

BTO 2006.004  
augustus 2006

# Technische haalbaarheid van Q21-kwaliteit voor drinkwater uit anoxisch grondwater

Proefinstallatie-onderzoek ultra- en nanofiltratie  
bij productiebedrijf Spannenburg



**BTO 2006.004**  
augustus 2006

# Technische haalbaarheid van Q21-kwaliteit voor drinkwater uit anoxisch grondwater

Proefinstallatie-onderzoek ultra- en nanofiltratie  
bij productiebedrijf Spannenburg

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

**Kiwa Water Research**  
Groningehaven 7  
Postbus 1072  
3430 BB Nieuwegein

Tel. (030) 606 95 11  
Fax (030) 606 11 65  
[www.kiwawaterresearch.eu](http://www.kiwawaterresearch.eu)

# Colofon

**Titel**

Technische haalbaarheid van Q21-kwaliteit voor  
drinkwater uit anoxisch grondwater

**Projectnummer**

11.1511.080 - 11.1512.100 - 11.1513.100

**Projectmanagers**

Erwin Beerendonk / Wiel Senden

**Opdrachtgever**

Bedrijfstak Waterleidingbedrijven

**Kwaliteitsborgers**

Maarten Nederlof, Jan Hofman

**Auteurs**

Erwin Beerendonk, Emile Cornelissen, Danny  
Harmsen, Hans Vrouwenvelder, Arne Verliefde,  
Dick van der Kooij

Dit rapport is selectief verspreid onder medewerkers van BTO-participanten en is openbaar.

# Voorwoord

Het proefinstallatie-onderzoek bij productiebedrijf Spannenburg (Vitens Firesland) is in het kader van het BTO-programma uitgevoerd door Kiwa Water Research in samenwerking met Vitens. Medewerkers van Vitens die betrokken waren bij dit onderzoek waren Walter van der Meer, Simon Bakker, Jacques van Paassen, Geo Bakker, Peter Sjoerdsma, Peter Lansberg, Age de Groot, de procesoperators te Spannenburg en het Vitens laboratorium.



# Samenvatting

Het drinkwater in Nederland is van hoge kwaliteit. Het beleid van de waterbedrijven is gericht op handhaving van deze kwaliteit en zo nodig het realiseren van verdere verbetering met als doel het behouden van het vertrouwen van de consument in de drinkwatervoorziening. Verbetering van de kwaliteit van het drinkwater is nodig voor wat betreft de concentratie van organische microverontreinigingen en het optreden van kwaliteitsvermindering in het distributienet door nagroei, inclusief groei van *Legionella* en troebelheid. Onderzoek is uitgevoerd om na te gaan in welke mate toepassing van ultrafiltratie en nanofiltratie op rein water bijdraagt aan de verbetering van de genoemde kwaliteitsaspecten. Uit de resultaten van het onderzoek, uitgevoerd bij een productiebedrijf voor de bereiding van drinkwater uit anoxisch grondwater, blijkt dat ultrafiltratie gevolgd door nanofiltratie tot een vergaande verbetering ten aanzien van de aantallen deeltjes, opgeloste (an)organische stoffen en de biologische stabiliteit. Echter, met deze extra behandelingen kunnen niet alle milieuvreemde verbindingen voldoende worden verwijderd en werd nog groei van *Legionella* in een boilerinstallatie waargenomen.

## *Belang*

Vanouds heeft de drinkwatersector de ambitie om een onberispelijke drinkwatervoorziening te verzorgen. Dit houdt in dat 24 uur per dag, 365 dagen per jaar voldoende drinkwater van uitstekende kwaliteit wordt geleverd (Q21-water). Het realiseren van deze ambitie is nodig om het vertrouwen van de consument in de drinkwatervoorziening (d.w.z. de waterbedrijven) te behouden of zelfs te vergroten.

## *Aanpak*

Het onderzoek naar Q21-water richt zich op een drietal kernopbrengsten:

- Verbetering van de bestaande zuivering voor een betere verwijdering van organische microverontreinigingen, verlaging hardheid, verwijdering deeltjes, verwijdering zware metalen, verbeteren biologische stabiliteit, verwijdering natuurlijk organisch materiaal, etc. ;
- Vermijden van kwaliteitsverlies in het distributienet en in de binneninstallatie;
- Verhinderen van groei van *Legionella*, met name in de binneninstallaties.

Toepassing van membraanfiltratie biedt mogelijkheden om de bestaande zuivering te verbeteren, kwaliteitsverlies in het distributienet te vermijden en de groei van *Legionella* in binneninstallaties te verhinderen of te beperken. Daarom is proefinstallatie-onderzoek uitgevoerd met ultra- en nanofiltratie op rein water van productiebedrijf Spannenburg, waarbij drinkwater wordt bereid uit anoxisch grondwater met een hoog gehalte aan organische stof van natuurlijke herkomst. Gedurende een periode van circa 8 maanden is onderzoek verricht naar de effecten van ultra- en nanofiltratie, toegepast op rein water. Dit onderzoek betrof effecten op natuurlijk organisch materiaal, organische microverontreinigingen, biologische stabiliteit en de groei van *Legionella*. Tevens werd onderzoek gedaan naar het optreden van membraanvervuiling, in het bijzonder biofouling van de nanofiltratie-membranen.

### *Resultaten*

Uit de resultaten van het onderzoek blijkt dat toepassing van ultrafiltratie leidde tot een reductie van de aantallen deeltjes, de concentratie van ijzer en een verlaging van de biofilmvormingssnelheid, maar dat opgeloste anorganische en organische stoffen niet werden verwijderd. Nanofiltratatie veroorzaakte wel een verwijdering van opgeloste stoffen en leidde tot een verlaging van de hardheid van het water en van de concentratie opgeloste (an)organische componenten (waaronder kleur). Aanwijzingen zijn verkregen dat ultrafiltratie een verlaging veroorzaakte van de concentratie fosforverbindingen die nodig zijn voor de groei van micro-organismen. De mate van biofilmvorming in een boilerinstallatie gevoed met water na ultra- en nanofiltratatie was 90% lager dan in een boilerinstallatie gevoed met rein water. Deze verlaging ging gepaard met circa 99% reductie van de groei van *Legionella* in de biofilm. Deze bacteriën bleken echter wel in staat om zich bij de lage biofilmconcentratie te vermeerderen. De combinatie van ultra- en nanofiltratatie bleek niet in staat om alle milieuvreemde verbindingen, die werden gedoseerd, voldoende te verwijderen.

Toepassing van ultrafiltratie op rein water resulteerde niet in membraanvervuiling bij de gehanteerde lage belasting, maar dagelijkse (automatische) reiniging bleek noodzakelijk. De nanofiltratatie-membranen vervuilden wel, ondanks de aanvullende toepassing van ultrafiltratie op rein water. Binnen 4 maanden trad biofouling op; zonder voorafgaande ultrafiltratie was de vervuiling echter veel sterker, met meer accumulatie van anorganische stof (ijzer en mangaan). Vervuiling van de nanofiltratatie-membranen door natuurlijk organisch materiaal werd niet waargenomen, ondanks de hoge concentratie van natuurlijk organisch materiaal in het water.

### *Advies*

Met behulp van ultra- en nanofiltratatie kan een wezenlijke verbetering worden gerealiseerd van de kwaliteit van het reine water voor wat betreft deeltjes, biologische stabiliteit en groeipotentie voor *Legionella*, natuurlijk organisch materiaal, organische microverontreinigingen en overige parameters zoals hardheid, zware metalen, etcetera. Realisatie van Q21-waterkwaliteit onder alle omstandigheden bleek echter niet mogelijk met deze processen, terwijl zich hierbij ook operationele problemen als gevolg van membraanvervuiling voordeden. De oplossing van de kwaliteitsproblemen moet worden gezocht in combinaties van verschillende processen, waarbij optimaal functioneren van de afzonderlijke processen mogelijk is. Optimalisatie van de klassieke zuiveringsprocessen, die worden toegepast bij de bereiding van drinkwater uit anoxisch grondwater, is een eerste stap, waarbij ook aandacht nodig is voor het optreden van fosforlimitatie bij biologische processen in filters. Combinaties met geavanceerde fysische technieken kunnen bijdragen aan het realiseren van Q21-water. Toepassing van ultrafiltratie na de klassieke zuivering vermindert de vervuiling van het leidingnet met deeltjes, waaronder biomassa. Een vergaande verwijdering van organische microverontreinigingen, van natuurlijk organisch materiaal en het beperken van biofilmvorming en groei van *Legionella* vergt toepassing van andere fysische processen. Nadere informatie is nodig over de invloed van natuurlijk organisch materiaal op de biofilmvorming en de mate waarin biofilmvorming moet worden beperkt om groei van *Legionella* in leidingwaterinstallaties te verhinderen.

# Afkortingen

<u>Afkorting</u>	<u>Betekenis (eenheid)</u>
AOC	assimileerbaar organische koolstof ( $\mu\text{g C/l}$ )
ATP	adenosinetriphosfaat
AS	antiscalant
BBM	boilerbiofilmmonitor
BFM	biofilmmonitor
BPP	biomassaproductiepotentie ( $\text{ng ATP/l}$ )
BTO	bedrijfstakonderzoek
BVS	biofilmvormingssnelheid ( $\text{pg ATP/cm}^2\cdot\text{d}$ )
CR	chemische reiniging
CvO	College van Opdrachtgevers
DOC	dissolved organic carbon ( $\text{mg/l}$ )
dP	drukval (Pa)
EGV	elektrisch geleidingsvermogen ( $\text{mS/cm}$ )
IEX	ion exchange (ionenwisselaar)
KG25	Koloniegetal bepaald bij 25 °C ( $\text{kve/ml}$ )
KVE	kolonievormende eenheden
NF	nanofiltratie
NOM	natuurlijk organisch materiaal
MTC	mass transfer coefficient ( $\text{m/s}\cdot\text{Pa}$ )
MWCO	molecular weight cut off (Daltons)
Pb	productiebedrijf
RO	reverse osmosis
RVS	roestvast staal
SEC	size exclusion chromatography
TDC	totale directe celtelling (aantal/ml)
TMP	transmembrane pressure (kPa)
UF	ultrafiltratie





# Inhoud

	<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
	<b>Samenvatting</b>	<b>3</b>
	<b>Afkortingen</b>	<b>5</b>
	<b>Inhoud</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>11</b>
1.1	Q21-water	11
1.2	Q21-onderzoek bij pb Spannenburg	13
1.2.1	Aanleiding en doel	13
1.2.2	Opzet onderzoek	13
1.2.3	Deelprojecten	14
1.2.4	Projectopbrengsten	15
1.2.5	Fasering	16
1.3	Onderzoek Vitens	16
<b>2</b>	<b>Experimentele opzet</b>	<b>17</b>
2.1	Opzet Q21 onderzoek pb Spannenburg	17
2.2	Bedrijfsvoering UF	18
2.3	Bedrijfsvoering NF	19
2.4	Metingen en analyses	21
<b>3</b>	<b>Prestaties ultrafiltratie</b>	<b>23</b>
3.1	Inleiding en opzet onderzoek	23
3.2	Ervaringen met de bedrijfsvoering	23
3.2.1	Vervuiling UF-installatie	23
3.3	Watersamenstelling (chemisch en fysisch)	26
3.3.1	Troebelheid rein water Spannenburg	26
3.3.2	Analyses chemische en fysische waterkwaliteit	26
3.4	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	27
<b>4</b>	<b>Prestaties nanofiltratie</b>	<b>29</b>
4.1	Inleiding en opzet onderzoek	29
4.2	Bedrijfsvoering NF-installatie	29
4.3	Membraanprestaties bij recovery van 75%	30
4.3.1	Trap 1 en 2	30
4.3.2	Eerste en laatste elementen in de installatie	33
4.3.3	Zoutpassage	35
4.3.4	Invloed storing UF-installatie op de vervuiling NF-installatie	37

4.4	Membraanprestaties bij recovery van 87%	38
4.4.1	Trap 1 en 2	38
4.4.2	Eerste en laatste elementen in de installatie	42
4.5	Effect op watersamenstelling (chemisch en fysisch)	44
4.6	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	48
<b>5</b>	<b>Biofouling van de NF-membranen</b>	<b>49</b>
5.1	Inleiding	49
5.2	Opzet onderzoek	49
5.2.1	Chronologisch overzicht activiteiten van het onderzoek naar biofouling	49
5.2.2	Analysemethoden	50
5.3	Resultaten	51
5.3.1	Drukverschilmetingen en selectie membranen voor onderzoek	51
5.3.2	Membraanonderzoek na looptijd van 146 dagen (recovery 75%)	52
5.3.3	Membraanonderzoek run 4	56
5.3.4	Zuurstofconsumptie	61
5.4	Relatie biofouling en watersamenstelling	63
5.5	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	64
<b>6</b>	<b>Invloed van membraanfiltratie op de biologische stabiliteit van het water en de groei van <i>Legionella</i>-bacteriën in een boilerinstallatie</b>	<b>67</b>
6.1	Inleiding	67
6.2	Opzet onderzoek	67
6.2.1	Bepaling watersamenstelling en biologische (in)stabiliteit	68
6.2.2	Boilerinstallatie	69
6.3	Resultaten	69
6.3.1	Concentraties van bacteriën in het water	69
6.3.2	Assimileerbare organische koolstof (AOC) en biomassaproductiepotentie (BPP)	70
6.3.3	Biofilmvorming	72
6.4	Biofilmvorming en groei van <i>Legionella</i> in de boilerinstallatie	74
6.5	Discussie	76
6.5.1	Biologische stabiliteit rein water van pb Spannenburg	76
6.5.2	Effect van UF en NF op de biologische stabiliteit	78
6.5.3	Boilerinstallatie	79
6.6	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	80
<b>7</b>	<b>Invloed NOM op membraanfiltratie</b>	<b>83</b>
7.1	Inleiding	83
7.2	Opzet onderzoek	83
7.3	Resultaten NOM-onderzoek	84
7.3.1	Verwijdering van NOM	84
7.3.2	Membraanvervuiling als gevolg van NOM	88
7.4	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	90
<b>8</b>	<b>Verwijdering van organische microverontreinigingen door NF</b>	<b>93</b>

8.1	Inleiding	93
8.2	Opzet onderzoek	93
8.3	NF-retentie model	94
8.4	Resultaten dosering van bestrijdingsmiddelen (november 2004)	96
8.5	Resultaten dosering organische zuren	98
8.6	Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek	100
<b>9</b>	<b>Discussie</b>	<b>103</b>
9.1	Workshop	103
9.1.1	Vitens Productiebedrijf Spannenburg	103
9.1.2	Betekenis onderzoeksresultaten voor pb Spannenburg	103
9.2	Betekenis voor de bedrijfstak	106
9.2.1	Ultrafiltratie	106
9.2.2	Nanofiltratie	106
9.2.3	Betekenis P-limitatie	107
<b>10</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>109</b>
	<b>Literatuur</b>	<b>111</b>
<b>I</b>	<b>Schematische weergave UF-installatie</b>	<b>113</b>
<b>II</b>	<b>Schematische weergave NF-installatie</b>	<b>115</b>
<b>III</b>	<b>Normalisatie UF en NF</b>	<b>117</b>
<b>IV</b>	<b>Informatie over anti-scalant</b>	<b>121</b>
<b>V</b>	<b>Logboek Q21 onderzoek pb Spannenburg</b>	<b>127</b>
<b>VI</b>	<b>Bepaling permeabiliteit UF-membranen</b>	<b>129</b>
<b>VII</b>	<b>Invloed storing op de vervuiling UF-installatie</b>	<b>131</b>
<b>VIII</b>	<b>Laadschema NF-installatie</b>	<b>133</b>
<b>IX</b>	<b>Bepaling osmotische druk met EGV metingen</b>	<b>135</b>
<b>X</b>	<b>Gegevens voor normalisatie NF-installatie</b>	<b>139</b>
<b>XI</b>	<b>Grafieken niet genormaliseerde data NF-installatie RUN 1 en 2</b>	<b>143</b>
<b>XII</b>	<b>Drukvalmetingen NF installatie RUN 1 en 2</b>	<b>145</b>
<b>XIII</b>	<b>Grafieken niet genormaliseerde data NF -installatie RUN 3 en 4</b>	<b>147</b>
<b>XIV</b>	<b>Grafieken genormaliseerde data RUN 3 en 4</b>	<b>149</b>
<b>XV</b>	<b>Drukvalmetingen NF installatie RUN 4</b>	<b>153</b>

<b>XVI</b>	<b>Resultaten ICP-MS analyse membraanautopsies</b>	<b>155</b>
<b>XVII</b>	<b>Analyseresultaten chemische- en fysische waterkwaliteit</b>	<b>159</b>

# 1 Inleiding

In het kader van het BTO-project "Q21-water" is onderzoek uitgevoerd bij productiebedrijf (pb) Spannenburg (Vitens Friesland). De achtergrond en de doelstellingen van dit project zijn hieronder beschreven. Tevens is aangegeven welke onderdelen van het project Q21-water zijn onderzocht bij pb Spannenburg.

## 1.1 Q21-water

### *Aanleiding en doel*

Vanouds heeft de drinkwatersector de ambitie om een onberispelijke drinkwatervoorziening te verzorgen. Dit houdt in dat 24 uur per dag, 365 dagen per jaar voldoende drinkwater van uitstekende kwaliteit geleverd moet worden. In de nota "Utopia of ambities?" [J.C. van Dijk, D. van der Kooij, juli 2003] wordt een toekomstvisie gepresenteerd voor het onderzoek ten behoeve van de drinkwatervoorziening in Nederland. Het College van Opdrachtgevers (CvO) heeft op basis hiervan besloten om een belangrijk deel van het Bedrijfstakonderzoek Waterleidingbedrijven (BTO) te richten op het onderzoek naar hoge kwaliteit water, aangeduid als Q21-water. Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is om maatregelen te nemen gericht op het behouden, of zelfs vergroten, van het vertrouwen van de consument in de drinkwatervoorziening c.q. de aanpak van de waterbedrijven.

Het concept Q21-water is als volgt gedefinieerd:

- De totale opzet van de drinkwatervoorziening van bron tot tap moet zodanig robuust zijn dat de kwaliteit onder alle omstandigheden gewaarborgd is ('Total System Approach'). Dit betekent onder meer dat de bron beschermd moet zijn en de zuivering meerdere barrières voor alle relevante verontreinigingen moet bevatten;
- De waterkwaliteit moet aan de tap zodanig zijn dat geen enkel incident of probleem kan optreden. Een kwaliteit dus die de klant als onberispelijk ervaart. Ook als de omstandigheden in het distributienet of de binneninstallatie minder gunstig zijn, bijvoorbeeld door langere verblijftijden, hogere temperaturen of mechanische incidenten, mogen geen problemen optreden.

Het doel van het project Q21-water is, een antwoord te geven op de vraag of het mogelijk en zinvol is om het hierboven beschreven concept voor de Nederlandse drinkwaterpraktijk na te streven. Het verkrijgen van informatie om te voorkomen dat kwaliteitsvermindering van het drinkwater tijdens het verblijf in het leidingnet en in leidinginstallaties optreedt, is een belangrijk aandachtspunt binnen dit project. Deze kwaliteitsaspecten omvatten met name:

- het opwerpen van sediment in delen van het leidingnet met als gevolg troebel en/of gekleurd water dat aanleiding geeft tot klachten van consumenten;

- het optreden van vermeerdering van micro-organismen, waardoor wettelijke eisen worden overschreven (*Aeromonas*, koloniegetallen) of andere kwaliteitsproblemen ontstaan (geur/smaak);
- vermeerdering van dierlijke organismen in het leidingnet, b.v. waterpissebedden, die leiden tot klachten van consumenten;
- vermeerdering van *Legionella*-bacteriën in het leidingnet en/of in leidinginstallaties, waardoor wettelijke eisen worden overschreden en sprake kan zijn van een gezondheidsrisico;
- een voor de consument waarneembare kleur als gevolg van een hoge concentratie organische stof.

De (micro)biologische problemen zijn een gevolg van de aanwezigheid van afbreekbare verbindingen en biomassa in het drinkwater 'af pompstation', waardoor vorming van biofilm en sediment in het leidingnet en in binneninstallaties optreedt. Diverse technieken zijn beschikbaar voor het bepalen van de groeipotentie (biologische stabiliteit) van het drinkwater en ook de concentratie van biomassa in het water, op de buiswand en in sediment. Met deze technieken kunnen effecten van waterbehandelingsprocessen worden bepaald en kan ook worden nagegaan welke veranderingen optreden in het leidingnet. De invloed van waterbehandelingsprocessen op de kleur, de troebelheid en het gehalte organische stof is eveneens van belang.

#### *Projectomschrijving*

Onderzoeken van de mogelijkheden om kwaliteitsverlies (o.a. groei van *Legionella*) van het drinkwater in het leidingnet en in drinkwaterinstallaties te voorkomen door bereiding van water met een hoge kwaliteit.

#### *Projectopbrengsten*

Het onderzoek naar Q21-water wordt geconcentreerd rond een drietal kernopbrengsten:

- Realisatie van kwaliteitsverbetering door het uitbreiden van de bestaande zuivering met bijvoorbeeld membraanfiltratie (barrière organische microverontreinigingen, verlaging hardheid, verwijdering deeltjes, verwijdering zware metalen, verbeteren biologische stabiliteit, verwijdering NOM, etc.);
- Vermijden van kwaliteitsverlies in het distributienet en de binneninstallatie;
- Voorkomen van groei van *Legionella*, met name in de binneninstallaties.

Om deze projectopbrengsten te realiseren worden in het onderzoekprogramma Q21-water een zestal deelprojecten uitgevoerd:

1. Kwaliteitsdoelen; een bureaustudie en een discussie met deskundigen uit de sector over de vraag hoe Q21-water gedefinieerd moet worden.
2. Integrale zuivering; een bureaustudie en een discussie met deskundigen uit de sector. Hierbij staat de vraag centraal hoe voor verschillende bronnen een robuuste en veilige opzet van de zuivering gegarandeerd kan worden.
3. Membraanfiltratie; experimenteel onderzoek m.b.v. proefinstallaties op diverse productiebedrijven (zowel waterkwaliteitsaspecten als bedrijfsvoering en membraanvervuiling).
4. Biologische stabiliteit/*Legionella*; experimenteel onderzoek naar het effect van membraanfiltratie op de biofilmvormingsnelheid af pompstation en

onderzoek met boileropstellingen naar de groei van *Legionella* als functie van waterkwaliteit.

5. Biofouling; de diagnose en preventie van biofouling bij membraanfiltratie, door een modelmatige analyse van de processen die biofouling veroorzaken.

6. Distributie; opgesplitst in een viertal onderdelen waarin wordt onderzocht:

- hoe oud sediment uit bestaande netten kan worden uitgespoeld,
- welke deeltjes in het distributienet voorkomen en wat de effecten van deeltjes in het distributienet zijn,
- wat de biologische stabiliteit en de biofilmvorming in het distributienet is,
- wat de invloed van corrosie/uitloging is op de waterkwaliteit in het distributienet en binneninstallaties.

Voor een aantal van deze deelprojecten in het onderzoekprogramma Q21 water is proefinstallatie-onderzoek uitgevoerd op productiebedrijf Spannenburg van Vitens. Dit rapport beschrijft het onderzoek te Spannenburg. De resultaten dragen bij aan de opbrengsten van de deelprojecten 3 tot en met 5.

## 1.2 Q21-onderzoek bij pb Spannenburg

### 1.2.1 Aanleiding en doel

In het Q21-project is onderzoek gewenst van drinkwater bereid uit grondwater, uit oevergrondwater en uit oppervlaktewater. Één van de interessante locaties voor onderzoek van drinkwater bereid uit grondwater is pb Spannenburg, vanwege de specifieke waterkwaliteit:

- een hoog gehalte opgeloste organische stof (NOM, natuurlijk organisch materiaal);
- nagroei van bacteriën en aanwezigheid deeltjes en dierlijke organismen in de leidingen van het voorzieningsgebied;
- frequente aanwezigheid van *Legionella* in leidinginstallaties in het voorzieningsgebied;

De deelprojecten van Q21-water die bij pb Spannenburg worden uitgevoerd richten zich voornamelijk op deze waterkwaliteitsaspecten. Daarnaast is, als onderdeel van het project Q21-water, op pb Spannenburg tevens onderzoek uitgevoerd naar verlaging van de hardheid, verwijdering van zware metalen en verwijdering van organische microverontreinigingen door membraanfiltratie.

Vitens heeft plannen om de zuivering van pb Spannenburg aan te passen en de doelen van het onderzoek in het Q21-project sluiten aan bij de doelen van onderzoek dat door Vitens wordt uitgevoerd. Onderzoek dat gelijktijdig met het Q21-onderzoek bij pb Spannenburg door Vitens is uitgevoerd betreft de toepassing van ionenwisseling op reinwater, nanofiltratie (NF) op anaëroob grondwater en NF op reinwater van pb Spannenburg. De resultaten van deze onderzoeken worden in dit rapport niet beschreven maar wel gedeeltelijk gebruikt in de discussie.

### 1.2.2 Opzet onderzoek

Het onderzoek bij pb Spannenburg bestaat uit de volgende deelonderzoeken:



- bedrijfsvoering van ultrafiltratie (UF) en nanofiltratie (NF) en verbetering van de chemische en fysische waterkwaliteit door deze processen (o.a. verlaging van hardheid en verwijdering van zware metalen) bij toepassing op reinwater;
- vervuiling van NF-membranen door biofouling;
- invloed van membraanfiltratie op biologische stabiliteit en potentie voor groei van *Legionella*;
- invloed van membraanfiltratie op de verwijdering van natuurlijk organisch materiaal (NOM) en vervuiling van membranen door NOM;
- verwijdering van organische microverontreinigingen door NF.

Het experimentele onderzoek voor de genoemde deelonderzoeken wordt geconcentreerd rondom een proefinstallatie, die bestaat uit in serie geschakelde eenheden voor UF en NF. Gedurende circa 6 maanden is onderzoek gedaan naar de optredende kwaliteitsverbetering (biofilmmonitor, deeltjes, organische microverontreinigingen, etc.; vergelijking huidig rein water met filtraat UF en filtraat NF) en membraanvervuiling (waaronder vervuiling door NOM).

### 1.2.3 Deelprojecten

*Bedrijfsvoering membraanfiltratie en verbetering chemische en fysische waterkwaliteit door membraanfiltratie*

In de afgelopen jaren is duidelijk geworden dat de inzet van membraanfiltratie bij de drinkwatervoorziening niet meer een optie voor de verre toekomst is, maar voor nieuwe installaties technisch en financieel haalbaar is. Per locatie en probleem kan worden bekeken of membraanfiltratie de oplossing kan zijn. De volgende vragen zijn geformuleerd:

- Is het mogelijk een verregaande verbetering van de chemische en fysische waterkwaliteit (troebelheid, metalen, etc.) te realiseren?
- Onder welke omstandigheden (waterkwaliteit, procescondities, membraantype, etc.) is het mogelijk om membraanfiltratie met een stabiele bedrijfsvoering toe te passen?
- Welke mechanismen en omstandigheden zorgen voor vervuiling van NF-membranen?

Tijdens het onderzoek zijn enkele elementen in de NF-installatie apart bedreven (de eerste elementen aan de voedingszijde en de laatste elementen aan de concentraatzijde). Hiermee kon onderzoek gedaan worden naar de invloed van permeaatproductie op de vervuiling van het membraan.

#### *Biofouling*

Bij toepassing van membraanfiltratie treedt in veel gevallen membraanvervuiling op. Vervuiling van membranen door biomassa (biofouling) is een hardnekkig probleem dat wordt gesignaleerd bij de toepassing van membranen voor de bereiding van drinkwater, industriewater en de ontzouting van zeewater. Vorming van biomassa gaat meestal gepaard met accumulatie van anorganische en organische deeltjes, waardoor het vervuilingsproces wordt versneld. Het onderzoek naar biofouling zal zich vooral richten op de invloed van de watersamenstelling (met name biologische stabiliteit) op het optreden van biofouling in NF- membranen. De verkregen informatie kan worden benut

voor het definiëren van de voorbehandeling en het voorspellen van de schoonmaakfrequentie van de membranen t.b.v. het bereiden van Q21-water.

#### *Involed van membraanfiltratie op biologische stabiliteit en potentie voor groei van Legionella*

Het onderzoek naar het effect van membraanfiltratie kan worden gespecificeerd als:

- Bepaling van de biologische stabiliteit met metingen van de relevante microbiologische parameters (AOC, biofilmvormingssnelheid, biomassagehalte, aantallen micro-organismen) in het water voor en na membraanfiltratie.
- Bepaling van de invloed van membraanfiltratie op de Legionella-groei-potentie van het water. Bij dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van een boilerinstallatie.

Dit onderzoek heeft tot doel om na te gaan in welke mate UF en NF bijdragen aan verbetering van de biologische stabiliteit en beperking van de groei van *Legionella* in leidingwaterinstallaties.

#### *Involed van membraanfiltratie op de verwijdering van NOM en vervuiling van membranen door NOM.*

Hechting van fracties van NOM aan het membraanoppervlak kan de membraanprestaties beïnvloeden. Daarnaast spelen fracties van NOM een rol bij processen in het distributienet (biologische activiteit, groei van *Legionella*, dierlijke organismen, etc.). Om meer inzicht te verkrijgen in de effecten van NOM op membraanfiltratie en vice versa, is het onderzoek bij pb Spannenburg gericht op:

- karakterisering van NOM;
- verwijdering van NOM en NOM-fracties met UF en NF in de proefinstallatie;
- negatieve invloeden van de aanwezigheid van NOM en NOM-fracties op de werking van UF en NF.

#### *Verwijdering van organische microverontreinigingen door NF*

Organische microverontreinigingen komen steeds vaker en in steeds hogere concentraties voor in water dat gebruikt wordt voor de bereiding van drinkwater. Ook het aantal (typen) organische microverontreinigingen neemt toe. Één van de zuiveringsprocessen om organische microverontreinigingen te verwijderen is NF. De invloed van NF op een aantal organische microverontreinigingen is onderzocht te Spannenburg met behulp van doseerproeven. De gegevens konden daarnaast worden gebruikt voor het verifiëren van een recent opgesteld NF-model voor organische stoffen. Tevens is de verwijdering van organische zuren door NF onderzocht. Deze zuren spelen mogelijk een rol in de biologische stabiliteit van het water na NF.

#### **1.2.4 Projectopbrengsten**

Aan het eind van het onderzoek zijn de volgende projectopbrengsten gerealiseerd:

- een antwoord op de vraag of met behulp van membraanfiltratie (UF en NF) een wezenlijke verbetering kan worden gerealiseerd van de samenstelling van het reine water wat betreft deeltjes, biologische stabiliteit en

groeipotentie voor *Legionella*, NOM, organische microverontreinigingen, en overige parameters zoals hardheid, zware metalen, etc.);

- relatie tussen membraanvervuiling (biofouling, scaling) en de watersamenstelling onder de procescondities in Spannenburg.

#### 1.2.5 Fasering

Het onderzoek bij pb Spannenburg is globaal opgesplitst in drie fasen:

- Onderzoek naar de verwijdering van organische microverontreinigingen door NF, aan het begin en het einde van de onderzoeksperiode.
- Onderzoek naar de invloed van UF en NF op de verbetering van de waterkwaliteit waaronder de biologische stabiliteit en de potentie voor groei van *Legionella*.
- Onderzoek naar vervuiling van NF-membranen bij verhoging van de recovery.

### 1.3 Onderzoek Vitens

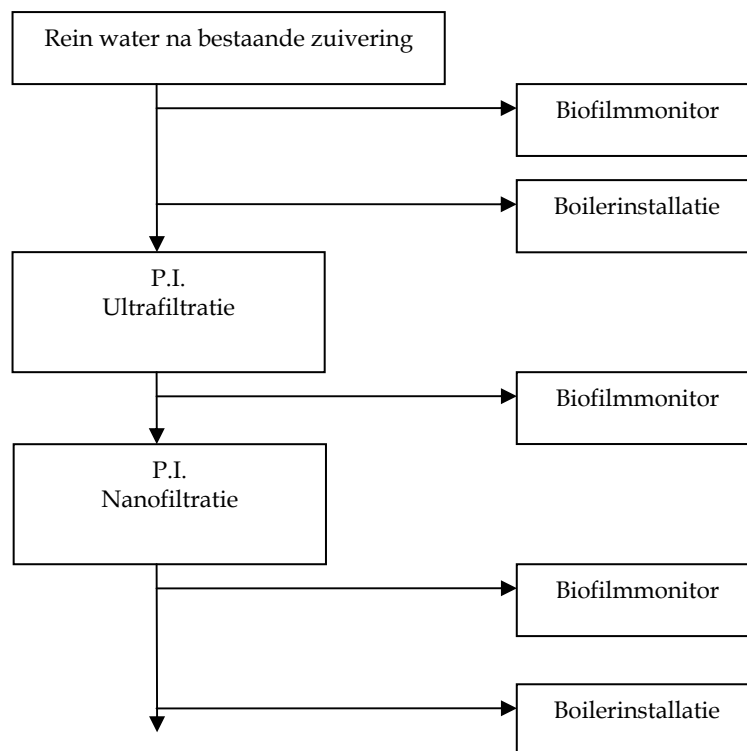
Gelijktijdig met het onderzoek dat bij pb Spannenburg is uitgevoerd in het kader van het BTO-programma werd door Vitens onderzoek uitgevoerd naar directe NF (zonder voorafgaande UF) en de invloed van ionenwisseling op de watersamenstelling (gehalte organische stof, biologische stabiliteit). Op enkele plaatsen in dit rapport zijn resultaten van deze onderzoeken opgenomen ter vergelijking met de resultaten van de proefinstallatie met UF en NF.

## 2 Experimentele opzet

### 2.1 Opzet Q21 onderzoek pb Spannenburg

In het kader van het BTO Q21 onderzoek is proefinstallatie-onderzoek uitgevoerd op pb Spannenburg (Friesland) van Vitens. De aanpak van het onderzoek, de gebruikte installaties, geplande acties en analyses zijn beschreven in het projectplan [Beerendonk, 2004].

Het onderzoek is uitgevoerd vanaf oktober 2004 tot en met juni 2005. Bij het onderzoek is een tweetal membraanfiltratie-installaties gebruikt om het water te zuiveren. Tevens zijn een boilerinstallatie en biofilmmonitoren gebruikt om effecten van membraanfiltratie op de waterkwaliteit vast te kunnen stellen. In Figuur 2-1 is een schematisch overzicht gegeven van de gebruikte waterstromen en installaties.



Figuur 2-1 Overzicht van de proefinstallatie Q21 Spannenburg

Reinwater van pb Spannenburg is als voedingswater gebruikt voor de UF-installatie. Het permeaat van de UF diende als voedingswater voor de NF-installatie. In het kader van het biofoulingonderzoek zijn op het voedingswater UF, het permeaat UF (tevens voedingswater NF) en het permeaat NF biofilmmonitoren geplaatst. Daarnaast zijn boilerinstallaties aangesloten op het

voedingswater UF en het permeaat van de NF-installatie in het kader van het onderzoek 'Invloed van de biologische stabiliteit op groei *Legionella*'.

## 2.2 Bedrijfsvoering UF

De UF-installatie is bedreven op basis van 'dead-end' principe met een constant debiet. De installatie is schematisch weergegeven in bijlage I.

De UF-installatie is gevoed met reinwater van pb Spannenburg. Membranen van het type X-flow UFC-M5 zijn geselecteerd voor het onderzoek omdat dit type membraan veel gebruikt wordt bij UF-installaties van waterbedrijven en industrie in Nederland.

De installatie is bedreven met een flux van circa 70 l/m<sup>2</sup>\*h, tweemaal per uur een terugspoeling en circa 3 reinigingen per dag. Op basis van ervaringen is gekozen voor deze lage belasting van de membranen om te voorkomen dat de UF-membranen sterk vervuilen. Bij sterke vervuiling van de UF-membranen wordt onderzoek met de NF-membranen onderbroken door reiniging van UF-membranen. Onderbrekingen in het onderzoek met de NF-membranen was niet wenselijk omdat het onderzoek vooral was gericht op de prestaties en vervuiling van de NF-membranen. Er is met opzet gekozen voor een stabiele bedrijfsvoering bij de UF-installatie en niet voor uitdagende procesinstellingen om maximaal haalbare membraanprestaties te onderzoeken. Ten opzichte van andere praktijkinstallaties is de gekozen filtratieflux laag en de hydraulische en chemische reinigingsprocedures vergelijkbaar [Gijsbertsen, 2004].

Om vervuiling van de membranen tegen te gaan is iedere 30 minuten een terugspoeling uitgevoerd. Daarnaast zijn chemische reinigingen uitgevoerd: twee keer per dag een reiniging met chloorbleekloog (CR1, 100 mg/l) en één keer per dag een zure reiniging met HCl (CR2, pH = 2).

Tijdens het terugspoelen en de chemische reinigingen is het permeaat uit het eerste buffervat gebruikt als spoelwater. Het tweede buffervat diende als extra buffer voor de aanvoer van UF-permeaat naar de NF-installatie.

Bij de chemische reinigingen werd tweemaal per dag chloor gebruikt. Mogelijk was er nog een restconcentratie vrij chloor in de installatie aanwezig in de eerste minuten na de chemische reiniging, zodra de filtratie hervat wordt. De gebruikte NF-membranen zijn niet bestand tegen vrij chloor in het water en daarnaast is de aanwezigheid van vrij chloor in het permeaat van de UF-installatie onacceptabel voor de biofilmmonitor. Om er zorg voor te dragen dat er geen chloor in de NF-installatie of de biofilmonitoren terecht kon komen, is er tussen het eerste en het tweede buffervat een chloorsensor geplaatst. Zodra chloor meetbaar aanwezig was in het UF-permeaat, is het permeaat geloosd via een afvoerleiding, zodat er geen vrij chloor in de NF-installatie of de biofilmmonitoren terecht kon komen.

De analysegrens van de chloorsensor was 0,01 mg/l. De sensor is iedere 2 maanden gecontroleerd en bijgesteld m.b.v. een chlooroplossing. Deze oplossing is geanalyseerd met een titrimetrische bepaling (DPD-methode). De chloorsensor is niet gecorrigeerd voor pH aangezien de pH van het voedingswater nauwelijks

varieerde (pH = 7,6 ± 0,07). In Tabel 2-1 zijn de instellingen van de UF-installatie gedurende de periode 28 oktober 2004 tot en met 14 juni 2005 weergegeven.

Tabel 2-1 Instellingen UF-installatie en membraangegevens

Membraantype	X-flow UFC M5
Membraanmateriaal	polyvinylpyrrolidone / polyethersulfon
Molecular Weight Cut Off	200 kDa
Aantal membraanelementen	2
Oppervlakte per membraanelement (m <sup>2</sup> )	35
Flow (m <sup>3</sup> /uur)	4,2
Backwashfrequentie	2/h
Flow backwash (m <sup>3</sup> /uur)	14
Duur backwash (sec)	30
Reinigingsfrequentie met NaOCl (CR1)	2/dag
Reinigingsfrequentie met HCl (CR2)	1/dag

### 2.3 Bedrijfsvoering NF

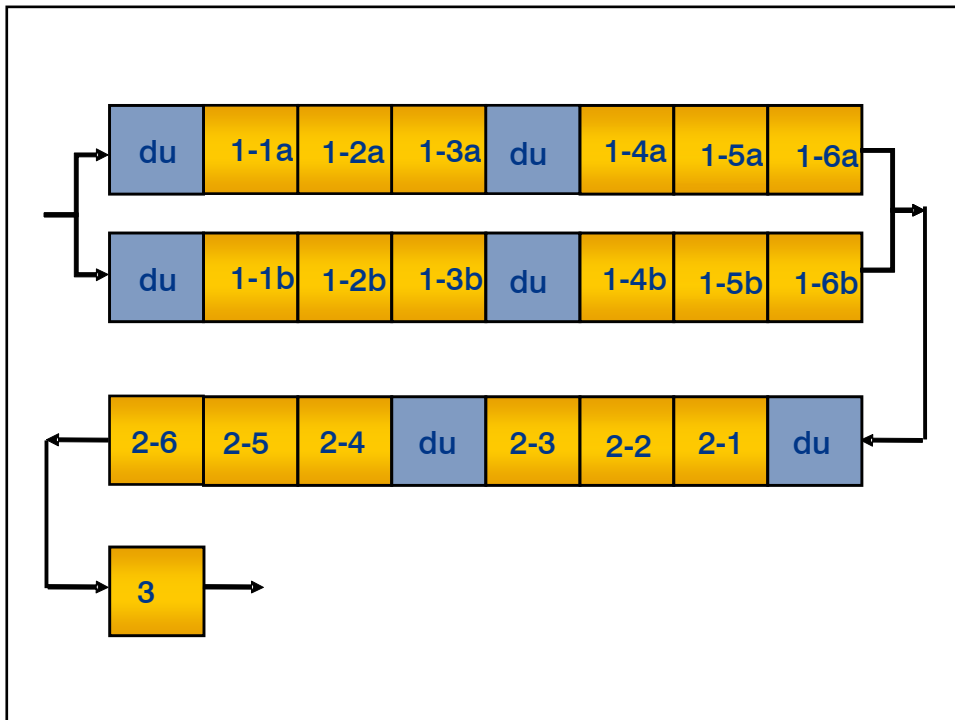
De NF-installatie is schematisch weergegeven in bijlage II. In de NF-installatie zijn Trisep membranen (type 4040-TS80-TSF) geplaatst en de installatie is gevoed met permeaat van de UF-installatie. De Trisep-membranen zijn gekozen omdat:

- dit type membraan ook gebruikt wordt door Vitens in praktijkinstallaties (bijvoorbeeld Engelse Werk). Het Trisep membraan is door Vitens geselecteerd vanwege de lage vervuilingsgevoeligheid (o.a. voor NOM).
- met dit type membraan al veel onderzoek is uitgevoerd in projecten binnen het BTO, waarbij o.a. de verwijdering van nagroei bevorderende stoffen en organische microverontreinigingen is onderzocht.

De membraanelementen zijn spiraalgewonden met een diameter van 4". De membranen bestaan uit een zogenaamde "thin film composite" structuur met polyamide toplaag. De cut-off waarde van de NF-membranen is 200 g/mol.

Om scaling te voorkomen is er continu antiscalant (AS) gedoseerd aan het voedingswater. Als AS is het product 4Aqua Osmo92 gebruikt. Met een projectieprogramma van de membraanleverancier is berekend dat een dosering van 7,2 mg/l nodig is. Met een verdunningsfactor van 30 resulteert dit in een AS-dosering van 240 ml per uur. Deze verdunning en dosering zijn gehanteerd tijdens de onderzoeksperiode.

De NF-installatie is een tweetrapsinstallatie (Figuur 2-2). De codering van de membraanelementen is gebruikt in de onderliggende rapportage. Wat in Figuur 2-2 is aangegeven als één drukvat, zijn in werkelijkheid twee in serie geschakelde drukvaten. Elk drukvat heeft een lengte van 4 m waarin 3 membraanelementen van 1 m lengte zijn geplaatst, plus een dummy-membraanelement (du; een PVC-buis) van 1 m lengte.



Figuur 2-2 Schematische weergave, volgorde en codering membraanelementen NF-installatie (du = dummy)

Aan de tweetraps installatie is voor het onderzoek een derde trap, in de vorm van één membraanelement, toegevoegd. Het concentraat na de tweede trap is gebruikt als voedingswater voor trap 3 (membraanelement met codering 3).

In een normaal bedreven (proef)installatie produceren alle elementen permeaat. Voor onderzoeksdoeleinden is de permeatafvoer van de elementen 1-1a en 3 echter apart afgetakt en gesloten gehouden. De elementen 1-1a en 3 produceerden dus geen permeaat gedurende het onderzoek. Wel is tweemaal per week de permeatafvoer kortstondig geopend (circa 20 min) om de permeaatproductie, de MTC en de vervuiling van deze elementen vast te stellen. Tijdens deze korte productietijd is de drukval, EGV en het debiet van de vier elementen (1-1a, 1-1b, 2-6 en 3) gemeten. Aan de hand van deze parameters kan vervuiling worden geconstateerd.

Ook het permeaat van de elementen 1-1b en 2-6 is apart afgevoerd, maar de permeatafvoer was continu geopend gedurende de onderzoeksperiode. Door deze maatregelen kunnen de elementen 1-1a en 1-1b en de elementen 2-6 en 3 met elkaar worden vergeleken teneinde de invloed van de permeaatproductie op de vervuiling van het membraan in kaart te brengen.

In Tabel 2-2 zijn de instellingen van de NF-installatie gedurende de gehele onderzoeksperiode (4 runs) weergegeven.

Tabel 2-2 Instellingen NF-installatie en membraangegevens

Karakteristiek	Instelling			
Membraantype	Trisep 4040-TS80-TSF			
Membraanmateriaal	polyamide			
Molecular Weight Cut Off	ca 200 Da			
Aantal drukvaten	1 <sup>e</sup> trap: 4 2 <sup>e</sup> trap: 2 3 <sup>e</sup> trap: 1			
Lengte per drukvat [m]	2x4			
Aantal membraanelementen	19			
Oppervlak per membraanelement [m <sup>2</sup> ]	7,5			
Run	1	2	3	4
Voedingsdebiet (m <sup>3</sup> /h)	3,2	3,2	2,8	2,8
Permeaatdebiet (m <sup>3</sup> /h)	0,8	0,8	0,4	0,4
Concentraatdebiet (m <sup>3</sup> /h)	2,4	2,4	2,4	2,4
Recovery [%]	75	75	87	87
AS dosering [ml/uur]	240	240	240	240
Beta factor				
1 <sup>e</sup> trap	1,19	1,19	1,27	1,27
2 <sup>e</sup> trap	1,15	1,15	1,32	1,32

## 2.4 Metingen en analyses

Ter controle van de membraanperformance van de UF- en NF-installatie en de optredende vervuiling zijn enkele procesparameters continu met een sensor gecontroleerd:

- De temperatuur van het voedingswater van de UF- en de NF-installatie;
- Het debiet van de waterstromen bij de UF-installatie (voeding, permeaat en terugspoeling);
- De druk aan de voedings- en permeatzijde van het UF-membraan;
- Het EGV (elektrisch geleidingsvermogen) van de voeding en het gezamenlijke permeaat;
- De druk en het debiet van de voeding, het concentraat en verschillende permeaatstromen (totaal, trap 1 en 2, membraanelementen 1-1b en 2-6) van de NF-installatie.

Daarnaast is, discontinu, tweemaal per week het EGV gemeten van de voeding, het concentraat en de verschillende permeaatstromen (totaal, trap 1 en 2, membraanelementen 1-1b en 2-6). Eenmaal per week is de drukval van ieder element afzonderlijk gemeten met behulp van een drukmeter; hierbij is de druk voor en na ieder element gemeten.

Ook is de waterkwaliteit van diverse waterstromen bepaald door wekelijkse, tweewekelijkse of maandelijkse analyse van diverse kwaliteitsparameters. Het overzicht van de metingen is gegeven in het projectplan [Beerendonk, 2004].





# 3 Prestaties ultrafiltratie

## 3.1 Inleiding en opzet onderzoek

De UF-installatie is vooral ingezet om het reine water van pb Spannenburg verder te zuiveren vóór toepassing van NF. Vanwege deze toepassing van UF is gekozen voor een lage belasting (lage flux en hoge spoelfrequentie; zie hoofdstuk 2).

Om de vervuiling van de UF-membranen te controleren zijn de waterdebieten (voedingswater, permeaat en spoelwater) en drukken aan de voedings- en permeaatzijde gemeten en opgeslagen m.b.v. een datalogger. De waterkwaliteit van het voedingswater en permeaat is regelmatig geanalyseerd om conclusies te kunnen trekken t.a.v. verbetering van de waterkwaliteit door UF. Bij de beoordeling van de membraanvervuiling en de waterkwaliteitsverbetering werd vooral aandacht gegeven aan organische stof vanwege de hieraan gerelateerde onderzoeksonderwerpen op het gebied van NOM, membraanvervuiling en biologische stabiliteit (zie hoofdstuk 4 t/m 7).

## 3.2 Ervaringen met de bedrijfsvoering

De UF-installatie is op 28 oktober 2004 in bedrijf genomen. Op 9 januari trad er een storing op (einde run 1) waarna de installatie op 12 januari weer is opgestart (start run 2). De installatie is in bedrijf geweest tot en met 29 juni 2005. In dit hoofdstuk zijn de prestaties van de UF-installatie beschreven.

Gedurende het onderzoek zijn de uitgevoerde activiteiten en gesignaleerde problemen en veranderingen in een logboek bijgehouden. Een selectie van de belangrijkste waarnemingen en activiteiten is vermeld in bijlage V.

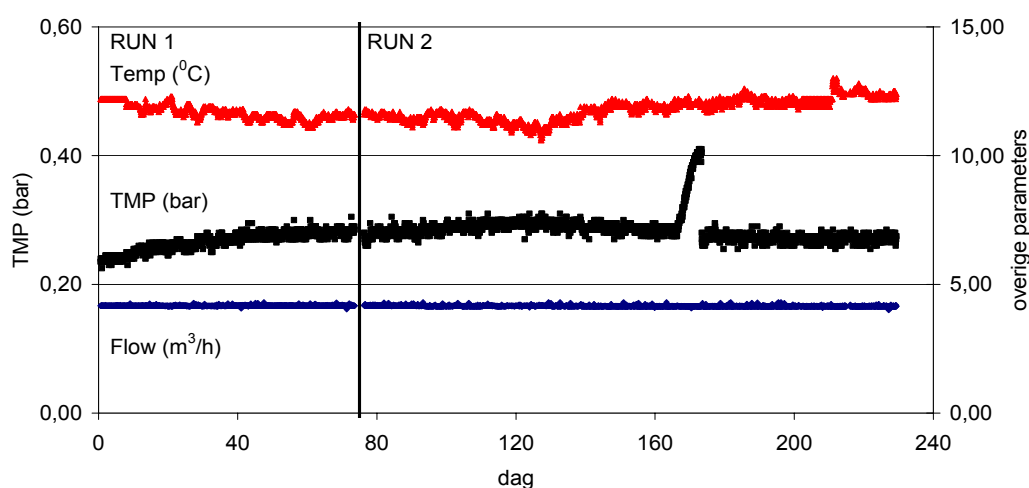
### 3.2.1 Vervuiling UF-installatie

De membraanpermeabiliteit (bepaling van de genormaliseerde flux bij verschillende permeaatdebieten) van de nieuwe membraanelementen is bepaald voordat de installatie in bedrijf is genomen. De membraanpermeabiliteit is met dezelfde methode opnieuw bepaald aan het einde van het onderzoek. De berekening van de membraanpermeabiliteit is uitgelegd in bijlage III; de resultaten van de metingen zijn vermeld in bijlage VI.

Bij een debiet van 4 m<sup>3</sup>/h is de permeabiliteit 257 l/m<sup>2</sup>\*h\*bar aan het begin van het onderzoek en 231 (l/m<sup>2</sup>\*h\*bar) aan het eind van het onderzoek. De permeabiliteit van de membranen is dus in 8 maanden met 10% afgenomen. Er is dus nauwelijks vervuiling van de membraanelementen opgetreden gedurende de onderzoeksperiode, ondanks de hoge DOC concentratie (Tabel 3-1). Dat de UF-membranen nauwelijks vervuilen, terwijl het voedingswater een hoge concentratie organische stof bevat, strookt met eerdere waarnemingen. Bij een andere locatie werd vastgesteld dat de organische stof nauwelijks voor vervuiling zorgde zolang de pH hoger dan 6,5 was [Gijsbertsen, 2004]. In het

onderzoek bij pb Spannenburg was de pH altijd > 7,3. De voornamelijk negatief geladen organische stof zal afgestoten zijn door het negatief geladen membraanoppervlak.

In Figuur 3-1 zijn het flow van het permeaat, de temperatuur en de TMP (trans membrane pressure = de drukval over het membraan van voedings- naar permeaatzijde) van de UF-installatie weergegeven.



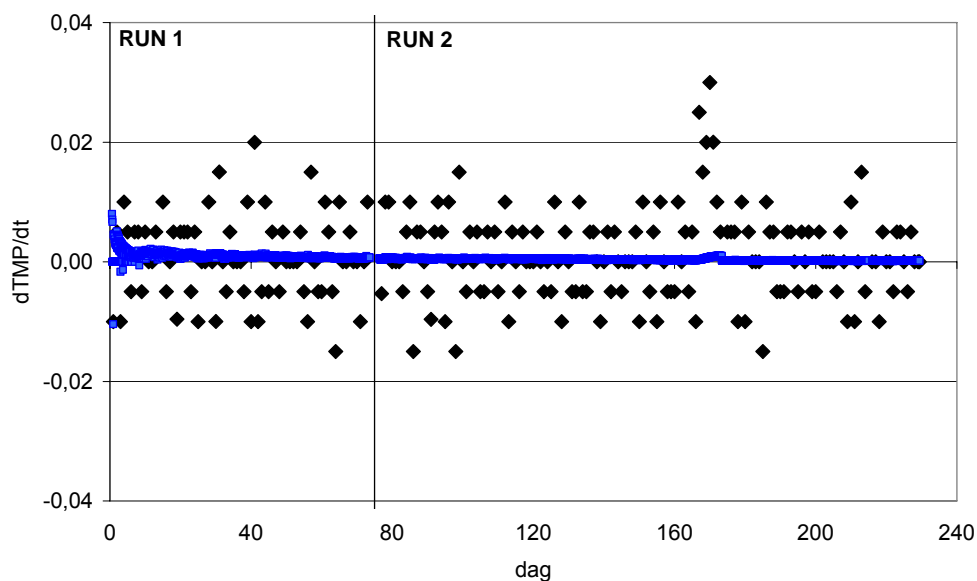
Figuur 3-1 Permeaatproductie, de watertemperatuur en de TMP van de UF-installatie (28-10-2004 t/m 16-6-2005)

Tijdens het onderzoek fluctueerde de temperatuur tussen 10,6 en 13 °C met een gemiddelde van 11,8 °C. De permeaatproductie was constant omdat werd gestuurd op een constante flux met toenemende voedingsdruk en TMP bij vervuiling van de membraanelementen. De TMP is gestegen van 0,24 bar naar 0,28 bar. De stijging van de TMP vond plaats in de eerste veertig dagen. In deze periode is evenwicht ontstaan tussen de opbouw van vervuiling gedurende elke filtratieperiode en verwijdering van vervuiling door de terugspoeling. Na dag 40 schommelde de TMP rond de 0,28 bar. Over de totale onderzoeksperiode is de TMP dus met circa 15% gestegen en is er sprake van geringe vervuiling van de membraanelementen. De resultaten van de drukvalstijging tussen dag 0 en 240 komen overeen met de resultaten van de metingen van de membraanpermeabiliteit aan het begin en aan het einde van het onderzoek.

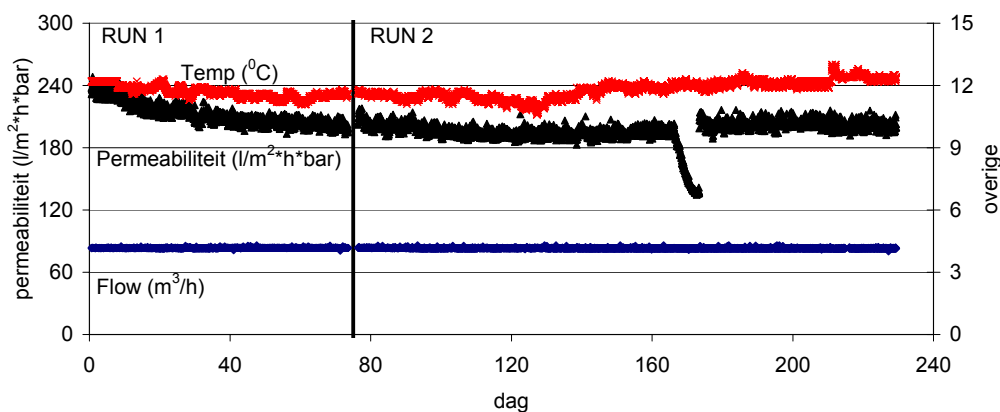
De sterke stijging in TMP gedurende de periode 12-04-05 t/m 19-04-05 (na circa 170 dagen looptijd) is veroorzaakt door een falende klep. De effecten hiervan zijn beschreven in bijlage VII. Hieruit werd geconcludeerd dat uitvoering van dagelijkse automatische chemische reiniging noodzakelijk is.

Een andere parameter om de membraanvervuiling te beoordelen is de drukvaltoename per tijdseenheid ( $dTMP/dt$ ). De berekende  $dTMP/dt$  is weergegeven in Figuur 3-2. Uit de gegevens blijkt wederom dat de membranen nauwelijks vervuilden gedurende 8 maanden onderzoek. De drukvalstijging per dag, is altijd zeer laag (0 tot 0,01) en resulteert uiteindelijk in een drukvalstijging

van 15% na 8 maanden. De uitschieters in de drukvalstijging per dag zijn ook hier veroorzaakt door de defecte klep.



Figuur 3-2 Verloop van dTMP/dt per dag (♦) en ten opzichte van dag nul (■)



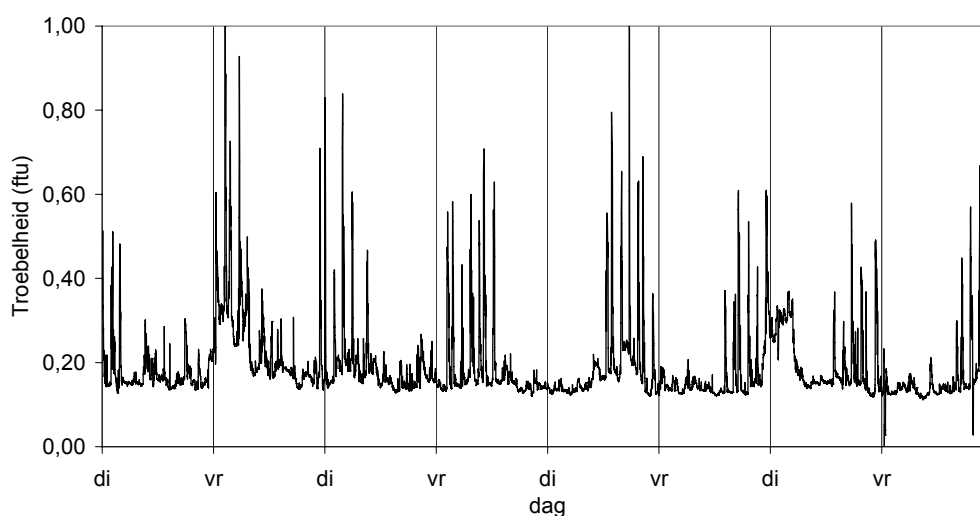
Figuur 3-3. Permeabiliteit van de membranen

In Figuur 3-3 is de permeabiliteit weergegeven van de UF membranen van 28-10-2004 t/m 14-06-2005. De permeabiliteit van de membranen is berekend door het permeaatdebiet te delen door het membraanoppervlak en de TMP en te vermenigvuldigen met de watertemperatuur (TCF, zie bijlage III). De eerste 40 dagen nam de permeabiliteit af, vervolgens stabiliseerde de permeabiliteit van de membranen zich en bleef rond de 200 l/m²\*h\*bar schommelen.

### 3.3 Watersamenstelling (chemisch en fysisch)

#### 3.3.1 Troebelheid rein water Spannenburg

Tijdens het proefinstallatie-onderzoek in Spannenburg is de watersamenstelling regelmatig vastgesteld met behulp van analyses. Daarnaast is de troebelheid van het reine water van pb Spannenburg (vóór de reinwaterkelder) continu gemeten. De troebelheid is gemeten met een Sigrist CT65 vis troebelheidsmeter. Enkele resultaten van de troebelheidsmetingen zijn weergegeven in Figuur 3-4 (de weergegeven periode is representatief voor de onderzoeksperiode).



Figuur 3-4 Troebelheid van het reinwater in de periode 29-3-2005 t/m 26-4-2005.

De troebelheid van het reine water laat een grillig beeld zien. Uit Figuur 3-4 blijkt dat elke vier dagen een piekerige verhoging van de troebelheid plaatsvindt. De pieken, van 0,12 tot >0,6 FTU) zijn veroorzaakt door de filterspoelingen van de nafilts. De verhoogde troebelheid is waarschijnlijk veroorzaakt doordat:

- filters na spoelen weer in bedrijf zijn genomen terwijl het filtraat nog een verhoogde troebelheid heeft;
- filters doorslaan voordat ze gespoeld worden.

De fluctuaties in de troebelheid van het reine water hadden geen zichtbaar effect op de vervuilingsgraad van de UF-installatie. Uit het verloop in de TMP en de permeabiliteit van de UF-membranen blijkt dat er nauwelijks vervuiling van de membranen optrad.

#### 3.3.2 Analyses chemische en fysische waterkwaliteit

De waterkwaliteit is geanalyseerd om de membraanprestaties te controleren en eventueel optredende vervuiling te kunnen verklaren. De analysesresultaten zijn samengevat in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Analyseresultaten van het water voor en na UF

Parameter	Voor UF		Na UF		verwijdering
	Gem.	Standaard deviatie	Gem.	Standaard deviatie	%
MFI (s/l <sup>2</sup> )	6,8	2,6	n.b.	n.b.	n.v.t.
Gesuspendeerde stoffen (mg/l)	< 2	n.b.	< 2	n.b.	n.v.t.
DOC (mg C/l)	7,4	0,5	7,5	0,5	0
UV-ext (l/m)	20	1,1	19	1,6	3
Kleur (mg Pt/l)	16	1,4	16	1,4	0
pH	7,6	0,1	7,6	0,1	n.v.t.
EGV (mS/cm)	50	1,6	50	1,1	0
Waterstofcarbonaat (mg/l)	287	9	286	8	0
Ijzer (mg Fe/l)	0,03	0,02	< 0,01	< 0,01	>71
Mangaan (mg Mn/l)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	n.v.t.
Natrium (mg Na/l)	72	6	73	6	0
Calcium (mg Ca/l)	33	6	32	6	3
Magnesium (mg Mg/l)	9,9	0,9	9,9	0,9	0
Kalium (mg K/l)	2,3	0,1	2,4	0,1	0
Arseen (µg/l)	0,02	0,008	< 0,01	0	>71

n.b. = niet bepaald

Uit Tabel 3-1 blijkt dat het aanwezige ijzer werd verwijderd door de UF. Ijzer was bij de heersende pH namelijk overwegend in colloïdale vorm aanwezig en werd daarom tegengehouden door de membranen. Verwijdering van gesuspendeerde stoffen en mangaan is niet geconstateerd omdat de concentratie in het voedingswater lager is dan de detectiegrens.

Arseen werd, net als ijzer, voor meer dan 70% verwijderd. Andere zware metalen zijn slechts éénmaal geanalyseerd in het water voor en na UF, waardoor over de verwijdering door UF geen beeld is verkregen.

De rest van de geanalyseerde parameters werden niet verwijderd of verlaagd door UF.

De MFI van het reine water, vóór UF, lag tussen de 3,1 en 12 s/l<sup>2</sup> met een gemiddelde van 6,8 s/l<sup>2</sup>. Van het UF-permeaat is geen MFI gemeten omdat deze naar verwachting niet meetbaar is met een filter met poriegrootte 0,45 µm aangezien de poriegrootte van de gebruikte UF-membranen veel kleiner is (0,02 µm). Uit de resultaten blijkt dat bij een gemiddelde MFI van circa 7 s/l<sup>2</sup>, geen vervuiling van de membranen is opgetreden bij de gebruikte procesinstellingen. Dit komt overeen met de verwachtingen aangezien de instellingen van flux en reiniging conservatief zijn gekozen (zie hoofdstuk 2).

### 3.4 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

#### Conclusies

Samengevat kunnen de volgende zaken worden geconcludeerd over de prestaties van UF op rein water van pb Spannenburg:

- Aan de hand van de permeabiliteit en de TMP blijkt dat bij de gebruikte instellingen nauwelijks vervuiling van de UF-membranen is opgetreden (ondanks het hoge gehalte organische-stof in het reine water van pb Spannenburg. Vanwege de relatief lage flux en de hoge reinigingsfrequentie werd vervuiling van membranen ook niet verwacht;
- De membranen zijn dagelijks automatisch gereinigd. Wanneer de reiniging niet plaatsvond, vervuilden de membranen snel. Dagelijkse automatische reiniging met onder andere chloorbleekloog was dus noodzakelijk;
- De waterkwaliteit na UF is verbeterd qua ijzergehalte. Opgeloste ionen en organische stof zijn door de UF-membranen niet verwijderd. Op basis van ervaringen elders mag ook verwacht worden dat de UF-membranen deeltjes verwijderen en daarmee deeltjesvervuiling van de NF-membranen hebben voorkomen. Zonder UF zou de vervuiling van NF op drinkwater Spannenburg in grotere mate hebben plaatsgevonden (zie hoofdstuk 5).
- Toepassing van UF als extra barrière tegen vervuiling van het distributienet is alleen kosteneffectief als een hogere flux en recovery worden gehanteerd dan bij het onderzoek te Spannenburg. Ervaringen elders leren dat een hogere flux en recovery mogelijk is [Beerendonk et al, 2000].

*Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Het is aan te bevelen om het nut van UF op drinkwater vast te stellen zonder aanvullende NF, om deeltjes en bacteriën te verwijderen om vervuiling van het distributienet te voorkomen (Q21-water Distributie);
- Tevens dient te worden vastgesteld welke maximale belasting van de UF-membranen mogelijk is en wat de kosten zijn voor de toepassing van UF op deze manier.

## 4 Prestaties nanofiltratie

### 4.1 Inleiding en opzet onderzoek

Het onderzoek met de NF-installatie is uitgevoerd om meer inzicht te krijgen in de membraanprestaties (membraanvervuiling en verbetering van de waterkwaliteit door NF). Om de membraanprestaties in beeld te krijgen, zijn de MTC (mass transfer coëfficiënt, een maat voor de membraanpermeabiliteit), de drukval over de membranen en de zoutpassage (retentie van EGV) gevolgd. Deze metingen geven inzicht in de kwantitatieve prestaties (MTC), operationele aspecten (drukval) en kwalitatieve prestaties (EGV-retentie). Om de membraanprestaties en de vervuilingsmechanismen in kaart te brengen, zijn de hierboven genoemde indicatoren apart bepaald voor:

- De eerste en tweede trap van de installatie.
- De eerste en laatste elementen in de installatie, waarbij steeds twee elementen zijn bekeken waarvan de ene wel permeaat produceerde en de andere niet (zie paragraaf 2.3).

In dit hoofdstuk zijn de prestaties van de NF-installatie beschreven. Met behulp van de uitgevoerde metingen en opgeslagen meetdata zijn de membraanpermeabiliteit (MTC), drukval en zoutpassage genormaliseerd. Voor deze berekeningen zijn de formules gebruikt zoals vermeld in bijlage III. De normalisatie is uitgevoerd voor de totale installatie, trap 1 en 2 afzonderlijk en ook voor de apart onderzochte membraanelementen 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3. De gegevens, gebruikt om de normalisatie uit te voeren, zijn vermeld in bijlage X. In bijlage XI, X, XI en XIII zijn de grafieken van de niet genormaliseerde data weergegeven.

Vanwege de nauwe samenhang van de membraanprestaties en verbetering van de waterkwaliteit, heeft hoofdstuk 4 een sterke relatie met de andere hoofdstukken in dit rapport. In dit hoofdstuk wordt dan ook regelmatig verwezen naar de:

- vervuiling van NF-membranen door biomassa (hoofdstuk 5) en NOM (hoofdstuk 7);
- verbetering van de waterkwaliteit door NF betreffende de biologische stabiliteit en de groeipotentie voor *Legionella* (hoofdstuk 6);
- verwijdering van organische microverontreinigingen (hoofdstuk 8).

### 4.2 Bedrijfsvoering NF-installatie

De NF-installatie is op 4 november 2004 in bedrijf genomen en na afronding van het onderzoek op 14 juni 2005 uit bedrijf genomen. Het onderzoek is gesplitst in 4 delen (runs). De bedrijfsvoeringsgegevens van de vier runs zijn weergegeven in onderstaande tabel. De overige procesinstellingen van de NF-installatie zijn weergegeven in paragraaf 2.3.



Tabel 4-1 Gegevens run 1 t/m 4

Run	Start	Einde	Recovery	Opmerkingen
1	4-11-04	30-3-05	75%	Start onderzoek op 4 november 2004
2	31-3-05	18-5-05	75%	30 maart membranen trap 1 uitgenomen voor autopsies
3	18-5-05	30-5-05	87%	18 mei recovery verhoogd naar 87% 30 mei membranen trap 2 en 3 uitgenomen
4	1-6-05	14-6-05	87%	Einde onderzoek op 14 juni 2005

Tijdens run 1 en 2 was het onderzoek vooral gericht op de membraanprestaties en vervuiling van de NF-installatie, de invloed van membraanfiltratie op de biologische stabiliteit (onderzoek biofilmmonitoren) en de invloed van de waterkwaliteit op de groei van *Legionella* in boilersystemen. Om die redenen is tijdens het onderzoek gekozen voor een lage recovery van 75% om scaling te voorkomen. Tijdens run 3 en 4 is de recovery verhoogd naar 87% om vast te stellen of scaling zou optreden.

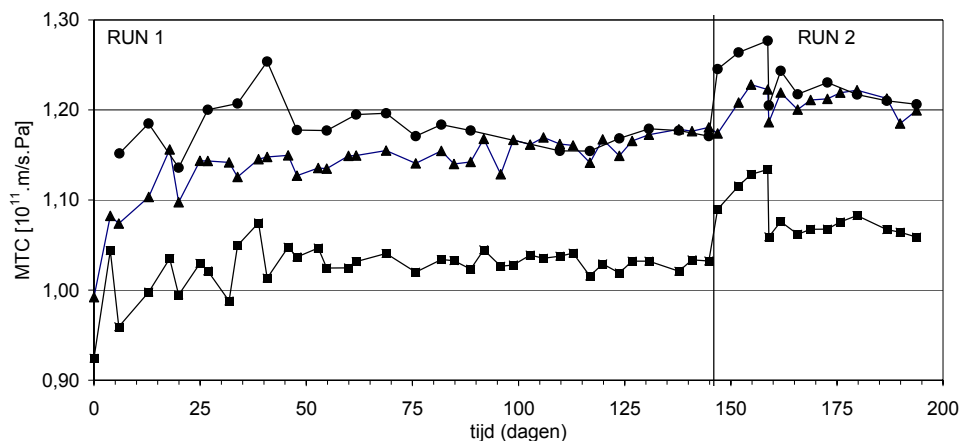
De uitgevoerde activiteiten en gesignaleerde problemen en veranderingen bij de NF-installatie zijn in een logboek bijgehouden. Een selectie hiervan is in bijlage V vermeld.

Tijdens run 1 en 2 zijn regelmatig problemen opgetreden met de doseerpomp voor de AS. De dosering viel soms na enkele dagen uit vanwege luchtbellens in de zuigzijde van de doseerpomp. Ontluchten van de pomp was in die situaties voldoende om de dosering weer te laten plaatsvinden. De problemen met de doseerpomp hebben niet geleid tot scaling op de membranen tijdens run 1 en 2 (zie paragraaf 4.3). Indien er scaling was opgetreden zou de druk over de elementen aan het einde van de installatie (element 2-6 en 3) zijn toegenomen of de MTC zijn afgenomen. Deze toename in drukval of afname in MTC is niet waargenomen.

### 4.3 Membraanprestaties bij recovery van 75%

#### 4.3.1 Trap 1 en 2

Het verloop van de MTC van de totale installatie, trap 1 en trap 2 tijdens run 1 en 2 is weergegeven in Figuur 4-1.

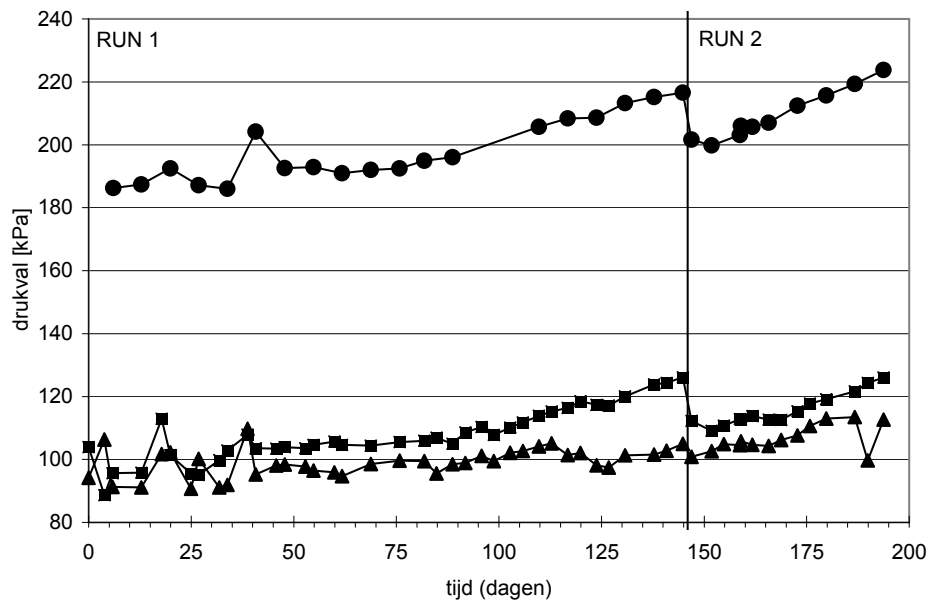


Figuur 4-1 Verloop van de MTC gedurende run 1 en 2; totale installatie (●) trap 1 (■) trap 2 (▲)

In circa de eerste 50 dagen vertoonde de MTC een grillig beeld met een spreiding van circa 5%. De spreiding in de MTC heeft een technische oorzaak: de datalogger rondde de gemeten debieten en drukken af. Na bijstelling van de afronding van de meetgegevens door de datalogger (eind december 2004, na circa 50 dagen) was het beeld van de MTC stabiel.

De MTC van de eerste trap was gedurende de gehele periode 10% lager dan de MTC van de tweede trap en de totale installatie (zie Figuur 4-1). Op basis van de membraanspecificaties die zijn gebruikt bij het plaatsen van de membranen in de installatie (bijlage VIII) zou de MTC van beide trappen gelijk moeten zijn. Van de aangeschafte membraanelementen zijn namelijk de elementen met gemiddelde prestaties gebruikt voor de eerste fase van het onderzoek. Een verklaring voor de lagere MTC van trap 1 is daarom niet voorhanden.

Tijdens run 1 nam de MTC van de totale installatie en van trap 1 en 2 niet af. Op basis van de MTC lijkt er dus geen vervuiling in de vorm van scaling of organische vervuiling te zijn opgetreden tijdens deze run. De genormaliseerde drukval tijdens run 1 en 2 geeft echter aan dat er wel degelijk vervuiling optrad (zie Figuur 4-2). Waarschijnlijk is deze vervuiling veroorzaakt door biomassa (zie hoofdstuk 5).



Figuur 4-2 Verloop van de genormaliseerde drukval gedurende run 1 en 2 totale installatie (●), trap 1 (■) en trap2 (▲)

In de eerste 75 dagen van run 1 steeg de drukval over de afzonderlijke trappen en de totale installatie nauwelijks. Daarna nam de drukval langzaam toe in trap 1. Om vast te stellen waar de vervuiling in trap 1 zich bevond, is de drukvaltoename per element gedurende run 1 en 2 berekend met behulp van de metingen zoals weergegeven in bijlage XII (drukvalmetingen per element in de installatie). De resultaten van deze berekeningen zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-2 Procentuele drukvaltoename per element gedurende run 1 (na een looptijd van 146 dagen)

Element	Drukvaltoename run 1 (%)	
	Element a	Element b
1-1	63	53
1-2	37	29
1-3	21	11
2-6	0	--
3	0	--

Uit Tabel 4-2 en de grafieken in bijlage XII blijkt dat de drukvaltoename het grootst was bij de eerste elementen in beide drukvaten van de eerste trap, het tweede element heeft ook nog een grote drukvaltoename. Vanaf het derde element nam de drukval nauwelijks toe. De drukvaltoename was veroorzaakt door vervuiling van de membraanelementen in het voeding-concentraat kanaal. Om vast te stellen welk type vervuiling (biofouling, NOM-fouling, scaling of deeltjesvervuiling) de oorzaak was van de drukvaltoename, zijn de elementen 1-1a, 1-1b, 1-2b, 2-6 en 3 uit de installatie gehaald voor autopsie. Element 2-6 en 3 vertoonden geen drukvaltoename en werden bij de autopsie gebruikt als

referentiemembraan. De resultaten van deze autopsies zijn beschreven in hoofdstuk 5.

Nadat run 1 is gestopt op 30 maart zijn membraanelement 1-1a, 1-1b, 1-2b, 2-6 en 3 vervangen en is run 2 gestart. Aan het begin van run 2 is de MTC over de totale installatie, trap 1 en trap 2 hoger dan aan het begin van run 1 (zie Figuur 4-1). Vooral bij trap 1 is een sterk verhoogde MTC geconstateerd (circa 10%) waardoor tevens de MTC over de totale installatie hoger is dan tijdens run 1. Deze verhoogde MTC is vooral veroorzaakt door een hoge permeabiliteit van membraanelement 1-1b, zoals geconstateerd tijdens het meten van de permeaatproductie van dit element. Een hoge permeaatproductie kan veroorzaakt zijn door een lekkage bij de lijmranden of O-ringen. Om vast te stellen of er een lekkage optreedt, is (m.b.v. een lans in de permeaatbuis van trap 1) het EGV van het permeaat in trap 1 gecontroleerd op 12 april (na 12 dagen looptijd). Het EGV van het permeaat is echter constant over de lengte van het drukvat, waaruit is geconcludeerd dat er geen sprake is van detecteerbare lekkage. Membraanelement 1-1-b werd hierna opnieuw vervangen waarna de MTC van trap 1 en de totale installatie daalden naar een niveau dat ongeveer gelijk is aan de MTC tijdens run 1.

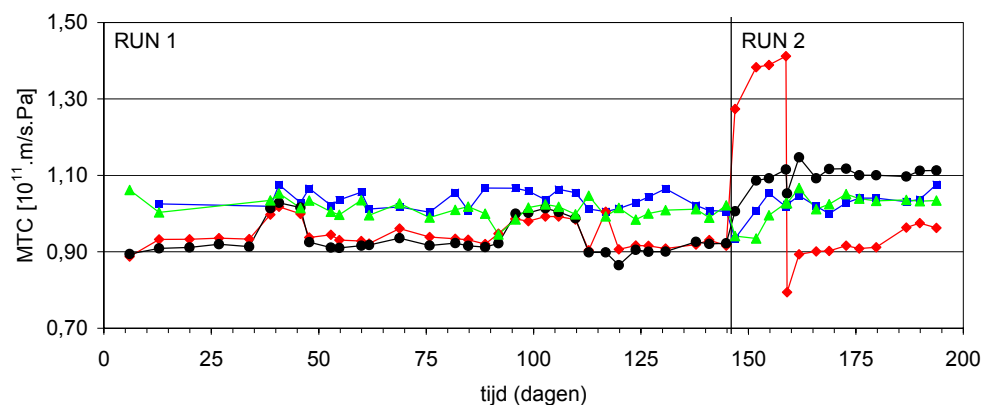
Tijdens run 2 neemt de MTC niet af en is er wederom geen achteruitgang in de membraanprestaties. Maar net als tijdens run 1, neemt ook tijdens run 2 de drukval toe. Waar tijdens run 1 de drukvaltoename alleen is geconstateerd in trap 1, is tijdens run 2 een drukvaltoename waarneembaar in beide trappen (zie Figuur 4-2). Uit bijlage XII blijkt dat de drukvaltoename in trap 2 vooral plaatsvindt in de eerste twee elementen (2-1 en 2-2). Deze toename is mogelijk veroorzaakt doordat in trap 1 en run 1 optredende biofouling zich uitbreidt naar trap 2 in run 2.

#### **4.3.2 Eerste en laatste elementen in de installatie**

Zoals beschreven in paragraaf 2.3, zijn de eerst en laatst geschakelde elementen in de NF-installatie apart onderzocht. De elementen 1-1b en 2-6 produceerden continu permeaat waarbij het productwater apart van de rest van de membranen is afgevoerd om de productiehoeveelheid te kunnen meten en de waterkwaliteit te kunnen analyseren. De elementen 1-1a en 3 produceerden tijdens de normale bedrijfsvoering geen permeaat en werden alleen van voeding- naar concentraatzijde doorstroomd. Van deze elementen werd tweemaal per week de MTC bepaald door handmatig de productafvoer te openen en de gewenste gegevens te verzamelen. De gegevens van membraan 1-1a en 1-1b zijn met elkaar vergeleken om vast te stellen of de vervuiling is beïnvloed door de (dis)continue permeaatproductie. Hetzelfde is gedaan voor de membraanelementen 2-6 en 3 zodat zowel aan de voeding- als aan de concentraatzijde van de 2-traps installatie elementen met elkaar vergeleken zijn.

Het debiet van de voedingswaterstroom door de elementen 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 is niet afzonderlijk gemeten. Eventueel optredende verschillen in het debiet van de voedingswaterstroom door verschillen in drukvallen zijn dan ook niet meegenomen bij verwerking van de resultaten.

De MTC van de vier elementen tijdens run 1 en 2 zijn weergegeven in Figuur 4-3.



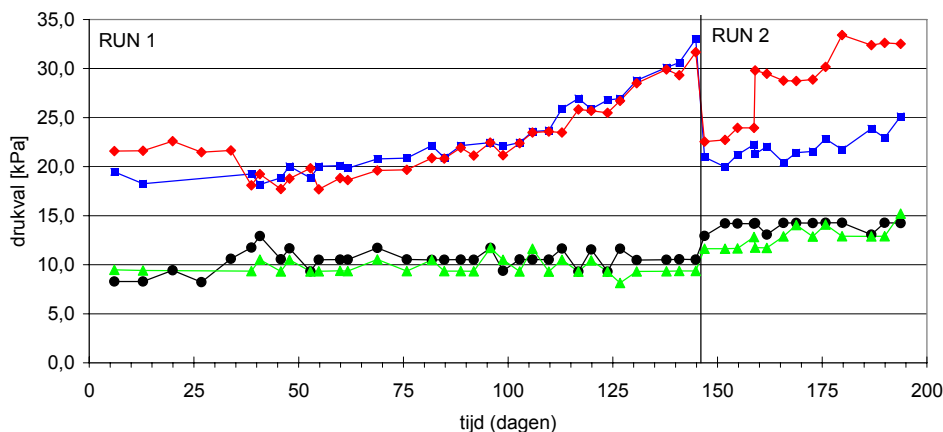
Figuur 4-3 Verloop van de MTC gedurende run 1 en 2 element 1-1a (■), element 1-1b (◆), element 2-6 (●) en element 3 (▲)

Uit Figuur 4-3 blijkt wederom dat de membraanprestaties gedurende run 1 en 2 constant zijn. Dus ook de separaat onderzochte membraanelementen vertonen, net als trap 1 en 2, geen toe- of afname van de MTC gedurende run 1 en 2. Ook de discontinue permeaatproductie door element 1-1a en 3 lijkt geen invloed te hebben. De MTC van element 1-1a en 3 blijft, net als de MTC van element 1-1b en 2-6, nagenoeg constant gedurende run 1 en 2 (uitgezonderd de hogere MTC van het afwijkende element 1-1b bij de start van run 2).

Opvallend in Figuur 4-3 is de toename van de MTC van element 2-6 bij de start van run 2. De toename in de MTC is verklaarbaar doordat membraanelement 2-6 is vervangen na run 1. Het nieuw geplaatste membraanelement heeft, volgens informatie van de leverancier (zie bijlage VIII) een hogere productie dan het element dat tijdens run 1 op positie 2-6 is gebruikt (355 l/uur ten opzichte van 305 l/uur bij metingen onder standaard omstandigheden door de leverancier). De verschillen in de MTC-waarde van de 4 membraanelementen is mogelijk veroorzaakt door de manier van meten van de permeaatproductie en de daaruit voortvloeiende meetnauwkeurigheid. Het debiet van de niet continu producerende membranen (1-1a en 3) is gemeten door middel van handmatige meting van de permeaatproductie (met behulp van een stopwatch en maatcilinder). Het debiet van de continu producerende membranen is gemeten met behulp van magnetische flowmeters en gelogd met een signaal van transmitters.

Op basis van bovenstaande resultaten, geen daling in MTC in de tweede trap of element 3, volgt dat er geen scaling en/of organische vervuiling van de membraanelementen is opgetreden in de laatste elementen. Gebaseerd op de voor de start van het onderzoek uitgevoerde projectieberekeningen, werd ook geen scaling verwacht. De verzadigingsindices voor  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$  en  $\text{CaF}_2$  bij de projectieberekeningen, gaven alle waarden van  $<10\%$ . Scaling van deze zouten op het membraan is daardoor uitgesloten.  $\text{SiO}_2$  verzadiging van het concentraat was circa 40% en vormde geen probleem.

De drukval over de 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 geven een ander beeld dan de MTC (zie Figuur 4-4). In bijlage XII zijn de drukvallen van alle elementen weergegeven voor run 1 en 2.



Figuur 4-4 Verloop van de drukval gedurende run 1 en 2 element 1-1a(■) element 1-1b (◆) element 2-6 (●) element 3 (▲)

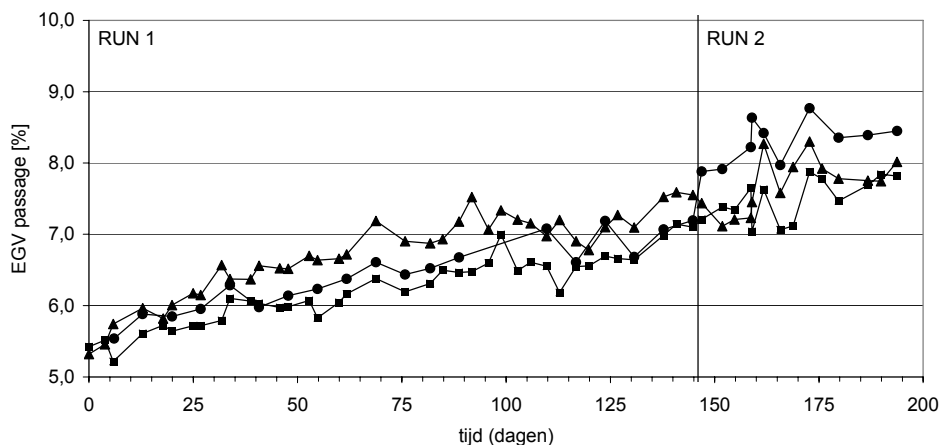
Het verloop van de drukval van element 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 komt overeen met het beeld van de drukval van trap 1 en 2 gedurende run 1 en 2 (zie paragraaf 4.3.1). Toename van de drukval in de eerste trap vindt plaats tijdens run 1 en run 2. De drukval in de tweede trap is tijdens beide runs constant.

Tijdens run 1 is er geen verschil in drukvaltoename tussen het continu producerende element (1-1b) en het element dat slechts tweemaal per week permeaat produceert (1-1a). Run 2 geeft hetzelfde beeld. Nadat het element op positie 1-1b is vervangen op 12 april 2005, is de drukval over dit element toegenomen. Een mogelijke verklaring hiervoor is de verhoogde drukmeting vóór membraan 1-1b (door bijvoorbeeld een blokkade in het meetpunt). Deze hypothese is al tijdens het onderzoek gesteld, maar kan niet gemakkelijk worden gecontroleerd. Wel is duidelijk dat de drukvaltoename over element 1-1b ongeveer hetzelfde is al over element 1-1a gedurende run 2.

Afgaande op de gemeten drukval en waargenomen membraanpermeabiliteit mag worden geconcludeerd dat de vervuilingsgevoeligheid van een membraanelement in de onderzochte situatie niet is beïnvloed door de permeaatproductie. Continu of discontinu produceren van permeaat beïnvloedt de membraanprestaties niet. Tevens blijkt uit de gegevens dat deze conclusie getrokken kan worden voor de eerste elementen in trap 1, evenals voor de laatste elementen in trap 2. Mogelijk geldt deze conclusie niet in situaties waar andere vervuiling optreedt, bijvoorbeeld vervuiling waardoor de MTC daalt.

#### 4.3.3 Zoutpassage

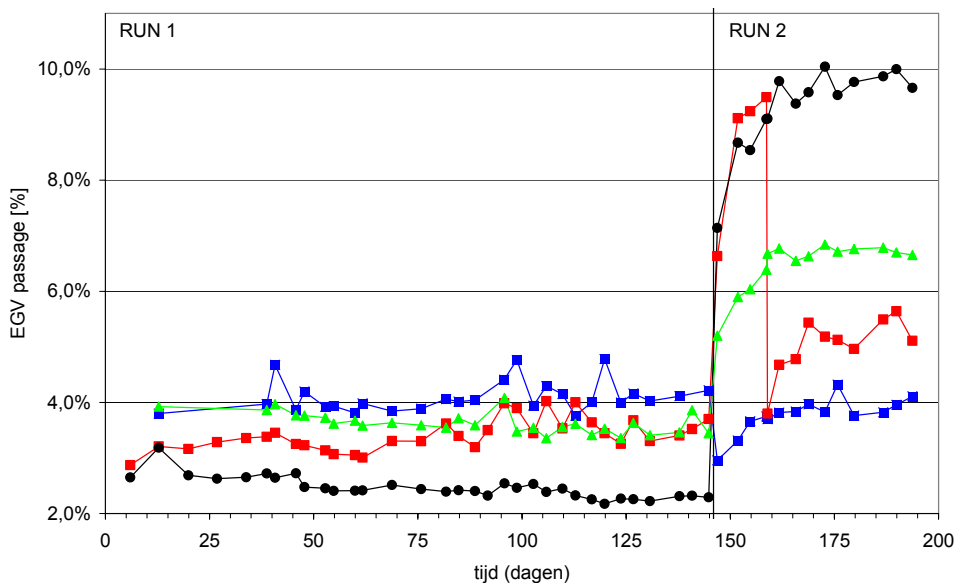
De zoutpassage is vastgesteld met behulp van EGV-metingen. De EGV-passage van de totale installatie, trap 1 en 2 tijdens run 1 en 2 is weergegeven in Figuur 4-5.



Figuur 4-5 Verloop van de EGV-passage gedurende run 1 en 2 totale installatie (●) trap 1 (■) trap2 (▲)

De EGV-passage neemt gedurende het verloop van zowel run 1 als run 2 toe voor zowel de eerste als de tweede trap. Hierdoor neemt ook de EGV-passage van de gehele installatie toe. In een periode van 145 dagen (run 1) is de EGV-passage toegenomen met 2%. Deze onverwachte toename is hoog voor het aangeboden water en een duidelijke verklaring is hiervoor niet te geven (zie o.a. paragraaf 4.3.1 over lansmetingen en paragraaf 4.5 voor de verwijdering van ionen gedurende de onderzoeksperiode).

Ook van de afzonderlijk onderzochte membraanelementen op positie 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 is de zoutpassage vastgesteld met behulp van EGV-metingen. De resultaten gedurende run 1 en 2 zijn weergegeven in Figuur 4-6.



Figuur 4-6 Verloop van de EGV-passage gedurende run 1 en 2 element 1-1a (■) element 1-1b (◆) element 2-6 (●) element 3 (▲)

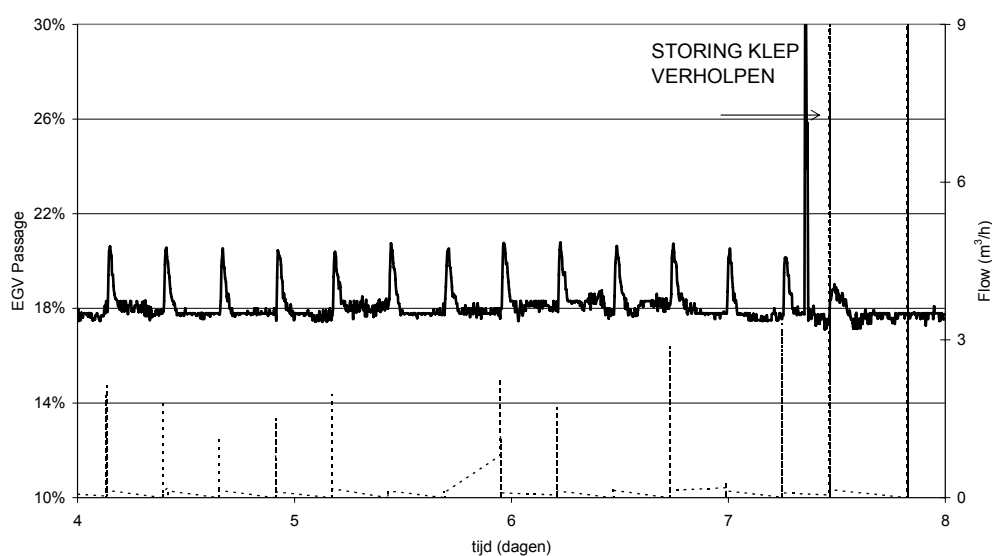
De EGV-passage per element is stabiel tijdens run 1. Tijdens run 2 is de invloed van het vervangen van de membraanelementen te zien. De nieuwe elementen geven een hogere EGV-passage waardoor ook de EGV-passage over de totale installatie iets hoger is (zie Figuur 4-5).

Ook is de invloed van het slechte element 1-1b op de passage duidelijk waarneembaar. Tijdens het gebruik van dit membraan loopt de EGV-passage van alle membranen en de totale installatie op, nadat het element is vervangen wordt de EGV-passage van het element beduidend lager en stabiliseren de EGV-passages van de andere elementen. De relatie tussen de EGV-passage en retentie van diverse geanalyseerde parameters is beschreven in paragraaf 4.5.

Opmerking: de verschillen in de EGV-passage tussen opeenvolgende punten wordt veroorzaakt door de meetfout van de meetapparatuur. Deze fout is groter bij de berekening van de EGV-passage per membraanelement.

#### 4.3.4 Invloed storing UF-installatie op de verouwing NF-installatie

Tijdens run 2 is er een probleem opgetreden met de aansturing van de permeaatklep van de UF-installatie. Deze storing is uitgebreid beschreven in bijlage VII. Door deze storing is er tijdens de chemische reiniging van de UF-installatie met zoutzuur (pH=2), voedingswater geproduceerd met een lagere pH. Dit heeft mogelijk een effect op de verwijdering van opgeloste stoffen door de NF-membranen. In Figuur 4-7 is zowel de doorslag van EGV van de voeding naar permeaat als het debiet van de chemische reinigingen weergegeven tijdens de laatste vier dagen van de storing.



Figuur 4-7 Passage van EGV door de NF-membranen en het debiet van de chemische reiniging bij de UF-installatie tijdens storing bij de UF-installatie (EGV (-) en flow chemische reiniging (- -))

Uit de grafieken volgt dat, nadat een chemische reiniging is uitgevoerd bij de UF-installatie, de passage van EGV door de NF-membranen toeneemt. De toename van de passage van EGV wordt mogelijk veroorzaakt door de lagere pH



van het voedingswater, want als gevolg van de niet-functionerende klep bij de UF-installatie stroomt een deel van het water dat wordt gebruikt bij de chemische reiniging naar het permeaatvat. Bij uitvoeren van een chemische reiniging met zoutzuur daalt de pH van het water in het permeaatvat dat wordt gebruikt als voedingswater van de NF-installatie.

De verhoging van het EGV toont aan dat de passage van opgeloste zouten door de membranen toeneemt als gevolg van de pH verlaging. De verhoging van het EGV is maar van korte duur (45 minuten) en heeft geen invloed gehad op de vervuiling van de NF-membranen. In de genormaliseerde MTC en drukval is geen effect zichtbaar van de lagere pH en/of hogere EGV-passage. De invloed van de pH op verwijdering van opgeloste stoffen door NF-membranen is een bekend fenomeen en is eerder vastgesteld bij internationale onderzoeken en een BTO-project [Beerendonk et al, 2005].

#### **4.4 Membraanprestaties bij recovery van 87%**

Nadat het onderzoek met de biofilmmonitoren en boilersystemen was afgerond (einde run 2), is de recovery verhoogd naar 87%. Bij deze recovery is geen scaling verwacht als AS wordt gedoseerd. Zonder AS-dosering kan scaling van  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{SiO}_2$  worden verwacht. De experimenten bij recovery van 87% (run 3 en 4) zijn uitgevoerd om vast te stellen hoe membraanvervuiling zich zou ontwikkelen als gevolg van de hogere recovery (met kans op scaling).

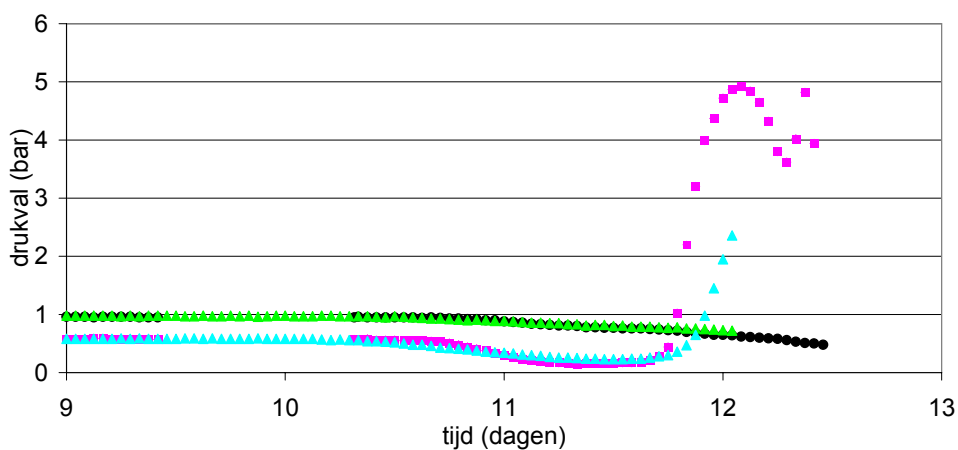
Om problemen met de doseerpomp voor de anti-scalant (zie paragraaf 4.1) te voorkomen tijdens het onderzoek met de verhoogde recovery, is op 18 mei de doseerpomp verplaatst tot onder het niveau in het voorraadvat met AS. Hierdoor is het aanzuigen of ontstaan van luchtbellen aan de zuigzijde van de doseerpomp niet meer mogelijk.

De grafieken met genormaliseerde meetgegevens zijn weergegeven in bijlage XIV.

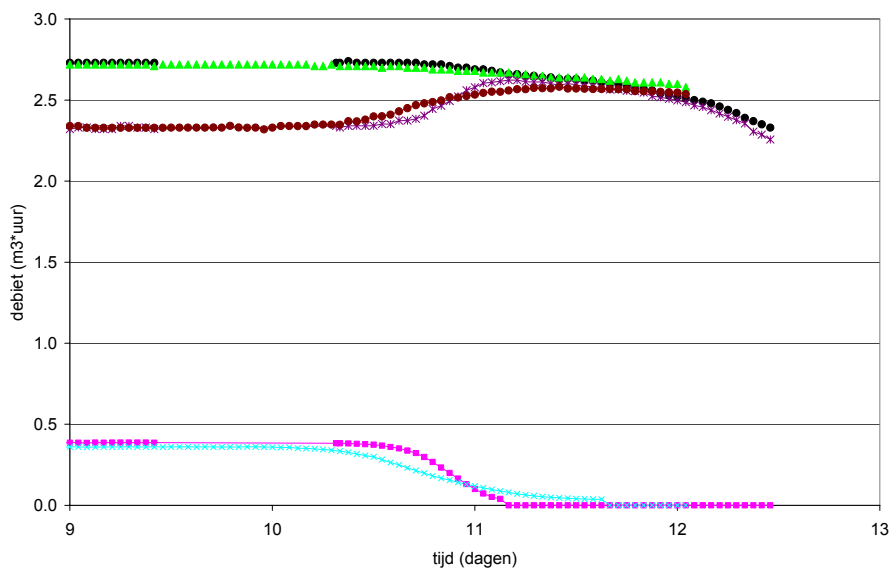
##### **4.4.1 Trap 1 en 2**

Net als tijdens run 1 en 2, zijn ook tijdens run 3 en 4 tweemaal per week enige metingen handmatig uitgevoerd naast de continue opslag van allerlei gemeten parameters. Omdat de vervuiling van de membranen zich uiteindelijk zeer snel ontwikkelde na een moment van handmatige metingen, zijn alleen de gelogde gegevens gebruikt om de vervuiling in kaart te brengen en het verloop van de vervuiling te verklaren. Deze gegevens zijn niet genormaliseerd vanwege ontbrekende EGV-metingen en andere handmatige metingen die tweemaal per week zijn uitgevoerd. Aangezien de watertemperatuur gedurende run 3 en 4 nauwelijks varieert, geven de niet genormaliseerde gegevens voldoende beeld van de membraanprestaties en -vervuiling.

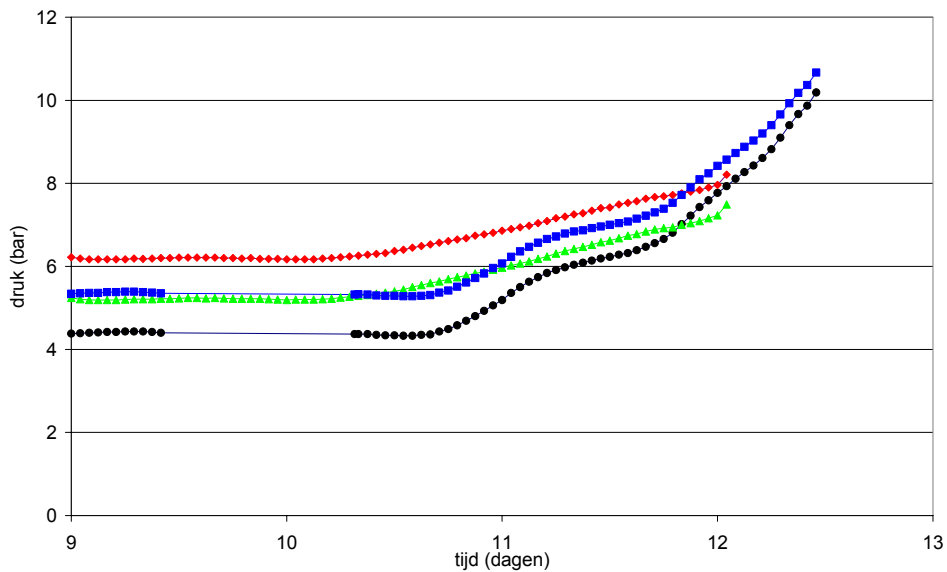
In Figuur 4-8 t/m Figuur 4-11 zijn diverse gegevens weergegeven gedurende de looptijd van run 3 en 4. Dag 1 t/m 8 zijn niet weergegeven aangezien de gemeten waarden nagenoeg constant waren.



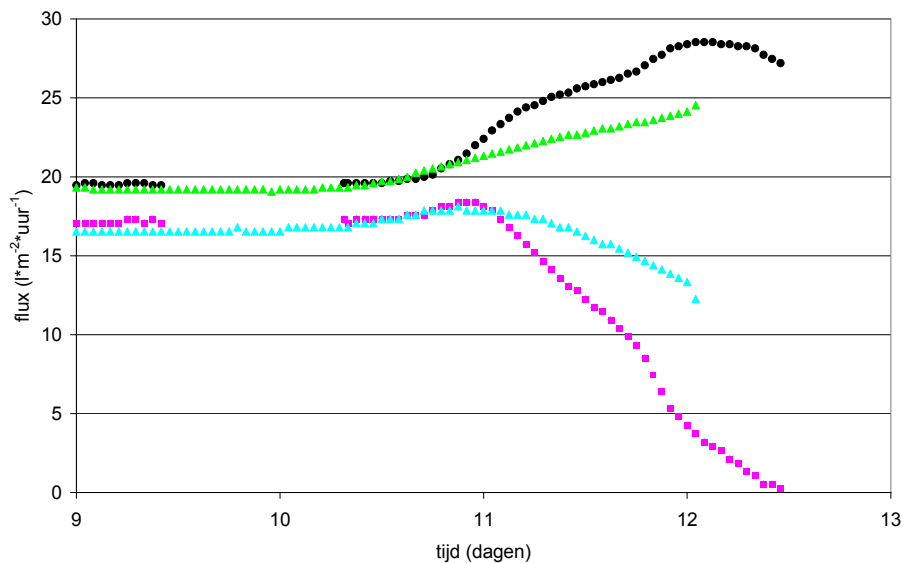
Figuur 4-8 Verloop van de drukval over trap 1 en 2 tijdens run 3 en 4 (trap 1, run 3 (●) trap 1, run 4 (▲) trap 2, run 3 (■) trap 2, run 4 (▲))



Figuur 4-9 Verloop van het debiet van de voeding en het concentraat tijdens run 3 en 4 (voeding run 3 (●) voeding run 4 (▲) concentraat run 3 (■) concentraat run 4 (▲) permeaat run 3 (●) permeaat run 4 (\*))



Figuur 4-10 Verloop van de voedingsdrukken van trap 1 en 2 tijdens run 3 en 4 (trap 1 run 3 (■) trap 1 run 4 (■) trap 2 run 3 (●) trap 2 run 4 (▲))



Figuur 4-11 Verloop van de flux van trap 1 en 2 tijdens run 3 en 4 (trap 1, run 3 (●) trap 1, run 4 (▲) trap 2, run 3 (■) trap 2, run 4 (▲))

Uit Figuur 4-8 t/m Figuur 4-11 blijkt dat de drukval over trap 1 en 2 de eerste 11 dagen na de verhoging van de recovery niet toenam. Gedurende dag 12 begon de drukval over trap 1 en 2 af te nemen. Een afname van de drukval wordt niet direct gecorreleerd met het optreden van membraanvervuiling; meestal neemt de drukval juist toe bij het optreden van vervuiling. Uit Figuur 4-9 blijkt echter dat het debiet van de voeding en het concentraat afneemt waardoor de drukval afneemt. Na verloop van tijd (totaal bijna 12 dagen) nam de vervuiling echter dermate snel toe dat de drukval zeer snel opliep. Een ander gevolg van de snel

toenemende vervuiling is dat de hoeveelheid water door de voeding-concentraatspacer afneemt en de hoeveelheid geproduceerd permeaat toeneemt. De installatie werd gestuurd op een constant concentraatdebiet. Echter, op een gegeven moment was de concentraatklep blijkbaar volledig geopend en de vervuiling in het voeding-concentraatkanaal zo hoog dat het concentraatdebiet afnam. Tegelijkertijd nam daardoor het permeaatdebiet toe. Daarnaast nam tevens de voedingsdruk toe aangezien de installatie ingesteld was om een gewenste hoeveelheid concentraat te produceren. Normalisatie van de gegevens kan de daling van de drukval compenseren voor het verlaagde debiet. Tijdens de periode van verlaagd debiet zijn echter onvoldoende metingen uitgevoerd om de normalisatie te kunnen uitvoeren.

De hoeveelheid geproduceerd permeaat nam in eerste instantie dus toe door de sterke vervuiling in de voeding-concentraatspacer en de toenemende voedingsdruk. Het permeaat werd echter vooral geproduceerd in trap 1. De membraanelementen in trap 2 zijn zo sterk vervuild dat de drukval sterk toenam en de flux sterk afnam. Uit Figuur 4-11 blijkt dat tegen het einde van run 3 ook in trap 1 de flux afnam. Zeer waarschijnlijk waren de elementen in trap 1 ook vervuild.

Uiteindelijk is de installatie na 12 dagen in storing gevallen. Op dat moment was de productie van permeaat door de membranen in trap 2 gereduceerd tot nul tijdens run 3. De drukval vlak voor het einde van run 3 bedroeg 7,3 bar.

Vanwege de optredende vervuiling aan het einde van de tweede trap, is het aannemelijk dat de optredende vervuiling scaling is. Zodra er scaling op het membraanoppervlak optreedt, is dat oppervlak minder of geheel niet meer beschikbaar voor filtratie. Hierdoor krijgt het nog schone membraanoppervlak per saldo meer voedingswater te verwerken waardoor er hogere drukken ontstaan aan de voedingszijde van het membraan. Ook neemt de concentratie van componenten aan de voedingszijde van de membraanelementen toe met als gevolg dat er een groter aanbod aan potentieel vervuilende en/of scalende componenten is. Dit proces wordt versneld doordat er steeds minder effectief membraanoppervlak beschikbaar komt. Met als gevolg dat de scaling groeit vanaf het laatste element naar voorliggende elementen in de installatie waardoor de drukval en flux in de vervuilde elementen zeer snel zal afnemen.

Aan het einde van run 3 is, om de scaling te verwijderen, een handmatige reiniging met een zure oplossing uitgevoerd. Tijdens de reiniging is permeaat met een pH van 2 gedurende drie uur over trap 2 gerecirculeerd. De reiniging heeft niet het gewenste effect gehad. Er is tijdens de reiniging nauwelijks water door de membranen gekomen en de scaling is dus niet verwijderd.

Uiteindelijk zijn de vervuilde membraanelementen in trap 2 en element 3 vervangen vóór de start van run 4. Tijdens het vervangen van de elementen is de scaling duidelijk zichtbaar aanwezig in de voeding-concentraatspacer en de dode ruimtes in de drukbuizen. Aan de wand van de drukbuis en in het leidingwerk zit een kalkachtige laag. Het water dat zich nog in de membranen bevindt, ziet er melkachtig uit.

Tijdens run 4 zijn de waarnemingen nagenoeg gelijk aan die tijdens run 3. Run 4 is echter iets eerder beëindigd omdat de drukvaltoename geconstateerd is bij een controlebezoek op 14 juni 2005.

Omdat de installatie tijdens run 4 nog in bedrijf was, op het moment dat de vervuiling is geconstateerd tijdens de controles, zijn de drukvallen per element gemeten net voordat de installatie is stopgezet. In bijlage XV zijn de resultaten weergegeven van de drukvallen over de elementen die tijdens run 4 zijn gemeten. De gemeten drukvallen geven duidelijk aan dat de concentraatzijde van de membraanelementen 2-6 en 3 nagenoeg verstopt zijn. De drukval over element 3 is 2 bar terwijl de drukval over element 2-6 0,14 bar is. De flux van element 2-6 is afgenomen naar  $5 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{uur}^{-1}$ . Indien de installatie niet zou zijn stopgezet, zou binnen enkele uren de flux van element 2-6 nul zijn geworden, zoals ook tijdens run 3 is gebeurd.

De elementen van trap 1 en trap 2 met uitzondering van element 2-6 geven een daling van de drukval te zien die het sterkst is bij de elementen in de tweede trap en de laatste elementen van trap 1. Bij controle van alle gemeten drukvallen is duidelijk te zien dat de vervuiling zich concentreert in de laatste elementen van de installatie. Dit duidt op scaling, die wordt bevestigd door de membraanautopsies (zie hoofdstuk 5). Ook tijdens run 4 is de tijd tussen het begin van de vervuiling en het stopzetten van de installatie 3 dagen.

Nadat run 4 gestopt is zijn membraanelementen 2-6 en 3 uit de installatie verwijderd en voor autopsie opgestuurd. De resultaten van de autopsie staan vermeld in hoofdstuk 5.

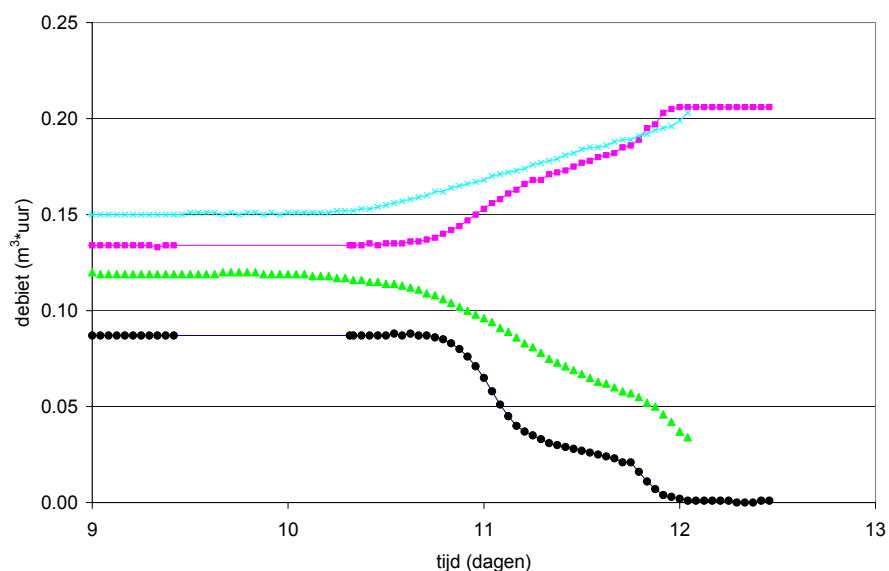
Tijdens het verwijderen van de membraanelementen is duidelijk te zien dat er afzetting van kalk heeft plaatsgevonden op de wanden van de drukbuis en de concentraatleidingen zoals ook het geval was aan het einde van run 3. Na het monteren van nieuwe elementen op positie 2-6 en 3 is de installatie weer opgestart. Tijdens het opstarten van de installatie blijkt dat de scaling zich heeft verplaatst naar membraanelement 2-5. Deze produceert niet meer en heeft een drukval van 0 bar. Na overleg is besloten om de installatie niet meer op te starten.

Voor de opgetreden scaling is geen directe verklaring te geven. Op basis van projectieberekeningen werd geen scaling verwacht bij een recovery van 87% en dosering van 7,2 mg/l AS. Wel geven de projectieberekeningen aan dat de verzadiging van  $\text{CaCO}_3$  en  $\text{SiO}_2$  hoog is bij dosering van AS. Zonder AS kan er direct oververzadiging, en dus scaling, worden verwacht. Mogelijk is tijdens de experimenten zowel in run 3 als in run 4 na circa 12 dagen de AS-dosering kortstondig onderbroken, of in storing getreden, waardoor de scaling heeft kunnen optreden. Op basis van de beschikbare informatie is dit echter niet met zekerheid te concluderen.

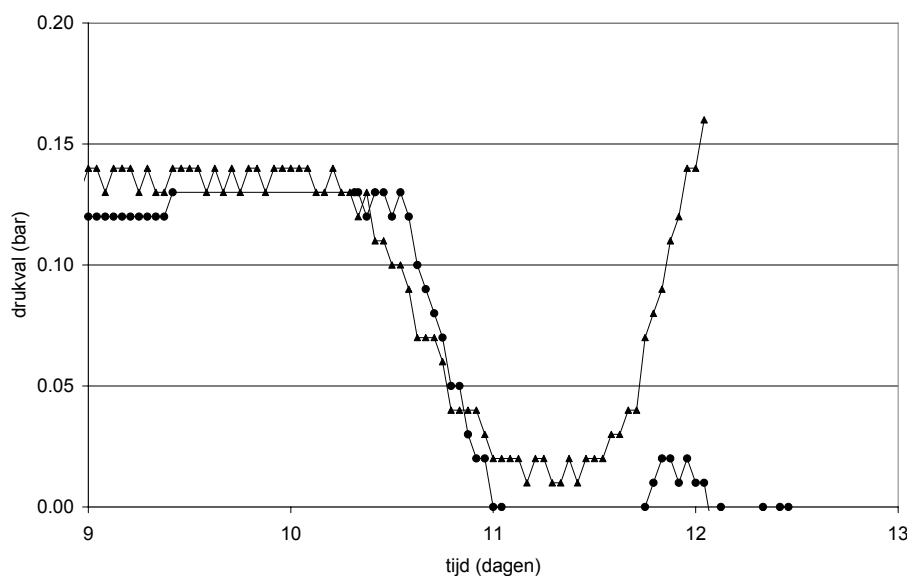
#### **4.4.2 Eerste en laatste elementen in de installatie**

De elementen 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 zijn apart onderzocht om het verschil in vervuiling vast te kunnen stellen aan het begin van de 1<sup>e</sup> trap en aan het einde van de 2<sup>e</sup> trap. Tevens is de bedrijfsvoering zodanig ingesteld dat de invloed van wel of geen productie van permeaat op de vervuiling kan worden vastgesteld.

Tijdens run 3 en 4 zijn er nauwelijks handmatige metingen van drukken, debieten en het EGV uitgevoerd vanwege de korte duur van deze runs. Daarom zijn er geen membraanprestaties bekend van de elementen 1-1a en 3. Van de elementen 1-1b en 2-6 zijn wel gegevens bekend aangezien hiervan een aantal metingen continu werd uitgevoerd en gelogd. De verzamelde gegevens over de elementen 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 zijn weergegeven in Figuur 4-12 en Figuur 4-13.



Figuur 4-12 Debit permeaat van element 2-6 en 1-1b tijdens run 3 en 4 (element 2-6, run 3 (●), element 2-6 run 4 (▲), element 1-1b run 3 (■), element 1-1b run 4 (×))



Figuur 4-13 Verloop van de drukval over element 3 tijdens run 3 en 4 (element 3, run 3 (●) element 3, run 4 (▲))

Uit de figuur met het verloop van de permeaat debieten (Figuur 4-12) kan worden geconcludeerd dat de vervuiling van element 2-6 begint na bijna 11 dagen. Deze conclusie wordt bevestigd door de drukval over element 3 (zie

Figuur 4-13). De conclusie zoals omschreven in paragraaf 4.4.1 is met deze gegevens bevestigd. De vervuiling begint aan het einde van de installatie, neemt snel toe en is daarna zo ernstig dat de membraanelementen 2-6 en 3 aan het einde geen permeaat meer produceren.

De vervuiling neemt vervolgens toe in de gehele trap 2 waardoor de permeaatproductie in trap 1 omhoog gaat (zie paragraaf 4.4.1). Ook deze conclusie is bevestigd door het verloop in het permeaatdebiet van membraan 1-1b: het debiet neemt toe in de laatste 2 dagen van run 3.

Tijdens run 4 zijn de waarnemingen nagenoeg gelijk aan de waarnemingen tijdens run 3. Alleen de drukval over element 3 neemt aan het einde van run 4 juist toe in plaats van af. Hiervoor is geen verklaring te geven.

Het doel van het onderzoek aan element 1-1a, 1-1b, 2-6 en 3 was het vaststellen van de invloed van wel of geen permeaatproductie op de membraanvervuiling. De metingen waarmee deze invloed onderzocht is, zijn tweemaal per week uitgevoerd en helaas tijdens run 3 en 4 alleen uitgevoerd in de periode dat de membraanvervuiling nog niet optrad (zie bijlage XIV). De hoeveelheid metingen is ontoereikend om de verschillen tussen membraanelement 1-1a en 1-1b of 2-6 en 3 vast te kunnen stellen.

#### **4.5 Effect op watersamenstelling (chemisch en fysisch)**

Om de procesvoering van de NF-installatie te bewaken zijn iedere twee weken monsters genomen en geanalyseerd door het laboratorium van Vitens. De analyseresultaten zijn samengevat in Tabel 4-3. In Tabel 4-4 zijn de retenties van de verschillende parameters vermeld.

Naast de in Tabel 4-3 vermelde parameters zijn ook ijzer, mangaan, sulfaat en diverse metalen geanalyseerd. De concentraties van deze parameters in het voedingswater lagen onder de analysegrens, daarom zijn deze parameters niet vermeld in onderstaande tabellen.

Tabel 4-3 Analyseresultaten van het water voor en na NF (tussen haakjes vermeld zijn de concentraties zoals berekend bij de projectieberekening).

Parameter	Voeding		Permeaat		Concentraat	
	Gem.	Standaard deviatie	Gem.	Standaard deviatie	Gem.	Standaard deviatie
DOC (mg C/l)	7,6	0,4	<0,2	0,3	32	6
UV-ext. (l/m)	19	1,6	<0,5	< 0,5	78	11
Kleur (mg Pt/l)	16	1,4	<2	< 2	80	22
pH	7,62	0,1	6,67	0,3	7,92	0,1
EGV (mS/cm)	50	1	8	2	162	14
Bicarbonaat (mg HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	286 (287)	7	30 (61)	10	1023 (959)	39
Chloride (mg Cl/l)	30 (30)	1	6,2 (6,4)	2,5	107 (100)	12
Natrium (mg Na/l)	74 (74)	5	13 (27)	0,7	242 (213)	16
Calcium (mg Ca/l)	32 (32)	4	< 5 (1,3)	< 5	123 (123)	24
Magnesium (mg Mg/l)	9,8 (9,5)	0,6	<0,5 (0,4)	< 0,5	37 (37)	1,8
Kalium (mg K/l)	2,2 (2,5)	0,2	0,4 (1,2)	0,1	8,3 (6,5)	0,8
Nitraat (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /l)	12 (12)	0,5	8,3 (4,6)	0,5	23 (34)	2
Barium (µg Ba/l)	32 (30)	6	6	5	100 (120)	11
Kieselzuur (mg Si/l)	15 (15)	0,6	5 (3,2)	0,4	34 (50)	15
Strontium (µg Sr/l)	153 (50)	17	2	2	569 (190)	82
Fluoride (mg F/l)	0,08 (0,1)	0,01	<0,05 (0,01)	< 0,05	0,17 (0,3)	0,11
CZV (mg O <sub>2</sub> /l)	33	18	5	0	77	3

De gemeten gemiddelde concentraties in het voedingswater, permeaat en concentraat komen goed overeen met de resultaten van de projectieberekeningen. De verwijdering van natrium, kalium en bicarbonaat is zelfs beter dan verwacht op basis van de projectieberekeningen. De verwijdering van nitraat en kieselzuur ligt iets lager dan verwacht op basis van de projectieberekening.

Calcium, magnesium, kalium en natrium zijn alleen aan het begin van de onderzoeksperiode gemeten (laatste keer na 82 dagen). Waarbij magnesium voor 97% is verwijderd, calcium voor 92%, natrium voor 83% en kalium voor 84%. De retentie van tweewaardige calcium- en magnesiumionen is duidelijk hoger dan de retentie van eenwaardige natrium- en kaliumionen.

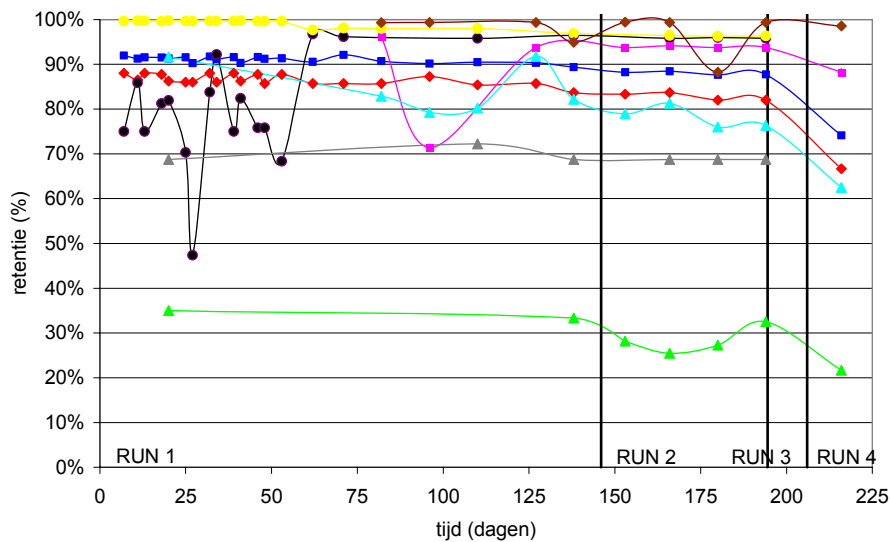


Tabel 4-4 Retentie van diverse parameters bij de NF-installatie

Parameter	Retentie (%)		
	min	max	gem
DOC	88	>99	98
UV-ext.	96	>99	98
Kleur	71	>96	89
EGV	67	88	85
Waterstofcarbonaat	74	92	89
Chloride	63	92	80
Natrium	80	85	83
Calcium	91	>94	92
Magnesium	97	>98	97
Kalium	78	88	84
Nitraat	22	35	29
Barium	47	97	82
Kieselzuur	60	68	66
Strontium	96	100	99
Fluoride	69	>72	70
CZV	75	100	86

De retentie voor nitraat is aanzienlijk lager dan de retentie voor chloride. De molecuulgewichten van beide componenten komen weliswaar overeen; de ladingsverdeling is echter verschillend. Bij chloride bevindt de lading zich op één punt, terwijl de lading van nitraat verdeeld is over de bindingen tussen het N-atoom en de O-atomen. Aangezien scheiding geschiedt op basis van verschil in grootte en lading is de retentie van nitraat veel lager dan de retentie van chloride. De retentie van fluoride is relatief gering aangezien deze component een lager molecuulgewicht heeft in vergelijking met andere eenwaardige componenten zoals natrium, chloride en kalium. De onderlinge verschillen kunnen worden verklaard op basis van molecuulgewicht en lading.

In Figuur 4-14 zijn de retenties van parameters weergegeven die gedurende de gehele onderzoeksperiode zijn gemeten. Opvallend zijn de grote fluctuaties in de retentie voor barium en een toename van de retentie vanaf januari 2005. De fluctuaties treden op tot januari 2005 en zijn daarna niet meer waarneembaar. Ook blijkt de concentratie van barium in het permeaat vanaf januari 2005 altijd <1 µg/l te zijn terwijl in 2004 gemiddeld 8 µg/l barium is aangetoond in het permeaat. Aangezien een werkelijke verandering van de bariumconcentratie in het permeaat niet te verwachten is, zou een verandering in de gebruikte analysemethode de verklaring kunnen zijn voor de verandering in bariumconcentraties en de grote fluctuaties in de periode tot januari 2005. Het laboratorium van Vitens is namelijk vanaf 1 januari overgestapt van analyse met AAS naar analyse met ICP-MS. Bij strontium is het effect net omgekeerd: tot januari 2005 is de concentraties van strontium in het permeaat onder de analysegrens (<1 µg/l), terwijl in 2005 concentraties van 3 tot 6 µg/l zijn aangetoond in het permeaat.



Figuur 4-14 Retenties waterstofcarbonaat (■) EGV (♦) Barium (●) Nitraat (▲) Kleur (■) Chloride (▲) Strontium (●) Fluoride (▲) DOC (♦)

Uit Figuur 4-14 blijkt tevens dat de retenties gedurende run 1 en 2 iets afnemen (met uitzondering van DOC). Vooral de chlorideretentie daalt, al moet er worden opgemerkt dat de retentie tweemaal 92% is (op 24-11-2004 en 11-03-2005) terwijl de rest van de berekende retenties 76 tot 83 % bedraagt. Wel vertoont de chlorideretentie een licht dalende trend met een negatieve uitschieter tijdens run 4 (63%). Deze waarneming komt overeen met de toename van de zoutpassage over de gehele installatie gedurende run 1 en 2 (zie Figuur 4-5). De toename van de passage van EGV en chloride (afname retentie) kan gedeeltelijk worden verklaard doordat enkele elementen uit de installatie zijn vervangen na run 1. De elementen die gebruikt zijn in run 2 hadden een slechtere retentie volgens opgave van de leverancier (zie bijlage VIII). Daarnaast is een geringe daling in de EGV-retentie zichtbaar gedurende run 1, van circa 88% naar 84%. Verder dalend van 84% naar 82% gedurende run 2. Deze daling was niet verwacht op basis van het gebruikte voedingswater (drinkwaterkwaliteit) en het feit dat de membranen niet beschadigd zijn door reinigingschemicaliën aangezien reinigingen niet hebben plaatsgevonden.

Tenslotte blijkt uit Figuur 4-14 dat de retenties van de opgeloste stoffen tijdens run 4 duidelijk lager zijn dan tijdens run 1 en 2. Vanwege de korte duur van run 3, zijn er tijdens die run geen watermonsters genomen. De lagere retenties zijn veroorzaakt door de verhoging van de recovery tijdens run 3 en 4. De retenties van de geanalyseerde parameters nemen af met 6% tot 15% als gevolg van de verhoogde recovery. Alleen de verwijdering van DOC is niet beïnvloed door de hogere recovery. Zowel tijdens run 1 en 2 als tijdens run 4 bedraagt de verwijdering circa 98%. Een mogelijke verklaring hiervoor is het feit dat de verwijdering van DOC voor een groot deel bepaald wordt doordat het relatief grote moleculen betreft waarvan de verwijdering onafhankelijk is van de recovery.

#### 4.6 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

##### *Conclusies*

Samengevat kunnen de volgende zaken worden geconcludeerd over de prestaties van de NF-membranen bij toepassing op rein water van Spannenburg met voorafgaande UF:

- bij een recovery van 75% daalde de MTC niet gedurende een looptijd van 7 maanden. Toch trad er binnen 3 a 4 maanden vervuiling (10-15% verhoging van de genormaliseerde drukval) op van de eerste elementen aan de voedingszijde. Het type vervuiling is biofouling (zie hoofdstuk 5 en 7);
- een recovery van 87% leidde binnen 13 dagen tot een uitzonderlijke scaling in de 2<sup>e</sup> en 3<sup>e</sup> trap van de installatie. Op basis van projectieberekeningen werd deze scaling niet verwacht.
- de vervuilingsgevoeligheid van een membraanelement werd in de situatie te Spannenburg niet beïnvloed door de permeaatproductie. Continu of discontinu produceren van permeaat beïnvloedde de membraanprestaties niet. Mogelijk geldt deze conclusie niet in situaties waar andere vervuiling optreedt, bijvoorbeeld vervuiling waardoor de MTC daalt;
- de waterkwaliteit wordt verbeterd door de NF-membranen. Het gehalte organische stof (DOC, UV-extinctie en kleur) na NF is zeer laag. Ook de hardheid en het zoutgehalte na NF is, zoals verwacht, na NF lager dan in het drinkwater te Spannenburg en in het water na UF. De waterkwaliteit van het NF-permeaat is van uitstekende kwaliteit:
  - Vrij van gesuspendeerde stoffen.
  - Zeer lage concentratie organisch materiaal.
  - Zeer lage zoutconcentratie en hardheid.
  - Vrij van zware metalen.

##### *Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Tijdens run 3 en 4 is scaling opgetreden. Reiniging van de membranen na run 3 had geen succes en derhalve is extra aandacht voor reinigingsprocedures van NF-membranen wenselijk.
- Vervuiling van NF-membranen is opgetreden op rein water Spannenburg met aanvullende UF. Onderzoek om vervuiling te voorspellen en te voorkomen is aan te bevelen en wordt momenteel uitgevoerd in het BTO-programma (zie hoofdstuk 5).

# 5 Biofouling van de NF-membranen

## 5.1 Inleiding

Het reine water van pb Spannenburg heeft als kenmerk een hoog gehalte aan opgeloste organische stof (NPOC = 7-8 mg/l). Bij eerdere onderzoeken is gebleken dat dit water relatief sterk biofilmvormend is. Het onderzoek naar de invloed van UF en NF op de samenstelling van het reine water van pb Spannenburg bood de mogelijkheid om het optreden van biofouling van NF-membranen nader te bestuderen. Doelen van het onderzoek naar biofouling waren:

- bepalen van het optreden van biofouling van de NF-membranen in relatie tot de biofilmvormende eigenschappen van het water;
- beoordeling van de bruikbaarheid van een nauwkeurige drukverschilmeter;
- invloed van positie van het membraanelement in de installatie op het optreden van biofouling;
- invloed van wel/geen productie van permeaat op de biofouling;
- beoordeling van de bruikbaarheid van het specifieke zuurstofconsumptie als maat voor biofouling.

## 5.2 Opzet onderzoek

Informatie over de installatie en de prestaties van de installatie is beschreven in eerdere hoofdstukken. Gegevens over de biologische (in)stabiliteit van het reine water en het water na UF zijn vermeld in 6. In dit hoofdstuk zijn de activiteiten beschreven die zijn gericht op het waarnemen en analyseren van biofouling. Vervolgens worden deze waarnemingen besproken in samenhang met gegevens over de prestaties van de installatie en over de samenstelling van de voedingswater.

### 5.2.1 Chronologisch overzicht activiteiten van het onderzoek naar biofouling

Tabel 5.1 geeft een overzicht van de activiteiten m.b.t. het onderzoek naar het optreden van biofouling in de membraaninstallatie.

Tabel 5.1 Chronologisch overzicht van activiteiten met de NF-installatie.

Datum	looptijd installatie (dagen)	Opmerkingen
4 november 2004	0	Opstarten van de NF-installatie (recovery van 75%)
30 maart 2005	146	Uitnemen van membraanelementen voor onderzoek m.b.v. autopsie
1 juni 2005	209	Opstarten installatie met een aantal nieuwe membraanelementen
14 juni 2005*	222	Uitnemen van membraanelementen voor onderzoek (looptijd 12 dagen) naar oorzaak toename van drukval over en afname van flux van membranen achter in laatste trap

\* de installatie werd uitgeschakeld op 13 juni 2005.

### 5.2.2 Analysemethoden

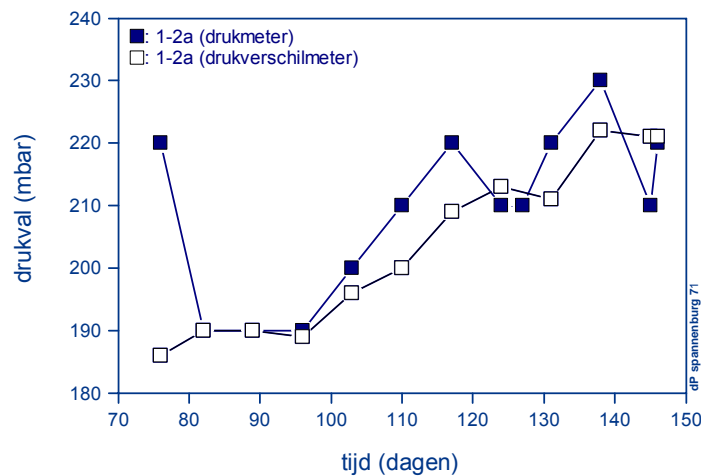
- Het drukverschil over een aantal individuele membraanelementen werd periodiek bepaald met een nauwkeurige drukverschilmeter. Met dit instrument kunnen drukverschillen nauwkeurig (fout < 0,2 mbar) worden gemeten;
- Tijdens de onderzoeksperiode zijn tweemaal membraanelementen uit de NF-installatie genomen voor onderzoek naar biofouling (Tabel 5.1). De membranen werden uitgenomen op diverse posities in de lengte van de installatie;
- Na verwijdering uit de installatie en na uitlekken werden de membraanelementen verpakt in zakken van polyethyleen, na toevoeging van koelementen vervoert naar het laboratorium (Kiwa Water Research, Nieuwegein) en opgeslagen bij een temperatuur van circa 4 °C. Binnen 24 uur na uitnemen werden de elementen open gezaagd waarna coupons (circa 1,5 x 2,0 cm) van de enveloppen werden genomen over de lengte van het membraanelement. Deze coupons die de voedingsspacer, een stukje membraan en de productspacer omvatten, werden geplaatst in steriel leidingwater (10 ml) voor biologische analyse. Ook werden coupons van circa 10 x 10 cm uitgenomen voor chemisch onderzoek. Tevens werd van de productzijde van een gehele enveloppe met behulp van een wisser (circa 25 cm breed) de aanwezige biomassa verzameld;
- Als maat voor de hoeveelheid actieve biomassa in het water en op het membraan (en spacers) werd het ATP-gehalte bepaald. De buizen/flesjes met het steriele water en de membraancoupons (1,5 x 2 cm) met bijbehorende stukjes spacer werden geplaatst in een ultrasoon waterbad (Branson Ultrasonic Cleaner) voor de verwijdering van de biomassa op het membraan en de voedingsspacer. Een serie van 3 ultrasone behandelingen, elk van 2 minuten, werd toegepast op 10 ml leidingwater. Na iedere behandeling werd het water ververst. Het water met de gesuspendeerde biomassa (30 ml) werd verzameld en bewaard op ijs. Vervolgens werd het ATP-gehalte bepaald conform de voorschriften en werd de concentratie biomassa per oppervlakte-eenheid membraan berekend (pg ATP/cm<sup>2</sup>);
- De concentratie van anorganische componenten aanwezig in het membraanelement werd bepaald met behulp van Inductively-Coupled Plasma Mass Spectrophotometry (ICP-MS) analyse. Voor dit doel werden

coupons van circa 10 x 10 cm behandeld in sterk salpeterzuur conform intern Kiwa-voorschrift LAM 059.

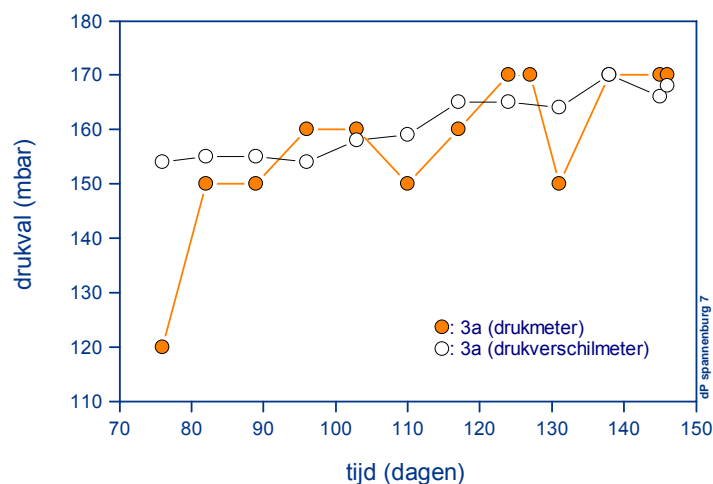
### 5.3 Resultaten

#### 5.3.1 Drukverschilmetingen en selectie membranen voor onderzoek

De drukval over de afzonderlijke membranen in de NF-installatie werd bepaald met een drukmeter en vanaf dag 70 bij een aantal geselecteerde elementen tevens met een drukverschilmeter. De resultaten van de drukmeter zijn opgenomen in hoofdstuk 4. De drukverschilmeter is ingezet in de periode 19 januari 2005 – 30 maart 2005 (dag 76 tot dag 146 in run 1).



Figuur 5.1 Verloop van de drukval (mbar) over membraanelement 1-2a in de tijd bepaald met een drukmeter en een drukverschilmeter in de periode 19 januari 2005 tot 30 maart 2005 (run 1 met 75% recovery).

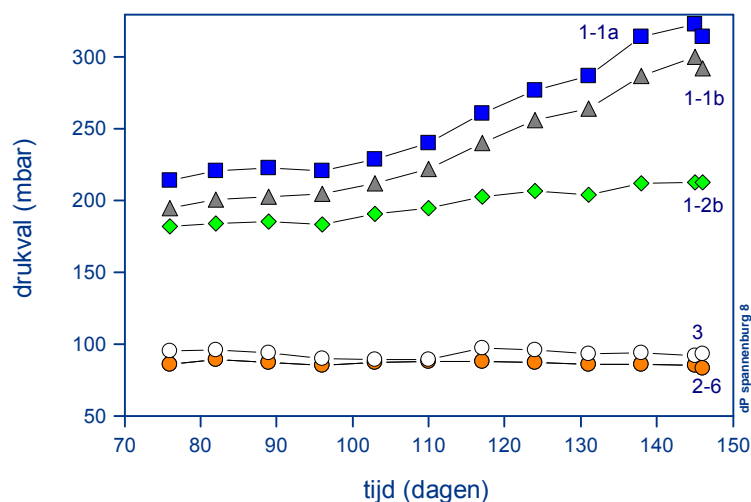


Figuur 5.2 Verloop van de drukval (mbar) over membraanelement 1-3a bepaald met een drukmeter en een drukverschilmeter in de periode 19 januari 2005 tot 30 maart 2005 (run 1).

Uit de figuren 5.1 en 5.2 blijkt dat de drukval over de membraanelementen gemeten met de drukverschilmeter minder fluctuaties vertoonde dan gemeten

met een 'gewone' drukmeter. Dit betekent dat een nauwkeurige drukverschilmeter geschikt is voor monitoring van membraaninstallaties.

Het verloop van het drukverschil als functie van de tijd is met de drukverschilmeter bepaald in een vijftal membranen (Figuur 5.3). Naar voren komt dat de drukval toenam als functie van de tijd, vooral in de membranen voorin de eerste trap (1-1a en 1-1b) en in mindere mate ook in element 1-2b. Dit is niet het geval bij de laatst geplaatste elementen (2-6 en 3) (Tabel 5.2).



Figuur 5.3 Verloop van de drukval (mbar) over de membraanelementen 1-1a, 1-1b, 1-2b, 2-6 en 3, bepaald met een drukverschilmeter in de periode 19 januari 2005 tot 30 maart 2005 (run 1).

Tabel 5.2 Relatieve toename van de drukval (% t.o.v. startwaarde) in enkele membraanelementen van de NF-installatie op 30 maart 2005

Membraanelement	drukvaltoename (%)
1-1a (geen permeaat)	47%
1-1b	50%
1-2a	16%
1-2b	17%
2-6	< 5%
3 (geen permeaat)	< 5%

### 5.3.2 Membraanonderzoek na looptijd van 146 dagen (recovery 75%)

Op 30 maart 2005 (looptijd van 146 dagen bij een recovery van 75%; run 1) werden de elementen op de posities 1-1a, 1-1b, 1-2b, 2-6 en 3 (zie schema installatie met codering; hoofdstuk 2) van de NF-installatie uitgenomen voor nader onderzoek. De aanleiding voor het membraanonderzoek bij run 1 was de toename van de drukval over de installatie. Het eerste en het tweede membraanelement van de eerste trap zijn geselecteerd op basis van een duidelijk verschil in drukvaltoename (1-1b en 1-2b, Figuur 5.3). Ook werden membranen uitgenomen waarvan er één wel en de andere geen permeaat produceerden. De

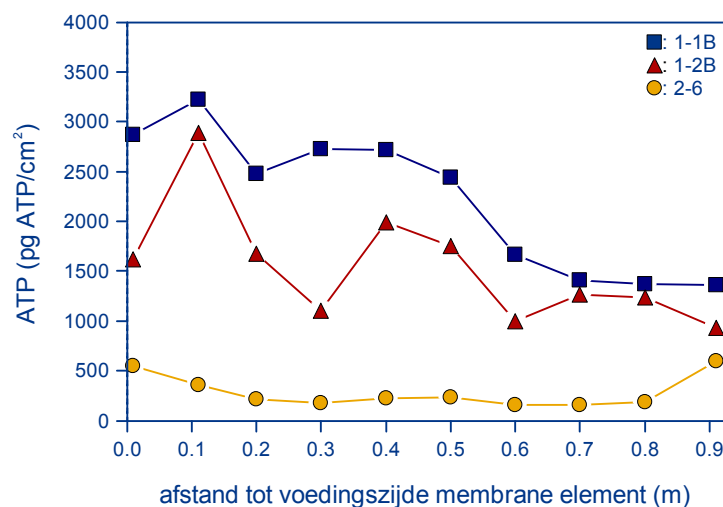
ontwikkeling van de drukval van de onderzochte membraanelementen in de tijd (gemeten met drukverschilmeter) is weergegeven in Figuur 5.3.

#### Actieve biomassa

In de membraanelementen met productie van permeaat werd met het toenemen van het aantal doorstroomde elementen (1-1b, 1-2b en 2-6) een afname van de concentratie actieve biomassa waargenomen (Figuur 5.4 en Tabel 5.3). Bij de membraanelementen aan de voedingszijde van de installatie werd bovendien over de lengte van het element een afname van de concentratie actieve biomassa waargenomen.

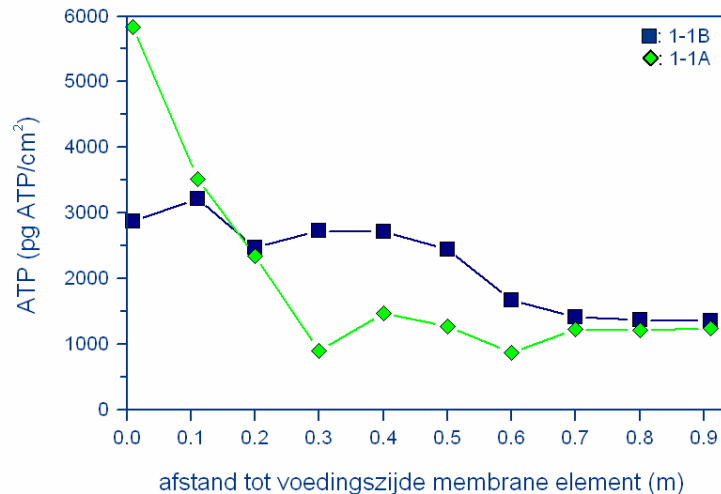
Tabel 5.3 Concentratie actieve biomassa (ATP in pg ATP/cm<sup>2</sup>) in membraanelementen genomen uit de installatie op 30 maart 2005 (looptijd van 146 dagen).

Element code	n	Concentratie actieve biomassa (pg ATP/cm <sup>2</sup> )			
		minimum	maximum	gemiddelde	std
1-1a (geen permeaat)	10	$0.9 \times 10^3$	$5.8 \times 10^3$	$2.0 \times 10^3$	$1.6 \times 10^3$
1-1b	10	$1.4 \times 10^3$	$3.2 \times 10^3$	$2.2 \times 10^3$	$0.7 \times 10^3$
1-2b	10	$0.9 \times 10^3$	$2.9 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$	$0.6 \times 10^3$
2-6	10	160	590	285	160
3 (geen permeaat)	10	37	400	175	130



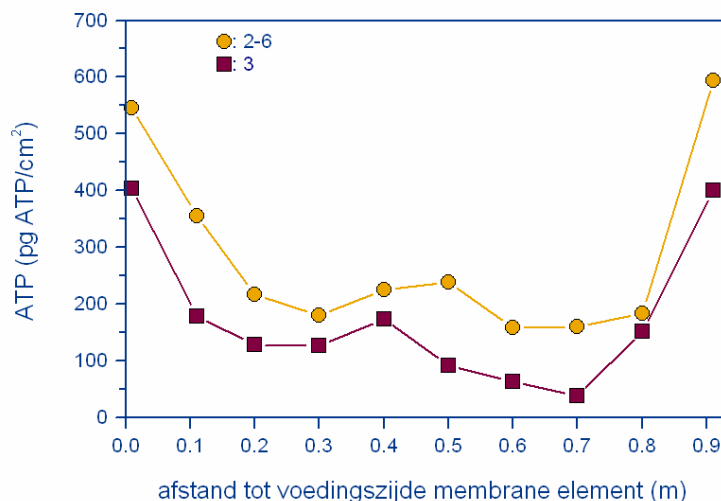
Figuur 5.4 Biomassaconcentratie (pg ATP/cm<sup>2</sup>) over lengte van drie membraanelementen met permeaatproductie, genomen uit drie posities in de NF-installatie (30 maart).





Figuur 5.5 Biomassaconcentratie (pg ATP/cm<sup>2</sup>) over de lengte van twee parallel bedreven membraanelementen: met productie (1-1b) en zonder productie van permeaat (1-1a).

De gemiddelde concentraties van actieve biomassa in twee parallel bedreven membraanelementen, één met (1-1b) en één zonder permeaat productie (1-1a), verschilden onderling nauwelijks (Tabel 5.3). In de beide membraanelementen werd bovendien een afname van de concentratie actieve biomassa over de lengte van het membraanelement waargenomen (Figuur 5.5). Deze resultaten duiden erop dat permeaatproductie weinig of geen invloed had op de biofouling in deze elementen. Onduidelijk is of de volumestroom van het water gelijkmatig was verdeeld over de twee parallel geplaatste drukvaten van trap 1. De volumestroom per drukvat is afhankelijk van de weerstand van de membranen in een drukvat.



Figuur 5.6 Biomassaconcentratie over lengte van membraanelement 2-6 en 3: vergelijking van twee in serie geplaatste membraanelementen, element 3 produceerde geen permeaat (30 maart 2005).

De concentratie van de biomassa in het membraanelement met de grootste afstand tot de voedingszijde (element 3) is enigszins lager dan de concentratie biomassa in het membraanelement 2-6 met een kortere afstand tot de voedingszijde van de installatie (Figuur 5.6). De enigszins lagere concentratie van biomassa in element 3 in vergelijking met element 2-6, kan een gevolg zijn van (i) de grotere afstand tot de voedingszijde van de NF-installatie en/of (ii) de afwezigheid van productie van permeaat in element 3, maar is mogelijk niet significant.

#### *Anorganische parameters*

De gemiddelde waarden van de metingen van de 16 meest voorkomende anorganische elementen in de membraancoupons op circa 20, 50 en 80 cm vanaf de instroomzijde van de membraanelementen, zijn weergegeven in Tabel 5.4. De metalen (kationen) met de hoogste concentratie in de membraanelementen zijn calcium (tot 134 mg/m<sup>2</sup>) en natrium (tot 34 mg/m<sup>2</sup>). Opvallend zijn de relatief hoge concentraties van mangaan (hoger dan ijzer) in de membraanelementen 1-1a, 1-1b, en 1-2b (circa 20 mg/m<sup>2</sup>). Op de membranen geplaatst achter in de installatie (membraanelementen 2-6 en 3) was de mangaanconcentratie veel lager (3 mg/m<sup>2</sup>). Mangaan wordt waarschijnlijk als Mn<sup>2+</sup> preferent gebonden door de biomassa, waarna oxidatie tot MnO<sub>2</sub> plaatsvindt dat een bruin-zwarte kleur heeft. Tevens valt op dat het calciumgehalte in membraanelement 2-6 hoger was dan in membraanelement 3. Het lagere gehalte in membraanelement 3 is waarschijnlijk het gevolg van het niet produceren van permeaat in het membraanelement.

De concentraties van anorganische parameters zijn ook bepaald op 20 en 50 cm van de instroomzijde van de eerst geplaatste membraanelementen. In de afzonderlijke membranen werd geen duidelijk stijgende of dalende trend van (bepaalde) anorganische parameters waargenomen over de lengte van het membraanelement (met en zonder productie).

De concentraties anorganische elementen in de membranen die op 30 maart 2005 zijn uitgenomen komen overeen met de concentraties waargenomen in membraanelementen zonder drukvalproblemen (< 200 mg/m<sup>2</sup>). Problemen in de praktijk zijn waargenomen bij concentraties van > 8000 mg/m<sup>2</sup>.

Problemen met dosering van AS (te lage dosis) tijdens de onderzoeksperiode hebben waarschijnlijk niet geleid tot duidelijk verhoogde afzetting van anorganische elementen in de membraanmodules achter in de installatie. De verhoogde Ca-concentratie in element 2-6 wijst wel op enige scaling.

Tabel 5. 4 Concentratie van anorganische parameters in membraanelementen 1-1b, 1-2b, 2-6, 1-1a en 3 gerangschikt naar afnemende concentratie in element 2-6 (looptijd 146 dagen, recovery 75%). De concentraties zijn gemiddelde waarden (met standaardafwijking) van de concentraties gemeten op coupons op 20, 50 en 80 cm van de aanvoorzijde van het membraanelement.

Anorganische component	Concentratie (mg/m <sup>2</sup> )				
	Membraanelement				
	1-1b	1-2b	2-6	1-1a*	3*
<b>Ca</b>	<b>10,1 (2,7)</b>	<b>72 (104)</b>	<b>106 (28)</b>	<b>11,7 (0,7)</b>	<b>100 (144)</b>
Na	18,2 (4,1)	22,6 (10,9)	25,6 (3,2)	22,4 (0,7)	39 (9,7)
K	6,0 (2,2)	5,0 (4,1)	7,2 (1,1)	5,8 (0,6)	6,4 (1,3)
Sb	3,1 (0,6)	4,4 (2,7)	6,0 (3,5)	3,3 (0,2)	5,7 (1,3)
Si	4,2 (1,0)	6,4 (6,5)	4,3 (1,9)	4,5 (1,5)	4,9 (1,0)
Fe	7,4 (1,4)	6,1 (1,0)	2,2 (1,9)	9,5 (0,9)	1,3 (1,6)
<b>Mn</b>	<b>17,3 (2,4)</b>	<b>15,9 (5,1)</b>	<b>2,8 (0,8)</b>	<b>20,7 (0,9)</b>	<b>2,6 (0,2)</b>
Mg	1,8 (0,1)	6,5 (5,1)	2,2 (0,3)	2,8 (0,3)	8,8 (7,4)
Al	0,4 (0,4)	1,2 (1,2)	0,6 (0,2)	0,8 (0,2)	0,5 (0,3)
Ni	0,2 (0,03)	0,15(0,03)	0,14 (0,1)	0,1 (0,03)	0,16 (0,1)
Zn	0,1 (0,0)	0,3 (0,3)	0,2 (0,06)	0,2 (0,06)	0,13 (0,06)
Cu	0,07 (0,06)	0,2 (0,2)	0,07 (0,06)	0,2 (0,06)	0,07 (0,06)
Ba	0,6 (0,2)	0,5 (0,0)	0,13 (0,06)	0,6 (0,06)	0,1 (0)
totaal	69 (7,3)	141 (109)	157 (39)	83 (3,7)	169 (146)

\*, geen permeaatproductie

#### Membranen Vitens

Door Vitens werd onderzoek uitgevoerd met een testbank met twee membraanelementen (recovery 10%), die direct werden gevoed met het reine water (dus zonder voorafgaande UF). De concentratie van actieve biomassa in deze membraanelementen was duidelijk hoger (maximum circa 12000 pg ATP/cm<sup>2</sup>) dan in de elementen gevoed met reinwater na UF (Tabel 5.3). Bovendien zijn in de membraanelementen van de testbank relatief hoge concentraties anorganische bestanddelen waargenomen met gemiddelde waarden van 1100 mg Fe/m<sup>2</sup>, 1500 mg Ca/m<sup>2</sup>, 270 mg Si/m<sup>2</sup>, 35 mg Mn/m<sup>2</sup> in element 1 en een totale concentratie van 3000 ± 870 mg/m<sup>2</sup>. Deze hoge concentraties van o.a. Ca, duiden niet op scaling, maar dragen waarschijnlijk wel bij aan de sterk toegenomen drukval in dit element.

Voorzuivering van het voedingswater met UF leidde dus tot minder vervuiling (minder biofouling en minder accumulatie van anorganische stof) van de membraanelementen.

#### 5.3.3 Membraanonderzoek run 4

Bij run 4 werden op 14 juni 2005 (looptijd van 12 dagen bij recovery van 87%) drie membraanelementen (2-6, 3 en 1-1b) uitgenomen voor nader onderzoek naar biofouling. De reden van het onderzoek is de acute onderbreking van de bedrijfsvoering op 13 juni 2005 vanwege een sterk oplopende drukval en afnemende flux over de membranen achter in de laatste trap van de installatie (scaling). Het membraan op de eerste positie in de eerste trap zat (1-1b) had een langere looptijd (62 dagen) dan de twee membraanelementen achter in de installatie (2-6 en 3, beide 12 dagen). De twee membraanelementen achter in de

installatie verschilden onderling: element 2-6 werd bedreven met productie en element 3 zonder productie.

In deze onderzoeksfase werden doseerexperimenten met organische zuren uitgevoerd aan het water voor de membraaninstallatie (zie hoofdstuk 8). De aanwezigheid van deze verbindingen in het water kan de accumulatie van biomassa in membraanelementen stimuleren.

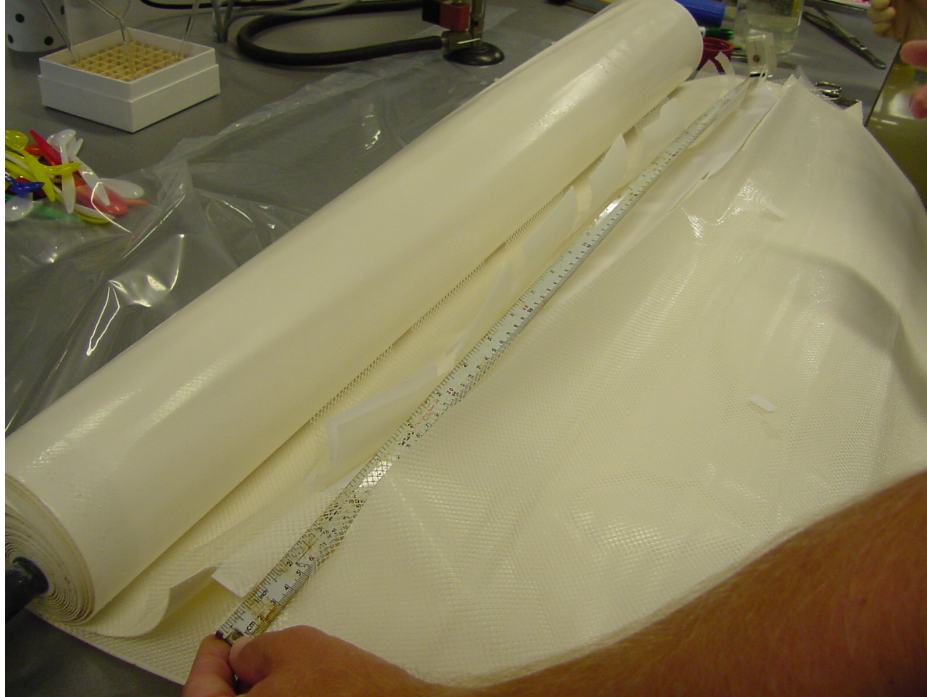
#### *Visuele waarnemingen*

Direct na het uitnemen van de spiraalgewonden membraanelementen werden geen bijzonderheden waargenomen met betrekking tot verschillen in vervuiling tussen de elementen. Na het openzagen van de elementen en het verwijderen van de eindkappen werden echter duidelijke verschillen tussen de afzonderlijke elementen waargenomen met betrekking tot de kleur van de aanstroom- en uitstroomkant (Figuur 5.7). Het membraanelement 1-1b zag er uit als “nieuw”, terwijl de elementen 2-6 en 3 beide een bruine kleur hadden.

Na uitrollen van de membraanelementen werd bij element 1-1b visueel geen vervuiling waargenomen (Figuur 5.8). Bij de membraanelementen 2-6 en 3 was een duidelijk bruingekleurde afzetting zichtbaar; deze afzetting was in element 2-6 donkerder van kleur en waarschijnlijk dikker dan in element 3 (Figuren 5.9 en 5.10). De afzettingen in de elementen 2-6 en 3 voelden aan als grof schuurpapier.



Figuur 5.7 Voedingszijde van membraanelementen na verwijderen van eindkappen; V.l.n.r. de membraanelementen van de locaties 1-1b, 2-6 en 3 (14 juni 2005).



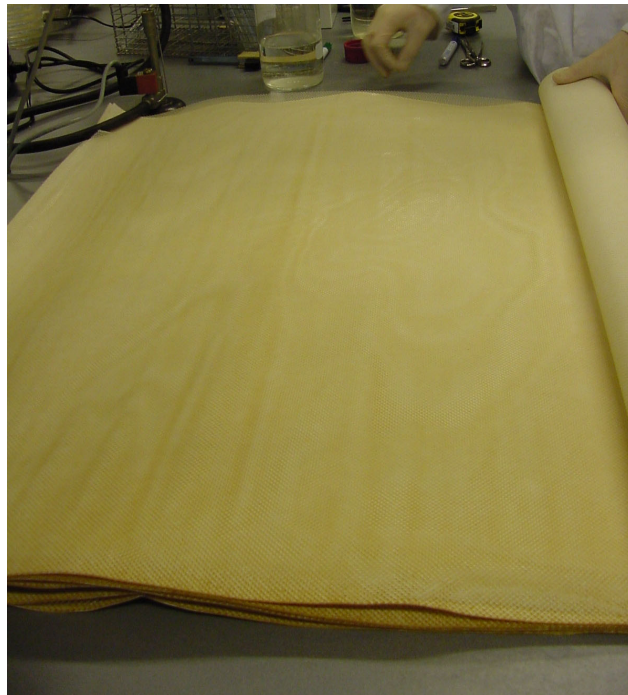
Figuur 5.8 Uiteengevouwen element 1-1b waarbij visueel geen vervuiling werd waargenomen (14 juni 2005).

Onderdeel van het membraanonderzoek is het verzamelen van materiaal geaccumuleerd op de voedingszijde van het membraan door middel van schrapen (Figuur 5.9). Bij de membranen 2-6 en 3 werd 50 ml steriel water op het membraan gebracht om een (klein) deel van het geaccumuleerde materiaal te kunnen verzamelen. Het verzamelde materiaal had een korrelachtige of zandachtige structuur. Coupons (10 bij 10 cm) van drie membraanlagen (voedingsspacer, membraan en productspacer) werden op drie locaties uit het membraanelement genomen. De drie locaties waren gelijk verdeeld over de lengte van het membraanelement (10, 50 en 80 cm vanaf de instroomkant). Uit Figuur 5.11 komt duidelijk het verschil in kleur tussen de drie membranen naar voren.

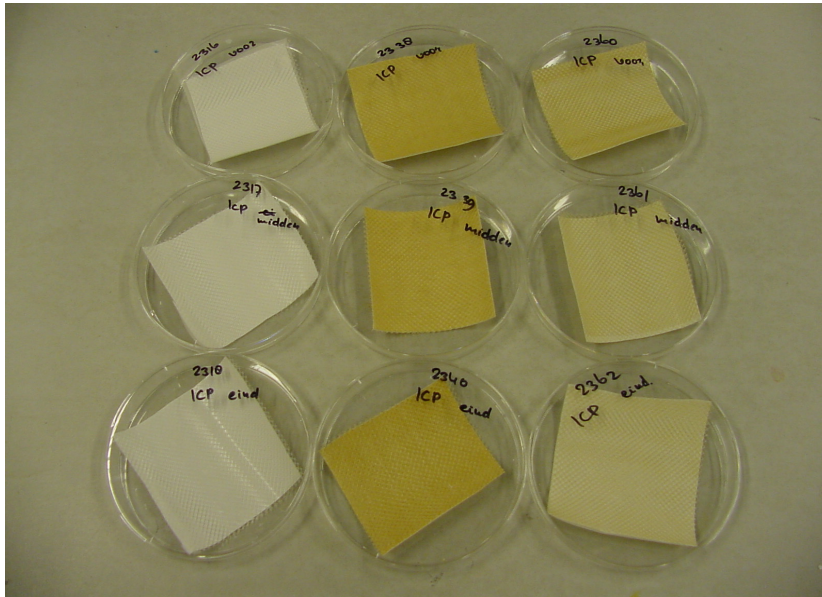




Figuur 5.9 Opendegevouwen element 2-6 tijdens het verzamelen van geaccumuleerd materiaal op de voedingszijde van het membraan (14 juni 2005).



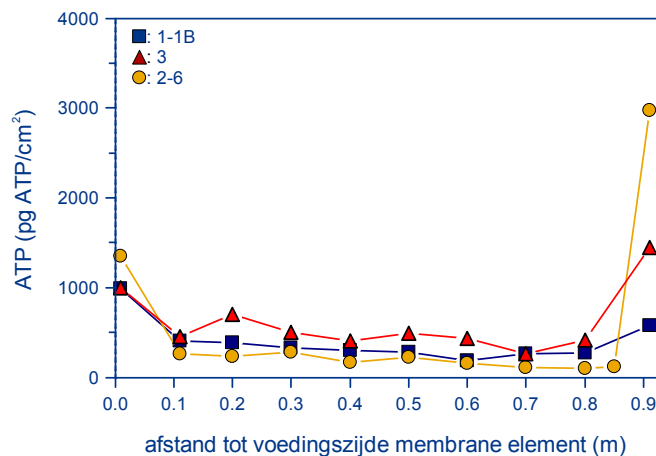
Figuur 5.10 Open gevouwen element 3 met een relatief licht gekleurde afzetting op het membraan. De intensiteit van de kleur nam af met toenemende afstand tot de instroomkant. De verdeling van de kleur was gelijkmatig over de breedte van de membraanenvolpen verdeeld (14 juni 2005).



Figuur 5.11 Membraancoupons (10 bij 10 cm) genomen uit de drie membraanelementen. Links = element 1-1b, midden = 2-6 en rechts = 3. Per membraanelement zijn 3 coupons uitgenomen op circa 10, 50 en 80 cm vanaf de instroomkant van het membraanelement (van boven naar beneden weergegeven).

#### Accumulatie van biomassa

De gemiddelde concentratie van de actieve biomassa was relatief laag in de drie membraanelementen ( $\leq 600$  pg ATP/cm<sup>2</sup>, Figuur 5.12) in vergelijking met de concentraties waargenomen in run 1 na een looptijd van 146 dagen. Het eerste membraanelement (1-1b) uit de eerste trap had ondanks een gebruiksduur van 62 dagen in de installatie de laagste gemiddelde biomassaconcentratie (400 pg ATP/cm<sup>2</sup>). In de membranen 3 en 2-6 met een looptijd van 12 dagen werden hogere biomassaconcentraties (600 en 550 pg ATP/cm<sup>2</sup>) waargenomen die duiden op een relatief snelle accumulatie van biomassa. Mogelijk droeg de dosering van organische zuren bij aan de biofilmvorming.



Figuur 5.12 Biomassaconcentratie (pg ATP/cm<sup>2</sup>) over lengte van drie membraanelementen met permeaatproductie genomen op drie locaties uit de NF-membraaninstallatie op 14 juni 2005.

### *Anorganische parameters*

Voorin de installatie was concentratie van de metalen laag. Achter in de installatie was vooral de concentratie van calcium hoog (Tabel 5.5). Opmerkelijk is dat de ook de calciumconcentratie in element 3 (zonder permeaatproductie) relatief hoog was. Dit duidt op een oververzadiging in het concentraat.

*Tabel 5.5 Concentratie van anorganische parameters in de membraanelementen 1-1b, 2-6 en 3 gerangschikte of afnemende concentratie in element 2-6 (looptijd van 12 dagen, recovery 87%).*

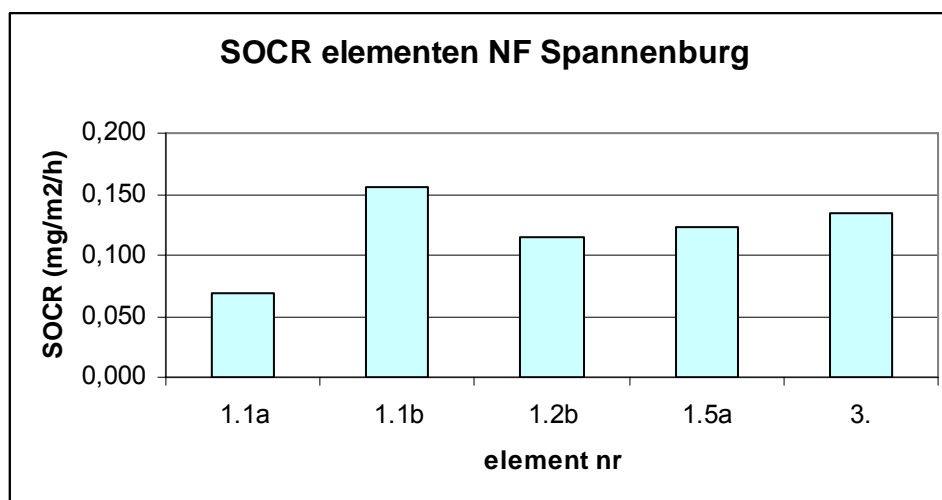
Anorganische parameters	Concentratie (mg/m <sup>2</sup> )		
	Membraanelement		
	1-1b	2-6	3*
<b>Ca</b>	7.0	<b>39949</b>	<b>13711</b>
Mg	1.5	497	225
Na	8.4	390	284
Sr	0.0	128	42
Si	1.8	89	72
Ti	0.0	52	17
Ba	0.0	38	14
K	1.3	13	10
Sb	8.0	13	5.9
Fe	1.7	6.1	3.3
Al	0.1	0.9	0.4
Co	0.2	0.6	0.3
Ni	0.0	0.5	0.2
Mn	0.0	0.3	0.1
Zn	0.0	0.3	0.0
Cu	0.0	0.2	0.1
<b>totaal</b>	<b>30</b>	<b>41178</b>	<b>14386</b>

#### 5.3.4 *Zuurstofconsumptie*

Met behulp van autopsies gevolgd door chemische en microbiologische analyses kan de mate van de vervuiling en de bijdrage van biofouling aan de gehele vervuiling worden vastgesteld. Autopsies zijn echter destructief en bewerkelijk. Om in een vroeg stadium biofouling te kunnen signaleren is een in situ, robuuste, snelle en niet-destructieve meetmethode nodig. Een aanpak voor het bewaken van het optreden van biofouling is het volgen van de drukvaltoename over trappen of aparte elementen in een installatie (zie par. 5.3.1). Een andere optie is het meten en het volgen van het zuurstofverbruik in een membraanelement in de tijd. Het verschil in zuurstofconcentratie tussen voeding en concentraat is een maat voor de hoeveelheid actieve biomassa. Aanname is dat bij het begin van biofouling relatief veel biomassa actief is, waardoor het zuurstofverbruik snel meetbaar zal zijn. Het zuurstofverbruik, bepaald als hoeveelheid per eenheid van membraanoppervlak en tijd (mg/m<sup>2</sup>.h), is gedefinieerd als de specific oxygen consumption rate (SOCR). Voor achtergrondinformatie over zuurstofmetingen en het meetprotocol wordt verwezen naar BTO-rapport 06.017 'Zuurstofconsumptie als maat voor biofouling in membraansystemen'.

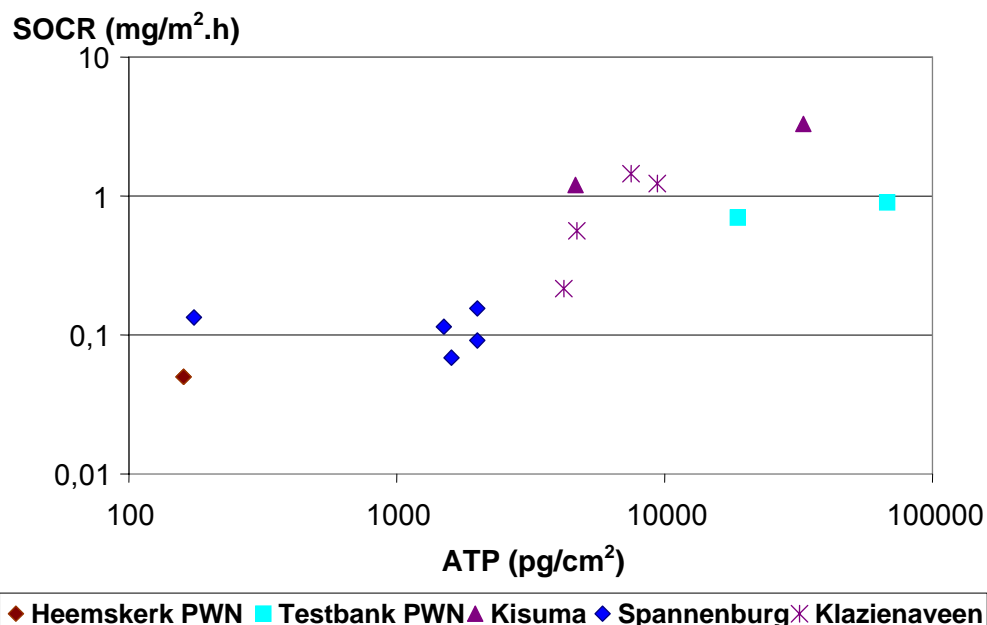


Met de vervuilde membraanelementen te Spannenburg zijn *in situ* zuurstof verbruiksmetingen uitgevoerd op o.a. 22 maart 2005. De resultaten zijn weergegeven in Figuur 5.13.



Figuur 5.13 SOCR-meting in de NF-installatie te Spannenburg op 22 maart 2005

Uit een foutenanalyse is gebleken dat voor SOCR een detectielimiet van 0,14 mg/(m².h) geldt als gevolg van de onnauwkeurigheid van de zuurstofmeting (0,2 mg/l). Uit Figuur 5.13 blijkt dat het gemeten zuurstofverbruik bij alle membraanelementen rond of onder deze detectielimiet lag. Met de SOCR-methode kon bij een drukvaltoename van circa 50% (Tabel 5.2) dus geen biofouling worden waargenomen.



Figuur 5.14 Overzicht van meetresultaten met de SOCR-bepaling (BTO 2006.017)

Uit Fig 5.14 kan worden afgeleid dat bij ATP-concentraties < circa 3000 pg/cm<sup>2</sup> met de gehanteerde methode geen significante zuurstofconsumptie kan worden vastgesteld. Nader onderzoek van de SOCR-methode leidde niet tot verbetering en geconcludeerd is dat de metingen niet geschikt zijn voor een vroegtijdige vaststelling van het optreden van biofouling.

#### 5.4 Relatie biofouling en watersamenstelling

Uit de bovenvermelde resultaten komt naar voren dat biofouling optrad in de NF-installatie. Deze biofouling wordt veroorzaakt door accumulatie van micro-organismen in de membraanelementen, met name aan de aanvoerszijde van de membranen. UF van het reine water veroorzaakte een vergaande reductie van de concentratie van micro-organismen (hoofdstuk 6). Dit betekent dat de waargenomen accumulatie vooral een gevolg is van groei van micro-organismen door opname van afbreekbare verbindingen uit het voedingswater. Dit voedingswater is het reine water van productiebedrijf Spannenburg, na UF en na dosering van een AS.

In het volgende hoofdstuk is onderzoek beschreven naar de groeibevorderende eigenschappen van het reine water en van het water na UF. UF had geen effect op het gehalte opgeloste organische stof (NPOC= 7,5 mg/l) en evenmin op het AOC-gehalte (na UF: AOC = 11,3 µg C/l) (Tabel 6.4). De biofilmvormingssnelheid (BVS) van het reine water [49 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d)] was na UF echter wel duidelijk (66%) afgenomen tot een waarde van 16,4 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.dag). Uit het onderzoek naar de invloed van UF op de biologische stabiliteit (hoofdstuk 6) is bovendien naar voren gekomen dat de afname van de BVS als gevolg van UF waarschijnlijk een gevolg is van P-limitatie.

De samenstelling van het voedingswater van de NF-membranen verschilde van de samenstelling van het water na UF als gevolg van de AS-dosering (75 ml/m<sup>3</sup>). Er zijn aanwijzingen dat dosering van een fosfonaathoudende AS gepaard kan gaan met een toename van de concentratie beschikbaar fosfor (P). Dit kan betekenen dat de BVS-waarde van het voedingswater na de AS-dosering hoger was dan de BVS-waarde van het water na UF (voor de AS-dosering). Informatie hierover ontbreekt en het is niet mogelijk om een direct verband te leggen tussen de mate van biofouling en de groeibevorderende eigenschappen van het voedingswater.

Uit de gegevens van de autopsies van run 1, uitgevoerd na een looptijd van 146 dagen, kan worden afgeleid dat de gemiddelde biofilmvormingssnelheid van het voedingswater van membraanelement 1-1b circa 21 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) bedroeg. De gemiddelde snelheid van de biomassa-accumulatie in het eerste membraanelement lag dus op hetzelfde niveau als de BVS-waarde van het water na UF. In de membranen in de laatste posities (2-6 en 3) was deze snelheid gemiddeld 3,7 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d). De verhoging van de concentratie van de in het water opgeloste stoffen leidde dus niet tot een snellere vervuiling van de membranen achter in de installatie. Het gehalte NPOC in het concentraat was gemiddeld 32 mg/l. Deze organische stoffen zijn kennelijk vrijwel niet afbreekbaar en de biofouling die optrad in de membranen voor in de installatie

moet worden toegeschreven aan een fractie gemakkelijk afbreekbare stoffen en/of snel opneembaar P.

In de testbank die werd gevoed met het reine water zonder UF-behandeling (onderzoek Vitens) werd een duidelijk hogere accumulatie van biomassa waargenomen, met maximum waarden van circa 12000 pg ATP/cm<sup>2</sup>. Hieruit kan een biomassa-accumulatiesnelheid van 80 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) worden afgeleid. Deze snelheid is hoger dan de BVS-waarde van het reine water. In deze membraanelementen trad ook een sterke accumulatie van Fe en Mn op. Een dergelijke vervuiling bevordert waarschijnlijk de accumulatie van biomassa.

In de membraanelementen van de NF-installatie trad eveneens accumulatie van anorganische componenten op. Opvallend is de relatief hoge concentratie van mangaan, waarvan de concentratie in water na UF zeer gering was (<0,05 mg/l). Waarschijnlijk hecht niet geoxideerd Mn (Mn<sup>2+</sup>) zich aan biomassa waarna oxidatie plaatsvindt. De concentraties van Mn, Fe, Ca etc zijn alle echter laag en speelden waarschijnlijk geen directe rol bij de optredende drukvalverlaging in de membraanelementen.

In de testbank (onderzoek Vitens) werd een veel hogere accumulatie van anorganische elementen waargenomen. Het is mogelijk dat deze mate van accumulatie wel een bijdrage leverde aan de waargenomen drukval.

Uit deze resultaten komt naar voren dat toepassing van UF op het reine water van pb Spannenburg wel leidde tot een sterke vermindering van de vervuiling van de membranen, maar dat nog steeds biofouling optrad. Bij de waargenomen drukval en een operationele grenswaarde van 15% toename, zou dit leiden tot het toepassen van reiniging na een looptijd van 100 à 120 dagen, dwz. minimaal 3 x per jaar.

## 5.5 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

### *Conclusies*

- In de elementen met de NF-membranen, die werden gevoed met het reine water van productiebedrijf Spannenburg na voorbehandeling met UF, trad na circa 70 dagen een toenemende drukval op in de eerste trap van de installatie. Deze drukval is het gevolg van biofouling;
- Het wel of niet produceren van permeaat had geen meetbaar effect op de ontwikkeling van drukval en op de accumulatie van biomassa in de membraanelementen;
- Toepassing van een drukverschilmeter maakt een gevoelige en nauwkeurige registratie van de drukval (vervuiling) in de membraanelementen mogelijk;
- De SOCR-bepaling bleek niet geschikt voor een vroegtijdige signalering van biofouling in de membraanelementen vanwege de te hoge detectiegrens van de methode;
- De biofilmvormingssnelheid (BVS) van het reine water na UF, gemeten met de biofilmmonitor, bedroeg 16,4 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) en het AOC-gehalte was circa 11 ug C/l. Onduidelijk is of de AS-dosering van invloed was op de BVS-waarde cq. het AOC-gehalte van het voedingswater van de NF-elementen;

- Rein water zonder voorbehandeling met UF veroorzaakte een veel sterkere vervuiling van NF-membranen dan rein water na UF-behandeling.

*Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Bepaling van de groeibevorderende eigenschappen (AOC, BPP, beschikbaar P) van de toegepaste AS.



# 6 Invloed van membraanfiltratie op de biologische stabiliteit van het water en de groei van *Legionella*-bacteriën in een boilerinstallatie

## 6.1 Inleiding

De aanwezigheid van afbreekbare verbindingen in drinkwater kan leiden tot een ongewenste vermeerdering van micro-organismen in het distributiesysteem en in leidingwaterinstallaties. Uit recent onderzoek is naar voren gekomen dat NF leidt tot een aanzienlijke reductie van het AOC-gehalte van het water. In praktijksituaties werd bij toepassing van NF op water na ozonisatie en dubbellaagsfiltratie meer dan 90% reductie van de AOC-concentratie waargenomen. Tevens bleek uit doseerproeven met behulp van een testbank dat de mate van verwijdering van laagmoleculaire organische verbindingen afhankelijk is van de pH van het water, de aard van de verbinding (mate van ionvorming, molecuulgrootte) en de Molecular Weight Cut-off (MWCO) van het membraan [Beerendonk et al. 2005]. Ultrafiltratie (UF) leidt tot een vergaande verwijdering van deeltjes, waaronder micro-organismen. Onduidelijk is echter in welke mate UF en NF van invloed zijn op de biologische stabiliteit van drinkwater bereid uit grondwater. Tevens is hierbij de vraag in hoeverre toepassing van NF effect heeft op de groei van *Legionella* in leidingwaterinstallaties die worden gevoed met het water behandeld met NF. Bij eerder onderzoek is gebleken dat het reine water van productiebedrijf (pb) Spannenburg (Vitens Friesland) relatief sterk biofilmvormend is. In dit hoofdstuk worden de resultaten beschreven van het onderzoek naar de invloed van UF en NF op de biologische stabiliteit van dit water.

## 6.2 Opzet onderzoek

In een proefinstallatie werd rein water van pb Spannenburg vanaf 28 oktober 2004 behandeld met UF, vanaf 4-11-2004 gevolgd door NF. Informatie over de samenstelling van het ruwe en het reine water van pb Spannenburg, de waterbehandeling op dit productiebedrijf, en de proefinstallatie voor UF en NF is opgenomen in hoofdstukken 2, 3 en 4 van dit rapport. In tabel 6.1 is weergegeven welke analyses zijn uitgevoerd voor de bepaling van de biologische stabiliteit van het reine water (RW), RW na UF en RW na UF+NF. De invloed van de watersamenstelling (cq. waterbehandeling) op de biofilmvorming en de groei van *Legionella* is onderzocht met behulp van een boilerinstallatie die werd gevoed met het betreffende water na verwarming in een boiler. Parallel aan het onderzoek met de proefinstallatie (UF-NF) heeft Vitens onderzoek uitgevoerd met ionenwisseling (IEX) en membraanfiltratie (NF), beide direct toegepast op het reine water. Resultaten van de metingen betreffende de invloed van IEX en NF op de biologische stabiliteit zijn in dit hoofdstuk opgenomen ter vergelijking met de resultaten van de proefinstallatie UF-NF. Tevens zijn enkele

resultaten opgenomen van metingen die eveneens in het kader van het BTO-programma zijn uitgevoerd bij enkele andere productiebedrijven van Vitens, nl. pb Noordbergum, pb Amersfoortseweg en pb Schalterberg.

Tabel 6.1 Schema van onderzoek naar de invloed van membraanfiltratie op de biologische stabiliteit en de groeimogelijkheid van *Legionella* in het reine water van pb Spannenburg en de invloed van membraanfiltratie op deze parameters

Parameter*	Rein water (RW)	RW na UF	RW na UF en NF
DOC	X	X	X
ATP	X	X	X
AOC	X	X	X
BPP	X	X	X
BVS	X	X	X
Legionella	X	-	X

\*, voor verklaring van de afkortingen, zie paragraaf 6.2.1;

### 6.2.1 Bepaling watersamenstelling en biologische (in)stabiliteit

- **KG25**. Koloniegetal van heterotrofe bacteriën op R2A-medium (voedingsbodem met relatief laag gehalte aan voedingsstoffen) door uitspatelen en incubatie bij 25 °C gedurende 10 dagen. Deze metingen zijn slechts incidenteel uitgevoerd;
- **Legionella**. Bepaling aantal kolonievormende eenheden in water (kve/l) op Buffered Charcoal Yeast Extract (BCYE) Agar, conform NEN 6265. Bepaling in biofilm (kve/cm<sup>2</sup>) door direct uitspatelen op BCYE-medium, verder conform NEN 6265;
- **TDC** (Totale directe celtelling). Membraanfiltratie (0,45 µm), kleuring van bacteriën met acridine-oranje en telling, m.b.v. fluorescentie-microscopie. TDC-metingen zijn ook incidenteel toegepast op biofilmmateriaal uit de biofilmmonitor;
- **ATP** (adenosinetri-fosfaat). De ATP-concentratie in water is een maat voor de concentratie aan levende micro-organismen. De analyses zijn uitgevoerd met behulp van een luminometer, conform de voorschriften van de leverancier en interne Kiwa-voorschriften;
- **DOC** (gehalte opgeloste organische stof). De bepaling van het DOC-gehalte is uitgevoerd bij het laboratorium van Vitens conform voorschrift;
- **AOC** (assimileerbare organische koolstof). Het AOC-gehalte van het water is bepaald door incubatie van monsters van dit water in grondig schoongemaakte Erlenmeyer kolven. Deze monsters werden gepasteuriseerd, beënt met een tweetal geselecteerde bacterietypen en vervolgens geïncubeerd bij 15°C. Het AOC-gehalte is berekend uit de maximum koloniegetallen van deze bacteriën (kve/ml) en de opbrengstfactoren van deze bacteriën voor acetaat (kve/µg acetaat-C). Het AOC-gehalte is uitgedrukt in microgrammen acetaat-C equivalenten per liter.
- **BPP** (biomassaproductiepotentie). De BPP-waarde, eveneens een maat voor de groeipotentie van het water, is bepaald door incubatie van het te onderzoeken water (geen pasteurisatie) bij 25 °C in grondig schoongemaakte Erlenmeyer kolven en periodieke meting van het ATP-gehalte voor het bepalen van de concentratie van de actieve biomassa van de in het water aanwezige micro-organismen. De BPP-waarde is uitgedrukt in ng ATP/l. Door toevoeging van acetaat-C werd bepaald of organisch koolstof dan wel een anorganische component, met name fosfaat, groeibeperkend was;

- *BVS*, (biofilmvormingsnelheid). De *BVS*-waarde is bepaald met behulp van een biofilmmonitor. Een biofilmmonitor is een glazen kolom gevuld met cylinders van glas. Deze kolom wordt van boven naar beneden doorstroomd ( $v = 0,2$  m/s) met het te onderzoeken water. Periodiek worden glazen ringen uit de kolommen genomen en wordt de biomassaconcentratie op deze ringen gemeten m.b.v. ATP-analyse. De biofilmvormingsnelheid (*BVS*) wordt berekend als de lineaire toename van de biofilmconcentratie als functie van de tijd [van der Kooij et al. 1997].

### 6.2.2 Boilerinstallatie

De mate waarin het betreffende water de groei van *Legionella*-bacteriën kan bevorderen is bepaald met behulp van een boilerinstallatie, bestaande uit een boiler, met daarop aangesloten een tweetal leidingen van roestvast staal (i.d. 12 mm) en een lengte van circa 5 meter. Aan het uiteinde van iedere leiding bevonden zich vier uitneembare segmenten (van 10 cm). De leidingen werden afgesloten met een naaldventielkraan (RVS). Het te onderzoek water werd in een elektrische boiler (30 l) verwarmd tot 85 °C en m.b.v. een thermostatische mengkraan gemengd met een deel niet verwarmd water tot de gewenste temperatuur (38 °C). De leidingen werden periodiek doorstroomd met dit warme water (1 x per 20 minuten 1,5 liter in 20 sec). Met behulp van verwarmingslinten werd de temperatuur van het water in de leidingen tijdens stilstand op de gewenste waarde gehouden. Periodiek werd het water afkomstig uit de leidingen bemonsterd en geanalyseerd (ATP, *Legionella*). Enkele malen werden leidingsegmenten uit de installatie genomen voor de bepaling van de concentratie van de biofilm (met ATP-analyse) en de concentratie van *Legionella* in de biofilm. Aan het einde van de onderzoeksperiode werd de installatie ontmanteld en werden de concentratie en de samenstelling van de biofilm in leidingdelen bepaald. Naast metingen van ATP en *Legionella* werden tevens analyses van ijzer en mangaan in de biofilm uitgevoerd.

## 6.3 Resultaten

### 6.3.1 Concentraties van bacteriën in het water

Tabel 6.2 Concentraties van bacteriën en ATP in het reine water van pompstation Spannenburg, na membraanfiltratie en ionenwisseling en in enkele andere typen rein water

Watertype	ATP (ng/l) (sd)	TDC (cellen/ml)	KG25 (kve/ml)	<i>Legionella</i> (kve/l)
Rein water Spannenburg	10,3 (3,9)	$3,3 \times 10^5$ ; $2,9 \times 10^5$	32000	<50
Rein water na UF	3,4 (1,5)	$1,3 \times 10^4$ ; $2,1 \times 10^4$	1853	<50
Rein water na UF + NF	0,3 (0,3)	$4,3 \times 10^4$ ; $2,8 \times 10^3$	340	<50
Rein water na IEX	8,8 (3,7)	$4,3 \times 10^4$ ; $2,3 \times 10^5$	2710	<50
Rein water na NF testbank	0,4 (0,4)	$1,5 \times 10^4$	-	<50
Rein Noordbergum	3,6 (0,6)	$9,9 \times 10^4$	-	-
Rein Ps. Amersfoortseweg	0,9 (0,5)	$5,3 \times 10^4$	180	<50

-, niet bepaald

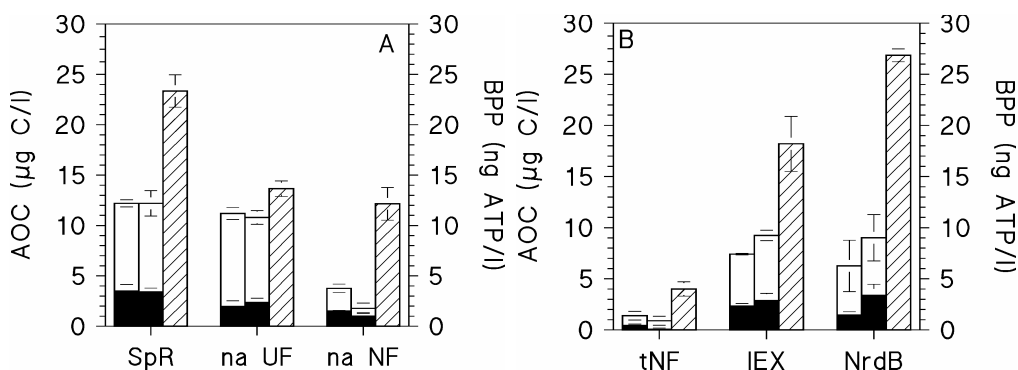
Enkele malen zijn de aantallen bacteriën bepaald in de diverse watertypen (Tabel 6.2). De concentraties van ATP zijn frequenter bepaald, als onderdeel van het onderzoek naar de biofilmvormende eigenschappen van het water. Het hoogste



ATP-gehalte en het hoogste aantal bacteriën zijn waargenomen in het reine water van pb Spannenburg. Naar voren komt dat het aantal bacteriën gekweekt op R2A-medium (een arme voedingsbodem), een fractie is (<10%) van het totale aantal bacteriën bepaald met de directe celtelling (TDC). UF en NF veroorzaakten beide circa 90% reductie van het aantal bacteriën (TDC). Aangenomen mag worden dat bij functioneren zonder lekkage alle bacteriën worden verwijderd. De aantallen bacteriën in het water na membraanfiltratie zijn derhalve waarschijnlijk grotendeels afkomstig uit de biofilm op de wanden van de modules en de afvoerleidingen. *Legionella*-bacteriën werden in deze watertypen niet aangetroffen met de kweekmethode.

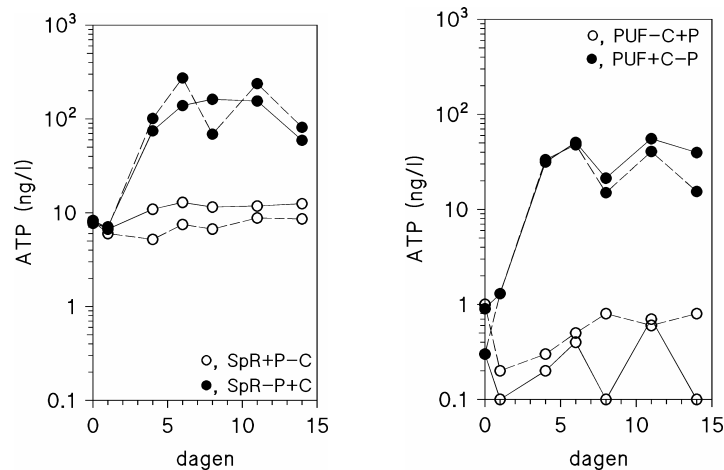
### 6.3.2 Assimileerbare organische koolstof (AOC) en biomassa-productiepotentie (BPP)

De metingen van de groeibevorderende eigenschappen van de diverse watertypen m.b.v. de statische (batch) tests zijn weergegeven in Figuur 6.1. Naar voren komt dat het AOC-gehalte, ondanks de hoge concentratie (circa 7 mg/l) aan opgeloste organische stof (DOC) niet veel hoger was dan 10 µg ac-C/l. UF had vrijwel geen invloed op het AOC-gehalte (en evenmin op het DOC-gehalte), maar NF veroorzaakte een duidelijke reductie van het AOC-gehalte (Figuur 6.1) en in sterkere mate ook van het DOC-gehalte (tot < 0,1 mg/l). Het AOC-gehalte van het water na de testbank (tNF) was eveneens laag; ionenwisseling (IEX) had minder effect. Ter vergelijking is het AOC-gehalte van pb Noordbergum opgenomen.



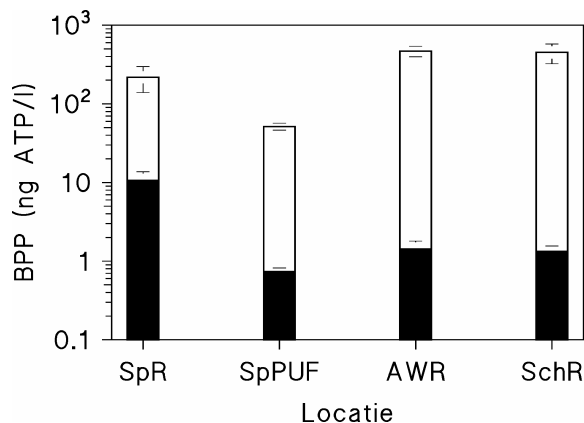
Figuur 6.1 AOC (linker kolom) en BPP (gestreepte kolom) van het reine water (SpR), het water na membraanfiltratie (UF, en UF+NF), na NF met de testbank (tNF), na ionenwisseling (IEX) en in het reine water van pompstation Noordbergum (NrdB). Bij het AOC-gehalte is aangegeven welk deel werd benut door *P. fluorescens* stam P17 (zwart) en het deel dat door stam NOX werd benut (wit). AOC-monsters genomen op 14-01-2005 en op 10-03-2005. BPP op 14-01-2005.

De BPP-waarden vertoonden een ander beeld dan de AOC-gehalten. Opmerkelijk zijn de relatief hoge BPP-waarden van het reine water van pb Spannenburg en van pb Noordbergum op 14-01-2005. UF veroorzaakte een duidelijke reductie, maar NF had vrijwel geen additioneel effect, terwijl NF-testbank wel een duidelijke reductie veroorzaakte. Tevens werd op die datum vrijwel geen effect waargenomen van IEX op het BPP-niveau. Op 27-04-2005 werden beduidend lagere BPP-waarden waargenomen van het reine water en na UF (Figuur 6.2).



Figuur 6.2 Biomassaproductie (ng ATP/l) in het uitgaande water van productiebedrijf Spannenburg (SpR) en in dit water na UF (PUF) met en zonder toevoeging van acetaat (1 mg C/L) of fosfaat (27-04-2005).

Toevoeging van 1 mg/l acetaat-C leidde tot een duidelijke toename van de biomassaproductie in het reine water van pb Spannenburg en ook tot meer groei in het water na UF (Figuur 6.2). In het reine water van pb Amersfoortseweg en pb Schalterberg trad een relatief sterke groei op na toevoeging van 1 mg/l acetaat-C. De BPP-waarden van deze watertypen zonder toevoeging van acetaat waren echter zeer laag (circa 1 ng ATP/l).



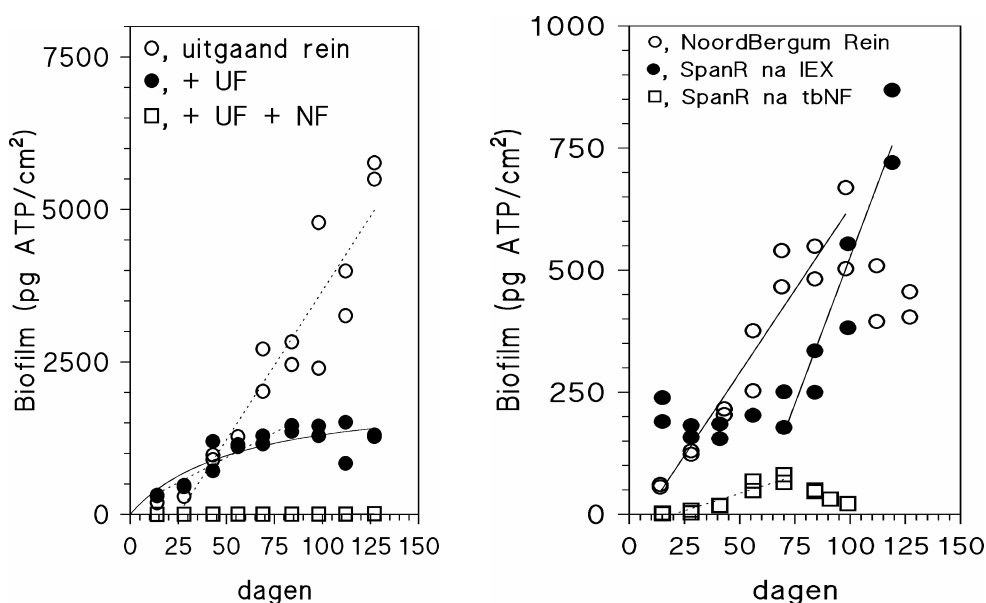
Figuur 6.3 Biomassaproductiepotentie (BPP, ng/l) na toevoeging van 1 mg acetaat-C/l (open kolom) en zonder toevoeging van acetaat-C (zwart) van het reine water van pb Spannenburg (SpR), het water na UF (SpPUF), het reine water van pb Amersfoortseweg (AWR) en het reine water van pb Schalterberg (SchR). Aan het water zonder acetaat was P toegevoegd. Datum monsterneming: 27-04-2005

Uit deze waarnemingen kan worden afgeleid dat organisch-C de groeiopbrengst beperkte in deze watertypen. De BPP na toevoeging van acetaat aan het water na UF is echter duidelijk lager (circa 80%) dan de BPP in het reine water van pb Spannenburg en bovendien in absolute zin zeer laag. In aanwezigheid van voldoende opneembaar N en P geeft 1 mg acetaat-C/l een opbrengst van circa 1000 ng ATP/l. De beperkte groei in het water na UF, in aanwezigheid van 1 mg acetaat-C/l, moet worden toegeschreven aan een beperking van de hoeveelheid

beschikbaar fosfor (P-limitatie), want C en N (nitraat) waren in voldoende mate aanwezig. Dit betekent dat UF een duidelijke reductie (circa 80%) veroorzaakte van de hoeveelheid P die beschikbaar is voor heterotrofe bacteriën.

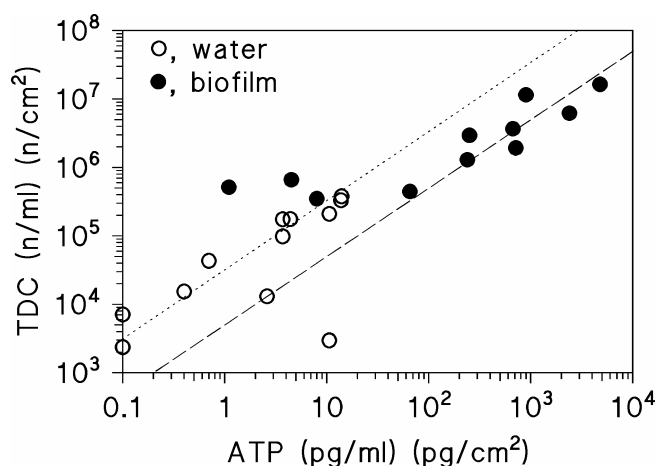
### 6.3.3 Biofilmvorming

Het reine water van pb Spannenburg is relatief sterk biofilmvormend. UF veroorzaakte een reductie van de biofilmvormingspotentie van het water. Na NF werd echter vrijwel geen biofilmvorming meer waargenomen in de biofilmmonitor (BVS < 0,1 pg ATP/cm<sup>2</sup>.d) (Figuur 6.4). Ook directe toepassing van NF (testbank Vitens) leidde tot een lage BVS-waarde (1,4 pg ATP/cm<sup>2</sup>.d), maar IEX had minder effect (BVS = 12 pg ATP/cm<sup>2</sup>.dag). Het uitgaande water van pb Amersfoortseweg was vrijwel niet biofilmvormend (BVS < 0,2 pg ATP/cm<sup>2</sup>.d).



Figuur 6.4 Biofilmvorming in de biofilmmonitor gevoed met rein water van pb Spannenburg, rein water na UF, reinwater na UF+NF, rein water na ionenwisseling (IEX), rein water na testbank NF (tbNF) en reinwater van pb Noordbergum.

Uit Figuur 6.5 kan worden afgeleid dat een verband bestaat tussen het ATP-gehalte en het totale aantal bacteriën (TDC) in het water en tussen het ATP-gehalte en de TDC van de biofilm in de biofilmmonitor. Voor water komt 1 pg ATP overeen met circa 30000 bacteriën; in de biofilm is dat circa 8000 bacteriën, m.u.v. de lage concentraties. De bacteriën in de biofilm bevatten dus meer ATP en zijn dus groter en/of actiever dan de bacteriën in het water.



Figuur 15. Verband tussen ATP-gehalte en het totale aantal bacteriën in het water en in de biofilm (in de biofilmmonitors pb Spannenburg)

Aan het eind van de onderzoeksperiode zijn ook de gehalten van ijzer en mangaan in de biofilm op de glazen ringen gemeten. De resultaten zijn hieronder weergegeven. De concentratie van ijzer in de biofilm in de monitor gevoed met het reine water van pb Spannenburg was circa 10 x hoger dan de concentratie van mangaan. In de biofilm is weinig calcium aangetoond. *Legionella*-bacteriën werden niet waargenomen in de biofilm (< 2 kve/cm<sup>2</sup>).

Tabel 6.3 IJzer en mangaan in de biofilm op de glazen ringen uit de biofilmmonitors (dag 147)

Watertype	IJzer (mg Fe/m <sup>2</sup> )	Mangaan (mg Mn/m <sup>2</sup> )	Calcium (mg Ca/m <sup>2</sup> )
Rein water pb Spannenburg	224	23,7	5
Idem na UF	<3	1,1	<2
Idem na UF + NF	<3	0,3	<2

\*, concentraties gemiddelde waarde van 10 ringen

Een overzicht van de metingen van de biologische stabiliteit van de diverse watertypen is weergegeven in Tabel 6.4.

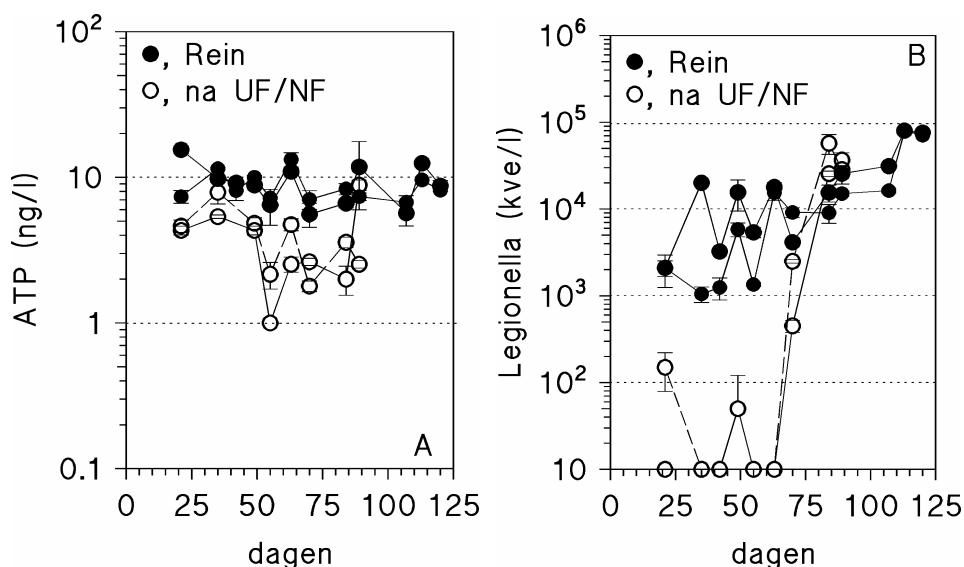
Tabel 6.4 DOC-gehalte en biologische stabiliteit van het reine water (RW) van pb Spannenburg na diverse behandelingen in proefinstallaties. Rein water van pb Noordbergum en pb Amersfoortseweg ter vergelijking

Watertype	DOC (mg/l)	AOC (µg C/l)	BPP (ng ATP/l)	BVS (pg ATP/cm <sup>2</sup> .d)
RW pb Spannenburg	7,4 ±	12,2 ± 0,4	23,4 ± 1,6	48,9 ± 4,9
Idem na UF	7,5 ± (*)	11,3 ± 2,7	11,2 ± 0,6	16,4 ± 1,8
Idem na UF +NF	< 0,1	2,8 ± 1,4	12,1 ± 1,6	0,06 ± 0,01
Idem na testbank NF	n.b.**	1,4 ± 0,4	4,0 ± 0,7	1,4 ± 0,2
Idem na IEX	n.b.	7,4 ± 0,1	18,2 ± 2,7	12,0 ± 1,7
RW pb Noordbergum		6,3 ± 2,5	26,8 ± 0,6	6,8 ± 0,6
RW pb Amersfoortseweg	0,4.	2,1	1,4 ± 0,4	<0,2

(\*), na AS-dosering: 7,6 mg/l; \*\*, niet beschikbaar

#### 6.4 Biofilmvorming en groei van *Legionella* in de boilerinstallatie

Van 16-02-2005 tot 16-06-2005 werd de boilerinstallatie gevoed met rein water van pb Spannenburg en tot 17-05-2005 met rein water na behandeling met UF + NF. De temperatuur van het water in de leidingen werd gehandhaafd op 38 °C. Op 24-02-2005 werd de installatie beënt met *Legionella*. Voor dit doel werd een stukje siliconenrubber in de installatie geplaatst, dat was geïncubeerd in leidingwater met bacteriën, waaronder *Legionella*, afkomstig uit een warmtapwaterinstallatie. Vervolgens werden periodiek de concentraties van ATP en het aantal *Legionella*-bacteriën in het water uit de leidingen bepaald (Figuur 6.6).

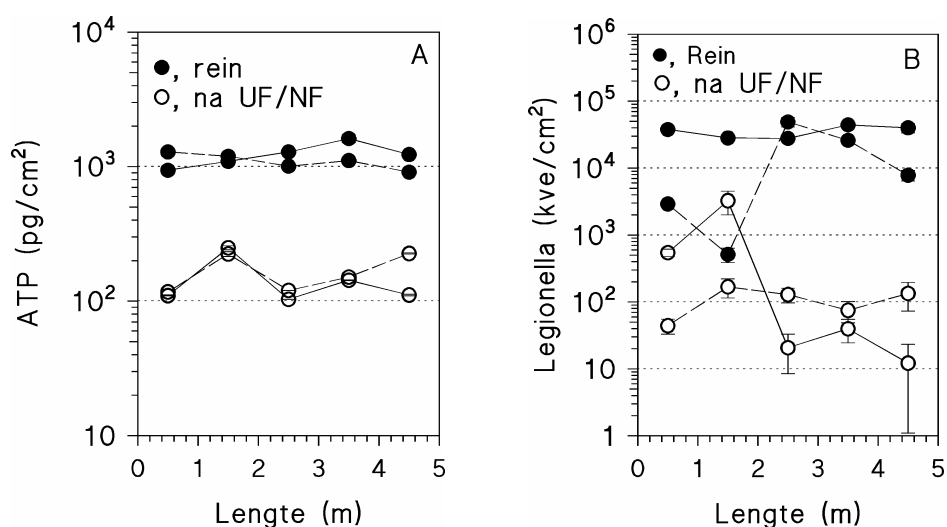


Figuur 6.6 ATP-gehalte in het water uit de leidingen van de boilerinstallatie (A) en aantal *Legionella* bacteriën (B).

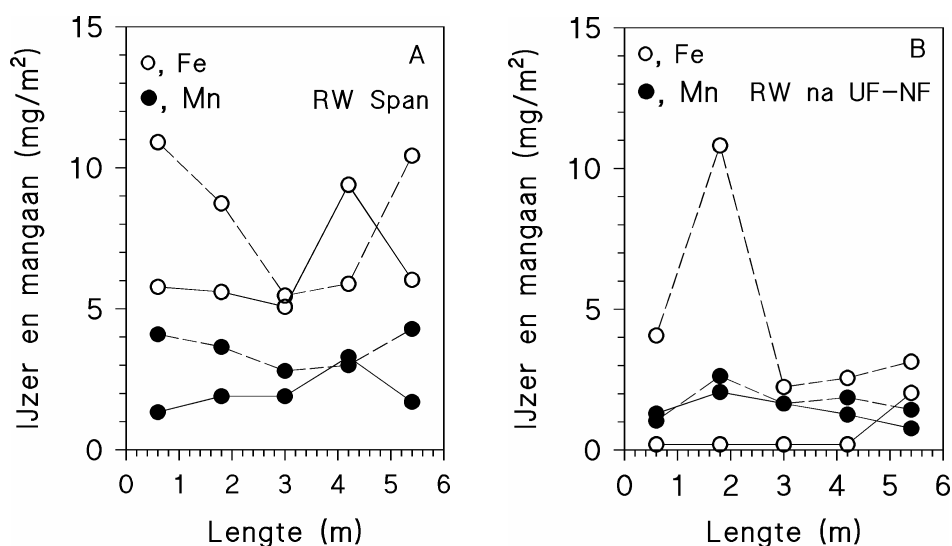
Uit Figuur 6.6 blijkt dat het ATP-gehalte van het warme water uit de leidingen gevoed met water na UF+NF, dat is verwarmd in de boiler, (gem. circa 3,5 ng ATP/l), duidelijk lager was dan in het water uit de leidingen gevoed met rein water (gem. circa 9 ng ATP/l). Door de menging van het verwarmde water uit de boiler met het onverwarmde water kan een onbekend deel van het ATP-gehalte afkomstig zijn uit het koude water, en dus niet uit de biofilm in de leidingen. In het water uit de leidingen, die werden doorstroomd met het opgewarmde reine water, werden vanaf de eerste meting (dag 21) *Legionella*-bacteriën waargenomen. Deze aantallen namen geleidelijk toe tot een niveau van bijna  $10^5$  kve/l na 4 maanden. Het aantal *Legionella*-bacteriën in het water uit de leidingen die werden gevoed met het opgewarmde water na NF, bleef aanvankelijk laag (beneden detectiegrens van 20 kve/l), maar nam sterk toe na circa 70 dagen. Op dag 62 (20-04-2004) en op dag 84 (12-05-2004) werden per leiding enkele segmenten onderzocht op biofilm en *Legionella*. De gemiddelde biofilmconcentraties op deze leidingsegmenten op beide dagen waren:  $979 \pm 307$  pg ATP/cm<sup>2</sup> (RW) en  $123 \pm 53$  pg ATP/cm<sup>2</sup> (na UF+NF). Op dag 62 werden op de segmenten van de leidingen doorstroomd met rein water *Legionella*-bacteriën waargenomen (27 - 4900 kve/cm<sup>2</sup>). Op de leidingen doorstroomd met water na

NF werd *Legionella* op dag 62 niet waargenomen ( $< 1$  kve/cm<sup>2</sup>). Op dag 84 werd in de biofilm in de leidingen gevoed met water na NF wel *Legionella* aangetroffen (circa 2000 kve/cm<sup>2</sup>).

In verband met gepland onderzoek met de NF-installatie (dosering organische stoffen; hoofdstuk 8) werd het onderzoek met water na UF+NF beëindigd op dag 89 (17-05-2005). De betreffende boilerinstallatie werd ontmanteld en leidingdelen werden uitgenomen voor de bepaling van de concentratie en samenstelling van de biofilm. Onderzoek met het reine water werd voortgezet tot dag 120 (16-06-2005), waarna eveneens de concentratie en de samenstelling van de biofilm op de leidingen werden bepaald (Figs. 6.7 en 6.8).



Figuur 6.7 Biofilmconcentratie en aantallen *Legionella*-bacteriën in de biofilm in de boilerinstallatie. A, gehalte actieve biomassa (ATP); B, *Legionella* in de biofilm.



Figuur 6.8 Gehaltes ijzer en mangaan in de biofilm in de leidingen na de boiler; A, leidingen doorstroomd met warm rein water; B, leidingen doorstroomd met warm reinwater na UF+NF.

Uit Figuur 6.7 blijkt dat de concentratie van de biofilm in de leidingen gevoed met het reine water na behandeling met UF en NF (gemiddeld  $156 \pm 56$  pg ATP/cm<sup>2</sup>) beduidend lager was dan in de leidingen gevoed met het reine water (gemiddeld  $1167 \pm 207$  pg ATP/cm<sup>2</sup>). Voor de aantallen *Legionella*-bacteriën is het verschil groter (factor 100). In de biofilm was ijzer en mangaan aanwezig (Figuur 6.8). Opvallend is dat het gehalte mangaan in de leidingen gevoed met rein water na behandeling met UF en NF relatief hoog is in verhouding tot het ijzergehalte. Tabel 6.5 geeft een overzicht van de metingen aan de biofilms in de boilerinstallatie.

Tabel 6.5 Concentratie en samenstelling van de biofilm in de RVS-leidingen (L1 en L2) van de boilerinstallatie gevoed met rein water na opwarming in een boiler en gevoed met water na UF+NF opgewarmd in een boiler

Leiding	Biofilm (pg ATP/cm <sup>2</sup> )	Legionella (log kve/cm <sup>2</sup> )	Ijzer (mg Fe/m <sup>2</sup> )	Mangaan (mg Mn/m <sup>2</sup> )
Rein water Leiding 1	$1234 \pm 252$	$4,5 \pm 0,1$	$6,4 \pm 1,7$	$2,0 \pm 0,75$
Rein water Leiding 2	$1101 \pm 148$	$3,8 \pm 0,9$	$8,2 \pm 2,5$	$3,6 \pm 0,6$
RW na UF + NF L1	$143 \pm 61$	$2,1 \pm 1,0$	$0,6 \pm 0,8$	$1,4 \pm 0,5$
RW na UF + NF, L2	$168 \pm 54$	$2,0 \pm 0,2$	$4,6 \pm 3,6$	$1,7 \pm 0,6$

Op de leidingen werd ook calcium waargenomen, nl. met rein water gevoed:  $20,9 \pm 6,8$  mg Ca/m<sup>2</sup> en met NF-filtraat gevoed:  $14,9 \pm 5$  mg Ca/m<sup>2</sup>. De concentraties van Ca in water uit de leidingen was 34 mg/l (RW) en 1,6-8,5 mg/l (na UF+NF).

## 6.5 Discussie

### 6.5.1 Biologische stabiliteit rein water van pb Spannenburg

Het AOC-gehalte van het reine water van pb Spannenburg was iets hoger dan 10 µg C/l, de referentiewaarde voor biologisch stabiel drinkwater. De resultaten van deze AOC-metingen zijn in overeenstemming met eerdere analyses van dit water. Een dergelijk AOC-gehalte in combinatie met het hoge DOC-gehalte (circa 8 mg/l) duidt erop dat slechts een kleine fractie van de organische stof gemakkelijk afbreekbaar is. De BPP-niveaus in het reine water van pb Spannenburg en het reine water van pb Noordbergum waren hoger dan het AOC-gehalte (Figuur 6.1). De BPP-waarden (ng ATP/l) komen getalsmatig meestal overeen met de AOC-waarden (µg C/L) want 1 µg C geeft circa 1 ng ATP. Een hogere BPP-waarde duidt derhalve op de aanwezigheid van componenten die niet beschikbaar zijn voor de bacteriën in de AOC-bepaling. Voorbeelden van dergelijke verbindingen zijn methaan en ammonium. Op 27-04-2005 werd in het reine water van pb Spannenburg een BPP-waarde (circa 10 ng ATP/l) waargenomen die overeenkwam met het AOC-gehalte. Nader onderzoek met de BPP-test is nodig om na te gaan in welke mate de BPP-waarden van het reine water van pb Spannenburg fluctueren en om de oorzaak van het verschil tussen AOC- en BPP-niveaus op te helderen.

In het reine water van pb Spannenburg met toegevoegd acetaat (1 mg C/l) werd een groei tot circa 200 ng ATP/l waargenomen. Deze waarde is lager dan het ATP-gehalte dat met 1 mg acetaat-C/l wordt bereikt wanneer voldoende P en N aanwezig zijn (circa 1200 ng ATP/l). De BPP-waarde van het reine water was

duidelijk hoger dan de BPP van het reine water met toegevoegd P en zonder acetaat. Dit betekent dat niet voldoende P aanwezig was voor de omzetting van 1 mg acetaat-C/l, maar ook dat de opbrengst van de groei in het reine water niet werd beperkt door P-limitatie. In het reine water van pb Amersfoortseweg en pb Schalterberg, beide watertypen die zijn bereid uit zuurstofhoudend grondwater, werden met toegevoegd acetaat hogere BPP-waarden waargenomen dan in het reine water van pb Spannenburg. Dit is een aanwijzing dat in het reine water van pb Amersfoortseweg en pb Schalterberg meer P beschikbaar is voor de bacteriegroei dan in het reine water van pb Spannenburg. De BPP-niveaus van het reine water van pb Amersfoortseweg en van het reine water van pb Schalterberg (zonder toevoeging van acetaat, met toevoeging van fosfaat) waren zeer laag. Deze waarneming is in overeenstemming met het lage AOC-gehalte van deze watertypen.

De BVS-waarde van het reine water (49 pg ATP/cm<sup>2</sup>.d) kwam eveneens overeen met resultaten van eerder uitgevoerd onderzoek met dit watertype (Tabel 6.6). Een dergelijke BVS-waarde is echter aan de hoge kant en gaat gepaard met groei van *Aeromonas*-bacteriën in het leidingnet [van der Kooij et al. 1997]. Uit onderzoek naar de invloed van de concentratie gedoseerd acetaat op de BVS is gebleken dat een dosering van 10 µg acetaat-C/l een BVS-waarde veroorzaakt van ca 360 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) [van der Kooij et al. 1995]. Bij een lineair verband tussen BVS en acetaatconcentratie betekent dit dat een BVS van 49 pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) overeenkomt met 1,5 µg acetaat-C equivalenten/l. Dit is slechts een fractie van de waargenomen AOC- concentratie. Kennelijk bestaat het grootste deel van het AOC-gehalte uit verbindingen die (veel) minder snel worden opgenomen dan acetaat. De hoge BVS-waarde is echter een aanduiding dat de concentratie gemakkelijk afbreekbare organische stof in het reine water relatief hoog is in vergelijking met andere typen drinkwater waarbij (veel) lagere BVS-waarden werden waargenomen. Voorbeelden hiervan zijn het reine water van pb Noordbergum en van pb Amersfoortseweg (Tabel 6.4).

Tabel 6.6. Biofilmvormingssnelheid van water direct na de nafilts en na opslag in de tanks en de reinwaterkelders van pb Spannenburg (start BVS-metingen: 1 december 1998)

Herkomst water	Biofilmvormingssnelheid (BVS) (pg ATP/cm <sup>2</sup> .d)	
	Dag 0-60	Dag 0-150
Nafiltegebouw B1	13,7	39 ± 3
Nafiltegebouw B2	14,6	35 ± 3
Na tank NRA	45,3	38 ± 3
Na reinwaterkelder nr. 9	30,2	51 ± 4
Uitgaand Lemmer	39,5	52 ± 4

Bij eerder onderzoek uitgevoerd op pb Spannenburg is naar voren gekomen dat de BVS van het water direct na de nafilts trager op gang kwam en lager was dan van het water na de reinwaterkelders en tanks (Tabel 6.6). In de biofilm werden bovendien opvallend veel draadvormende bacteriën waargenomen. Diverse hypothesen, vooral toevoer van onbehandeld (dus methaan en sulfidehoudend) grondwater naar de kelder door lekkende bodem of kortsluiting, methaan via de lucht, konden worden weerlegd en bodem dus geen



verklaring voor het verschijnsel. Uit nader onderzoek kwam naar voren dat de BVS-waarde van het water uit nafilter 12 slechts  $6,5 \pm 0,8$  pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) was, terwijl in dezelfde periode de BVS-waarde van het uitgaande water (Lemmer) opnieuw hoog was ( $52 \pm 3$  pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d) was. Tevens bleek dat nafiltratie van het reine water met een proefilter (contacttijd 20 min) leidde tot een zeer geringe BVS-waarde, nl.  $2,3 \pm 0,3$  pg ATP/(cm<sup>2</sup>.d).

De nieuwe inzichten m.b.t. P-limitatie kunnen ook een verklaring vormen voor het destijds waargenomen verschijnselen. Dit zou betekenen dat P beschikbaar komt als het water wordt opgeslagen ('veroudering'). Welke chemisch-biologische processen hierbij een rol spelen is niet duidelijk. De relatief lage BVS-waarden van het water direct na de nafiltes kunnen bovendien een aanduiding zijn voor het optreden van P-limitatie in de nafiltes, waardoor de biologische omzettingsprocessen in deze filters worden vertraagd. Ook de onvolledige nitrificatie in de voorfilters van pb Spannenburg kan worden verklaard door het optreden van P-limitatie. Hoewel uit de BPP-test blijkt dat voldoende P beschikbaar is voor de omzetting van organische stof (Figuur 6.2) kan het 'verouderingseffect' ook in deze test tot een relatief hoge groeiopbrengst hebben geleid. Bovendien geeft een BPP-test met organische stof mogelijk geen informatie over de beschikbaarheid van P voor de nitrificerende bacteriën. Nader onderzoek naar P-limitatie is nodig om de waargenomen verschijnselen op te helderen en om harde bewijzen te verkrijgen voor het optreden van P-limitatie bij de biologische processen op pb Spannenburg.

#### 6.5.2 *Effect van UF en NF op de biologische stabiliteit*

UF veroorzaakte zoals verwacht een duidelijke reductie van het aantal bacteriën in het water, maar had geen effect op het DOC-gehalte en vrijwel geen effect op het AOC-gehalte. De BPP-waarde en ook de BVS-waarde werden wel verlaagd door UF (Tabel 6.4). Bovendien was de BPP van het water na UF-behandeling met toegevoegd acetaat (1 mg C/l) veel lager dan de BPP van het reine water. De zeer lage BPP van het water met acetaat kan worden toegeschreven aan P-limitatie, want C en N waren niet groeibeperkend in deze BPP-test. Fosfaten, die aanwezig zijn in de vorm van niet opgeloste Fe- en Ca-verbindingen, kunnen het UF-membraan niet passeren. De verwijdering van opneembare P-verbindingen vormt ook een verklaring voor de afname van de BPP-waarde van het water zonder toegevoegd acetaat en de afname van de BVS-waarde als gevolg van UF. Dit is echter niet bevestigd met aanvullende metingen (effect van P-dosering op de snelheid van biofilmvorming). De zeer geringe BPP van het water na UF (met toegevoegd acetaat) duidt erop dat het gehalte aan opgeloste P-verbindingen, mogelijk ook organische P, in het water zeer laag was en een groeiopbrengst toeliet tot een niveau van enkele tientallen ng ATP/l. Een lage groeiopbrengst gaat gepaard met een lage(re) groeisnelheid. Het zeer lage gehalte aan opgeloste beschikbare P-verbindingen in het water heeft daarom waarschijnlijk ook invloed op de biologische omzettingsprocessen in de filterbedden van de waterbehandeling op pb Spannenburg (zie hierboven).

NF veroorzaakte zoals verwacht duidelijke reducties van het DOC-gehalte en van het AOC-gehalte. De waargenomen reducties van het AOC-gehalte zijn in overeenstemming met eerdere waarnemingen [Beerendonk et al, 2005]. Het AOC-gehalte van het water na de NF-testbank was lager dan het AOC-gehalte

na NF-installatie (Tabel 6.4). De betere AOC-verwijdering met de NF-testbank is waarschijnlijk het gevolg van de lage recovery (10%), die bij de proefinstallatie 75% bedroeg. Ook de BPP-verwijdering was met de NF-testbank beter dan met NF-proefinstallatie. Bij de NF-testbank werd geen AS gedoseerd. Onduidelijk is of AS-dosering van invloed was op de BPP na NF. De zeer lage BVS-waarde na NF kan een gevolg zijn van een sterke reductie van het gehalte aan afbreekbare verbindingen en van het gehalte beschikbaar P.

### 6.5.3 Boilerinstallatie

Toepassing van UF + NF op het reine water van pb Spannenburg veroorzaakte circa 90% reductie van de biofilmconcentratie in de boilerinstallatie. Dit effect komt overeen met de invloed van UF+NF op het AOC-gehalte van het water. De biofilmconcentraties in de leidingen, gevoed met het warme reine water (circa 1200 pg ATP/cm<sup>2</sup>; cf Tabel 6.5), waren echter veel lager dan in de biofilmmonitor gevoed met rein water na een overeenkomende looptijd (circa 5000 pg ATP/cm<sup>2</sup>; cf. 6.4). De lagere biofilmconcentraties in de leidingen gevoed met verwarmd rein water kunnen worden verklaard door de veel geringe volumestroom door de leidingen, terwijl de biofilmmonitor continu werd doorstroomd. De biofilmconcentratie in de leidingen gevoed met het water na NF (circa 150 pg ATP/cm<sup>2</sup>; cf. Tabel 6.5) was hoger dan in de biofilmmonitor gevoed met water na NF. De wat sterkere biofilmvorming in de leidingen gevoed met warm water na NF kan meerdere oorzaken hebben:

- opwarming van het water veroorzaakt een snellere groei;
- de snelle doorstroming in de biofilmmonitor veroorzaakt meer slijtage van een traag groeiende biofilm, dan het periodieke doorstromen van de leidingen;
- eventuele afgifte van afbreekbare stoffen door componenten van de installatie (ondanks opbouw uit metalen);
- combinaties van deze factoren.

Nader onderzoek met de leidinginstallatie (bij pb Amersfoortseweg) moet uitsluitsel geven over eventuele effecten van opwarming en doorstroming bij water met een zeer geringe biofilmvormingspotentie.

Opvallend is dat in de leidingen van de boilerinstallatie gevoed met water na UF+NF een relatief hoge mangaanafzetting is opgetreden. De mangaanconcentratie is niet veel lager dan in de leidingen gevoed met verwarmd reinwater en ook hoger dan de ijzerconcentratie (in leiding 1). Een verklaring voor deze waarneming is dat (een fractie van) niet geoxideerd mangaan (Mn<sup>2+</sup>) de UF en NF passeert. De retenties van de positieve ionen Na (atoomgewicht AG 23), en K (AG: 39) waren gemiddeld circa 83%. Dit betekent dat passage van Mn<sup>2+</sup> (AG: 55) in ieder geval minder zal zijn dan 20%, d.w.z. concentraties < 10 µg Mn/l, maar meetgegevens hierover ontbreken. De relatief hoge concentraties in de biofilm duiden dan op een zeer sterke hechting van Mn (en ook Fe) aan de biomassa.

In de boilerinstallatie gevoed met het reine water van pb Spannenburg trad snel groei op van *Legionella*. Opmerkelijk is dat het aantal *Legionella*-bacteriën in het water uit de leidingen gevoed met NF na enkele maanden (op dag 71) plotseling sterk toenam tot een niveau van circa 3 - 5 x 10<sup>4</sup> kve/l. Voorafgaande aan deze toename zijn NF-membranen uitgenomen voor autopsie i.v.m. biofouling, maar

het is niet duidelijk of deze ingreep heeft geleid tot de plotselinge groei van *Legionella*. Het ATP-gehalte van het water uit de leidingen gevoed met NF-filtraat bedroeg enkele ng/l en was hoger dan het ATP-gehalte van het water na NF. De toename van de ATP-concentratie kan worden toegeschreven aan de uitspoeling van biofilmmateriaal bij het bemonsteren van het water.

De 90%-verlaging van de biofilmconcentratie in de boilerinstallatie door toepassing van UF + NF ging gepaard met een 99%-verlaging van het aantal *Legionella*-bacteriën in de biofilm. Verlagen van de biofilmvormende eigenschappen van het water kan derhalve leiden tot een meer dan evenredige vermindering van de groei van *Legionella*. De metingen in de biofilm in de leidingen gevoed met water na NF tonen echter aan dat groei van *Legionella* ook kan optreden bij relatief lage biofilmconcentraties. Een vergaande waterbehandeling (grondwaterzuivering gevolgd door UF en NF) was bij pb Spannenburg dus niet in staat de biofilmvorming zodanig te beperken dat geen groei van *Legionella* meer mogelijk was. Door de relatief korte proefduur, als gevolg van gepland onderzoek, werd echter geen beeld verkregen van de groei van *Legionella* in de biofilm bij het bereiken van de evenwichtssituatie. Meer informatie over de invloed van de watersamenstelling op groei van *Legionella* in de boilerinstallatie zal worden verkregen uit onderzoek op andere locaties. Inmiddels is ook een nieuwe installatie ontworpen die bestaat uit een combinatie van een boiler en een biofilmmonitor. Met een dergelijke opstelling kan op een eenvoudigere manier de vorming van de biofilm en de daarin optredende groei van *Legionella* worden bepaald bij allerlei watertypen.

## 6.6 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

### *Conclusies*

- Het AOC-gehalte van het reine water van pb Spannenburg is laag in verhouding tot het DOC-gehalte, maar het water is sterk biofilmvormend en heeft een relatief hoog gehalte actieve biomassa (ATP);
- UF veroorzaakte een sterke reductie van de bacterieconcentratie, maar had vrijwel geen invloed op het gehalte opgeloste organische stof en het AOC-gehalte;
- UF veroorzaakte een duidelijke reductie van de BPP van het water met toegevoegd acetaat. Een verklaring voor deze reductie is de verwijdering van opneembare P-verbindingen, waardoor P-limitatie optrad. P-limitatie is mogelijk ook de oorzaak van de verlaging van de BVS-waarde door UF;
- P-limitatie is mogelijk de oorzaak van de eerder waargenomen toename van de BVS van het water tijdens verblijf in de tanks en de kelders van pb Spannenburg. Dit zou betekenen dat ook bij omzettingen in de nafilters P-limitatie kan optreden. Ook de onvolledige nitrificatie in de voorfilters kan een gevolg zijn van P-limitatie;
- NF veroorzaakte een sterke reductie (circa 90%) van het AOC-gehalte (en van het gehalte opgeloste organische stof). In de biofilmmonitor gevoed met water na NF werd vrijwel geen biofilmvorming waargenomen;
- Na NF-testbank werden lagere niveaus van AOC en BPP waargenomen dan na NF-proefinstallatie. Deze lagere niveaus zijn waarschijnlijk het gevolg van de lage recovery (10%) van de NF-testbank;

- In de biofilm op de leidingen gevoed met warm water na NF was relatief veel mangaan aanwezig. Deze aanwezigheid is waarschijnlijk het gevolg van onvolledige retentie van  $Mn^{2+}$  in combinatie met een sterke hechting aan de biofilm;
- Biofilmvorming in de leidingen van de boilerinstallatie gevoed met warm reinwater na UF+NF was circa 10x minder dan in de installatie gevoed met warm reinwater. De concentratie van *Legionella*-bacteriën in de biofilm in de leidingen gevoed met warm water na NF was echter circa 100 x lager dan in de biofilm in de leidingen gevoed met warm reinwater;
- *Legionella*-bacteriën kunnen zich vermeerderen bij lage biofilmconcentraties;

*Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Nadere analyse van het reine water met analyses van AOC en BPP ter verklaring van de waargenomen variaties en onderlinge verschillen;
- Nader onderzoek naar de beschikbaarheid van P in het reine water in verband met de invloed op biofilmvorming in het distributiesysteem;
- Nader onderzoek naar de beschikbaarheid van P in water in diverse stadia van de waterbehandeling i.v.m. invloed op de biologische processen in de voorfilters (nitrificatie) en in de nafilts (nitrificatie en omzetting van organische stoffen);
- Nader onderzoek van het reine water van pb Spannenburg op biofilmvorming en groei van *Legionella* met een boilerbiofilmmonitor (BBM) opstelling;
- Nader (landelijk) onderzoek naar de relatie tussen biofilmconcentratie en groei van *Legionella*.



# 7 Invloed NOM op membraanfiltratie

## 7.1 Inleiding

Eén van de doelstellingen van het proefinstallatie-onderzoek bij pb Spannenburg was om de verwijdering van NOM en NOM-fracties met UF en NF vast te stellen door middel van karakteriseringsmethoden voor NOM. Hiernaast was het doel de bestudering van de negatieve invloeden van de aanwezigheid van NOM en NOM-fracties op de werking van deze processen. Het is bekend dat NOM in voedingswater kan leiden tot membraanvervuiling resulterend in een afname van de capaciteit van membraanfiltratie-installaties en tot een achteruitgang van de kwaliteit van het permeaat.

## 7.2 Opzet onderzoek

Op verschillende datums zijn er watermonsters genomen van de voeding, permeaat en concentraatstromen van de UF- en NF-installatie voor NOM-karakteriseringsmetingen. Het overzicht van de monsternamen is gegeven in Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Monsternamen schema voor NOM-karakterisering Spannenburg installatie

Datum	Voeding UF	Voeding NF	Permeaat NF	Concentraat NF
25 november		X	X	
19 december	X			
29 december		X	X	
25 januari		X	X	
24 februari		X	X	
22 april		X	X	X
10 mei		X	X	X

Verwijdering van NOM en NOM-fracties is gemeten in de loop van het onderzoekstraject van 28-10-2004 t/m 14-06-2005. De verwijdering van NOM en NOM-fracties door UF is bepaald uit monsternamen op 19 december 2004 en de verwijdering van NOM en NOM-fracties door NF is bepaald uit diverse monsternamen in de tijd (zie Tabel 7-1). Verder zijn vanaf 25 januari regelmatig DOC, UV-extinctie en kleur gemeten in de voeding, permeaat en concentraatstromen van de UF- en NF-installatie. De gemiddelde waarden en standaarddeviaties van deze parameters zijn eerder vermeld in *Tabel 3-1* voor de UF-installatie en in *Tabel 4-3* voor de NF-installatie.

Vervuiling van de UF- en NF-membranen als gevolg van NOM in het voedingswater is indirect bepaald door waarnemingen van daling van de permeabiliteit in de tijd. Daarnaast is, met behulp van massabalansen over de NF-installatie, getracht om de depositie te bepalen van NOM-fracties op 22 april en op 10 mei. De hoeveelheid berekende depositie kan een maat zijn voor de hoeveelheid vervuiling van de NF-membranen.

NOM-karakterisering is uitgevoerd met behulp van SEC-DOC, size exclusion chromatografie gevolgd door organische-koolstofdetectie [Her et al, 2002]. Eerst zijn gepasteuriseerde monsters gefiltreerd over een 0,45 µm filter waarmee monsters zijn gescheiden in particulier organische koolstof (POC) en organische koolstof die naar de SEC-DOC gaat. Dit laatste deel wordt gescheiden in vijf groepen door SEC; polysachariden (PS), humus (humuszuren en fulvinezuren), hydrolysaten van humus (de zogenaamde 'building blocks', BB), neutrale componenten (bijvoorbeeld alcoholen, aldehyden, ketonen en aminozuren) en organische zuren. Het gedeelte organische stof dat op de chromatografiekolom achterblijft, is het hydrofobe gedeelte van de organische koolstof en vormt de HOC (hydrofoob organische koolstof). De NOM-karakterisering is uitgevoerd door DOC Labor te Karlsruhe.

### 7.3 Resultaten NOM-onderzoek

#### 7.3.1 Verwijdering van NOM

##### Ultrafiltratie

Verwijdering van NOM door UF is uitgebreid bestudeerd door verschillende onderzoekers. Over het algemeen wordt er geen efficiënte verwijdering gevonden van NOM door UF behalve als er gebruik wordt gemaakt van coagulatie [Bian et al, 1999]. De mate van NOM-verwijdering door UF hangt in sterke mate af van het type membraan; bij UF-membranen met een lage moleculaire cut-off waarde (<20kDa) worden retenties gevonden van 30-50% op basis van DOC [Amy en Cho, 1999]. Dit wordt verklaard door exclusie op basis van molecuulgrootte en ladingseffecten [Yoon et al, 2005]. Voor UF-membranen met grotere moleculaire cut-off waarden van 50-200 kDa wordt slechts een zeer geringe retentie waargenomen van circa 20% [Bian et al, 1999].

Op 19 december 2004 is een monster genomen uit de zuiveringsinstallatie te Spannenburg voor de laatste zandfiltratie (direct na de onthardingsinstallatie). Na zandfiltratie dient dit water als voedingswater voor de UF-installatie. Er is hierbij aangenomen dat de zandfiltratie geen effect heeft op NOM-verwijdering.

Gegevens van NOM-karakterisering voor en na de UF zijn samengevat in Tabel 7-2. Uit deze gegevens wordt een significante verwijdering van bepaalde NOM-fracties gevonden door UF. De membranen zijn van het type UFC (X-flow) en hebben een molecular weight cut-off van 150-200 kDa. De componenten van NOM die (deels) groter kunnen zijn dan deze MWCO-waarde zijn polysachariden. Uit Tabel 7-2 blijkt dat er nauwelijks polysachariden aanwezig is en (mogelijk daardoor) geen verschil is tussen de PS-waarde voor en na UF. Ook blijkt uit Tabel 7-2 dat HOC en POC verwijderd worden voor circa 65% en dat kleine organische zuren voor 34% worden verwijderd. Deze laatste waarneming komt overeen met ervaringen bij PWN [Galjaard et al, 2005]. Niet duidelijk is of deze fracties van NOM door de UF-membranen worden verwijderd of dat deze fracties adsorberen aan het membraanoppervlak. Adsorptie van NOM op UF-membranen is wel waargenomen in de literatuur [Amy and Cho, 1999].

Variaties in de karakteriseringsmetingen van NOM na UF die gevonden worden (hier niet getoond) zijn toe te wijzen aan een variatie van de waterkwaliteit in de tijd. De monsternamen voor en na UF zijn namelijk op verschillende dagen uitgevoerd. Bovendien is er sprake van een enkel meetpunt voor de UF-installatie. De bovenstaande resultaten op basis van SEC-DOC dienen daarom met de nodige voorzichtigheid te worden geïnterpreteerd.

Tabel 7-2 NOM en NOM-fracties in het water voor en na UF

NOM (fracties) [ppb]	Detectie grens	Voor UF	Na UF	Verwijdering of verlaging
TOC	1	7557	7198	5%
DOC	1	6924	6980	--
POC	1	633	218	66%
HOC	50	290	105	64%
PS	2	4	6	--
Humus	20	2919	2769	--
BB	10	2321	2656	--
Neutrals	5	1256	1338	--
Zuren	5	134	88	34%

Metingen van DOC, UV-extinctie en kleur in de voeding en het permeaat van de UF-installatie wijzen uit dat er geen verwijdering plaatsvindt van NOM (zie Tabel 3-1). Gemiddeld wordt er 7,4 mg/l DOC, 20 1/m UV-extinctie en 16 mg Pt/l kleur gemeten in het voedingswater naar de UF-installatie. Gemiddeld wordt er 7,5 mg/l DOC, 19 1/m UV-extinctie en 13 mg Pt/l kleur gemeten in het permeaat van de UF-installatie. Dit komt neer op een verwijdering van -1% (verwaarloosbaar), 5% (verwaarloosbaar) en 19% voor respectievelijk DOC, UV-extinctie en kleur. Dit is in tegenspraak met de resultaten die worden verkregen met NOM-karakterisering op basis van SEC-DOC. De SEC-DOC metingen voor UF zijn echter gebaseerd op een enkel meetpunt.

Geconcludeerd wordt dat UF geen NOM-verwijdering bewerkstelligde. Uit de resultaten, verkregen op basis van SEC-DOC metingen, voor NOM-karakterisering wordt wel een verwijdering van bepaalde NOM-fracties gevonden. Deze verwijdering betreft kleine fracties waardoor het effect van UF op het totale gehalte NOM niet meetbaar was. De resultaten zijn echter verkregen op basis van een enkele meting en dienen te worden herhaald.

#### Nanofiltratie

De voedingswatersamenstelling op basis van NOM en de NOM-fracties van de NF-installatie in de tijd is weergegeven in Figuur 7-1. De samenstelling van het voedingswater in de onderzoeksperiode vertoont geen sterke variaties. De TOC bedraagt circa 7,6 mg/l en de DOC bedraagt circa 6,9 mg/l, waardoor de rest (0,7 mg/l) bestaat uit POC.

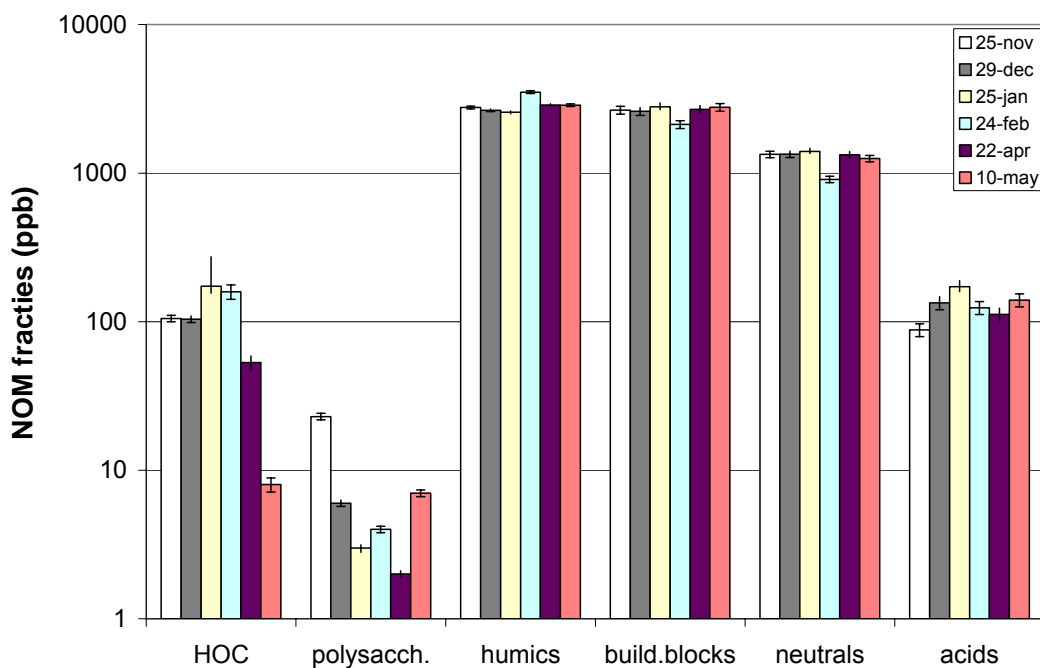
De NOM-fracties zijn bepaald met behulp van SEC-DOC. Gemiddeld worden de volgende waarden gevonden voor de NOM-fracties :

- HOC = 0,01-0,1 mg/l
- PS = 0,01 mg/l



- Humus = 3 mg/l
- BB = 2,5 mg/l
- Neutrals = 1,2 mg/l
- Zuren = 0,1 mg/l

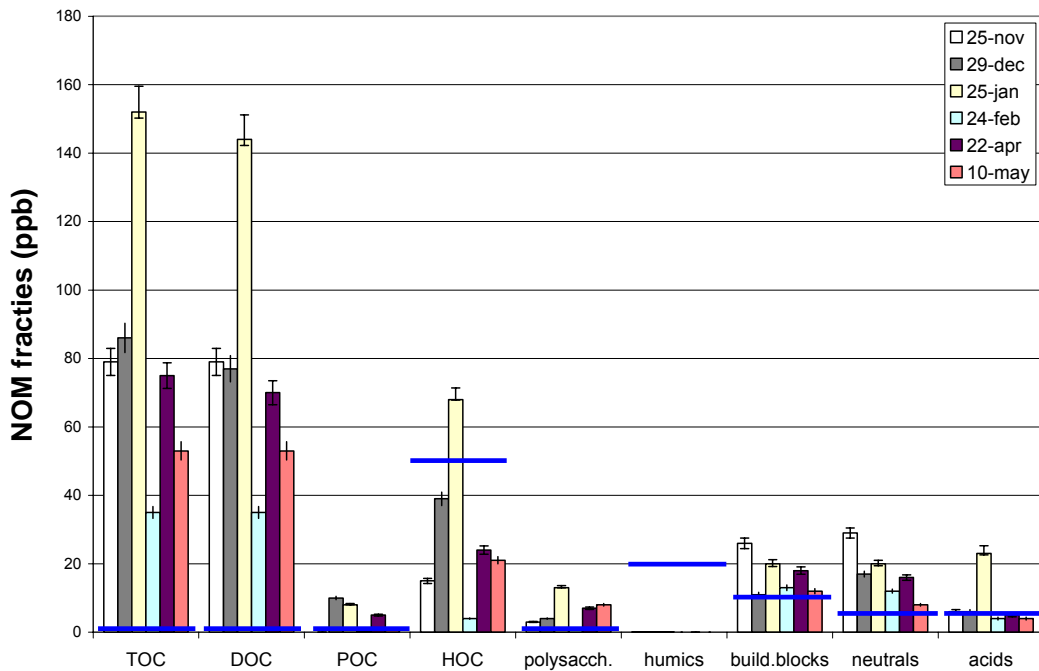
Het grootste gedeelte (circa 80%) van NOM bestaat uit humus en hydrolysaten van humus, een kleiner deel (circa 17%) wordt gevormd door neutrale componenten in NOM. De overige fracties zoals hydrofobe componenten, polysacchariden en organische zuren maken slechts een zeer klein gedeelte uit van NOM (circa 1%).



Figuur 7-1 NOM-fracties in het voedingswater van de NF-installatie (log-schaal)

NOM en NOM-fracties in het permeaat in verloop van de tijd zijn weergegeven in Figuur 7-2. Er bestaat een significante variatie van de NOM-fracties in de tijd; een verklaring hiervoor is nog niet gevonden. De gemiddelde samenstelling is karakteristiek voor grondwater.

Gemiddeld bedragen de TOC- en DOC-gehaltenes circa 0,10 mg/l in het permeaat, terwijl er logischerwijze nagenoeg geen POC in het permeaat is gevonden (<0,01 mg/l). De retentie voor deze parameters is zeer hoog en bedraagt 99%. De retentiewaarden op basis van UV-extinctie en kleurverwijdering bedragen gemiddeld respectievelijk 97% en 89%.



Figuur 7-2 NOM en NOM-fracties in het permeaat van de NF-installatie (- = detectie grens)

De samenstelling van de NOM-fracties in het permeaat bepaald met SEC-DOC is gemiddeld:

- HOC < 50 ppb (detectie grens)
- PS = 5 ppb (detectie grens is 2 ppb)
- Humus < 20 ppb (detectie grens)
- BB = 15 ppb
- Neutrals = 20 ppb
- Zuren < 20 ppb (detectie grens)

Veel NOM-fracties (vooral HOC, humus en organische zuren) liggen onder de detectiegrens. De hoeveelheid polysacchariden is zeer laag (circa 5 ppb) in het permeaat, evenals de hydrolysaatfractie van humus (15 ppb) en de fractie aan neutrale componenten (20 ppb).

Het NF-membraan houdt een zeer groot gedeelte van NOM en NOM-fracties tegen. Dit wordt bevestigd door andere onderzoekers [Yoon et al, 2005; Amy en Cho, 1999]. Voor elke fractie wordt een retentie gevonden van circa 99%, behalve voor de HOC en polysacchariden-fractie worden lagere retentiewaarden gevonden van respectievelijk > 50% vanwege de detectie grens en 50%. De relatief lage retentie voor polysacchariden kan niet verklaard worden vanuit het mechanisme van scheiding van NF. Er wordt gedacht aan onnauwkeurigheden bij de integratie van de chromatografiepiek van polysacchariden bij de SEC-DOC bepaling of introductie tijdens de monstername. Ook is het mogelijk dat de polysacchariden een andere samenstelling bezitten dan in andere gevallen omdat er geen algen in het water aanwezig zijn.

### 7.3.2 Membraanvervuiling als gevolg van NOM

#### Ultrafiltratie

Membraanvervuiling als gevolg van de aanwezigheid van NOM in het voedingswater naar de UF-installatie is niet direct gemeten. In *Figuur 3-3* wordt een daling in de permeabiliteit van 240 naar 200 l/m<sup>2</sup>\*h\*bar waargenomen over de onderzoeksperiode van 28-10-2004 t/m 14-06-2005. Deze daling is mogelijk te schrijven aan vervuiling van de UF-membranen door de aanwezigheid van NOM in het voedingswater. In paragraaf 7.3.1 is reeds aangegeven dat HOC, POC en kleine organische zuren door de UF-membranen verwijderd worden of op het membraanoppervlak achterblijven. Niet duidelijk is of deze fracties van NOM door de UF-membranen worden verwijderd of dat deze fracties adsorberen aan het membraanoppervlak. Indien adsorptie aan het membraanoppervlak optreedt, is dat mogelijk de oorzaak van de membraanvervuiling die is aangetoond met de verlaging in permeabiliteit [Amy en Cho, 1999]. De daling van de permeabiliteit van de UF-installatie kan echter ook deeltjesvervuiling als oorzaak hebben. Dit kan op basis van de resultaten van dit onderzoek niet worden uitgesloten.

#### Nanofiltratie

Membraanvervuiling als gevolg van de aanwezigheid van NOM in het voedingswater naar de NF-installatie is niet direct waargenomen. In *Figuur 4-1* en *Figuur 4-3* zijn de MTC-waarden weergegeven voor respectievelijk de totale installatie, trap 1 en trap 2 en voor een aantal elementen die apart kunnen worden gemeten (met name element 1-1a, element 1-1b, element 2-6 en element 3). Over de periode van 28-10-2004 t/m 14-06-2005 is er geen daling in MTC gevonden voor de genoemde elementen. Er kan daarom geen relatie worden gelegd tussen de aanwezigheid van NOM in het voedingswater en het optreden van membraanvervuiling. Aan de concentraatzijde aan het einde van de installatie heeft de DOC een concentratie van circa 32 mg/l. In de bovengenoemde periode wordt geen daling gevonden van de MTC bij deze hoge NOM-concentraties. De verklaring wordt gezocht in het type membraanelement dat geselecteerd is op minimale NOM-vervuiling en de samenstelling van NOM in het reine water van pb Spannenburg. Mogelijk resulteert een watertype met dezelfde NOM-concentratie maar een andere NOM-samenstelling wel in vervuiling van Trisep-membranen.

Naast de gebruikelijke voedings- en permeaatmonsters zijn op 22 april en 10 mei extra concentraatmonsters genomen ten einde massabalansberekeningen te kunnen uitvoeren op de NF-installatie. Massabalansberekeningen zijn uitgevoerd over de installatie met de volgende formules [Huber, 1998].

$$Q_f = Q_c + Q_p + \Delta_1 \quad (1)$$

$$Q_f \cdot C_f = Q_c \cdot C_c + Q_p \cdot C_p + \Delta_2 \quad (2)$$

Verliezen in debieten zijn gering (<1%), zoals blijkt uit Tabel 7-3 over de NF-installatie.

Tabel 7-3 Debieten van de NF-installatie en massabalans

	Voeding [m <sup>3</sup> /uur]	Concentraat [m <sup>3</sup> /uur]	Permeaat [m <sup>3</sup> /uur]	verschil ( $\Delta_1$ )
22.03.2005	3,14	0,79	2,33	0,02
10.05.2005	3,23	0,80	2,40	0,03

De massabalansen voor NOM en NOM-fracties, zoals geanalyseerd met SEC-DOC, zijn weergegeven in Tabel 7-4 en Tabel 7-5. Het verschil  $\Delta_2$  geeft de hoeveelheid depositie op het membraan weer, per uur voor iedere NOM-fractie. Het percentage van de hoeveelheid depositie ten opzichte van de totale hoeveelheid in het voedingswater per NOM-fractie is weergegeven in de laatste kolom.

Tabel 7-4 Componentmassabalans over de NF-installatie (22 april 2005)

NOM-fractie	$\Delta_2$ (mg/(h.m <sup>2</sup> ))	standaardafwijking	% op membraan
DOC	4,0	$\pm 1,3$	$2,4 \pm 0,8$
Humics	1,8	$\pm 1,5$	$2,7 \pm 2,2$
Building blocks	2,5	$\pm 0,9$	$4,0 \pm 1,5$
Neutrals	1,1	$\pm 0,5$	$3,6 \pm 1,5$
Acids	0,1	$\pm 0,3$	$3,7 \pm 9,8$

Het eerste dat opvalt uit Tabel 7-4 en Tabel 7-5, is de grote standaardafwijking als gevolg van de berekeningsmethode. Depositie van circa 4 mg/m<sup>2</sup>h totale DOC is berekend uit de massabalans op 22 april. De meeste depositie is gevonden voor het totaal van humus en de hydrolysaten van humusfracties (building blocks). In mindere mate is depositie gevonden voor de neutrale en zure fracties. Vanwege de grote standaardafwijking dienen deze getallen voorzichtig te worden gehanteerd. Het percentage NOM en NOM-fractie dat neerslaat op het membraan ten opzichte van de voedingsamenstelling is gering en bedraagt 2-4%.

Tabel 7-5 Componentmassabalans over de NF-installatie (10 mei 2005)

NOM-fractie	$\Delta_2$ (mg/(h.m <sup>2</sup> ))	standaardafwijking	% op membraan
DOC	1,6	$\pm 0,5$	$1,0 \pm 0,8$
Humics	2,8	$\pm 2,2$	$4,1 \pm 2,2$
Building blocks	0,2	$\pm 0,1$	$0,3 \pm 1,5$
Neutrals	1,1	$\pm 0,4$	$3,6 \pm 1,6$
Acids	0,6	$\pm 1,6$	$18,3 \pm 8,4$

Depositie van DOC op basis van SEC-DOC metingen wordt vergeleken met de depositie van DOC op basis van DOC-analyses bepaald in het Kiwa-laboratorium. De resultaten van deze bepaling is vermeld in Tabel 7-6.

Tabel 7-6 Componentmassabalans over de NF-installatie (DOC-analyse Kiwa lab)

DOC	$\Delta_2$ (mg/(h.m <sup>2</sup> ))	standaardafwijking
25 jan	8,6	± 6,3
8 feb	17,9	± 5,9
11 mrt	9,7	± 7,8
22 mrt	24,9	± 9,3
6 apr	36,5	± 15,3
19 apr	7,4	± 19,4
3 mei	-18,5	± 6,9
17 mei	8,5	± 3,6
8 juni	-100	± 262

Depositie bepaald uit DOC-metingen bij Kiwa liggen in dezelfde orde van grootte als de depositie bepaald uit SEC-DOC metingen. Ook hier wordt een grote standaardafwijking gevonden als gevolg van de berekeningsmethode, zodat ook deze resultaten met voorzichtigheid dienen te worden gehanteerd. Uit Tabel 7-6 volgt een variatie in depositie in de tijd evenals een depletie van DOC op 3 mei en 8 juni. Als de depositie- en depletiewaarden worden gemiddeld volgt er een gemiddelde waarde van 0,6 mg/h/m<sup>2</sup> depletie van DOC.

De bepaalde depositiehoeveelheden zijn groot, echter komen overeen met hoeveelheden depositie gevonden in de literatuur voor DOC-depositie [Huber, 1998]. Verder wordt behalve depositie een DOC-depletie berekend van het membraanoppervlak.

#### 7.4 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

##### Conclusies

- Het grootste deel (80%) van NOM in het voedingswater (= rein water pb Spannenburg) naar de membraaninstallatie bestaat uit humus en hydrolysaten van humus, een kleiner deel zijn neutrale componenten.
- UF veroorzaakte geen NOM-verwijdering. Uit de resultaten, verkregen op basis van SEC-DOC metingen voor NOM-karakterisering, werd wel een verwijdering van bepaalde NOM-fracties gevonden. Deze resultaten zijn echter verkregen op basis van een enkele meting en dienen te worden herhaald.
- NOM en NOM-fracties werden voor een groot deel (99%) verwijderd met de NF-installatie in Spannenburg. Dit gold niet voor de polysacharide fractie die slechts voor 50% werd tegengehouden. Op basis van molecuulgewicht werd een hogere verwijdering van polysacharide verwacht. Mogelijk waren de gemeten concentraties te laag om de verwijdering goed vast te stellen met de gebruikte analysemethode.
- Er werd geen MTC-daling gevonden gedurende de onderzoeksperiode voor de NF-installatie. Vervuiling van de NF-membranen door NOM kon daarom niet worden aangetoond. Mogelijk zijn de NOM-fracties die vervuiling van NF-membranen kunnen veroorzaken reeds door de UF-membranen verwijderd.

- Massabalansberekeningen over de NF-installatie tonen een grote depositie aan van NOM op de membranen. Dit wordt echter gecompenseerd door een eveneens hoge depletie van NOM van het membraanoppervlak. Interpretatie van de resultaten is lastig vanwege grote standaardafwijking bij de berekening.

*Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Verwijdering van NOM en NOM-fracties bestuderen met behulp van UF-membranen.
- Verwijdering van NOM en NOM-fracties met NF membranen, met name het gedrag van polysachariden.
- De relatie onderzoeken tussen biologische stabiliteit en verschillende NOM-fracties.
- Aantonen of aanwezigheid van NOM, of bepaalde NOM-fracties, invloed heeft op vervuiling van membranen. Dit kan worden onderzocht door vervuiling van membranen op diverse locaties (andere watersamenstelling) met elkaar te vergelijken.



# 8 Verwijdering van organische microverontreinigingen door NF

## 8.1 Inleiding

Het doel van het onderzoek naar de verwijdering van organische microverontreinigingen door NF, is om de invloed van praktijkcondities (in het bijzonder de recovery) op de verwijdering (retentie) na te gaan en data te verzamelen voor het verifiëren van een recentelijk opgesteld NF-model voor organische stoffen. Bovendien is informatie over de verwijdering van organische zuren belangrijk omdat deze zuren de biologische stabiliteit van het geleverde permeaat kunnen beïnvloeden. Onderzoek naar de invloed van nanofiltratie op de verwijdering van organische microverontreinigingen is al op kleine schaal onderzocht [Beerendonk et al, 2005]. Bij het onderzoek, zoals in dit rapport beschreven, is vastgesteld of eerdere waarnemingen kloppen en de resultaten gebruikt kunnen worden om het NF-model te verifiëren.

## 8.2 Opzet onderzoek

De verwijdering van de microverontreinigingen is getest met behulp van doseerexperimenten. Hierbij werden oplossingen van organische microverontreinigingen gedoseerd aan de voedingswaterstroom van de NF-installatie. Het doseerpunt bevond zich voor de drukpompen, zodat in de drukpompen een goede menging tussen voedingswaterstroom en doseeroplossing werd gerealiseerd. Een doseerpomp met een doseerdebiet van 8 l/uur werd gebruikt. Er is aangenomen dat deze extra doseerstream geen invloed heeft op de werking van de proefinstallatie.

De doseerexperimenten vonden plaats tijdens twee verschillende periodes:

- Dosering bestrijdingsmiddelen van 15 tot 18 november 2004.
- Dosering organische zuren in mei-juni 2005.

Om de analysekosten te minimaliseren, is gekozen voor een mix van vier bestrijdingsmiddelen: diuron, metamitron, atrazine en simazine. De componenten in deze mix werden alle vier gelijktijdig geanalyseerd met behulp van LC/MS/MS (liquid chromatography/mass spectrometry). De analysegrens was 0,05 µg/l en om retenties van 99% te kunnen vaststellen was de gewenste concentratie in de voedingswaterstroom 6 µg/l.

De duur van het doseerexperiment bedroeg minimaal drie dagen omdat uit ervaring (Meerkerk, Hofman en Huiting, 1998) blijkt dat deze periode nodig is om adsorptie-effecten op de retentie te kunnen verwaarlozen. Enkele belangrijke moleculaire eigenschappen van de gebruikte bestrijdingsmiddelen zijn weergegeven in Tabel 8-1.



Tabel 8-1 Moleculaire eigenschappen van gebruikte bestrijdingsmiddelen

Verbinding	Mol. gewicht (g/mol)	Log K <sub>ow</sub> (-)	pK <sub>a</sub>
simazine	201,7	2,18	1,62 (zwakke base)
atrazine	215,7	2,61	1,7 (zwakke base)
metamitron	202,2	0,83	-
diuron	233,1	2,68	-

Bij de dosering van organische zuren is gekozen om afzonderlijke zuren in hogere concentraties (10 mg/l) te doseren. Daardoor kon analyse van de zuren gebeuren met NPOC-analyse (non purgeable organic carbon). Deze methodiek en gedoseerde componenten zijn eerder gebruikt bij onderzoek naar de invloed van NF op de verwijdering van nagroeibevorderende eigenschappen van NF-permeaat [Beerendonk et al, 2005].

Blanco voedings- en permeaatmonsters zijn vergeleken met monsters waaraan de organische zuren zijn gedoseerd, zodat de concentratie aan organische zuren kon worden bepaald. Door de hogere concentratie en de lagere hydrofobiciteit van de organische zuren is er een kleinere tendens tot adsorptie aan het membraan (Meerkerk e.a., 1998). Daardoor kan de duur van het doseerexperiment tot 2 uur beperkt worden.

De doseerexperimenten met organische zuren zijn uitgevoerd bij twee verschillende pH-waarden om het effect van lading op de retentie na te gaan. Ook hiernaar is reeds eerder onderzoek gedaan in BTO-kader [Beerendonk et al, 2005]. Bij de neutrale pH van het voedingswater (pH=7,2) zijn de organische zuren negatief geladen. Bij een lagere pH-waarde (onder de pK<sub>a</sub>-waarde van de organische zuren) zijn de organische zuren neutraal. Er is gekozen voor een tussenliggende pH-waarde (pH 5) om de membranen niet te beïnvloeden. Bij deze pH zijn de zuren nog gedeeltelijk gedissocieerd. De pH-verlaging is gerealiseerd door dosering van H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> aan de voedingswaterstroom en regeling van de doseerpomp met behulp van een pH-electrode. In Tabel 8-2 zijn de belangrijkste moleculaire eigenschappen van organische zuren genoemd. Deze eigenschappen beïnvloeden de filtratie-eigenschappen.

Tabel 8-2 Moleculaire eigenschappen van gebruikte organische zuren

Verbinding	MW (g/mol)	Log K <sub>ow</sub> (-)	pK <sub>a</sub>
mierenzuur	46,0	-0,54	3,75
azijnzuur	60,1	-0,17	4,76
glycolzuur	76,1	-1,11	3,83
melkzuur	90,1	-0,72	3,86
malonzuur	104,1	-0,81	2,85
benzoëzuur	122,1	1,87	4,19
phenylazijnzuur	136,2	1,49	4,28

### 8.3 NF-retentie model

Het model is gebaseerd op een membraanelement als black-box, met een gemiddelde flow en druk. Het model probeert vanuit retenties over één membraanelement de retentie van een full-scale installatie te voorspellen.

De transportvergelijkingen zijn gebaseerd op een diffusie-convectie gecontroleerd systeem. Een model op basis van uitsluitend diffusie geeft goede resultaten voor omgekeerde osmose, maar is niet nauwkeurig genoeg voor NF (Deen, 1987). De gebruikte transportvergelijkingen zijn:

$$\text{Permeaatflux: } J_w = \frac{Q_p}{A} = K_w (\Delta P - \Delta \Pi) \quad (6.1)$$

$$\text{Zoutflux: } J_s = \frac{Q_p c_p}{A} = K_s \Delta C + K_c c_b J_w \quad (6.2)$$

$J_w$  = permeaatflux ( $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )

$Q_p$  = permeaatflow ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\Delta P$  = transmembraandruk (bar)

$\Delta \pi$  = osmotisch drukverschil (bar)

$A$  = membraanoppervlak ( $\text{m}^2$ )

$J_s$  = flux van opgeloste stof ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ )

$c_p$  = permeaatconcentratie ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

$c_b$  = bulkconcentratie ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

$\Delta c$  = concentratieverschil over het membraan ( $\text{g}/\text{m}^3$ )

De transportvergelijking voor de flux van opgeloste stof bevat dus een diffusieve term ( $K_s \Delta c$ ) en een convectieve term ( $K_c c_b J_w$ ). In combinatie met een massabalans over een volledig membraanelement resulteren de transportvergelijkingen in volgende vergelijking voor de retentie voor een volledig membraanelement:

$$(6.3) \quad R_i = \frac{1 - K_{c,i}}{1 + \frac{K_{s,i}}{K_{w,i}(\Delta P_i - \Delta \pi_i)} \left( \frac{2 - S_i}{2(1 - S_i)} \right) + K_{c,i} \left( \frac{S_i}{2(1 - S_i)} \right)_i}$$

Hierbij is de retentie geformuleerd als  $R_i = 1 - (c_{p,i}/c_{f,i})$  en de recovery  $S$  als  $S = Q_p/Q_f$ .

Het model geeft de retentie over een enkel membraan weer als functie van drie onbekende parameters:  $K_w$  (de permeabiliteit van het membraan) en  $K_s$  en  $K_c$  (hindrance factoren voor respectievelijk de diffusie- en convectieterm).

Combinatie van vergelijking (6.3) en massabalansen over verschillende trappen van de installatie, resulteert in de retentie over een volledige full-scale installatie. Deze retentie is ook functie van dezelfde drie onbekende parameters  $K_w$ ,  $K_s$  en  $K_c$ :

$$R_{\text{tot}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \left( K_{w,i} A_i (\Delta P_i - \Delta \pi_i) Z_i \prod_{j=0}^{i-1} \frac{1 - S_j Z_j}{1 - S_j} \right)}{\sum_{i=1}^n K_{w,i} A_i (\Delta P_i - \Delta \pi_i)} \quad (6.4)$$

In (6.4) duiden de subscripten  $i$  en  $j$  de elementen in een meertraps installatie aan en geldt  $Z_i = 1 - R_i$ .

De bepaling van de parameters  $K_w$ ,  $K_s$  en  $K_c$  vindt plaats op een testbank met één membraanelement. Door bij verschillende fluxen de permeabiliteit te meten, kan de parameter  $K_w$  berekend worden.  $K_s$  en  $K_c$  kunnen bepaald worden uit vergelijking (6.2), door bij verschillende fluxen de retentie te meten en een stelsel

van 2 vergelijkingen in 2 onbekenden op te lossen. Meer informatie over het retentiemodel is elders te vinden [Cornelissen et al., 2005].

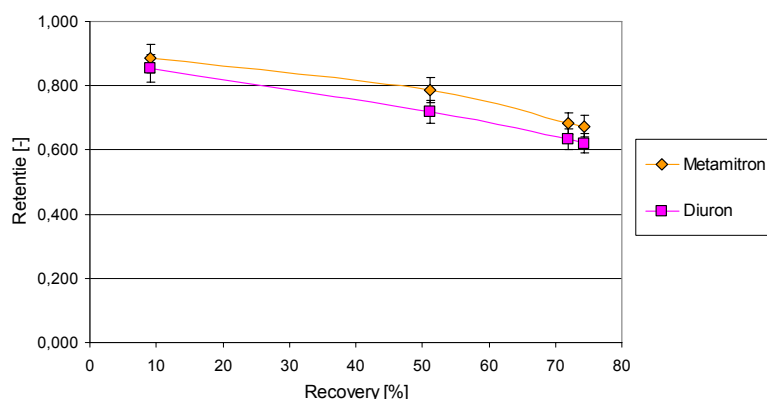
#### 8.4 Resultaten dosering van bestrijdingsmiddelen (november 2004)

Onderstaande figuur geeft de resultaten van de doseerexperimenten weer. Het permeaat is op verschillende plaatsen bemonsterd:

- na het eerste membraanelement van de eerste trap (ongeveer 10% recovery),
- na de eerste trap (ongeveer 50% recovery),
- na het voorlaatste element van de tweede trap (ongeveer 72% recovery),
- na de tweede trap (ongeveer 75% recovery).

De weergegeven retentie in Figuur 8-1 is de retentie van het gezamenlijke permeaat.

Uit Figuur 8-1 blijkt dat de retenties voor zowel metamitron als diuron afnemen als functie van de recovery. Dit is grotendeels het gevolg van het concentreren in de laatste elementen van de installatie. De echte retentie (retentie over de membraanelementen) neemt niet af, maar door de hogere concentratie neemt de schijnbare retentie (retentie ten opzichte van de voeding van de hele installatie) wel af.



Figuur 8-1 Retentie van bestrijdingsmiddelen als functie van de recovery

Metamitron en diuron werden dus voor circa 65% verwijderd door NF bij een gebruikte recovery van 75%. De concentratie in drinkwater mag maximaal 0,1  $\mu\text{g}/\text{l}$  bedragen, dus bij een concentratie van circa 0,3  $\mu\text{g}/\text{l}$  in het voedingswater, kan NF metamitron en diuron nog verwijderen tot onder de norm. Bij hogere concentraties in het voedingswater, voldoet het permeaat van de NF-installatie niet meer aan de norm van 0,1  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

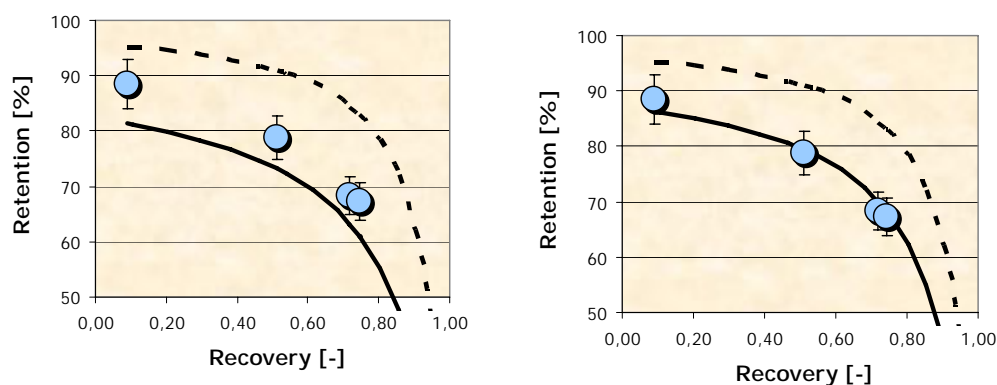
De hierboven genoemde verwijderingspercentages zijn relatief laag. Eerder onderzoek in Vechterweerd [Beerendonk et al, 1997] met voorgezuiverd (oever)grondwater, gaf aan dat NF-membranen metamitron en diuron voor respectievelijk 87% en 83% verwijderden bij een recovery van 80%. Deze resultaten zijn verkregen met Hydranautics PVD-1 membranen. Onderzoek met RO-membranen [Beerendonk et al, 2000b] gaf aan dat RO-membranen metamitron voor circa 95% verwijderen. De hogere retentie voor RO-membranen was te verwachten vanwege de lagere MWCO; de hogere retentie van de

Hydranautics-membranen kan verklaard worden doordat NF-membranen sterk in eigenschappen en retenties kunnen variëren [Beerendonk et al, 1996]. De Trisep TS-80 membranen hebben blijkbaar een lagere retentie voor metamitron en diuron dan de Hydranautics PVD-1 membranen.

Uit Figuur 8-1 blijkt dat metamitron bij elke recovery beter wordt verwijderd dan diuron, ondanks het iets lagere moleculair gewicht. De oorzaak hiervoor is waarschijnlijk de hogere hydrofobiciteit van diuron, waardoor diuron meer adsorbeert en gemakkelijker door het membraan transporteert. Bovendien heeft diuron een groot dipoolmoment, waardoor het in de richting van het membraan aangetrokken wordt en zich richt volgens de richting van de membraanporiën, waardoor het gemakkelijker permeëert (Van der Bruggen. et al. (1999)).

Atrazine en simazine zijn in Figuur 8-1 niet weergegeven omdat de aangemaakte doseeroplossing een te lage concentratie atrazine en simazine bevatte, waardoor de permeaatconcentraties van atrazine en simazine beneden de detectielimiet lagen (concentratie in het water voor NF was  $<1 \mu\text{g/l}$ ).

Op een testbank bij Kiwa Water Research is vervolgens bij verschillende fluxen de retentie van atrazine, simazine, metamitron en diuron bepaald. De resultaten van deze testbankexperimenten zijn vermeld in bijlage XIII. Bijlage XIII vermeldt ook de berekende waarden voor de parameters  $K_s$  en  $K_c$ . Deze parameters werden berekend door het oplossen van het stelsel van vergelijkingen (6.2) bij verschillende fluxen.



Figuur 8-2 Modelberekeningen voor de retentie van het bestrijdingsmiddel metamitron. Berekende (rechts:  $K_c=0,14$ ;  $K_s=5,8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ ) en gefitte curves (links:  $K_c=0,09$ ;  $K_s=5,8 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ )

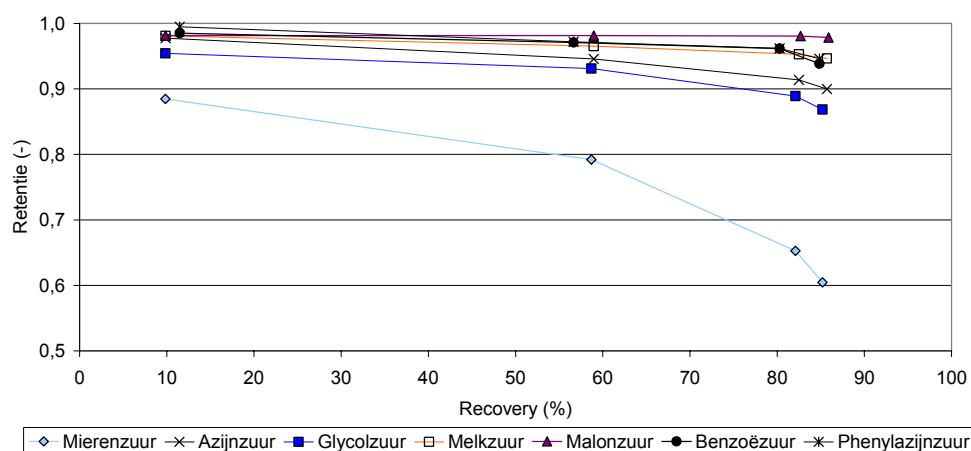
In Figuur 8-2 zijn de berekende retentie (met de waarden van  $K_s$  en  $K_c$  uit de testbankexperimenten) en de gefitte retentie voor het NF-model weergegeven. De onderbroken lijn geeft de waarden voor een model enkel gebaseerd op diffusie, terwijl de niet-onderbroken lijn het diffusie-convectie model voorstelt.

Uit Figuur 8-2 kan worden afgeleid dat het model met de berekende waarden voor  $K_s$  en  $K_c$  een duidelijke onderschatting van de retentie geeft. Dit is het gevolg van de onnauwkeurigheid bij de bepaling van de parameters  $K_s$  en  $K_c$  op de testbank. Deze onnauwkeurigheid is inherent aan het beperkte drukbereik

van de testbank installatie (omwille van operationele beperkingen). Hierdoor liggen de verschillende fluxen waarbij de retentie bepaald wordt te dicht bij elkaar, waardoor grote afrondingsfouten ontstaan bij de berekening van de parameters  $K_s$  en  $K_c$ . Het is aan te bevelen om alternatieve methoden te ontwerpen voor de bepaling van de parameters op de testbank.

## 8.5 Resultaten dosering organische zuren

Voor de dosering van de organische zuren is de recovery verhoogd naar 87%. Dezelfde punten als bij de bestrijdingsmiddelendosering zijn bemonsterd voor het opstellen van de retentie-recovery grafiek. In Figuur 8-3 zijn de resultaten weergegeven van de dosering van de organische zuren bij neutrale pH (circa 7,8). Voor de overzichtelijkheid van de grafiek zijn de foutbalken boven en onder de bepaalde retentiepunten weggelaten.



Figuur 8-3 Retenties van organische zuren als functie van de recovery

Uit Figuur 8-3 blijkt duidelijk dezelfde karakteristieke daling van de retentie met stijgende recovery. De daling in retentie is zelfs meer uitgesproken door de hogere recovery van de installatie.

De retentie van mierenzuur is het laagst, gevolgd door de retenties van glycolzuur en azijnzuur. Dit is te verklaren door het moleculaire gewicht van de zuren: mierenzuur heeft van alle gebruikte organische zuren het laagste moleculaire gewicht, gevolgd door azijnzuur en glycolzuur.

Opvallend zijn de retenties van benzoëzuur en phenylazijnzuur in relatie tot de retentie van malonzuur. Ondanks hun hogere moleculaire gewicht hebben zowel benzoë- als phenylazijnzuur een lagere retentie dan malonzuur. Mogelijk wordt dit verklaard doordat benzoëzuur en phenylazijnzuur tijdens run 4 zijn gedoseerd en de andere zuren, waaronder malonzuur, tijdens run 3. Na run 3 zijn enkele membraanelementen vervangen, als gevolg van de opgetreden scaling (zie hoofdstuk 4), door elementen met een lagere retentie (volgens opgave van de leverancier).

De resultaten komen overeen met eerdere resultaten op testbankschaal [Beerendonk et al, 2005]. Ook daar is aangetoond dat de retentie afhankelijk is van het molecuulgewicht. Tevens is ook toen waargenomen dat benzoëzuur,

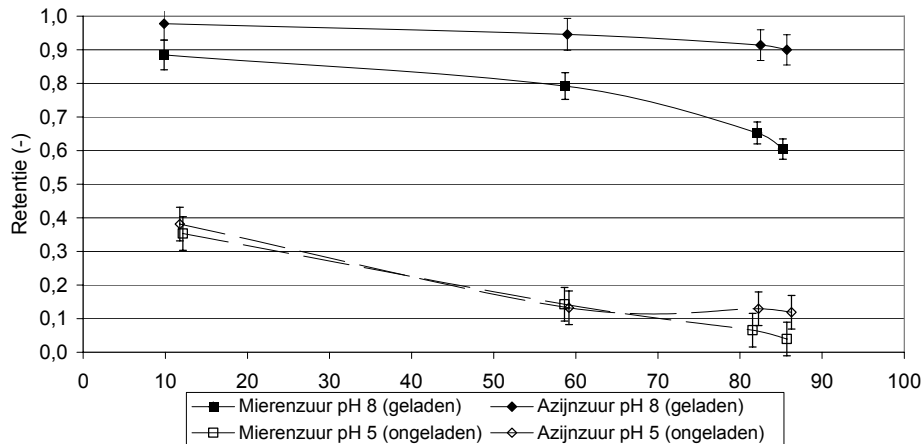
ondanks een hoger molecuulgewicht, slechter werd verwijderd. Een verklaring is dat de moleculaire grootte van benzoëzuur en phenylazijnzuur kleiner is dan die van malonzuur, door de aanwezigheid van de benzeenring in de structuur. Bovendien bevat malonzuur meerdere zuurgroepen, en kan het dus meervoudige negatieve ladingen dragen, in tegenstelling tot benzoë- en phenylazijnzuur.

De biologische stabiliteit van water wordt (gedeeltelijk) bepaald door de aanwezigheid van kleine organische componenten zoals bijvoorbeeld kleine organische zuren. Met betrekking tot de biologische stabiliteit van het permeaat kan vermeld worden dat zelfs bij 87% recovery, voor alle organische zuren, behalve mierenzuur, de retentie 86% of hoger is. Mierenzuur wordt bij dergelijke hoge recovery nog voor 60% verwijderd. Dit betekent dat NF een zeer gunstige invloed kan vertonen op de biologische stabiliteit van het geproduceerde water, althans bij een neutrale pH van het water. Deze bevindingen komen overeen met de bevindingen in hoofdstuk 6.

De invloed van lading op de retentie is ook verder onderzocht door organische zuren te doseren bij een verlaagde pH-waarde (pH 5). Figuur 8-4 geeft de resultaten weer van de dosering van de volledig geladen (bij pH 8) en de deels ongeladen (bij pH 5) organische zuren mierenzuur en azijnzuur.

Dezelfde karakteristieke daling van de retentie als functie van de recovery kan worden vastgesteld voor de ongeladen zuren, maar de absolute waarden van de retenties liggen beduiden lager. Deze lagere retentie bij een pH van 5 komt overeen met de resultaten uit eerder onderzoek [Beerendonk et al, 2005] en duidt op het effect van elektrostatische afstoting tussen het negatieve membraanoppervlak en negatief geladen organische zuren. Het effect van de elektrostatische afstoting draagt duidelijk bij tot een verhoging van de retentie van de organische zuren. Het verschil in absolute waarde tussen de retenties van ongeladen en geladen organische zuren is mede te verklaren door de hoge negatieve oppervlaktelading van het Trisep-membraan.

Dat lading van componenten en membraanoppervlakte een grote rol speelt in de retentie, blijkt tevens uit het feit dat metamitron en diuron voor 65% worden verwijderd en de meeste organische zuren voor meer dan 90% en dat terwijl het molecuulgewicht van metamitron en diuron (respectievelijk 202 en 233 g/mol) veel groter is dan het molecuulgewicht van de organische zuren (tussen 46 en 136 g/mol).



Figuur 8-4 Retentie als functie van recovery voor geladen en ongeladen organische zuren

Hoewel bij hoge pH het verschil in retentie tussen azijnzuur en mierenzuur behoorlijk groot is, valt dit verschil bij lage pH minder op.

De gebruikte pH-waarde van 5 ligt immers dicht bij de  $pK_a$ -waarde van azijnzuur (4,76), terwijl de  $pK_a$ -waarde van mierenzuur een stuk lager ligt (3,75). Er kan dus aangenomen worden dat mierenzuur nog iets meer gedissocieerd is in ionen dan azijnzuur. Daardoor zal de retentie van mierenzuur ook iets hoger zijn dan de retentie van volledig ongeladen mierenzuur.

De totale verwijdering van organische zuren bij lage pH is duidelijk onvoldoende om de biologische stabiliteit van het geproduceerde water in grote mate te verbeteren. Hiermee moet rekening gehouden worden indien men NF wil inpassen in een bestaande drinkwaterproductie-eenheid.

## 8.6 Conclusies en aanbevelingen voor nader onderzoek

### Conclusies

Een aantal conclusies van het onderzoek, zijn een bevestiging van conclusies die na eerder onderzoek zijn getrokken:

- Bij toenemende recovery, neemt de retentie van opgeloste stoffen af.
- Verschillende eigenschappen (molecuulgewicht, molecuulstructuur, hydrofobiciteit, lading, dipoolmoment, etc.) van opgeloste componenten hebben invloed op het verwijderingsrendement door NF.
- De verwijdering van kleine organische zuren is sterk afhankelijk van de pH. Een lagere pH resulteert in een lagere verwijdering.

Een aantal aanvullende conclusies is:

- Metamitron en diuron worden voor circa 65% verwijderd door NF bij een recovery van 75%. Bij een concentratie van 0,3  $\mu\text{g/l}$  in het te zuiveren water, kan nog worden voldaan aan de norm van 0,1  $\mu\text{g/l}$ .
- Laag moleculaire, geladen, stoffen (molecuulgewicht van 60 tot 140) worden voor circa 90% verwijderd bij neutrale pH en een recovery van 87%.

- Het huidige model voor voorspelling van verwijdering van opgeloste componenten, geeft voorspellingen die nog te veel van de werkelijkheid afwijken.

*Aanbevelingen*

- Het model voor het voorspellen van de verwijdering van opgeloste componenten optimaliseren.
- Het voorspellingsmodel is onafhankelijk van stoffeigenschappen van de opgeloste stoffen. Aanbevolen wordt om de stoffeigenschappen te gebruiken bij voorspelling van de verwijdering door NF (lopend onderzoek in BTO).





## 9 Discussie

Doel van het onderzoek was om te bepalen in welke mate de aanvullende waterbehandelingen UF en NF kunnen bijdragen aan de bereiding van onberispelijk drinkwater uit anoxisch grondwater. De locatiekeuze was bepaald op basis van informatie over optredende waterkwaliteitsproblemen en de daarmee samenhangende plannen van het waterbedrijf om de waterbehandeling aan te passen. De resultaten van het onderzoek zijn daarom van betekenis voor de aanpassing van de waterbehandeling bij pb Spannenburg en in meer algemene zin voor discussies over de toepassing van UF en NF bij het bereiden van onberispelijk drinkwater.

### 9.1 Workshop

De resultaten van het onderzoek en de betekenis voor de inrichting van de waterbehandeling bij pb Spannenburg zijn besproken tijdens een workshop op 9 december 2005. De belangrijkste resultaten en de conclusies van de workshop zijn hieronder beschreven.

#### 9.1.1 Vitens Productiebedrijf Spannenburg

Vitens produceert op pb Spannenburg circa 25 miljoen m<sup>3</sup> drinkwater per jaar en voorziet hiermee de helft van de provincie Friesland van drinkwater. Pb Spannenburg, het grootste grondwaterproductiebedrijf van Nederland, is dus van groot belang voor Vitens. Vitens is echter niet tevreden over de kwaliteit van het geproduceerde drinkwater, want het voldoet niet aan de streefwaarden van het waterbedrijf voor de kleur en de grenswaarde van het organische stof gehalte (DOC), AOC en de biofilmvormingssnelheid (BVS). De matige waterkwaliteit leidt tot groei van bacteriën (met name *Aeromonas*) en van hogere organismen (met name *Asellus*, en ook slakjes) in het leidingnet, waardoor de leidingen relatief vaak moeten worden schoongemaakt. Tevens leidt de groei van *Legionella* in leidingwaterinstallaties tot problemen. Ook de klanten zijn niet altijd tevreden over de waterkwaliteit. Dit blijkt uit klachten over bruinwater, de kleur van het drinkwater en druk in situaties waarbij de watermeter is verstopt door ophoping van waterpissebedden op het zeeffe. De problemen met de waterkwaliteit hangen samen met het functioneren van de waterbehandeling. De voorfilters worden belast met wisselende gehalten aan methaan, de nitrificatie in de voorfilters is onvolledig (ondanks de aanwezigheid van een restgehalte aan zuurstof in het filtraat) en de verwijdering van ijzer en mangaan verloopt niet optimaal. Het filtermateriaal groeit sterk aan waardoor na 5 à 7 jaar vervanging nodig is.

#### 9.1.2 Betekenis onderzoeksresultaten voor pb Spannenburg

Pb Spannenburg was vanwege bovenstaande aanleidingen een voor de hand liggende plaats om onderzoek te doen naar de mogelijkheden van kwaliteitsverbetering in het kader van Q21. Toepassing van UF op het reinwater leidde tot een verlaging van het aantal deeltjes, verlaging van het ijzergehalte en een geringe afname van de biofilmvormingssnelheid. Het DOC-gehalte en de kleur van het water werden echter niet verlaagd door UF. NF veroorzaakte wel een sterke reductie van de kleur en het DOC-gehalte en tevens werd de

biofilmvormingssnelheid tot een zeer laag niveau teruggebracht. Uit onderzoek met een boilerinstallatie die werd gevoed met het reinwater bleek dat een hoog aantal Legionellabacteriën aanwezig was in de biofilm op de leidingen van RVS. Na NF trad veel minder biofilmvorming op in de leidingen en was ook het aantal Legionellabacteriën in de biofilm veel (meer dan evenredig) lager dan in de biofilm in de leidingen gevoed met reinwater.

Bij de gekozen lage membraanbelasting en het gehanteerde reinigingsprogramma werd geen vervuiling van de UF-membranen waargenomen. De NF-membranen vervuilden echter wel; binnen 4 maanden trad biofouling op in de elementen aan de voedingszijde van de installatie, wat tevens een bevestiging vormt van nagroeiproblemen die Vitens in het distributienet ondervindt.

Het onderzoek naar de deeltjesverwijdering ter verbetering van waterkwaliteit in het distributienet en verlaging van de spuifrequentie is van start gegaan. Hierbij worden twee vergelijkbare wijken in Franeker voorzien van enerzijds reinwater en anderzijds reinwater na passage door UF. Voordat de proef is gestart zijn de distributieleidingen in de twee wijken op een vergelijkbare wijze schoongemaakt en ontdaan van sediment. De resultaten worden verwacht in de tweede helft van 2006.

#### *Aanpak door Vitens*

Vitens deelt de Q21-ambitie om drinkwater te leveren van onberispelijke kwaliteit. De huidige problemen in het distributienet en bij een aantal klanten moeten daarom worden opgelost. Echter een kwaliteitsverbetering dient gerealiseerd te worden tegen aanvaardbare kosten. Vitens kiest daarom niet voor uitbreiding van de huidige zuivering met membraanfiltratie omdat de kosten van deze aanpak te hoog zijn. Bovendien zou een aanzienlijk verlies in de vorm van membraanconcentraat optreden. De resultaten van Q21 vormen echter wel een stimulans om de zuivering te verbeteren. De aanpak die als meest realistisch wordt gezien omvat het uitbreiden van de zuivering met vacuümontgassing en ionenwisseling en optimalisatie van de snelfilters.

Uit onderzoek uitgevoerd door Vitens komt naar voren dat de kleur en het DOC-gehalte van het drinkwater kunnen worden verlaagd met behulp van ionenwisseling. Door ionenwisseling toe te passen na de tweede filtratiestap kan ook het aantal deeltjes en/of de troebelheid van het water worden verlaagd. Ionenwisseling veroorzaakte ook enige afname van de biofilmvormingssnelheid. De ammoniumverwijdering kan vermoedelijk worden verbeterd door optimalisatie van de voorfilters, waardoor mogelijk ook de biofilmvormingssnelheid van het drinkwater lager zal worden. De belasting van het leidingnet met deeltjes kan waarschijnlijk worden verlaagd door het optimaliseren van de nafilts. Proef(installatie)onderzoek moet uitwijzen of in zo ja in hoeverre deze optimalisatie mogelijk is.

Naar aanleiding van de genoemde problemen met de waterkwaliteit heeft Vitens inmiddels besloten om de zuivering uit te breiden met een vacuümontgassing om de methaanbelasting van het voorfilter te minimaliseren en met ionenwisseling om de kleur te verlagen. Om de biologische stabiliteit nog verder

te verbeteren wordt daarnaast de voorfiltratie en nafiltratie geoptimaliseerd, respectievelijk gericht op een betere ammoniumverwijdering en een vermindering van het aantal deeltjes in het filtraat.

#### *Discussie tijdens workshop*

Tijdens de discussie werd nog eens herhaald dat de Q21-aanpak een zeer hoog ambitieniveau heeft en aangeeft wat maximaal haalbaar is. Met de realisatie van dergelijke doelstellingen zijn echter hoge investeringskosten gemoeid. De uitdaging voor Vitens is om met beperktere financiële middelen te streven naar het realiseren van 80% van de Q21-ambitie. Bovendien werd opgemerkt dat wanneer Vitens NF zou toepassen dit bij voorkeur op het anaërobe water worden gedaan om de problemen met fouling geheel of gedeeltelijk te voorkomen.

Uit de resultaten van het BTO-project Q21-water bleek dat UF-behandeling van het reinwater een verlaging van de biofilmvormingssnelheid veroorzaakte. Tevens bleek dat in het water na UF na toevoeging van een gemakkelijk afbreekbare verbinding slechts in zeer beperkt mate bacteriegroei optrad. Dit verschijnsel kan worden verklaard door P-limitatie als gevolg van de verwijdering van deeltjes met gebonden fosfaat. Andere waarnemingen (onvolledige nitrificatie in de voorfilters) en eerdere waarnemingen (toename biofilmvormingssnelheid door verblijf van nafiltraat in de kelders en tanks) kunnen eveneens worden verklaard op basis van het optreden van P-limitatie bij de zuivering. Nader onderzoek naar de mogelijkheid van P-limitatie is gewenst omdat dosering van fosfaat een eenvoudige oplossing zou kunnen zijn voor het verbeteren van de nitrificatie in de snelfilters. Deze aanpak, in combinatie met de reeds voorziene activiteiten betreffende de optimalisatie van de voorfilters en de toepassing van ionenwisseling voor de verwijdering van organische stof, kan leiden tot de gewenste verbetering van de kwaliteit van het reinwater.

#### *Vervolg*

Vitens wil het eigen onderzoek naar het optimaliseren van de bestaande zuivering graag combineren met onderzoek in BTO-verband gericht op het vergroten van de kennis van de processen, o.a. naar aanleiding van de geopperde hypothese van de P-limitatie. Daarnaast zal het onderzoek naar de invloed van UF op de waterkwaliteit in het distributiesysteem (in Franeker) bouwstenen leveren voor een business case waarbij bepaald wordt hoeveel exploitatiekosten bij de distributie (voornamelijk kosten van spuien) bespaard kunnen worden als gevolg van een kwaliteitsverbetering van het reinwater van productiebedrijf Spannenburg. Deze business case zal worden gebruikt om de geplande investeringen te evalueren en waar nodig aanvullende maatregelen te nemen.

## 9.2 Betekenis voor de bedrijfstak

De resultaten verkregen met het onderzoek dat met UF en NF is uitgevoerd bij pb Spannenburg hebben ook betekenis voor (de aanpak bij) andere waterbedrijven bij de bereiding van Q21-water.

### 9.2.1 Ultrafiltratie

Het onderzoek bevestigde eerdere waarnemingen dat UF een effectieve barrière vormt tegen deeltjes, inclusief micro-organismen, maar vrijwel geen opgeloste organische (zowel AOC als NOM) en opgeloste anorganische verbindingen verwijdert. De betekenis van de toepassing van UF voor een vergaande reductie van de belasting van het leidingnet met deeltjes is echter nog niet duidelijk. Onderzoek naar dit effect is nog in uitvoering. Bij de beoordeling van de effecten zal een afweging moeten worden gemaakt tussen de kosten van toepassing van UF en de te bereiken kwaliteitsvoordelen. De kosten van UF toegepast op reinwater kunnen waarschijnlijk worden gereduceerd door toepassing van relatief hoge flux-waarden. Een lage fluxwaarde, zoals onderzocht bij pb Spannenburg, resulteerde niet in vervuiling van de UF-membranen. De maximaal haalbare flux bij UF wordt bepaald door de waterkwaliteit en verschilt per locatie. De mogelijkheden om de gewenste kwaliteitsverbeteringen te realiseren met optimalisatie van de klassieke processen vormen eveneens een onderwerp van onderzoek (project Klassieke Zuivering). Van belang hierbij is dat duidelijke doelen zijn gedefinieerd voor de te realiseren waterkwaliteit (Q21-water project Kwaliteitsdoelen).

Een opmerkelijk effect van UF is de reductie van het gehalte opneembaar P. P-limitatie zou de groei van micro-organismen in het leidingnet kunnen vertragen of beperken, maar onduidelijk is in welke mate dit van belang is voor de praktijk. P-limitatie door toepassing van UF voor NF (of RO) zou ook de biofouling kunnen vertragen. Ook dit aspect is nog onvoldoende duidelijk, en vergt nader onderzoek, waarbij aandacht dient te worden besteed aan de invloed van AS-dosering op het gehalte opneembaar P.

### 9.2.2 Nanofiltratie

NF veroorzaakt eveneens een vergaande verwijdering van deeltjes en duidelijke reducties van de concentraties van opgeloste anorganische en organische stoffen (zowel AOC en NOM). NF kan ook een bijdrage leveren aan de eliminatie van milieuvreemde stoffen. Uit de maximale retenties van circa 60% voor enkele bestrijdingsmiddelen kan echter worden afgeleid dat het effect van NF onvoldoende is voor het bereiden van onberispelijk drinkwater bij toenemende concentraties van milieuvreemde stoffen in de bron. Aanvullende en/of andere behandelingsprocessen zijn dan nodig. In (anoxisch) grondwater zijn milieuvreemde stoffen doorgaans echter niet aanwezig en NF kan dan worden toegepast om sulfaat, kleur en hardheid te verwijderen. Goedkopere zuiveringsalternatieven, zoals onder andere IEX, moeten hierbij worden afgewogen.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat NF een sterke verbetering veroorzaakte van de biologische stabiliteit van het reine water. Het AOC-gehalte

werd met circa 90% verlaagd. De concentratie van de biofilm in de boilerinstallatie gevoed met water na UF+NF was eveneens circa 90% lager dan de concentratie van de biofilm in de leidingen gevoed met verwarmd reinwater. Deze reductie van de biofilmvorming ging bovendien gepaard met circa 99% reductie van de concentratie van *Legionella*-bacteriën in de biofilm. Opvallend was dat groei van *Legionella* nog mogelijk was bij de lage biofilmconcentraties (circa 100 pg ATP/cm<sup>2</sup>) in de leidingen gevoed met water behandeld met UF+NF. Bij eerder onderzoek was reeds gebleken dat *Legionella* zich kan vermeerderen bij biofilmconcentraties van 300 a 500 pg ATP/cm<sup>2</sup> [van der Kooij et al. 2003]. Nader onderzoek is nodig om te bepalen bij welke biofilmconcentraties *Legionella* zich kan handhaven wanneer een evenwichtssituatie m.b.t. biofilmvorming is bereikt. Voor de uitvoering van dit onderzoek is inmiddels een verbeterde boilerinstallatie ontwikkeld, de zogenoemde boilerbiofilmmonitor (BBM). Onderzoek met de BBM-installatie moet tevens antwoord geven op de vraag welk niveau van biofilmvorming moet worden nagestreefd om groei van *Legionella* afdoende te beperken.

Een nadeel van NF bij toepassing op zuurstofhoudend water is dat een vergaande voorzuivering nodig is om membraanvervuiling te beperken. Membraanvervuiling op drinkwater van pb Spannenburg werd voornamelijk veroorzaakt door biofouling en vervuiling door NOM is niet aangetoond, ondanks de hoge concentratie van NOM in het water. Voorkómen van biofouling vereist dus een voorafgaande waterbehandeling die leidt tot hoge mate van biologische stabiliteit. NF veroorzaakt vervolgens een verdere verbetering, maar dit effect moet afgewogen tegen de extra kosten. Bij toepassing van NF op anaëroob grondwater treden de problemen met biofouling niet op, maar ook hier wordt de afweging gemaakt tussen effecten en kosten van deze techniek.

Het effect dat met een vergaande waterbehandeling, zoals NF, kan worden bereikt op de biofilmvormingspotentie wordt ook beïnvloed door het verblijf van het water in het leidingnet. De mogelijkheid bestaat dat passage van het water door bestaande leidingen gepaard gaat met een vermindering van de kwaliteit, waardoor het effect van de behandeling gedeeltelijk of geheel teniet wordt gedaan. Nader onderzoek naar de invloed van het verblijf in het leidingnet op de biofilmvorming en groei van *Legionella* in de BBM-installatie kan hierover uitsluitsel geven.

### 9.2.3 Betekenis P-limitatie

De aanwijzingen dat een beperkte beschikbaarheid van opneembare fosforverbindingen van invloed kan zijn op het functioneren van de biologische processen bij de waterbehandeling bij pb Spannenburg zijn ook van betekenis voor andere productielocaties. De 'klassieke' biologische processen nemen (nog) een belangrijke plaats in bij de drinkwaterbereiding en nader onderzoek naar het mogelijke optreden van P-limitatie bij deze processen is daarom nodig. Dergelijk onderzoek dient ook de rol van geavanceerde waterbehandelingsprocessen te omvatten, omdat deze processen van invloed kunnen zijn, cq. beïnvloed worden door P-limitatie.



## 10 Conclusies en aanbevelingen

### *Waterkwaliteitsverbetering*

- Toepassing van UF bij pb Spannenburg veroorzaakte een verbetering van de waterkwaliteit door de verwijdering van deeltjes, ijzer en een geringe afname van de biofilmvormingssnelheid. UF had vrijwel geen effect op de concentraties van opgeloste anorganische en organische stoffen (NOM, AOC);
- UF veroorzaakte een verlaging van het gehalte beschikbaar fosfor (P);
- NF, na UF, verbeterde de waterkwaliteit door verwijdering van opgeloste anorganische componenten, hardheid en organische stoffen (AOC, NOM, kleur). De mate van biofilmvorming werd met 90% gereduceerd en deze verlaging ging gepaard met circa 99% reductie van de groei van *Legionella* in de biofilm;
- Ook na UF plus NF op reinwater van pb Spannenburg trad groei op van *Legionella* in de boilerinstallatie, ondanks de lage biofilmconcentratie;
- Niet alle milieuvreemde verbindingen worden voldoende verwijderd door een combinatie van UF en NF, waardoor aanvullende of andere zuiveringsprocessen nodig zijn.

### *Bedrijfsvoering*

- Vervuiling van UF op drinkwater Spannenburg is niet waargenomen bij een relatief lage flux met dagelijkse geautomatiseerde reiniging.
- Toepassing van NF op drinkwater Spannenburg met voorafgaande UF, leidt binnen 4 maanden tot biofouling.
- NF, zonder voorafgaande UF, op drinkwater Spannenburg leidt tot meer biofouling en meer accumulatie van anorganische stof.

### *Bedrijfstak*

- UF is een effectieve barrière tegen deeltjes en micro-organismen, maar geen barrière tegen opgeloste organische en anorganische verbindingen;
- Verwijdering van P-verbindingen door UF kunnen een rol spelen bij het beperken van biofouling van NF/RO membranen;
- UF is mogelijk effectief om de spui frequentie in het distributienet te verlagen, oftewel deeltjes- en biologische vervuiling van het distributienet te voorkomen, maar onderzoek in deze is nog niet afgerond.

### *Aanbevelingen voor nader onderzoek*

- Nagaan of toepassing van UF een afdoende reductie van de belasting van het leidingnet met deeltjes en biologische activiteit kan realiseren (BTO Q21-water Distributie);
- Nagaan in welke mate P-limitatie een rol speelt bij biologische processen in filterbedden, bij biofouling van membranen en in distributiesystemen;
- Aantonen of aanwezigheid van NOM, of van bepaalde NOM-fracties, invloed heeft op vervuiling van membranen.
- Optimalisatie van het model dat NF/RO-retenties van organische microverontreinigingen voorspelt.



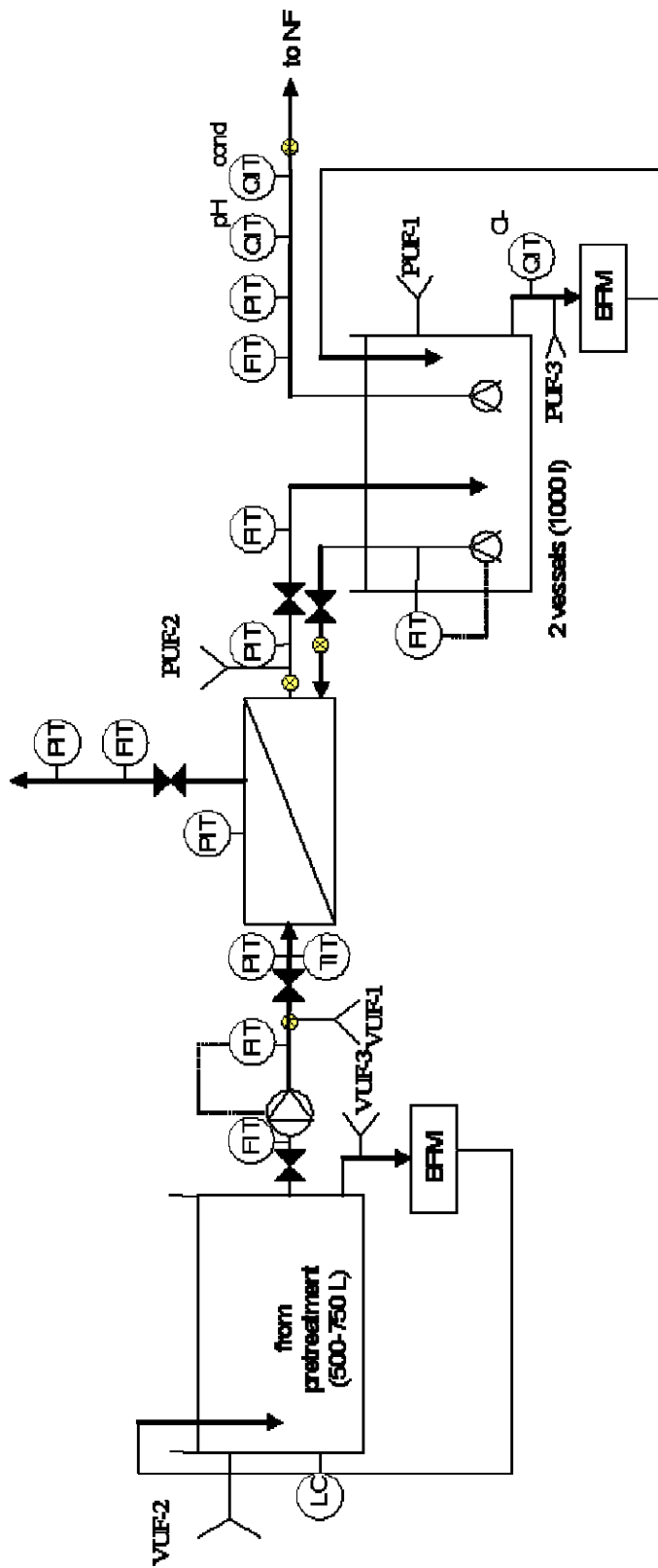
- Bepalen of optimalisatie van klassieke zuiveringsprocessen kan leiden tot de gewenste kwaliteitsverbeteringen (BTO Klassieke Zuivering).
- Bepalen welk niveau van biofilmvorming moet worden nagestreefd om groei van *Legionella* afdoende te beperken.
- Onderzoek naar verblijf in het leidingnet en de daarbij optredende veranderingen om vast te stellen of er invloed is op de biofilmvorming en de groei van *Legionella*.

# Literatuur

1. AMY, G. and CHO, J. : *“Interactions between natural organic matter (NOM) and membranes: Rejection and fouling”*, Wat. Sci. Techn. 40(9), 1999, 131-139.
2. BEERENDONK, E.F., HOFMAN, J.A.M.H.: *“Verwijdering bestrijdingsmiddelen met membranen (proefinstallatie-onderzoek te Andijk)”*, Kiwa SWI 95.132, Nieuwegein, 1996.
3. BEERENDONK, E.F., SCHOONENBERG, F.: *“Verwijdering bestrijdingsmiddelen met nanofiltratie”*, Kiwa SWI 97.102, Nieuwegein, 1997.
4. BEERENDONK, E.F., GROENNOU, J.T.: *“Invloed leeftijd membraanelementen op verwijdering van bestrijdingsmiddelen”*, BTO 2000.216(C), Nieuwegein, 2000 (a).
5. BEERENDONK, E.F., GALJAARD, G., NOBEL, P.J.: *“Ultrafiltratie als desinfectiebarrière bij WBE Berenplaat”*, Kiwa SWI 99.252, Nieuwegein, 2000 (b).
6. BEERENDONK, E.F.: *“Projectplan proefinstallatie-onderzoek UF-NF Spannenburg)”*, Kiwa BTO 2004.062, Nieuwegein, oktober 2004.
7. BEERENDONK E.F., VROUWENVELDER J.S., VERDOUW J., KOOIJ, D. VAN DER: *“Verwijdering van laag-moleculaire bacteriegroeibevorderende organische verbindingen door nanofiltratie”*, Kiwa BTO 2005.078, Nieuwegein, juni 2005.
8. BIAN, R., WATANABE, Y., TAMBO, N. and OZAWA, G., *Removal of humic substances by UF and NF membrane systems*, Wat. Sci. Tech. 40(9), 1999, 121-129.
9. CORNELISSEN, E.R., VERDOUW, J., GIJSBERTSEN-ABRAHAMSE, A.J., HOFMAN, J.A.M.H.: *“A nanofiltration retention model for trace contaminants in drinking water sources”*, Desalination 178, 179-192, 2005.
10. GALJAARD, G., KRUIHOF, J.C., KAMP, P.C.: *“Influence of NOM and Membrand Surface Charge on UF-membrane fouling”*, Membrane Technology Conference, Phoenix, 2005.
11. GIJSBERTSEN, A.: *“UF-installaties in Nederland, state-of-the-art.”* Kiwa BTO 2004.016, Nieuwegein, 2004.
12. HER, N., AMY, G., FOSS, D., CHO, J., YOON, Y. and KOSENKA, P., *Optimization of method for detecting and characterizing NOM by HPLC – Size exclusion chromatography with UV and on-line DOC detection*, Environ. Sci. Technol., 36, 2002, 1069-1076.
13. HUBER, S.A., *Evidence for membrane fouling by specific TOC constituents*, Desal. 119, 1998, 229-234.

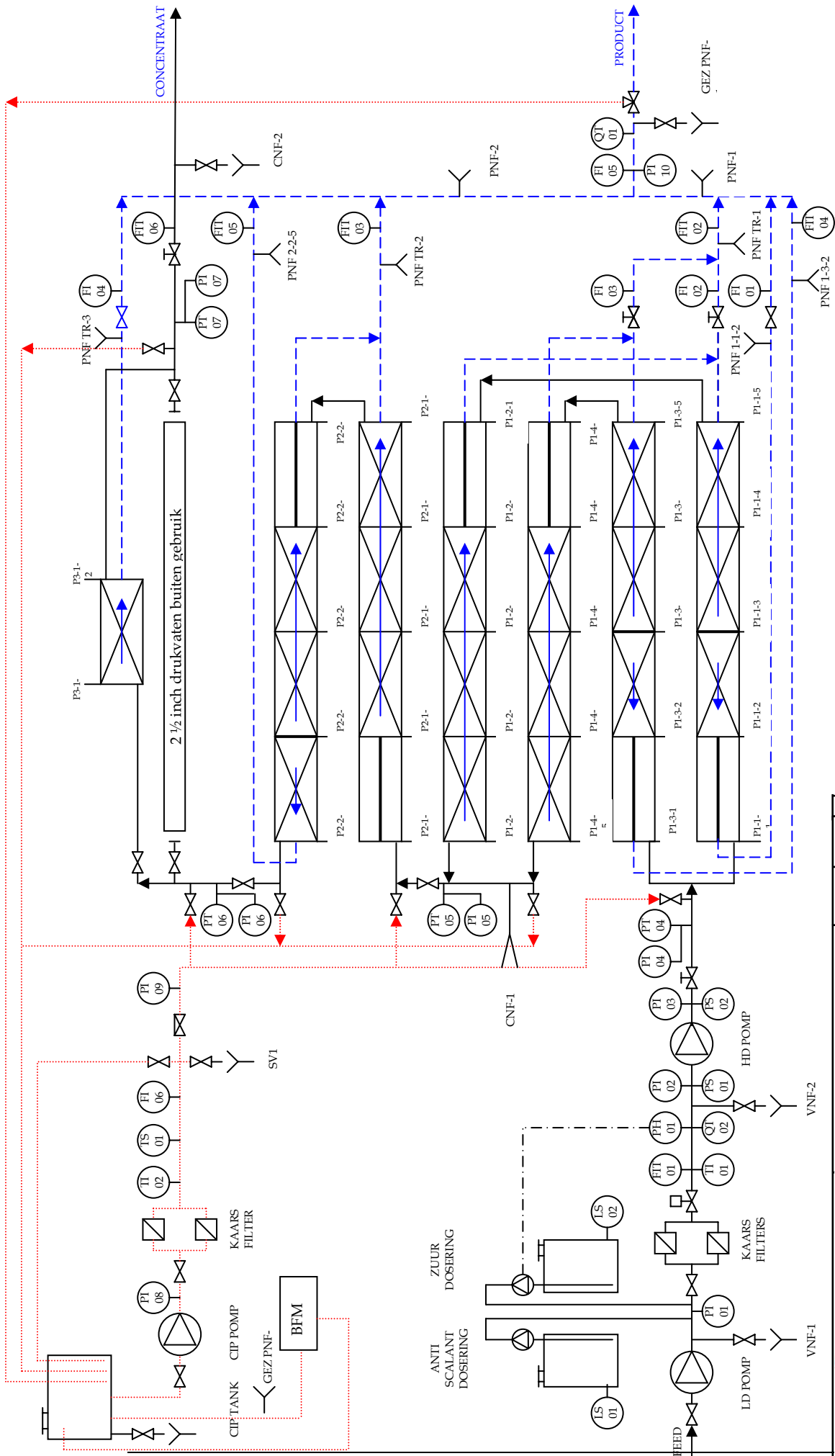
14. KAPPELHOF, J. 2006. "Zuurstofconsumptie als maat voor biofouling in membraansystemen", Kiwa BTO 2006.017, Nieuwegein, 2006.
15. KOOIJ D. VAN DER, VROUWENVELDER J.S., VEENENDAAL H.R. :  
"Bepaling en betekenis van de biofilmvormende eigenschappen van drinkwater" H<sub>2</sub>O 30 (25):767-771, 1997.
16. KOOIJ, D. VAN DER, et al. "Biofilmvorming en groei van Legionella op leidingmaterialen in een experimentele warmtapwaterinstallatie". H<sub>2</sub>O.nr. 11. pp. 19-21, 2003.
17. KOOIJ, D. VAN DER, LIEVERLOO, J.H.M., SCHELLART, J.A., HIEMSTRA, J.A. "Maintaining quality without a disinfectant residual", J. AWWA 91(1):55-64, 1999.
18. KOOIJ, D. VAN DER, VROUWENVELDER, J.S., VEENENDAAL, H.R.:  
"Kinetic aspects of biofilm formation on surfaces exposed to drinking water", Wat. Sci. Tech. 32:61-65, 2003.
19. "Workshop Q21 Spannenburg", Kiwa BTO(S) 2006.005, Nieuwegein, 2006.
20. WEAST, R.C., ASTLE, M.J., BEYER, W.H.: *Handbook of Chemistry and Physics*, 66th edition, Boca Raton, 1986.
21. YOON, Y., AMY, G., CHO, J. and HER, N., *Effects of retained natural organic matter (NOM) and NOM rejection and membrane flux decline with nanofiltration and ultrafiltration*, Desal. 173(2) (2005) 301-307.

# I Schematische weergave UF-installatie





## II Schematische weergave NF-installatie



**Technische haalbaarheid Q21 kwaliteit anoxisch grondwater**

© Kiwa Water Research

**BTO 2006.0**  
augustus 2006

**kiwa**  
Partner for progress  
Kiwa Water Research  
Groningenhaven 7  
Postbus 1072

Projectnr.	11.1511.08
Tekening #	NF-08/04
Titel	Deze tekening is eigendom van Kiwa Water Research en kan vertrouwelijk of anderszins wettelijk beschermd of anderszins beschermd zijn. Het kopiëren, verspreiden of anderszins openbaar maken van deze tekening is strafbaar.
Project	24-08-2006
datum	24-08-2006
geplaatst door	xx
control	xx
opmerkingen	03 juni 2006
origine	n.v.t.
schets	n.v.t.
geen	Revisi

# III Normalisatie UF en NF

## Ultrafiltratie

Om de vervuiling van de UF-installatie in kaart te brengen zijn de gemeten procesparameters flow, druk en temperatuur omgerekend naar transmembraandruk (TMP) en membraanpermeabiliteit. De TMP en permeabiliteit worden, naast eventueel optredende vervuiling, beïnvloed door de watertemperatuur vanwege verandering in viscositeit als gevolg van temperatuurveranderingen. Daarom zijn de berekende TMP en permeabiliteit gecorrigeerd voor deze viscositeitswijzigingen door omrekening naar een temperatuur van 10 °C. Hiervoor zijn de volgende formules gebruikt:

$$\text{Bruto flux} \equiv \frac{Q_p}{A_{mem}}$$

$Q_p$  = permeaatdebiet [l/h]  
 $A_{mem}$  = membraanoppervlak [m<sup>2</sup>]

De (bruto) flux wordt weergegeven in l \* m<sup>-2</sup> \* h<sup>-1</sup>. Deze berekende flux wordt bruto flux genoemd omdat er nog waterverliezen zijn als gevolg van terugspoelingen en reinigingen.

$$\text{TMP} \equiv P_f - P_p$$

$P_f$  = voedingsdruk [bar]

$P_p$  = permeaatdruk [bar]

Voor de voedings- en permeaatdruk is het gemiddelde van de twee drukmetingen (links en rechts op de installatie) genomen.

De temperatuurcorrectiefactor (TCF) wordt als volgt berekend:

$$\text{TCF} \equiv \frac{\eta_t}{\eta_{10^\circ\text{C}}}$$

De viscositeit bij 10 °C is 1,31 cP. De viscositeit bij de actuele watertemperatuur (t) wordt berekend met de volgende formule [Weast, 1986].

$$\log \eta_t \approx \frac{1301}{998.333 + 8.1855(t - 20) + 0.00585(t - 20)^2} - 1.30233$$



Met behulp van de bruto flux, de TMP en de TCF wordt de membraanpermeabiliteit berekend:

$$\text{Genormaliseerde flux (permeabiliteit)} \equiv \frac{\text{bruto flux}}{\text{TMP}} * \text{TCF}$$

De permeabiliteit of genormaliseerde flux is uitgedrukt in  $l * m^{-2} * h^{-1} * bar^{-1}$  bij 10 °C.

### Nanofiltratie

Om de bedrijfsvoering van de NF-installatie te bewaken en de vervuiling van de NF-installatie in kaart te brengen zijn de gemeten procesparameters flow, druk, temperatuur en EGV (conductiviteit) genormaliseerd. De gemeten gegevens zijn gebruikt om de volgende parameters te berekenen en normaliseren:

- MTC
- Drukval
- Zoutpassage

Voor de normalisatie zijn de volgende formules gebruikt.

MTC

De temperatuurcorrectiefactor (TCF) wordt als volgt berekend:

$$TCF_{MTC} = e^{U * \left\{ \frac{1}{T_{act} + 273} - \frac{1}{T_{ref} + 273} \right\}}$$

U = 3000 (membraanafhankelijk, waarde voor TRISEP 4040-TS80-TSF)

T<sub>act</sub> = actuele temperatuur (°C)

T<sub>ref</sub> = 10 °C

De netto drijvende kracht (NDP) wordt als volgt berekend:

$$NDP = \left( \frac{P_v + P_c}{2} - P_p \right) - \left( \frac{\Pi_v + \Pi_c}{2} - \Pi_p \right)$$

P<sub>v</sub> = druk voedingszijde (kPa)

P<sub>c</sub> = druk concentraatzijde (kPa)

P<sub>p</sub> = druk permeaatzijde (kPa)

Π = osmotische druk

De berekening van Π is conform bijlage IX

Met behulp van de TCF en de NDP wordt de MTC berekend

$$MTC = \frac{Q_p * TCF_{Kw}}{A_{mem} * NDP}$$

$Q_p$  = permeaatdebiet [l/h]  
 $A$  = membraanoppervlak [m<sup>2</sup>]

De MTC wordt weergegeven in m \* s<sup>-1</sup> \* Pa<sup>-1</sup>.

### Zoutpassage

De concentratie voeding/permeaat ( $C_{vc}$ ) wordt als volgt berekend:

$$C_{vc} = C_v * (\ln((1/(1-Y))/Y))$$

$C_v$  = Concentratie voedingszijde  
 $Y$  = recovery

De actuele zoutpassage ( $SP_N$ ) is:

$$SP_{act} = \frac{C_p}{C_{vc}}$$

Uit de  $C_{vc}$  en de  $SP_{act}$  volgt de genormaliseerde zoutpassage ( $SP_N$ ):

$$SP_N = SP_{act} * \frac{Q_{p,act}}{Q_{p,ref}} * \frac{TCF_{act}}{TCF_{ref}}$$

$Q_{p,ref}$  = gelijk aan de gemiddelde ontwerpproductie voor betreffende trap

### Drukval

De debietcorrectiefactor (QCF) wordt als volgt berekend:

$$QCF_{\Delta P} = \left( \frac{Q_{vc,ref}}{Q_{vc,act}} \right)^m = \left( \frac{Q_{vc,ref}}{(Q_{v,act} + Q_{c,act})/2} \right)^m$$

$Q_{vc,ref}$  = Voor een 4 inch elementen 2 m<sup>3</sup>/h, voor 1 drukvat.

Voor meerdere elementen in drukbuis een equivalente hoeveelheid.

$m$  = 1,4 (membraanafhankelijk, waarde voor TRISEP 4040-TS80-TSF)

De temperatuurcorrectiefactor (TCF) wordt als volgt berekend:

$$TCF_{\Delta P} = \left( \frac{\eta_{T_{ref}}}{\eta_{T_{act}}} \right)^n$$

n = 0,34 (membraanafhankelijk, waarde voor TRISEP 4040-TS80-TSF)  
Voor berekening van de viscositeit ( $\eta$ ) zie paragraaf 2.3.1.

De genormaliseerde drukval per trap wordt berekend met behulp van de gemeten drukval ( $\Delta P_{act}$ ), de QCF en de TCF:

$$\Delta P_{norm} = \Delta P_{act} * QCF_{\Delta p} * TCF_{\Delta p}$$

## IV Informatie over anti-scalant

De gebruikte antiscalant bij de NF-installatie is: 4AQUA OSM 92 van AQUACARE EUROPE B.V. Meer informatie over de antiscalant is hieronder weergegeven.

### 4AQUA OSM 92

Anti-scalant voor membranen  
Toelatingsnummer K23518/01

#### Toepassing neerslaan van

**4AQUA OSM 92** is een zeer effectief product dat het

calciumcarbonaat, calciumsulfaat en bariumsulfaat voorkomt door hun relatieve oplosbaarheden te verhogen. **4AQUA OSM 92** is in staat om ijzer in oplossing te houden. **4AQUA OSM 92** wordt ingezet bij een breed bereik van brak water en watersoorten met een hoog zoutgehalte.

Onderzoek door KIWA heeft aangetoond dat dit product absoluut niet bijdraagt tot biofilmvorming.

#### Voordelen

- zeer effectieve anti-scalant voor een breed scala
- minimaliseert fouling en reduceert de reinigingsfrequentie
- lage giftigheid, eenvoudig te hanteren
- lage doseerhoeveelheden
- geschikt voor alle membraantypen
- KIWA-ATA voor drinkwatertoepassingen met omgekeerde osmose
- toepassing gebaseerd op meer dan 15 jaar praktijkervaring
- maakt hogere recoveries mogelijk dan natriumhexametafosfaat

#### Productgegevens

Vorm	lichtgele vloeistof
pH (als geleverd)	10,5 ± 0,5
Soortelijk gewicht	1,37 ± 0,02 g/cm <sup>3</sup> (20°C)
Oplosbaarheid in water	mengbaar in alle

#### verhoudingen

Vriespunt	-15°C
-----------	-------

#### Dosering van

Doseerhoogte 0,5 – 5 ppm op voedingswater afhankelijk van voedingswaterkwaliteit en bedrijfsomstandigheden.

#### Opslag en behandeling de opslag is

Houd de verpakking met **4AQUA OSM 92** gesloten. Voor kamertemperatuur optimaal. Het middel wordt geleverd in jerrycans, vaten of containers. Lees de waarschuwingen en veiligheidsvoorschriften op het productetiket van **4AQUA OSM 92** en de informatie in het veiligheidsspecificatieblad voordat u het middel toepast.

## MSDS-gegevens

### 1. Stof-/bereiding- en firma-aanduiding

4AQUA OSM 92

AQUACARE EUROPE B.V., Graaf van Solmsweg 58, 5222 BP 's-Hertogenbosch

Postbus 2147, 5202 CC 's-Hertogenbosch

Tel. 073 624 71 71 / fax 073 621 77 92

e-mail : [info@aquacare.nl](mailto:info@aquacare.nl)

In geval van nood: gifinformatiecentrum Nederland 030 274 88 88

### 2. Samenstelling / gegevens over de bestanddelen

- Chemische karakterisering:

Het preparaat bevat: natriumhydroxide

- Gevaarlijke bestanddelen

<u>CAS-No.</u>	<u>Naam</u>	<u>max.%</u>
<u>gevaarsymbool</u>	<u>R-gevaarszinnen</u>	
1310-73-2	Natronloog	<2%
6419-19-8	Aminofosfonzuur	

R20/22,

R36/38

### 3. Mogelijke gevaren

- Gevarenaanduiding: geen
- Bijzondere gevaren voor mens en omgeving:

R20/22 schadelijk bij inademing en opname door de mond

R36/38irriterend voor de ogen en de huid

### 4. Eerste hulp

- . Algemeen advies: breng de getroffen persoon uit de gevarenzone. Denk aan de zelfbescherming. Verontreinigde kleding onmiddellijk uittrekken.
- . Na inademing: niet van toepassing
- . Na huidcontact: de huid met water en zeep wassen.
- . Na oogcontact: bij aanraking met de ogen onmiddellijk met overvloedig water afspoelen en aansluitend arts raadplegen
- . Na opname door de mond: Bij inslikken niet het braken opwekken. Direct een arts raadplegen en de verpakking of etiket laten zien.
- . Informatie voor de arts: verpakking, etiket.

### 5. Maatregelen bij brand

- . Geschikte blusmiddelen: poeder, schuim, zand of water
- . Blusmiddelen die uit veiligheidsoogpunt niet geschikt zijn: grote hoeveelheden water

- . Bijzondere gevaren veroorzaakt door de stof of de bereiding ervan, verbranding of vrijkomende gassen: bij brand kunnen kooldioxide, koolmonoxide en stikstofoxiden vrijkomen
- . Bijzondere beschermingsuitrusting: bij brand inademen van rook vermijden, zuurstof-apparatuur dragen

## 6. Maatregelen bij onvoorzien vrijkomen

- . Preventieve veiligheidsmiddelen: maak gebruik van beschermingsmiddelen
- . Milieumaatregelen: het middel mag niet in de riolering, in de grond en in het water terechtkomen.
- . Schoonmaak/absorptie: opnemen met vloeistofbindend materiaal (zand, absorbent, zuurbindend middel of universeel bindmiddel) en verwijder dit als afval op de manier zoals beschreven onder punt 13.
- . Aanvullende informatie: geen

## 7. Behandeling en opslag

- Behandeling van het product:
- . Informatie over het veilig gebruik van het product:
- . Informatie over bescherming tegen brand en explosies:
- Opslag:
- . Eisen aan opslagruimtes en vaten: gebruik verpakkingen van polyethyleen.
- . Regels voor de opslag samen met andere stoffen: verwijderd houden van sterke oxidatiemiddelen en zuren.
- . Verdere informatie over de opslagcondities: extreme temperaturen vermijden, vaten beschermen tegen vorst. Men moet rekening houden met de op dit moment geldende wettelijke voorschriften voor de opslag van waterverontreinigende stoffen. Aanbevolen maximale opslagperiode is 2 jaar.
- . Opslagklasse:
- . VbF klasse:

## 8. Blootstellinglimieten en persoonlijke veiligheidsuitrusting

- . Aanvullende informatie voor de uitvoering van technische installaties: geen
- . Bestanddelen met op de werkplek betrekking hebbende waarden:
 

<u>CAS-No.</u>	<u>Naam</u>	<u>type</u>	<u>waarde</u>	<u>eenheid</u>
	natriumhydroxide			
- . Aanvullende informatie: vermijd contact met ogen, kleding en huid, werkwijze afstemmen op

- minimaal contact met de vloeistof
- Persoonlijke veiligheidsuitrusting:
  - . Bescherming van de ademhaling: niet van toepassing
  - . Bescherming van de handen: draag handschoenen van PVC of rubber
  - . Bescherming van de ogen: beschermbril
  - . Bescherming van het lichaam: beschermende werkkleding
  - . Algemene beschermings- en hygiënemaatregelen: niet roken, eten, drinken tijdens gebruik

## 9. Fysische en chemische eigenschappen

toestand		vloeibaar
kleur		lichtgeel
reuk		scherpe geur
pH-waarde	bij 20°C	10,5 ± 0,5
toestandsverandering		
smeltpunt		
kookpunt		
vlampunt		
ontvlambaarheid		
zelfontsteking		
ontploffingsgevaar		
stoomdruk	bij 20°C	
dichtheid	bij 20°C	
oplosbaarheid in/ mengbaarheid met water		volledig

## 10. Stabiliteit en reactiviteit

- . Te vermijden omstandigheden: afbraak treedt op boven 100°C na het ontwijken van de vluchtige componenten.
- . Te vermijden stoffen: verwijderd houden van zuren en sterke oxidatiemiddelen.
- . Gevaarlijke reacties: niet bekend.
- . Verder informatie: geen

## 11. Toxicologische informatie

- . Acute toxiciteit:
 

LD <sub>50</sub>	rat, oraal	> 5000 mg/kg
LC <sub>50</sub>	grasgarnaal	7870 mg/l (96 h)
LC <sub>50</sub>	vissen (regenboogforel)	> 200 mg/l (96 h)
LC <sub>0</sub>	vissen (regenboogforel)	niet lager dan 160 mg/l
- . Primaire aandoening:
  - Huid: bijtend (konijn)
  - Ogen: bijtend (slijmvliesirritatie konijn)
  - Sensibilisatie: niet bekend
  - Overige toxicologische informatie: geen

## 12. Informatie over milieuaspecten

- Informatie over de eliminering (persistentie en afbreekbaarheid): het product is biologisch afbreekbaar.  
Halfwaardetijd:  
50 – 200 dagen: in aërobe omstandigheden (15 – 25 °C) (Streber & Wierich, 1978)  
20 – 30 dagen: in oppervlaktewater onder invloed van ijzerionen (Gledhill & Feijtel, 1992)
- Eigenschappen in milieucompartimenten:
- Ecotoxische effecten:  
LogP(ow) <-4
- Overige informatie over de milieueigenschappen:<sup>1</sup> {11} weinig schadelijk voor in water levende organismen

### 13. Informatie over de afvoer

- Product:
- Advies: Neutralisatie of verbranding.
- Niet gereinigde verpakkingen:  
Advies: verwijder de gehele inhoud uit de verpakking, spoel deze met water en lever de verpakking in voor hergebruik.  
Aanbevolen reinigingsmiddel: water.

### 14. Informatie over het vervoer

- Transport via land ADR/RID  
ADR/RID-klasse  
Cijfer/letter  
Waarschuwingsbord  
gevaarnummer:  
stofnummer:  
Omschrijving van de stof
- Vervoer per zeeschip IMDG/GGVSee  
IMDG/GGVSee-klasse:  
VN-nummer  
Verpakkingsgroep  
EmS-nummer  
MFAG  
Marine vervuilend  
Juiste technische benaming  
Opmerkingen
- Luchtvervoer ICAO-TI/IATA  
ICAO-TI/IATA-klasse  
Subsidiary risk  
VN/ID-nummer  
Verpakkingsgroep  
Juiste technische benaming  
Opmerkingen

<sup>1</sup> Aanduiding waterbezwaarlijkheid volgens stofintrinsicke toets voor stoffen



- Overige informatie: geen

## 15. Voorschriften

Etikettering volgens EEG-richtlijnen:

Het product is volgens de EG-richtlijnen/GefStoffV (de verordening inzake gevaarlijke stoffen) geclassificeerd en gekenmerkt.

Symbool/Symbolen van het product: Xi irriterend

R-zinnen:

R20/22 schadelijk bij inademing en opname door de mond

R36/38 irriterend voor de ogen en de huid

S-zinnen:

S24/25 aanraking met ogen en huid vermijden

S36/37/39 draag geschikte handschoenen, kleding en beschermingsmiddel voor de ogen/het gezicht

Nationale voorschriften:

Classificatie volgens VbF:

Gevaarklasse voor water:<sup>2</sup> {11} weinig schadelijk voor in water levende organismen

## 16. Verdere informatie

Deze gegevens zijn gebaseerd op onze huidige kennis. De verstrekte informatie is geen garantie voor de productkwaliteit of –eigenschappen en kan als zodanig niet gelden als een juridisch contractuele overeenkomst.

U gelieve de wijzigingen te willen noteren in vergelijking met de voorgaande uitgave van de veiligheidsbrochure.

De gewijzigde hoofdstukken worden met een ‘ \* ‘ aangeduid.

---

<sup>2</sup> Aanduiding waterbezwaarlijkheid volgens stofintrinsieke toets voor stoffen

## V Logboek Q21 onderzoek pb Spannenburg

Datum	Tijdstip (uur)	Gebeurtenis
28-10-2004	14:40	UF-installatie opgestart (Run 1).
04-11-2004	15:00	NF-installatie opgestart (Run 1)
15-11-2004 tm 18-11-2004	11:00	Pesticiden experiment Arne Verliefde. Concentraat is via actief-koolfilter afgevoerd
17-11-2004	1:07	NF-installatie uitgevallen. Oorzaak is waarschijnlijk het Cl <sub>2</sub> alarm (CR met HCl om 0:55 uur), zodat permeaat UF niet beschikbaar was voor NF.
03-12-2004		Biofilmmonitoren opgestart (voeding UF, permeaat UF, permeaat NF).
09-01-2004 tm 12-01-2005	14:44	UF-installatie in storing geweest van 09-01-2005 14:44 uur tot 12-01-2005 8:06 uur. Start Run 2 UF.
09-01-2004 tm 12-01-2005	15:02	NF-installatie in storing geweest van 09-01-2005 15:02 uur t tot 12-01-2005 8:30 uur.
17-02-2005		Boiler installaties opgestart (voeding UF; permeaat NF).
15-03-2005		Zuurstofmeting uitgevoerd
22-03-2005		Zuurstofmeting uitgevoerd
29-03-2005		Zuurstofmeting uitgevoerd
30-03-2005* tm 31-03-2005	9:54	Installatie gestopt, waarschijnlijk biofouling. Membranen gewisseld (5x) en autopsie uitgevoerd. Installatie op 31-03-2005 om 11:20 uur weer opgestart (Run 2 NF)
12-04-2005*		Membraan 1-1b vervangen i.v.m. hoge permeaatproductie en lage retentie.
12-04-2005** tm 19-04-2005	9:40	Klep XCV08 (voor permeaatvat) blijft hangen en staat open tijdens chemische reinigingen. Dit probleem is op 14-04-05 omzeild door aanpassing van het reinigingsregime en op 19-04-2005 rond 8:40 uur verholpen.
14-04-2005		NF-installatie uitgevallen door laag niveau permeaatvat UF, CR-1 en CR-2 uitgezet.
15-04-2005		CR-2 opgestart. Frequentie 1x per 6 uur.
27-04-2005		Onderzoek met biofilmmonitoren gestopt (voeding UF, permeaat UF, permeaat NF).
17-05-2005		Onderzoek met boiler installatie op permeaat NF gestopt.
18-05-2005	10:47	Recovery verhoogd naar 87% (Run 3)
23-05-2005 tm 25-05-2005		Doseerexperiment Organische zuren. Concentraat is via actief-koolfilter afgevoerd.
30-05-2005** tm 01-06-2005	15:00	Installatie uitgevallen i.v.m. scaling, 7 membranen trap 2 en 3 vervangen, installatie opgestart op 1 juni om 14:00 uur (Run 4).
07-06-2005		Doseerexperiment Organische zuren. Concentraat is via actief-koolfilter afgevoerd.

Datum	Tijdstip (uur)	Gebeurtenis
10-06-2005		Doseerexperiment Organische zuren bij pH 5. Concentraat is via actief-koolfilter afgevoerd.
13-06-2005	16:00	Installatie uitgevallen i.v.m. scaling. Onderzoek gestopt
14-06-2005		Membraan 2-6 en 3 gewisseld en autopsie uitgevoerd.
14-06-2005	15:00	Onderzoek beëindigd. De installatie blijft tot 29 juni 2005 doordraaien bij een flow van 3 m <sup>3</sup> /uur.
16-06-2005		Onderzoek met boilerinstallatie op voeding UF gestopt.

\* In bijlage VIII staat het laadschema van de NF-installatie weergegeven

\*\* voor een uitgebreide beschrijving van deze storing zie paragraaf 3.2.2 en 4.2.2

## VI Bepaling permeabiliteit UF-membranen

Metingen schoonwaterflux

Datum	Debiet [m <sup>3</sup> /h]	Temp. [gr.C]	TCF [--]	Flux [l/m <sup>2</sup> .h]	Gen.T Flux [l/m <sup>2</sup> .h]	Gen.T+P Flux [l/m <sup>2</sup> .h.bar]	TMP [bar]	Opmerkingen
27-10-2004	2	11,9	0,946	29	27	270	0,10	Nieuwe membranen
	3	11,9	0,946	43	41	253	0,16	
	4	11,9	0,946	57	54	257	0,21	
	5	11,9	0,946	71	68	260	0,26	
29-6-2005	1	11,0	0,970	14	14	231	0,06	Einde experimenten
	2	11,0	0,970	29	28	231	0,12	
	3	11,0	0,970	43	42	231	0,18	
	4	11,0	0,970	57	55	231	0,24	
	5	11,0	0,970	71	69	231	0,30	

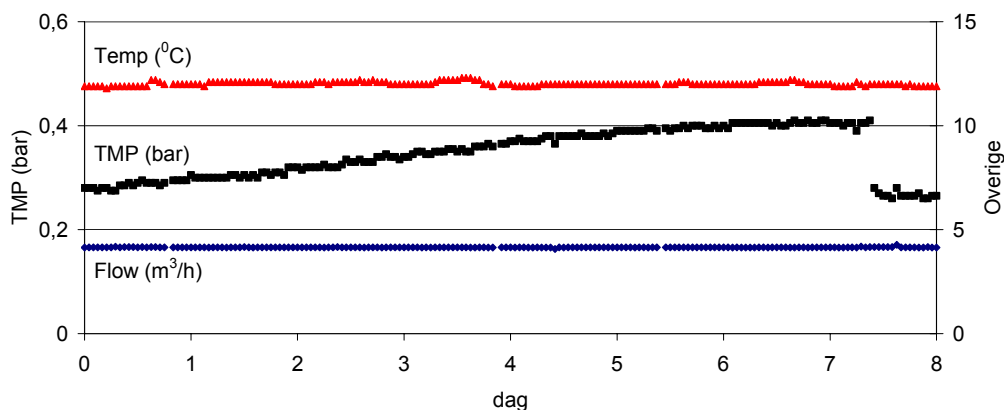


## VII Invloed storing op de vervuiling UF-installatie

Bij de controle op 14 april 2005 is een probleem geconstateerd bij de NF-installatie. Door een alarmering voor laag niveau in het permeaatvat van de UF-installatie is de NF-installatie in storing gevallen op 14 april om 6.00 uur 's ochtends. Na raadplegen van de gegevens in de datalogger is geconstateerd dat een automatische klep in de UF-installatie niet meer werkte. Het laag niveau alarm is circa 20 minuten na de chemische reiniging met chloorbleekloog uitgevallen. Om de bedrijfsvoering van de NF-installatie zeker te stellen, is op 14 april besloten om geen chemische reinigingen meer uit te voeren tot het moment dat de oorzaak van de storing bekend was. Uit voorgaande maanden bleek namelijk dat er geen vervuiling van de membranen optrad, dus bij een bedrijfsvoering zonder chemische reinigingen werd niet direct een sterke vervuiling verwacht.

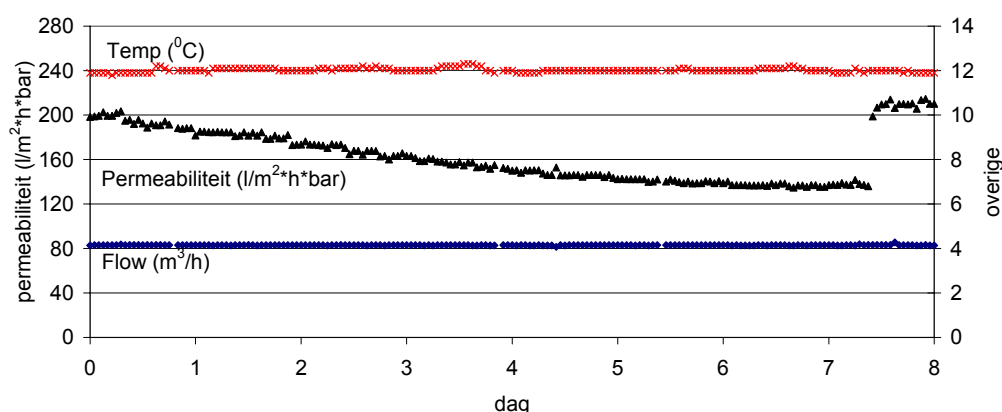
Op 15 april zijn de chemische reinigingen handmatig uitgevoerd om de oorzaak van de storing te achterhalen. Tijdens de handmatige reiniging bleek dat, na een chemische reiniging met chloorbleekloog, het chloorgehalte in het permeaat toeneemt. Hierdoor gaf de chloorsensor een alarm af en werd de toevoer van permeaat naar de NF-installatie gesloten waarna de NF-installatie uit bedrijf werd genomen. De chemische reiniging met chloorbleekloog was niet meer ingeschakeld totdat de oorzaak van het probleem werd gevonden. De frequentie van de zure reiniging was ingesteld op vier maal per dag.

Gedurende een week zijn de chemische reinigingen dus helemaal niet, of slechts gedeeltelijk uitgevoerd. Hierdoor vervuilden de membranen sterker dan in de periode ervoor en erna (zie Figuur 1 (TMP) en Figuur 2 (permeabiliteit)).



Figuur 1 Verloop van de TMP gedurende de storing in de permeaatklep 2005 t/m 19-4-2005)

(12-4-



Figuur 2 Verloop van de permeabiliteit gedurende de storing in de permeaatklep (12-4-2005 t/m 19-4-2005)

In de dagen zonder chemische reinigingen of met alleen een zure reiniging, nam de TMP relatief snel toe van 0,29 naar 0,41 bar, terwijl de permeabiliteit van de membraanelementen afnam van 196 naar 137 l/m<sup>2</sup>·h·bar. Hieruit bleek dat de vervuilingsgraad van de membranen in deze dagen hoger was dan de voorgaande periode waarin wel chemische reinigingen zijn uitgevoerd. De vervuiling van de membraanelementen is toegenomen, in de periode zonder of met aangepast reinigingsregime, omdat:

- Er geen chemische reiniging met chloorbleekloog is ingesteld. Chloorbleekloog is vooral effectief in het verwijderen van vervuiling met organische stof en in het tegengaan van biofilmvorming.
- De permeaatklep ook geopend is tijdens de zure reinigingen. De chemicaliën die zijn gebruikt tijdens de reiniging komen daardoor gedeeltelijk in het permeaatvat terecht in plaats van in de membraanelementen waardoor de reiniging van de membranen minder effectief is.

Nadat de klep is gerepareerd, is de installatie weer op 19 april in bedrijf genomen volgens de instellingen zoals bij de start van run 2. Hierna zijn de TMP en de membraanpermeabiliteit weer op het niveau van voor de storing. Er is geconcludeerd dat:

- de periode met aangepast reinigingsregime geen groot effect heeft gehad op de (irreversibele) vervuilingsgraad van de membranen,
- reiniging met chloorbleekloog zinvol en nodig is.

De invloed van de storing van de klep op de bedrijfsvoering van de NF-installatie wordt beschreven in hoofdstuk 4.

## VIII Laadschema NF-installatie

element	RUN 1			RUN 2 (start 31-03-2005)			Vervanging (start 12-04-2005)			Vervanging (start 01-06-2005)		
	codering	Flow (GPD)	Reject (%)	codering	Flow (GPD)	Reject (%)	codering	Flow (GPD)	Reject (%)	codering	Flow (GPD)	Reject (%)
1-1a	212332	2114	98,83	212315	2121	99,09						
1-2a	212318	2122	98,93	212318	2122	98,93						
1-3a	212323	2038	99,03	212323	2038	99,03						
1-4a	212337	2115	99,09	212337	2115	99,09						
1-5a	212333	2141	98,93	212333	2141	98,93						
1-6a	212327	2115	99,01	212327	2115	99,01						
1-1b	212334	2082	99,03	212338	2154	99,03	209419	2123	98,81			
1-2b	212321	2055	99,05	212328	2136	98,87						
1-3b	212339	2115	98,98	212339	2115	98,98						
1-4b	212317	2142	99,04	212317	2142	99,04						
1-5b	212320	2132	99,02	212320	2132	99,02						
1-6b	212329	2117	99,19	212329	2117	99,19						
2-1	212331	2155	99,02	212331	2155	99,02				212331	2155	99,28
2-2	212322	2158	98,97	212322	2158	98,97				209422	2155	98,88
2-3	212324	2027	98,89	212324	2027	98,89				209409	1725	98,29
2-4	212330	2161	98,90	212330	2161	98,90				209418	1977	98,83
2-5	212335	2196	99,24	212335	2196	99,24				209415	1941	97,9
2-6	212319	2127	99,02	209407	2094	98,15				209410	1770	97,61
3	212316	1939	98,89	209417	2253	98,59				209414	1759	98,91

tr1
tr2
totaal

Flow	Reject
2107	99,01
2137	99,01
2117	99,01

Flow	Reject
2121	99,02
2132	98,86
2124	98,97

Flow	Reject
2118	99,00
2132	98,86
2123	98,95

Flow	Reject
2118	99,00
1954	98,47
2063	98,82





# IX Bepaling osmotische druk met EGV metingen

## Berekening osmotische druk

Voor het berekenen van de netto voedingsdruk is het noodzakelijk om de osmotische druk van het voedings-, concentraat- en productwater te berekenen. De osmotische druk van een waterstroom kan worden berekend m.b.v. de concentraties en valenties van de belangrijkste opgeloste ionen. Hiertoe dient een ionenbalans te worden bepaald van de verschillende waterstromen (voeding, concentraat en product).

De osmotische druk ( $\Pi$ ) is van elke stroom wordt berekend met de volgende formules:

**formule 1:**  $\Pi = 1.205 * \phi * (T+273.15) * \Sigma m_i$

Waarbij

$\phi$  = osmotische coëfficiënt,

T = temperatuur van de waterstroom (°C),

$\Sigma m_i$  = som van de molaliteiten van de opgeloste stoffen

De osmotische coëfficiënt wordt berekend met de volgende formules:

**formule 2:**

$$\phi = 1 - \frac{S}{3.375 * I} * \left\{ \left[ 1 + 1.5 * (I)^{0.5} \right] - 2 * \ln \left[ 1 + 1.5 * (I)^{0.5} \right] - \frac{1}{1 + 1.5 * (I)^{0.5}} \right\} + B * I + C * (I)^2$$

**formule 3:**  $S = 1.17202 * \left( \frac{\sum m_i z_i^2}{\sum m_i} \right) * \rho^{0.5} * \left( \frac{23375.556}{D * (T + 273.15)} \right)^{1.5}$

Waarbij

I = ionensterkte =  $0.5 * \Sigma m_i z_i^2$

$\rho$  = dichtheid van water (kg/l)

**formule 4:**

$$D = \frac{5321}{(T + 273.15)} + 233.76 - 0.9297 * (T + 273.15) + 0.001417 * (T + 273.15)^2 - 8.292 * 10^{-7} * (T + 273.15)^3$$

**formule 5:**

$$\rho = \frac{999.83952 + 16.945176 * T - 7.9870401 * 10^{-3} * T^2 - 4.6170461 * 10^{-5} * T^3}{(1 + 0.01687985 * T) * 1000} + \frac{1.0556302 * 10^{-7} * T^4 - 2.8054253 * 10^{-10} * T^5}{(1 + 0.01687985 * T) * 1000}$$

met T = temperatuur in °C

**formule 6:**  $B = \frac{-348.662}{(T + 273.15)} + 6.72817 - 0.971307 * \ln(T + 273.15)$

**formule 7:**  $C = \frac{40.5016}{(T + 273.15)} - 0.721404 + 0.103915 * \ln(T + 273.15)$

**formule 8:**  $I' = 0.5 * \sum m_i$

**formule 9:**  $I = 0.5 * \sum m_i z_i^2$

**formule 10:**  $m_i = \frac{C_i}{1000 * MW_i * \frac{10^6 - TDS}{10^6}}$

$z_i$  = lading van de component i

$C_i$  = concentratie van de component i [mg/l]

$MW_i$  = molecuulgewicht van de component i

TDS = totaal opgeloste zouten [mg/l]

De aldus berekende osmotische druk is uitgedrukt in psig. Voor omrekening naar kPa deze waarde delen door 14,3 en vermenigvuldigen met 100.

Deze methodiek is vrij omslachtig en zal alleen periodiek worden uitgevoerd. In de tussenliggende periode wordt de osmotische druk berekend uit de EGV-waarde.

### **Omrekening EGV naar osmotische druk**

Om de EGV-metingen te kunnen omrekenen in osmotische drukken worden tegelijkertijd met de totale ionenbalans zoals hierboven beschreven een aantal EGV-metingen gedaan. Met deze gegevens kunnen omrekeningsfactoren worden bepaald voor omrekening van EGV naar TDS en naar osmotische druk voor de voedings-, product- en concentraatstroom (zie formule 11).

Bij toepassing van omgekeerde osmose kan over het algemeen de waarde van de osmotische druk van het productwater verwaarloosd worden.

**formule 11:**  $\Pi = EGV \times \text{factor}(EGV \rightarrow TDS) \times \text{factor}(TDS \rightarrow \Pi) \times \frac{273,15 + T_{\text{act}}}{273,15 + T_{\text{ref}}}$

$$T_{\text{ref}} = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

### **Resumé bepaling osmotische druk**

Periodiek dient het EGV en de ionenbalans van zowel voeding, concentraat en product te worden bepaald om omrekenfactoren van EGV naar osmotische druk conform formules 1 tot 10 te berekenen.

De osmotische druk berekenen met formule 11. Hierbij is er van uitgegaan dat zowel de labmeting als de veldmeting EGV naar dezelfde temperatuur worden gecorrigeerd. Indien dit niet het geval is dient bij voorkeur voor beide EGV-metingen naar 20 °C te worden gecorrigeerd conform NEN 6412.



# X Gegevens voor normalisatie NF-installatie

## Bepaling osmotische druk

NF voeding = UF permeaat

### Berekening Osmotische druk conform DuPont Manual

	MW	z <sub>i</sub>	mg/l	meq/l	m <sub>i</sub>	z <sub>i</sub> <sup>2</sup>	m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup>		meq/l
Ca	40,08	2	32	1,597	0,0008	4	0,0032		
Mg	24,31	2	10	0,823	0,0004	4	0,0016		
Na	22,99	1	74	3,219	0,0032	1	0,0032		
K	39,102	1	2,3	0,059	0,0001	1	0,0001		
Ba	137,34	2	0,032	0,000	0,0000	4	0,0000		
Sr	87,64	2	0,152	0,003	0,0000	4	0,0000		
NH <sub>4</sub>	18,039	1		0,000	0,0000	1	0,0000		
Al	26,98	3	0,0025	0,000	0,0000	9	0,0000		
Fe <sup>2+</sup>	55,85	2		0,000	0,0000	4	0,0000		
Fe <sup>3+</sup>	55,85	3	0,005	0,000	0,0000	9	0,0000		
Mn	54,94	2	0,005	0,000	0,0000	4	0,0000		
<b>Ƙkationen</b>				<b>5,702</b>					
HCO <sub>3</sub>	61,016	1	286	4,687	0,0047	1	0,0047		
SO <sub>4</sub>	96,06	2	5	0,104	0,0001	4	0,0002		
Cl	35,453	1	30	0,846	0,0008	1	0,0008		
NO <sub>3</sub>	62,004	1	12	0,194	0,0002	1	0,0002		
NO <sub>2</sub>	46,005	1	0,005	0,000	0,0000	1	0,0000		
PO <sub>4</sub>	94,97	3		0,000	0,0000	9	0,0000		
F	18,998	1	0,082	0,004	0,0000	1	0,0000		
<b>Ƙanionen</b>				<b>5,836</b>					
SiO <sub>2</sub>	60,088	-	7,0115903		0,0001				
pH			7,62						
Temp. act	°C		11,7						
EGV act	l/S/cm	een van	0	T egv	20				0,9995 kg/l
EGV 20	l/S/cm	deze 3	500	TCF	1,00	~ NEN 6412			B 0,0144
EGV 25	l/S/cm	invullen	0	EGV 20	500				C 0,0081
									D 83,425
									S 1,5477
TDS	mg/l		458,6	m <sub>i</sub> =	0,0104	m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup> =	0,0141		0,9639
TDS-equiv	mg/l	NaCl	313,5	I' =	0,0052	IS =	0,0070		0 3,439 psig
CO <sub>2</sub> ber	mg/l		15,8						0 24,049 kPa

### Omrekenfactoren

gebaseerd op EGV-meting gecorrigeerd naar 20 °C

Factor EGV => TDS **0,9172**

TDS=>0 **0,0524**

EGV => 0 **0,0481**

### Theorie kalk/koolzuur evenwicht

$\log [\text{CO}_2] = \text{p}K_1 + \log f_1 - \text{pH} + \log [\text{HCO}_3^-]$

$$\log f_1 = \frac{0,5 \cdot \sqrt{IS}}{1 + \sqrt{IS}}$$

$$\text{p}K_1 = 0,0002 \cdot T^2 - 0,0125 \cdot T + 6,585$$

pK<sub>1</sub> 6,466128

log F<sub>1</sub> 0,0386955

log [CO<sub>2</sub>] -3,444254

## NF-concentraat

### Berekening Osmotische druk conform DuPont Manual

	MW	z <sub>i</sub>	mg/l	meq/l	m <sub>i</sub>	z <sub>i</sub> <sup>2</sup>	m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup>		meq/l
Ca	40,08	2	117	5,838	0,0029	4	0,0117		
Mg	24,31	2	37	3,044	0,0015	4	0,0061		
Na	22,99	1	244	10,613	0,0106	1	0,0106		
K	39,102	1	8,4	0,215	0,0002	1	0,0002		
Ba	137,34	2	0,1	0,001	0,0000	4	0,0000		
Sr	87,64	2	0,568	0,013	0,0000	4	0,0000		
NH <sub>4</sub>	18,039	1		0,000	0,0000	1	0,0000		
Al	26,98	3	0,0025	0,000	0,0000	9	0,0000		
Fe <sup>2+</sup>	55,85	2		0,000	0,0000	4	0,0000		
Fe <sup>3+</sup>	55,85	3	0,013	0,001	0,0000	9	0,0000		
Mn	54,94	2	0,005	0,000	0,0000	4	0,0000		
<b>Ƙkationen</b>				<b>19,726</b>					
HCO <sub>3</sub>	61,016	1	1023	16,766	0,0168	1	0,0168		
SO <sub>4</sub>	96,06	2	5	0,104	0,0001	4	0,0002		
Cl	35,453	1	106	2,990	0,0030	1	0,0030		
NO <sub>3</sub>	62,004	1	23	0,371	0,0004	1	0,0004		
NO <sub>2</sub>	46,005	1	0,005	0,000	0,0000	1	0,0000		
PO <sub>4</sub>	94,97	3		0,000	0,0000	9	0,0000		
F	18,998	1	0,17	0,009	0,0000	1	0,0000		
<b>Ƙanionen</b>				<b>20,240</b>					
SiO <sub>2</sub>	60,088	-	17,295256		0,0003				
pH			7,96						
Temp. act	°C		11,7						
EGV act	l/S/cm	een van	0	T egv	20				0,9995 kg/l
EGV 20	l/S/cm	deze 3	1610	TCF	1,00	~ NEN 6412			B 0,0144
EGV 25	l/S/cm	invullen	0	EGV 20	1610				C 0,0081
									D 83,425
									S 1,5657
TDS	mg/l		1581,6	m <sub>i</sub> =	0,0358	m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup> =	0,0490		0,9409
TDS-equiv	mg/l	NaCl	1053,4	I' =	0,0179	IS =	0,0245		0 11,565 psig
CO <sub>2</sub> ber	mg/l		27,7						0 80,874 kPa

### Omrekenfactoren

gebaseerd op EGV-meting gecorrigeerd naar 20 °C

Factor EGV => TDS **0,9823**

TDS=>0 **0,0511**

EGV => 0 **0,05023**

### Theorie kalk/koolzuur evenwicht

$\log [\text{CO}_2] = \text{p}K_1 + \log f_1 - \text{pH} + \log [\text{HCO}_3^-]$

$$\log f_1 = \frac{0,5 \cdot \sqrt{IS}}{1 + \sqrt{IS}}$$

$$\text{p}K_1 = 0,0002 \cdot T^2 - 0,0125 \cdot T + 6,585$$

pK<sub>1</sub> 6,466128

log F<sub>1</sub> 0,0676982

log [CO<sub>2</sub>] -3,201742

## NF-permeaat

### Berekening Osmotische druk conform DuPont Manual

	MW	z <sub>i</sub>	mg/l	meq/l	m <sub>i</sub>	z <sub>i</sub> <sup>2</sup>	m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup>		
Ca	40,08	2	2,5	0,125	0,0001	4	0,0002	Balans	meq/l
Mg	24,31	2	0,25	0,021	0,0000	4	0,0000	Kationen	0,722
Na	22,99	1	13	0,565	0,0006	1	0,0006	Anionen	0,790
K	39,102	1	0,4	0,010	0,0000	1	0,0000	Verschil	-0,0683
Ba	137,34	2	0,006	0,000	0,0000	4	0,0000		-9,5%
Sr	87,64	2	0,002	0,000	0,0000	4	0,0000		
NH <sub>4</sub>	18,039	1		0,000	0,0000	1	0,0000	CHECK ANALYSIS	
Al	26,98	3	0,0025	0,000	0,0000	9	0,0000		
Fe <sup>2+</sup>	55,85	2		0,000	0,0000	4	0,0000		
Fe <sup>3+</sup>	55,85	3	0,005	0,000	0,0000	9	0,0000		
Mn	54,94	2	0,005	0,000	0,0000	4	0,0000		
	<b>Okationen</b>			0,722					
HCO <sub>3</sub>	61,016	1	29	0,475	0,0005	1	0,0005		
SO <sub>4</sub>	96,06	2	0,5	0,010	0,0000	4	0,0000		
Cl	35,453	1	6	0,169	0,0002	1	0,0002		
NO <sub>3</sub>	62,004	1	8,3	0,134	0,0001	1	0,0001		
NO <sub>2</sub>	46,005	1	0,005	0,000	0,0000	1	0,0000		
PO <sub>4</sub>	94,97	3		0,000	0,0000	9	0,0000		
F	18,998	1	0,025	0,001	0,0000	1	0,0000		
	<b>Danionen</b>			0,790					
SiO <sub>2</sub>	60,088	-	2,3839407		0,0000				
pH			6,61						
Temp. act	°C		11,7						
EGV act	<input type="checkbox"/> S/cm	een van	0	T egv	20			<input type="checkbox"/>	0,9995
EGV 20	<input type="checkbox"/> S/cm	deze 3	73	TCF	1,00	~ NEN 6412		<input type="checkbox"/>	B
EGV 25	<input type="checkbox"/> S/cm	invullen	0	EGV 20	73			<input type="checkbox"/>	0,0144
								<input type="checkbox"/>	C
								<input type="checkbox"/>	0,0081
								<input type="checkbox"/>	D
								<input type="checkbox"/>	83,425
								<input type="checkbox"/>	S
								<input type="checkbox"/>	1,2951
TDS	mg/l		62,4	<input type="checkbox"/> m <sub>i</sub>	= 0,0015	<input type="checkbox"/> m <sub>i</sub> z <sub>i</sub> <sup>2</sup>	= 0,0017	<input type="checkbox"/>	0,9883
TDS-equiv	mg/l	NaCl	45,6	l'	= 0,0007	IS	= 0,0008	<input type="checkbox"/>	0,500
CO <sub>2</sub> ber	mg/l		15,5					<input type="checkbox"/>	3,495
								<input type="checkbox"/>	psig
								<input type="checkbox"/>	kPa

### Omrekenfactoren

CHECK AN gebaseerd op EGV-meting gecorrigeerd naar 20 °C

Factor EGV => TDS **0,8546**

TDS=> **0,0560**

EGV =>  **0,04788**

Theorie kalk/koolzuur evenwicht

$\log [\text{CO}_2] = \text{p}K_1 + \log f_1 - \text{pH} + \log [\text{HCO}_3]$

$$\log f_1 = \frac{0,5 \cdot \sqrt{IS}}{1 + \sqrt{IS}}$$

$$\text{p}K_1 = 0,0002 \cdot T^2 - 0,0125 \cdot T + 6,585$$

pK<sub>1</sub> 6,466128  
log F<sub>1</sub> 0,0140397  
log [CO<sub>2</sub>] -3,452878

## Berekening genormaliseerde data

### Gegevens voor normalisatie trap 1 en trap 2

General Data Membranes

Supplier	Trisep	Configuration	1e stage	2e stage	Overall
Type	TS80	# pressure vessels	2	1	3
Diameter	4 inch	# elements/pressure vessel	5,5	6	
Area/element	7,5 m <sup>2</sup>	total # elements	11	6	17
U-value (info from supplier)	3000	total membrane area	82,5	45	127,5
M-value (info from supplier)	1,4				
N-value (info from supplier)	0,34				

Calculation EC (20 °C) to osmotic pressure (P) determined with ionic balance (spreadsheet Osm-druk.xls)

	EC->TDS	TDS->P	Used celnames
Feed	0,9172	0,0524	Amem1 =General!\$H\$7
Concentrate	0,9823	0,0511	Amem2 =General!\$I\$7
Product	0,8546	0,0560	Amemt =General!\$J\$7
			Mvalue =General!\$C\$8
			Nvalue =General!\$C\$9
Normalization			Tref =General!\$C\$18
MTC to	T ref	10 °C	Uvalue =General!\$C\$7
dP to	Q fc	1200 l/h and T ref	
EC retention to	Flux	20 l/m <sup>2</sup> .h and T ref	

## Gegevens voor normalisatie elementen 1-1a en 1-1b

### General Data Membranes

Supplier	Trisep	Configuration	1e stage
Type	TS80	# pressure vessels	1
Diameter	4 inch	# elements/pressure vessel	1
Area/element	7,5 m2	total # elements	1
U-value	3000	total membrane area	7,5
M-value	1,4		
N-value	0,34		

Calculation EC (20°C) to osmotic pressure (P) determined with ionic balance (spreadsheet Osm-druk.xls)

	EGV->TDS TDS->P		
Feed	0,9172	0,0524	Used celnames
Concentrate	0,9823	0,0511	Amem =General!\$H\$7
Product	0,8546	0,0560	Mvalue =General!\$C\$8
			Nvalue =General!\$C\$9
Normalization			Tref =General!\$C\$18
MTC to	T ref	10 °C	Uvalue =General!\$C\$7
dP to	Q fc	1600 l/h and T ref	
EC retention to	Flux	20 l/m2.h and T ref	

## Gegevens voor normalisatie element 2-6 en trap 3

### General Data Membranes

Supplier	Trisep	Configuration	1e stage
Type	TS80	# pressure vessels	1
Diameter	4 inch	# elements/pressure vessel	1
Area/element	7,5 m2	total # elements	1
U-value	3000	total membrane area	7,5
M-value	1,4		
N-value	0,34		

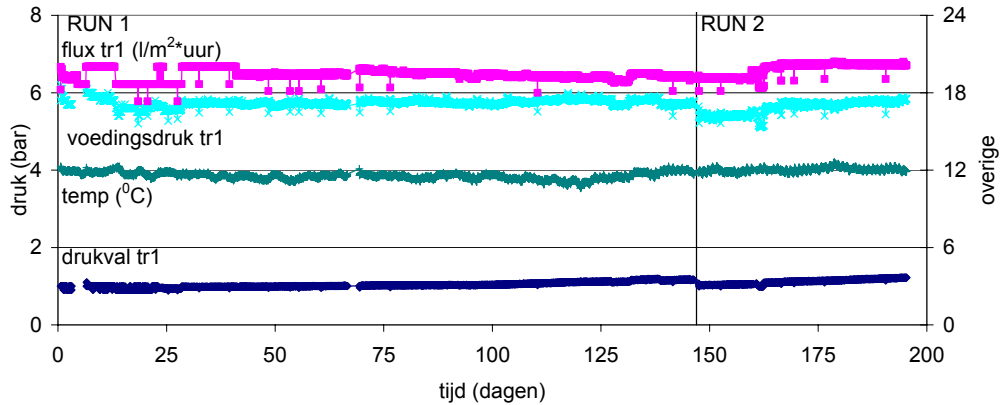
Calculation EC (20°C) to osmotic pressure (P) determined with ionic balance (spreadsheet Osm-druk.xls)

	EGV->TDS TDS->P		
Feed	0,9172	0,0524	Used celnames
Concentrate	0,9823	0,0511	Amem =General!\$H\$7
Product	0,8546	0,0560	Mvalue =General!\$C\$8
			Nvalue =General!\$C\$9
Normalization			Tref =General!\$C\$18
MTC to	T ref	10 °C	Uvalue =General!\$C\$7
dP to	Q fc	847 l/h and T ref	
EC retention to	Flux	20 l/m2.h and T ref	

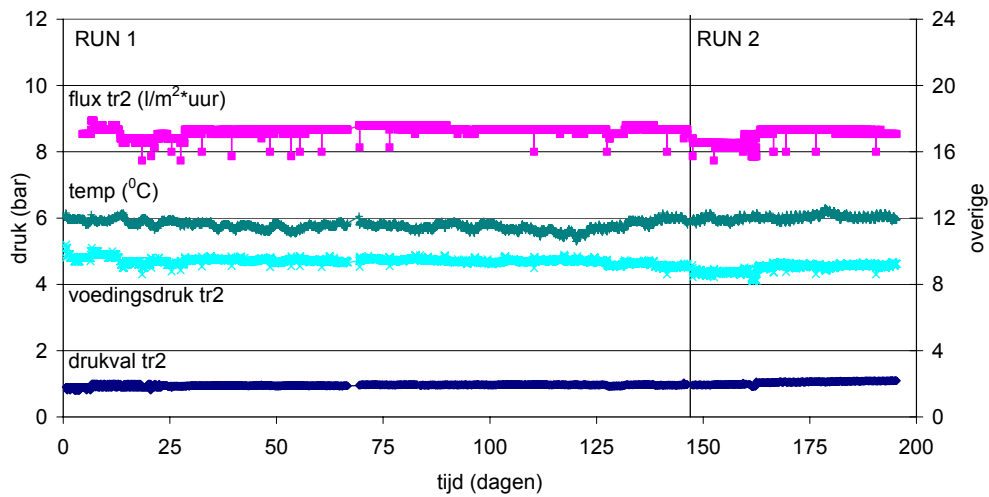




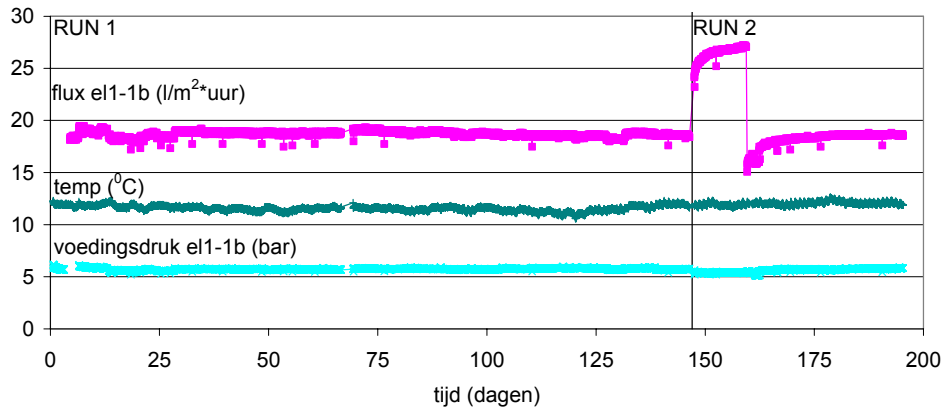
# XI Grafieken niet genormaliseerde data NF-installatie RUN 1 en 2



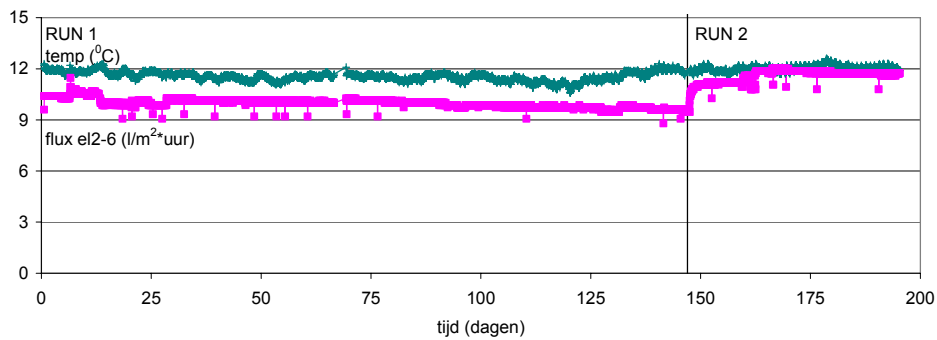
figuur 3 Niet genormaliseerde data trap 1 NF-installatie gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005



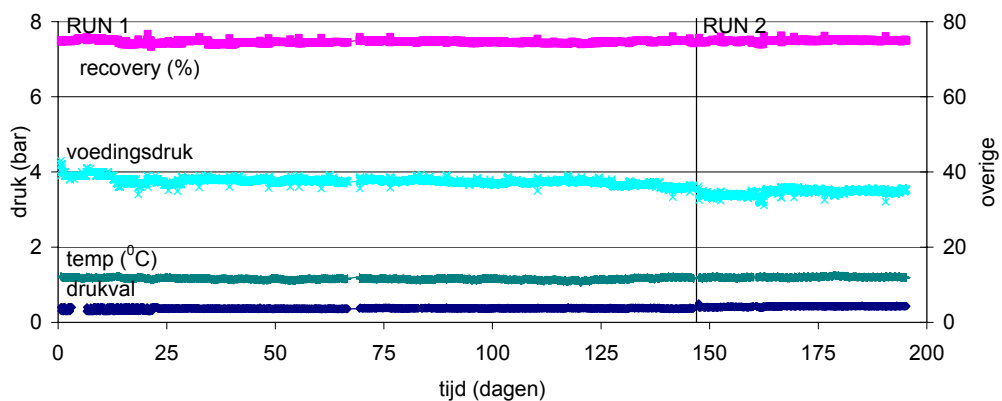
figuur 4 Niet genormaliseerde data trap 2 NF-installatie gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005



figuur 5 Niet genormaliseerde data element 1-1b NF-installatie gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005

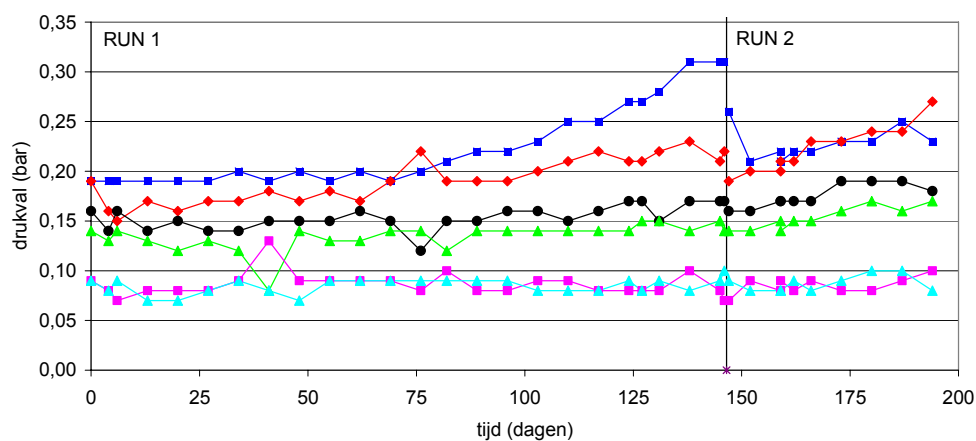


figuur 6 Niet genormaliseerde data element 2-6 NF-installatie gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005

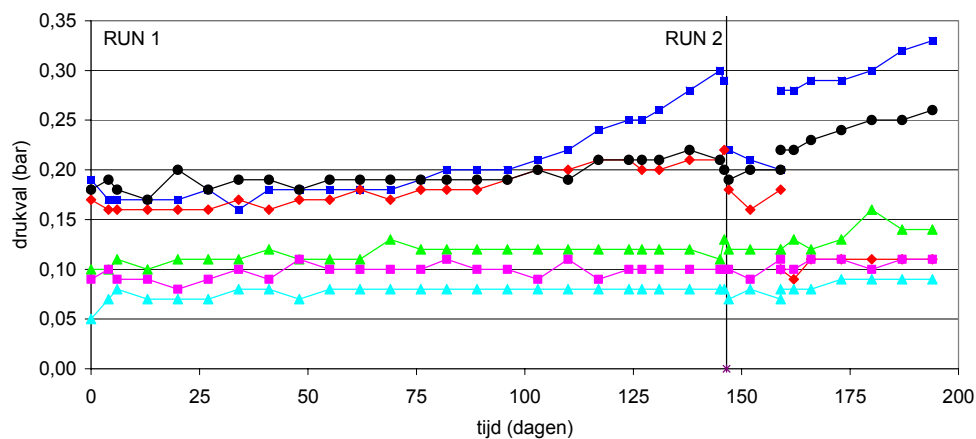


figuur 7 Niet genormaliseerde data trap 3 NF-installatie gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005

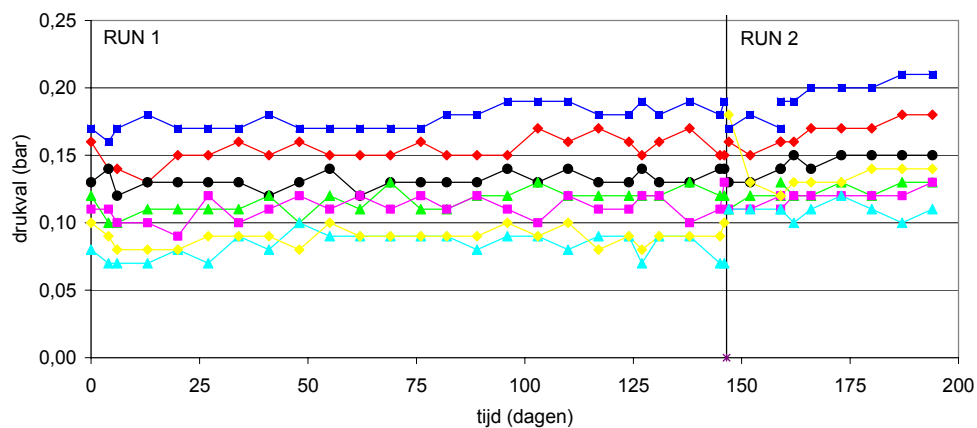
## XII Drukvalmetingen NF installatie RUN 1 en 2



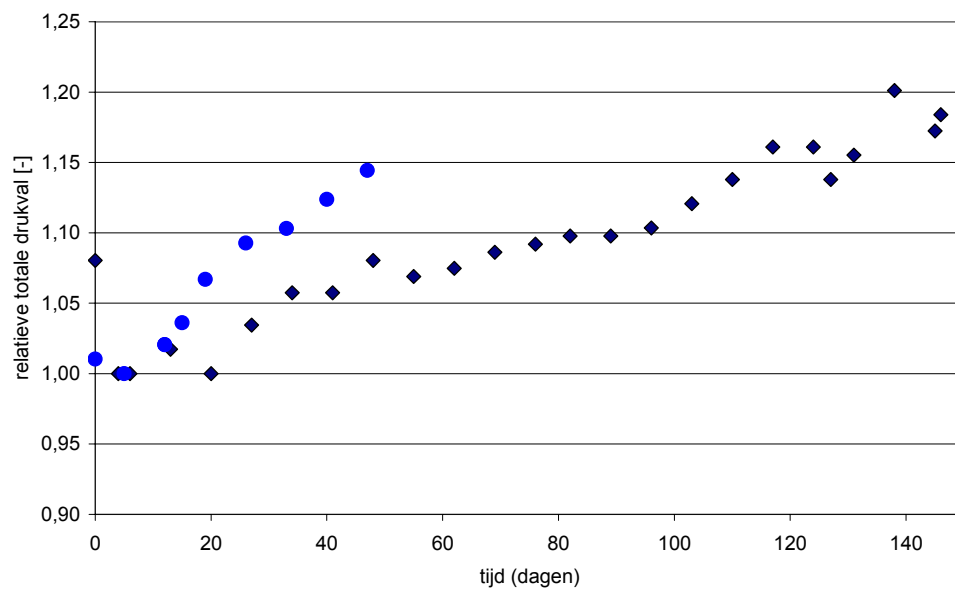
figuur 8 Drukval elementen trap 1a gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005 element 1-1a (■) element 1-2a (◆) element 1-3a (●) element 1-4a (▲) element 1-5a (■) element 1-6 (▲)



figuur 9 Drukval elementen trap 1-1b gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005 element 1-1b (■) element 1-2b (◆) element 1-3b (●) element 1-4b (▲) element 1-5b (■) element 1-6b (▲)

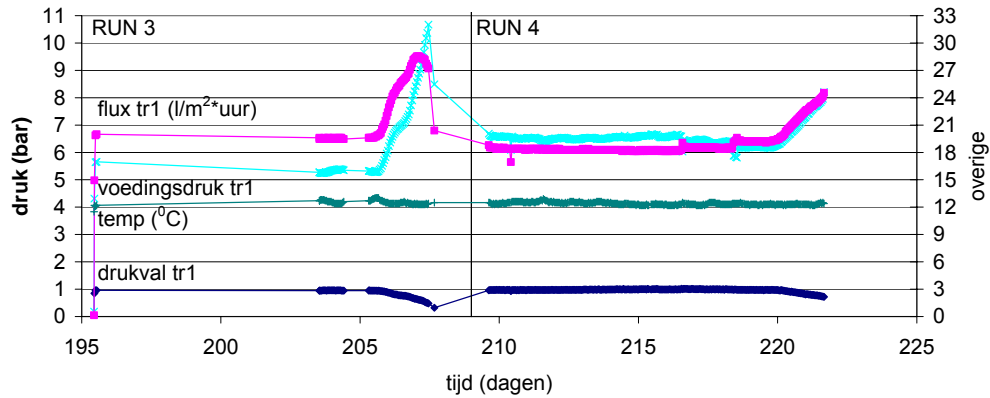


figuur 10 Drukval elementen trap 2 en 3 gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005 element 2-1 (■) element 2-2 (◆) element 2-3 (●) element 2-4 (▲) element 2-5 (■) element 2-6 (▲) element 3 (●)

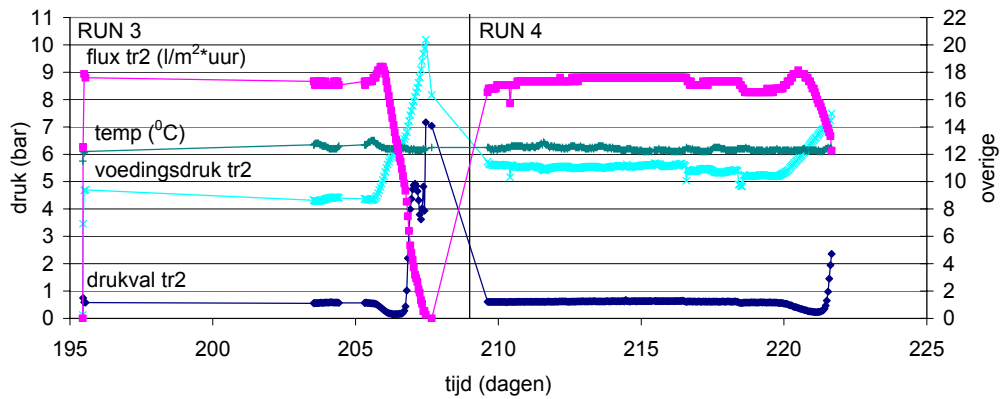


figuur 11 Relatieve drukval 3 gedurende de onderzoeksperiode 04-11-2004 tm 17-05-2005 RUN1 (◆) RUN2 (●)

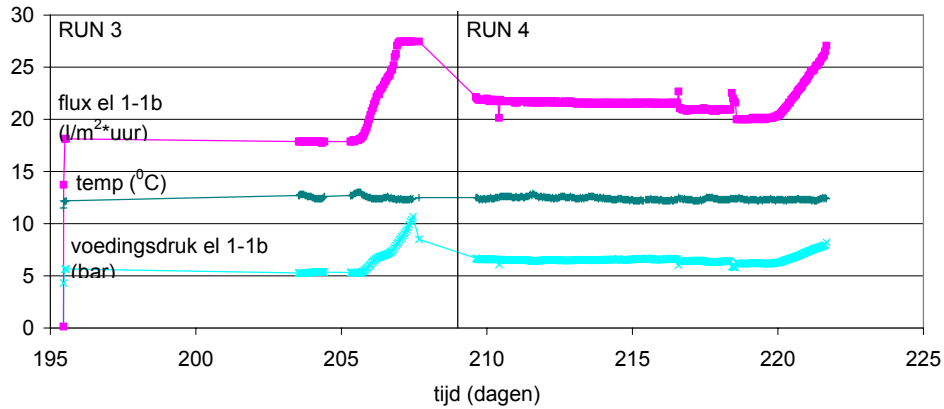
# XIII Grafieken niet genormaliseerde data NF - installatie RUN 3 en 4



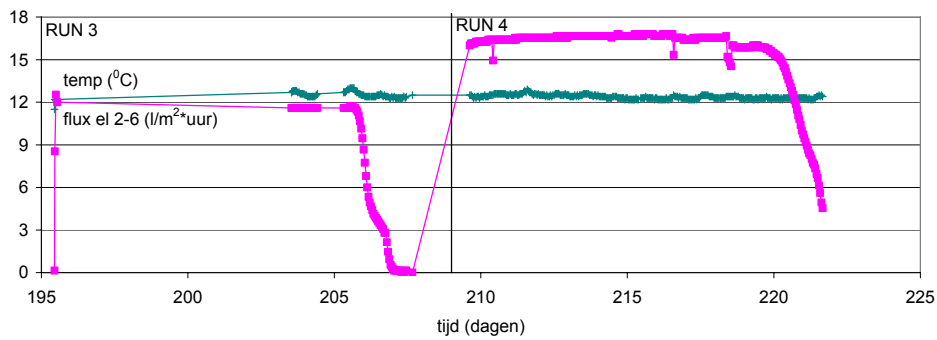
figuur 12 Niet genormaliseerde data trap 1 NF-installatie na verhoging van de recovery naar 87%, 18-05-2004 tm 14-05-2005



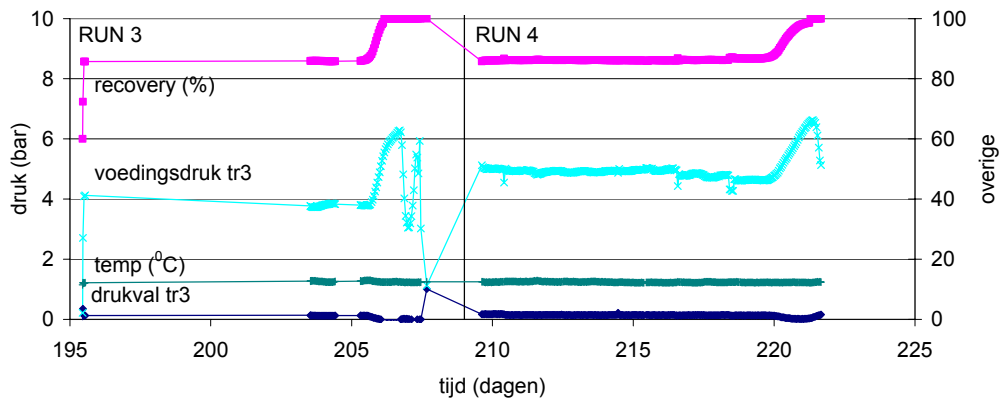
figuur 13 Niet genormaliseerde data trap 2 NF-installatie na verhoging van de recovery naar 87%, 18-05-2004 tm 14-05-2005



figuur 14 Niet genormaliseerde data element 1-1b NF-installatie na verhoging van de recovery naar 87%, 18-05-2004 tm 14-05-2005

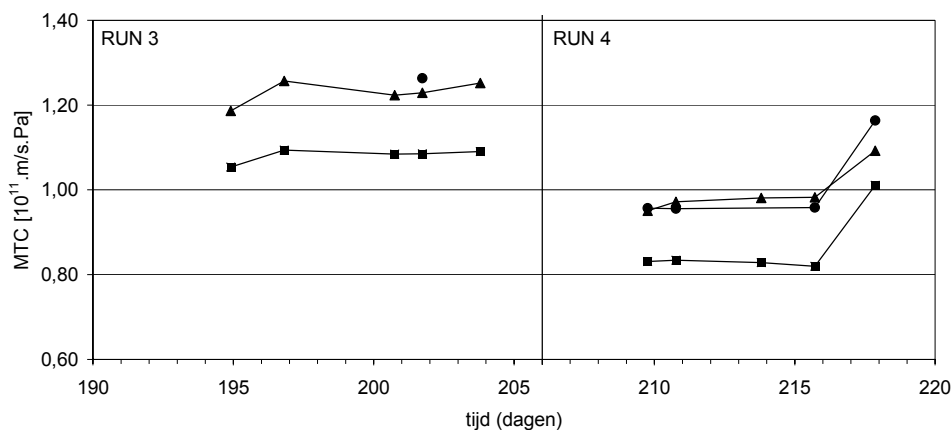


figuur 15 Niet genormaliseerde data element 2-6 NF-installatie na verhoging van de recovery naar 87%, 18-05-2004 tm 14-05-2005

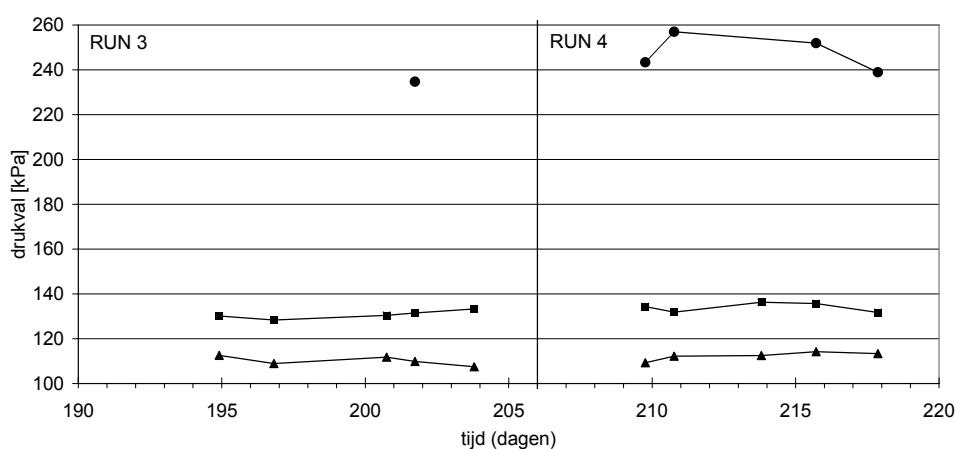


figuur 16 Niet genormaliseerde data trap 3 NF-installatie na verhoging van de recovery naar 87%, 18-05-2004 tm 14-05-2005

# XIV Grafieken genormaliseerde data RUN 3 en 4

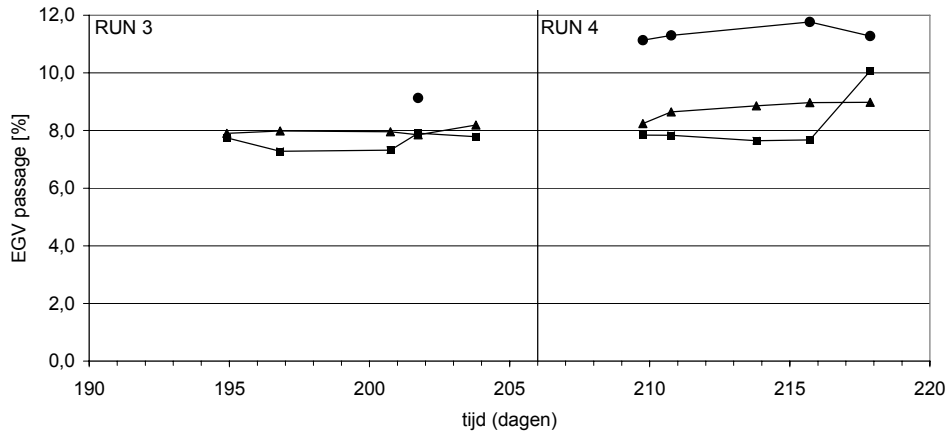


figuur 17 Verloop van de MTC gedurende RUN 3 en 4 totale installatie (●) trap 1 (■) trap2 (▲)

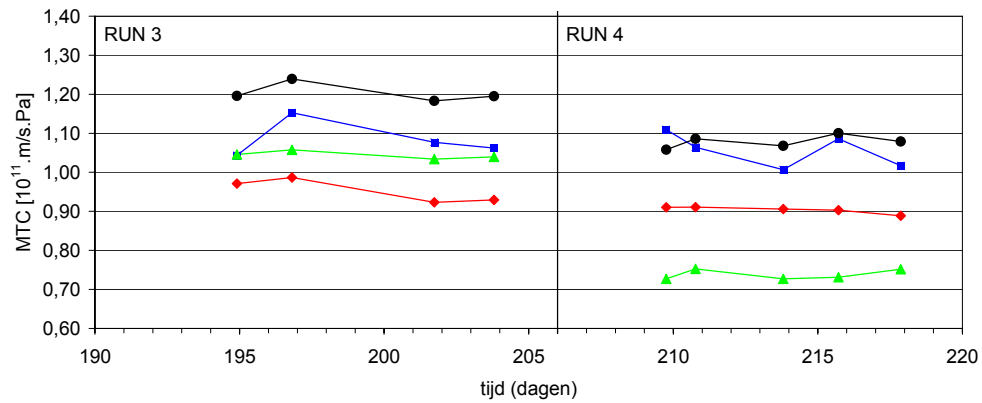


figuur 18 Verloop van de drukval gedurende RUN 3 en 4 totale installatie (●) trap 1 (■) trap2 (▲)

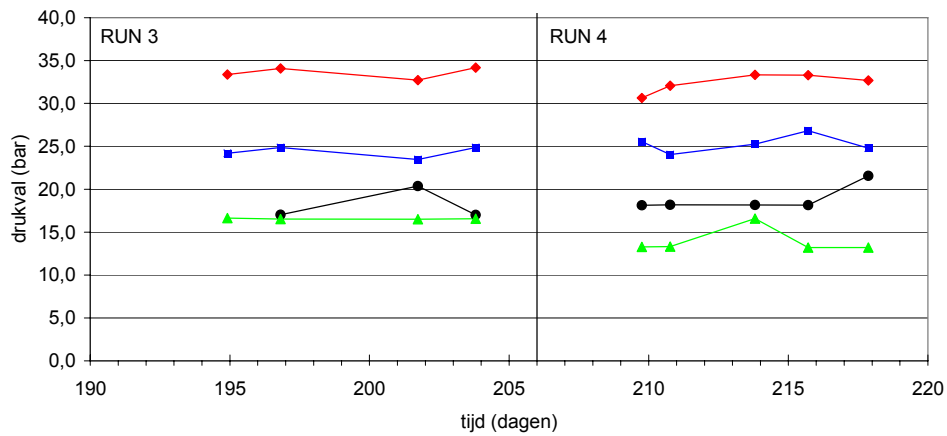




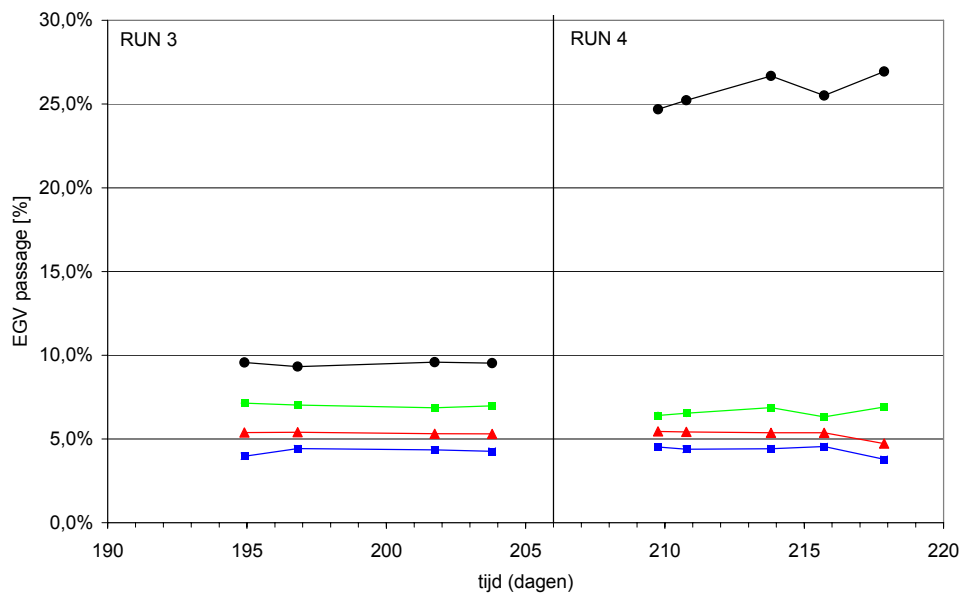
figuur 19 Verloop van de EGV-passage gedurende RUN 3 en 4 totale installatie (●) trap 1 (■) trap2 (▲)



figuur 20 Verloop van de MTC gedurende RUN 3 en 4 element 1-1a (■) element 1-1b (●) element 2-6 (◆) element 3 (▲)



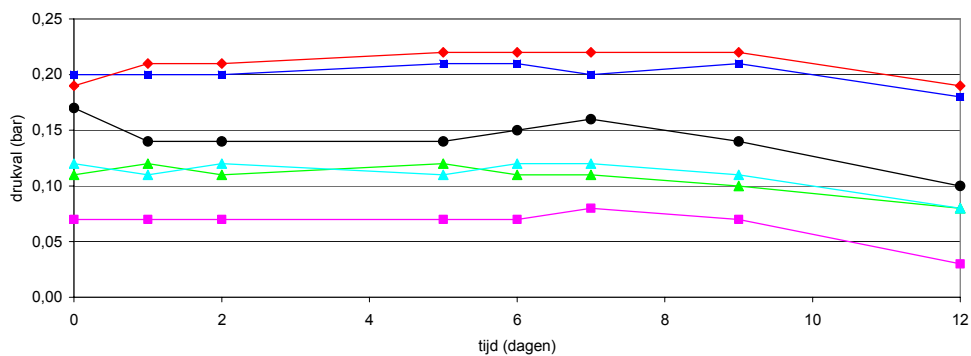
figuur 21 Verloop van de drukval gedurende RUN 3 en 4 element 1-1a (■) element 1-1b (◆) element 2-6 (●) element 3 (▲)



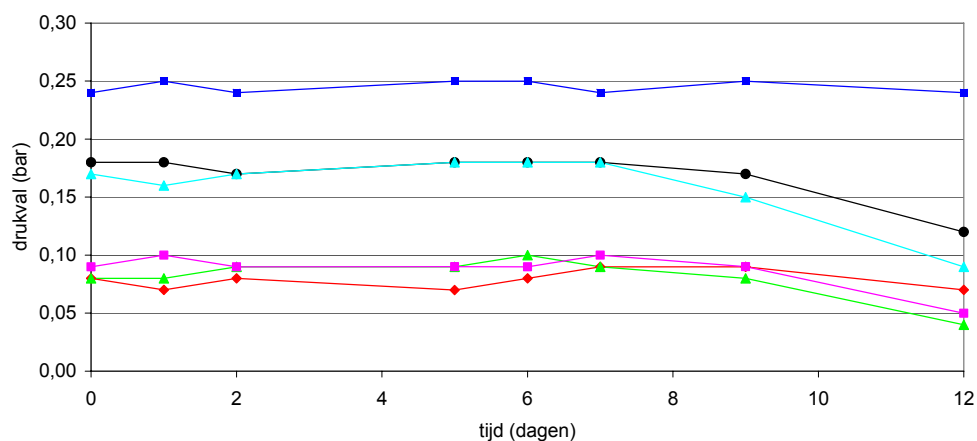
figuur 22 Verloop van de EGV-passage gedurende RUN 3 en 4 element 1-1a (■) element 1-1b (◆) element 2-6 (●) element 3 (▲)



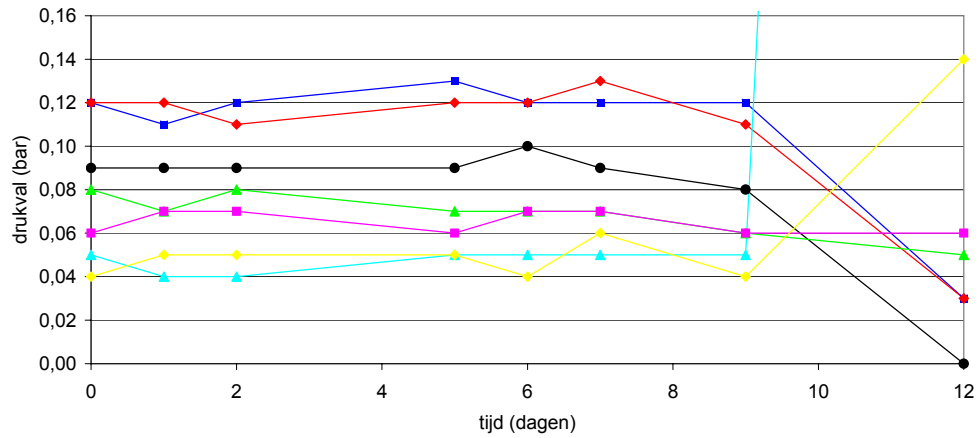
# XV Drukvalmetingen NF installatie RUN 4



figuur 23 Drukval elementen trap 1a tijdens RUN 4 element 1-1a (■) element 1-2a (◆)  
element 1-3a (●) element 1-4a (▲) element 1-5a (■) element 1-6 (▲)



figuur 24 Drukval elementen trap 1-1b tijdens RUN 4 element 1-1b (■) element 1-2b (◆)  
element 1-3b (●) element 1-4b (▲) element 1-5b (■) element 1-6b (▲)



figuur 25 Drukval elementen trap 2 en 3 tijdens RUN 4 element 2-1 (■) element 2-2 (◆) element 2-3 (●) element 2-4 (▲) element 2-5 (■) element 2-6 (▲) element 3 (◆)

Opmerking: de drukval over element 2-6 is na 12 dagen 1,98 bar.

# XVI Resultaten ICP-MS analyse membraanautopsies

*Tabel 1 Membraanelement 1.1A*

nr	element	mg/m <sup>2</sup>			avg	percentage
		instroom	midden	uitstroom		
		84	88	82	84	96%
1	Fe	9.7	10.3	8.6	10	11%
2	Ca	11.1	12.5	11.5	12	14%
3	Si	4.7	5.8	2.9	4	5%
4	Na	23.0	21.7	22.6	22	27%
5	K	5.2	5.9	6.3	6	7%
6	Mg	2.8	3.1	2.6	3	3%
7	Mn	21.0	21.4	19.7	21	25%
8	Sb	3.2	3.5	3.1	3	4%
9	Pb	0.1	0.1	0.1	0	
10	Zn	0.2	0.2	0.1	0	
11	Al	0.7	1.0	0.8	1	
12	Cu	0.2	0.2	0.1	0	
13	Ba	0.6	0.7	0.6	1	
14	Ni	0.09	0.15	0.09	0	
15	I	0.04	0.03	0.03	0	

*Tabel 2 Membraanelement 1.1B*

nr	element	mg/m <sup>2</sup>			avg	percentage
		instroom	midden	uitstroom		
		64	67	80	70	97%
1	Fe	9.0	6.7	6.6	7	11%
2	Ca	9.1	8.1	13.1	10	14%
3	Si	3.3	4.1	5.3	4	6%
4	Na	15.3	16.4	22.8	18	26%
5	K	3.8	6.0	8.1	6	8%
6	Mg	1.9	1.7	1.8	2	3%
7	Mn	17.4	19.6	14.8	17	24%
8	Sb	3.1	2.5	3.7	3	4%
9	Pb	0.1	0.1	0.1	0	
10	Zn	0.1	0.1	0.1	0	
11	Al	0.1	0.4	0.8	0	
12	Cu	0.0	0.1	0.1	0	
13	Ba	0.7	0.6	0.4	1	
14	Ni	0.16	0.20	0.14	0	
15	I	0.04	0.05	0.04	0	

*Tabel 3 Membraanelement 1.2B*

nr	element	mg/m2 instroom	midden	uitstroom	avg	percentage
		262	46	120	142	1
1	Fe	6.1	5.1	7.1	6	4%
2	Ca	191	6.1	16.7	71	50%
3	Si	3.5	1.8	13.9	6	4%
4	Na	19.9	13.3	34.5	23	16%
5	K	3.7	1.8	9.6	5	4%
6	Mg	11.6	1.5	6.5	7	5%
7	Mn	17.0	13.5	17.1	16	11%
8	Sb	4.8	1.5	6.9	4	3%
9	Pb	0.1	0.0	0.1	0	
10	Zn	0.2	0.1	0.6	0	
11	Al	0.9	0.1	2.5	1	
12	Cu	0.3	0.0	0.3	0	
13	Ba	0.5	0.5	0.5	0	
14	Ni	0.18	0.12	0.14	0	
15	I	0.03	0.00	0.10	0	

*Tabel 4 Membraanelement 2.6*

nr	element	mg/m2 instroom	midden	uitstroom	avg	percentage
		119	158	198	158	1
1	Fe	1.6	0.7	4.3	2	1%
2	Ca	78	105	134	105	67%
3	Si	2.4	4.4	6.1	4	3%
4	Na	22.4	25.6	28.7	26	16%
5	K	6.1	7.1	8.3	7	5%
6	Mg	2.3	1.8	2.4	2	1%
7	Mn	1.9	3.4	3.2	3	2%
8	Sb	2.0	8.4	7.6	6	4%
9	Pb	0.0	0.0	0.0	0	
10	Zn	0.3	0.2	0.2	0	
11	Al	0.5	0.4	0.8	1	
12	Cu	0.1	0.0	0.1	0	
13	Ba	0.1	0.1	0.2	0	
14	Ni	0.14	0.08	0.21	0	
15	I	0.01	0.25	0.24	0	

*Tabel 5 Membraanelement 3*

nr	element	mg/m2			avg	percentage
		instroom	midden	uitstroom		
		92	339	80	170	1
1	Fe	0.3	0.5	3.1	1	1%
2	Ca	18.0	266	15.8	100	59%
3	Si	5.3	3.8	5.7	5	3%
4	Na	49.8	34.2	32.0	39	23%
5	K	4.9	7.0	7.4	6	4%
6	Mg	5.6	17.2	3.5	9	5%
7	Mn	2.5	2.4	2.8	3	1%
8	Sb	4.2	6.3	6.7	6	3%
9	Pb	0.0	0.0	0.0	0	
10	Zn	0.2	0.1	0.1	0	
11	Al	0.4	0.3	0.8	1	
12	Cu	0.0	0.1	0.1	0	
13	Ba	0.1	0.1	0.1	0	
14	Ni	0.12	0.11	0.25	0	
15	I	0.03	0.12	0.14	0	

*Tabel 6 Membraanelement testbank 1*

nr	element	mg/m2			avg	percentage
		instroom	midden	uitstroom		
		4021	2456	2580	3019	1
1	Fe	1474	1041	801	1105	37%
2	Ca	2028	1015	1411	1485	49%
3	Si	331	261	222	271	9%
4	Na	36.0	29.9	39.6	35	1%
5	K	22.1	14.8	17.7	18	1%
6	Mg	40.6	26.6	27.4	32	1%
7	Mn	46.1	35.3	26.4	36	1%
8	Sb	6.9	6.5	8.1	7	0%
9	Pb	0.4	0.3	0.2	0	
10	Zn	2.2	1.6	1.6	2	
11	Al	11.3	8.6	9.0	10	
12	Cu	0.4	0.2	0.3	0	
13	Ba	8.8	6.1	5.6	7	
14	Ni	0.24	0.15	0.32	0	
15	I	1.77	0.97	1.25	1	



*Tabel 7 Membraanelement testbank 2*

nr	element	mg/m <sup>2</sup>			avg	percentage
		instroom	midden	uitstroom		
		2200	1731	112	1347	1
1	Fe	1090	947	59.5	699	52%
2	Ca	737	437	28.7	401	30%
3	Si	227	206	14.1	149	11%
4	Na	35.7	38.8	2.6	26	2%
5	K	24.4	28.0	1.2	18	1%
6	Mg	22.2	18.5	1.2	14	1%
7	Mn	36.2	30.2	2.1	23	2%
8	Sb	2.8	4.1	0.6	3	0%
9	Pb	0.3	0.2	0.0	0	
10	Zn	1.5	1.5	0.1	1	
11	Al	8.1	7.1	0.5	5	
12	Cu	0.3	0.3	0.0	0	
13	Ba	5.9	5.0	0.3	4	
14	Ni	0.20	0.25	0.02	0	
15	I	1.89	1.92	0.08	1	

# **XVII Analyseresultaten chemische- en fysische waterkwaliteit**

Datum	Ges. stoffen (mg/l)		UV-ext (/ml)			kleur (mg PtCo/l)			DOC (mg/l)			Retentie
	Voor NF pio4	Conc NF CNF-2	Perm NF gez PNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	
11-11-2004	<2											
15-11-2004	<2											
17-11-2004												
22-11-2004	2,1											
24-11-2004	2,1											
29-11-2004												
1-12-2004												
6-12-2004												
8-12-2004												
13-12-2004	<2											
15-12-2004	<2											
20-12-2004	<2											
22-12-2004	<2											
27-12-2004	<2											
5-1-2005	<2											
14-1-2005												
25-1-2005												
8-2-2005												
22-2-2005												
11-3-2005												
22-3-2005												
6-4-2005												
19-4-2005												
3-5-2005												
17-5-2005												
8-6-2005												
min												
max												
gemiddelde												

**Zelfde meting als monsterpunt na JF (puf-3)**

**Opmerkingen**

In die gevallen waarbij het resultaat van de meting in het permeaat onder de onderste analysegrens ligt (<) wordt als concentratie de helft van de onderste analysegrens genomen om de retentie te berekenen.

Datum	Zuurgraad			verzadigingsindex(Ber.) (SI)			Agres.Koolzuur (Ber.) (mg CO <sub>2</sub> /l)			Koolzuur(Ber.) (mg CO <sub>2</sub> /l)			Geleidingsvermogen, K20 (ms/m)			
	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie
11-11-2004	7,55	6,45											50	6	160	88%
15-11-2004	7,6	6,55	7,9										52	7	165	87%
17-11-2004	7,55	6,65											50	6	163	88%
22-11-2004	7,8	6,7											49	6	155	88%
24-11-2004	7,55	6,5	7,9	1,57	15,72	<0,5	15,3	16,1	25,2	-5%			51	7	168	86%
29-11-2004	7,65	6,5	7,95	2,22	ntb	<0,5	12,6	13,1	22,2	-4%			50	7	158	86%
1-12-2004	7,65	6,6	7,9	2,48	ntb	<0,5	12,6	13,2	21	-5%			50	6	160	88%
6-12-2004	7,6	6,55	7,95										50	7	161	86%
8-12-2004	7,6	6,35											50	6	156	88%
13-12-2004	7,55	6,45											51	7	159	86%
15-12-2004	7,55	6,45											49	6	155	88%
20-12-2004	7,6	6,45											49	7	156	86%
22-12-2004	7,5	6,45											49	6	158	88%
27-12-2004	7,5	6,35											49	7	158	86%
5-1-2005	7,6	6,7	8										49	7	159	86%
14-1-2005	7,65	6,4											49	7	160	86%
25-1-2005	7,7	6,65											49	7	160	86%
8-2-2005	7,6	6,6	7,85	ntb	ntb	ntb	ntb	ntb	ntb				55	7	160	87%
22-2-2005	7,6	6,7	7,95	ntb	13	< 1	ntb	13	25				48	7	152	85%
11-3-2005	7,7	6,7	8	ntb	10	< 1	ntb	11	18				49	7	154	86%
22-3-2005	7,55	6,75	7,95										49	8	152	84%
6-4-2005	7,6	7,6	7,6										48	8	143	83%
19-4-2005	7,7	6,7	8,00										49	8	150	84%
3-5-2005	7,7	6,8	8,10										50	9	156	82%
17-5-2005	7,75	6,7	8,05										50	9	160	82%
8-6-2005	7,6	7,47	ntb	2,6	4,8	ntb	9,9	13	16				48	16	225	67%
min	7,50	6,35	7,60	1,57	5	<0,5	10	8	13	-5%			48	6	143	67%
max	7,80	7,60	8,10	2,60	16	< 1	15	16	25	31%			55	16	225	88%
gemiddelde	7,62	6,65	7,93	2,22	11	<0,5	12	13	20	4%			50	7	160	85%

Zelfde meting als monsterpunt na UF (puif-3)

Datum	Waterstofcarbonaat (mg HCO <sub>3</sub> /l)			Carbonaat (mg CO <sub>3</sub> /l)			Chloride (mg/l)			Sulfaat (mg/l)			Natrium (mg/l)			Retentie		
	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4		Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2
11-11-2004	286	23	1038	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	75	11	260	75	11	260	85%
15-11-2004	298	26	1079	91%	67	12	200											82%
17-11-2004	296	25	1073	92%	<1	<1	<1											84%
22-11-2004	283	24	1006	92%														81%
24-11-2004	299	26	1124	91%	<1	<1	<1	30	2,5	105	92%	2,5		<5	64	12	240	81%
29-11-2004	296	25	1063	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				77	13	240	83%
1-12-2004	288	28	1034	90%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				74	13	250	83%
6-12-2004	278	23	1000	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				76	13	260	82%
8-12-2004	283	25	1023	91%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				76	13	250	83%
13-12-2004	286	24	1011	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				65	13	200	80%
15-12-2004	299	29	1069	90%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				77	12	250	84%
20-12-2004	287	24	1009	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				79	12	240	85%
22-12-2004	285	25	1004	91%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1				75	13	240	83%
27-12-2004	289	25	1035	91%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1							
5-1-2005	286	27	1010	91%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1							
14-1-2005	279	22	1026	92%	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1							
25-1-2005	280	26	1020	91%	<1	<1	<1	30,9	5,3	105	83%	<10	<10	<10	81	14	250	83%
8-2-2005	284	28	1028	90%	<1	<1	<1	30,4	6,3	105	79%	<10	<10	<10				
22-2-2005	273	26	952	90%	<1	<1	<1	32,4	6,4	105	80%	<10	<10	<10				
11-3-2005	279	27	977	90%	<1	<1	<1	30,4	2,5	100	92%	<10	<10	<10				
22-3-2005	282	30	1005	89%	<1	<1	<1	29,2	5,2	98,8	82%	<10	<10	<10				
6-4-2005	280	33	984	88%	<1	<1	<1	29,9	6,3	98,4	79%	<10	<10	<10				
19-4-2005	277	32	948	88%	<1	<1	<1	29,4	5,5	97,6	81%	<10	<10	<10				
3-5-2005	283	35	1011	88%	<1	<1	<1	30	7,2	99,4	76%	<10	<10	<10				
17-5-2005	286	35	1017	88%	<1	<1	<1	30	7,1	100	76%	<10	<10	<10				
8-6-2005	282	73	ntb	74%	<1	<1	<1	32	12	140	63%	<10	<10	<10				
min	273	22	948	74%	<1	<1	<1	29	2,5	98	63%				64	11	200	80%
max	299	73	1124	92%	67	12	200	32	12	140	92%				81	64	260	85%
gemiddelde	286	29	1022	90%	<1	<1	<1	30	6	105	80%	<10	<10	<10	74	16	244	83%

Datum	Kalium (mg/l)			Calcium (mg/l) aangezuurd/opgelost			Magnesium (mg/l)			Totale hardheid (Ber.) (mmol/l)		
	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie
11-11-2004	2,4	0,3	9,3	88%	30	2,5	110	92%	9,4	0,25	37	97%
15-11-2004	2,4	0,5	9	79%	38	2,5	130	92%	11	0,25	40	98%
17-11-2004	2,3	0,3	7,7	87%	33	2,5	130	92%	11	0,25	40	98%
22-11-2004	2,2	0,3	8,4	86%	28	2,5	98	91%	9,1	0,25	36	97%
24-11-2004	2,3	0,4	8,7	83%	39	2,5	140	94%	9,5	0,25	37	97%
29-11-2004	2	0,3	7	85%	29	2,5	100	91%	8,9	0,25	38	97%
1-12-2004	2,3	0,3	8,5	87%	30	2,5	110	92%	9,8	0,25	38	97%
6-12-2004	2,3	0,4	9	83%	30	2,5	110	92%	9,8	0,25	38	97%
8-12-2004	2,3	0,4	8,9	83%	30	2,5	110	92%	9,8	0,25	37	97%
13-12-2004	2,3	0,4	8,4	83%	31	2,5	110	92%	9,7	0,25	36	97%
15-12-2004	2,3	0,5	8,1	78%	40	2,5	150	94%	9,6	0,25	40	97%
20-12-2004	2,4	0,4	8,9	83%	28	2,5	96	91%	9,4	0,25	35	97%
22-12-2004	2,4	0,4	8,8	83%	27	2,5	95	91%	9,6	0,25	38	97%
27-12-2004	2,4	0,4	8,7	83%	28	2,5	97	91%	9,3	0,25	34	97%
5-1-2005	1,9	0,3		84%	31	2,5	130	92%	9,9	0,25		97%
14-1-2005					34	2,5	130	93%				
25-1-2005	2	0,3	6,3	85%	31	2,5	120	92%	10	0,25	36	98%
8-2-2005					31	2,5	130	92%	10	0,25		98%
22-2-2005					38	2,5	150	93%				
11-3-2005						2,5	110					
22-3-2005					<5	<5						
6-4-2005												
19-4-2005												
3-5-2005												
17-5-2005												
8-6-2005					30	2,5	190	92%				
min	1,9	0,3	6,3	78%	<5	<5	95	91%	8,9	<0,5	34	97%
max	2,4	0,5	9,3	88%	40	<5	190	94%	11	<0,5	40	98%
gemiddelde	2,3	0,4	8,4	84%	32	<5	121	92%	9,8	<0,5	37	97%

**Zelfde meting als monsterpunt na JF (puif-3)**

#### Opmerkingen

In die gevallen waarbij het resultaat van de meting in het permeaat onder de onderste analysegrens ligt (<) wordt als concentratie de helft van de onderste analysegrens genomen om de retentie te berekenen.

Datum	Nitraat (mg NO <sub>3</sub> /l)			Totaal fosfaat (mg PO <sub>4</sub> /l)			Kieselzuur (mg Si/l)			Ijzer (mg Fe/l)			Retentie		
	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie			
11-11-2004															
15-11-2004															
17-11-2004															
22-11-2004															
24-11-2004															
29-11-2004	12	7,8	24	35%	<0,15	<0,15	0,01		<0,01	<0,01	<0,01				
1-12-2004															
6-12-2004									15	4,9	43	67%			
8-12-2004									15	5	43	67%			
13-12-2004									15	4,8	41	68%			
15-12-2004									15	4,9	42	67%			
20-12-2004									15	6	42	60%			
22-12-2004									16	5,1	43	68%			
27-12-2004									14	4,7	42	66%			
5-1-2005															
14-1-2005															
25-1-2005															
8-2-2005															
22-2-2005															
11-3-2005															
22-3-2005	12	8	22	33%											
6-4-2005	11	7,9	20												
19-4-2005	11	8,2	22	25%	0,36	0,03	0,51	92%							
3-5-2005	11	8	23	27%											
17-5-2005	12	8,1	22	33%	0,54	0,01	1,9	98%							
8-6-2005	12	9,4	27	22%											
min	11	7,8	20	22%	0,36	0,01	0,51	92%	<0,01	<0,01	0,01	60%	<0,01	-50%	
max	12	9,4	27	35%	0,54	0,03	1,9	98%	16	6,0	43	68%	0,06	0,03	92%
gemiddelde	12	8,2	23	29%	0,45	0,02	1,2	95%	15	5,1	37	66%	0,01	0,02	51%

**Zelfde meting als monsterpunt na JF (puf-3)**

#### Opmerkingen

In die gevallen waarbij het resultaat van de meting in het permeaat onder de onderste analysegrens ligt (<) wordt als concentratie de helft van de onderste analysegrens genomen om de retentie te berekenen.

Datum	Mangaan (mg Mn/l)			Aluminium (µg Al/l)			Antimoon (µg Sb/l)			Arseen (µg As/l)			Barium (µg Ba/l)			Retentie
	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF pio4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	
11-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										34	8,5	97	75%
15-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										46	6,5	117	86%
17-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										36	9	113	75%
22-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										32	6	90	81%
24-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										36	6,5	113	82%
29-11-2004	<0,01	<0,01	<0,01										32	9,5	93	70%
1-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	38	20	103	47%
6-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	37	6	103	84%
8-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	32	2,5	100	92%
13-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	34	8,5	94	75%
15-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	37	6,5	117	82%
20-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	31	7,5	89	76%
22-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	31	7,5	82	76%
27-12-2004	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	30	9,5	93	68%
5-1-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	3,5	1	8	1	8	31	1	120	97%
14-1-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	2,5	1	8	1	8	26	1	97	96%
25-1-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	1	1	100	
8-2-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	24	1	91	96%
22-2-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	28	1	100	96%
11-3-2005				<5	<5	<5	<3									
22-3-2005	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3									
6-4-2005				<5	<5	<5	<3									
19-4-2005				<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	24	1	89	96%
3-5-2005				<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	25	1	100	96%
17-5-2005				<5	<5	<5	<3	<2	<2	<2	<2	<2	24	1	89	96%
8-6-2005								<2	<2	<2	<2	<2	24	1	82	47%
min								3,5	<2	8	<2	<2	46	20	120	97%
max								<2	<2	5	<2	<2	32	6	100	83%
gemiddelde	<0,01	<0,01	<0,01	<5	<5	<5	<3	<2	<2	5	<2	<2	32	6	100	83%





Datum	Koper (µg Cu/l)			Kwik (µg Hg/l)			Lood (µg Pb/l)			Molybdeen (µg Mo)			Nikkel (µg Ni/l)			Retentie	
	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2		
11-11-2004	<1	<1	2												<2	<2	
15-11-2004	1,5	3,5	2												<2	<2	
17-11-2004	1,5	0,5	2												<2	<2	60%
22-11-2004	<1	<1	2												<2	1	3
24-11-2004	<1	<1	2,5												<2	<2	2
29-11-2004	<3	<3	<3												<2	<2	<2
1-12-2004	<1	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2	<2	<2
6-12-2004	<1	<1	<1	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2	<2	<2
8-12-2004	2	1	3	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<1	<1	<1	<1	6	2,5	<2	<2	58%
13-12-2004	<1	<1	1,5												<2	<2	2
15-12-2004	<1	<1	1,5												<2	<2	<2
20-12-2004	<1	<1	1,5												<2	<2	<2
22-12-2004	<1	<1	2												<2	<2	<2
27-12-2004	1	<1	2,5												<2	2,5	3,5
5-1-2005															<2	<2	<2
14-1-2005	19	15	6												<2	<2	<2
25-1-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
8-2-2005															<2	<2	<2
22-2-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
11-3-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
22-3-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
6-4-2005															<2	<2	<2
19-4-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
3-5-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
17-5-2005	<5	<5	<5												<2	<2	<2
8-6-2005	<1	<1	<1												<2	<2	0%
min																	
max	19	15	6												6,0	2,5	3,5
gemiddelde	5	5	2	<0,05	<0,05	<0,05	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<2	<2	39%

Datum	Selenium (µg Se/l)			Strontium (µg Sr/l)			Vanadium (µg V/l)			Zilver (µg Ag/l)			Zink (µg Zn/l)			Retentie
	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	
11-11-2004				143	0,5	529	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
15-11-2004				184	0,5	699	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
17-11-2004				161	0,5	626	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
22-11-2004				137	0,5	477	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
24-11-2004				188	0,5	656	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
29-11-2004				144	0,5	564	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
1-12-2004	2	<2	<2	132	0,5	557	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
6-12-2004				146	0,5	567	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
8-12-2004				153	0,5	559	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
13-12-2004			2	150	0,5	476	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
15-12-2004			<2	190	0,5	718	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
20-12-2004			<2	135	0,5	475	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
22-12-2004			<2	130	0,50	448	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
27-12-2004			<2	141	0,5	484	100%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
5-1-2005			<2	150	3,5	560	98%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
14-1-2005			<2	160	3	620	98%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
25-1-2005			<2	150	3	600	98%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2
8-2-2005			<2	150	3	580	98%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,5
22-2-2005			<2	160	5	570	97%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	2,5
11-3-2005			<2	140	5	540	96%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
6-4-2005			<2	160	6	630	96%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
19-4-2005			<2	150	5,5	550	96%	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
3-5-2005			<2	130	0,5	448	96%									
17-5-2005			<2	190	6	718	100%									
8-6-2005			<2	152	2	568	99%									
min																
max																
gemiddelde																

**Opmerkingen**

In die gevallen waarbij het resultaat van de meting in het permeaat onder de onderste analysegrens ligt (<) wordt als concentratie de helft van de onderste analysegrens genomen om de retentie te berekenen.

Datum	Fluoride (mg F/l)			totaal C.Z.V. (mg O <sub>2</sub> /l)			Tin (µg Sn/l)			Nitriet (mg NO <sub>2</sub> /l)				
	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PNF-2	Conc NF CNF-2	Retentie	Voor NF plo4	Perm NF gez PUF-2	Conc NF CNF-2	Voor NF plo4	Perm NF gez PUF-2	Conc NF CNF-2
11-11-2004														
15-11-2004														
17-11-2004														
22-11-2004	0,08	0,025	0,27	69%										
24-11-2004														
29-11-2004														
1-12-2004														
6-12-2004														
8-12-2004														
13-12-2004														
15-12-2004														
20-12-2004														
22-12-2004														
27-12-2004														
5-1-2005									< 1	< 1	< 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01
14-1-2005									< 1	< 1	< 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01
25-1-2005														
8-2-2005														
22-2-2005	0,09	0,025	0,28	72%	21	5	74	76%						
11-3-2005														
22-3-2005	0,08	0,025	0,025	69%	20		78	100%						
6-4-2005														
19-4-2005	0,08	0,025	0,24	69%	57	5	80	91%						
3-5-2005	0,08	0,025	0,17	69%										
17-5-2005	0,08	0,025	0,06	69%	20	5	74	75%						
8-6-2005														
min	0,08	< 0,05	0,03	69%	20	5	74	75%						
max	0,09	< 0,05	0,28	72%	57	5	80	100%						
gemiddelde	0,08	< 0,05	0,17	69%	30	5	77	86%	< 1	< 1	< 1	< 0,01	< 0,01	< 0,01

#### Opmerkingen

In die gevallen waarbij het resultaat van de meting in het permeaat onder de onderste analysegrens ligt (<) wordt als concentratie de helft van de onderste analysegrens genomen om de retentie te berekenen.

Datum	MFI '93		MFI '04		Troe (FTU) reinwater	Gesuspendeerde stoffen (mg/l)		DOC (mg/l)		UV-ext (l/m)		kleur (mg PtCo/l)	
	Voor UF vuf-3	Voor UF vuf-3	Voor UF vuf-3	Voor UF vuf-3		Na UF puf-3	Verwijdering	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3
11-11-2004	<2	<2	<2	<2									
15-11-2004	<2	<2	<2	<2									
17-11-2004	<2	<2	<2	<2									
22-11-2004	2,5	1	60%										
24-11-2004	<2	<2											
29-11-2004	<2	<2											
1-12-2004	<2	<2											
6-12-2004	<2	<2											
8-12-2004	<2	<2											
13-12-2004	<2	<2											
15-12-2004	<2	<2											
20-12-2004	<2	<2											
22-12-2004	<2	<2											
27-12-2004	<2	<2											
29-12-2004	<2	<2											
5-1-2005	<2	<2											
14-1-2005	<2	<2											
25-1-2005	6,41	0,158	6,79	0,158			6,9	7,2	18	16	11%	15	13%
28-1-2005	7,17	0,276	7,50	0,276									
1-2-2005	<2	<2	<2	<2									
8-2-2005	4,01	0,173	5,04	0,173			7,8	7,6	3%	18	3%	13	-8%
15-2-2005	<2	<2	<2	<2			6,2	6,6	-6%	20	-6%	16	0%
22-2-2005	6,04	0,146	6,58	0,146			7,2	7,4	-3%	20	0%	16	0%
1-3-2005	<2	<2	<2	<2									
11-3-2005	8,76	0,172	10,51	0,172									
15-3-2005	7,26	0,157	7,83	0,157			8,1	7,9	2%				
22-3-2005	6,24	0,182	7,20	0,182									
29-3-2005	12,24	0,207	12,84	0,207			7,6	8,3	-9%	21	5%	16	0%
6-4-2005	3,14	0,159	3,54	0,159									
15-4-2005	11,39	0,128	13,97	0,128			7,5	7,4	1%	20	-5%	17	0%
19-4-2005	5,35	0,186	5,78	0,186			7,4	7,4	0%	21	5%	17	6%
3-5-2005	5,30	0,161	5,21	0,161			7,6	7,5	1%	21	5%	17	6%
17-5-2005	5,58	0,163	5,09	0,163			7,7	7,2	6%	20	0%	16	-6%
14-6-2005	3,14	0,128	3,54	0,128			6,20	6,60	-9%	18	-5%	13	-8%
min	12,2	0,276	14,0	0,276			8,10	8,30	6%	21	11%	17	13%
max	6,84	0,174	7,53	0,174	<2	<2	7,40	7,45	-1%	20	3%	16	1%
gemiddelde													

gm = geen monster

Datum	Zuurgraad		Geleidingsvermogen, K20 (mS/m)		Waterstofcarbonaat (mg HCO <sub>3</sub> /l)		Natrium (mg Na/l)		Kalium (mg K/l)	
	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3
11-11-2004	7,5	7,6	50	50	287	285	75	76	2,4	2,5
15-11-2004	7,6	7,55	51	52	296	304				
17-11-2004	7,5	7,6	51	50	301	292	64	73	2,3	2,4
22-11-2004	7,7	7,8	49	49	293	283				
24-11-2004	7,55	7,6	51	51	309	300	70	69	2,3	2,3
29-11-2004	7,6	7,7	50	50	299	294				
1-12-2004	7,6	7,7	50	50	288	288	77	77	2,3	2,3
6-12-2004	7,55	7,65	50	50	277	289				
8-12-2004	7,6	7,65	50	50	282	282	73	72	2,3	2,3
13-12-2004	7,5	7,5	50	50	285	285				
15-12-2004	7,5	7,55	51	52	302	306	64	61	2,3	2,4
20-12-2004	7,55	7,65	49	49	285	285				
22-12-2004	7,5	7,6	49	49	284	284	78	79	2,4	2,4
27-12-2004	7,5	7,6	49	49	286	285				
29-12-2004	7,55	7,65	49	49	290	291	76	77	2,4	2,4
5-1-2005		7,65	49	49						
14-1-2005	7,65	7,7	49	49	282	283				
25-1-2005	7,55	7,7	50	50	281	284				
28-1-2005										
1-2-2005										
8-2-2005	7,6	7,55	62	50	287	285				
15-2-2005										
22-2-2005	7,7	7,6	48	48	274	273				
1-3-2005										
11-3-2005	7,65	7,7	48	48	275	276				
15-3-2005										
22-3-2005	7,6	7,55	48	48	282	283				
29-3-2005										
6-4-2005	7,6	7,6	48	48	280	279				
15-4-2005										
19-4-2005	7,65	7,7	49	49	280	280				
3-5-2005	7,7	7,7	50	50	287	286				
17-5-2005	7,55	7,6	50	50	283	283				
18-5-2005										
8-6-2005	7,3	7,55	50	49	280	281				
14-6-2005										
min	7,3	7,5	48	48	274	273	64	61	2,3	2,3
max	7,7	7,8	62	52	309	306	78	79	2,4	2,5
gemiddelde	7,6	7,6	50	50	287	286	72	73	2,3	2,4

gm = geen monster

-4%

2,3

2,4

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

-14%

73

2,3

0%

286

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

2,3

5%

79

2,4

3%

306

0,1%

287

0,7%

287

0,1%

286

-4%

2,3

Datum	Calcium (mg Ca/l)			Magnesium (mg Mg/l)			Totale hardheid (Ber.) (mmol/l)			IJzer (mg Fe/l)			Mangaan (mg Mn/l)		
	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Verwijdering	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Verwijdering	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Verwijdering	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	Verwijdering	Voor UF vuf-3	Na UF puf-3	
11-11-2004	30	31	-3%	9,4	9,5	-1%	1,14	1,16	-2%	0,03	0,005	83%	<0,01	<0,01	
15-11-2004															
17-11-2004	39	33	15%	12	10	17%	1,48	1,27	14%	0,01	0,005	50%	<0,01	<0,01	
22-11-2004															
24-11-2004	38	40	-5%	9,4	9,6	-2%	1,34	1,39	-4%	0,02	0,005	75%	<0,01	<0,01	
29-11-2004	30	31	-3%	9,8	10	-2%	1,17	1,19	-2%	0,02	0,005	75%	<0,01	<0,01	
6-12-2004															
8-12-2004	30	30	0%	9,7	9,6	1%				0,02	0,01	50%	<0,01	<0,01	
13-12-2004															
15-12-2004	42	44	-5%	10	12	-20%				0,01	0,005	50%	<0,01	<0,01	
20-12-2004															
22-12-2004	28	27	4%		9,6					0,02	0,005	75%	<0,01	<0,01	
27-12-2004															
29-12-2004	26	26	0%	9,3	9,2	1%				0,02	0,005	75%	<0,01	<0,01	
5-1-2005															
14-1-2005	30	30	0%							0,03	0,02	33%			
25-1-2005															
28-1-2005															
1-2-2005															
8-2-2005										0,05	0,005	90%			
15-2-2005															
22-2-2005										0,02	0,005	75%			
1-3-2005															
11-3-2005										0,02	0,005	75%			
15-3-2005															
22-3-2005										0,02	0,005	75%			
29-3-2005															
6-4-2005										0,07	0,005	93%		< 0,01	
15-4-2005															
19-4-2005										0,05	0,005	90%			
3-5-2005										0,08	0,005	94%			
17-5-2005										0,02	0,01	50%			
18-5-2005															
8-6-2005										0,02	0,005	75%			
14-6-2005															
min	26	26	-5%	9,3	9,2	-20%	1,14	1,16	-4%	0,01	0,005	33%			
max	42	44	15%	12	12	17%	1,48	1,39	14%	0,08	0,020	94%			
gemiddelde	33	32	0,3%	9,9	9,9	-1%	1,28	1,25	2%	0,03	0,007	71%	<0,01	<0,01	





Datum	Molybdeen (µg Mo)		Nikkel (µg Ni/l)		Seleen (µg Se/l)		Strontium (µg Sr/l)		Vanadium (µg V/l)		Zilver (µg Ag/l)		Zink (µg Zn/l)		Tin (µg Sn/l)	
	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF	Voor UF	Na UF
11-11-2004	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 2	puf-3	< 1	puf-3
15-11-2004																
17-11-2004																
22-11-2004																
24-11-2004																
29-11-2004																
1-12-2004																
6-12-2004																
8-12-2004																
13-12-2004																
15-12-2004																
20-12-2004																
22-12-2004																
27-12-2004																
29-12-2004																
5-1-2005																
14-1-2005																
25-1-2005																
28-1-2005																
1-2-2005																
8-2-2005																
15-2-2005																
22-2-2005																
1-3-2005																
11-3-2005																
15-3-2005																
22-3-2005																
29-3-2005																
6-4-2005																
15-4-2005																
19-4-2005																
3-5-2005																
17-5-2005																
18-5-2005																
8-6-2005																
14-6-2005																
min																
max																
gemiddelde	< 2		< 2		< 2		160		< 2		< 2		< 2	2	170	< 1