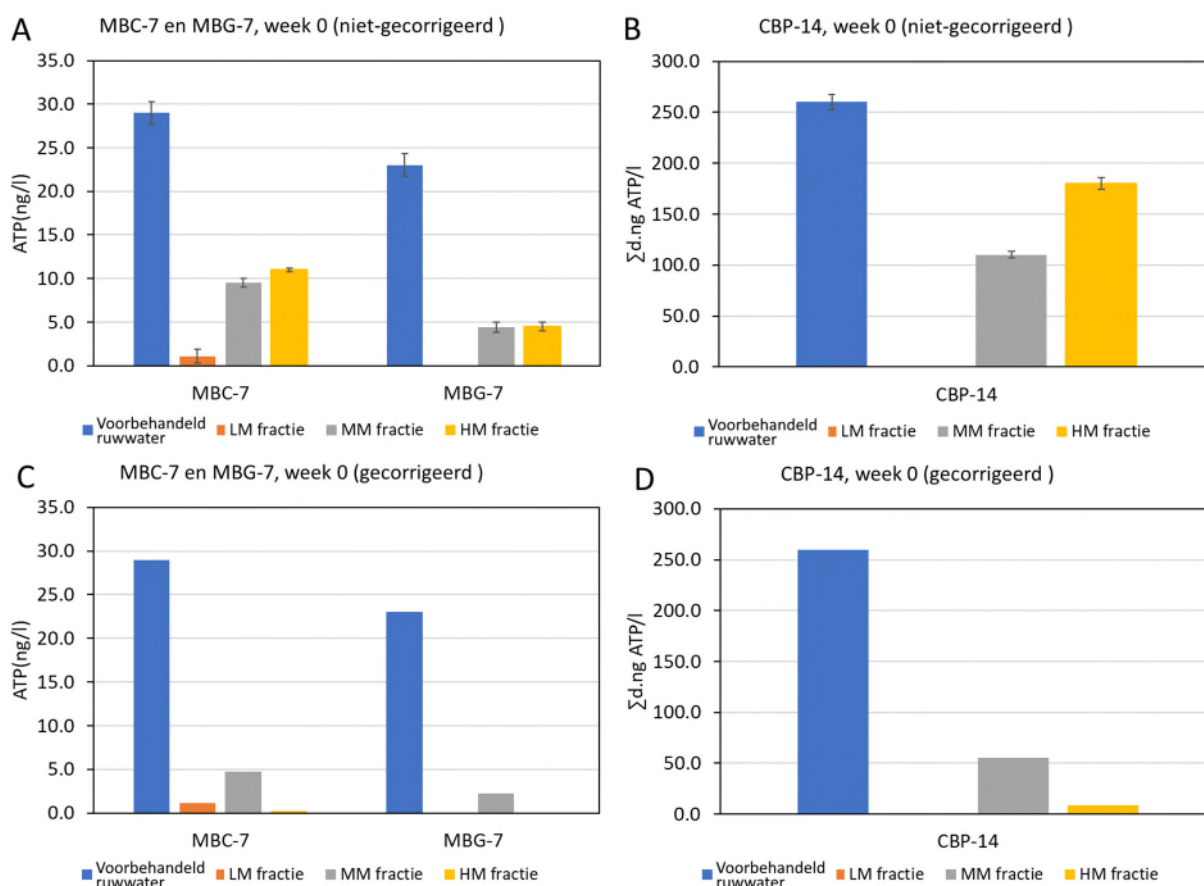
De gecorrigeerde AOC-P17/Nox-concentraties waren 0,75, 0,40 en 0,55 $\mu\text{g Ac-C /l}$ in de HM-fractie respectievelijk over de drie meetweken, en 6,0, 8,5 en 4,8 $\mu\text{g Ac-C /l}$ in de MM-fractie. Voor het voorbehandeld ruwwater en de LM-fractie zijn de AOC-P17/Nox-concentraties gelijk aan de ongecorrigeerde waarden, zoals hierboven beschreven. De AOC-P17/Nox werd dus met name teruggevonden in het water met de laag- en mediummoleculaire fractie, wat deels volgens verwachting is omdat met AOC-P17/Nox voornamelijk laagmoleculaire stoffen worden bepaald (Escobar & Randall, 2001). Er was ook een verschil te zien tussen de AOC-P17-concentratie en de AOC-Nox-concentratie. In de LM-fractie was de verhouding AOC-P17 tot AOC-Nox groter dan in bijvoorbeeld de MM-fractie. Hoewel AOC-P17 en AOC-Nox beide laagmoleculaire stoffen bevatten, lijkt dus een groter gedeelte van de AOC-P17 dan van de AOC-Nox door het NF-membraan te passeren.



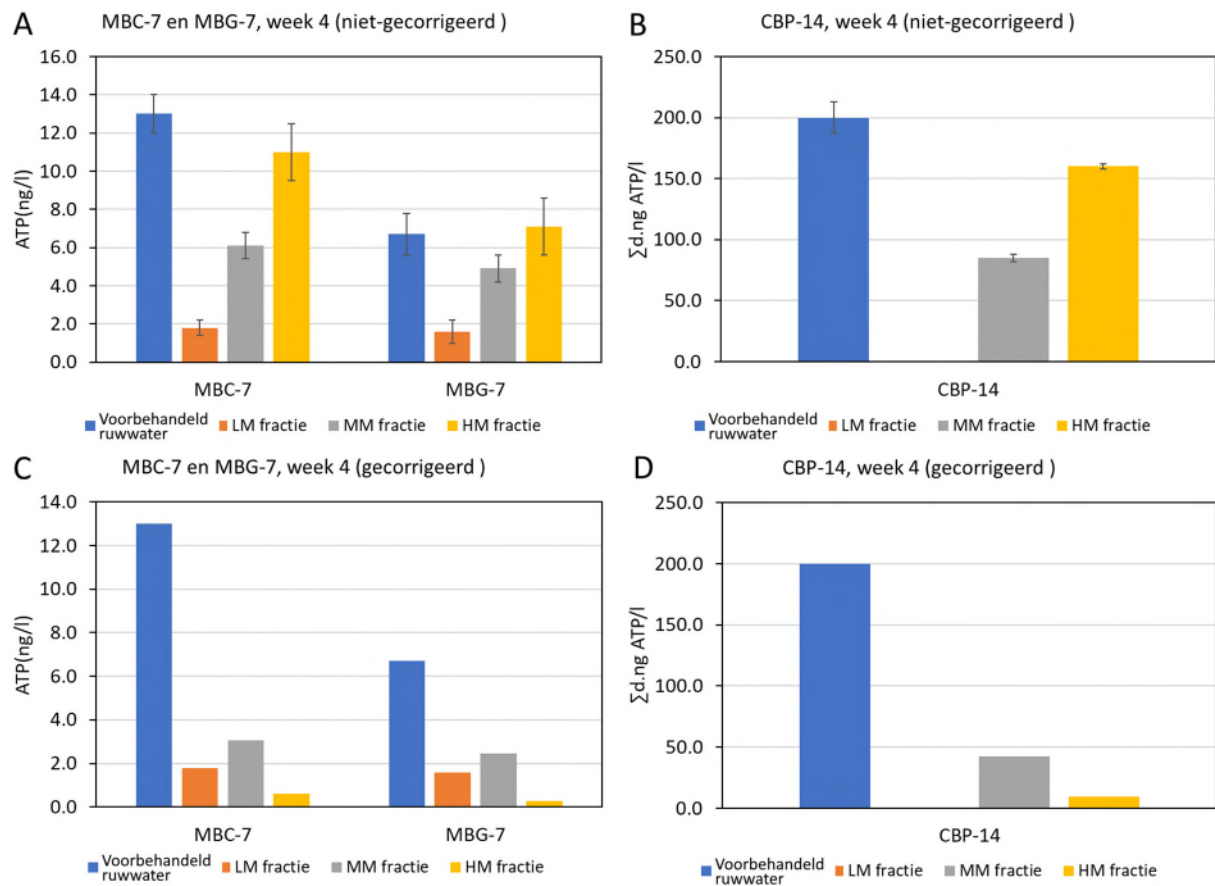
Figuur 3-5: AOC-resultaten Spannenburg voorbehandeld ruwwater. A, C en E: ongecorrigeerde waarden (week 0, week 5 en week 8). B, D en F: gecorrigeerde waarden (week 0, week 5 en week 8)

3.3.2 Biomassaproductiepotentie (BPP)

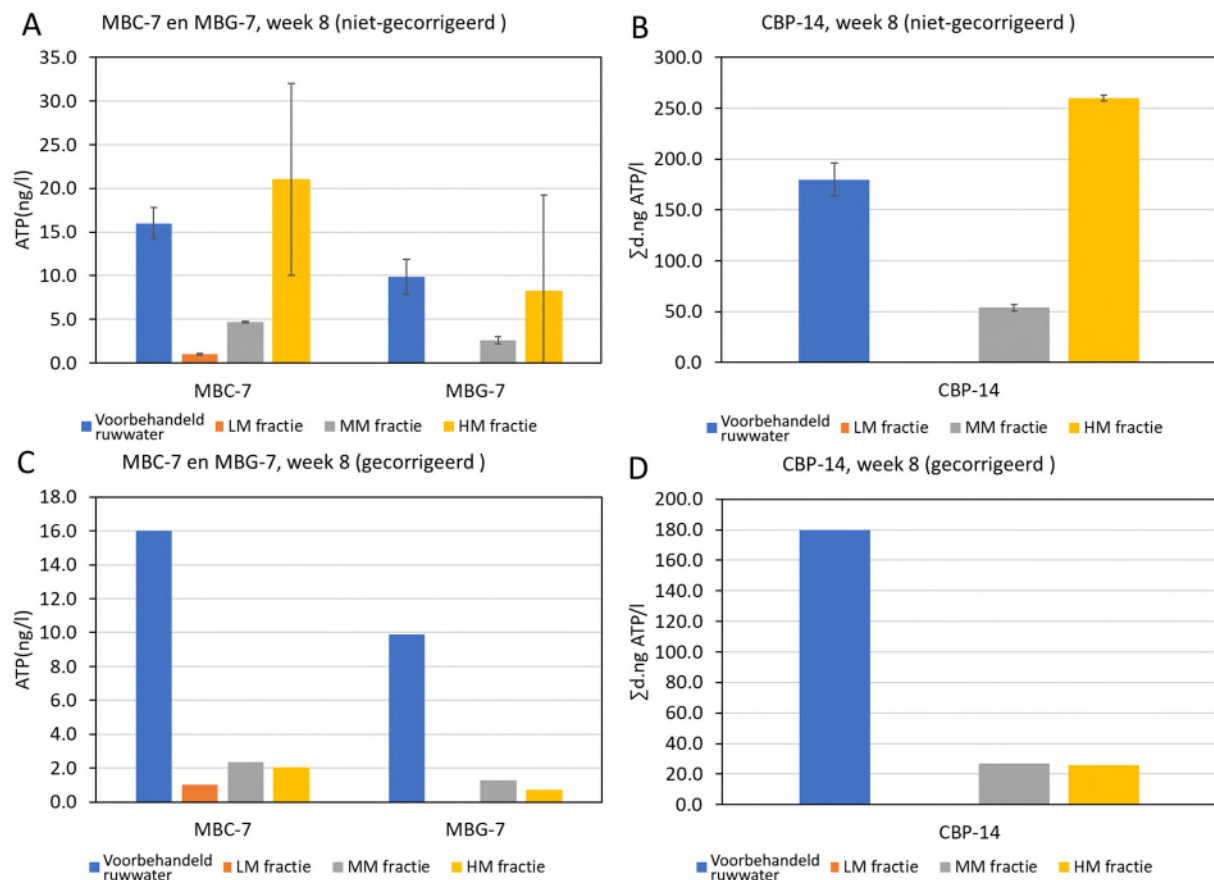
De ongecorrigeerde MBC₇, MBG₇, en CBP₁₄ bepaling is weergegeven in Figuur 3-6 A/B, Figuur 3-7 A/B en Figuur 3-8 A/B voor week 0, 4 en 8 respectievelijk. De BPP van het ongefractioneerd voorbehandeld ruwwater was voor de meeste metingen het hoogst met een MBC₇ van $29 \pm 1,3$, $13 \pm 1,0$ en $16 \pm 1,8$ ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG₇ van $23 \pm 1,3$, $6,7 \pm 1,1$ en $9,9 \pm 2$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van $260 \pm 7,8$, 200 ± 13 en 180 ± 16 Σd.ng ATP/l respectievelijk. De BPP van de HM-fractie was het hoogst van de gefractioneerde fracties met een MBC₇ van $11 \pm 0,2$, $11 \pm 1,5$ en 21 ± 11 ng ATP/l respectievelijk, een MBG₇ van $4,5 \pm 0,5$, $7,1 \pm 1,5$ en $8,2 \pm 11$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van $180 \pm 5,7$, $160 \pm 2,1$ en $260 \pm 2,9$ Σd.ng ATP/l respectievelijk. Dit werd gevolgd door de waarden van de MM-fractie met een MBC₇ van $9,5 \pm 0,5$, $6,1 \pm 0,7$ en $4,7 \pm 0,1$ ng ATP/l respectievelijk, een MBG₇ van $4,4 \pm 0,6$, $4,9 \pm 0,7$ en $2,6 \pm 0,4$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van $110 \pm 3,1$, $85 \pm 3,0$ en $54 \pm 3,3$ Σd.ng ATP/l respectievelijk. De waarden van de LM-fractie waren het laagst met een MBC₇ van $1,1 \pm 0,8$, $1,8 \pm 0,4$ en $1,0 \pm 0,1$ ng ATP/l respectievelijk, een MBG₇ van <1 , $1,6 \pm 0,6$ en <1 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van <14 Σd.ng ATP/l voor alle meetweken. De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kunnen gedeeltelijk verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.



Figuur 3-6: BPP-resultaten week 0 Spannenburg voorbehandeld ruwwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



Figuur 3-7: BPP-resultaten week 4 Spannenburg voorbehandeld ruwwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



Figuur 3-8: BPP-resultaten week 8 Spannenburg voorbehandeld ruwwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.

In Figuur 3-6 C/D, Figuur 3-7 C/D en Figuur 3-8 C/D staan de gecorrigeerde waarden voor MBC₇, MBG₇ en CBP₁₄ voor respectievelijk week 0, 4 en 8 per fractie weergegeven. De gecorrigeerde waarden voor de HM-fractie waren een MBC₇ van 0,19, 0,61 en 0,65 ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG₇ van 0,01, 0,28 en 0,70 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van 8,8, 9,4 en 26 Σd.ng ATP/l respectievelijk. De gecorrigeerde waarden voor de MM fractie waren een MBC₇ van 4,8, 3,1 en 2,4 ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG₇ van 2,2, 2,5 en 1,3 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van 55, 43 en 27 Σd.ng ATP/l respectievelijk. Voor het voorbehandeld ruwwater en de LM-fractie zijn de waarden gelijk aan de ongecorrigeerde waarden, zoals boven Figuur 3-6 t/m 4-8 beschreven. Uit deze resultaten volgt dat de stoffen die microbiële groei veroorzaken in de BPP-test voornamelijk in de MM-fractie aanwezig zijn. Opvallend is dat de HM-fractie zeer sterk afnam na de correctie, wat zou betekenen dat voornamelijk de laag- en mediummoleculaire stoffen die ook aanwezig waren in deze HM-fractie (door de niet volledige scheiding van de fracties) groei van micro-organismen veroorzaken en dat de MBC₇-, MBG₇- en CBP₁₄-waarden dus nagenoeg niet beïnvloed werden door de hoogmoleculaire fractie in het voorbehandeld ruwwater van Spannenburg. Dit kwam overeen met de LC-OCD resultaten, waar nagenoeg geen biopolymeren waren gemeten. Duidelijk was ook dat de BPP-waarden in het voorbehandeld ruwwater hoger was dan de andere fracties bij elkaar, wat erop duidt dat een groot gedeelte van de groeipotentie in de deeltjesfractie terecht was gekomen.

4 Resultaten Reinwater Spannenburg

4.1 Bedrijfsvoering

De installatie is op 22 september 2021 opgestart en de reinwatertest vond plaats in de periode van 28 september 2021 tot en met 17 januari 2022. In bijlage V is het logboek van de opstart en tabellen met de bedrijfsvoering van de MF, UF en NF inclusief de berekende recovery's en concentratiefactoren weergegeven.

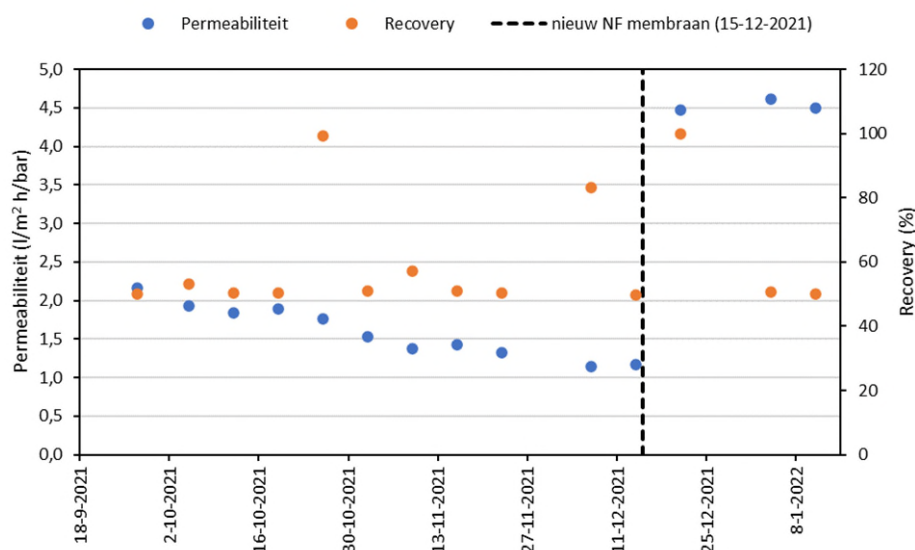
Het MF-membraan is ingesteld op een recovery van 100 % (verwijdering van de deeltjesfase). Voor de recovery van alle membranen is de spoeling van de membranen niet meegenomen. De hoeveelheid water gebruikt voor de spoeling is niet gemeten, waardoor de echte recovery wat lager zal liggen, maar dit is niet van invloed op de verwerking van de data van de groeiproeven en dus niet opgenomen in het experiment. Tijdens de start van de test was de temperatuur van het voedingswater 14,2 °C. Aan het einde van de test 13,1 °C. Over de gehele testperiode was de temperatuur $13,5 \pm 0,6$ °C.

Het NF-membraan was ingesteld op een recovery van 50 % (concentratiefactor van 2). Vanaf het begin van de test dienden de tegendruk na de concentraatkleppen van de NF handmatige te worden bijgesteld (zie ook paragraaf 2.2) wat resulteerde in een onregelmatige bedrijfsvoering van de NF met als gevolg een lager concentraatdebiet dat van tevoren ingesteld. Op momenten van monsternamen werd 1 uur van tevoren de instellingen gecheckt en waar nodig aangepast zodat monsternamen op de juiste manier plaatsvond. Een lager concentraatdebiet betekent een hogere concentratiefactor = recovery met als gevolg dat de permeabiliteit van het membraan in de tijd afnam (Figuur 4-1). Om de installaties draaiende te houden zijn op 16 november de instellingen aangepast. De debieten zijn aangepast. De concentratiefactoren (CF) en tijdstippen van de diverse reinigingen zijn niet gewijzigd (Tabel 4-1).

Tabel 4-1. Instellingen van de drie membranen van de fractioneringsopstelling tijdens de reinwatertest in Spannenburg vanaf 16 november

		MF	NF	UF
Feed flow	L/uur	1000	300	80
Permeaat flow	L/uur		150	60
Concentraat flow	L/uur		150	20
Recirculatie flow	m ³ /uur		3,3 (max)	0,7 (max)
CF		1	2	4
Terugspoelen	L/uur	3000	3000	1000
Duur per terugspoelactie	min	1	5	5
Frequentie terugspoelen	per dag	24	1	1

In deze periode is de permeabiliteit gedaald van 2,16 tot 1,42 L/m²*uur*bar. Vanaf 10 december is de regelklep geautomatiseerd en op 15 december werd het NF-membraan vervangen. Op dat moment was de permeabiliteit 1,17 L/m²*uur*bar. Daarna heeft de installatie probleemloos gelopen tot het einde van de test (Figuur 4-1) en was de permeabiliteit $4,70 \pm 0,07$ L/m²*uur*bar.

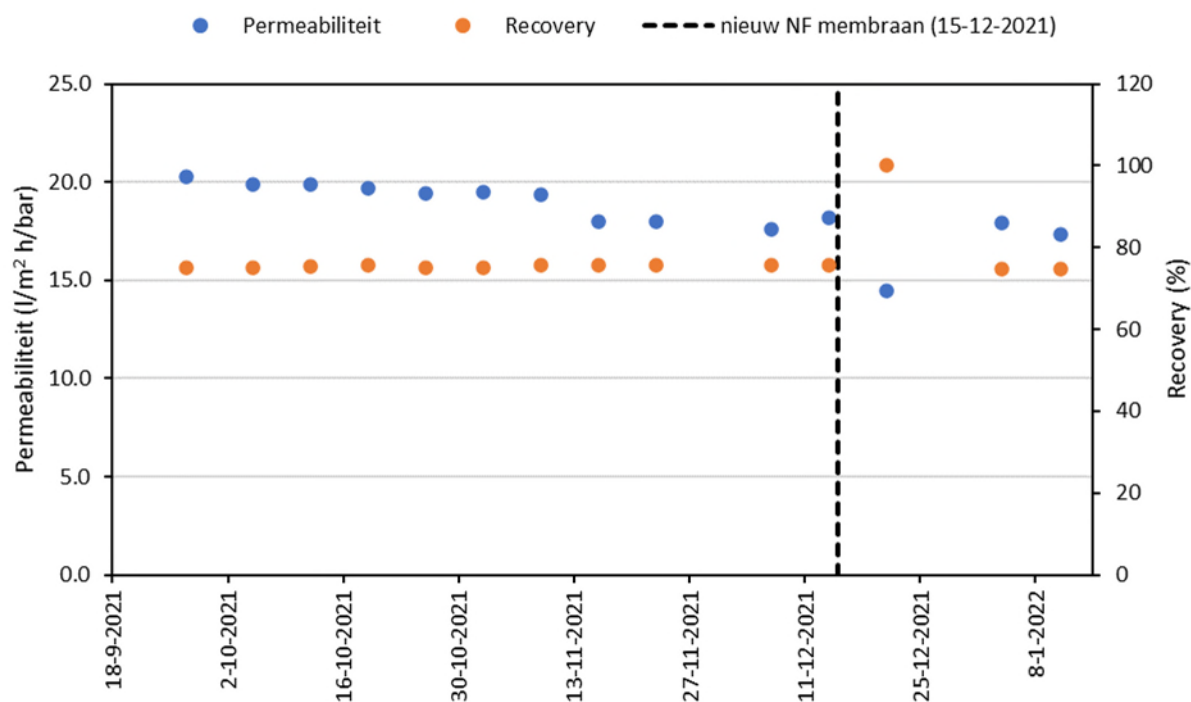


Figuur 4-1. Permeabiliteit en recovery van het NF-membraan gedurende het experiment op reinwater van Spannenburg. Meer gegevens over het functioneren van het NF-membraan staat gegeven in bijlage V.

Tijdens de start van de test was de temperatuur van het voedingswater van de NF (Microdyn Nadir TRISEP PLT 4040-TS40-31) 14,3 °C en aan het einde van de test 13,1 °C. Over de gehele testperiode was de gemiddelde temperatuur 13,7 ± 0,4 °C. De recovery tijdens de monsternamemomenten was 51,7 ± 2,4% en de concentratiefactor 2,07 ± 0,11. Bij de start met het nieuwe NF (Dupont FilmTec NF270 4040) membraan was de temperatuur van het voedingswater van de UF 12,7 °C en aan het einde van de test 11,9 °C. Over de gehele testperiode was de gemiddelde temperatuur 12,3 ± 0,6 °C. De recovery tijdens de monsternamemomenten was 50,3 ± 0,5 % en de concentratiefactor 2,01 ± 0,02. Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamemomenten de NF-installatie onder de gewenste condities heeft gedraaid.

Het UF-membraan was ingesteld op een recovery van 75 % (concentratiefactor van 4). In Figuur 4-2 zijn de permeabiliteit en de recovery weergegeven tijdens de monsternamemomenten. Gedurende de test neemt de permeabiliteit af van 20,3 tot 17,4 L/m²*uur*bar als gevolg van vervuiling van het membraan. De uitschieter op 21 december 2021 komt door het feit dat het genoteerd (via het beeldscherm) concentraatdebiet 0 was waardoor de Recovery 100 % wordt. In werkelijkheid was deze hoger (anders was monsternamen niet mogelijk).

Tijdens de start van de test was de temperatuur van het voedingswater van de UF 14,0 °C en aan het einde van de test 10,7 °C. Over de gehele testperiode was de gemiddelde temperatuur 12,4 ± 1,0 °C. De recovery tijdens de monsternamemomenten was 77,1 ± 6,6% en de concentratiefactor 4,06 ± 0,05. Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamemomenten de UF-installatie onder de gewenste condities heeft gedraaid.



Figuur 4-2: Permeabiliteit en recovery van het UF-membraan gedurende het experiment op reinwater van Spannenburg. Meer gegevens over het functioneren van het NF-membraan staat gegeven in bijlage V.

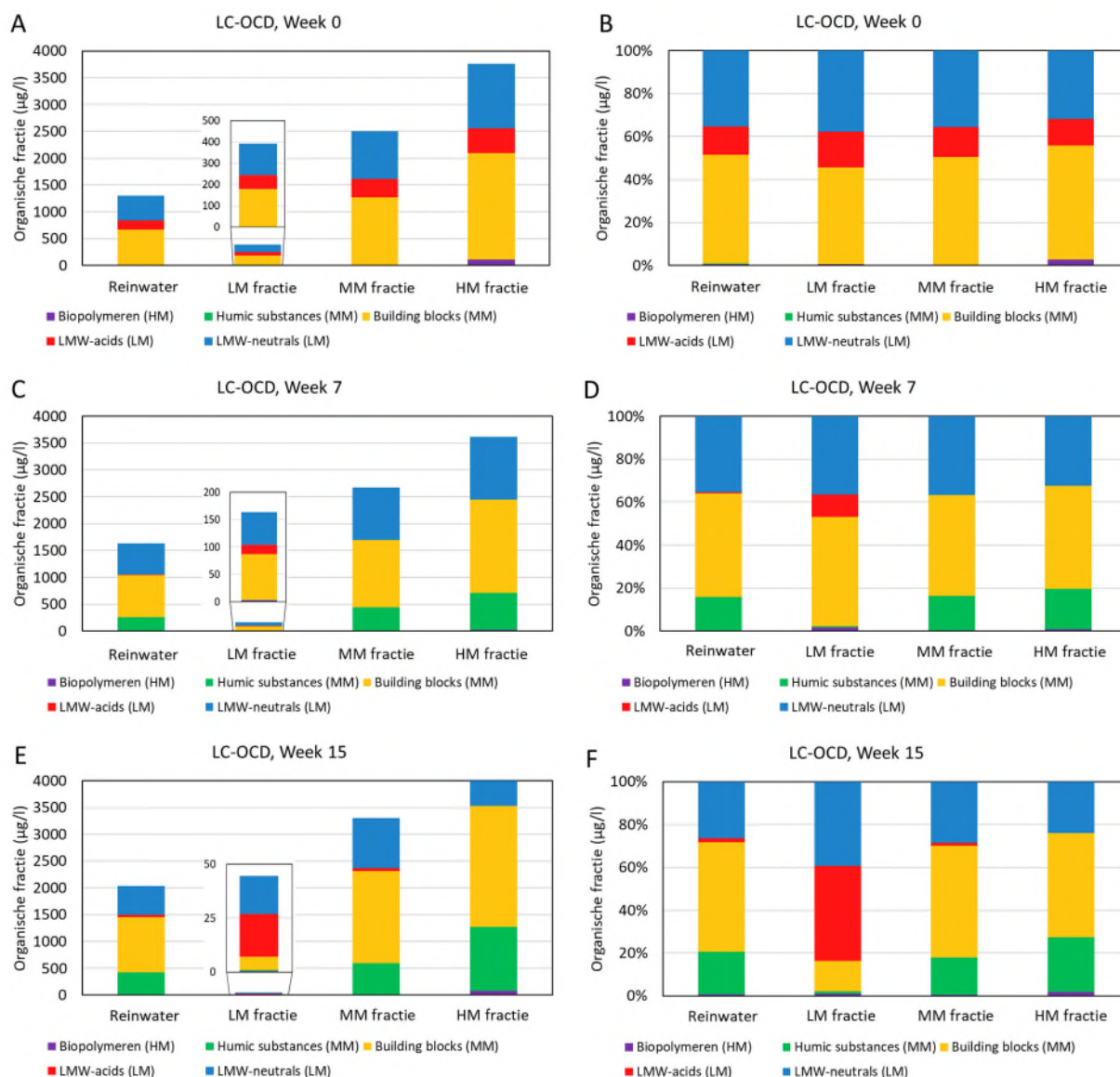
4.2 Chemische karakterisatie fracties

4.2.1 LC-OCD

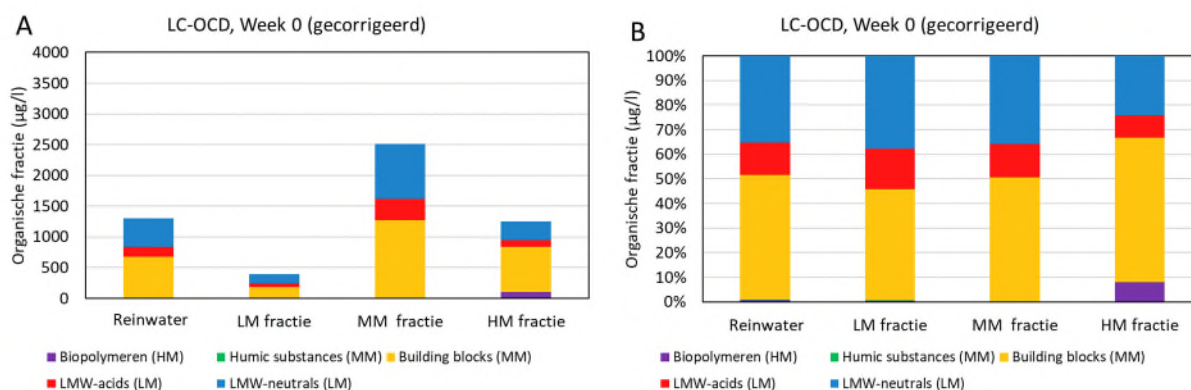
Met de fractioneringsopstelling werd het reinwater gesplitst in verschillende fracties: reinwater (DW), laagmoleculair (LM), mediummoleculair (MM) en hoogmoleculair (HM). De LC-OCD profielen voor de verschillende fracties zijn weergegeven in Figuur 4-3. De LM-fractie had een lagere opgeloste organische koolstof (DOC) concentratie in alle weken dan het reinwater (gemiddeld $258 \pm 216 \mu\text{g/l}$ versus $2116 \pm 408 \mu\text{g/l}$), de MM-fractie (gemiddeld $3520 \pm 440 \mu\text{g/l}$) en de HM-fractie en (gemiddeld $4885 \pm 441 \mu\text{g/l}$). De LM-fractie vertoonde de hoogste variatie tussen de drie metingen. Dit komt doordat na week 11 een nieuwe NF270 NF-membraan werd geplaatst dat meer – vooral laagmoleculaire – stoffen tegenhoudt dan het oude TS40 NF-membraan, waardoor de DOC-concentratie in de LM-fractie na week 11 dan ook afnam. Er zaten geen substantiële verschillen in de LC-OCD-profielen van het reinwater en de drie fracties in de relatieve verdeling van de daadwerkelijk gemeten concentraties laag-, midden- en hoogmoleculaire stoffen voor week 0 en week 7, maar in week 15 is de LM-fractie verrijkt met de laagmoleculaire stoffen. Het nieuwe NF270 NF-membraan lijkt dus meer van de mediummoleculaire fractie tegen te houden, wat lijkt te leiden tot een betere scheiding. De absolute concentraties van de laagmoleculaire stoffen was ook lager welke dus ook meer door het nieuwe membraan waren tegengehouden. Ook valt op dat in week 7 en 15 het gedeelte humuszuren van de mediummoleculaire fractie niet in de LM-fractie terecht kwam en dat in week 0 de humuszuren onder de detectiegrens van $1 \mu\text{g/l}$ gemeten waren. In alle weken is de HM-fractie verrijkt met de hoogmoleculaire fractie zoals ook verwacht. Omdat LC-OCD metingen niet op alle fracties zijn toegepast van het reinwater van Spannenburg, is het niet mogelijk een volledige massabalans op te stellen met de LC-OCD data.

Voor de berekening om de groeipotentie van de verschillende fracties te achterhalen wordt een correctie gedaan van HM-MM (zie 2.6.2). Hierdoor is het ook nodig om hetzelfde te doen voor de LC-OCD resultaten zodat een beeld wordt gekregen van de samenstelling van deze gecorrigeerde fracties. Aangezien de groeipotentie alleen in week 0

is bepaald is de correctie van de LC-OCD waarden ook alleen voor week 0 gedaan. Deze samenstelling is terug te vinden in Figuur 4-4.



Figuur 4-3: LC-OCD resultaten van NOM-fracties Spannburg. reinwater, LM-fractie, MM-fractie en HM-fractie. A, C en E: absolute waarden van week 0, 7 en 15 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling in week 0, 7 en 15 respectievelijk.



Figuur 4-4: LC-OCD resultaten voor week 0 Spannenburg na HM-MM correctie. A: absolute waarden. B: relatieve samenstelling.

4.3 Groeipotentie waterfracties

Van de fracties verkregen in week 0 zijn de biologische stabiliteitsparameters van de AOC- en BPP-analyses bepaald om verschillen in groeipotentie van het reinwater en water met de verschillende fracties te achterhalen.

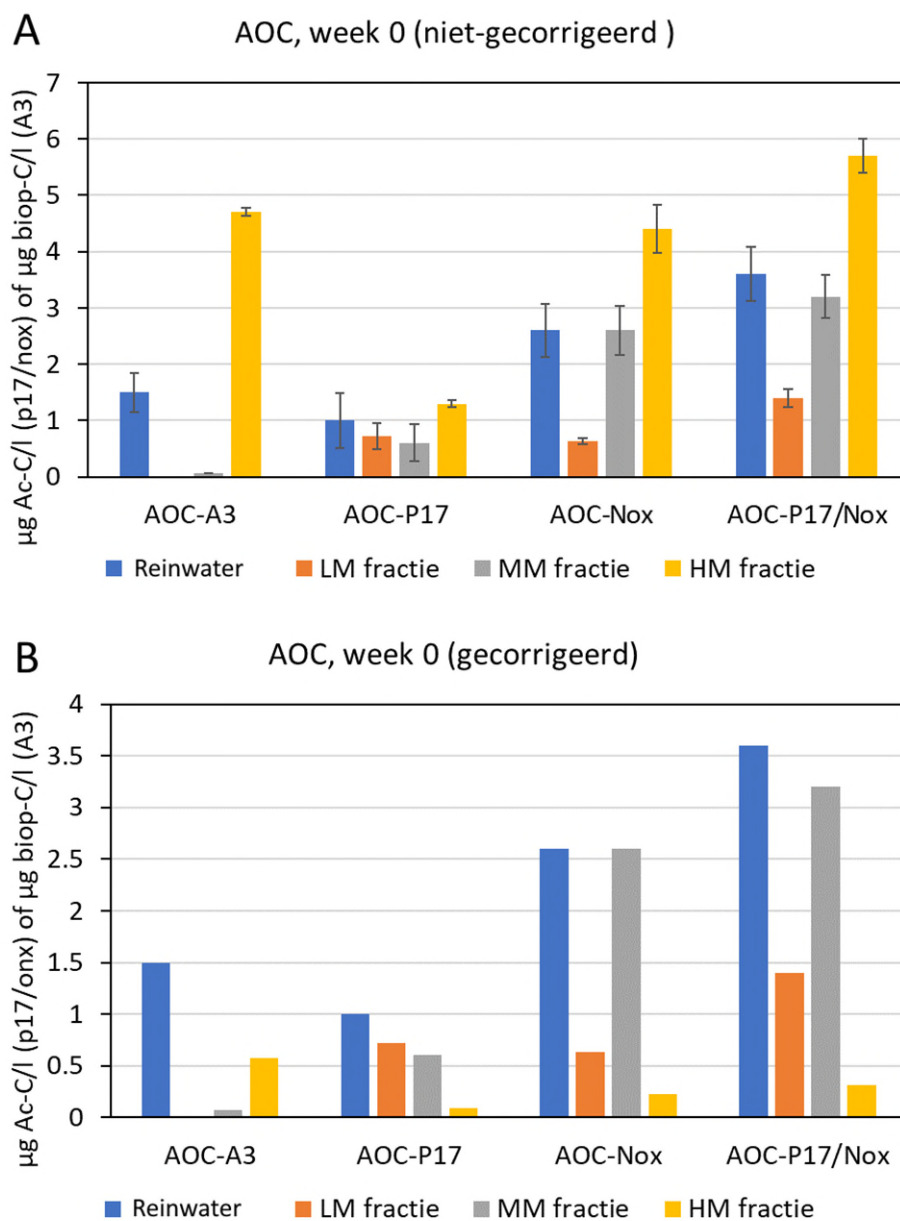
4.3.1 AOC-P17/Nox en AOC-A3

De resultaten voor de ongecorrigeerde concentraties AOC-P17/Nox en AOC-A3 zijn weergegeven in Figuur 4-5A. De ongecorrigeerde concentratie AOC-A3 was het hoogst in de HM-fractie ($4,7 \pm 0,07 \mu\text{g biop-C/l}$), gevolgd door het reinwater ($1,5 \pm 0,35 \mu\text{g biop-C/l}$) en de MM-fractie ($0,07 \pm 0 \mu\text{g biop-C/l}$). Dit resultaat komt overeen met de LC-OCD-resultaten waar de hoogmoleculaire stoffen verrijkt waren in de HM-fractie. De ongecorrigeerde concentratie AOC-P17/Nox was ook het hoogst in de HM-fractie ($5,7 \pm 0,31 \mu\text{g Ac-C/l}$), gevolgd door het reinwater ($3,6 \pm 0,48 \mu\text{g Ac-C/l}$), de MM-fractie ($3,2 \pm 0,38 \mu\text{g Ac-C/l}$) en de LM-fractie ($1,4 \pm 0,16 \mu\text{g Ac-C/l}$). Dit kan ook gedeeltelijk verklaard worden door de concentratie van LM stoffen in de verschillende fracties. De HM-fractie bevatte ook de hoogste concentratie LM-stoffen, zodoende is het niet geheel onverwacht dat de AOC-P17/Nox concentratie ook het hoogste is in de HM-fractie ondanks dat deze AOC P17/Nox stoffen voornamelijk een lage moleculaire massa hebben (Escobar & Randall, 2001).

In Figuur 4-5B staan de gecorrigeerde concentraties AOC-P17/Nox en AOC-A3 water met de verschillende fracties en de deeltjesfractie. De AOC-A3-concentratie was $0,6 \mu\text{g biop-C/l}$ in de HM-fractie, $0,07 \mu\text{g biop-C/l}$ in de MM-fractie, en $0,0 \mu\text{g biop-C/l}$ in de LM-fractie. Doordat met de AOC-A3 methoden met name hoogmoleculaire stoffen worden gedetecteerd (Sack et al., 2011), was de gecorrigeerde AOC-A3-concentratie zoals verwacht voor een belangrijk deel in de HM-fractie terecht gekomen. In het reinwater was de AOC-A3 concentratie echter $1,5 \mu\text{g biop-C/l}$, dat betekent dat een deel van de AOC-A3 niet in het water met de verschillende fracties is gemeten. Het is aannemelijk dat de gemiste AOC-A3 terecht is gekomen in de deeltjesfractie MP2 die wordt verkregen na de eerste membraanfiltratiestap, aangezien biopolymeren die met AOC-A3 worden bepaald voor een deel aanwezig zijn in biomassa, die in de deeltjesfractie worden geconcentreerd ook zou er nog wat verlies op de andere membranen hebben kunnen plaatsvinden.

De gecorrigeerde AOC-P17/Nox-concentratie was $0,31 \mu\text{g Ac-C/l}$ in de HM-fractie, $3,2 \mu\text{g Ac-C/l}$ in de MM-fractie, en $1,4 \mu\text{g Ac-C/l}$ in de LM-fractie. Deze concentratie werd dus met name teruggevonden in het water met de laag- en mediummoleculaire fractie, wat deels volgens verwachting is omdat met AOC-P17/Nox voornamelijk laagmoleculaire stoffen worden bepaald die echter ook na correctie nog steeds een groot deel van de MM-fractie opmaakte (Escobar & Randall, 2001). Er was ook een verschil te zien tussen de AOC-P17 en de AOC-Nox waar een groter gedeelte van de AOC-P17 in de LM-fractie was gekomen in vergelijking met de AOC-Nox. Hoewel beiden

laagmoleculaire stoffen bevatten lijkt dus een groter gedeelte van de AOC-P17 door het NF-membraan te passeren dan van de AOC-Nox.



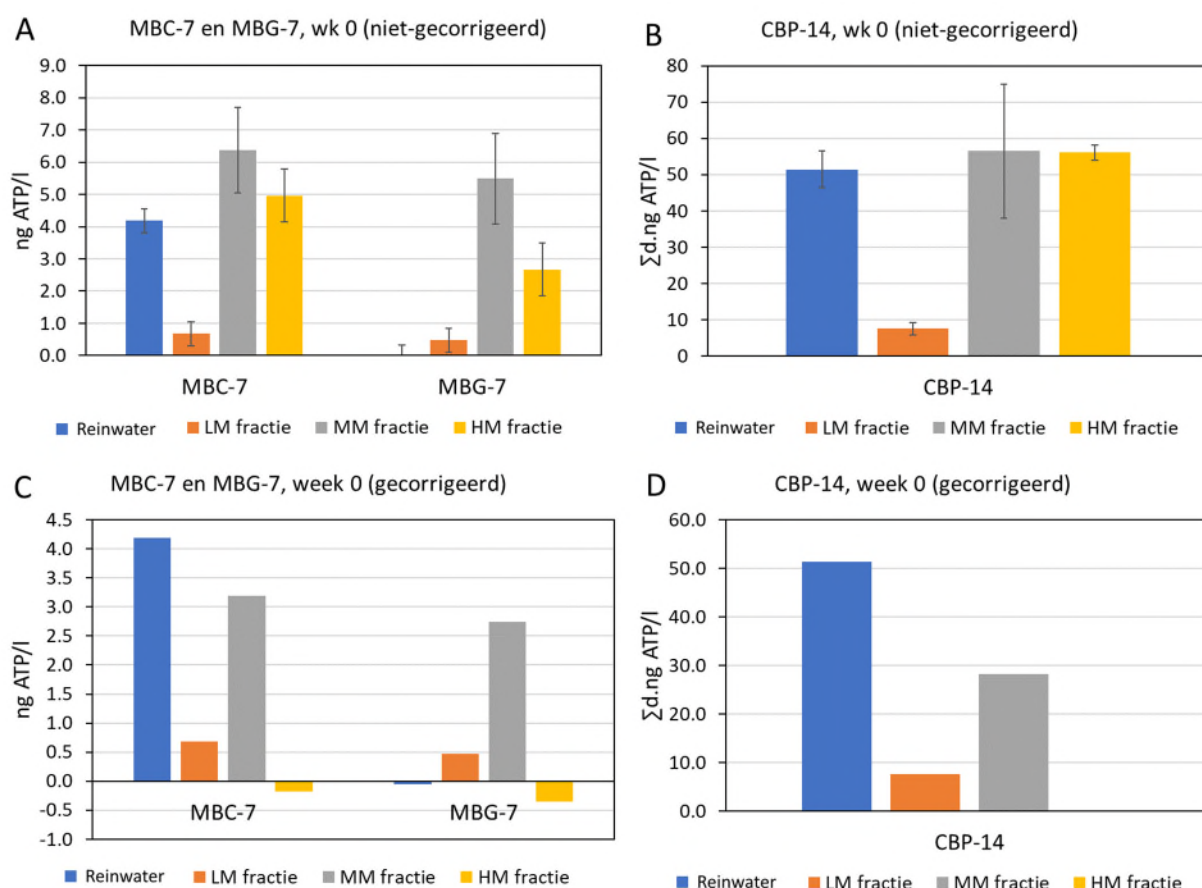
Figuur 4-5: AOC-resultaten week 0 Spannenburg. A: ongecorrigeerde waarden. B: gecorrigeerde waarden

4.3.2 Biomassaproductiepotentie (BPP)

De ongecorrigeerde MBC_7 , MBG_7 , en CBP_{14} bepaling is weergegeven in Figuur 4-6 A/B. De BPP van het reinwater en water met midden- en hoogmoleculaire stoffen leken redelijk vergelijkbaar, met een MBC_7 van $4,2 \pm 0,4$, $6,4 \pm 1,3$, en $5,0 \pm 0,8$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP_{14} van $51,4 \pm 5,1$, $56,5 \pm 18,4$ en $56,1 \pm 2,0$ Σ d.ng ATP/l respectievelijk. De MBG_7 waarden verschilden wel tussen de verschillende watermonsters ($-0,1 \pm 0,4$ ng ATP/l voor reinwater, $5,5 \pm 1,4$ ng ATP/l voor de MM-fractie en $2,7 \pm 0,8$ ng ATP/l voor de HM-fractie), wat met name werd veroorzaakt door de verschillende waarden op dag 0 van het experiment. De BPP-parameters van de LM-fractie leken lager te zijn dan van de andere watermonsters met een MBC_7 van $0,7 \pm 0,4$ ng ATP/l, een MBG_7 van $0,5 \pm 0,4$ ng ATP/l, en een CBP_{14} van $7,6 \pm 1,7$ Σ d.ng ATP/l. De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kan gedeeltelijk

verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.

In Figuur 4-6 C/D staan de gecorrigeerde waarden voor MBC_7 , MBG_7 en CBP_{14} per fractie weergegeven. De gecorrigeerde MBC_7 -waarden waren -0,2 ng ATP/l in de HM-fractie, 3,2 ng ATP/l in de MM-fractie, en 0,7 ng ATP/l in de LM-fractie. De MBG_7 -waarden waren -0,4 ng ATP/l in de HM-fractie, 2,7 ng ATP/l in de MM-fractie, en 0,5 ng ATP/l in de LM-fractie. De CBP_{14} -waarden varieerden tussen -0,1 $\Sigma d.ng$ ATP/l in de HM-fractie, 28,2 $\Sigma d.ng$ ATP/l in de MM-fractie en 7,6 $\Sigma d.ng$ ATP/l in de LM-fractie. Uit deze resultaten blijkt dat de stoffen die microbiële groei in de BPP-test veroorzaken voornamelijk in de MM-fractie aanwezig waren. Opvallend is dat de HM-fractie op 0 uitkomt, dat zou betekenen dat alleen de laag- en mediummoleculaire stoffen die ook aanwezig waren in deze HM-fractie (door de niet absolute scheiding van de fracties) groei van micro-organismen veroorzaken en dat dus de MBC_7 -, MBG_7 - en CBP_{14} -waarden nagenoeg niet beïnvloed werden door de hoogmoleculaire fractie in Spannenburg. Hoewel de MM-fractie hoger uitkwam dan de LM-fractie is het lastig te zeggen of de LM stoffen of de MM stoffen meer bijdragen aan groei door de slechte scheiding van de twee en het grote verschil in DOC concentratie tussen de LM en MM-fracties.



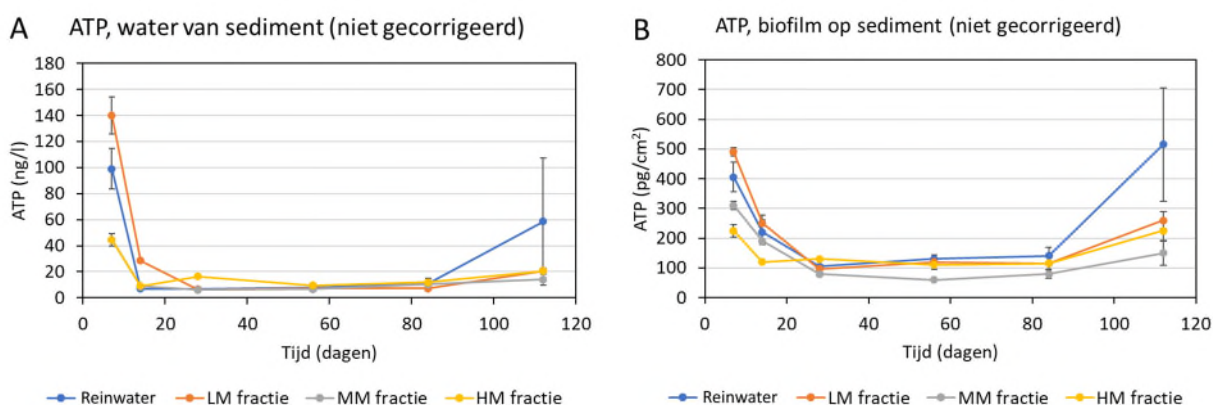
Figuur 4-6: BPP-resultaten van week 0 Spannenburg. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.

4.4 Groeiproeven

Metingen van de groeiproeven zijn, tenzij anders vermeld, gedaan voor het verversen van het water. De ATP van het verversingswater is weergegeven in Bijlage VII, Figuur VII-1.

4.4.1 Sediment

De ongecorrigeerde groei op de verschillende fracties in zowel het water als in de biofilm op het sediment is weergegeven in Figuur 4-7. Uit de resultaten bleek dat het sediment hoge ATP-concentraties bevatte voor het begin van de groeiproeven, wat betekent dat het sediment hoge concentraties actieve biomassa bevat (Bijlage VII, Figuur VII-2). Het sediment is gepasteuriseerd om deze actieve biomassa af te doden voor start van de groeiproeven, maar hierdoor bevatte het sediment bij start van de groeiproeven een hoge concentratie dode biomassa. Deze afgestorven biomassa bevatte echter weer voedingsstoffen voor de micro-organismen die werden geïnoculeerd om op te groeien. In het sediment werd dan ook veel microbiële groei waargenomen, maar de hoge concentraties voedingsstoffen van de dode biomassa in het sediment overschaduwde de verschillen tussen het toegevoegde water met de verschillende NOM-fracties. Er was daardoor geen duidelijk onderscheid te maken tussen groei op sediment dat werd veroorzaakt door de verschillende fracties. Daarmee werd de huidige opzet van de groeiproeven met sediment ongeschikt om de groei te bepalen van bepaalde bacteriën op het sediment met water dat de verschillende NOM-fracties bevat. Hierdoor waren groei-experimenten met sediment niet uitgevoerd met het reinwater van productielocatie Andijk.

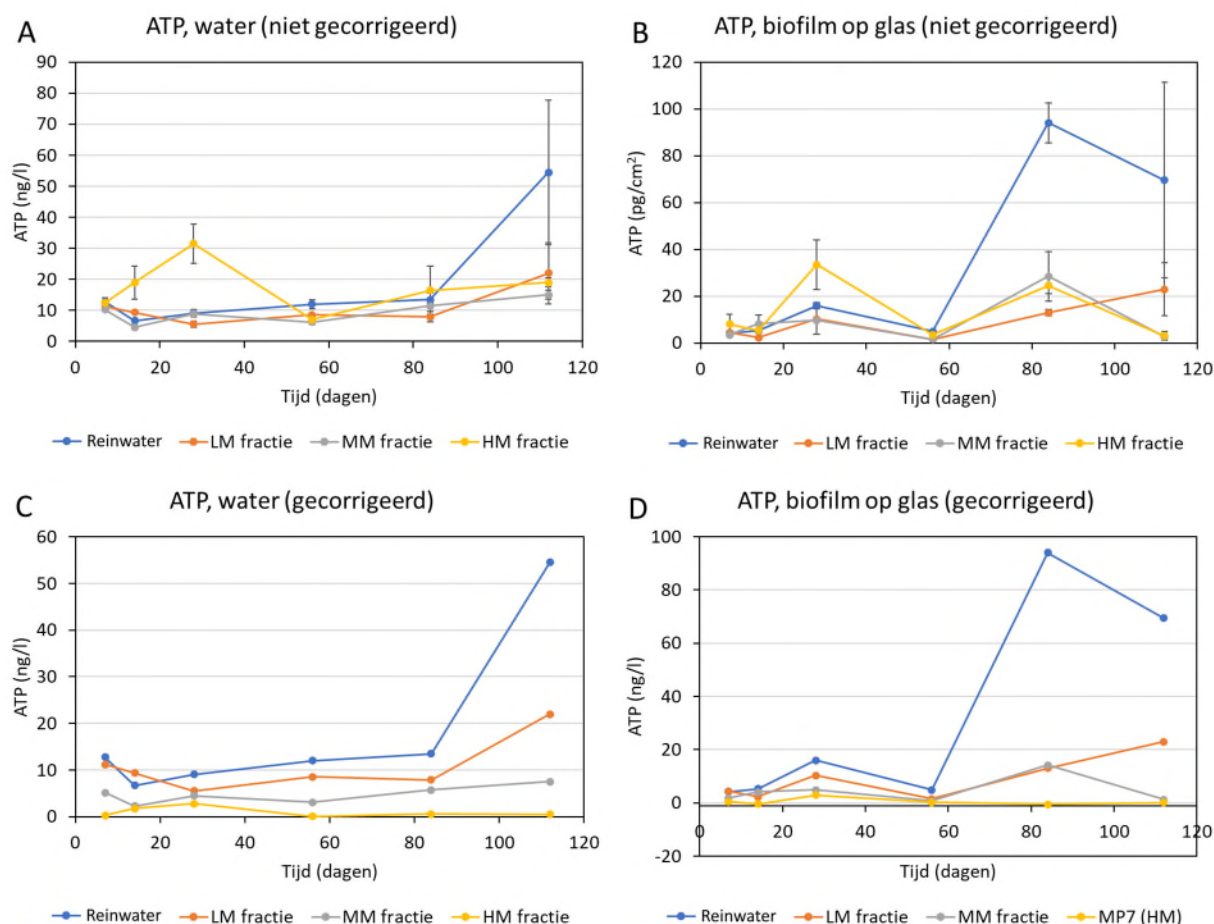


Figuur 4-7: ATP-waarden van de groeiproef met sediment en NOM-fracties van Spannenburg. A: ATP in het water uit de groeiproef met sediment, ongecorrigeerd. B: ATP in de biofilm op het sediment, ongecorrigeerd.

4.4.2 ATP

De ongecorrigeerde groei op de verschillende fracties in zowel het water als in de biofilm is weergegeven in Figuur 4-8 A/B. Er vond geen of maar zeer beperkte groei in de waterfase of biofilm plaats in de flessen met de LM-fractie, de MM-fractie, of de HM-fractie ($22 \pm 9,9$, $15 \pm 1,4$, en $19 \pm 1,4$ ng ATP/l in de waterfase bij week 16 respectievelijk) ($23 \pm 11,3$, $2,6 \pm 1,4$, en $3,1 \pm 1,8$ pg ATP/cm² in de biofilm bij week 16 respectievelijk). In de flessen met het reinwater, vond meer groei plaats ($54,5 \pm 23,3$ ng ATP/l in de waterfase bij week 16 en $69,5 \pm 41,7$ pg ATP/cm² in de biofilm bij week 16).

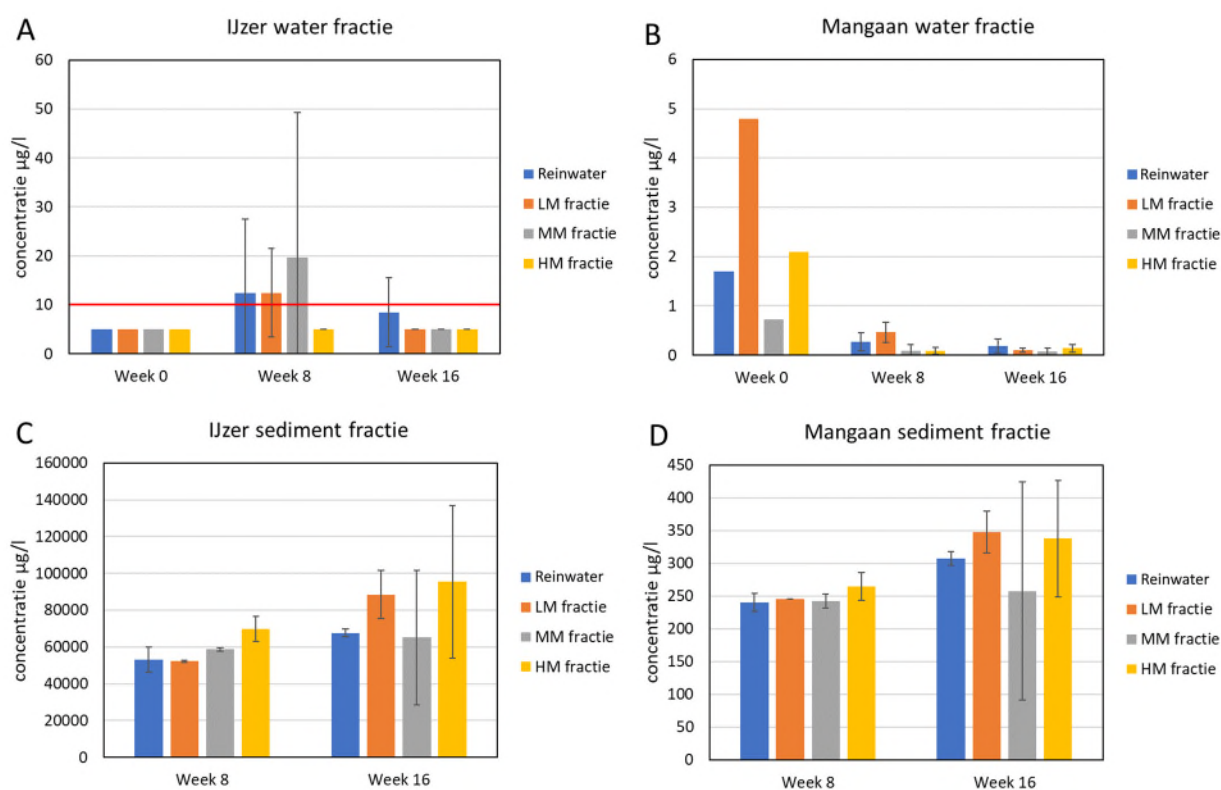
De gecorrigeerde groei per fractie was echter het hoogst in de flessen met de LM-fractie, waar een gecorrigeerde concentratie van 22 ng ATP/l in het water en van 23 pg ATP/cm² in de biofilm bij week 16 werd waargenomen (Figuur 4-8 C/D). De gecorrigeerde ATP-concentratie van de waterfase en biofilm in de flessen met de HM-fractie schommelde gedurende het experiment rond de 1 ng ATP/l of 0 pg ATP/cm². Voor de MM-fractie was dit rond de 5 ATP/l in de waterfase of tussen de 0 en 5 pg ATP/cm² in de biofilm met een uitschieter naar 14,3 pg ATP/cm² op dag 84. Een deel van de groeipotentie van met name de biofilm werd waarschijnlijk veroorzaakt door de deeltjesfractie, aangezien de biofilmconcentratie in de tweede helft van de groeiproef met het reinwater veel hoger lag dan de som van de biofilmconcentratie van de drie fracties.



Figuur 4-8: ATP-resultaten van de groeiproef met NOM-fracties van Spannenburg. A en B: ongecorrigeerde waarden voor het water en biofilm respectievelijk. C en D: gecorrigeerde waarden.

4.4.3 ICP-MS

Voor de ICP-MS resultaten was gefocust op ijzer en mangaan in het reinwater, het water met de verschillende fracties en in de biofilm en het sediment bemonsterd tijdens de groeiproeven met glascoupons en sediment. Deze twee metalen hebben wellicht een invloed op de microbiële groei in de verschillende fracties. In de biofilm waren alle ijzer- en mangaanconcentraties onder de detectielimiet ($< 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$), waardoor alleen de resultaten voor ijzer en mangaan in de waterfase en het sediment zijn weergegeven in Figuur 4-9. De ijzerconcentratie in het reinwater en het water met de verschillende fracties was in week 0 en 16 ook grotendeels onder de detectielimiet van $10 \mu\text{g}/\text{l}$. Ook in week 8 waren de meeste ijzerconcentraties onder de detectielimiet, wat resulteert in grote standaarddeviaties. Hierdoor kan niet met zekerheid worden geconcludeerd dat de ijzerconcentratie in het reinwater hoger waren in week 8 dan in week 0 of week 16. Een verschil in ijzerconcentraties tussen het reinwater en het water met de verschillende fracties werd niet waargenomen. Voor mangaan in het reinwater en het water met de verschillende fracties lijken de concentraties in week 0 aanmerkelijk hoger te zijn dan in week 8 of 16. Daarbij heeft in week 0 de LM-fractie de hoogste mangaanconcentratie, gevolgd door het reinwater en de HM-fractie. Over eventuele verschillen in de mangaanconcentratie tussen reinwater en het water met de verschillende fracties in week 8 en 16 is niet met zekerheid een conclusie te trekken. De meeste mangaanconcentraties lagen wel boven de detectielimiet, maar waren erg laag. In de sedimentfractie lagen zowel de ijzer- als mangaanconcentraties een stuk hoger, maar beide concentraties verschilden niet veel tussen de verscheidene NOM-fracties. Gebaseerd op de ICP-MS resultaten kan geconcludeerd worden dat de ijzer- en mangaanconcentraties in het reinwater en water met de verschillende fracties geen verschil in groei tussen de fracties hebben veroorzaakt.



Figuur 4-9: ICP-MS resultaten Spannenburg. A: ijzer concentratie in het water van de groeiproeven, rode lijn is de detectielimiet van 10 µg/l. Waarden die onder de detectielimiet lagen zijn als 5 µg/l weergegeven. B: mangaan concentratie in het water van de groeiproeven. C: ijzer concentratie in het sediment van de groeiproeven. D: mangaan concentratie in het sediment van de groeiproeven.

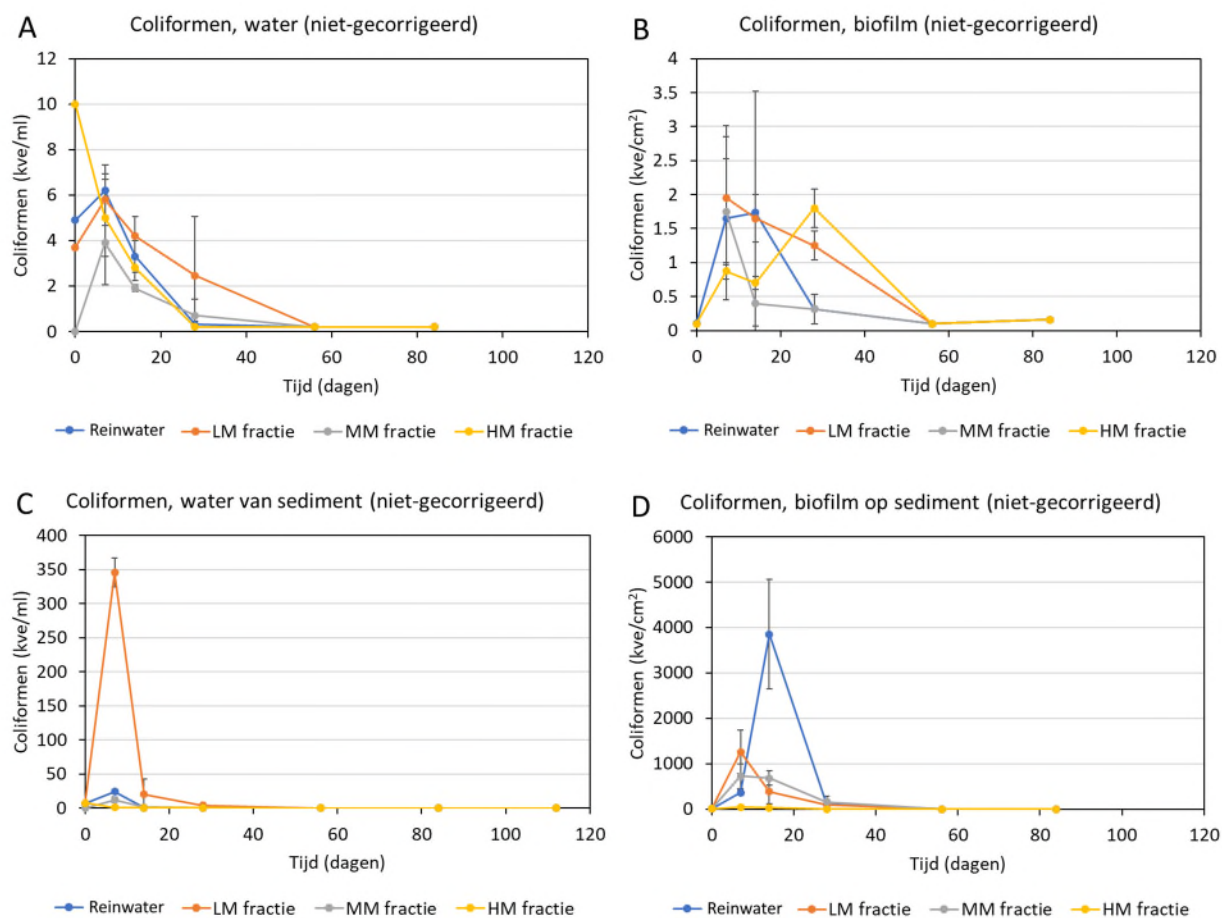
4.4.4 Verbruik organische fracties door LC-OCD

De omzetting van de organische stoffen tijdens de groeiproeven met de verschillende fracties is geprobeerd te bepalen met LC-OCD door metingen voor en na een groeiproef van één week. Hieruit kwamen ofwel zeer kleine verschillen ofwel negatieve waarden (toename van concentratie stoffen). Deze resultaten duiden erop dat de LC-OCD niet nauwkeurig genoeg was om dit te kunnen bepalen, zeker aangezien het voor sommige categorieën stoffen om zeer lage concentraties ging. Door deze bevindingen met het water van Spannenburg is besloten om deze analyses niet uit te voeren voor de experimenten met het reinwater in Andijk.

4.4.5 Bacteriën van de coligroep

De ongecorrigeerde groei van de bacteriën van de coligroep in het water en de biofilm is weergegeven in Figuur 4-10 A/B. Uit de resultaten volgt dat er geen groei plaatsvond van bacteriën van de coligroep in de flessen met de verschillende fracties. Afsterving van de bacteriën van de coligroep werd wel geobserveerd, waarbij in de flessen met water waarin de LM of HM-fractie aanwezig was, de bacteriën van de coligroep zich langer in stand hielden in de ontwikkelde biofilm dan in de flessen met de MM-fractie.

De ongecorrigeerde groei van de bacteriën van de coligroep in het water en het sediment is weergegeven in Figuur 4-10 C/D. Alleen in de LM-fractie werd er een duidelijke piek van deze bacteriën gezien op dag 7 in het water. In het sediment vond meer groei plaats dan in de waterfase tijdens het begin van het experiment, wat erop duidt dat de bacteriën van de coligroep kunnen groeien op de dode biomassa van het sediment. Daarbij is overigens wel opvallend dat deze groei niet werd waargenomen in de flessen met de HM-fractie, terwijl de sedimentconcentratie daar hetzelfde was als bij de flessen met de andere fracties.



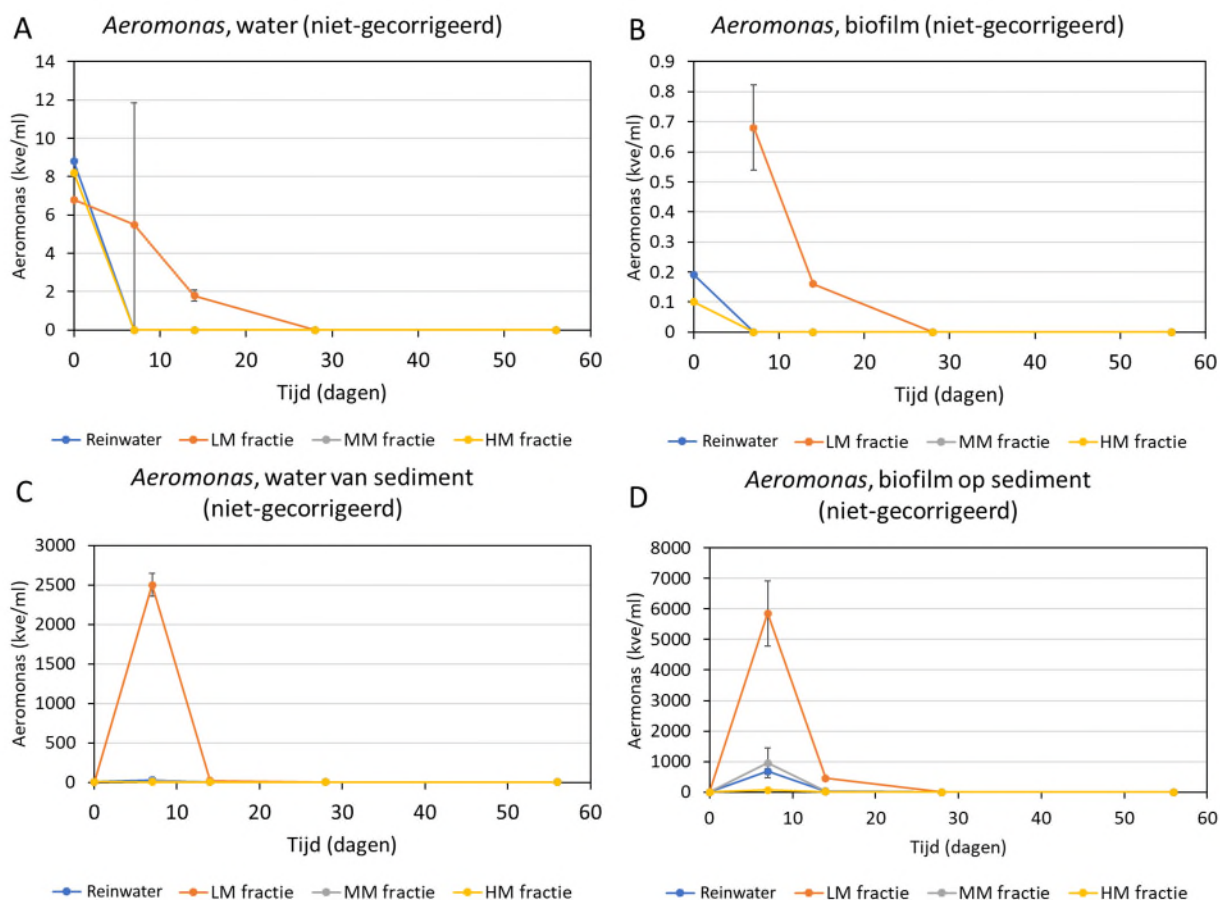
Figuur 4-10: Coliform aantallen in de groeioproef met NOM-fracties uit Spannenburg. A en B: aantallen in het water en de biofilm, ongecorrigeerd. C en D: aantallen in het water en de biofilm op sediment, ongecorrigeerd.

4.4.6 Aeromonas

De ongecorrigeerde resultaten van de groei van *Aeromonas* in de waterfase en de biofilm is weergegeven in Figuur 4-11 A/B. De *Aeromonas*-bacteriën vertoonden geen groei in de fracties en alleen een snelle afsterving is waargenomen in de flessen waaraan reinwater of de verschillende fracties zijn toegevoegd. Uit deze resultaten wordt duidelijk dat *Aeromonas* niet goed in staat was om zich in de waterfase of biofilm op glasplaatjes te vermenigvuldigen. Dat komt overeen met waarnemingen uit de praktijk, waar *Aeromonas*-aantallen het hoogst zijn in sediment en meestal onder de detectiegrens in biofilm op de leidingwand (Liu et al., 2017; Learbuch & Timmers, 2020).

De ongecorrigeerde *Aeromonas*-aantallen in het water en het sediment is weergegeven in Figuur 4-11 C/D. In de waterfase werd alleen bij de flessen met de LM-fractie een duidelijke piek gezien van deze bacteriën op dag 7. In het sediment werden ook de meeste *Aeromonas* teruggevonden op dag 7 in de flessen met de LM-fractie. Ook vond in het sediment groei plaats van *Aeromonas* in de flessen met het reinwater of de MM-fractie, wat erop duidt dat de *Aeromonas* bacteriën kunnen groeien op de voedingsstoffen die aanwezig zijn in het sediment, zoals in eerdere groei-experimenten is waargenomen (van Bel, 2018).

Doordat *Aeromonas* alleen in staat was zich te vermeerderen in de flessen waar sediment aan is toegevoegd, maar niet in de flessen waar glasplaatjes aan zijn toegevoegd, werd geconcludeerd dat onderzoek naar groei van *Aeromonas* in flessen met glasplaatjes en reinwater van Andijk weinig zinvol is. Doordat ook het sediment niet werd onderzocht met het reinwater van Andijk, zijn groeioproeven van *Aeromonas* met het reinwater van Andijk niet meer toegepast.



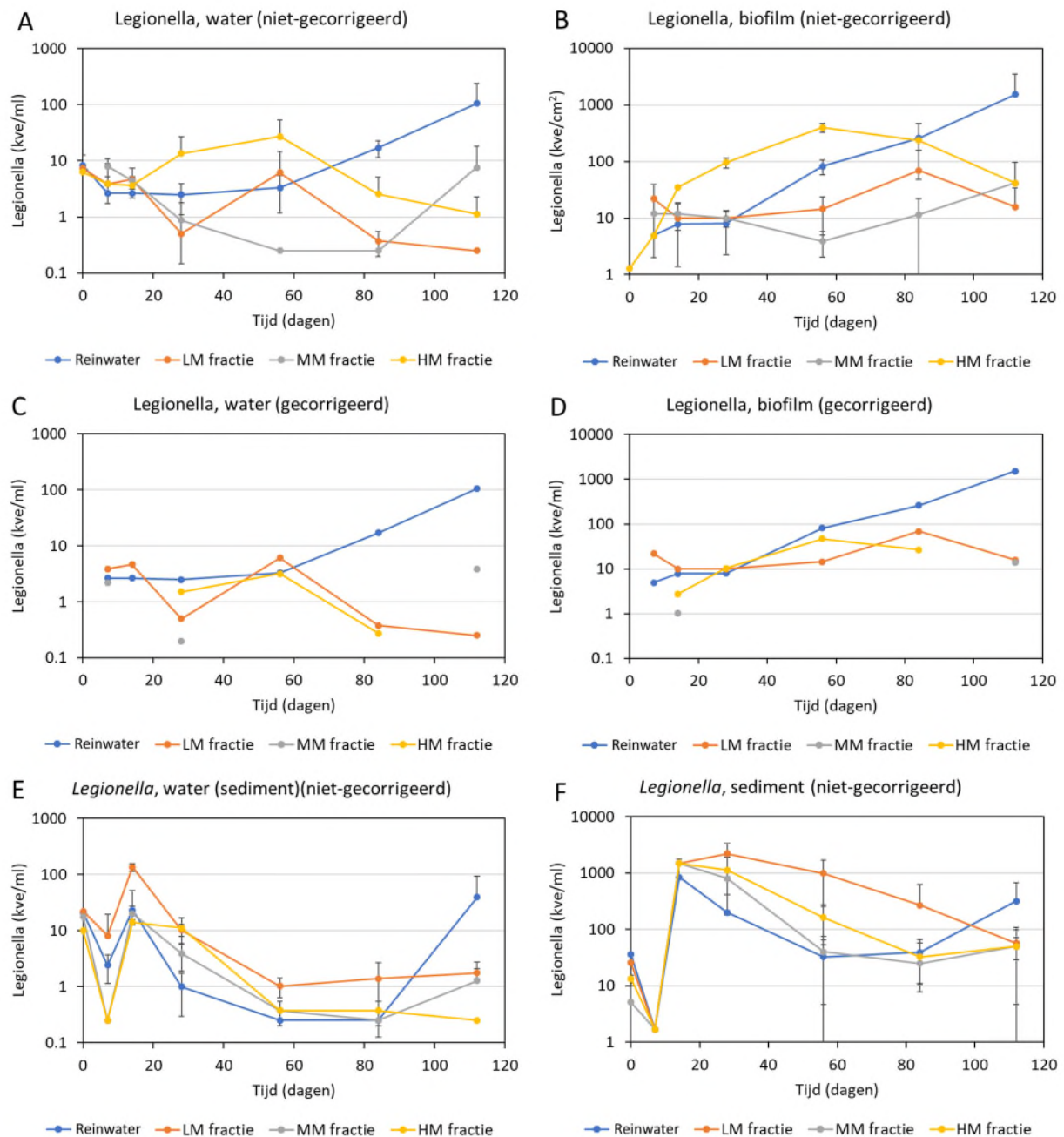
Figuur 4-11: *Aeromonas*-aantallen in de groeiproef met NOM-fracties uit Spannenburg. A en B: aantallen in het water en de biofilm, ongecorrigeerd. C en D: aantallen in het water uit de groeiproef met sediment en de biofilm op het sediment, ongecorrigeerd.

4.4.7 *Legionella*

De ongecorrigeerde resultaten van groei van *Legionella non-pneumophila* in de waterfase en biofilm is weergegeven in Figuur 4-12 A/B. Er vond alleen duidelijke groei van *L. non-pneumophila* plaats in de flessen met het reinwater en dan pas vanaf dag 56/84. Na een initiële stijging van de aantallen in de HM-fractie namen de aantallen af vanaf dag 56. De hoogste aantallen werden gevonden op dag 112 in de flessen met reinwater, maar de standaarddeviatie is hoog omdat maar in één van de duplo's groei had plaatsgevonden. De lange lagfase voordat *L. non-pneumophila* gaat groeien kan wellicht verklaard worden doordat er eerst een biofilm gevormd moet worden voordat *L. non-pneumophila* zich goed kan vermeerderen.

De gecorrigeerde resultaten van groei van *Legionella non-pneumophila* geven een vergelijkbaar beeld als de ongecorrigeerde resultaten met alleen een duidelijke groei waarneembaar in het reinwater (Figuur 4-12 C/D). Na correctie waren de aantallen in de HM-fractie meer vergelijkbaar met de LM-fractie gedurende de groeiproef.

De ongecorrigeerde aantallen van *L. non-pneumophila* in het water en het sediment is weergegeven in Figuur 4-12 E/F. In de flessen met de LM-fractie werd in de waterfase de meeste *L. non-pneumophila* gevonden op dag 14. In de waterfase van de flessen met de andere fracties werd ook op dag 14 de hoogste aantallen *L. non-pneumophila* aangetroffen, maar deze waren lager dan die voor de flessen met de MP4-fractie. In het sediment werd duidelijk groei waargenomen voor *L. non-pneumophila* in aanwezigheid van de verschillende fracties. Hierbij werd er vanaf dag 28 ook *Legionella pneumophila* gedetecteerd, die waarschijnlijk via enting ook zijn toegevoegd aan de flessen. Deze resultaten laten zien dat *Legionella*-soorten kunnen groeien op de voedingsstoffen die in het gepasteuriseerde sediment aanwezig zijn.



Figuur 4-12: Legionella-aantallen in de groeiproef met NOM-fracties uit Spannenburg. A en B: aantallen in het water en de biofilm, ongecorrigeerd. C en D: aantallen in het water en de biofilm, gecorrigeerd. E en F: aantallen in het water en de biofilm op sediment, ongecorrigeerd.

5 Resultaten voorbehandeld ruwwater Andijk

5.1 Bedrijfsvoering

De fractioneringstest van het ruwwater na microzeven vond plaats in de periode van 6 december 2022 tot en met 31 januari 2023. Test en monsternamen vond op dezelfde dag plaats. Aangezien er problemen waren met het bedienen van de installatie is er een uitgebreid logboek bijgehouden om ervoor te zorgen dat de test succesvol in 1 dag kon worden uitgevoerd. In bijlage VI zijn het logboek en tabellen met de bedrijfsvoering van de MF, UF en NF inclusief de berekende recovery's en concentratiefactoren weergegeven. De installatie heeft tijdens de eerste twee testdagen volgens het vooraf opgesteld protocol gedraaid (opstarten aan het begin van de dag en vervolgens monsternamen nadat de laatste stap (UF) gedurende 3 uur onder stabiele omstandigheden heeft gedraaid). Tijdens de laatste testdag was er een stroomstoring vlak voor de monsternamen (zie ook bijlage VI). De installatie is binnen 15 minuten opgestart en daarna zijn er monsters genomen. Er is ervan uitgegaan dat doordat de storing van korte duur was de monsternamen onder de juiste condities zijn verlopen namelijk bij een recovery van 50 en 75 % voor respectievelijk de NF en UF stap.

De temperatuur van het voedingswater is alleen genoteerd tijdens de tweede testdag en was 9,1 °C tijdens de monsternamen. De temperatuur van de NF voeding lag tussen de 8,6 en 9,6 °C en van de UF tussen de 8,9 en 10,8 °C tijdens de verschillende monsternamemomenten. Het NF-membraan was ingesteld op een recovery van 50 % (wat overeenkomt met een concentratiefactor van 2). De permeabiliteit was tijdens de drie monsternamemomenten tussen 2,0 – 2,3 L/m²*uur*bar. De recovery tussen de 50,3 en 50,9 % en de concentratiefactor 2,0. Het UF-membraan was ingesteld op een recovery van 75 % (wat overeenkomt met een concentratiefactor van 4). De permeabiliteit was tijdens de drie monsternamemomenten tussen 18,1 en 19,7 L/m²*uur*bar. De recovery tussen de 75,3 en 75,8 % en de concentratiefactor 4,1.

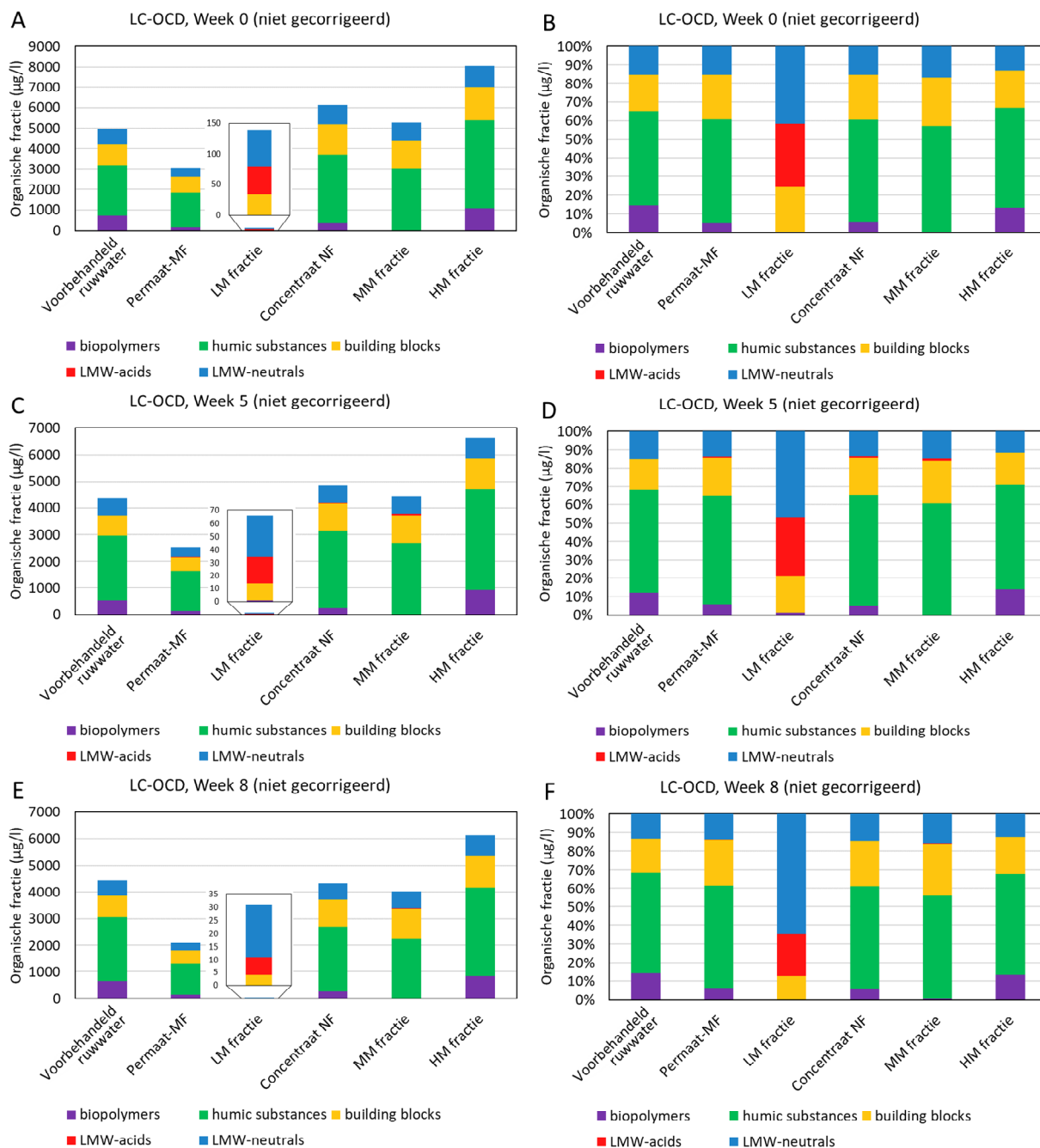
Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamen de installatie heeft gedraaid onder de voorgestelde condities.

5.2 Chemische karakterisatie fracties

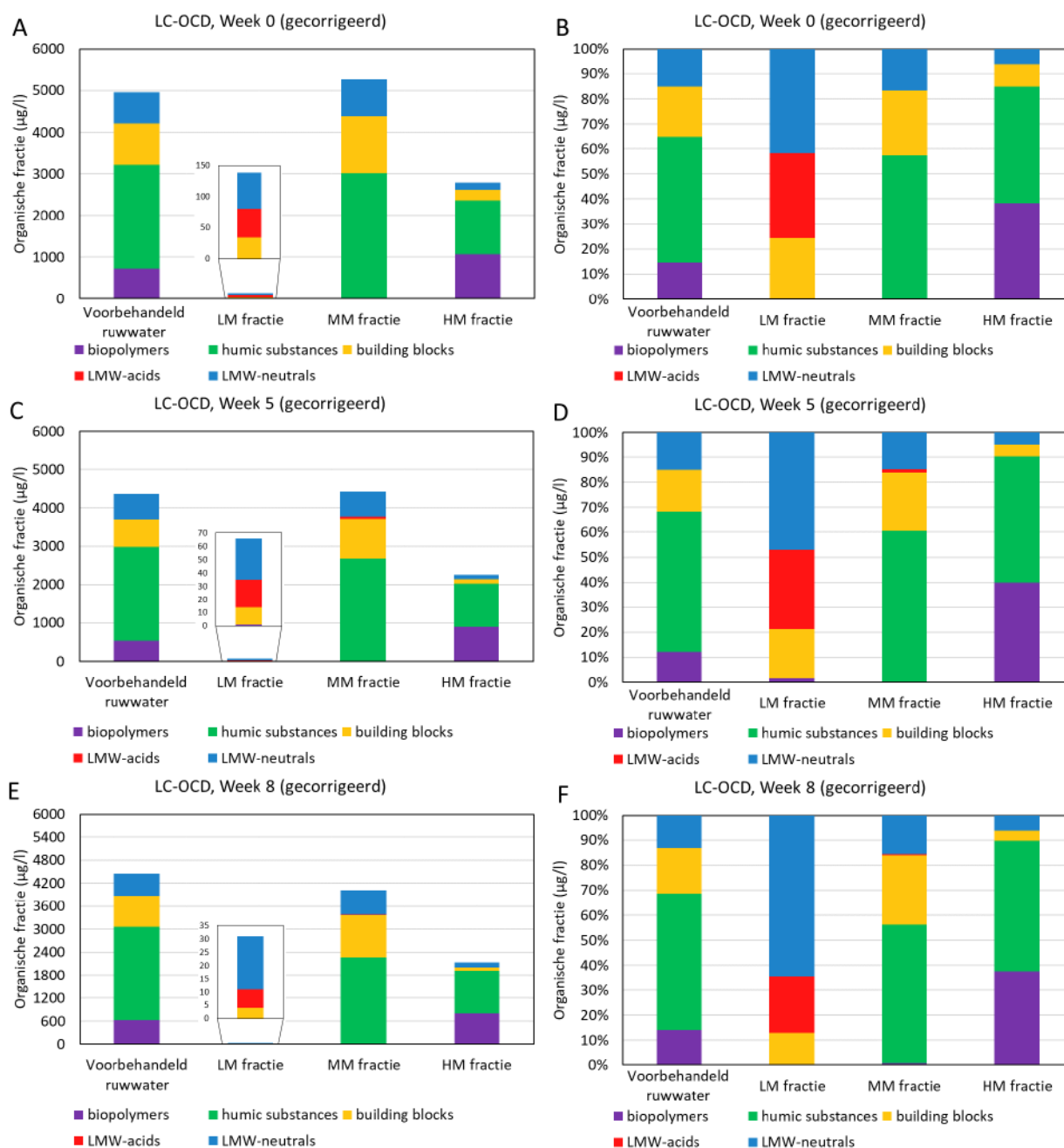
5.2.1 LC-OCD

Met van de fractioneringsopstelling werd het reinwater gesplitst in verschillende fracties: ruwwater na microzeven, laagmoleculair (LM), mediummoleculair (MM) en hoogmoleculair (HM). De LC-OCD profielen voor de verschillende fracties zijn weergegeven in Figuur 5-1. De LM-fractie had een lagere opgeloste organische koolstof (DOC) concentratie (158, 90 en 76 µg/l) in alle weken dan het ruwwater na microzeven (4958, 4361 en 4518 µg/l), de MM-fractie (6194, 4497 en 4193 µg/l) en de HM-fractie (8053, 6641 en 6193 µg/l). Een verschil in DOC-concentratie tussen de fracties was te verwachten gezien de concentratiestappen in het fractioneringsproces dit een waarschijnlijke uitkomst maakten, echter is de concentratie in de LM-fractie erg laag, wat ook bij zowel het reinwater experiment in Andijk was geobserveerd als de experimenten in Spannenburg. Er zaten geen substantiële verschillen in de LC-OCD-profielen van het ruwwater na microzeven tussen de drie meetweken. De biopolymeren waren ook bijna volledig in de HM-fractie terecht gekomen en vormden 13-14% van die fractie. De LM-fractie bevatte ook voornamelijk LM-stoffen waar de LMW-neutrals en LMW-acids samen 76-87% van de fractie opmaakten.

Voor de berekening om de groeipotentie van de verschillende fracties te achterhalen wordt een correctie gedaan van HM-MM (zie paragraaf 2.6.2). Hierdoor is het ook nodig om hetzelfde te doen voor de LC-OCD resultaten zodat een beeld wordt gekregen van de samenstelling van deze gecorrigeerde fracties. Deze samenstelling is terug te vinden in Figuur 5-2.



Figuur 5-1: LC-OCD resultaten van NOM-fracties Andijk. Inlaatwater, permeaat-MF LM-fractie, concentraat-NF, MM-fractie en HM-fractie. A, C en E: absolute waarden van week 0, 5 en 8 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling in week 0, 5 en 8.



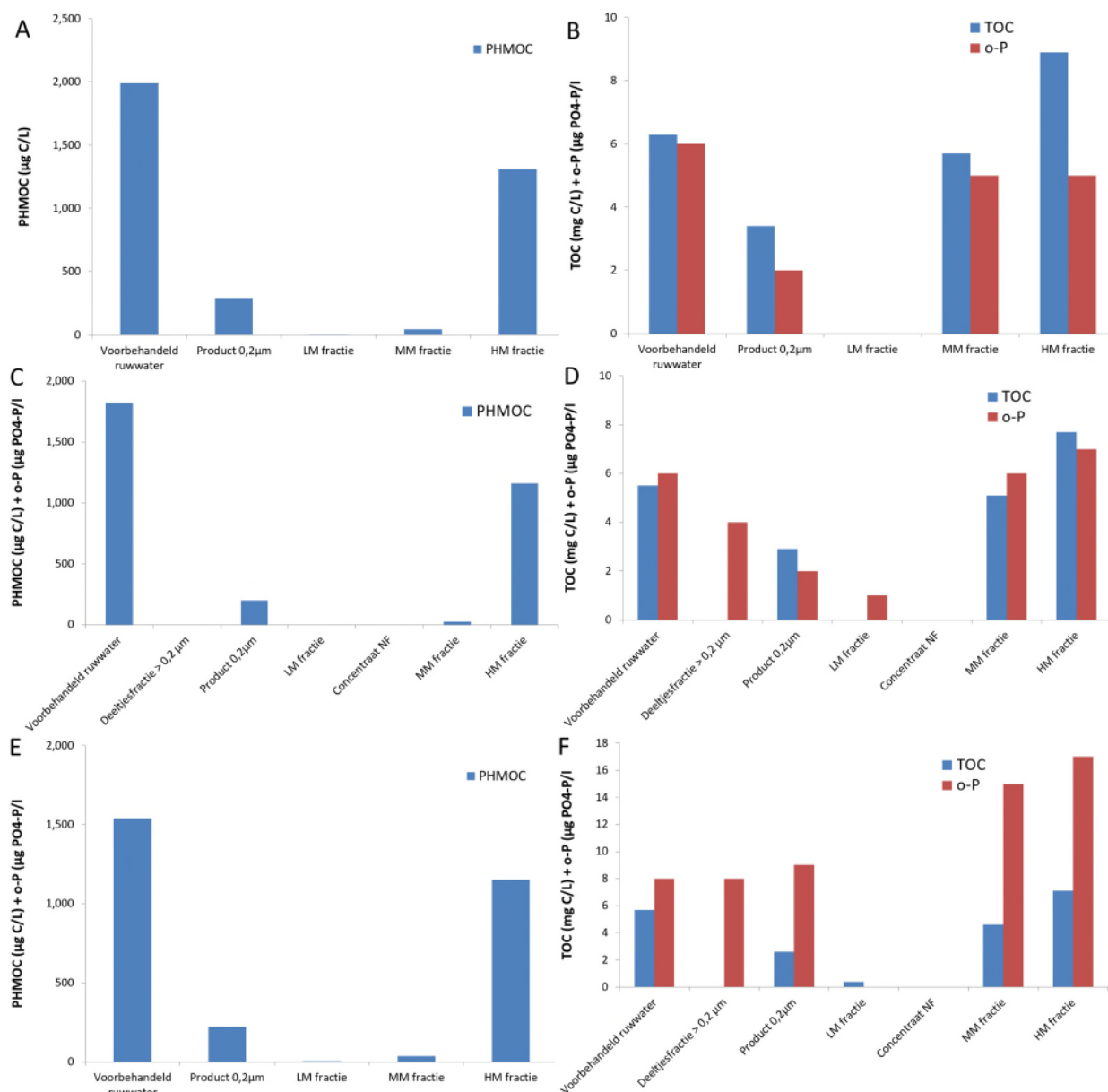
Figuur 5-2: Theoretische LC-OCD resultaten voor Andijk inlaatwater na HM-MM correctie. A, C en E: absolute waarden voor week 0, 5 en 8 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling voor week 0, 5 en 8 respectievelijk.

5.2.2 PHMOC, TOC, o-fosfaat en ICP-MS

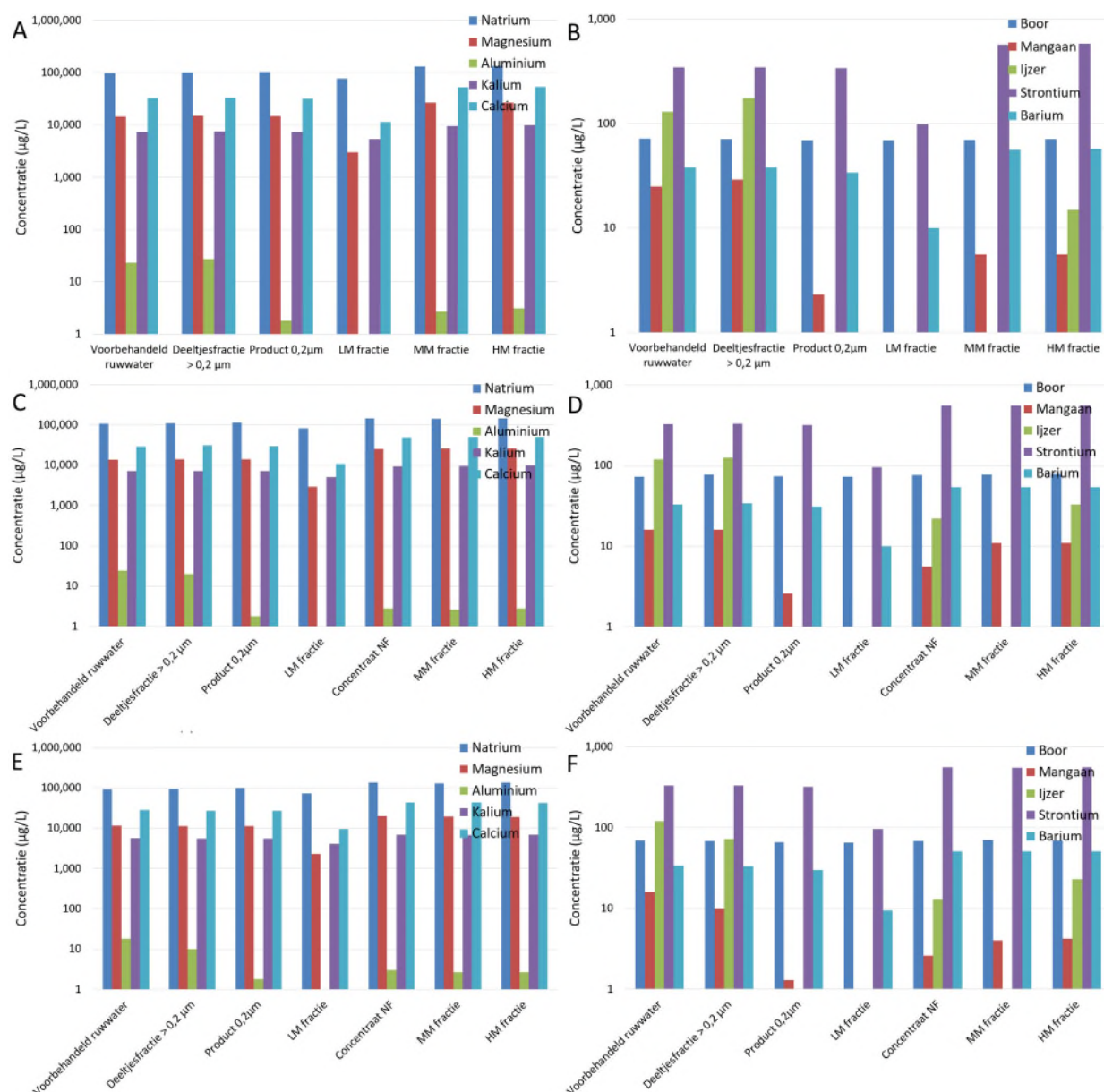
De PHMOC-resultaten zijn weergegeven in Figuur 5-3 A/C/E. Er was een groot verschil tussen het ruwwater na microzeven (1990, 1820 en 1540 $\mu\text{g C/L}$ voor week 0, 5 en 8 respectievelijk) en permeaat van MF-membraan (292, 198 en 222 $\mu\text{g C/L}$ voor week 0, 5 en 8 respectievelijk). Het is te verwachten dat dit verschil komt doordat een groot deel van de PHMOC-stoffen wordt verwijderd door de ultrafiltratie en laat zien dat de PHMOC voornamelijk uit deeltjes bestaat. Dit bleek ook uit de massabalans. Van de fracties bevatte de HM-fractie de hoogste concentraties PHMOC (1310, 1160 en 1150 $\mu\text{g C/L}$ voor week 0, 5 en 8 respectievelijk). De MM-fractie bevatte aanmerkelijk minder (43, 25 en 35 $\mu\text{g C/L}$ voor week 0, 5 en 8 respectievelijk) en in de LM-fractie lag de concentratie onder de detectielimiet in week 0 en 5, met een concentratie van 4 $\mu\text{g C/L}$ in week 8. De verdeling in de verschillende waterfracties kwam ook overeen met de verdeling van de biopolymeren met de LC-OCD en was ook in lijn met de opzet van de fractioneringsopstelling.

TOC en o-fosfaat concentraties waren gedurende alle weken lager in het permeaat van het MF-membraan (TOC: 3,4, 2,9 en 2,6 mg/l, o-fosfaat: 2,0, 2,0 en 9,0 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) ten opzichte van het inkomende water (TOC: 6,3, 5,5, 5,7 mg/l, o-fosfaat: 6,0, 6,0, 8,0 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) (Figuur 5-3 B/D/F). Het verschil tussen het inkomende water en het MF-permeaat was groter dan eerder met het voorbehandeld ruwwater in op Spannenburg. Het water in Andijk bevatte ook relatief hogere concentraties van hoger moleculaire stofgroepen, waardoor wellicht meer in de deeltjesfractie terecht was gekomen. Daarnaast trad er op Andijk meer vervuiling van het MF-membraan op, wat ook tot een groter verschil heeft kunnen leiden. De concentraties waren het laagst in de LM-fractie (TOC: <0,2, <0,2 en 0,4 mg/l, o-fosfaat: <1,0, 1,0 en <1,0 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ voor week 0, 4 en 8 respectievelijk) en het hoogst in de HM-fractie (TOC: 8,9, 7,7 en 7,1 mg/l, o-fosfaat: 5,0, 7,0 en 17,0 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ voor week 0, 4 en 8 respectievelijk), met de MM-fractie iets lager (TOC: 5,7, 5,1 en 4,6 mg/l, o-fosfaat: 5,0, 6,0 en 3,0 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ voor week 0, 4 en 8 respectievelijk). Het NF-membraan had een groot gedeelte van de TOC tegengehouden en ook o-fosfaat werd in tegenstelling tot in Spannenburg maar tijdens één van meetmomenten in de LM-fractie gemeten. Dat de HM-fractie de hoogste concentraties TOC en o-fosfaat bevatte gevolgd door de MM-fractie was ook verwacht gezien de concentratiefactoren in de opstelling. In week 8 waren de o-fosfaat concentraties verhoogd in alle fracties m.u.v. de LM-fractie waar de o-fosfaat concentratie net als in week 0 onder de detectielimiet lag.

De ICP-MS resultaten zijn weergegeven in Figuur 5-4. Zoals ook bij Spannenburg was de ijzerconcentratie in het MF-permeaat hoger dan in het inkomende water en werd het ook in lagere concentraties teruggevonden in de verschillende waterfracties. Mangaan- en aluminiumconcentraties werden ook in lagere concentraties gedetecteerd in het gefractioneerde water t.o.v. het inkomende water, maar werden niet in alle weken in hogere concentraties in de deeltjesfractie gedetecteerd.



Figuur 5-3: PHMOC, TOC en o-fosfaat resultaten ruwwater na microzeven Andijk. A, C en E: PHMOC-resultaten van week 0, 5 en 8 respectievelijk. B, D en F: TOC en o-fosfaat resultaten van week 0, 5 en 8 respectievelijk



Figuur 5-4: ICP-MS resultaten van 10 metalen met het ruwwater na microzeven op Andijk. A en B: week 0, C en D: week 5, E en F: week 8.

5.2.3 Massabalansen

De massabalansen voor de LC-OCD data zijn weergegeven in Tabel 5-1. Voor de CDOC, humic substances, building blocks en LMW-neutrals waren de massabalansen goed sluitend voor de NF en UF-membranen voor de drie meetmomenten. Voor het MF-membraan waren deze niet sluitend, maar de deeltjesfractie was ook niet gemeten. Dat de massabalansen niet sluiten kan er dus op duiden dat een significant gedeelte van de NOM-fracties in de deeltjesfractie terecht waren gekomen. Voor de biopolymeren en LMW-acids waren de massabalansen over het algemeen niet sluitend, maar voor deze stofgroepen waren de concentraties ook nabij de detectielimiet of eronder waardoor kleine meetfouten veel impact kunnen hebben op de massabalansen. Ook de massabalansen van de PHMOC-stoffen waren niet sluitend. Voor het MF-membraan was ook de verwachting dat een groot gedeelte van de PHMOC in de deeltjesfractie terecht zouden komen. Ook raakte het MF-membraan snel verstopt tijdens de bedrijfsvoering, wat ook gedeeltelijk veroorzaakt kan zijn door de aanwezige PHMOC. Verlies op de andere membranen zou kunnen betekenen dat de stoffen op de membranen hechten en daardoor niet in de waterfracties terecht zijn gekomen.

De massabalansen voor de ICP-MS data zijn weergegeven in Tabel 5-2. In week 0 was het NF-concentraat niet gemeten, waardoor voor die week alleen een massabalans over het MF-membraan kon worden opgesteld. Voor alle metalen behalve ijzer, mangaan en aluminium waren de massabalansen sluitend. Dit waren ook de metalen die in lagere concentraties in de verschillende fracties waren gemeten, en wellicht via deeltjes aan de membranen zijn gebonden gedurende fractionering. Bij deze massabalansen is de ratio uitgerekend tussen de hoeveelheid DOC of andere stoffen in de voeding naar het membraan en de hoeveelheid van deze stoffen in het permeaat + concentraat. Dit moet in theorie uitkomen op 1. Voor de meeste stoffen waren deze massabalansen redelijk sluitend, binnen ongeveer 20% afwijking (0,8-1,2).

Tabel 5-1: Massabalansen van LC-OCD data (DOC, biopolymeren, humics, building blocks, LMW-acids en LMW-neutrals) op ruwwater na microzeven Andijk. Waarden zijn de verhouding tussen in-, en uitgaande stoffen (waarde van 1 = evenveel gemeten in de in-, en uitgaande stromen, waarde < 1 = meer in uitgaande stromen, waarde > 1 meer in ingaande stromen)

Week	Membraan	BPs	HS	BBs	LMWAs	LMWNs	CDOC	PHMOC
0	MF	4.83	1.46	1.37	1.00	1.61	1.63	6.82
0	NF	0.85	1.02	0.97	0.04	0.94	0.98	144.93
0	UF	1.34	1.01	1.02	1.00	1.02	1.03	0.00
5	MF	3.63	1.64	1.38	0.13	1.87	1.72	9.19
5	NF	1.19	1.03	1.05	0.46	1.04	1.04	78.78
5	UF	1.04	0.99	0.94	1.15	0.95	0.98	0.00
8	MF	4.67	2.06	1.59	1.00	2.00	2.10	6.94
8	NF	1.01	0.99	1.00	0.40	0.91	0.98	105.65
8	UF	1.20	0.96	0.91	0.29	0.97	0.96	0.00

Tabel 5-2: Massabalansen op ICP-MS data bij ruwwater na microzeven op Andijk. Waarden zijn de verhouding tussen in-, en uitgaande stoffen (waarde van 1 = evenveel gemeten in de in-, en uitgaande stromen, waarde < 1 = meer in uitgaande stromen, waarde > 1 meer in ingaande stromen)

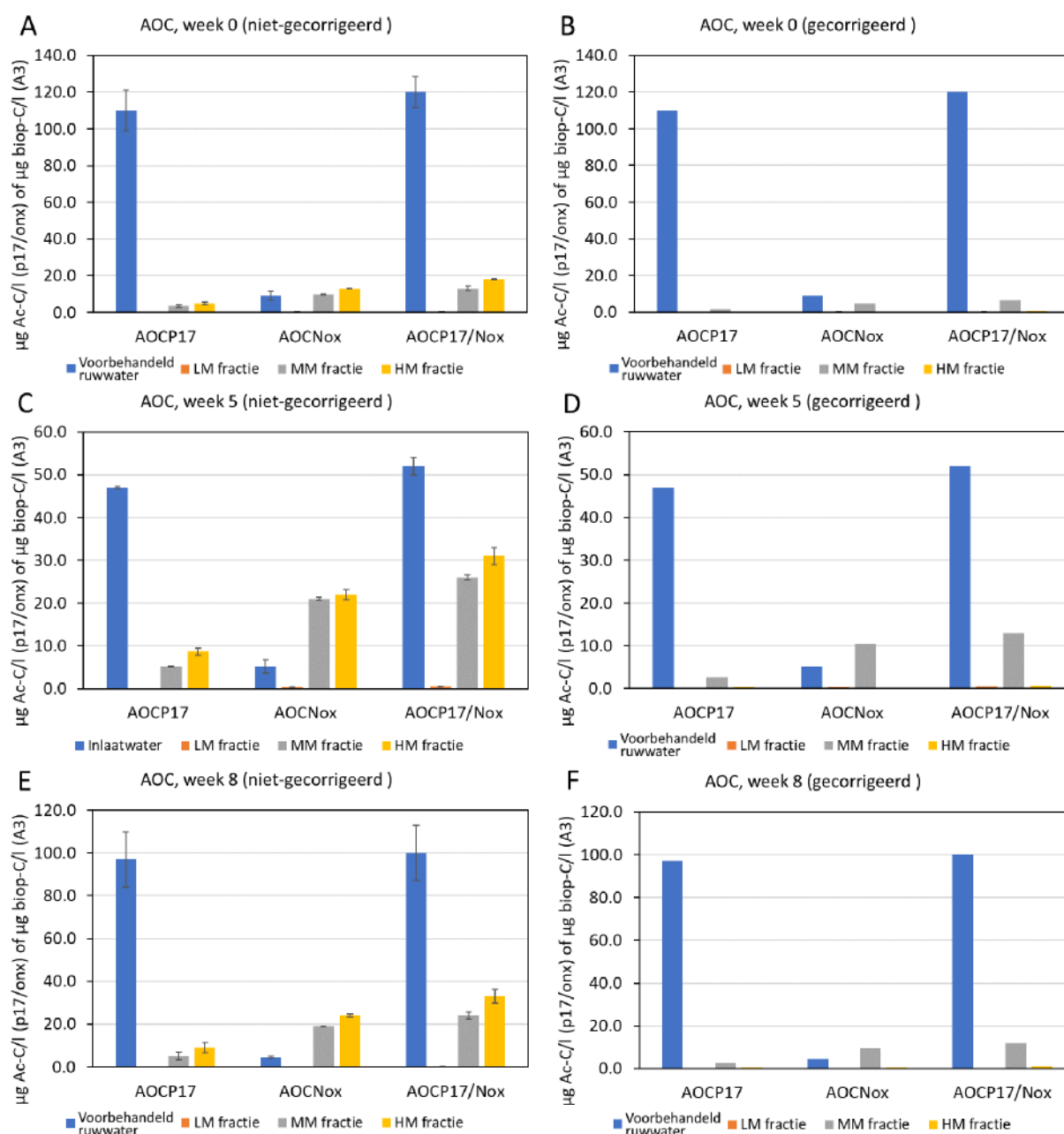
Week	Membraan	Na	Mg	Al	K	Ca	B	Mn	Fe	Sr	Ba
0	MF	0.95	0.98	12.78	1.00	1.04	1.04	10.87	13.00	1.01	1.12
5	MF	0.95	0.99	13.33	1.00	0.99	0.99	6.15	12.00	1.02	1.06
5	NF	1.00	0.98	0.95	0.99	0.99	0.99	0.80	0.63	0.99	0.97
5	UF	1.01	0.99	1.06	0.98	0.99	0.98	0.51	1.40	1.00	1.00
8	MF	0.93	1.03	10.00	1.02	1.07	1.05	12.31	12.00	1.03	1.13
8	NF	0.95	1.03	0.91	1.02	1.03	0.99	0.88	0.87	0.99	1.01
8	UF	1.03	1.02	1.11	1.02	1.00	0.97	0.64	0.98	1.01	1.00

5.3 Groeipotentie waterfracties

5.3.1 AOC-P17/Nox

De resultaten voor de ongecorrigeerde concentraties AOC-P17/Nox zijn weergegeven in Figuur 5-5 A/C/E voor week 0, 5 en 8 respectievelijk. De ongecorrigeerde concentratie AOC-P17/Nox was in alle meetweken het hoogst in het ruwwater na microzeven ($120 \pm 8,5$, $52 \pm 2,0$ en 100 ± 13 $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk voor de drie meetweken), gevolgd door de HM-fractie ($18 \pm 0,34$, $31 \pm 2,0$ en $33 \pm 3,2$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk), de MM-fractie ($13 \pm 1,1$, $26 \pm 0,58$ en $24 \pm 1,6$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk) en de LM-fractie ($0,16 \pm 0,06$, $0,49 \pm 0,02$ en $0,14 \pm 0,03$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk). De HM-fractie bevatte ook de hoogste concentratie LM-stoffen, zodoende is het niet geheel onverwacht dat de AOC-P17/Nox concentratie ook het hoogste is in de HM-fractie ondanks dat deze AOC P17/Nox stoffen voornamelijk een lage moleculaire massa hebben (Escobar & Randall, 2001). De waarden in het ruwwater na microzeven waren echter substantieel hoger dan de gefractioneerde fracties, wat erop duidt dat een groot gedeelte van de AOC-P17/Nox waarschijnlijk in de deeltjesfractie terecht was gekomen. Dat zou betekenen dat een belangrijk deel van de AOC-P17/Nox gebonden is aan deeltjes, aangezien verwacht mag worden dat niet deeltjesgebonden AOC-P17/Nox dusdanig kleine moleculen zijn die niet door een ultrafiltratiemembraan wordt tegengehouden. Opvallend was ook dat de AOC-P17 concentratie een veel groter gedeelte van de AOC P17/Nox concentratie uitmaakte in het ruwwater na microzeven dan in het voorbehandeld ruwwater en reinwater van Spannenburg (zie hoofdstuk 3 en 4) en het reinwater van ps Andijk (zie hoofdstuk 5). Voor de andere fracties was dit niet van toepassing, wat zou betekenen dat juist veel van de AOC-P17 ofwel in de deeltjesfractie terecht was gekomen ofwel aan het MF-membraan is gehecht.

De gecorrigeerde AOC-P17/Nox-concentratie was $0,63$, $0,63$ en $1,1$ $\mu\text{g Ac-C /l}$ in de HM-fractie respectievelijk over de drie meetweken en $6,5$, 13 en 12 $\mu\text{g Ac-C /l}$ in de MM-fractie (Figuur 5-5 B/D/F voor week 0, 5 en 8 respectievelijk). De correctie veranderd de waarden voor het ruwwater na microzeven en de LM-fractie niet. De AOC-P17/Nox concentratie werd dus met name teruggevonden in het water met de mediummoleculaire fractie, deze fractie bevatte ook na correctie de meeste laagmoleculaire stoffen van het gefractioneerde water.



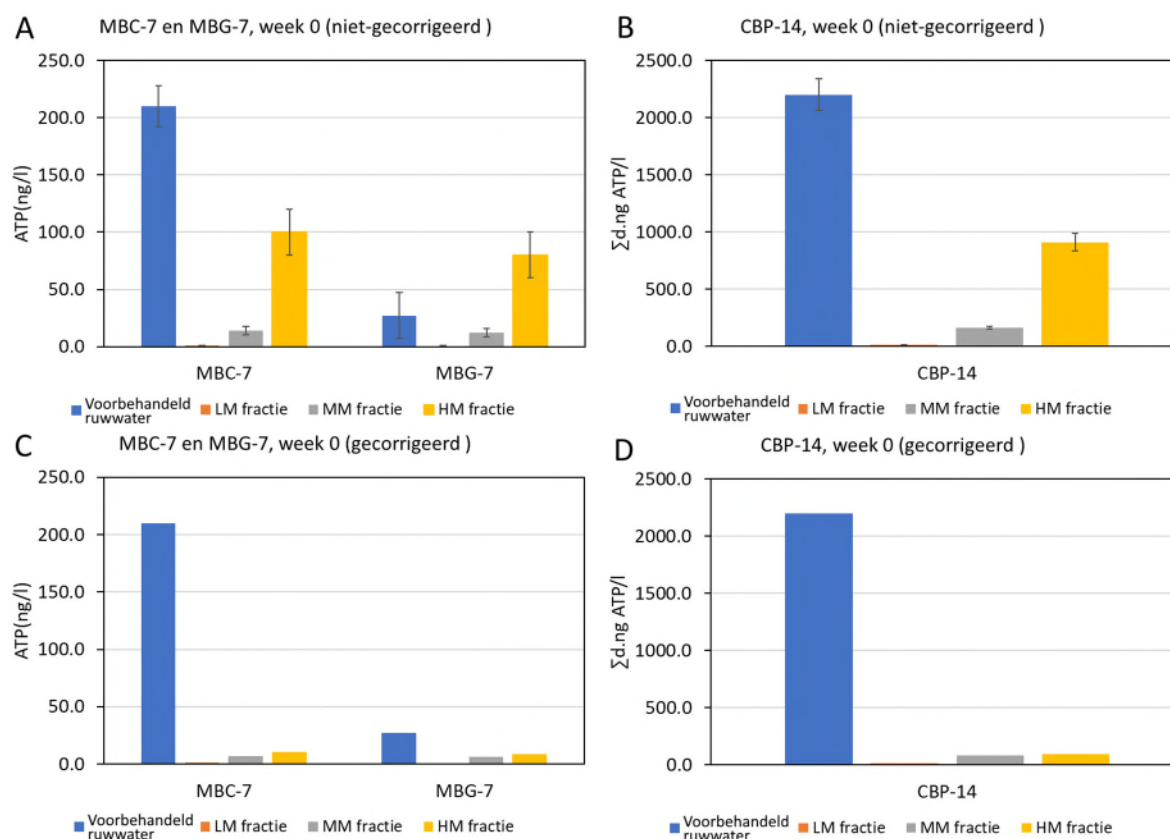
Figuur 5-5: AOC-resultaten Andijk voorbehandeld ruwwater. A, C en E: ongecorrigeerde waarden (week 0, week 5 en week 8). B, D en F: gecorrigeerde waarden (week 0, week 5 en week 8)

5.3.2 Biomassaproductiepotentie (BPP)

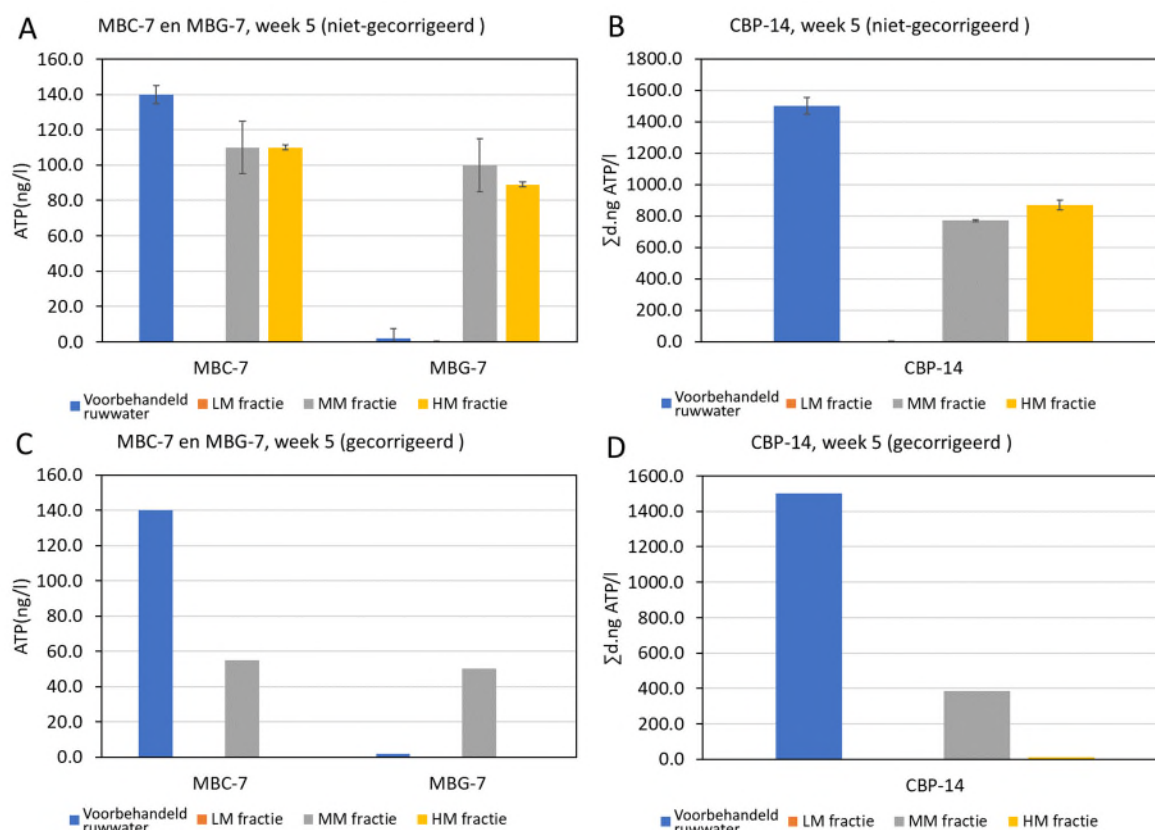
De ongecorrigeerde MBC_7 , MBG_7 , en CBP_{14} waarden zijn weergegeven in Figuur 5-6 A/B, Figuur 5-7 A/B en Figuur 5-8 A/B voor week 0, 5 en 8 respectievelijk. De BPP van het ruwwater na microzeven was voor de meeste metingen het hoogst met een MBC_7 van 210 ± 18 , $140 \pm 5,1$ en 200 ± 13 ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG_7 van 27 ± 20 , $1,8 \pm 5,8$ en 27 ± 23 ng ATP/l respectievelijk en een CBP_{14} van 2200 ± 140 , 1500 ± 55 en 1400 ± 23 Σ d.ng ATP/l respectievelijk. De BPP van de HM-fractie was het hoogst van de gefractioneerde fracties met een MBC_7 van 100 ± 20 , $110 \pm 1,3$ en $150 \pm 9,5$ ng ATP/l respectievelijk, een MBG_7 van 80 ± 20 , $89 \pm 1,3$ en $130 \pm 9,5$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP_{14} van 910 ± 75 , 870 ± 32 en 1000 ± 85 Σ d.ng ATP/l respectievelijk. Dit werd gevolgd door de waarden van de MM-fractie met een MBC_7 van $14 \pm 3,7$, 110 ± 15 en $110 \pm 1,3$ ng ATP/l respectievelijk, een MBG_7 van $12 \pm 3,7$, 100 ± 15 en $110 \pm 1,3$ ng ATP/l respectievelijk en een CBP_{14} van 160 ± 12 , $770 \pm 7,5$ en 670 ± 14 Σ d.ng ATP/l respectievelijk. De waarden van de LM-fractie waren het laagst met een MBC_7

van $1,0 \pm 0,1$, <1 en <1 ng ATP/l respectievelijk, een MBG₇ van $0,4 \pm 0,5$, <1 en <1 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van $15 \pm 0,3$, <14 en $19 \pm 6,2$ Σd.ng ATP/l voor alle meetweken. De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kunnen gedeeltelijk verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.. De MM-fractie had sterk verhoogde BPP-waarden in week 5 en week 8 t.o.v. week 0.

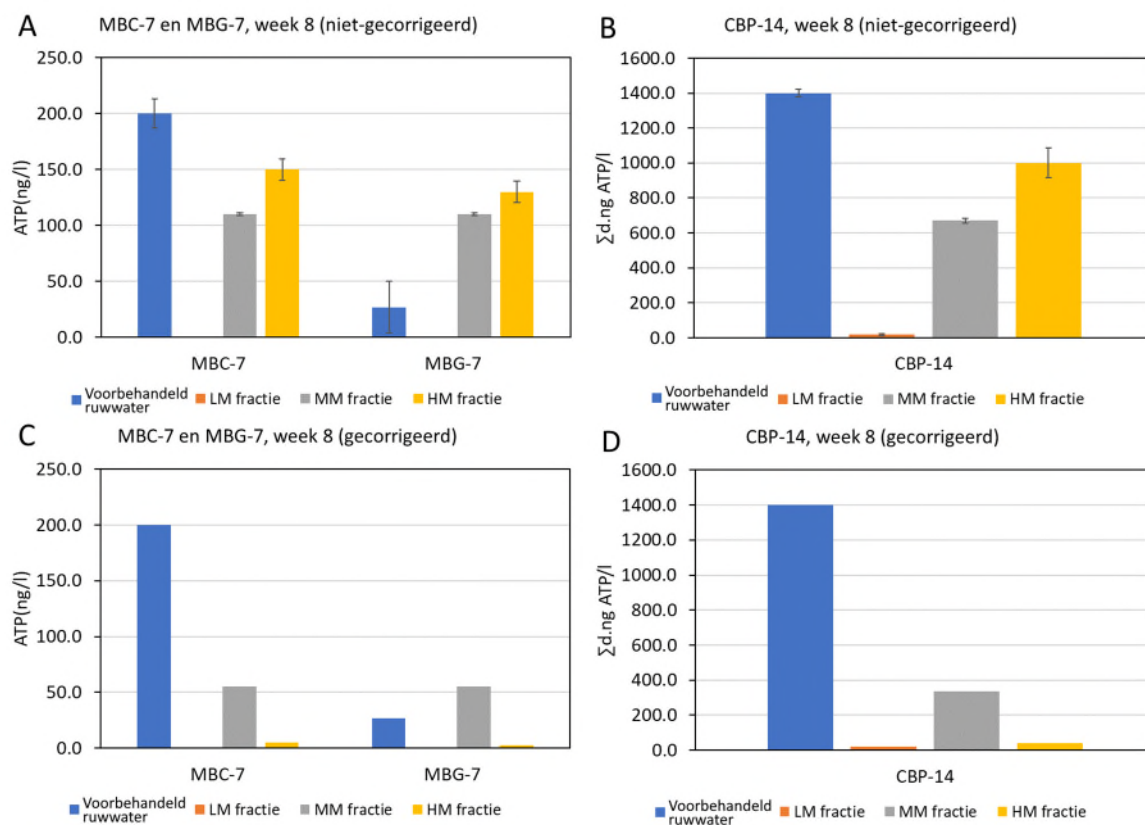
In Figuur 5-6 C/D, Figuur 5-7 C/D en Figuur 5-8 C/D voor week 0, 5 en 8 staan de gecorrigeerde waarden voor MBC₇, MBG₇ en CBP₁₄ per fractie weergegeven. De gecorrigeerde waarden voor de HM-fractie waren een MBC₇ van 11, 0 en 5,0 ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG₇ van 8,5, 0 en 2,5 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van 94, 13 en 41 Σd.ng ATP/l respectievelijk. De gecorrigeerde waarden voor de MM fractie waren een MBC₇ van 7, 55 en 55 ng ATP/l respectievelijk voor de drie meetweken, een MBG₇ van 6,0, 50 en 55 ng ATP/l respectievelijk en een CBP₁₄ van 80, 385 en 335 Σd.ng ATP/l respectievelijk. Voor het ruwwater na microzeven en de LM-fractie zijn de waarden gelijk aan de ongecorrigeerde waarden. Uit deze resultaten blijkt dat de stoffen die microbiële groei in de BPP-test veroorzaken voornamelijk in de MM-fractie aanwezig zijn. Hoewel de MM-fractie hoger uitkwam dan de LM-fractie is het lastig te zeggen of de LM stoffen of de MM stoffen meer bijdragen aan groei door de slechte scheiding van de twee en het grote verschil in DOC-concentratie tussen de LM en MM-fracties. Ook na correctie was er nog groeipotentie aanwezig in de HM-fractie, wat overeenkwam met de resultaten die zijn waargenomen met het reinwater van Andijk (hoofdstuk 5) maar niet met de resultaten van het voorbehandeld ruwwater en reinwater van Spannenburg (hoofdstuk 3 en 4).



Figuur 5-6: BPP-resultaten week 0 Andijk inlaatwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



Figuur 5-7: BPP-resultaten week 5 Andijk inlaatwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



Figuur 5-8: BPP-resultaten week 8 Andijk inlaatwater. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.

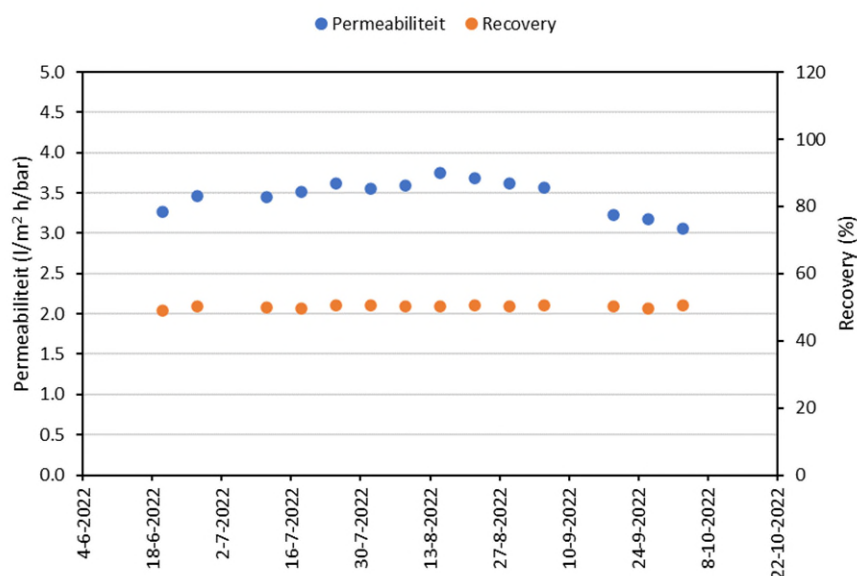
6 Resultaten Reinwater Andijk

6.1 Bedrijfsvoering

De installatie is op 14 juni 2022 opgestart en de reinwatertest vond plaats in de periode van 21 juni tot en met 11 oktober 2022. In bijlage VI is het logboek met gebeurtenissen die tijdens de test plaatsvonden en tabellen met de bedrijfsvoering van de MF, UF en NF inclusief de berekende recovery's en concentratiefactoren weergegeven. De bedoeling was om de installatie continu te laten draaien. Dit was echter niet mogelijk omdat het MF te snel vervuilde ondanks de frequente terugspoeling (bijlage 0). Het was niet mogelijk om de MF membranen op locatie chemisch te reinigen en daarom is besloten om de installatie alleen op te starten tijdens dagen dat er water diende te worden bemonsterd.

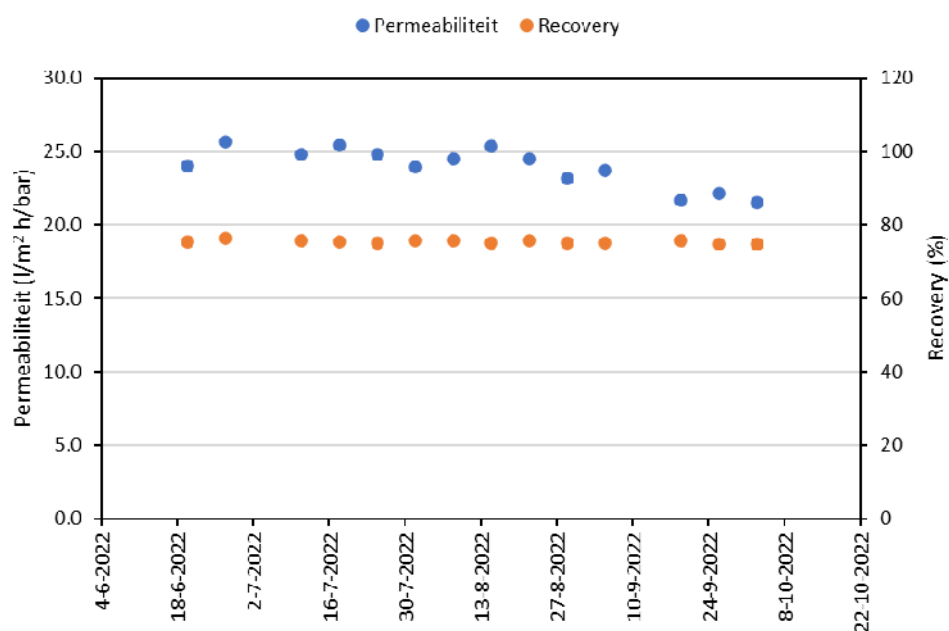
Het MF-membraan was ingesteld op een recovery van 100% (verwijdering van de deeltjesfase). Voor de recovery van alle membranen is de spoeling van de membranen niet meegenomen. De hoeveelheid water gebruikt voor de spoeling werd niet gemeten, waardoor de echte recovery (70 – 80 %) lager lag, maar dit is niet van invloed op de verwerking van de data van de groeiproeven en dus niet opgenomen in het experiment. Tijdens de start van de test is de temperatuur van het voedingswater niet gemeten. Aan het einde van de test was de temperatuur 16,5 °C. Over de gehele testperiode was de temperatuur $21,4 \pm 2,8$ °C.

Het NF-membraan was ingesteld op een recovery van 50% (wat overeenkomt met een concentratiefactor van 2). In Figuur 6-1 zijn de permeabiliteit en de recovery weergegeven tijdens de monsternamemomenten. Gedurende de test neemt de permeabiliteit af van 3,27 tot 3,06 L/m²*uur*bar. In de tussenliggende periode schommelt de permeabiliteit rond de 3,5 L/m²*uur*bar. De verschillen in permeabiliteit kunnen worden toegeschreven aan de verschillen in temperatuur (niet voor gecorrigeerd). Over de gehele periode was de permeabiliteit $3,5 \pm 0,2$ L/m²*uur*bar. Tijdens de start van de test was de temperatuur van het voedingswater van de NF 19,1 °C. Aan het einde van de test 16,3 °C. Over de gehele testperiode was de temperatuur $20,8 \pm 2,2$ °C. De recovery tijdens de monsternamemomenten was $50,2 \pm 0,4\%$ en de concentratiefactor $2,01 \pm 0,02$. Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamemomenten de NF-installatie onder de gewenste condities (Recovery 50% = CF 2) heeft gedraaid.



Figuur 6-1: Permeabiliteit en recovery, op dagen dat er bemonsterd werd, van het NF-membraan gedurende het experiment op reinwater van Andijk. Meer gegevens over het functioneren van het NF membraan staat gegeven in bijlage 0

Het UF-membraan was ingesteld op een recovery van 75% (concentratiefactor van 4). In Figuur 6-2 zijn de permeabiliteit en de recovery weergegeven tijdens de monsternames. Gedurende de test neemt de permeabiliteit af van 24,1 tot 21,5 L/m²*uur*bar. Over de gehele periode was de permeabiliteit $23,9 \pm 1,4$ L/m²*uur*bar. Tijdens de start van de test was de temperatuur van het voedingswater van de UF 18,1 °C. Aan het einde van de test 15,5 °C. Over de gehele testperiode was de temperatuur $20,0 \pm 2,3$ °C. De recovery tijdens de monsternamemomenten was $75,4 \pm 0,4\%$ en de concentratiefactor $4,07 \pm 0,07$. Er kan worden gesteld dat tijdens de monsternamemomenten de UF-installatie onder de gewenste condities heeft gedraaid.



Figuur 6-2: Permeabiliteit en recovery, op dagen dat er bemonsterd werd, van het UF-membraan gedurende het experiment op reinwater van Andijk. Meer gegevens over het functioneren van het NF-membraan staat gegeven 0

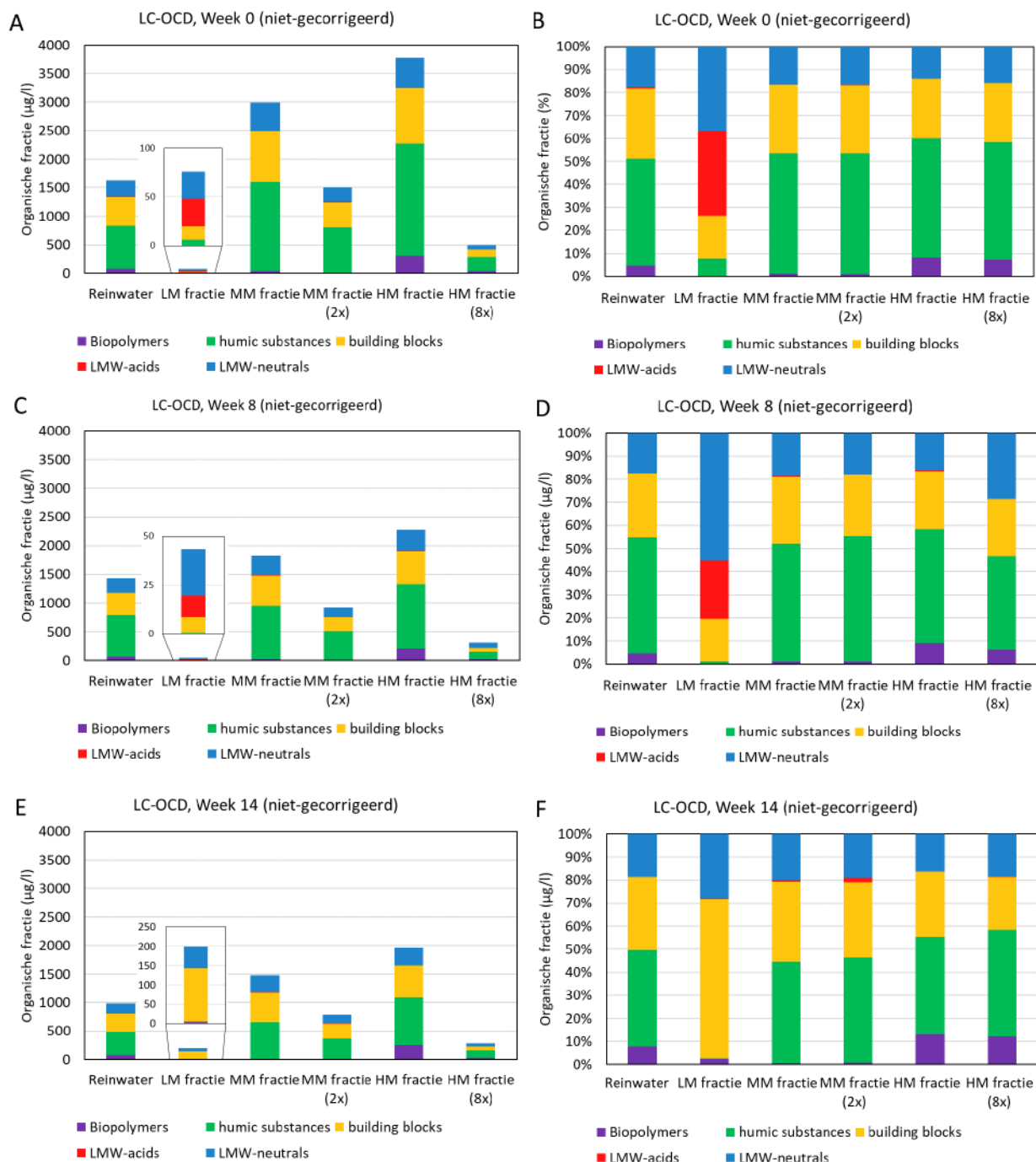
6.2 Chemische karakterisering fracties

De LC-OCD profielen voor de verschillende fracties zijn weergegeven in Figuur 6-3. De totale DOC-concentraties in week 0 lagen beduidend hoger dan in week 8 en 14 voor het DW, de MM-fractie en de HM-fractie. De DOC-concentratie van de LM-fractie (76 µg/l, 44 µg/l en 200 µg/l) was in alle meetweken lager dan in het DW (1628 µg/l, 1432 µg/l en 989 µg/l), de MM-fractie (2993 µg/l, 1826 µg/l en 1480 µg/l) en de HM-fractie (3779 µg/l, 2279 µg/l en 1969 µg/l). De HM-fractie was in alle meetweken verrijkt met biopolymeren t.o.v. de LM- en MM-fractie. In week 0 en 8 was de LM-fractie duidelijk verrijkt met de laagmoleculaire stoffen, maar in week 14 was dit niet het geval. Ook werd de LMWA-fractie van de LC-OCD in week 14 niet meer teruggevonden in de LM-fractie en was de DOC-concentratie in de LM-fractie beduidend hoger dan in week 0 en week 8. Een mogelijke verklaring voor deze afwijkende resultaten in week 14 vergeleken met week 0 en 8 is dat het functioneren van het membraan achteruit is gegaan en dat daardoor de scheiding van de fracties slechter was in week 14. Deze verklaring wordt gesteund door de waarneming dat tegen het einde van de experimenten de permeabiliteit van het NF-membraan was gaan afnemen (Figuur 6-1). Echter was er geen groot verschil te zien in de massabalansen voor het NF-membraan (Tabel 6-1), wat de oorzaak onzeker houdt. De DOC-concentraties van de verdunde MM-fractie en verdunde HM-fracties die werden gebruikt voor de groeiproeven kwamen redelijk overeen met de MM en HM-fracties als rekening wordt gehouden met de verdunningsfactor. Ook waren de LC-OCD fracties procentueel nagenoeg gelijk tussen de verdunde en onverdunde fracties. Voor de LC-OCD resultaten zijn voor de drie meetmomenten ook massabalansen opgesteld (Tabel 6-1). Bij deze massabalansen is de ratio uitgerekend tussen de hoeveelheid DOC of andere stoffen in de voeding naar het membraan en de hoeveelheid van deze stoffen in het permeaat + concentraat. Dit moet in theorie uitkomen op 1. Voor de meeste stoffen waren deze massabalansen redelijk sluitend, binnen ongeveer 20%

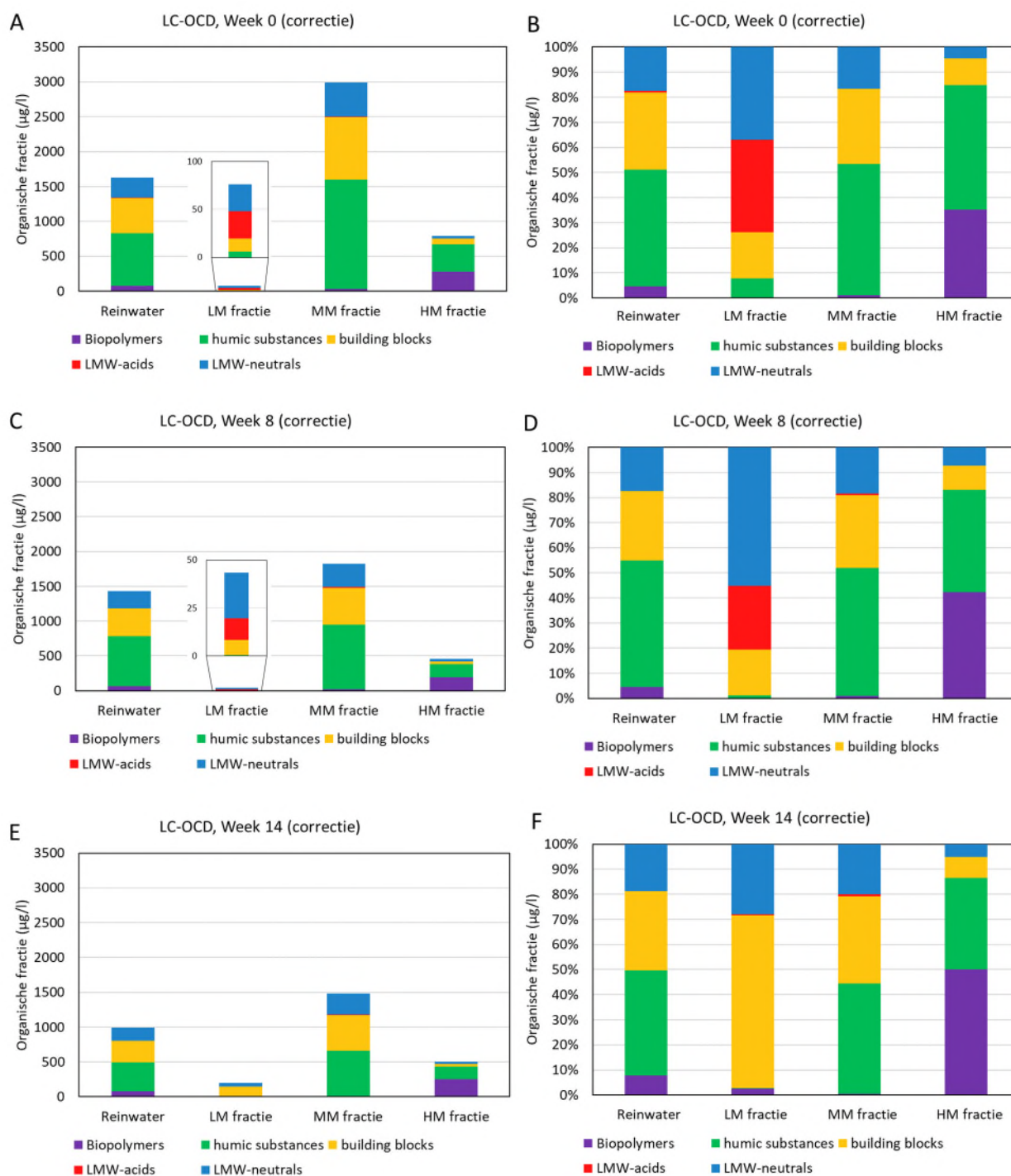
afwijking (0,8-1,2). Met name op week 0 waren de massabalansen meestal erg dicht bij de 1. Voor de LC-OCD fracties LMWA en biopolymeren was de massabalans echter minder sluitend. Voor de LMWA waren de concentraties erg laag in het inkomende reinwater, waardoor deze concentraties ook laag waren in de verschillende fracties. Hierdoor geven kleine meeton nauwkeurigheden een afwijkende massabalans. Voor de biopolymeren werd een soortgelijk probleem waargenomen maar voor biopolymeren werden lage concentraties niet voor alle fracties waargenomen. Voor de fracties die een lage concentratie lieten zien (LM en MM) zouden meeton nauwkeurigheden ook tot een afwijkende massabalans hebben kunnen leiden. Er was ook een toenemende waarde te zien voor de massabalansen voor biopolymeren over het MF-membraan en UF-membraan over de weken, wat zou een indicatie van vervuiling van de membranen is over tijd.

Voor de berekening om te achterhalen hoeveel van de gemeten stoffen in welke fractie was gekomen wordt een correctie gedaan van HM-MM. Hierdoor is het logisch om hetzelfde te doen voor de LC-OCD resultaten, zodat een beeld wordt verkregen van de samenstelling van deze gecorrigeerde fracties. Deze samenstelling is terug te vinden in Figuur 6-4.

6.2.1 LC-OCD



Figuur 6-3: LC-OCD resultaten van NOM-fracties Andijk. Reinwater, LM-fractie, MM-fractie, MM-fractie (2x verdund), HM-fractie, HM-fractie (8x verdund). A, C en E: absolute waarden van week 0, 8 en 14 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling in week 0, 8 en 14.



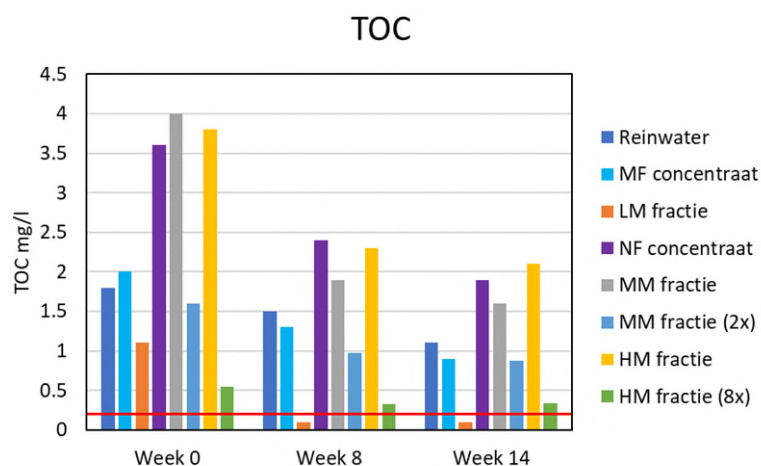
Figuur 6-4: Theoretische LC-OCD resultaten voor Andijk na HM-MM correctie. A, C en E: absolute waarden voor week 0, 8 en 14 respectievelijk. B, D en F: relatieve samenstelling voor week 0, 8 en 14 respectievelijk.

Tabel 6-1: Massabalansen over de membranen van LC-ODCD data (DOC, biopolymeren, humics, building blocks, LMW-acids en LMW-neutrals). Waarden zijn de verhouding tussen in-, en uitgaande stoffen (waarde van 1 = evenveel gemeten in de in-, en uitgaande stromen, waarde < 1 = meer in uitgaande stromen, waarde > 1 meer in ingaande stromen)

Membraan	DOC	Biopolymeren	Humics	Building blocks	LMWA	LMWN
MF (week 0)	1,00	1,34	0,96	1,00	0,32	1,00
NF (week 0)	1,00	1,06	0,94	1,03	0,84	1,04
UF (week 0)	1,03	1,04	1,01	1,05	15,57	1,04
MF (week 8)	1,20	1,33	1,14	1,17	1,00	1,09
NF (week 8)	1,10	1,25	1,10	1,01	0,04	1,12
UF (week 8)	1,17	1,22	1,19	1,24	1,17	1,13
MF (week 14)	0,84	1,57	0,98	1,02	1,00	0,91
NF (week 14)	1,14	1,00	1,06	0,85	1,00	1,04
UF (week 14)	1,11	1,32	1,14	1,12	0,05	1,09

6.2.2 TOC

Voor de NOM-fracties in Andijk waren ook de TOC-concentraties bepaald in week 0, 8 en 14 (Figuur 6-5). Als de TOC-resultaten vergeleken worden met de DOC-resultaten, blijkt dat over het algemeen bijna alle organische koolstof oplosbaar was (Tabel 6-2). Dit is ook te verwachten voor de fracties die na een membraanfiltratie stap zijn gevonden aangezien de deeltjesfractie bij het MF-membraan verwijderd wordt en dus in principe alleen nog opgeloste stoffen aanwezig zijn na deze eerste stap van de opstelling. De TOC-resultaten lieten ook zien dat de concentraties in week 0 hoger waren dan in week 8 en 14 en dat de LM-fractie een lagere TOC-concentratie bevatte dan het reinwater, MM-fractie en HM-fractie, wat vergelijkbaar is met de LC-OCD resultaten. Opvallend is wel dat voor de LM-fractie de TOC-concentratie in week 0 het hoogst was, terwijl bij de LC-OCD resultaten de LM-fractie de hoogste concentratie DOC in week 14 bevatte. Voor de LM-fractie waren de TOC-concentraties van de monsters genomen in week 8 en week 14 onder de detectielimiet (<0,2 mg/l). De massabalans voor de TOC was ook redelijk sluitend met meestal minder dan 20% afwijking (0,8-1,2) van de theoretische sluitende balans (Tabel 6-3).



Figuur 6-5: TOC-resultaten voor de verschillende fracties van reinwater Andijk. De rode lijn geeft de detectielimiet weer.

Tabel 6-2: Percentage van TOC dat uit DOC bestaat op basis van TOC en LC-OCD analyses.

Percentage DOC van TOC	Week 0	Week 8	Week 14
Reinwater	101%	109%	90%
MF-concentraat	91%	105%	131%
LM-fractie	10%	Nvt	Nvt
NF-concentraat	98%	102%	95%
MM-fractie	81%	104%	94%
Verdunde MM-fractie	98%	111%	90%
HM-fractie	105%	104%	94%
Verdunde HM-fractie	110%	95%	92%

Tabel 6-3: Massabalansen over de membranen van TOC-data.

Membraan	TOC wk 0	TOC wk 8	TOC wk 14
MF	0,9	1,15	1,22
NF	0,86	1,05	0,9
UF	0,91	1,2	1,1

6.3 Groeipotentie waterfracties

6.3.1 AOC-P17/Nox en AOC-A3

De resultaten voor de ongecorrigeerde AOC-bepaling in week 0 zijn weergegeven in Figuur 6-6A. De waarden in het reinwater waren abnormaal hoog in week 0. Deze werden waarschijnlijk veroorzaakt door een probleem met de aanvoerleiding, dat voor de latere metingen verholpen was. De ongecorrigeerde AOC-A3 concentratie was het hoogst in het reinwater en de HM-fractie ($25,3 \pm 0,6$ en $33,3 \pm 3,9$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk), gevolgd door de verdunde HM-fractie ($2,1 \pm 0,2$ $\mu\text{g biop-C/l}$), met nagenoeg niets in de LM-fractie, de MM-fractie en de verdunde MM-fractie ($0,5 \pm 0,6$, $0,6 \pm 0,2$ en $0,3 \pm 0,02$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk). De ongecorrigeerde AOC-P17/Nox concentratie was het hoogst in de MM-fractie en de HM-fractie ($26,4 \pm 1,6$ en $27,9 \pm 1,2$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk), gevolgd door het reinwater ($21,4 \pm 1,7$ $\mu\text{g Ac-C/l}$), de verdunde MM-fractie ($14,5 \pm 0,5$ $\mu\text{g Ac-C/l}$), de verdunde HM-fractie ($4,4 \pm 0,1$ $\mu\text{g Ac-C/l}$) en de LM-fractie ($1,5 \pm 0,04$ $\mu\text{g Ac-C/l}$). Dit kan ook gedeeltelijk verklaard worden door de concentratie van LM stoffen in de verschillende fracties. De HM-fractie bevatte ook de hoogste absolute concentratie LM-stoffen, zodoende is het niet geheel onverwacht dat de AOC-P17/Nox waarde ook het hoogste is in de HM-fractie ondanks dat deze AOC P17/Nox stoffen voornamelijk een lage moleculaire massa hebben (Escobar & Randall, 2001).

Na correctie was de AOC-A3 nog steeds voornamelijk aanwezig in het reinwater en de HM-fractie ($25,3$ $\mu\text{g biop-C/l}$ en $4,1$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk) (Figuur 6-6B). Nagenoeg geen AOC-A3 werd gevonden in de LM en MM-fracties ($0,48$ $\mu\text{g biop-C/l}$ en $0,3$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk). AOC-P17/Nox werd juist nagenoeg niet meer gevonden in de HM-fractie na correctie ($0,2$ $\mu\text{g Ac-C/l}$) doordat in de correctie voor de HM-fractie de AOC-P17/Nox van de MM-fractie wordt afgetrokken. Na correctie was de AOC-P17/Nox concentratie in het reinwater het hoogst gevolgd door de MM-fractie en de LM-fractie ($21,4$ $\mu\text{g Ac-C/l}$, $13,21$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ en $1,46$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk).

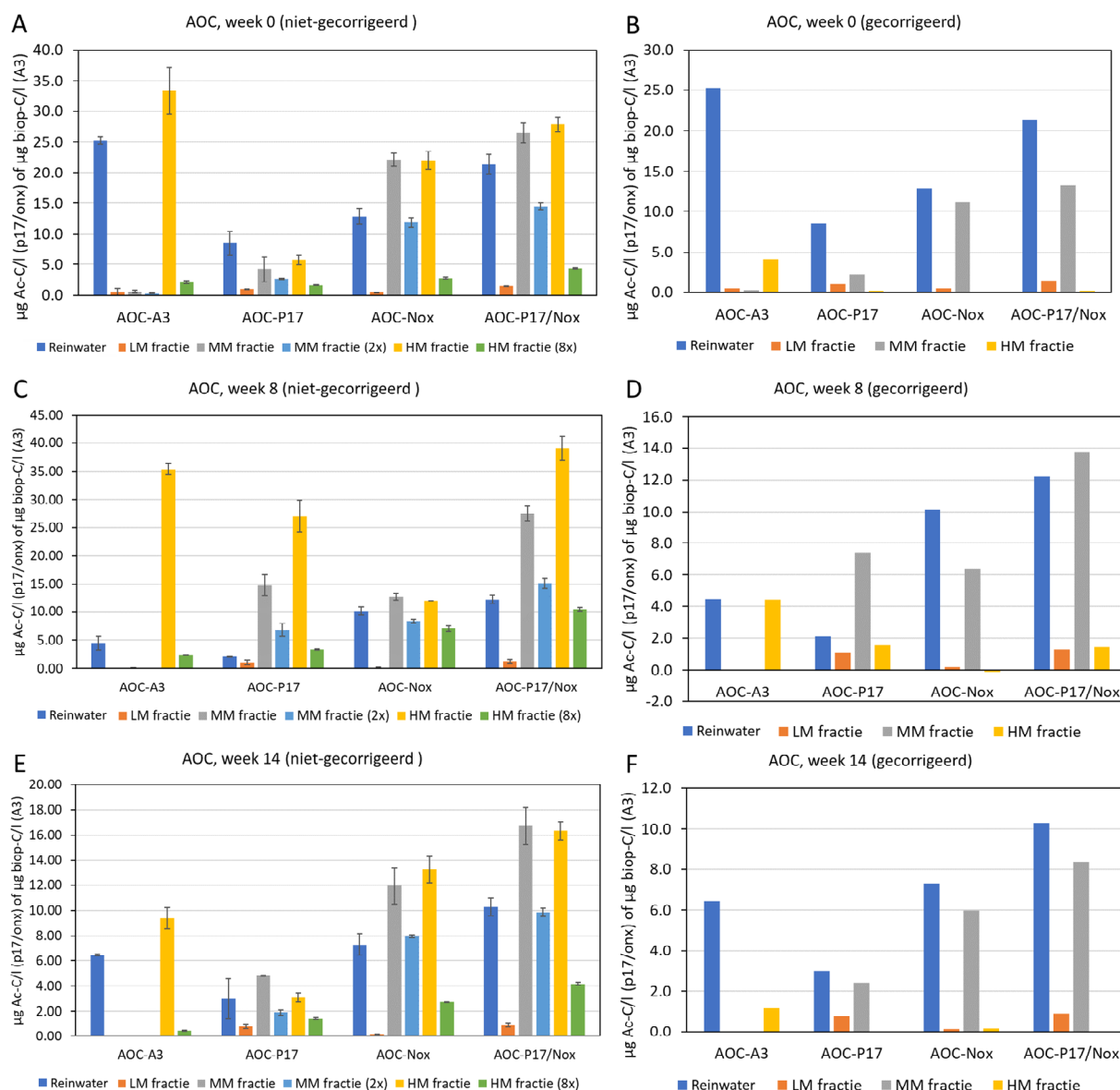
In week 8 lagen de AOC-waarden in het reinwater in de lijn der verwachting gebaseerd op historische metingen en dus niet meer verhoogd zoals waargenomen in week 0. Voor de ongecorrigeerde waarden (Figuur 6-6C) was de AOC-A3 concentratie het hoogst in de HM-fractie ($35,4 \pm 1,0$ $\mu\text{g biop-C/l}$), gevolgd door het inkomende reinwater ($4,5 \pm 1,2$ $\mu\text{g biop-C/l}$) en de verdunde HM-fractie ($2,4 \pm 0$ $\mu\text{g biop-C/l}$). In de LM-fractie, de MM-fractie en de verdunde MM-fractie werd effectief geen AOC-A3 gemeten. Ook de ongecorrigeerde AOC-P17/Nox concentratie was het hoogste in de HM-fractie ($39 \pm 2,0$ $\mu\text{g Ac-C/l}$), gevolgd door de MM-fractie ($27,6 \pm 1,4$ $\mu\text{g Ac-C/l}$). Het reinwater, de verdunde MM-fractie en de verdunde HM-fractie lagen dicht bij elkaar ($12,2 \pm 0,3$, $15,2 \pm 0,9$ en $10,4 \pm 0,4$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk) en de LM-fractie bevatte duidelijk het minste AOC P17/Nox ($1,3 \pm 0,3$ $\mu\text{g Ac-C/l}$). Dit kan ook gedeeltelijk verklaard worden door de concentratie van LM stoffen in de verschillende fracties. De HM-fractie bevatte ook de hoogste concentratie LM-stoffen, zodoende is het niet geheel onverwacht dat de AOC-P17/Nox concentratie ook het hoogste is in de HM-fractie ondanks dat deze AOC P17/Nox stoffen voornamelijk een lage moleculaire massa hebben (Escobar & Randall, 2001).

Na correctie was de AOC-A3 concentratie ongeveer gelijk in het reinwater en de HM-fractie ($4,5$ $\mu\text{g biop-C/l}$ en $4,4$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk) (Figuur 6-6D). Zowel de LM als de MM-fractie bevatte nagenoeg geen AOC-A3 ($0,05$ $\mu\text{g biop-C/l}$ en $0,04$ $\mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk). De concentratie AOC-P17/Nox concentratie was het hoogst in de MM-fractie ($13,8$ $\mu\text{g Ac-C/l}$), wat iets hoger was dan de concentratie in het reinwater ($12,2$ $\mu\text{g Ac-C/l}$). Concentraties AOC-P17/Nox in de LM en HM-fractie lagen lager ($1,3$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ en $1,4$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk).

In week 14 was de ongecorrigeerde (Figuur 6-6E) AOC-A3 concentratie wederom het hoogste in de HM-fractie ($9,4 \pm 0,8$ $\mu\text{g biop-C/l}$), maar de concentratie was ruim drie keer lager dan in week 0 en week 8, terwijl het reinwater een hogere concentratie bevatte dan in week 8. Ook het reinwater bevatte biopolymeren ($6,4 \pm 0,1$ $\mu\text{g biop-C/l}$) en een kleine hoeveelheid werd gemeten in de verdunde HM-fractie ($0,4 \pm 0,04$ $\mu\text{g biop-C/l}$). Nagenoeg geen biopolymeren werden gemeten in de LM-fractie, de MM-fractie en de verdunde MM-fractie. De ongecorrigeerde AOC-P17/Nox concentratie was het hoogst in de HM-fractie en de MM-fractie ($16,4 \pm 0,7$ en $16,7 \pm 1,5$ $\mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk), gevolgd door het reinwater en de verdunde MM-fractie ($10,3 \pm 0,7$ en $9,9 \pm 0,3$ $\mu\text{g Ac-C/l}$).

respectievelijk), de verdunde HM-fractie ($4,2 \pm 0,1 \mu\text{g Ac-C/l}$) met de LM wederom het laagst ($0,9 \pm 0,2 \mu\text{g Ac-C/l}$). Na correctie was de AOC-A3 concentratie het hoogst in het reinwater ($6,4 \mu\text{g biop-C/l}$), terwijl in de gecorrigeerde HM-fractie de concentratie beduidend lager was ($1,2 \mu\text{g biop-C/l}$) (Figuur 6-6F). De LM-fractie en de MM-fractie bevatte nagenoeg geen AOC-A3 ($0,01 \mu\text{g biop-C/l}$ en $0,01 \mu\text{g biop-C/l}$ respectievelijk). Dit betekent dat in week 14, in tegenstelling tot week 8, een deel van de AOC-A3 in het reinwater niet terug werd gevonden in de HM-, MM- en LM-fractie. De AOC-P17/Nox concentratie was het hoogst in het reinwater gevolgd door de MM-fractie ($10,3 \mu\text{g Ac-C/l}$ en $8,4 \mu\text{g Ac-C/l}$ respectievelijk). De LM-fractie bevatte een veel lagere concentratie van AOC-P17/Nox ($0,92 \mu\text{g Ac-C/l}$) en de HM-fractie bevatte geen AOC-P17/Nox ($0,0 \mu\text{g Ac-C/l}$).

In alle weken bleek ook dat de AOC-P17/Nox in de LM-fractie voornamelijk bestond uit de AOC-P17 en in mindere mate uit de AOC-Nox, terwijl AOC-Nox in week 0 en 14 duidelijk hoger was dan AOC-P17 voor de MM-fractie. Dit is verrassend omdat stam Nox oorspronkelijk is geïsoleerd om kleine carbonzuren aan te tonen en stam P17 aminozuren. De hier gepresenteerde resultaten lijken echter aan te tonen dat stam Nox niet op kleine carbonzuren groeit, maar op grotere moleculen terwijl stam P17 meer op laagmoleculaire stoffen groeit. Hoewel deze waarnemingen niet relateren aan het doel van de opgezette studie, lijkt het zinvol om in een klein aanvullend project de verkregen resultaten dieper te analyseren, zodat meer inzicht wordt verkregen in wat voor type stoffen worden bepaald met de AOC- en BPP-testen.



Figuur 6-6: AOC-resultaten Andijk. A, C en E: ongecorrigeerde waarden voor week 0, 8 en 14 respectievelijk. B, D en F: gecorrigeerde waarden voor week 0, 8 en 14 respectievelijk.

6.4 Groeiproeven

Metingen van de groeiproeven zijn tenzij anders vermeldt gedaan voor het verversen van het water. De ATP van het verversingswater is weergegeven in Bijlage VII, Figuur VII-1.

6.4.1 Biomassaproductiepotentie (BPP)

In week 0 werden ook abnormaal hoge BPP-waarden gemeten in het inkomende reinwater. Zoals eerder uitgelegd, komen deze verhoogde waarden waarschijnlijk door een probleem met de aanvoerleiding, wat bij de monsternamen op week 1 (voor de groeiproeven) was verholpen. Ook waren in week 0 een aantal metingen op dag 0 van de BPP-test erg hoog en dat resulteerde in een groot verschil tussen MBC_7 en MBG_7 (Figuur 6-7). De ongecorrigeerde BPP-waarden van het reinwater in week 0 waren het hoogst met een MBC_7 van $101,5 \pm 13$ ng ATP/l, een MBG_7 van $58,1 \pm 13,1$ ng ATP/l en CBP_{14} van $620,8 \pm 20,8$ Σ d.ng ATP/l (Figuur 6-7 A/B). Gevolgd door de HM-fractie met een MBC_7 van $35 \pm 8,7$ ng ATP/l, een MBG_7 van 0 ng ATP/l en CBP_{14} van $381,9 \pm 4,6$ Σ d.ng ATP/l. De LM-fractie, MM-fractie, verdunde MM-fractie en verdunde HM-fractie lagen dicht bij elkaar voor MBC_7 ($4,6 \pm 0,6$, $8,5 \pm 0,7$, $6,3 \pm 0,7$ en

6,5 ± 1,0 ng ATP/l respectievelijk), MBG₇ (3,5 ± 0,7, 3,7 ± 0,7, 3,8 ± 0,7 en 0 ng ATP/l respectievelijk) en CBP₁₄ (47,9 ± 2,0, 109,8 ± 2,2, 75,7 ± 3,0 en 78,4 ± 4,4 Σd.ng ATP/l respectievelijk) dan die voor het reinwater werden waargenomen. De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kunnen gedeeltelijk verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.

De gecorrigeerde BPP-waarden voor week 0 zijn weergegeven in Figuur 6-7 C/D. Hier waren die MBC₇ waarden 4,6, 4,3 en 3,3 ng ATP/l voor de LM, MM en HM-fractie respectievelijk. De MBG₇ waarden waren 3,5, 1,9 en 0 ng ATP/l voor de LM, MM en HM-fractie respectievelijk. De CBP₁₄ waarden waren 47,9, 54,9 en 34,0 Σd.ng ATP/l voor de LM, MM en HM-fractie respectievelijk. Deze liggen allemaal ver onder de waarden in het inkomende reinwater (MBC₇: 101,5 ng ATP/l, MBG₇: 58,1 ng ATP/l en CBP₁₄: 620,8 Σd.ng ATP/l), wat erop wijst dat een groot gedeelte van de stoffen die in het reinwater tot groei hebben geleid in de niet geteste deeltjesfractie aanwezig waren.

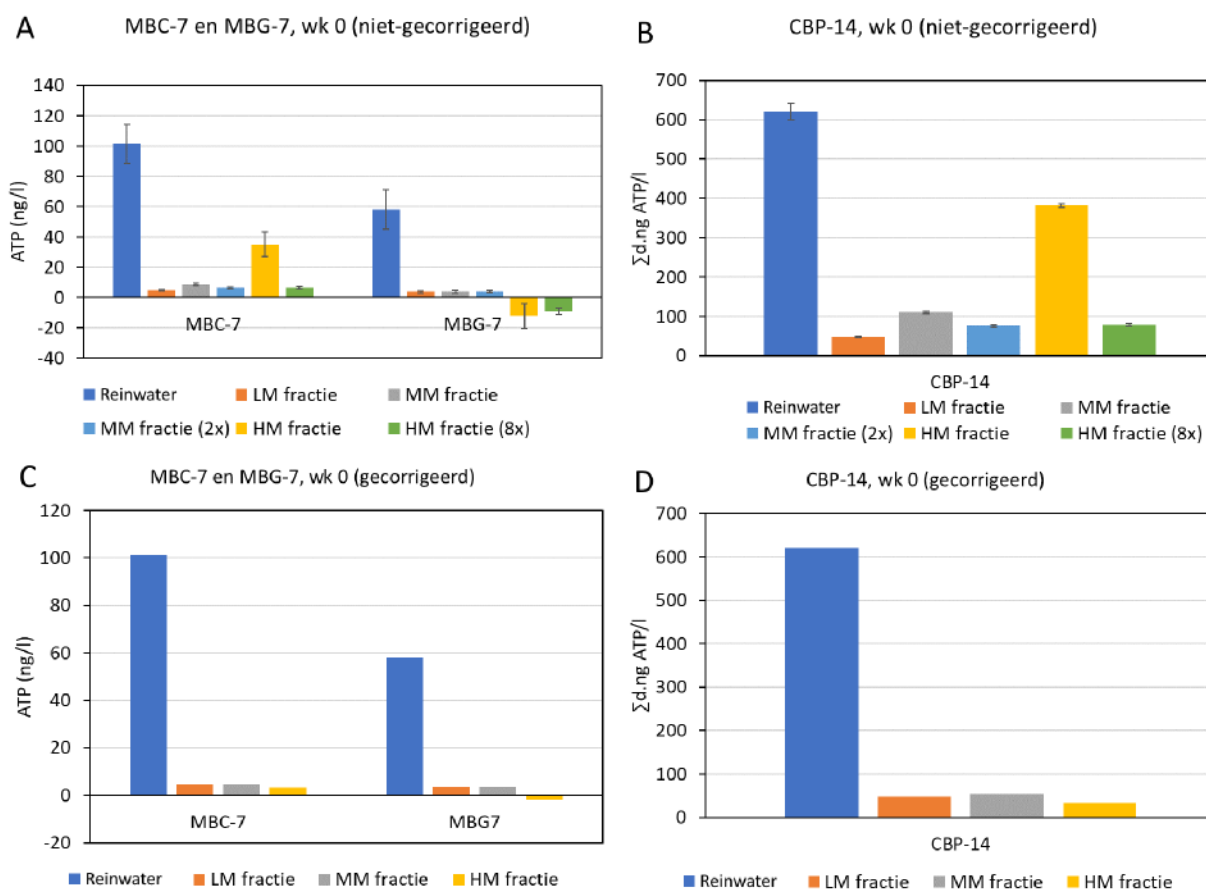
In week 8 lagen de BPP-waarden voor het reinwater beduidend lager dan de waarden gemeten in week 0. Ook in week 8 waren deze waarden nog steeds relatief hoog, maar niet meer zo extreem hoog als in week 0. Voor de ongecorrigeerde waarden (Figuur 6-8 A/B) was de HM-fractie het hoogste voor de MBC₇ (73,3 ± 2,3) en de CBP₁₄ (628 ± 14,5). Voor de MBC₇ werd de HM-fractie gevolgd door het reinwater, de MM-fractie en de verdunde HM-fractie (20,9 ± 1,8, 21,2 ± 2,4 en 18,5 ± 3,0 ng ATP/l respectievelijk), de verdunde MM-fractie (10,5 ± 0,8 ng ATP/l) en tot slot de LM-fractie als laagste (2,7 ± 0,1 ng ATP/l). Ook voor de CBP₁₄ werd de HM-fractie gevolgd door het reinwater, de MM-fractie en de verdunde HM-fractie (265,9 ± 26,5, 213,5 ± 2,1 en 246,2 ± 14,3 Σd.ng ATP/l respectievelijk) en daarna de verdunde MM-fractie (141,8 ± 6,1 Σd.ng ATP/l) en wederom met de LM-fractie als laagste (32,4 ± 6,0 Σd.ng ATP/l). Voor de MBG₇ was de HM-fractie (28,5 ± 3,1 ng ATP/l) ook het hoogste, maar het verschil met het reinwater en de MM-fractie was minder groot (13,6 ± 1,8 en 19 ± 2,4 ng ATP/l respectievelijk). Deze werden gevolgd door de verdunde fracties MM-fractie en de verdunde HM-fractie (8x) (9 ± 0,9 en 8,5 ± 3,1 ng ATP/l respectievelijk); met de LM-fractie wederom het laagst (0,5 ± 0,2 ng ATP/l). De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kunnen gedeeltelijk verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.

Na correctie waren de BPP-waarden voor de MM-fractie het hoogst (MB₇: 10,6 ng ATP/l, MBG₇: 9,5 ng ATP/l en CBP₁₄: 106,8 Σd.ng ATP/l), gevolgd door de HM-fractie (MB₇: 6,5 ng ATP/l, MBG₇: 1,2 ng ATP/l en CBP₁₄: 51,8 Σd.ng ATP/l) en daarna de LM-fractie (MBC₇: 2,7 ng ATP/l, MBG₇: 0,5 ng ATP/l en CBP₁₄: 32,4 Σd.ng ATP/l) (Figuur 6-8 C/D). Deze waarden zijn niet meer zo verschillend van het inkomende reinwater (MBC₇: 20,9 ng ATP/l, MBG₇: 13,6 ng ATP/l en CBP₁₄: 265,9 Σd.ng ATP/l) als in week 0. Met waarden voor het reinwater die meer in de lijn der verwachting liggen, was er schijnbaar ook minder verlies opgetreden in de deeltjesfractie.

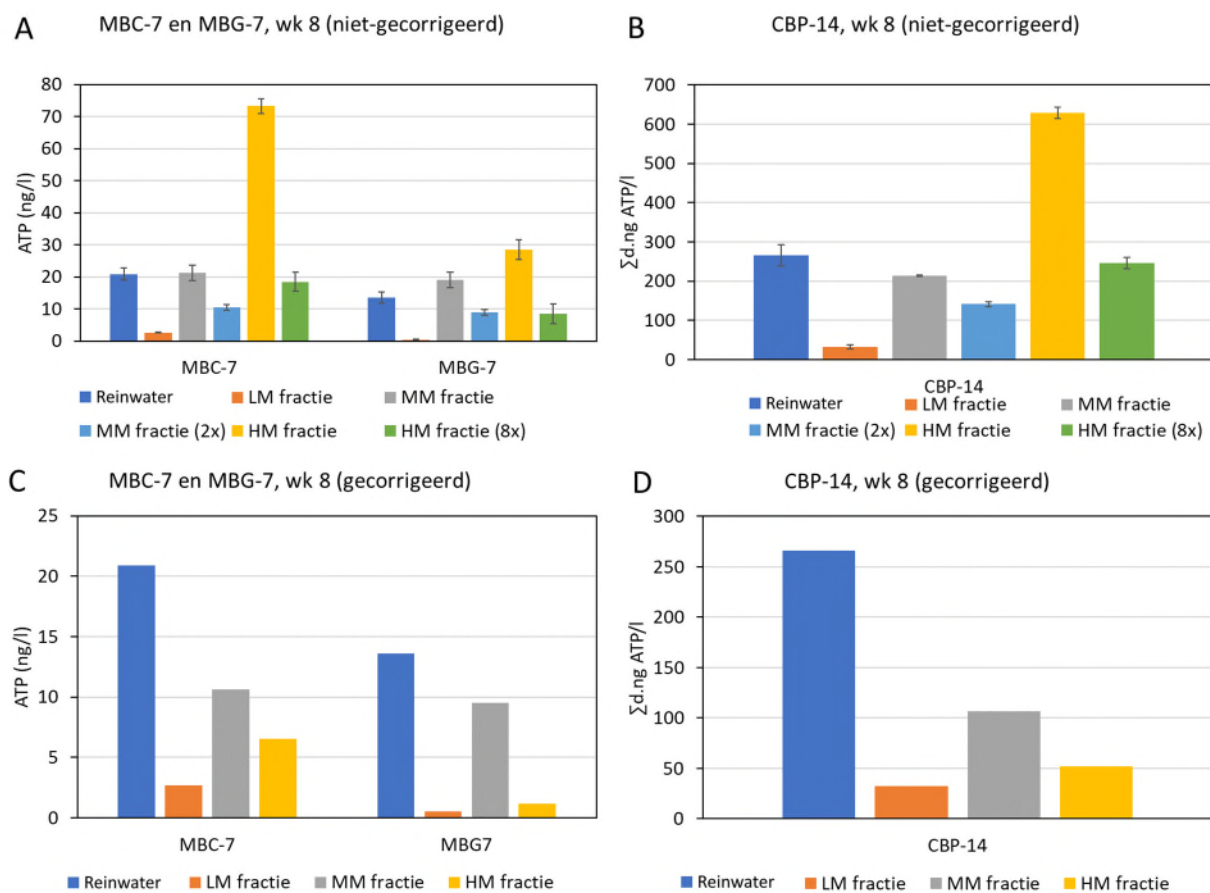
In week 14 was voor de ongecorrigeerde BPP-waarden (Figuur 6-9 A/B) de HM-fractie wederom het hoogst voor MBC₇ (42,3 ± 1,3 ng ATP/l) en CBP₁₄ (402,2 ± 30,7 Σd.ng ATP/l). Dit werd gevolgd door het reinwater voor zowel de MBC₇ (23 ± 0,5 ng ATP/l) als de CBP₁₄ (265 ± 15,3 Σd.ng ATP/l). De MM-fractie, verdunde MM-fractie en verdunde HM-fractie waren redelijk vergelijkbaar voor de MBC₇ (15,6 ± 0,4, 11,7 ± 0,4 en 11,3 ± 0,3 ng ATP/l respectievelijk) en CBP₁₄ (152,7 ± 7,8, 117,7 ± 3,3 en 112,3 ± 2,5 Σd.ng ATP/l respectievelijk). De LM-fractie was voor de MBC₇ (2,1 ± 0,3 ng ATP/l) en CBP₁₄ (19,4 ± 2,6 Σd.ng ATP/l) het laagst. Voor de MBG₇ waren de MM-fractie, de verdunde MM-fractie en HM-fractie het hoogst en redelijk vergelijkbaar (13,8 ± 0,5, 10,6 ± 0,4 en 12 ± 2,4 ng ATP/l respectievelijk). De LM-fractie was wederom het laagst (1,0 ± 0,3 ng ATP/l) en het reinwater en de verdunde HM-fractie lagen in het midden (4,9 ± 1,0 en 7,0 ± 0,3 ng ATP/l respectievelijk). De lagere BPP-waarden van de LM-fractie kunnen gedeeltelijk verklaard worden door de lagere DOC-concentratie, en daarmee bijna zeker lagere BDOC-concentratie, in deze fractie.

Na correctie waren de BPP-waarden wederom het hoogst voor de MM-fractie (MB₇: 7,8 ng ATP/l, MBG₇: 6,9 ng ATP/l en CBP₁₄: 76,3 Σd.ng ATP/l) (Figuur 6-9 C/D). Voor de MBC₇ en CBP₁₄ werd de MM-fractie gevolgd door de HM-fractie (MB₇: 3,3 ng ATP/l, MBG₇: -0,2 ng ATP/l en CBP₁₄: 31,2 Σd.ng ATP/l), terwijl voor de MBG₇ de LM-fractie (MB₇: 2,1 ng ATP/l, MBG₇: 1,0 ng ATP/l en CBP₁₄: 19,4 Σd.ng ATP/l) hoger was dan de HM-fractie. Net zoals in week

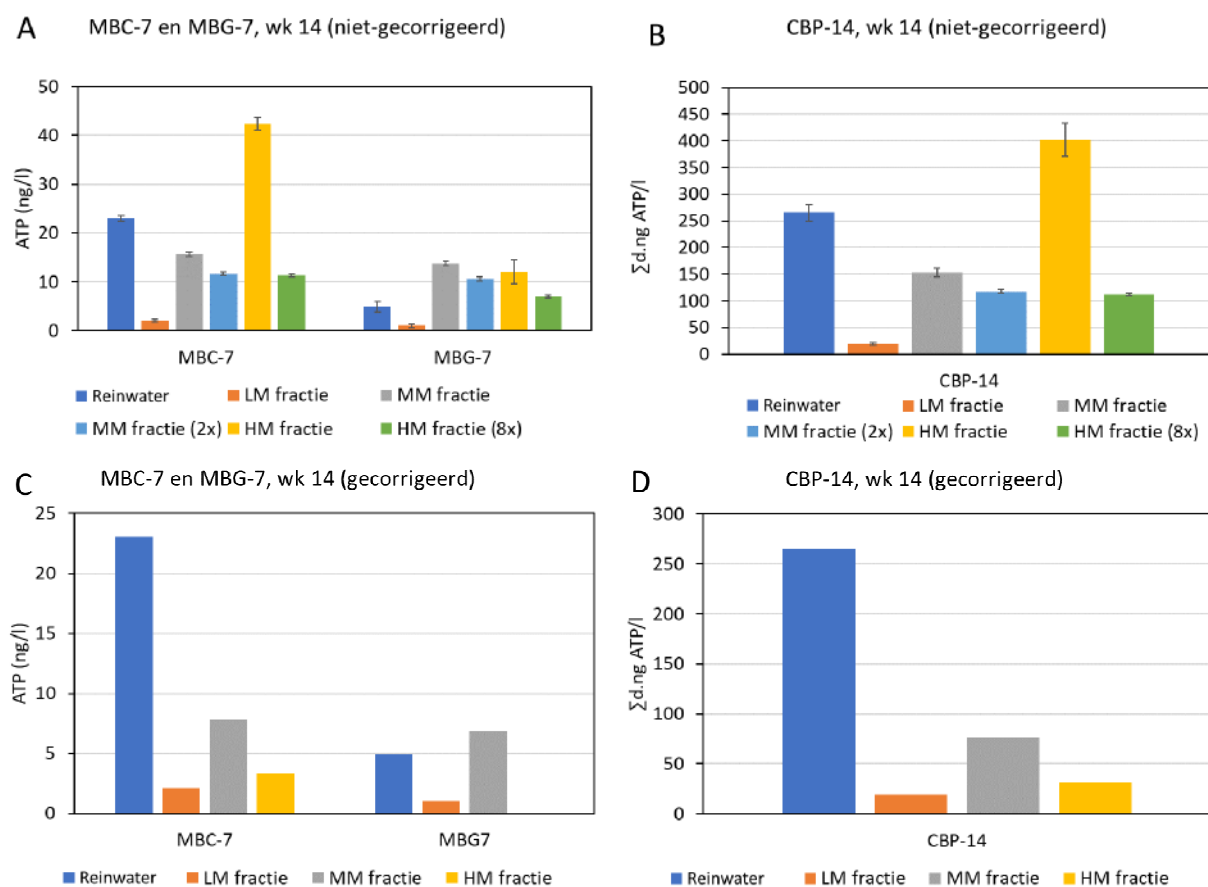
8 lagen deze waarden niet extreem ver onder die in het reinwater gemeten waren (MBC₇: 23 ng ATP/l, MBG₇: 4,9 ng ATP/l en CBP₁₄: 265 Σd.ng ATP/l).



Figuur 6-7: BPP-resultaten week 0 Andijk. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



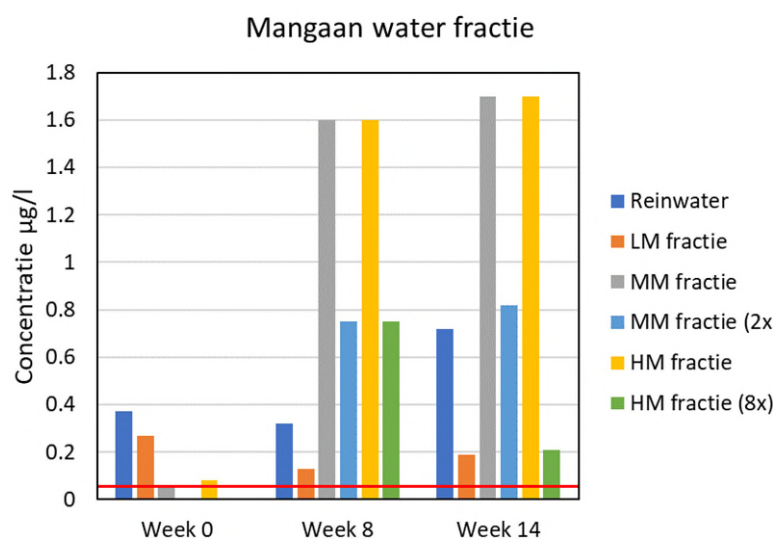
Figuur 6-8: BPP-resultaten week 8 Andijk. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.



Figuur 6-9: BPP-resultaten week 14 Andijk. A en B: ongecorrigeerde waarden. C en D: gecorrigeerde waarden.

6.4.2 ICP-MS

De ICP-MS resultaten voor ijzer en mangaan werden geanalyseerd omdat uit eerder onderzoek bekend is dat die metalen een grote invloed kunnen hebben op biofilmvorming. De ICP-MS werd alleen uitgevoerd op de waterfracties, aangezien metingen van de biofilm bij Spannenburg heeft laten zien dat de ijzer- en mangaanconcentratie onder de detectielimiet lagen. De ijzerconcentraties in de waterfracties van Andijk lagen op één ijzerconcentratie na onder de detectielimiet. Daarom zijn alleen de mangaanconcentraties weergegeven in Figuur 6-11.



Figuur 6-11: ICP-MS resultaten voor mangaan in het water van de groeiproeven. De rode lijn geeft de detectielimiet weer.

De mangaanconcentraties waren in week 0 lager dan in week 8 en week 14. De MM-fractie en de HM-fractie bevatte een wat hogere mangaanconcentratie dan de andere fracties. Het is lastig om dit definitief te concluderen aangezien de concentraties erg laag zijn. Mangaan kan op basis van massa door het NF-membraan passeren, maar mits het in colloïden vorm aanwezig is zouden deze te groot kunnen zijn geweest voor de poriën. Een andere verklaring zou kunnen zijn dat het werd afgestoten op basis van lading. Deze mogelijke verklaringen zijn echter niet met zekerheid te achterhalen op basis van de data. Voor Andijk is ook het concentraat van het MF-membraan en NF-membraan gemeten en daarom kon er een massabalans worden opgesteld over de membranen (Tabel 6-4). Deze massabalans was niet sluitend voor mangaan. Ter vergelijking, de massabalans over calcium, waar veel hogere waarden voor waren, is wel sluitend. De niet sluitende massabalans voor mangaan kan komen doordat de waarden zo dicht bij het detectielimiet liggen en daardoor gevoelig zijn voor kleine variatie/meetfouten of omdat mangaan zich anders gedraagt dan calcium. Zo kan mangaan tot colloïden coaguleren in water, wat voor biofouling van membranen kan zorgen en die fractie is niet bemonsterd omdat geen membraanautopsies zijn gedaan.

Tabel 6-4: Massabalansen voor de membranen voor mangaan en calcium (ICP-MS data).

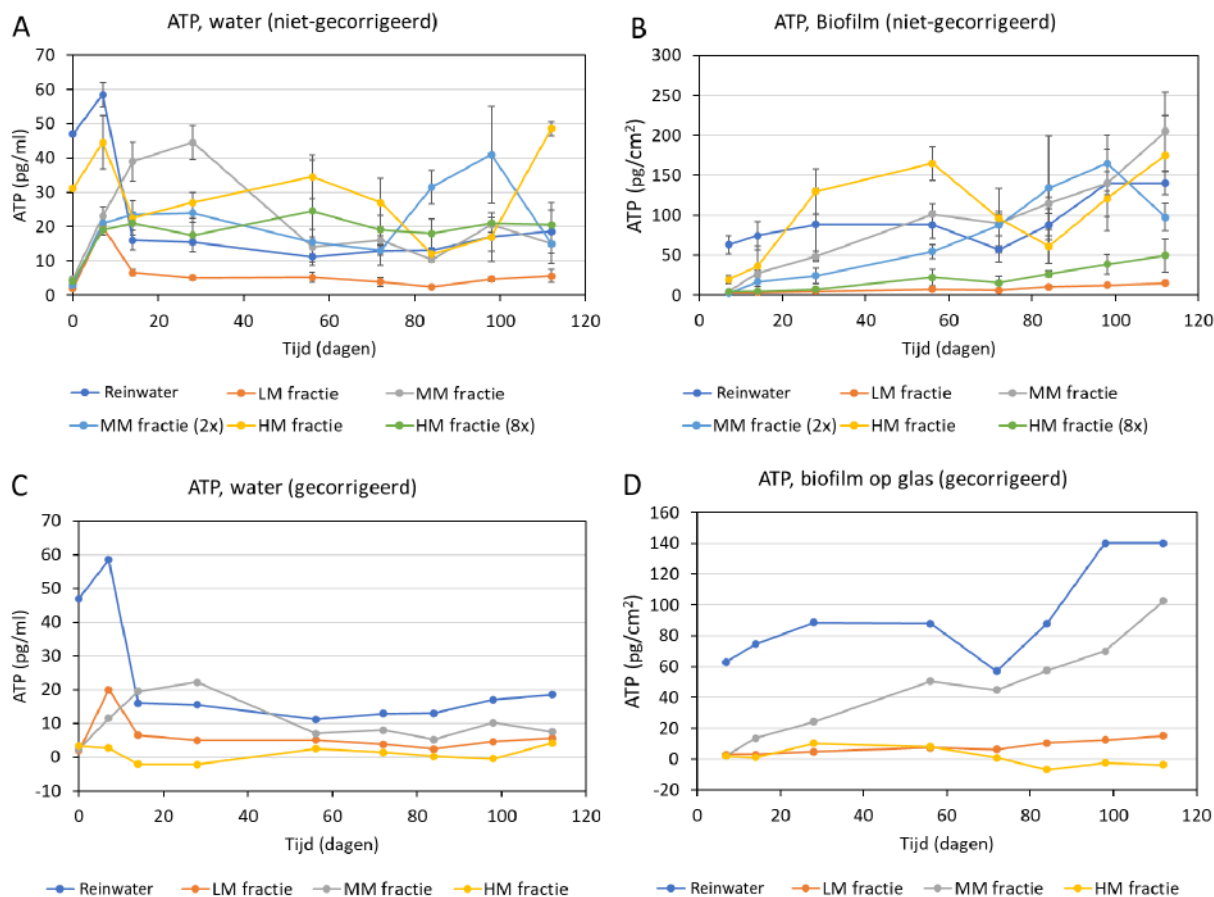
Membraan	Mn wk 0	Mn wk 8	Mn wk 14	Ca wk 0	Ca wk 8	Ca wk 14
MF	18,5	1,23	1,85	1,00	1,01	1,01
NF	0,12	0,82	0,79	0,97	1,01	1,02
UF	1,05	0,32	0,46	1,02	1,03	1,08

6.4.3 ATP

De ongecorrigeerde groei op de verschillende fracties in zowel het water als in de biofilm is weergegeven in Figuur 6-10 A/B. In de waterfase was er geen fractie consistent het hoogst, maar de HM-fractie bevatte de hoogste ATP-concentratie in week 16. De LM-fractie was consistent het laagst, wat verklaart kan worden door de lage groeipotentie van de LM-fractie zoals gemeten met de BPP- en AOC-assays. In de biofilm zijn de LM-fractie en de verdunde HM-fractie consistent het laagst, wat ook overeenkomt met de groeipotentie metingen in de verschillende fracties. De andere fracties lijken over de hele groeiproef genomen redelijk gelijk op te gaan, hoewel de HM-fractie in de eerste helft van de groeiproef het hoogst is.

De resultaten na correctie staan in Figuur 6-10 C/D. In de waterfase was de gecorrigeerde ATP-concentratie van de MM-fractie het hoogst tijdens de eerste helft van de groeiproef. Daarna was de ATP-concentratie van de MM-

fractie meer vergelijkbaarder met die van de LM-fractie. De ATP-concentratie in de biofilm was gedurende de gehele groeiproef het hoogst met de MM fractie. De gecorrigeerde waarden van de ATP-concentratie in de biofilm met de HM-fractie schommelden gedurende de groeiproef rond de nul voor zowel de waterfase als de biofilm.

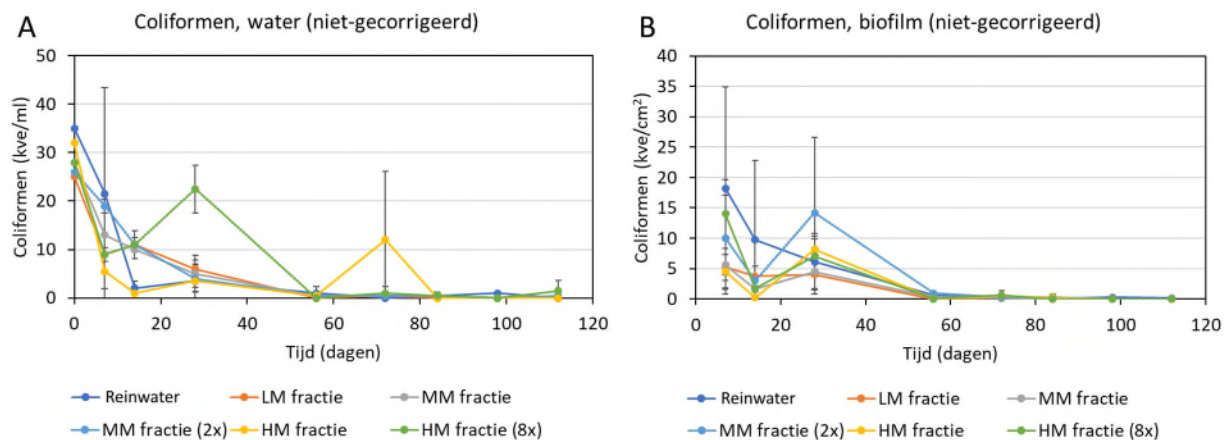


Figuur 6-10: ATP-resultaten van de groeiproef met NOM-fracties van Andijk. A en B: ongecorrigeerde waarden voor het water en biofilm respectievelijk. C en D: gecorrigeerde waarden voor het water en biofilm respectievelijk.

6.4.4 Bacteriën van de coligroep

Voor alle waterfracties was gedurende de groeiproef alleen afsterving te zien met een uitzondering van een toename bij de HM fractie (8x) op dag 28, wellicht door de enting op dag 21 (Figuur 6-12). Bij de biofilm was op dag

28 een stijging te zien. Deze is waarschijnlijk verklaren door de enting die op dag 21 werd uitgevoerd. Op dag 56 was het aantal coliformen ook weer afgenomen tot bijna onder de detectiegrens.

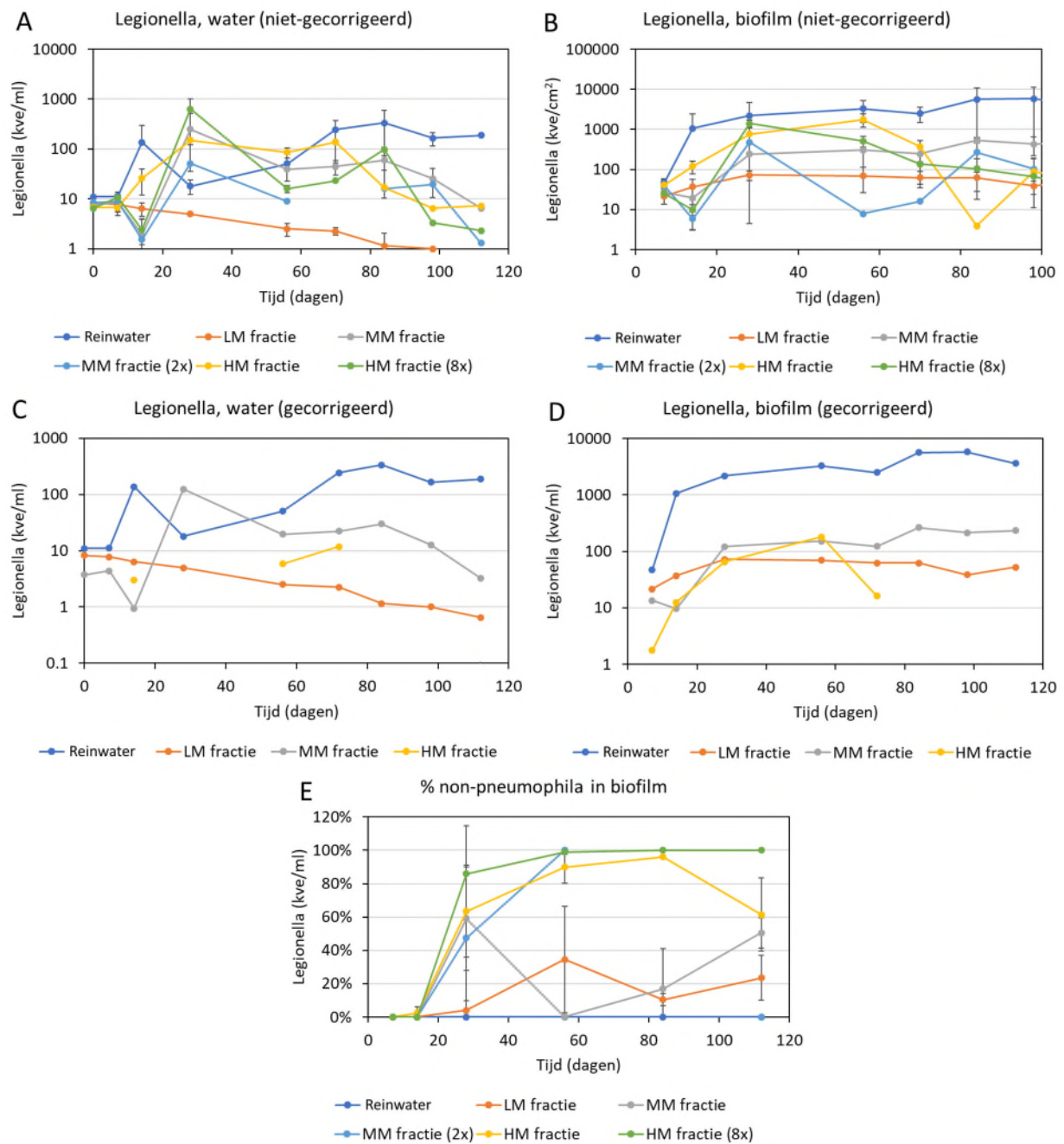


Figuur 6-12: Coliform aantallen in de groeiproef met NOM-fracties uit Andijk. A: Aantallen in het water, ongecorrigeerd. B: aantallen in de biofilm, ongecorrigeerd.

6.4.5 Legionella

Legionella-aantallen in biofilm en water verschilden redelijk sterk per fractie (Figuur 6-13). Het aantal in de biofilm was consequent het hoogst in het reinwater. Het reinwater werd gevolgd door de HM-fractie, tot dag 70, waarna de MM-fractie de hoogste aantallen bevatte van de NOM-fracties. De LM-fractie en de verdunde MM-fractie bevatten op de meeste tijdstippen de laagste legionella-aantallen. De legionella-aantallen in het water kwamen redelijk overeen met die in de biofilm, waarbij de aantallen in het reinwater wederom het hoogste waren. De legionella-aantallen met de LM-fractie daalden tot nagenoeg de detectiegrens in het water, wat waarschijnlijk ook gerelateerd was aan de lage aantallen in de biofilm. Het is opvallend dat de legionella-aantallen in het reinwater zoveel hoger zijn dan in al de andere fracties. Dit kan impliceren dat een groot deel van de stoffen die leiden tot groei van legionella verloren zijn gegaan in de deeltjesfractie of dat een deel van de gastheerprotozoa, die nodig zijn voor legionella-vermeerdering, zijn verwijderd met ultrafiltratie, waardoor onvoldoende gastheerprotozoa aanwezig waren tijdens de groeiproeven.

Tijdens de enting werd ook *L. pneumophila* gedoseerd en de verhouding tussen deze soort en de andere *Legionella* spp. werd ook gevolgd in de tijd. Hierbij is het opvallend dat zowel de HM-fractie en de verdunde HM-fractie een zeer hoog percentage non-*pneumophila* soorten bevatten in de biofilm terwijl het reinwater uit 100% *L. pneumophila* bestond.



Figuur 6-13: *Legionella* aantallen in de groeiproef met NOM-fracties uit Andijk. A en B: aantallen in het water en de biofilm, ongecorrigeerd. C en D: aantallen in het water en de biofilm, gecorrigeerd. E: Percentage non-pneumophila *Legionella* in de biofilm.

7 Discussie

7.1 Functioneren membranen in de fractioneringsopstelling

Het functioneren van een membraan wordt uitgedrukt in de permeabiliteit en de selectiviteit van een membraan, respectievelijk een maat voor de waterproductie en scheiding. Deze twee parameters worden hieronder besproken voor elk experiment.

7.1.1 Permeabiliteit

De permeabiliteit geeft de prestatie weer van een membraan(installatie) in relatie tot de hoeveelheid waterproductie. De permeabiliteit is een genormaliseerde grootheid van de flux ten opzichte van de transmembraandruk, soms ook genormaliseerd naar een standaardtemperatuur. In dit rapport is niet genormaliseerd naar een standaardtemperatuur omdat twee verschillende watertypen zijn vergeleken (grondwater en oppervlaktewater) die een andere standaard of gemiddelde temperatuur hebben. Met de permeabiliteit als grootheid kunnen de prestaties worden vergeleken van verschillende membranen en installaties, maar ook de prestatie worden opgevolgd in de tijd.

7.1.1.1 Reinwatertesten Spannenburg

De reinwatertesten te Spannenburg vonden plaats van 28 september 2021 tot en met 17 januari 2022. Tijdens deze reinwatertesten daalde de permeabiliteit van het 1^{ste} Trisep TS40 NF-membraan 50%, van 2,16 tot 1,42 L/m²*uur*bar bij een recovery van 50% en een stabiele temperatuur tussen 13,1-14,3 °C. Tijdens deze periode was de instelling van de installatie instabiel, wat leidde tot periodiek een sterke toename van de recovery (tot soms tijdelijk 100%) waardoor scaling optrad. Scaling is neerslagvorming van onoplosbare anorganische zouten van bijvoorbeeld calciumcarbonaten, wat resulteert in een sterke membraanvervuiling. Tijdens de tweede helft van de reinwatertest werd het NF-membraan vervangen door NF270 Filmtec NF-membranen en was de permeabiliteit $4,70 \pm 0,07$ L/m²*uur*bar. Dit membraan is meer doorlaatbaar ten opzichte van het eerste NF-membraan. Er werd geen verdere daling van de permeabiliteit van het NF-membraan gemeten tijdens de reinwatertesten. De permeabiliteit van het UF-membraan daalde tijdens de bedrijfsvoering 15%, van 20,3 tot 17,4 L/m²*uur*bar als gevolg van vervuiling van het membraan. Dit was waarschijnlijk het gevolg van de aanwezigheid van kleine deeltjes of grotere opgeloste organische stoffen die zich ophopen op het membraanoppervlak.

7.1.1.2 Voorbehandeld ruwwater testen Spannenburg

De voorbehandeld ruwwater testen te Spannenburg vonden plaats van 31 januari tot en met 29 maart 2022. Vanwege sterke permeabiliteitsdaling tijdens continue bedrijfsvoering bleek het niet mogelijk om de MF-, UF- en NF-installaties continu te bedienen, en werd besloten om 24-uurs testen uit te voeren op 31 januari, 1 maart en 29 maart. Tussentijds werden de membranen bewaard in een 1 g/L natriumbisulfiet-oplossing. Tijdens deze 24-uurs experimenten was de permeabiliteit stabiel voor zowel de NF- en UF-membranen, respectievelijk 4,7 L/m²*uur*bar bij 50% recovery en 15,5-17,5 L/m²*uur*bar bij 75 %. Eventuele korte termijn vervuilingseffecten werden beheerst door het tussentijds bewaren van de membranen in natriumbisulfiet, aangezien er geen permeabiliteitsverschillen werden gevonden tussen de verschillende meetdagen.

De NF-permeabiliteit tijdens de voorbehandeld ruwwater testen was gelijk aan de NF-permeabiliteit tijdens de reinwatertesten. Er trad dus geen vervuiling op in het NF-membraan tijdens het wisselen van de watersamenstelling. Dit is onverwacht omdat een ionenwisselingstap aanwezig is tussen het voorbehandeld ruwwater en het reinwater, die kleine organische- en humuszuren verwijdert uit het water. Blijkbaar zorgde de aanwezigheid van deze kleine organische en humuszuren niet tot een vermindering van de NF-permeabiliteit. De UF-permeabiliteit tijdens de voorbehandeld ruwwater testen was ca. 11% lager dan tijdens de reinwatertesten.

Waarschijnlijk is dit te relateren aan de aanwezigheid van de kleine organische- en humuszuren en mogelijk particulier materiaal dat een vervuilde laag vormde op het UF-membraan.

7.1.1.3 Reinwatertesten Andijk

De reinwatertesten te Andijk vonden plaats van 21 juni tot en met 11 oktober 2022. Vanwege sterke permeabiliteitsdaling tijdens continue bedrijfsvoering bleek het niet mogelijk om de MF-installatie continu te bedienen, en werd besloten om alleen te produceren op dagen dat er water bemonsterd werd. Tussentijds werden de membranen bewaard in een 1 g/L natriumbisulfiet-oplossing. De permeabiliteit van het NF-membraan was relatief constant rond $3,5 \pm 0,2 \text{ L/m}^2 \cdot \text{uur} \cdot \text{bar}$ (bij 50% recovery), fluctuaties werden toegeschreven aan temperatuurverschillen waarvoor niet gecompenseerd werd. Het NF-membraan bleek niet te vervuilen tijdens de discontinue bedrijfsvoering in deze periode. De permeabiliteit van het UF-membraan daalde 11% (van 24,1 tot 21,5 $\text{L/m}^2 \cdot \text{uur} \cdot \text{bar}$ bij 75% recovery), wat toegeschreven werd aan membraanvervuiling veroorzaakt door de aanwezigheid van kleine deeltjes of grotere opgeloste organische stoffen die zich ophopen op het membraanoppervlak. Dit effect was echter veel minder dan bij het voorbehandeld ruwwater te Spannenburg.

7.1.1.4 Ruwwatertesten Andijk

De ruwwatertesten (ruwwater na de microzeven) te Andijk vonden plaats op 6 december 2022, 10 december en 31 januari 2023. Vanwege permeabiliteitsdaling ten gevolge van membraanvervuiling was het niet mogelijk om de MF-, UF- en NF-installaties continu te bedienen. Tijdens 24-uurs experimenten was de permeabiliteit stabiel voor zowel de NF- en UF-membranen, respectievelijk $2,0\text{-}2,3 \text{ L/m}^2 \cdot \text{uur} \cdot \text{bar}$ bij 50% recovery en $18,1\text{-}19,7 \text{ L/m}^2 \cdot \text{uur} \cdot \text{bar}$ bij 75 %. Eventuele korte termijn vervuilingseffecten werden beheerst door het tussentijds bewaren van de membranen in natriumbisulfiet-oplossing, aangezien er geen permeabiliteitsverschillen werden gevonden tussen de verschillende meetdagen.

De NF-permeabiliteit tijdens de ruwwatertesten was ca. 40% lager dan tijdens de reinwatertesten. Dit is waarschijnlijk gerelateerd aan meer en andere vervuilde componenten die aanwezig waren in het ruwwater dan in het reinwater en waardoor meer membraanvervuiling optrad. De UF-permeabiliteit tijdens de ruwwatertesten was ca. 17% lager dan tijdens de reinwatertesten. Ook dit is te relateren aan meer en andere vervuilde componenten in het ruwwater dan in het reinwater.

7.1.2 Selectiviteit van de membranen

Scheiding is de kern van membraanfiltratie en wordt uitgedrukt in selectiviteit die wordt berekend uit de verhouding tussen de concentratie van een stof in het permeaat en de voeding van het NF- en UF-membraan.

7.1.2.1 Reinwatertesten Spannenburg

Gedurende de eerste weken van de reinwatertesten met het eerste NF-membraan te Spannenburg werden geen monsters genomen van het MF-permeaat en NF-concentraat, zodat de selectiviteit van dit membraan niet kon worden berekend. Pas na het vervangen van het NF-membraan op 10 december werden eenmalig voldoende monsters genomen om de selectiviteit van het 2^{de} NF-membraan en het UF-membraan te kunnen bepalen. Omdat er slechts eenmalig werd gemeten, kan er geen relatieve standaarddeviatie (RSD) worden bepaald (Tabel 7-1).

Het tweede NF-membraan vertoonde een hoge retentie voor alle fracties, aflopend van HM-fractie (100%) naar LM-fractie (93,4%). Door deze verdeling zal voornamelijk de HM- en MM-fractie worden tegengehouden, en de LM-fractie deels selectief worden doorgelaten. Dit scheidingsgedrag werd niet of nauwelijks verstoord door membraanvervuiling aangezien de permeabiliteit stabiel bleef (Figuur 4-1).

Het UF-membraan vertoonde relatief lage retentiewaarden voor alle fracties, echter een significant hogere retentie voor de HM-fractie, waardoor deze fractie selectief werd geconcentreerd. Wel was sprake van een milde vervuiling, gezien de permeabiliteitsdaling van het UF-membraan, dat enige invloed had op deze scheiding.

Tabel 7-1 Retentiewaarden van de tweede NF- en UF-membranen voor HM-, MM- en LM-fracties tijdens de reinwatertesten te Spannenburg gebaseerd op een enkele meting

	NF-retentie		UF-retentie	
	Gem		Gem	
HM	100,0%		39,1%	
MM	99,6%		12,8%	
LM	93,4%		3,9%	

7.1.2.2 Voorbehandeld ruwwater testen Spannenburg

Tijdens drie 24-uursexperimenten met voorbehandeld ruwwater van Spannenburg werden voldoende monsters genomen om de gemiddelde selectiviteit te berekenen van de NF- en UF-membranen (Tabel 7-2).

Het NF-membraan vertoonde een aflopende retentie voor de HM-fractie (100%), MM-fractie (99,6%) en voor de LM-fractie (95,3%). Door deze verdeling zal voornamelijk de MH/MM-fractie worden tegengehouden, en de LM-fractie deels selectief worden doorgelaten alhoewel de retentie relatief hoog is (95,3%). Dit scheidingsgedrag werd niet of nauwelijks verstoord door membraanvervuiling, aangezien de permeabiliteit stabiel bleef. Dit blijkt ook uit de massabalansberekeningen (Tabel 4-1) die voor het NF-membraan en de MM- en LM-fracties sluitend waren (~ 1,00).

Het UF-membraan vertoonde een hoge retentiewaarde voor de HM-fractie en lage retentiewaarden voor de MM- en LM-fracties, echter een significant hogere retentie voor de MM-fractie t.o.v. de LM-fractie, waardoor deze MM-fractie selectief werd geconcentreerd. Er was weinig invloed van vervuiling op de selectiviteit, gezien de stabiele permeabiliteitswaarden van het UF-membraan tijdens de drie 24-uursexperimenten.

Tabel 7-2 Gemiddelde retentiewaarden en relatieve standaarddeviatie (RSD) van de NF- en UF-membranen voor HM-, MM- en LM-fracties tijdens de voorbehandeld ruwwater testen te Spannenburg

	NF-retentie		UF-retentie	
	Gem	RSD	Gem	RSD
HM	100,0%	0,0%	91,2%	12,5%
MM	99,6%	0,1%	10,7%	0,4%
LM	95,3%	5,0%	3,5%	4,1%

7.1.2.3 Reinwatertesten Andijk

Tijdens drie 24-uursexperimenten met reinwater van Andijk werden voldoende monsters genomen om de gemiddelde selectiviteit van de drie fracties te berekenen van de NF- en UF-membranen.

Het NF-membraan vertoonde een hogere retentie voor alle fracties, aflopend van HM-fractie (96,6%) naar LM-fractie (79,6%) (Tabel 7-3). De LM-fractie is lager dan bij Spannenburg, omdat het gebruikte membraan iets opener is (zie 2.1). Door deze verdeling zal voornamelijk de HM- en MM-fracties worden tegengehouden, en de LM-fractie deels selectief worden doorgelaten. Dit scheidingsgedrag werd niet of nauwelijks verstoord door membraanvervuiling aangezien de permeabiliteit stabiel bleef (zie Figuur 6-1). Dit blijkt ook uit de massabalansberekeningen (Tabel 5-1) die voor het NF-membraan en de alle fracties min of meer sluitend waren (~ 1,00).

Het UF-membraan vertoonde lage retentiewaarden voor de MM- en LM fracties (<15%), en een significant hogere retentie voor de HM-fractie (79,9%), waardoor deze fractie selectief werd geconcentreerd. Er was een invloed van deeltjesvervuiling en organische vervuiling op de selectiviteit, gezien een geringe permeabiliteitsdaling van het UF-

membraan tijdens de drie 24-uursexperimenten. Dit blijkt ook uit de massabalansberekeningen (Tabel 5-1) voor het UF-membraan, waarbij vooral de HM-fractie een afwijking werd gevonden (>1), wat duidt op het plakken van hoogmoleculaire stoffen aan het UF-membraan. De exacte invloed van deze vervuiling op de selectiviteit is echter moeilijk te achterhalen.

Tabel 7-3 Gemiddelde retentiewaarden en de relatieve standaarddeviatie (RSD) van de NF- en UF-membranen voor HM-, MM- en LM-fracties tijdens de reinwatertesten te Andijk (PWN)

	NF-retentie		UF-retentie	
	Gem	RSD	Gem	RSD
HM	96,6%	5,9%	79,9%	11,9%
MM	92,9%	10,2%	14,4%	6,8%
LM	79,6%	6,6%	10,4%	3,5%

7.1.2.4 Ruwwatertesten Andijk

Tijdens drie 24-uursexperimenten met ruwwater van Andijk werden voldoende monsters genomen om de gemiddelde selectiviteit van de drie fracties te berekenen van de NF- en UF-membranen.

Het NF-membraan vertoonde een hogere retentie voor alle fracties, aflopend van HM-fractie (99,8%) naar LM-fractie (84,7%) (Tabel 7-4). De LM-fractie is lager dan bij Spannenburg, omdat het gebruikte membraan iets opener is (zie 2.1). Door deze verdeling zullen voornamelijk de HM- en MM-fracties worden tegengehouden, en de LM-fractie deels selectief worden doorgelaten. Dit scheidingsgedrag werd wellicht verstoord door membraanvervuiling aangezien de permeabiliteit enigszins fluctueerde. Dit blijkt ook uit de massabalansberekeningen (Tabel 6-1) die voor het NF-membraan niet sluitend was en vooral voor de HM-fractie afweek. Waarschijnlijk was de NF-selectiviteit voor de HM-fractie hoger dan voor een niet vervuild NF-membraan.

Het UF-membraan vertoonde lage retentiewaarden voor de MM- en LM fracties ($<10\%$), en een significant hogere retentie voor de HM-fractie (94,4%), waardoor deze fractie selectief werd geconcentreerd. Er was een invloed van deeltjesvervuiling en organische vervuiling op de selectiviteit, gezien een permeabiliteitsdaling van het UF-membraan tijdens de drie 24-uursexperimenten. Dit blijkt ook uit de massabalansberekeningen (Tabel 5-1) voor het UF-membraan, waarbij vooral voor de HM-fractie een afwijking werd gevonden (>1), wat wijst op het plakken van hoogmoleculaire stoffen aan het UF-membraan. Waarschijnlijk was de UF-selectiviteit voor de HM-fractie hoger dan voor een niet vervuild UF-membraan.

Tabel 7-4 Gemiddelde retentiewaarden en de relatieve standaarddeviatie (RSD) van de NF- en UF-membranen voor HM-, MM- en LM-fracties tijdens de ruwwatertesten te Andijk (PWN)

	NF-retentie		UF-retentie	
	Gem	RSD	Gem	RSD
HM	99,8%	0,4%	94,4%	4,4%
MM	99,2%	0,6%	5,9%	3,2%
LM	84,7%	6,9%	1,4%	4,1%

7.2 Groeipotentie van NOM-fracties in Spannenburg en Andijk

Op basis van de gegevens van de AOC, BPP-metingen, en de LC-OCD is getracht om conclusies te kunnen trekken over welke organische stoffractie het meest bijdraagt aan de groeipotentie van het water. Oftewel, welke stofgroepen zorgen voor toenames in AOC-A3, AOC-P17/Nox en BPP-waarden.

LC-OCD werd gebruikt om de samenstelling van de verschillende fracties te bepalen. Door een vergelijking te maken tussen de samenstellingen van de verschillende fractie is iets te zeggen over de scheiding van de verschillende fracties door de membranen. De LC-OCD-methode is vrij goed gevalideerd voor de humuszuren en daar worden ook standaarden voor meegenomen in de analyse. Deze validatie is echter niet uitgevoerd voor de andere NOM-fracties en daar worden ook geen standaarden voor gebruikt. Ondanks dat de LC-OCD methode niet is gevalideerd voor alle LC-OCD fracties worden alle fracties wel gebruikt in deze studie, om een niet-gevalideerde karakterisering van de NOM-fracties te krijgen. Met de LC-OCD-resultaten werden sluitende massabalansen waargenomen voor de DOC, LMWN, building blocks, en humuszuren. De afwijkingen in de massabalansen voor de biopolymeren waren wat groter dan voor de andere fracties. Dit kan veroorzaakt kan zijn door fouling van de membranen, hoewel bij veel fouling ook een impact op de andere massabalansen zou zijn te verwachten. Voor LMWA kon er vaak geen goede massabalans worden opgesteld, maar dit is waarschijnlijk door de te lage concentraties van LMWA. Hierdoor dan er beter gesproken worden over laagmoleculaire stoffen (LMWA+LMWN) en het verschil in belang van de twee is niet aan te tonen met de resultaten uit deze studie.

Bij de HM-MM correctie, waarbij de MM resultaten van de HM resultaten werden afgetrokken, werden een aantal keer waarden net onder de nul verkregen. Deze zijn waarschijnlijk het resultaat van de variatie in de analyses of consequenties van een niet perfecte scheiding.

7.2.1 Concentratie-effect

Bij het reinwater van Spannenburg viel het op dat bij de BPP-test de MM-fractie en HM-fractie ongeveer dezelfde groeipotentie hadden terwijl de HM-fractie meer DOC bevatte en qua percentuele samenstelling ongeveer gelijk leek aan de MM-fractie. Wellicht was de DOC-concentratie zo hoog geworden door het concentratie-effect van de fractionering dat de groei van de bacteriën die van nature in het reinwater aanwezig zijn, geremd wordt, omdat deze bacteriën niet aangepast zijn aan hoge concentraties afbreekbare stoffen of omdat toxische stoffen voor bacteriën zijn geconcentreerd. Om dit te controleren werd er voor de Andijk reinwaterproeven ook gebruik gemaakt van een verdunde MM-fractie en verdunde HM-fractie. Als remming van de microbiële groei niet optreedt, dan zouden de verdunde fracties ongeveer een even hoge groeipotentie moeten hebben als de onverdunde fracties na een correctie voor de DOC-concentratie. De resultaten van deze reinwaterproeven lieten inderdaad zien dat in de HM-fractie wellicht een remmend effect van de hoge DOC-concentratie op de groei heeft opgetreden aangezien de verdunde HM-fractie in week 8 en 14 duidelijk hogere BPP- en AOC-waarden had dan de HM-fractie na DOC-correctie. Dit effect werd niet waargenomen met de verdunde en onverdunde MM-fractie, waar de DOC-concentratie lager was dan in de HM-fractie. In week 0 lijkt dit concentratie-effect niet te zijn opgetreden met de HM-fractie, aangezien hier de DOC gecorrigeerde waarden ongeveer hetzelfde zijn als de verdunde HM-fractie, dit terwijl de DOC-concentraties in week 0 wel hoger waren dan in week 8 en 14. Er lijkt dus wel een concentratie-effect te zijn geweest op sommige momenten, maar de resultaten zijn niet consistent.

7.2.2 AOC-A3

Bij de AOC-A3 experimenten werd zowel bij Spannenburg als Andijk alleen een AOC-A3 concentratie gevonden in het inkomende water en de HM-fracties, zowel bij het testen van het reinwater als het voorbehandeld ruwwater of ruwwater. Het inkomende water en de HM-fracties waren ook de enige watertypen waar biopolymeren in gedetecteerd werden met de LC-OCD. Deze uitkomst is consistent tussen de ongecorrigeerde data en gecorrigeerde data. Dit duidt erop dat alleen biopolymeren groei veroorzaken in de AOC-A3 experimenten. Dit

komt overeen met de groeiproeven die in het verleden met stam A3 zijn uitgevoerd en waar met name groei werd waargenomen op biopolymeren en niet of nauwelijks met kleinere BDOC moleculen (Sack et al., 2010, 2011).

7.2.3 AOC-P17/Nox

Bij de AOC-P17/Nox experimenten op het reinwater van Spannenburg bevatte na correctie de MM-fractie de hoogste AOC-P17/Nox concentratie. Echter was de scheiding tussen laag en mediummoleculaire stoffen met de installatie op het reinwater van Spannenburg helaas niet goed, waardoor het lastig is om een duidelijk verschil tussen de laag- en mediummoleculaire fractie te achterhalen. De twee stammen die in deze AOC-analyse worden gebruikt (P17/Nox) zijn in het verleden geselecteerd omdat ze met name laagmoleculaire stoffen afbraken in de groeiproeven die zijn gedaan (van der Kooij et al., 1982; van der Kooij, 2002). Het is daardoor de verwachting dat het ook de laagmoleculaire stoffen in de MM-fractie zijn waarin de AOC-P17/Nox gemeten werd, maar doordat de stoffen waarop stam P17 en Nox groeien in het onderzochte water niet kunnen worden geïdentificeerd, bestaat er altijd een mogelijkheid dat ze ook op bepaalde mediummoleculaire stoffen groeien die in eerdere groeiproeven niet zijn getest. Ook bij het voorbehandeld ruwwater bevatte na correctie de MM-fractie de hoogste concentratie AOC-P17/Nox van het gefractioneerde water. Hoewel de scheiding hier voornamelijk in week 0 beter was, met een hoog percentage laagmoleculaire stoffen in de LM-fractie waren, waren er nog steeds 18x meer laagmoleculaire stoffen aanwezig in de ongecorrigeerde MM-fractie ten opzichte van de LM-fractie waarmee wellicht de 8x hogere AOC-P17/Nox concentratie in de MM-fractie ten opzichte van de LM-fractie ook verklaard kan worden.

Voor de reinwaterexperimenten op Andijk verschilde de samenstelling van de LM-fractie sterk tussen week 0/8 en week 14. In week 0/8 bestond 70-80% van de LM-fractie uit laagmoleculaire stoffen en ongeveer 20% uit building blocks, maar was dat in week 14 waren de laagmoleculaire stoffen minder dan 30% en de building blocks ongeveer 70%. Deze verschuiving was waarschijnlijk veroorzaakt door een veranderende waterkwaliteit. Bij het reinwater experiment op Spannenburg was er ook een verschuiving in de laatste meetweek, maar deze zal veroorzaakt zijn geweest door een vervanging van het NF-membraan. De ongecorrigeerde AOC P17-Nox concentraties van de LM-fractie in week 0, 8 en 14 tijdens reinwater experiment op Andijk waren echter redelijk vergelijkbaar (1,46, 1,29, en 0,92 µg Ac-C/l in week 0, 8, en 14 respectievelijk). Ook de concentratie laagmoleculaire stoffen bepaald met LC-OCD is vergelijkbaar (56, 35, en 56 µg/L in week 0, 8, en 14 respectievelijk). De verlaagde concentratie laagmoleculaire stoffen en de verhoogde concentratie building blocks in week 14 lijken dus niet tot een verhoging of verlaging van de AOC-P17/Nox te hebben geleid. Dat betekent dat deze verschuiving van laagmoleculaire stoffen naar building blocks geen invloed had op de concentratie laagmoleculaire stoffen die door stammen P17 en Nox worden afgebroken of dat de laagmoleculaire stoffen die door P17 en Nox kunnen worden afgebroken en niet langer aanwezig waren in week 14 zijn aangevuld met dezelfde hoeveelheid building blocks die door P17 en Nox kunnen worden afgebroken.

De verschuiving in LC-OCD samenstelling werd ook gezien bij het voorbehandeld ruwwater van Spannenburg waar in week 8 het percentage laagmoleculaire stoffen lager was dan in week 0 en week 4. De AOC-P17/Nox concentratie was echter niet consistent gedurende deze 3 weken, met de concentratie in week 8 op 0,91 µg Ac-C/l t.o.v. 0,35 µg Ac-C/l in week 0 en 2,2 µg Ac-C/l in week 4. Ook waren de LC-OCD concentraties van laagmoleculaire stoffen soms erg laag met bijvoorbeeld slechts 7 µg/l laagmoleculaire stoffen in week 8 in de LM-fractie. Een link is hierdoor niet goed te leggen zoals bij de reinwaterexperimenten.

De gecorrigeerde MM-fractie bevatte in alle weken een hogere AOC-P17/Nox concentratie dan de LM-fractie voor zowel het voorbehandeld ruwwater als reinwater van Andijk, maar bevatte ook een hogere concentratie aan laagmoleculaire stoffen zowel gedurende het reinwater als het ruwwaterexperiment. Door de niet volledige scheiding, door de fractioneringsaanpak, is het lastig om uit deze fractie exact de bijdrage van de mediummoleculaire stoffen te bepalen op de AOC-P17/Nox.

Uit de resultaten van de gecorrigeerde HM-fractie wordt wel duidelijk hoogmoleculaire stoffen niet worden aangetoond met de AOC-P17/Nox. Kijkend naar de gecorrigeerde HM-fractie is duidelijk dat er nagenoeg geen

AOC-P17/Nox wordt teruggevonden zowel tijdens het reinwater als het voorbehandeld ruwwater experiment. De samenstelling van deze gecorrigeerde fractie is gedurende alle weken tussen de 80% en 90% humuszuren en biopolymeren voor beide experimenten. Deze dragen dus niet bij aan de AOC-P17/Nox en komt overeen met de resultaten van eerder uitgevoerde groeiproeven met stam P17 en Nox (van der Kooij et al., 1982, van der Kooij, 2002).

Nog een opvallend verschil tussen LM-fractie en de andere fracties is dat de AOC-P17 hoger of ongeveer gelijk is dan de AOC-Nox bij de meeste metingen van voorbehandeld ruwwater en reinwater op beide locaties, terwijl dat bij de andere fracties niet het geval is. De stoffen die door de P17-stam worden benut lijken dus een lager molecuulgewicht te hebben dan de stoffen die door de Nox-stam worden benut. Dit komt niet overeen met eerder uitgevoerde groeiproeven met beide stammen, waaruit bleek dat de Nox-stam met name kleine carbonzuren afbreekt, terwijl P17 met name de iets grotere aminozuren afbreekt. Daarnaast werd waargenomen dat de AOC-P17 concentratie in ruwwater van Andijk zeer hoog was. In de verschillende gefractioneerde watertypen werden deze hoge AOC-P17 concentraties niet teruggevonden, wat erop wijst dat deze afbreekbare stoffen of in de deeltjesfractie terecht is gekomen ofwel aan de membranen is gehecht. Hechting aan de membranen is echter niet waargenomen met het reinwater van Andijk of met het reinwater en voorbehandeld ruwwater van Spannenburg.

7.2.4 BPP-metingen

Bij het vergelijken van de BPP-resultaten van het reinwater op Spannenburg en Andijk komen een aantal punten naar voren die erop wijzen dat hoogmoleculaire stoffen bij het ene drinkwatertype wel kunnen bijdragen aan de groeipotentie, maar bij het andere drinkwatertype niet of nauwelijks. Bij het reinwater op Spannenburg waren de BPP-parameters van de MM-fractie gelijk of hoger dan de BPP-parameters van de HM-fractie met de ongecorrigeerde data. Hoogmoleculaire stoffen beïnvloeden de BPP-parameters en dus de groeipotentie van het water dus niet of nauwelijks in het reinwater van productielocatie Spannenburg. In het reinwater van productielocatie Andijk waren de ongecorrigeerde BPP-parameters van de HM-fractie over het algemeen juist hoger dan de MM-fractie, en de BPP (en dus de groeipotentie) van dit reinwater wordt dus wel sterk beïnvloed door de hoogmoleculaire stoffen in het water. Dit was ook volgens verwachting doordat een uitgebreide studie met nieuwe biologisch stabiliteitsparameters heeft laten zien dat drinkwater bereid uit grondwater (zoals bij Spannenburg) geen of zeer lage concentraties AOC-A3 en particulier en/of hoogmoleculair organisch koolstof (PHMOC) bevat, parameters die voor een belangrijk deel indicatief zijn voor biopolymeren en ook waren de gemeten biopolymeren concentraties laag. Drinkwater bereid uit oppervlaktewater na reservoir (zoals bij Andijk) lieten wel relatief hoge AOC-A3 en PHMOC-concentraties zien (van der Wielen et al., 2023). De LC-OCD-data van onze studie laat ook zien dat de hoogmoleculaire fractie in het reinwater van Andijk een relatief hoge concentratie biopolymeren bevat. Hieruit kan wel worden afgeleid dat de biopolymeren die gedetecteerd worden met de AOC-A3 methode groter zijn dan 10kDa op basis v/d poriegrote van het UF-membraan.

Op basis van de gecorrigeerde waarden van het reinwater van Andijk lijken de mediummoleculaire stoffen voor een belangrijk deel de BPP-parameters te bepalen in week 8 en 14. In week 0 waren de MBC_7 en MBG_7 de LM-fractie echter verhoogd ten opzichte van de MM-fractie (MBC_7 : 8%, MBG_7 : 89%), maar de CBP_{14} waarde was 15% hoger in de MM-fractie dan de LM-fractie. Het is echter belangrijk om aan te geven dat de BPP-parameters van de MM-fractie niet gecorrigeerd konden worden voor de BPP-parameters van de LM-fractie. Doordat deze MM-fractie vijf keer zoveel laagmoleculaire stoffen bevatte, rekening houdend met de concentratiefactor van het NF-membraan, dan de LM-fractie, blijft onduidelijk of de hogere BPP-waarden van de MM-fractie dan van de LM-fractie werd veroorzaakt door de hogere concentratie laagmoleculaire stoffen of door groei op mediummoleculaire stoffen. Ook omdat in sommige gevallen de BPP-parameters van de MM-fractie drie tot vier keer hoger waren dan die van de LM-fractie, maar in andere gevallen zeven tot 19 keer hoger. Groei van micro-organismen op mediummoleculaire stoffen in drinkwater is tot nu toe niet onderzocht en de resultaten van het onderzoek laten zien dat het meerwaarde heeft wanneer ook een specifieke groeipotentietest (vergelijkbaar met AOC-P17/Nox of AOC-A3)

wordt ontwikkeld voor mediummoleculaire stoffen, zodat gericht kan worden aangetoond of mediummoleculaire stoffen een belangrijke rol spelen bij de biologische stabiliteit van drinkwater.

Bij het voorbehandeld ruwwater op Andijk was het ook niet goed mogelijk om te achterhalen hoeveel de laag-, en mediummoleculaire stoffen hebben bijgedragen aan de groeipotentie. De BPP-resultaten van veel van de LM-fractie waren lager dan de detectiegrens, waardoor een verhouding niet te berekenen is. De afwezige groeipotentie bij deze metingen zou erop kunnen duiden dat de laagmoleculaire stoffen niet bijdragen aan de groeipotentie, maar dat lijkt op basis van de resultaten van de andere experimenten niet waarschijnlijk. Voor de metingen waar de verhouding tussen de LM-fractie en MM-fractie met de gecorrigeerde waarden wel berekend kon worden, komt hetzelfde beeld naar voren als bij de reinwater resultaten van Andijk. Op Spannenburg was de MBC_7 1,7-4,3 keer hoger in de MM-fractie en de MBG_7 1,5 keer hoger dan in de LM-fractie van het voorbehandeld ruwwater. Gedurende deze weken bevatte de MM-fractie echter 9-100 keer meer laagmoleculaire stoffen dan de LM-fractie, waarmee de verhoogde groei in de MM-fractie mogelijke verklaard zou kunnen worden. De BPP-parameters in de LM-fractie waren echter erg laag, waardoor het bepalen van met name de 100 keer hogere laagmoleculaire stoffen erg gevoelig is geweest voor eventuele meetfouten. Echter, de meer betrouwbare 9 keer hogere laagmoleculaire stoffen was ook hoger dan de verhouding in BPP-resultaten, waardoor het onduidelijk blijft welke fractie (MM- of LM-fractie of beide) nu verantwoordelijk zijn voor de verschillen in de BPP-parameters van de LM- en MM-fractie. Op Andijk was met het ruwwater de MBC_7 zeven keer hoger in de MM-fractie, de MBG_7 15 keer hoger en de CBP_{14} 5-17 keer hoger dan de LM-fractie. Hier bevatte de MM-fractie na correctie 4-12 keer meer laagmoleculaire stoffen, wat ook een groot gedeelte van de groeipotentie zou kunnen verklaren, maar wellicht niet volledig.

Deze discussie laat zien dat met de verkregen resultaten ook beter onderbouwde uitspraken kunnen worden gedaan over wat voor typen organische stoffen worden gedetecteerd met de verschillende methoden om de groeipotentie van het water te bepalen. Dit aspect is binnen het onderzoek echter oppervlakkig onderzocht, omdat het niet tot het doel van de studie behoorde. Het kan daarom meerwaarde hebben om in een klein vervolgproject de gegevens uitgebreider te analyseren voor dat doel.

7.2.5 LM-fractie tussen tussenfiltraat/ruwwater en reinwater

Over het algemeen was er een verschil in de ratio van de groeipotentie over de LM, MM, en HM-fractie tussen het voorbehandeld ruwwater en het reinwater. Bij productielocatie Spannenburg was deze ratio voor de ongecorrigeerde AOC-P17/Nox 1,2-6,6% (LM-fractie): 39-51 % (MM-fractie): 42-59% (HM fractie) voor het voorbehandeld ruwwater en 14%:31%:55% voor het reinwater. Voor de verschillende ongecorrigeerde BPP-waarden was deze ratio 0-12%:17-49%:51-83% in het voorbehandeld ruwwater tegen 5,5-6,3%: 47-64%:31-47% voor het reinwater. Dit laat zien dat de AOC-P17/Nox van mediummoleculair verschoof naar relatief meer laagmoleculaire stoffen tijdens de zuivering van voorbehandeld ruwwater naar reinwater, terwijl voor de BPP-parameters een verschuiving van hoogmoleculair naar middenmoleculair plaatsvond was. Het lijkt er dus op dat de zuivering mediummoleculaire en hoogmoleculaire stoffen beter verwijdert tijdens de zuivering van het voorbehandeld reinwater dan laagmoleculaire stoffen of dat er laagmoleculaire stoffen worden gevormd gedurende de zuivering. Bij Andijk was deze ratio voor AOC-P17/Nox 0,2-0,9% (LM-fractie): 42-45% (MM-fractie): 54-58% (HM-fractie) voor het voorbehandeld ruwwater tegenover een ratio van 1,9-2,7%:41-49%:48-58% voor het reinwater. Voor de verschillende ongecorrigeerde BPP-waarden was deze ratio 0-1,4%:12-53%:47-87% voor het voorbehandeld ruwwater tegenover 1,0-9,6%:18-56%:45-75% voor het reinwater. Bij productielocatie Andijk lijkt dus ook een verschuiving van midden/hoogmoleculair naar laagmoleculair in het water plaats te vinden tijdens de zuivering, maar dit verschil was wel minder groot dan bij productielocatie Spannenburg.

7.2.6 Deeltjesfractie

Bij veel van de meetmomenten lijkt een (groot) gedeelte van de groeipotentie van het voedingswater van de fractioneringsopstelling niet in één van de fracties terecht te zijn gekomen. Hoewel er ook vervuiling van de membranen kan zijn opgetreden, wat gezien de massabalansen zeker van invloed is geweest op de biopolymeren.

Het is waarschijnlijker dat de ontbrekende groeipotentie aanwezig was in de deeltjesfractie, die niet is geanalyseerd met de verschillende methoden. Zeker bij de (voorbehandeld) ruwwater experimenten zijn de BPP-resultaten van het inkomende water erg hoog vergeleken met die bij de verschillende fracties. Ook bij de reinwaterexperimenten lijkt een gedeelte van de groeipotentie in de deeltjesfractie terecht te zijn gekomen. Hoewel deze deeltjesfractie dus niet is geanalyseerd, lijkt het op basis van deze verhouding van BPP met het inkomende water en de fracties tussen het voorbehandeld ruwwater en het reinwater er wel op dat de groeipotentie van de deeltjesfractie afneemt gedurende de zuivering en dus efficiënter verwijderd wordt dan de LM, MM en HM-fracties samen. Deze waarnemingen laten tevens zien dat in eventuele vervolgentoetsen ook de deeltjesfractie geanalyseerd dient te worden, om het volledige beeld te krijgen over de bijdrage van de verschillende fracties aan de groeipotentie van het water.

7.3 Groei van verschillende bacteriën op NOM-fracties

Naast het bepalen van de groeipotentie van de verschillende fracties in het reinwater en voorbehandeld ruwwater, is voor het reinwater ook achterhaald wat de invloed van de verschillende fracties is op biofilmgroei en groei van enkele ongewenste bacteriën. Die resultaten worden in deze paragraaf bediscussieerd.

7.3.1 ATP-metingen

Op basis van de resultaten uit de experimenten op het water van Spannenburg lijken de laagmoleculaire stoffen de meeste invloed te hebben op de groei van een biofilm. Ongecorrigeerd veroorzaken de drie fracties vergelijkbare biofilmhoeveelheden, met uitzondering van de piek in de HM-fractie aan het begin van de groeiproef. Gecorrigeerd was juist de bijdrage van de LM-fractie aan biofilmvorming hoger dan de MM-fractie en HM-fractie. Na de correctie fluctueerde de bijdrage van de HM-fractie aan biofilmvorming rond de nul, wat zou betekenen dat de biofilmgroei volledig verklaard wordt door groei op de stoffen die ook in de LM en MM-fractie voorkomen.

Ook in Andijk lijkt de biofilmgroei voor een groot deel verklaard te kunnen worden met de laagmoleculaire en mediummoleculaire stoffen. In de ongecorrigeerde data was de biofilmgroei van de MM-fractie en HM-fractie redelijk gelijken voor de LM-fractie het laagst. Na correctie fluctueerde de biofilmgroei met de HM-fractie rond de nul en was de biofilmgroei met de MM-fractie ongeveer vijf tot zeven keer hoger dan met de LM-fractie. De MM-fractie bevatte echter ook ongeveer drie tot vijfmaal zoveel laagmoleculaire stoffen door de concentratie met het NF-membraan. Dit kan erop wijzen dat de laagmoleculaire stoffen een grote invloed hebben gehad op de biofilmgroei. Aangezien de biofilmvorming van de MM-fractie niet geheel noch gedurende het gehele experiment verklaard kon worden door de laagmoleculaire stoffen, is het aannemelijk dat ook de mediummoleculaire stoffen hebben bijgedragen aan de biofilmgroei. Dat de biofilmgroei van de gecorrigeerde HM-fractie rond de nul fluctueerde impliceert dat de biopolymeren weinig invloed hebben op biofilmvorming, maar dit is niet helemaal zeker gezien het geobserveerde concentratie-effect (paragraaf 7.2.1). Aangezien de biopolymeren ondanks een concentratie-effect wel duidelijk invloed hadden op de BPP-parameters, is het wel veilig om te stellen dat een eventuele invloed van de biopolymeren op biofilmvorming laag is geweest.

7.3.2 Groei van *Aeromonas*, bacteriën van de coligroep en *Legionella*

Van *Aeromonas* was bekend dat de groei in het sediment plaatsvindt (Liu et al., 2017). Inderdaad werd ook bij ons onderzoek geen groei van *Aeromonas* in het water of in de biofilm gedetecteerd. Hoewel de *Aeromonas* aantallen in het sediment het hoogst waren met de LM-fractie, is het niet mogelijk te bepalen welke stoffen cruciaal zijn voor de groei van *Aeromonas*. Het sediment zelf bevatte namelijk grote hoeveelheden voedsel voor de bacteriën na pasteurisatie gezien de hoge ATP-waarden die voor de pasteurisatie gemeten zijn en ook de samenstelling van de fracties was redelijk gelijkmatig in de eerste weken van de experimenten op het reinwater van Spannenburg. Hierdoor groeide *Aeromonas* met name op stoffen uit het sediment en kon de invloed van de verschillende fracties op de *Aeromonas*-groei niet worden bepaald. Daarom zijn deze experimenten niet herhaald met de watertypen van Andijk.

Voor de groei van bacteriën van de coligroep heeft er voornamelijk afdoding plaatsgevonden in het water en de biofilm voor alle fracties met zowel het water van Spannenburg en Andijk. In het sediment werd er vergelijkbaar met de resultaten van *Aeromonas* een piek van kve gevonden kort na de enting waarna er wederom voornamelijk afsterving plaatsvindt. Hierdoor is het ook voor de bacteriën van de coligroep niet mogelijk geweest te bepalen welke stoffen cruciaal zijn voor de groei, aangezien de groei in het sediment waarschijnlijk voor een groot deel te verklaren is met het voedsel in het sediment zelf. De resultaten van deze experimenten duiden er echter wel op dat de bacteriën van de coligroep met name in het sediment groeien en minder of niet in het drinkwater of in de biofilm op de leidingwand. De belangrijkste niche voor groei van bacteriën van de coligroep in het distributiesysteem is niet eerder bepaald. In een eerdere studie is getracht dit wel vast te stellen, maar werden er niet genoeg positieve monsters gevonden om een duidelijke conclusie te kunnen trekken (0/5 drinkwater monsters, 2/5 biofilm op de leidingwand monsters en 1/5 sediment monsters positief) (Learbuch & van Bel, 2022).

Bij de groei van *Legionella* spp. in de biofilm gevoed met het reinwater van Spannenburg was er een lange lagfase te zien met aantallen in de biofilm die maar langzaam stegen. Van een aantal *Legionella* spp. is bekend dat ze zich vermeerderen met behulp van protozoa die grazen op een biofilm (National Academies of Sciences & Medicine, 2020). Dit zou de langzame opstart van legionellagroei verklaren, aangezien er eerst een biofilm gevestigd moet zijn met gastheerprotozoa voordat groei van *Legionella* optreedt. Een correlatie tussen de biofilmvormingspotentie van water en de legionella-aantallen is ook bekend uit eerder onderzoek (Learbuch et al., 2019). Overigens werd niet een bepaalde fractie waargenomen die de groei van *Legionella* in de biofilm het meest verklaarde en alle fracties (LM, MM en HM) lijken dus een bijdrage te leveren). De legionella-aantallen in de waterfase waren ook laag met het reinwater en de verschillende waterfracties van Spannenburg, tot deze gingen stijgen in het reinwater en de MM-fractie tegen het einde van de groeiproef. Aangezien *Legionella* spp. vanuit de biofilm in de waterfase komen, komt dit overeen met de verwachtingen en de langzame start in de biofilms. In het sediment werd ook voor *Legionella* initieel een piek in kve gevonden, waarna de aantallen licht afnamen. Ook hier spelen wellicht de grote hoeveelheid voeding in het sediment een rol, waardoor snel een grote hoeveelheid biofilm en/of gastheerprotozoa heeft kunnen vormen.

Bij de groeiproeven met reinwater van Andijk was de groei van *Legionella* sneller op gang gekomen dan met reinwater van Spannenburg. Dit komt overeen met de ATP-metingen van de biofilm die bij de fracties van Andijk ook hoger waren dan bij de fracties van Spannenburg. Er lijkt dus sneller een biofilm te zijn gevormd en daardoor een snellere verhoging van de legionella-aantallen. Wederom waren de aantallen in het water redelijk een afgeleide van de aantallen in de biofilm. De aantallen in de biofilm komen gedeeltelijk overeen met de ATP-metingen van de biofilm waar het reinwater ook één van de hogere ATP-metingen had in de biofilm en de LM-fractie het laagste was. Echter bevatte de biofilm gegroeid op de MM-fractie en de HM-fractie ook relatief veel ATP, wat het opvallend maakt dat het reinwater bij *Legionella* aanmerkelijk hoger lag. Ook is opvallend dat de daling van de *Legionella* aantallen in HM-fractie overeenkomt in de tijd met de daling van de ATP-concentratie en dus de biofilmconcentratie lijkt te volgen. Na correctie is er weinig verschil te zien tussen de LM-fractie, MM-fractie en HM-fractie in Spannenburg, maar in Andijk lijken de legionella-aantallen in de biofilm met de HM-fractie in de tweede helft van de groeiproef te verdwijnen. Dit zou erop kunnen duiden dat de biopolymeren van lager belang zijn voor de groei van *Legionella* spp. Dit komt echter ook overeen met de ATP-metingen waar de HM-fractie na het per fractie terugrekenen ook rond de 0 uitkomt. Het zou dus een indirect effect kunnen zijn waarbij de biopolymeren weinig bijdragen aan biofilmgroei die nodig is voor de vermeerdering van *Legionella* spp. Het is wel lastig om deze conclusie breder te trekken aangezien de biopolymeren alleen aanwezig waren in Andijk en er dus maar één groeiproef is gedaan met biopolymeren (in duplo).

Een opvallende waarneming was dat het percentage *L. non-pneumophila* het hoogste was in de HM-fractie en de verdunde HM-fractie, terwijl 100% *L. pneumophila* aanwezig was in het reinwater. Wellicht heeft het verschil in legionellasoorten ook bijgedragen aan het verschil in aantallen, wat het lastig maakt een duidelijke conclusie te trekken over welke stoffen de groei van *Legionella* spp. beïnvloeden. Ook is de dataset te beperkt om hieruit te

concluderen dat de verhoogde concentratie biopolymeren in de HM-fractie wellicht de groei van non-*pneumophila* heeft gestimuleerd t.o.v. *L. pneumophila*. Deze proef was niet opgezet om dit te onderzoeken.

Bij de groeiproef met het water van Andijk is er een groot verschil gevonden tussen de legionella-aantallen in het reinwater en de verschillende fracties. Na correctie werd gedurende de groeiproef slechts 5-10% van de legionella-aantallen in het reinwater teruggevonden in de verschillende fracties samen. Hiermee lijkt de deeltjesfracties een belangrijke bron voor de mogelijke (indirecte) groei van *Legionella*.

7.3.3 Groeipotentie en groeiproeven

Een verschil tussen de resultaten van de experimenten om de groeipotentie van de fracties te achterhalen (AOC/BPP) en de groeiproeven zit in het belang van de biopolymeren. Uit de BPP-proeven bleek dat de biopolymeren bijdragen aan de groeipotentie van het water, maar in de groeiproeven leken de biopolymeren niet of minder van belang voor de ATP-concentratie of de legionella-aantallen. Een mogelijke verklaring hiervoor zou de verversingsfrequentie van het water in de groeiproeven kunnen zijn. In principe werd het water iedere week verversst. Een hypothese achter de groei op biopolymeren is dat bacteriën eerst de gemakkelijk afbreekbare stoffen gebruiken en dan pas de biopolymeren. (van der Kooij & Veenendaal, 2014; van der Wielen, 2018). De bacteriën in de groeiproeven zouden dus steeds iedere week nieuwe makkelijk afbreekbare stoffen hebben kunnen krijgen en daardoor niet of minder gebruik hebben hoeven te maken van de biopolymeren.

8 Conclusies en aanbevelingen

8.1 Conclusies

De fractioneringsinstallatie heeft het water succesvol kunnen fractioneren, hoewel continu filtratie alleen op het reinwater van Spannenburg mogelijk was door vervuiling met de andere watertypen. Het NF-membraan kon selectief de LM-fracties doorlaten, en het UF-membraan kon selectief de HM-fracties tegenhouden. UF- en NF-vervuiling heeft een invloed gehad op de scheiding, maar waarschijnlijk is hierdoor de selectiviteit beter geworden, vooral tijdens de voorbehandeld ruwwater experimenten in Andijk.

Voor drinkwater geproduceerd op Spannenburg spelen hoogmoleculaire stoffen geen rol, gezien deze ook niet aanwezig zijn. Het is niet exact te achterhalen of laag- en/of mediummoleculaire stoffen de groeipotentie bepalen in het voorbehandeld ruwwater en reinwater Spannenburg. Dit door de niet volledige scheiding en ontbrekende meetmethode om groeipotentie uit mediummoleculaire stoffen te bepalen.

Voor drinkwater geproduceerd op Andijk spelen hoogmoleculaire stoffen spelen wel een belangrijke rol bij de groeipotentie van het reinwater van Andijk. Naast de hoogmoleculaire stoffen zijn ook laag- en/of mediummoleculaire stoffen belangrijk, maar is het niet exact te achterhalen of laag- en/of mediummoleculaire stoffen deze bijdrage aan de groeipotentie leveren in het voorbehandeld ruwwater en reinwater Andijk. Dit door de niet volledige scheiding en ontbrekende meetmethode om groeipotentie uit mediummoleculaire stoffen te bepalen.

Tijdens de zuivering is er een verschuiving in relatieve bijdrage aan de groeipotentie van mediummoleculaire naar laagmoleculaire fractie bij Spannenburg en van hoogmoleculaire en mediummoleculaire naar laagmoleculaire bij Andijk. Verbetering van de zuivering zou zich daarom kunnen richten op betere verwijdering laagmoleculaire stoffen. Op Andijk kan een verdere verwijdering van hoogmoleculaire waarschijnlijk ook bijdragen aan een verbeterde biologische stabiliteit.

Laagmoleculaire en mediummoleculaire stoffen leveren de belangrijkste bijdrage bij biofilmgroei en groei van *Legionella* met het reinwater van Spannenburg en Andijk. Hoogmoleculaire stoffen spelen een minder belangrijke rol. Vermindering van biofilmgroei in het distributiesysteem en biofilmgroei en legionellagroei in drinkwaterinstallaties lijkt dus het best bewerkstelligt te worden met betere verwijdering van laagmoleculaire en mediummoleculaire stoffen tijdens de zuivering.

Met de resultaten is het niet mogelijk om de belangrijkste fracties te identificeren voor groei van *Aeromonas* en/of bacteriën van de coligroep.

De AOC-A3-assay meet alleen de aanwezige biopolymeren, de AOC-P17/Nox lijkt met name laag- en mediummoleculaire stoffen om te zetten en bij de BPP-test lijken alle drie de fracties een rol te kunnen spelen. Verdere analyses van de resultaten is echter nodig om hier betrouwbaardere uitspraken over te doen, maar dat was niet het doel van deze studie.

De resultaten lijken indirect ook aan te geven dat een belangrijk gedeelte van de groeipotentie van het voorbehandeld ruwwater en reinwater zich ook bevindt in de deeltjesfractie. Deze fractie is echter niet direct geanalyseerd, waardoor het niet te concluderen is wat de precieze bijdrage van de deeltjesfractie is voor de groeipotentie. Wel neemt deze verhouding af in het reinwater t.o.v. het voorbehandeld ruwwater wat erop duidt dat op beide locaties de deeltjesfractie deels wordt verwijderd in de zuivering.

8.2 Aanbevelingen

Hoewel niet precies kan worden geconcludeerd hoeveel iedere stofgroep bijdraagt aan de groeipotentie van het water, tonen de resultaten wel het belang van laag- en mediummoleculaire stoffen op de biofilmvorming en indirecte groei van *Legionella* van het water van beide locaties. Tevens laten de resultaten zien dat laagmoleculaire stoffen het minst goed worden verwijderd tijdens de zuivering bij productielocaties Spannenburg en Andijk. Daarom is de aanbeveling om bij optimalisatie of aanpassing van de zuivering met name in te zetten op verwijdering van laagmoleculaire stoffen.

De resultaten van het reinwater van Andijk laten ook duidelijk zien dat naast laag- en/of mediummoleculaire stoffen ook de biopolymeren een impact hebben op de groeipotentie van het water. Een verdere verwijdering van biopolymeren in de zuivering van Andijk zal daarom ook leiden tot een verbetering van de biologische stabiliteit van het water, zeker wanneer dit wordt bewerkstelligd met een verbeterde verwijdering van laagmoleculaire stoffen.

Een limitatie van het huidige onderzoek was de niet optimale scheiding van laagmoleculaire en mediummoleculaire stoffen. Een fractioneringsopstelling gebaseerd op diafiltratie zou waarschijnlijk tot een betere scheiding kunnen leiden. Met een betere scheiding van laag- en mediummoleculaire stoffen kan betrouwbaarder worden geconcludeerd of laagmoleculaire of mediummoleculaire stoffen belangrijker zijn voor de groeipotentie van het water. Een AOC-methode die specifiek de mediummoleculaire stoffen kwantificeert kan daarbij een grote hulp zijn, waardoor ook de aanbeveling is om een dergelijke AOC-methode te ontwikkelen. Daarbij is het ook zinvol om de resultaten van AOC-P17 en AOC-Nox nog eens nader te beschouwen, omdat het lijkt dat met deze twee stammen ook een onderverdeling tussen laag- en middenmoleculaire stoffen gemaakt kan worden.

Uit het onderzoek kwamen indirecte aanwijzingen dat een groot gedeelte van de groeipotentie ook in de deeltjesfractie aanwezig lijkt te zijn. Het is daarom aan te raden om in een eventueel vervolgonderzoek ook de deeltjesfractie mee te nemen in de verschillende groeipotentie methoden.

Verder onderzoek naar de niche van de bacteriën van de coligroep zou nodig zijn om de exacte niche goed te kunnen bepalen. Hoewel bij dit onderzoek de niche meer in het sediment lijkt te zijn zou dit verder bevestigd moeten worden in de praktijk.

Hoewel het niet het doel van de studie was is uit de data gebleken dat er beter bekeken zou kunnen worden welke stofgroepen exact worden bepaald met de verschillende biologische stabiliteit metingen (AOC-P17/Nox, AOC-A3, BPP en PHMOC). Tijdens de interpretatie voor dit onderzoek bleek dat dit niet altijd overeenkwam met de veronderstellingen. Deze database is zodoende interessant om nogmaals te bekijken met dat als doel eventueel met nog vervolgonderzoek.

9 Referenties

Escobar, I. C., & Randall, A. A. (2001). Assimilable organic carbon (AOC) and biodegradable dissolved organic carbon (BDOC): complementary measurements. *Water research*, 35(18), 4444-4454.

Harmsen, D., Cornelissen, E. (2021). Isolatie en identificatie van organische- en deeltjesfracties uit oppervlaktewater gerelateerd aan biologische stabiliteit. BTO 2021.018, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

in 't Zandt, M. (2022). Toepassing van LC-OCD om organische stoffracties in drinkwater te classificeren en kwantificeren. BTO 2022.023, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

Learbuch, K. L. G., Lut, M. C., Liu, G., Smidt, H., & van der Wielen, P. W. J. J. (2019). Legionella growth potential of drinking water produced by a reverse osmosis pilot plant. *Water research*, 157, 55-63.

Learbuch, K.L.G., Timmers, P.H.A. (2020). Microbiologische compositie en potentiële metabole processen tijdens drinkwaterdistributie. BTO 2020.044, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

Learbuch, K., van Bel, N. (2022). Bepalen van niche in het distributiesysteem van *Aeromonas*, *Legionella* en bacteriën van de coligroep. BTO 2022.031, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

Liu, G., Tao, Y., Zhang, Y., Lut, M., Knibbe, W.-J., van der Wielen, P., . . . van der Meer, W. (2017). Hotspots for selected metal elements and microbes accumulation and the corresponding water quality deterioration potential in an unchlorinated drinking water distribution system. *Water Research*, 124, 435-445.
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.002>

National Academies of Sciences, E., & Medicine. (2020). Management of Legionella in water systems: National Academies Press.

Park, S., Nam, T., You, J., Kim, E. S., Choi, I., Park, J., & Cho, K. H. (2019). Evaluating membrane fouling potentials of dissolved organic matter in brackish water. *Water research*, 149, 65-73.

Sack, E. L., van der Wielen, P. W., & van der Kooij, D. (2011). *Flavobacterium johnsoniae* as a model organism for characterizing biopolymer utilization in oligotrophic freshwater environments. *Applied and environmental microbiology*, 77(19), 6931-6938.

van Bel, N., van der Wullings, B.A., Hijnen, W.A.M. (2016). Isolatie en identificatie van *Aeromonas* stammen uit vijf DPWE voorzieningsgebieden en hun groeikarakteristieken. KWR 2016.073, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van Bel, N., Hup, K., Kolkman, A., Brouwer, A., Hijnen, W.A.M. (2017). Verband tussen *Aeromonas* groei en de aanwezigheid van waterpissebedden. KWR 2017.021, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van Bel, N. (2018). Groei van *Aeromonas* op sediment en ongewervelde dieren uit het distributienet van de productielocaties Kralingen, Braakman en Berenplaat van Evides. BTO 2018.037, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der Kooij, D.; Veenendaal, H. R., 2014. Bepaling van de biomassaproductiepotentie (BPP) van drinkwater.; BTO 2014.038; KWR Watercycle Research Institute: Nieuwegein.

van der Wielen, P.W.J.J. (2014). Rol van drinkwater, biofilm en temperatuur op groei van opportunistische pathogenen. BTO 2014.217, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

van der Wielen, P. W. J. J., & Lut, M. C. (2016). Distribution of microbial activity and specific microorganisms across sediment size fractions and pipe wall biofilm in a drinking water distribution system. *Water Science and Technology: Water Supply*, 16(4), 896-904. doi:10.2166/ws.2016.023

van der Wielen, P.W.J.J. (2018). Aandachtswaarden nieuwe methoden biologische stabiliteit. BTO 2018.049, KWR Watercycle Research Institute, Nieuwegein, NL.

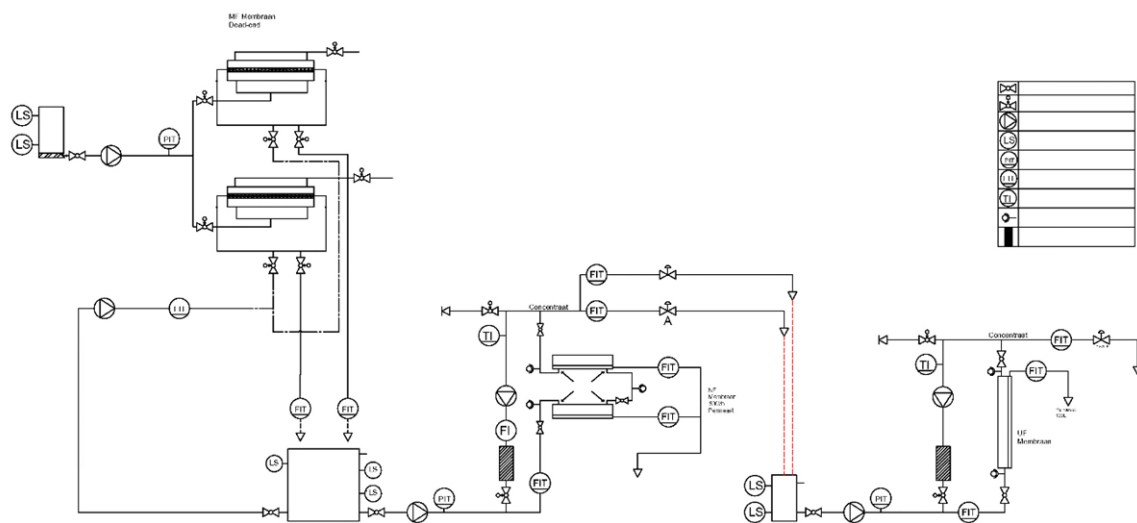
van der Wielen, P. W., Brouwer-Hanzens, A., Italiaander, R., & Hijnen, W. A. (2023). Initiating guidance values for novel biological stability parameters in drinking water to control regrowth in the distribution system. *Science of the Total Environment*, 161930.

Yin, W., Ho, J. S., Cornelissen, E. R., & Chong, T. H. (2020). Impact of isolated dissolved organic fractions from seawater on biofouling in reverse osmosis (RO) desalination process. *Water research*, 168, 115198.

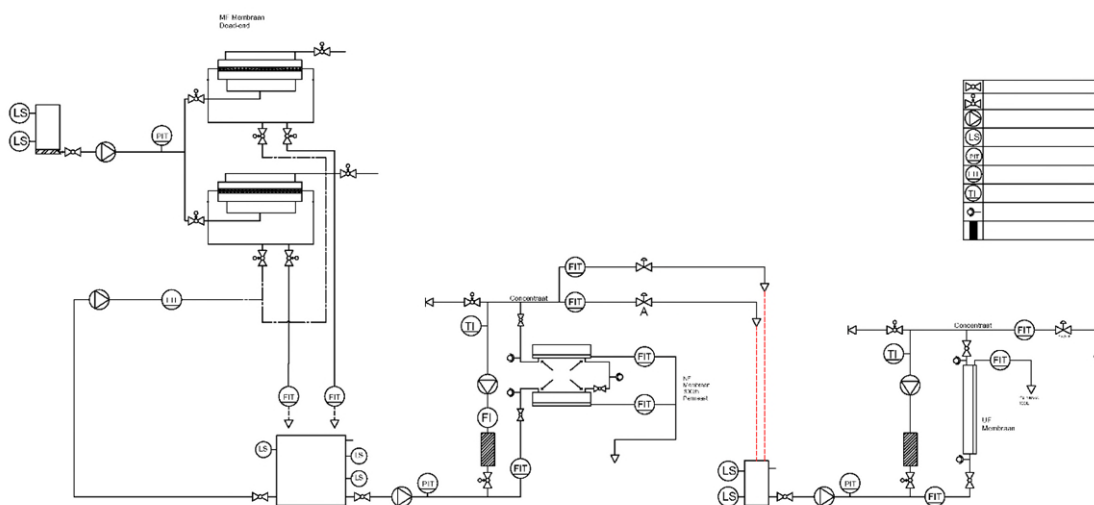
I Foto's fractioneringsinstallatie

De fractioneringsinstallatie (UAN210001) bestaat uit 3 units die ook apart van elkaar kunnen worden bedreven

1. MF-unit (UAN 210007 II Testbank 2 horizontale NF 4040 membranen)
2. NF-Unit (UAN 210007 II Testbank 2 horizontale NF 4040 membranen)
3. UF-Unit (UAN 210016 III Testbank 1 horizontaal UF 2540 membraan)



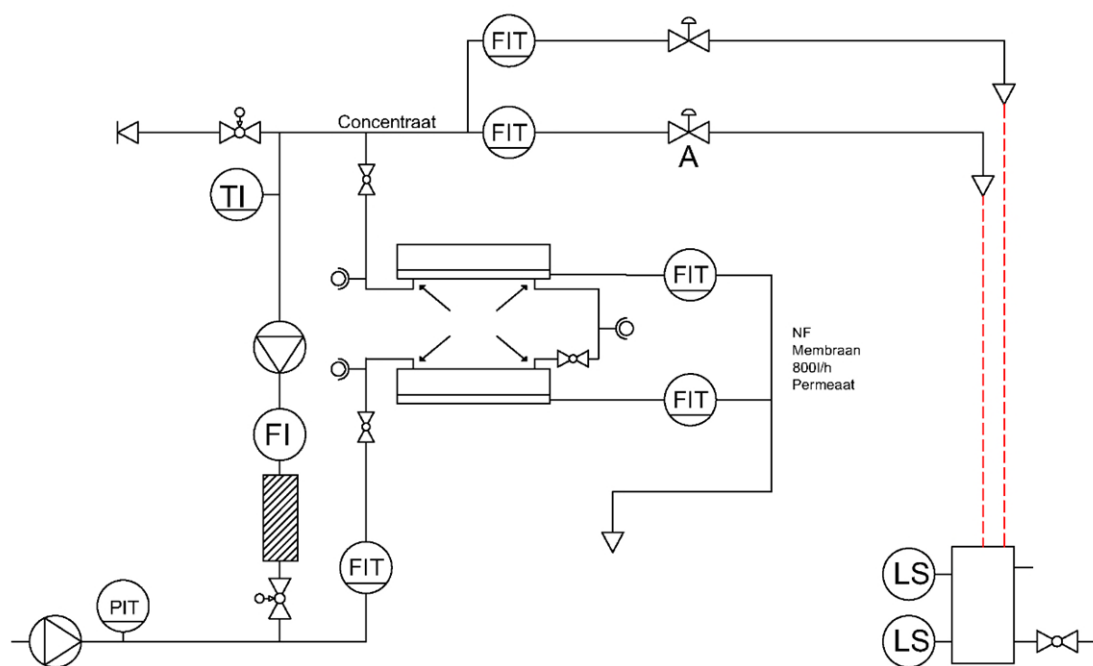
Figuur I-1 P&ID fractioneringsinstallatie (UAN210001)



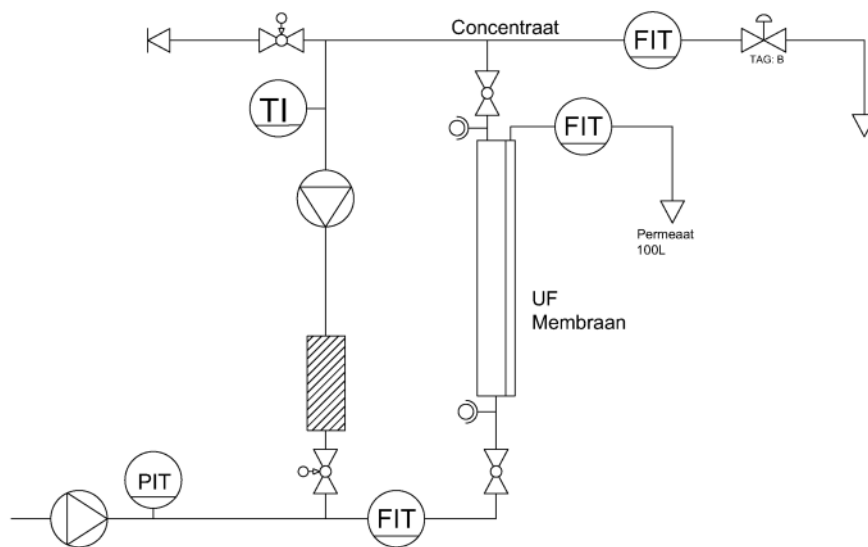
Figuur I-2 P&ID MF-unit (UAN 210007 II Testbank 2 horizontale NF 4040 membranen)



Figuur I-3 Temperatuurregistratie voeding MF



Figuur I-4 P&ID NF-Unit (UAN 210007 II Testbank 2 horizontale NF 4040 membranen)



Figuur I-5 P&ID UF-Unit (UAN 210016 III Testbank 1 horizontaal UF 2540 membraan)



Figuur I-6 Fractioneringopstelling geplaatst in Spannenburg



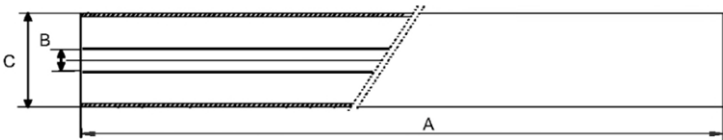
Figuur I-7 Fractioneringopstelling geplaatst in Andijk

II Membraanspecificaties

S-30 FSFC PSU Pentair



4" CAPFIL MEMBRANE ELEMENT PSU
S-30 FSFC



ELEMENT SPECIFICATIONS

module type	hydraulic membrane diameter [mm]	membrane area [m ²]	length A [mm]	permeate collector inner diameter B [mm]	module diameter C [mm]
S-30 FSFC PSU	0.8	6.2	1015	16.3	100
S-30 FSFC PSU	1.5	3.6	1015	16.3	100

MATERIALS OF CONSTRUCTION

- housing : polysulfone
- flow distributor: : polyethersulfone
- potting : epoxy
- membrane : see membrane data sheets

CONNECTION SPECIFICATIONS

- Feed side
determined by standard 4" membrane element housings (see specifications of housing supplier)
- Permeate side
interconnector for element-in-series arrangement
endconnector for element-in-series arrangement (see specifications of housing supplier)

OPERATING SPECIFICATIONS

maximum system pressure (*) [kPa]	maximum transmembrane pressure (*) [kPa]	maximum backflush pressure (*) [kPa]	maximum operating temperature (*) [°C]
at 20 °C: 800	at 0 – 30 °C: 300	at 0 – 30 °C: 200	60
at 40 °C: 600	at 30 – 60 °C: 200	at 30 – 60 °C: 150	
at 60 °C: 400			

(*) final maximum operating limits are determined by the lowest values of the membrane and element pressure and temperature specifications (see also membrane data sheet) !

- Backwash water should be free of particulates and should be of permeate quality or better.
- Backwash pumps should be made of non-corroding materials: plastic or stainless steel. If compressed air is used to pressurize the backwash water, do not allow a two-phase air/water mixture to enter the element.
- To avoid mechanical damage, do not subject the membrane module or element to sudden temperature changes, particularly decreasings. Do not exceed 60 °C process temperature. Bring the module or element back to ambient operating temperature slowly (typical value 1 °C/min). Failure to adhere to th is guideline can result in irreparable damage.

PROCESS CHARACTERISTICS (water, 20 °C)

element type	membrane diameter [mm]	flow rate (*) [m ³ /h]	pressure-drop across element at 1 m/s [kPa]	pressure-drop across element at 2 m/s [kPa]
S-30 FSFC PSU	0.8	4.7 x v	48	100
S-30 FSFC PSU	1.5	5.0 x v	14	56

(*) superficial velocity (v) in m/s

For more information please write or call to:

X-Flow B.V.
P.O.Box 739
7500 AS Enschede
The Netherlands

Phone: + 31 (0)53 4287350
Fax: + 31 (0)53 4287351
E-mail: info@xflow.nl
Web site: www.x-flow.com



Note: The information and data contained in this document are based on our general experience and are believed to be correct. They are given in good faith and are intended to provide a guideline for the selection and use of our products. Since the conditions under which our products may be used are beyond our control, this information does not imply any guarantee of final product performance and we cannot accept any liability with respect to the use of our products. The quality of our products is guaranteed under our conditions of sale. Existing industrial property rights must be observed.

CAPF-XIGA-S30-PSU-0625

Microdyn Nadir TRISEP PLT 4040-TS40-319/

PRODUCT SPECIFICATION - TRISEP® TS40

TRISEP® TS40

High Rejection Process

NF Elements



TRISEP® TS40 membrane elements deliver value by purifying and separating solutes. TS40 has high rejection of divalent and polyvalent ions while allowing the majority of monovalent ions to pass through the membrane. With a molecular weight cut-off in the range of 200-300 Daltons, TS40 is a piperazine-based membrane that is often used to demineralize and concentrate organic solutes. TS40 membrane is available in a wide variety of element designs for food, dairy and process applications.

MEMBRANE CHARACTERISTICS

Membrane	TS40
Membrane Type	Polypiperazine
Stabilized MgSO ₄ Rejection (%) ^a	99.0
Minimum MgSO ₄ Rejection (%)	98.5

^a Typical NaCl rejection: 40%

DESIGN INFORMATION

Model	Part Number	Permeate Flow m ³ /day (GPD) ^a	Membrane Area m ² (ft ²)	Feed Spacer Thickness (mil) ^c
TRISEP® PLT 2540-TS40-31	163040241	1.9 (500)	2.4 (26)	31
TRISEP® PLT 4040-TS40-31	162020442	6.1 (1,600)	7.9 (85)	31
TRISEP® 8040-TS40-TSA	163000844	27.6 (7,300)	33.9 (365)	34
TRISEP® 8040-TS40-TSFA	168021841	27.6 (7,300)	33.9 (365)	34
TRISEP® 8040-TS40-TTFA	167017840	20.8 (5,500)	25.5 (275)	46
TRISEP® 8040-TS40-TXFA	168035841	20.8 (5,500)	25.5 (275)	47
TRISEP® 8040-TS40-UWFA	169024941	30.3 (8,000)	37.2 (400)	31

^b Test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 7.6 bar (110 psi), 25°C (77°F), 15% recovery, pH 8.0, 30 minutes operation. Flow rates will be no more than 15% below the values shown. Product specifications may change without notice as design revisions occur.

^c All models on this sheet have fiberglass outer wrap. All 47 mil feed spacers are parallel; all other models have diamond shaped feed spacers. All models on this sheet include anti-telescoping devices (ATDs) attached to the ends of the element and one brine seal. All 4040 and 8040 models on this sheet include one interconnector.

OPERATING PARAMETERS

Maximum Operating Pressure	41 bar (600 psi)
Maximum Operating Temperature	45°C (113°F)
Cleaning pH Range ¹	1.0 - 12.0
Chlorine Tolerance ²	< 0.1 ppm
Maximum Pressure Drop	1 bar (15 psi) per element; 4 bar (60 psi) per housing
Maximum SDI ₁₅	5.0
Maximum Turbidity	1 NTU

¹ Refer to temperature and pH limits in Membrane Cleaning Guide - Water Application Elements (TSG-C-001).

² Pretreatment is recommended for the removal of free chlorine and other oxidizing agents to prevent damage to membranes. Oxidizing agents, such as free chlorine, in contact with polyamide membranes may result in shortened operating life or membrane failure. Such oxidation damage is excluded from warranty. Refer to Membrane Operating Guide - Recommendations for Water Purification (TSG-O-012).

DATE: 07/01/2021

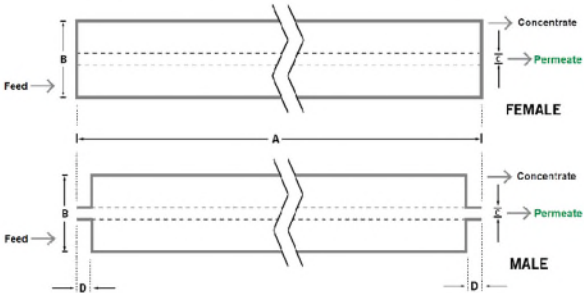
**MANN +
HUMMEL**

PRODUCT SPECIFICATION - TRISEP® TS40

PHYSICAL DIMENSIONS

Model	Element Weight kg (lb) ^d	Dim. A mm (inches)	Dim. B mm (inches)	Dim. C ^e mm (inches)	Permeate Tube ^f
TRISEP® PLT 2540-TS40-31	3 (7)	1,016 (40.0)	64 (2.5)	19.1 (0.75)	Male
TRISEP® PLT 4040-TS40-31	4 (9)	1,016 (40.0)	99 (3.9)	19.1 (0.75)	Male
TRISEP® 8040-TS40-TSA	16 (36)	1,016 (40.0)	201 (7.9)	38.1 (1.50)	Female
TRISEP® 8040-TS40-TSFA	16 (36)	1,016 (40.0)	201 (7.9)	28.6 (1.125)	Female
TRISEP® 8040-TS40-TTFA	16 (36)	1,016 (40.0)	201 (7.9)	28.6 (1.125)	Female
TRISEP® 8040-TS40-TXFA	16 (36)	1,016 (40.0)	201 (7.9)	28.6 (1.125)	Female
TRISEP® 8040-TS40-UWFA	16 (36)	1,016 (40.0)	201 (7.9)	28.6 (1.125)	Female

^d Shipping weight is dependent on packaging material and quantity shipped.
^e Diameters for Dimension "C" are as follows. For Female elements, "C" is the Inner Diameter. For Male elements, "C" is the Outer Diameter.
^f Male elements have a protruding permeate tube, indicated as "D" in the diagram. Dimension "D" is 25.4 mm (1.0 in).



IMPORTANT INFORMATION

- Start-up:** MANN+HUMMEL Water & Fluid Solutions recommends flushing elements for 30 minutes at low pressure and discarding permeate during the flush prior to operation. For a more detailed start-up procedure, please see Element Start-Up Guide – System Start-Up (TSG-O-005).
- Cleaning:** TRISEP® membrane elements must be cleaned periodically to ensure proper operation and to prevent membrane damage. Please see Membrane Cleaning Guide – Water Application Elements (TSG-C-001).
- Storage:** TRISEP membrane elements must be stored appropriately to ensure proper operation and to prevent membrane damage. Please see Element Storage Guides (TSG-O-009 & TSG-O-010).

CUSTOMIZABLE SPECIALTY ELEMENTS

MANN+HUMMEL Water & Fluid Solutions offers a full range of membranes and element designs for challenging water and process applications. Technologies include low-fouling RO, submerged UF, continuous high temperature, ultra-high pressure, unique sanitary designs and more. Contact us to customize a product that satisfies your specific requirements.

Contact

Europe
Germany: +49 611 962 6001
Italy: +39 0721 1796201
info@microdyn-nadir.com

Americas
USA: +1 805 964 8003
sales.mnus@microdyn-nadir.com

Asia
Singapore: +65 6457 7533
China: +86 10 8413 9860
waterchina@mann-hummel.com

DATE: 07/01/2021



Dupont FilmTec NF270 4040



Product Data Sheet

**FilmTec™ Membranes**

FilmTec™ NF270 Nanofiltration Elements for Commercial Systems

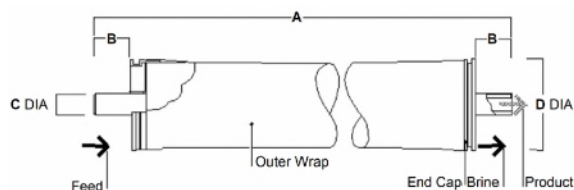
Description

The FilmTec™ NF270 Nanofiltration Elements are ideal for removing a high percentage of TOC and THM precursors with medium to high salt passage and medium hardness passage. The FilmTec™ NF270 Membrane is an ideal choice for surface water and ground water where good organic removal is desired with partial softening.

Typical Properties

Product	Part Number	Active Area ft ² (m ²)	Applied Pressure psig (bar)	Permeate Flow Rate gpd (m ³ /d)	Stabilized Salt Rejection (%)
NF270-2540	149986	28 (2.6)	70 (4.8)	850 (3.2)	>97.0
NF270-4040	149987	82 (7.6)	70 (4.8)	2,500 (9.5)	>97.0

1. Permeate flow and salt rejection based on the following test conditions: 2,000 ppm MgSO₄, 77°F (25°C) and 15% recovery at the pressure specified above.
2. Permeate flows for individual NF270-2540 elements may vary by -20% / +30%. NF270-4040 individual elements may vary -15% / +50%.
3. Developmental products available for sale.

Element Dimensions

FilmTec sells coupler part number 89055 for use in multiple element housings. Each coupler includes two 2-210 EPDM o-rings, FilmTec part number 89255.

Product	Dimensions – Inches (mm)				1 inch = 25.4 mm
	A	B	C	D	
NF270-2540	40.0 (1,016)	1.19 (30)	0.75 (19)	2.4 (61)	
NF270-4040	40.0 (1,016)	1.05 (27)	0.75 (19)	3.9 (99)	

1. Refer to [FilmTec™ Design Guidelines for multiple-element systems of midsize elements](#) (Form No. 45-D01588-en).
2. NF270-2540 has a tape outer wrap. NF270-4040 has a fiberglass outer wrap.

Operating and Cleaning Limits

Membrane Type	Polyamide Thin-Film Composite
Maximum Operating Temperature	113°F (45°C)
Maximum Operating Pressure	600 psi (41 bar)
Maximum Feed Flow Rate	
4040 elements	16 gpm (3.6 m ³ /hr)
2540 elements	6 gpm (1.4 m ³ /hr)
Maximum Pressure Drop	
tape wrapped	13 psig (0.9 bar)
fiberglassed	15 psig (1.0 bar)
pH Range	
Continuous Operation ^a	2 - 11
Short-Term Cleaning (30 min.) ^b	1 - 12
Maximum Feed Silt Density Index	SDI 5
Free Chlorine Tolerance ^c	< 0.1 ppm

- a. Maximum temperature for continuous operation above pH 10 is 95°F (35°C).
b. Refer to [Cleaning Guidelines](#) (Form No. 45-D01696-en) for NF90.
c. Under certain conditions, the presence of free chlorine and other oxidizing agents will cause premature membrane failure. Since oxidation damage is not covered under warranty, DuPontWaterSolutions recommends removing residual free chlorine by pretreatment prior to membrane exposure. Please refer to [FilmTec™ Design Guidelines for multiple-element systems of 8-inch elements](#) (Form No. 45-D01695-en) for more information.

Important Information

Proper start-up of reverse osmosis water treatment systems is essential to prepare the membranes for operating service and to prevent membrane damage due to overfeeding or hydraulic shock. Following the proper start-up sequence also helps ensure that system operating parameters conform to design specifications so that system water quality and productivity goals can be achieved.

Before initiating system start-up procedures, membrane pretreatment, loading of the membrane elements, instrument calibration and other system checks should be completed.

Please refer to the application information literature entitled [Start-Up Sequence](#) (Form No. 45-D01609-en) for more information.

Operation Guidelines

Avoid any abrupt pressure or cross-flow variations on the spiral elements during start-up, shutdown, cleaning or other sequences to prevent possible membrane damage. During start-up, a gradual change from a standstill to operating state is recommended as follows:

- Feed pressure should be increased gradually over a 30-60 second time frame.
- Cross-flow velocity at set operating point should be achieved gradually over 15-20 seconds.

General Information

- Keep elements moist at all times after initial wetting.
- If operating limits and guidelines given in this bulletin are not strictly followed, the limited warranty will be null and void.
- To prevent biological growth during prolonged system shutdowns, it is recommended that membrane elements be immersed in a preservative solution.
- The customer is fully responsible for the effects of incompatible chemicals and lubricants on elements.
- Maximum pressure drop across an entire pressure vessel (housing) is 30 psi (2.1 bar).
- Avoid static permeate-side backpressure at all times.

Product Stewardship

DuPont has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our product stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with DuPont products—from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

DuPont strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of DuPont products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that DuPont products are not used in ways for which they are not intended or tested. DuPont personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. DuPont product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of DuPont products. Current safety data sheets are available from DuPont.

Please be aware of the following:

- The use of this product in and of itself does not necessarily guarantee the removal of cysts and pathogens from water. Effective cyst and pathogen reduction is dependent on the complete system design and on the operation and maintenance of the system.
- Permeate obtained from the first hour of operation should be discarded.



info@lenntech.com Tel. +31-152-610-900
www.lenntech.com Fax. +31-152-616-289

Have a question? Contact us at:

All information set forth herein is for informational purposes only. This information is general information and may differ from that based on actual conditions. Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for Customer's use and for ensuring that Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other government enactments. The product shown in this literature may not be available for sale and/or available in all geographies where DuPont is represented. The claims made may not have been approved for use in all countries. Please note that physical properties may vary depending on certain conditions and while operating conditions stated in this document are intended to lengthen product lifespan and/or improve product performance, it will ultimately depend on actual circumstances and is in no event a guarantee of achieving any specific results. DuPont assumes no obligation or liability for the information in this document. References to "DuPont" or the "Company" mean the DuPont legal entity selling the products to Customer unless otherwise expressly noted. NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED. No freedom from infringement of any patent or trademark owned by DuPont or others is to be inferred.

DuPont™, the DuPont Oval Logo, and all trademarks and service marks denoted with ™, SM or ® are owned by affiliates of DuPont de Nemours Inc. unless otherwise noted. ©2020 DuPont.



Synder-Industrial-ST-PES-10kDa-L (Synder)



ST (PES 10,000Da) Industrial UF Membrane



RECOMMENDED OPERATING PARAMETERS

Pressure	PSI	Bar
Max. Inlet Pressure	116	8.0
Min. Outlet Pressure	10	0.7
Max. Pressure Drop per Element	18	1.2
Max. Permeate Backpressure	5	0.3

Temperature	Fahrenheit	Celsius
Max. Continuous Operation	122°	50°
Max. CIP Temperature	122°	50°

pH Parameters	pH
pH Range during Operation at 25°C Max.	1-11
pH Range during CIP at 50°C Max.	2-11

Chlorine	Norm. ppm	Max. ppm
Free Chlorine in DF Water or Product	0	<0.1
Chlorine during CIP at pH 10.8-11.0 and 50°C	150	180

Peroxide	Max. ppm
Free Peroxide in Product during Operation	<3 ppm
Peroxide as a sanitizer at 25°C Max, pH 6-7, 10 minutes recirculation	0.1%

NOTE: Trials should be made to determine temperature and viscosity effects. Ribbed spacers are also available for high solids applications.

CONTACT US

4941 Allison Parkway
Vacaville, CA 95688
Phone: +1-707-451-6060
Fax: +1-707-451-6064
Email: sales@synderfiltration.com | support@synderfiltration.com
www.synderfiltration.com

All inquiries will be responded to by a Synder employee personally within 24 hours.

STANDARD SERIES BENEFITS

- Wide range of MWCO's available
- Good pH and temperature resistance
- High resistance to fouling
- Customizable dimensions for unique housings

RECOMMENDED ELEMENT CROSS FLOW RATE

		Feed Spacer (in mils)				
Element		24	31	46	65	80
1.8"	m ³ /hr	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1
	gpm	3	3	4	4	5
2.5"	m ³ /hr	1.3	1.5	1.8	2.0	2.1
	gpm	6	7	8	9	9
4.0"	m ³ /hr	3	4	5	5	5
	gpm	15	17	20	23	24
8.0"	m ³ /hr	15	17	20	23	24
	gpm	66	75	89	99	105

The recommended cross flow rate will be subject to differential pressure limitations and specific applications.

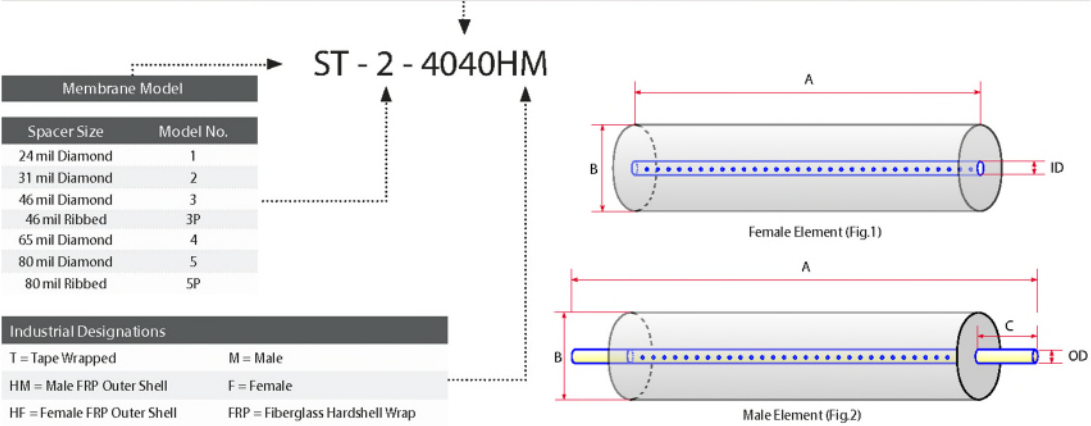
MEMBRANE AREA (SQ. FT.)

		Feed Spacer (in mils)				
Element		24	31	46	65	80
1812TM	3.1	2.7	2.1	1.6	1.3	
2540HF	28	24	20	16	13	
2540HM	30	26	22	17	14	
4040HM	81	72	58	46	39	
4040HF	86	75	61	49	41	
7940HF	379	335	268	210	178	
8040HF	379	335	268	210	178	



DIMENSIONS & WEIGHT

Element	Model Number	Diameter (B) in (cm)	Length (A) in (cm)	PWT ID/OD in (cm)	Tube Extension (C) in (cm)	Dry Weight lb (kg)
1.8"	1812TM	1.8" (4.6)	11.75" (29.8)	0.675" (1.71)	0.75" (perm) 1.00" (plug)	1.0 (0.5)
2.5"	2540TM	2.4" (6.1)	40.0" (101.6)	0.75" (1.90)	1.00" (2.54)	4.0 (1.8)
	2540HF	2.4" (6.1)	40.0" (101.6)	0.625" (1.59)	-	4.0 (1.8)
	2540HM	2.4" (6.1)	40.0" (101.6)	0.75" (1.90)	1.0" (2.54)	4.0 (1.8)
	4040TM	3.9" (9.9)	40.0" (101.6)	0.75" (1.90)	1.0" (2.54)	12.0 (5.5)
4.0"	4040HM	3.9" (9.9)	40.0" (101.6)	0.75" (1.90)	1.0" (2.54)	12.0 (5.5)
	4040HF	3.9" (9.9)	40.0" (101.6)	0.625" (1.59)	-	12.0 (5.5)
	4040HF	3.9" (9.9)	40.0" (101.6)	0.625" (1.59)	-	12.0 (5.5)
8.0"	7940HF	7.9" (20.1)	40.0" (101.6)	1.138" (2.89)	-	35.0 (15.9)
	8040HF	7.9" (20.1)	40.0" (101.6)	1.125" (2.89)	-	35.0 (15.9)



TECHNICAL NOTES

For element sizes not listed, please call or email Synder Filtration for details. We can design an element to fit your exact needs - just specify the element outer diameter (OD) or vessel/housing inner diameter (ID), element inner diameter (ID), and length. Elements are available with or without a controlled bypass tail. Additional feed spacers are also available.

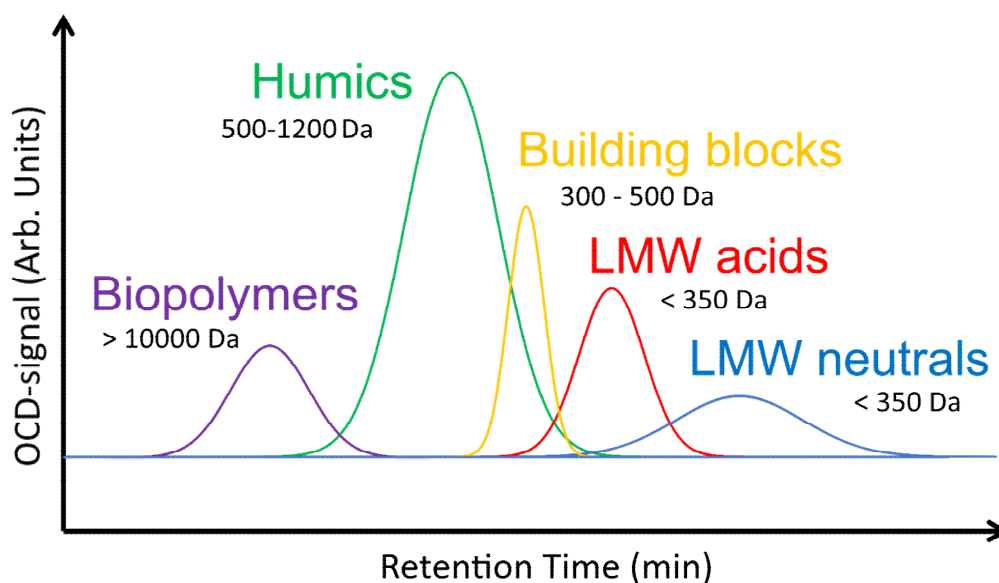
Trials should be conducted to determine optimal application conditions.

Refer to installation, cleaning, and storage procedures for more details.

III Analyses

LC-OCD

Het natuurlijk organisch materiaal (NOM) werd gekarakteriseerd met behulp van de liquid chromatography – organic carbon detection (LC-OCD) methode. De verschillende fracties bij LC-OCD-analyses zijn gebaseerd op molecuulgrootte en worden standaard ingedeeld als biopolymeren, humuszuren, building blocks, low molecuulair weight neutrals en low molecuulair weight acids (Harmsen & Cornelissen, 2021; in 't Zandt, 2022). De groottes van de verschillende fracties zijn weergegeven in Figuur en Tabel De LC-OCD analyses zijn uitgevoerd door DOC-Labor GmbH (Karlsruhe, Duitsland).



Figuur III-1. Schematisch overzicht van de verschillende LC-OCD fracties van het SEC chromatogram

Tabel III-1. Verdeling van de MM over de verschillende fracties (BTO 2021.018)

Fractie	Afkorting	Molecuulgewicht (g/mol)
Vrije organische zuren (Low Molecular Weight Acids)	LMWA	< 350
Neutralen en amfifielen (Low Molecular Weight Neutrals)	LMWN	< 350
Building blocks	BB	350 – 500
Humuszuren en hydrolysaten	HS	500 - 1200
Biopolymeren	BP	> 10 000

TOC

De totale organische-koolstof (TOC) concentratie is bepaald. Het watermonster wordt aangezuurd om het anorganisch koolstof te verwijderen, waarna de hoeveelheid aanwezige (organisch) koolstof wordt gemeten met behulp van NDIR (niet-dispersieve infrarood detector). Het TOC-gehalte is bepaald volgens LAM-068 dat conform ISO 8245 en NEN-EN 1484 is.

ICP-MS

Met ICP-MS (inductief gekoppelde-plasmamassaspectrometer) is in water de concentratie van een grote set aan metalen bepaald. Dit is uitgevoerd volgens huisvoorschrift LAM-076.

ATP

Adenosinetrifosfaat (ATP) is aanwezig in alle levende organismen en is een maat voor de hoeveelheid actieve biomassa. De ATP-bepaling berust op de luciferine-luciferase reactie, waarbij ATP onder vorming van licht overgaat in adenosinemonofosfaat (AMP). Met behulp van lichtgevoelige apparatuur kan de lichtproductie nauwkeurig worden gemeten. De werkwijze levert binnen enkele minuten een resultaat op. De detectiegrens van de bepaling bij direct onderzoek van drinkwater bedraagt ca. 1 ng ATP/l. De ATP-bepaling wordt gebruikt als maat voor de concentratie actieve biomassa in leidingwater en van de biofilms. De ATP-concentratie van de biofilm wordt weergegeven in pg ATP/cm², terwijl de concentratie van drinkwater en van de biofilm op het sediment wordt weergegeven in ng/l. De ATP-analyse is uitgevoerd conform KWR-huisvoorschrift LMB-002.

AOC-P17/Nox

Het gemakkelijk assimileerbare organisch koolstof (AOC) gehalte werd bepaald door het uitvoeren van groeimetingen met twee bacteriën, *Pseudomonas fluorescens* stam P17 en *Spirillum* stam NOX, in gepasteuriseerde monsters van het water in AOC-vrije kolven. Vervolgens werd een oplossing van fosfaat en nitraat toegevoegd. Stam P17 groeit op carbonzuren, aminozuren, laagmoleculaire koolhydraten, en aromatische verbindingen. Stam NOX kan alleen een aantal carbonzuren benutten die niet door stam P17 worden opgenomen. Het AOC-P17/Nox-gehalte van het water werd berekend uit de maximum kolonievormende eenheden (kve) van beide stammen die werden bereikt. Hierbij werd gebruik gemaakt van de opbrengstfactoren van stam P17 en NOX op acetaat. Het AOC-P17/Nox-gehalte werd uitgedrukt in acetaat-C equivalenten per liter. De analyse is uitgevoerd conform KWR-voorschrift LMB-004.

AOC-A3

De AOC-A3 fractie is een indicatie voor de hoeveelheid afbreekbare biopolymeren in het water (Sack et al, 2011). Deze AOC-A3 concentratie werd bepaald door AOC-vrije kolven te vullen met het te onderzoeken water na pasteurisatie. Vervolgens werden fosfaat, nitraat, stam *Flavobacterium johnsoniae* A3 (die groeit op biopolymeren), en stam *P. fluorescens* P17 (om de makkelijk assimileerbare componenten voor stam A3 weg te halen), toegevoegd aan de kolven. Het AOC-A3-gehalte van het water werd berekend uit de maximum kve van stam A3 die werd bereikt. De maximale groeiopbrengst (in kve ml⁻¹) van stam A3 werd vervolgens gebruikt om de AOC-A3 concentratie uit te rekenen in biop-C/l. De analyse is uitgevoerd conform KWR-voorschrift LMB-075.

BBP

Bij de BPP-test werden monsters van het te onderzoeken water zonder behandeling toegevoegd aan AOC-vrije kolven. Vervolgens werd een oplossing van fosfaat en nitraat toegevoegd. Het watermonster met toevoegingen werd 14 dagen geïncubeerd bij 25°C. Voor de watermonsters genomen na een membraanfiltratiestap (MF concentraat, UF concentraat, LM, MM en HM) werd een ent van 1 mL drinkwater van de betreffende locatie toegevoegd om te garanderen dat bacteriën aangepast aan de lage concentraties afbreekbare stoffen bij de start aanwezig zouden zijn. Periodiek (om de twee tot drie dagen) werd de ATP-concentratie van het water bepaald. Op basis van de ATP-metingen in de tijd werden drie parameters bepaald: de maximale biomassa concentratie gedurende de eerste 7 dagen (MBC₇) (voorheen de BP₇), de maximale biomassa groei in de eerste 7 dagen (MBG₇) (voorheen de BP₇-BP₀), en cumulatieve biomassa productiepotentie gedurende de eerste 14 dagen (CBP₁₄) (voorheen de BPC₁₄) (van der Wielen, 2018; van der Wielen et al., 2023). De analyse is uitgevoerd conform KWR-voorschrift LMB-012.

o-fosfaat

KWR Huisvoorschrift LAM-040: Dit voorschrift geeft een methode weer voor de bepaling van het gehalte aan ortho-fosfaat in water met behulp van spectrometrie, conform NEN-EN-ISO 6878. Ammoniummolybdaat vormt in zuur milieu met fosfaationen, antimoonoxyionen en ascorbinezuur een blauwgekleurde verbinding. De extinctie wordt gemeten bij 880 nm. De molaire extinctiecoëfficiënt betrokken op fosfor is in dit geval $2,2 \times 10^3 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{mm})$. Door verhitting met zwavelzuur en kaliumperoxodisulfaat worden andere fosforverbindingen omgezet in orthofosfaationen. Dit voorschrift is van toepassing op alle soorten water met ortho-fosfaat gehalte vanaf $1 \mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$ tot 100 mg P/l .

PHMOC

De concentratie aan deeltjesgebonden en/of hoogmoleculaire organisch koolstof (PHMOC) zijn een maat voor de hoeveelheid moeilijk afbreekbaar organisch materiaal in het water. Deze stoffen werden bepaald door het te onderzoeken water te concentreren met ultrafiltratie, waarna de stoffen aan het concentraat werden bepaald (Hijnen et al., 2015). Honderd liter van het te onderzoeken water werd door een hemoflowdialysefilter van Fresenius Medical Care (molecular weight cut-off van 30 kDa, deeltjes/molecuulgrootte van 2 – 5 nm) geconcentreerd tot $\sim 500 \text{ ml}$. Het gehalte deeltjesgebonden en/of hoogmoleculair organisch koolstof (PHMOC) werd bepaald uit de concentratie totaal organisch koolstof (TOC) dat van het concentraat is gemeten, gecorrigeerd voor de TOC-concentratie die in het ongeconcentreerde water is bepaald en de concentreringsfactor. De TOC-analyse werd daarbij uitgevoerd met de Shimadzu TOC-V analyzer conform KWR-huisvoorschrift LAM-068.

Aeromonas

Detectie van *Aeromonas*-bacteriën met behulp van de kweekmethode is uitgevoerd conform NEN 6263:2009. Voor het kwantificeren van de *Aeromonas*-bacteriën worden de monsters gefiltreerd met behulp van een membraanfilter, geplaatst op Ampicilline Dextrine Agar (ADA), en vervolgens 24 uur geïncubeerd bij 30°C . Kolonies met een kenmerkende morfologie (geel) worden geteld. De *Aeromonas*-analyse is uitgevoerd conform KWR-huisvoorschrift LMB-022.

Legionella

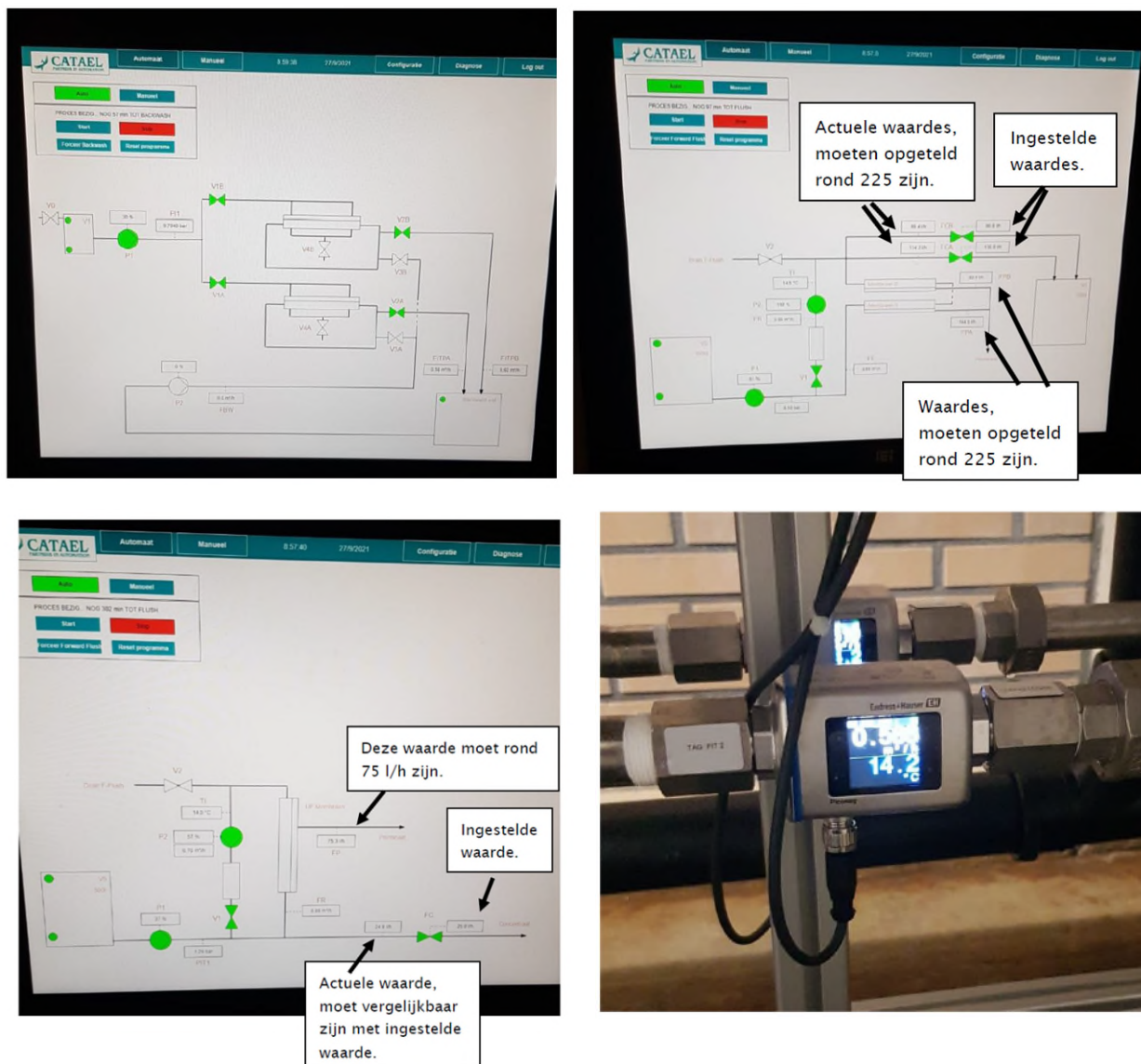
Het aantal legionellabacteriën is bepaald met de kweekmethode op het medium Buffered Charcoal Yeast Extract Agar (BCYE) met en zonder antibiotica conform NEN-EN-ISO 11731:2017. Na 7 dagen incubatie bij 37°C werden typische kolonies geteld. Hierbij kon onderscheid worden gemaakt tussen kolonies van *L. pneumophila* en kolonies van *L. non-pneumophila*. De kweekanalyse is uitgevoerd conform KWR-huisvoorschrift LMB-080.

Bacteriën van de coligroep

Het aantal bacteriën van de coligroep werd bepaald met de kweekmethode volgens LMB-042, conform NEN-EN-ISO 9308-1:2014. Hiervoor is het watermonster gespateld op LSA-platen of het water is gefiltreerd en het filter is op LSA-platen gelegd. Alle platen zijn geïncubeerd bij 36°C . Alle niet-gele kolonies op de LSA-platen zijn geteld en worden als bacterie van de coligroep beschouwd.

IV Monstername fractioneringsopstelling

Foto's maken van de drie schermen van de drie membranen en van de temperatuursensor (Figuur). Voor monstername nagaan of de waardes goed zijn. Mochten de waardes niet goed zijn, contact opnemen voor monstername.



Figuur: IV-1. Te fotograferen schermen van MF (linksboven), NF (rechtsboven), UF (linksonder) en temperatuur (rechtsonder).

Watermonsters in onderstaande volgorde nemen.

MP1 (inkomend water), MP4 (LM-fractie), MP6 (MM-fractie).

- Eerste water weg laten stromen in emmer.
- Watermonsters voor AOC-A3, AOC-P17/Nox, BPP, ICP-MS, TOC en LC-OCD nemen
- RVS tapkraan afbranden (Figuur).
- Eerste water weg laten stromen in emmer.
- Microbiologisch monster nemen en gekoeld bewaren en vervoeren.

MP7. HM-fractie

- Deze tapkraan loopt continue dus hoeft niet te worden afgebrand (Figuur).
- Afvoer afkoppelen.
- Watermonsters voor AOC-A3, AOC-P17/Nox, BPP, ICP-MS, TOC en LC-OCD nemen
- Microbiologisch monster nemen en gekoeld bewaren en vervoeren.
- Afvoer terug koppelen.



Figuur IV-2. Monsternametekranen van MP1 (boven), MP4 (linksonder), MP6 (middenonder), MP7 (rechtsonder).

V Bedrijfsvoering fractioneringsopstelling Spannenburg

V.I Reinwater

Tabel V-1: Logboek voor de opstart van de fractioneringsopstelling bij Spannenburg op 22-sep-2021

Tijd	Actie
08:10	Start spoelen MF (stap 1). Direct richting de afvoer
08:30	Meting EGV + pH om te checken of installatie voldoende is gespoeld
08:35	Start spoelen in productie mode
08:45	Meting EGV + pH om te checken of installatie voldoende is gespoeld BW leiding ook gespoeld
09:30	Start MF (stap 1) in auto mode
09:35	Start spoelen NF (stap 2). Direct richting de afvoer
09:55	Meting EGV + pH om te checken of installatie voldoende is gespoeld
10:10	Start produceren met NF waarbij concentraat wordt afgevoerd
10:30	Meting EGV + pH om te checken of installatie voldoende is gespoeld en start checken hoelang het duurt voordat evenwicht in loop wordt bereikt.
11:20	Start spoelen UF (stap 2). Direct richting de afvoer
11:42	Meting EGV + pH om te checken of installatie voldoende is gespoeld
13:45	Laatste meting EGV+pH NF en UF Drukval over beide NF membranen ongeveer 0,6 bar Drukval over UF membraan 0,7 bar

Tabel V-2. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest.

Week (groeiproefen)	Datum	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)
0	27-9-2021	14,2	0,704	0,58	0,62
1	5-10-2021	14,1	0,782	0,58	0,62
2	12-10-2021	13,6	0,0948	0	0
3	19-10-2021	14,4	0,8849	0,59	0,61
4	26-10-2021	13,8	0,9251	0,6	0,6
5	2-11-2021	13,3	1,0053	0,59	0,6
6	9-11-2021	13,4	1,112	0,6	0,56
7	16-11-2021		0,9037	0,5	0,5
8	23-11-2021	13,4	0,9707	0,5	0,5
9 ^a	30-11-2021				
10	7-12-2021	12,5	1,0958	0,5	0,5
11	14-12-2021	12,9	1,136	0,5	0,5
12	21-12-2021	12,8	1,136	0,51	0,49
13 ^b	28-12-2021				
14	4-1-2022	13,1	0,9227	0,51	0,49
15	11-1-2022		1	0,5	0,5
16 ^c	18-1-2022				

^a Geen bemonstering i.v.m. storing^b Geen bemonstering i.v.m. stilstand fractioneringsopstelling^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

Tabel V-3. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest. Een deel van deze resultaten is gevisualiseerd in Figuur 3-1.

Week (groeiproeven)	Datum	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
0	27-9-2021		6,59	448,8	223,6	225,2	50,18	14,25	2,16	2.01
1	5-10-2021	14,3	7,36	422,4	197,4	225	53,27	14,24	1,93	2.14
2	12-10-2021	13,7	7,72	446,9	222,2	224,7	50,28	14,22	1,84	2.01
3	19-10-2021	14,2	7,52	448	222,7	225,3	50,29	14,26	1,90	2.01
4	26-10-2021	13,6	8,03	225,7	1,5	224,2	99,34	14,19	1,77	150.47
5	2-11-2021	13,5	9,36	443,8	218,1	225,7	50,86	14,28	1,53	2.03
6	9-11-2021	13,8	10,37	392,5	168,2	224,3	57,15	14,20	1,37	2.33
7	16-11-2021	13,3	6,67	294,8	144,7	150,1	50,92	9,50	1,42	2.04
8	23-11-2021	13,4	7,21	298	147,6	150,4	50,47	9,52	1,32	2.02
9 ^a	30-11-2021									
10	7-12-2021	12,5	8,25	179,7	30,4	149,3	83,08	9,45	1,15	5.91
11	14-12-2021	13,1	8,12	301,1	151,1	150	49,82	9,49	1,17	1.99
12	21-12-2021	12,8	2,12	149,7	0	149,7	100,00	9,47	4,47	
13 ^b	28-12-2021									
14	4-1-2022	12,7	2,06	296,5	146,5	150	50,59	9,49	4,61	2.02
15	11-1-2022	11,9	2,11	300,3	150,3	150	49,95	9,49	4,50	2.00
16 ^c	18-1-2022									

^a Geen bemonstering i.v.m. storing

^b Geen bemonstering i.v.m. stilstand fractioneringsopstelling

^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

Tabel V-4. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest. Een deel van deze resultaten is gevisualiseerd in Figuur 3-2.

Week (groeiproeven)	Datum	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
0	27-9-2021	14	1.29	100.1	24.8	75.3	75.22	26.15	20.27	4.04
1	5-10-2021	13.4	1.31	99.9	24.8	75.1	75.18	26.08	19.91	4.03
2	12-10-2021	13.2	1.31	99.7	24.6	75.1	75.33	26.08	19.91	4.05
3	19-10-2021	13.4	1.32	99.1	24.2	74.9	75.58	26.01	19.70	4.10
4	26-10-2021	12.8	1.34	99.8	24.9	74.9	75.05	26.01	19.41	4.01
5	2-11-2021	12.9	1.34	100	24.8	75.2	75.20	26.11	19.49	4.03
6	9-11-2021	12.8	1.35	99.6	24.3	75.3	75.60	26.15	19.37	4.10
7	16-11-2021	12	1.16	79.5	19.4	60.1	75.60	20.87	17.99	4.10
8	23-11-2021	12.1	1.16	79.3	19.3	60	75.66	20.83	17.96	4.11
9 ^a	30-11-2021									
10	7-12-2021	11	1.18	79.1	19.3	59.8	75.60	20.76	17.60	4.10
11	14-12-2021	11.9	1.15	79.6	19.3	60.3	75.75	20.94	18.21	4.12
12	21-12-2021	11.4	1.29	53.7	0	53.7	100.00	18.65	14.45	
13 ^b	28-12-2021									
14	4-1-2022	11.6	1.16	80	20.1	59.9	74.88	20.80	17.93	3.98
15	11-1-2022	10.7	1.2	80.1	20.1	60	74.91	20.83	17.36	3.99
16 ^c	18-1-2022									

^a Geen bemonstering i.v.m. storing

^b Geen bemonstering i.v.m. stilstand fractioneringsopstelling

^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

V.II Voorbehandeld ruwwater

Tabel V-5. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Spannenburg tijdens voorbehandeld ruwwater test 31 januari en 1 februari 2022.

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)	Opmerkingen
31-1-2022	12:54		0,97	0,5		Start MF (I)
31-1-2022	13:55					Start NF (II)
31-1-2022	14:30		1,00	0,5	0,49	
31-1-2022	14:37		1,01	0,5	0,5	
31-1-2022	15:18		0,95	0,5	0,5	Start UF (III) en na eerste BW MF
31-1-2022	16:15		0,97	0,5	0,5	Data NF niet goed af te lezen op foto
31-1-2022	16:20		0,93	0,5	0,49	Na BW
1-2-2022	09:02		0,95	0,5	0,49	
1-2-2022	10:34	12,7	0,91	0,52	0,48	Monstername voeding en concentraat UF
1-2-2022	10:47					Monstername permeaat UF
1-2-2022	11:00					Monstername product 0,2 µm (voeding NF)
1-2-2022	11:10					Monstername concentraat NF (voeding UF) gevolgd door monstername permeaat NF
1-2-2022	11:46		0,91	0,52	0,48	Einde test

Tabel V-6. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Spannenburg tijdens voorbehandeld ruwwater test 31 januari en 1 februari 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
31-1-2022	12:54									
31-1-2022	13:55	11,4	2,12	296,6	146	150,6	49,2	9,6	4,5	2,0
31-1-2022	14:30									
31-1-2022	14:37									
31-1-2022	15:18	12	2,11	297,1	147,3	149,8	49,6	9,7	4,6	2,0
31-1-2022	16:15									
31-1-2022	16:20									
1-2-2022	09:02	12,1	2,09	300,1	150,1	150	50,0	9,9	4,7	2,0
1-2-2022	10:34									
1-2-2022	10:47									
1-2-2022	11:00	12,1	2,09	299	148,8	150,2	49,8	9,8	4,7	2,0

1-2-2022	11:10	12,1	2,1	299,3	149	150,3	49,8	9,8	4,7	2,0
1-2-2022	11:46	12,1	2,09	299,3	149,2	150,1	49,8	9,8	4,7	2,0

Tabel V-7. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Spannenburg tijdens voorbehandeld ruwwater test 31 januari en 1 februari 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
31-1-2022	12:54									
31-1-2022	13:55									
31-1-2022	14:30									
31-1-2022	14:37									
31-1-2022	15:18	9,2	1,22	90,2	29,9	60,3	66,9	20,9	17,2	3,0
31-1-2022	16:15	10,5	1,18	79,6	19,6	60,0	75,4	20,8	17,7	4,1
31-1-2022	16:20			0						
1-2-2022	09:02	10,9	1,19	79,6	19,6	60	75,4	20,8	17,5	4,1
1-2-2022	10:34	10,9	1,19	80,1	20	60,1	75,0	20,9	17,5	4,0
1-2-2022	10:47	10,9	1,19	80	19,9	60,1	75,1	20,9	17,5	4,0
1-2-2022	11:00			0						
1-2-2022	11:10	10,8	1,19	79	19,1	59,9	75,8	20,8	17,5	4,1
1-2-2022	11:46	10,7	1,19	78,2	18,2	60	76,7	20,8	17,5	4,3

Tabel V-8. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Spannenburg tijdens monsternamen voorbehandeld ruwwater test 1 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)
1-3-2022	09:30		0,6347	0,50	0,51
1-3-2022	10:00		0,6298	0,50	0,51
1-3-2022	10:00				
1-3-2022	10:04				
1-3-2022	10:53				
1-3-2022	11:42				
1-3-2022	11:51		0,6354	0,50	0,50

Tabel V-9. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Spannenburg tijdens monsternamen voorbehandeld ruwwater test 1 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
1-3-2022	09:30									
1-3-2022	10:00									
1-3-2022	10:00	11,9	2,08	298,4	148,8	149,6	49,9	9,8	4,7	2,0
1-3-2022	10:04									
1-3-2022	10:53	11,9	2,09	298,8	148,9	149,9	49,8	9,8	4,7	2,0
1-3-2022	11:42									
1-3-2022	11:51									

Tabel V-10. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Spannenburg tijdens inlaattest monsternamen voorbehandeld ruwwater test 1 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
1-3-2022	09:30									
1-3-2022	10:00									
1-3-2022	10:00									
1-3-2022	10:04	10,7		79,6	19,6	60,0	75,4	20,8		4,1
1-3-2022	10:53									
1-3-2022	11:42	10,6	1,35	79,7	19,5	60,2	75,5	20,9	15,5	4,1
1-3-2022	11:51									

Tabel V-11. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Spannenburg tijdens monsternamen voorbehandeld ruwwater test 29 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)
29-3-2022	08:09				
29-3-2022	08:30	12,9	0,6267	0,49	0,50
29-3-2022	08:36				
29-3-2022	08:59				

Tabel V-12. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Spannenburg tijdens monsternamen voorbehandeld ruwwater test 29 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² ·h)	Permeabiliteit (L/m ² ·h/bar)	VCF
29-3-2022	08:09	12,4	2,06	299,6	149,30	150,3	49,8	9,8	4,8	2,0
29-3-2022	08:30									
29-3-2022	08:36	12,4	2,06	299,6	149,80	149,8	50,0	9,9	4,8	2,0
29-3-2022	08:59									

Tabel V-13. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Spannenburg tijdens inlaattest monsternamen voorbehandeld ruwwater test 29 maart 2022

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² ·h)	Permeabiliteit (L/m ² ·h/bar)	VCF
29-3-2022	08:09									
29-3-2022	08:30									
29-3-2022	08:36									
29-3-2022	08:59	11,5	1,19	79,6	19,5	60,1	75,5	20,9	17,5	4,1

VI Bedrijfsvoering fractioneringsopstelling Andijk

VI.I Reinwater

Tabel VI-1 Logboek reinwatertest Andijk

Datum	tijd	Actie
13-6-2022	15:45	Start spoelen MF (stap 1). Direct richting de afvoer
	16:30	MF uitgezet
14-6-2022	10:00	Start MF (stap 1) in auto mode Opstart rest installaties (eerst spoelen). Checken pH en EGV + meten drukval (waar mogelijk)
	13:00	Gehele installatie is opgestart
16-6-2022	10:00	Installatie werkt prima. MF lijkt ligt te vervuilen (aanpassen BW frequentie)
	10:45	BW frequentie MF 1x per 30 minuten
20-6-2022	09:30	druk MF-1 2,27 bar . Extra BW uitgevoerd (richting 1,77 bar). Daarna monsternamen
	10:00	BW debiet (3 m3/uur), duur (90 sec) tijd (1x per 20 min) aangepast Druk blijft tussen 1,5 en 1,75 bar Handmatige BW uitgevoerd (1 min, 4,3 m3/uur (P2 100%) druk terug richting 1,0 bar Handmatige BW uitgevoerd (30 seconde, 4,3 m3/uur (P2 100%) druk terug richting 0,88 bar NF en UF Installaties een half uur stil gezet
	12:15	start alle installaties. BW debiet (3 m3/uur), duur (90 sec) tijd (1x per 20 min)
28-6-2022		druk BW gemeten MF-I gestart BW debiet (3 m3/uur), duur (45 sec) tijd (1x per 45 min) druk tijd BW (3,0 m3/uur) = 2,65 M1 en 2,69 M2
	10:25	start NF-II gevolgen Forward Flush direct na BW getest. Geen probleem vaten worden op niveau gebracht voor volgende BW
	11:00	start UF-III
5-7-2022	09:00	MF opgestart voedingsdruk afgenomen van 1,77 bar naar 1,39 bar door stilstaand NF en UF vergelijkbaar met voor de start
	09:15	Alle tanks leeg laten lopen m.b.v. BW en FF MF, FF NF en FF
	09:45	Vat 1 gevuld met drinkwater. Zodra Laag Niveau (LN) lampjes groen is wordt de UF automatisch opgestart BW dient handmatig te worden uitgevoerd en de filtratie worden vervolgens ook handmatig uitgevoerd Auto Fil-BW(P2 75% 1min A gevolgd door 1 min B)-Hand Fil (P1 40%) - Hand BW net zo lang tot er voldoende water in tank zit voor automatische BW Let op tijdens filtratie mode zal de druk niet toenemen maar het productiedebiet afnemen Na 4de filtratiestap (voor BW) is de NF gestart in auto mode Nadat de NF over de juiste condities draait (na ongeveer 4 minuten) wordt er eerst een handmatige FF uitgevoerd (5 min, 3 m3/uur: P1=60%) daarna wordt de NF weer in auto mode opgestart

11-7-2022	12:30	Installaties gestopt en vaten leeggemaakt en weggezet
	07:59	Aanvoer reinwater open
	08:03	Start MF-I
	08:18	einde eerst filtratie start manuele BW
		manuele filtratie (P=40% begin Pv=1,36 bar debiet A= 0,57 en B = 0,67 m3/uur)
	08:54	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW))
	09:00	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	09:05	start NF productie
	10:05	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:40	start UF
	10:43	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:50	start UF productie
	11:23	MF in auto-mode
18-7-2022	14:15	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
	15:00	start leegmaken vaten
	15:50	Alle vaten zijn leeg
	09:01	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW))
	10:11	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:46	start UF
	10:49	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:55	start UF productie
	11:31	MF P1 na 45% gezet, FPA=0,58 m3/uur en FPB=0,68 m3/uur
	12:05	MF in auto-mode
	14:00	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
	08:00	Start MF-I, water heeft behoorlijk H2S luchtje, anaeroob? Pomp op 42%, druk na 15 min ca 1,55 bar
	08:52	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW)), na 5 min FF start om 9:03
25-7-2022	10:00	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:35	start UF
	10:40	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:45	start UF productie
	11:33	MF in auto-mode
	13:50	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
	14:15	gestopt
1-8-2022	08:35	start NF-II
	08:42	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	08:47	start NF productie
	08:47	P1 MF op 45% gezet
	09:55	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:33	start UF
	10:37	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:42	start UF productie
	10:50	MF in auto-mode

	13:45	Start Monsternamen MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
8-8-2022	08:40	Start derde filtratie MF; pomp op 45%
	08:55	start NF-II
	09:01	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	09:08	start NF productie
	10:15	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:23	MF in auto-mode
	10:50	start UF
	10:54	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	11:00	start UF productie
	13:45	Start Monsternamen
	14:00	MP1 -> MP7 -> MP6 -> MP4
22-8-2022	08:55	Start MF
	08:27	pomp op 45%
	09:47	start NF-II (tijdens 3de filtratie MF)
	09:55	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	10:00	start NF productie
	11:00	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	11:22	MF in auto-mode
	11:35	start UF
	11:38	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	11:43	start UF productie
	14:45	Start Monsternamen MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1 Installatie laten doordraaien gedurende de nacht
	15:03	voedingsdruk MF 13 min voor BW 1,25 bar voedingsdruk MF 30 seconde voor BW 1,38 bar
23-8-2022	08:37	voedingsdruk MF 30 seconde voor BW 2,53 bar
	08:45	voedingsdruk MF 13 min voor BW 2,04 bar Installaties uitgezet en tanks laten leeglopen
29-8-2022	08:05	Start MF
	08:44	pomp op 50%; Pv 2,16 bar
	08:53	BW pomp op 75% (3,3 m3/uur)
	09:10	start NF-II (tijdens 4de filtratie MF)
	09:16	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	09:21	start NF productie
	10:20	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:55	start UF
	10:59	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	11:05	start UF productie
	11:20	MF in auto-mode
	14:25	Start Monsternamen MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
5-9-2022	08:35	pomp op 50%; Pv 2,16 bar

	08:50	BW pomp op 75% (3,3 m3/uur)
	09:07	start NF-II (tijdens 3de filtratie MF)
	09:15	Forward Flush NF (5 minuten; 3 m3/uur)
	09:20	start NF productie
	10:20	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:55	start UF
	11:00	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	11:05	start UF productie
	11:14	MF in auto-mode
	14:20	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
19-9-2022	08:00	Start MF-I, water heeft behoorlijk H2S luchtje, anaeroob? Pomp op 45%, druk na 15 min ca 1,65 bar
	09:05	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW)), na 5 min FF start om 9:15
	10:25	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	11:00	start UF
	11:05	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	11:10	start UF productie
	10:50	MF in auto-mode
	14:00	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
	14:45	gestopt
26-9-2022	08:00	Start MF-I, water heeft behoorlijk H2S luchtje, anaeroob? Pomp op 45%, druk na 15 min ca 1,72 bar
	08:55	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW)), na 5 min FF start om 9:05
	10:00	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:35	start UF
	10:40	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:45	start UF productie
	10:55	MF in auto-mode
	13:45	Start Monstername grote monsterneming, andere volgorde (door elkaar)
	15:00	gestopt
3-10-2022	08:00	Start MF-I, water heeft behoorlijk H2S luchtje, anaeroob? Pomp op 45%, druk na 15 min ca 1,74 bar
	08:50	start NF-II (einde derde filtratie MF (voor BW)), na 5 min FF start om 8:55
	09:55	groen licht UF vat (nog 35 minuten productie NF nodig)
	10:30	start UF
	10:35	Forward Flush UF (5 minuten; 1 m3/uur)
	10:40	start UF productie
	11:00	MF in auto-mode
	13:40	Start Monstername MP7 -> MP6 -> MP4 -> MP1
	15:00	gestopt

Tabel VI-2. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest.

Week (groeiproeven)	Datum	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)
0	20-6-2022		1,776	0,54	0,46
1	27-6-2022	20,9	1,3833	0,51	0,49
2 ^a	4-7-2022				
3	11-7-2022	21	1,3307	0,51	0,59
4	18-7-2022	21,6	1,3993	0,5	0,58
5	25-7-2022	22,4	1,5986	0,52	0,58
6	1-8-2022	21,7	1,4268	0,49	0,6
7	8-8-2022	21,9	1,1657	0,43	0,67
8	15-8-2022	27,6	1,2291	0,43	0,67
9	22-8-2022	23,5	1,3305	0,44	0,66
10	29-8-2022	22,6	2,112	0,47	0,63
11	5-9-2022	21,6	2,192	0,47	0,62
12 ^b	12-9-2022				
13	19-9-2022	18,8	1,141	0,55	0,38
14	26-9-2022	17,6	1,6303	0,65	0,45
15	3-10-2022	16,5	1,7066	0,64	0,45
16 ^c	10-10-2022				

^a Geen bemonstering i.v.m. storing^b Geen bemonstering^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

Tabel VI-3. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest. Een deel van deze resultaten is gevisualiseerd in Figuur 5-1.

Week (groeiproeven)	Datum	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
0	20-6-2022	19.1	3	303.8	154.6	149.2	49.11	9.82	3.27	1.97
1	27-6-2022	20.9	2.85	298.6	148.6	150	50.23	9.87	3.46	2.01
2 ^a	4-7-2022									
3	11-7-2022	20.8	2.86	299.9	149.8	150.1	50.05	9.88	3.45	2.00
4	18-7-2022	21.6	2.81	302.2	152.1	150.1	49.67	9.88	3.51	1.99
5	25-7-2022	22.4	2.72	297.2	147.3	149.9	50.44	9.86	3.63	2.02
6	1-8-2022	21.5	2.78	297.7	147.4	150.3	50.49	9.89	3.56	2.02
7	8-8-2022	22	2.75	298.4	148.4	150	50.27	9.87	3.59	2.01
8	15-8-2022	23.6	2.63	298.2	148.2	150	50.30	9.87	3.75	2.01
9	22-8-2022	23.3	2.67	296.6	146.8	149.8	50.51	9.86	3.69	2.02
10	29-8-2022	22.6	2.72	297.8	147.9	149.9	50.34	9.86	3.63	2.01
11	5-9-2022	21.6	2.77	297.2	147.2	150	50.47	9.87	3.56	2.02
12 ^b	12-9-2022									
13	19-9-2022	18.1	3.05	296.7	147.2	149.5	50.39	9.84	3.22	2.02
14	26-9-2022	17.4	3.1	301.2	151.3	149.9	49.77	9.86	3.18	1.99
15	3-10-2022	16.3	3.22	296.7	146.7	150	50.56	9.87	3.06	2.02
16 ^c	10-10-2022									

^a Geen bemonstering i.v.m. storing

^b Geen bemonstering

^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

Tabel VI-4. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Spannenburg tijdens reinwatertest. Een deel van deze resultaten is gevisualiseerd in Figuur 5-2.

Week (groeiproeven)	Datum	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
0	20-6-2022	18.1	0.87	79.7	19.6	60.1	75.41	20.87	23.99	4.07
1	27-6-2022	20.5	0.81	78.6	18.7	59.9	76.21	20.80	25.68	4.20
2	4-7-2022									
3	11-7-2022	20	0.84	79.3	19.2	60.1	75.79	20.87	24.84	4.13
4	18-7-2022	21	0.82	79.7	19.7	60	75.28	20.83	25.41	4.05
5	25-7-2022	21.7	0.84	79.9	19.9	60	75.09	20.83	24.80	4.02
6	1-8-2022	20.3	0.87	79.2	19.3	59.9	75.63	20.80	23.91	4.10
7	8-8-2022	21.1	0.85	79.2	19.2	60	75.76	20.83	24.51	4.13
8	15-8-2022	23.1	0.82	79.6	19.8	59.8	75.13	20.76	25.32	4.02
9	22-8-2022	22.5	0.85	79.1	19.1	60	75.85	20.83	24.51	4.14
10	29-8-2022	21.4	0.9	80	20	60	75.00	20.83	23.15	4.00
11	5-9-2022	20.7	0.88	79.8	19.8	60	75.19	20.83	23.67	4.03
12	12-9-2022									
13	19-9-2022	17	0.96	79.2	19.3	59.9	75.63	20.80	21.67	4.10
14	26-9-2022	16.6	0.94	80.3	20.3	60	74.72	20.83	22.16	3.96
15	3-10-2022	15.5	0.97	80.4	20.2	60.2	74.88	20.90	21.55	3.98
16 ^c	10-10-2022									

^a Geen bemonstering i.v.m. storing

^b Geen bemonstering

^c Geen bemonstering i.v.m. laatste week groeiproef, verversing groeiproef is niet nodig

VI.II Voorbehandeld ruwwater

Tabel VI-5 Logboek voorbehandeld ruwwater testen Andijk december 2022 – januari 2023

6-12-2022

Testen worden uitgevoerd met dezelfde membranen als gebruikt tijdens de drinkwatertest in Andijk (juni - oktober 2022)									
Stap	Membraan								
	1 4" Pentair S30 FSFC PSU module								
	2 Microdyn Nadir TRISEP PLT 4040-TS40-31 module								
	3 Synder ST2-2540HM module								
Tijd (uur)									
0	07:20	John start productie drinkwater en inlaatwater							
00:25	07:45	MF-I	start	1 m3/uur	productie MF	0,8 m3	BW	100	Liter per BW
MF handmatige bedreven									
01:12	08:32	Groene lamp NF installatie							
01:50	09:35	NF-II	start	0,15 m3/uur	concentraat NF	0,15	FF NF	250	Liter per FF
1x Handmatige FF bij start installatie									
02:00	09:45	Installatie draait onder de te bemonsteren condities					FF NF	85	Liter per FF
1x Handmatige FF bij start installatie									
03:20	11:05	UF-III	start	0,08 m3/uur					
03:40	11:25	Installatie draait onder de te bemonsteren condities							
Geen Handmatige FF NF en UF na 4 uur (om te zorgen dat het proces niet wordt verstoort)									
06:40	14:25	Monstername							
08:05	15:50	start leegmaken tanks							
08:40	16:25	Klaar							

10-1-2023

Testen worden uitgevoerd met dezelfde membranen als gebruikt tijdens de drinkwatertest in Andijk (juni - oktober 2022)									
Stap	Membraan								
	1 4" Pentair S30 FSFC PSU module								
	2 Microdyn Nadir TRISEP PLT 4040-TS40-31 module								
	3 Synder ST2-2540HM module								
Tijd (uur)									
0	07:15	John start productie drinkwater en inlaatwater							
00:25	07:45	MF-I	start	1 m3/uur	productie MF	0,8 m3	BW	100	Liter per BW
MF handmatige bedreven zie MF spreadsheet voor gegevens									
01:35	08:55	Groene lamp NF installatie							
02:15	09:35	NF-II	start	0,15 m3/uur	concentraat NF	0,15	FF NF	250	Liter per FF
1x Handmatige FF bij start installatie									
02:30	09:50	Installatie draait onder de te bemonsteren condities					FF NF	85	Liter per FF
1x Handmatige FF bij start installatie									
03:27	10:47	Groene lamp UF installatie							
04:05	11:25	UF-III	start	0,08 m3/uur					
04:15	11:35	Installatie draait onder de te bemonsteren condities							
Geen Handmatige FF NF en UF na 4 uur (om te zorgen dat het proces niet wordt verstoort)									
07:15	14:35	Monstername							
08:05	15:25	start leegmaken tanks							
08:40	16:00	Klaar							

31-1-2023																			
Automatische filtratiemodus MF (tot 2,9 bar)																			
Handmatige BW (2x 0,5 min)																			
Tijd	Actie	duur	debiet		Temp														
			ingeteld	gemeten															
		min:sec	m3/h		OC														
07:45	start																		
	Fil	04:45	0,8	0,7	7,7														
	BW	P=100% (max 2 m3/uur)																	
	Fil	04:00																	
	BW		geschatte productie = 350 L/uur																
	etc																		
08:45	Fil	03:34																	
	BW																		
08:50	Fil	03:30	BW naar 30 sec aangepast			na 1 min	0,42	na2 min	0,63	na 3 min	0,71	m3/h							
	BW						1,15	bar	2,05	bar	2,68	bar							
	Fil	03:20				na 1 min	0,44	na2 min	0,63	na 3 min	0,71								
08:57	Groene lampje NF brand						1,24	bar	2,21	bar	2,82	bar							
10:00	BW	1																	
10:30	Fil	03:10				na 1 min	0,42	na2 min	0,62	na 3 min	0,69	m3/h							
	BW						1,3	bar	2,2	bar	2,9	bar							
11:05	Fil	03:00																	
	BW																		
13:00	Fil	02:50				na 1 min	0,39	na2 min	0,6	na 2,5 min	0,65	m3/h							
	BW						1,4	bar	2,4	bar	2,8	bar							
14:15	stroom is eraf gegaan																		
14:30	alles weer opgestart, monsterneming																		
14:30	vanaf hier monsters genomen na stabilisatie tot ca 15:45, NF concentraat weer op 60/90 en laten stabiliseren																		
16:15	alles leeg gemaakt en naar huis																		

Tabel VI-6. Parameters van bedrijfsvoering van het MF membraan in Andijk tijdens voorbehandeld ruwwater test 6 december 2022 en 10 en 31 januari 2023

Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	Voedingsdruk (bar)	FA (L/h)	FB (L/h)	Opmerkingen
Eerste test						
6-12-2022	11:25					
6-12-2022	11:33		1,9561	0,41	0,32	
6-12-2022	14:47		2,13	0,37	0,30	
Tweede test						
10-1-2023	11:35					
10-1-2023	11:55	10,6	1,52	0,30	0,24	
10-1-2023	14:40	9,1	2,8959	0,38	0,31	start monsternamen (MP1,2,4,5,6,7)
10-1-2023	15:20	9,1	2,9329	0,38	0,31	einde monsternamen (MP3 en 7)
Derde test						
31-1-2023	11:20					
31-1-2023	14:04		0,4407	0,10	0,10	
31-1-2023	14:06		2,9125	0,36	0,29	net voor start monsternamen storing (14:15)

	14:30					alles weer opgestart. vanaf hier monsters genomen na stabilisatie tot ca 15:45, NF concentraat weer op 60/90 en laten stabiliseren
--	-------	--	--	--	--	--

Tabel VI-7. Parameters van bedrijfsvoering van het NF membraan in Andijk tijdens voorbehandeld ruwwater test 6 december 2022 en 10 en 31 januari 2023

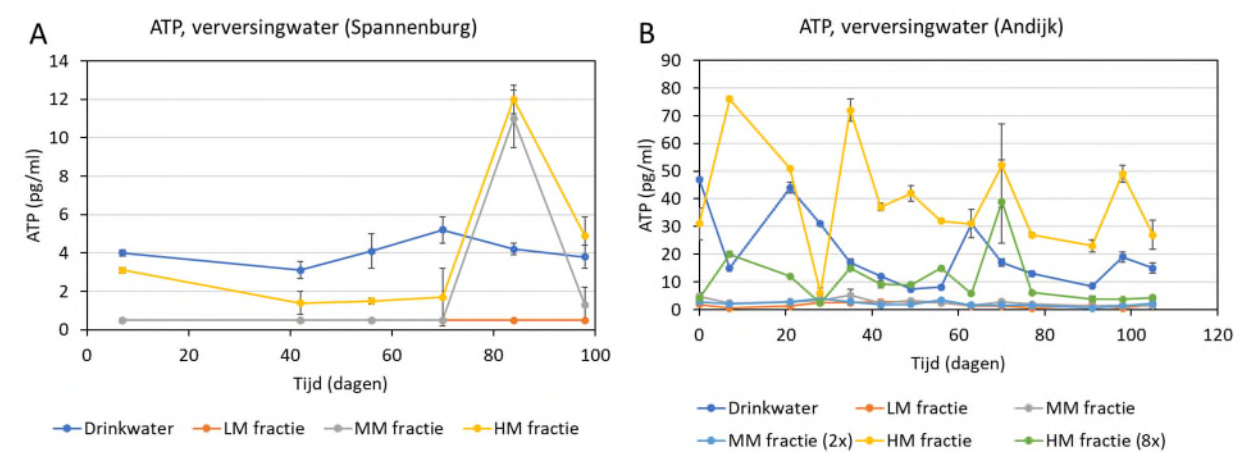
Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
Eerste test										
6-12-2022	11:25									
6-12-2022	11:33	9,6	4,03	296,7	146,60	150,1	50,6	9,3	2,3	2,0
6-12-2022	14:47	9,7	4,02	297,2	147,50	149,7	50,4	9,3	2,3	2,0
Tweede test										
10-1-2023	11:35									
10-1-2023	11:55	9,6	4,03	297,8	147,90	149,9	50,3	9,4	2,3	2,0
10-1-2023	14:40	9,7	4,03	298	147,70	150,3	50,4	9,3	2,3	2,0
10-1-2023	15:20	9,7	4,03	299,2	148,80	150,4	50,3	9,4	2,3	2,0
Derde test										
31-1-2023	11:20									
31-1-2023	14:04									
31-1-2023	14:06	8,6	3,3	215,8	106,00	109,8	50,9	6,7	2,0	2,0

Tabel VI-8. Parameters van bedrijfsvoering van het UF membraan in Andijk tijdens voorbehandeld ruwwater test 6 december 2022 en 10 en 31 januari 2023

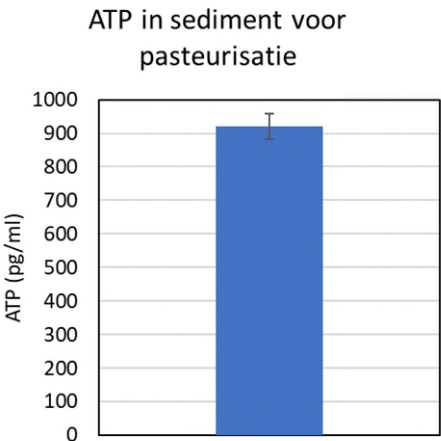
Datum	Tijd	Temperatuur (°C)	bar	Voeding (L/h)	Concentraat (L/h)	Permeaat (L/h)	Recovery (%)	Flux (L/m ² .h)	Permeabiliteit (L/m ² .h/bar)	VCF
Eerste test										
6-12-2022	11:25									
6-12-2022	11:33	10,5	1,06	79,4	19,5	59,9	75,4	20,8	19,6	4,1
6-12-2022	14:47	10,8	1,1	79,2	19,2	60	75,8	20,8	18,9	4,1
Tweede test										
10-1-2023	11:35									
10-1-2023	11:55	10,5	1,06	79,6	19,6	60,0	75,4	20,8	19,7	4,1
10-1-2023	14:40	10,7	1,07	79,6	19,2	60,4	75,9	21,0	19,6	4,1
10-1-2023	15:20	10,7	1,09	79,7	19,7	60	75,3	20,8	19,1	4,0

Derde test										
31-1-2023	11:20									
31-1-2023	14:04									
31-1-2023	14:06	8,9	1,15	79,8	19,7	60,1	75,3	20,9	18,1	4,1

VII ATP-verversingswater en sediment



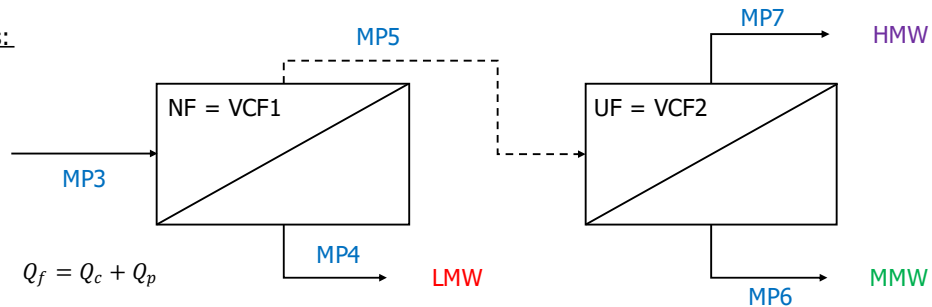
Figuur VII-1: ATP-metingen van verversingwater voor de groeiproeven van Spannenburg (A) en Andijk (B)



Figuur VII-2: ATP van sediment toegevoegd aan groeiproef met water van Spannenburg

VIII Massabalansen

General equations:



Volume balance: $Q_f = Q_c + Q_p$

Mass balance: $C_f Q_f = C_c Q_c + C_p Q_p$ [mg/h]

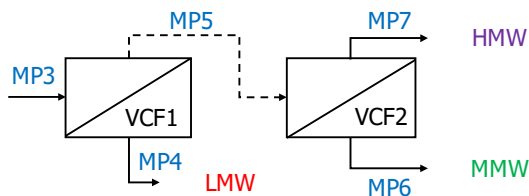
$$\Leftrightarrow C_f = C_c \frac{Q_c}{Q_f} + C_p \frac{Q_p}{Q_f}$$

$$\Leftrightarrow C_f = C_c (1 - S) + C_p S$$

$$\Leftrightarrow C_f = \frac{C_c}{VCF} + C_p \left(1 - \frac{1}{VCF}\right)$$

Recovery $S = \frac{Q_p}{Q_f} \Leftrightarrow S = \frac{Q_f - Q_c}{Q_f} \Leftrightarrow S = 1 - \frac{Q_c}{Q_f}$

VCF $VCF = \frac{Q_f}{Q_c} \Leftrightarrow VCF = \frac{1}{1 - S}$



$$C_f = \frac{C_c}{VCF} + C_p \left(1 - \frac{1}{VCF}\right)$$

Nanofiltration

Ultrafiltration

$$AOC_{MP3} = \frac{AOC_{MP5}}{VCF1} + AOC_{MP4} \left(1 - \frac{1}{VCF1}\right)$$

$$AOC_{MP5} = \frac{AOC_{MP7}}{VCF2} + AOC_{MP6} \left(1 - \frac{1}{VCF2}\right)$$

$$\Leftrightarrow AOC_{MP3} = \frac{AOC_{MP7}}{VCF1 * VCF2} + \frac{AOC_{MP6}}{VCF1} * \left(1 - \frac{1}{VCF2}\right) + AOC_{MP4} * \left(1 - \frac{1}{VCF1}\right)$$

From mass balance:

$$AOC(MP3)_{tE} = \overset{\text{Term 1}}{\boxed{\frac{AOC(MP7)}{VCF1 * VCF2}}} + \overset{\text{Term 2}}{\boxed{\frac{AOC(MP6)}{VCF1} * \left(1 - \frac{1}{VCF2}\right)}} + \overset{\text{Term 3}}{\boxed{AOC(MP4) * \left(1 - \frac{1}{VCF1}\right)}}$$

Rearranging leads to:

$$AOC(MP3)_{tP} = \overset{\text{Term 1}}{\boxed{\frac{AOC(MP7) - AOC(MP6)}{VCF1 * VCF2}}} + \overset{\text{Term 2}}{\boxed{\frac{AOC(MP6) - AOC(MP4)}{VCF1}}} + \overset{\text{Term 3}}{\boxed{AOC(MP4)}}$$