

BTO 2016.202(s) | Februari 2016

BTO rapport

Legionellagroei­potentie
van (geremineraliseerd)
RO-water

BTO

Legionellagroeiopotentie van (geremineraliseerd) RO-water

BTO 2016.202(s) | Februari 2015

Opdrachtnummer

400879

Projectmanager

L.M. (Luc) Hornstra

Opdrachtgever

BTO - Speerpuntonderzoek

Kwaliteitsborger

P.W.J.J. (Paul) van der Wielen

Auteur

K.L.G. (Kimberly) Learbuch

Verzonden aan

Oasen

Jaar van publicatie
2016

Meer informatie

Kimberly Learbuch MSc.
T +31 (0)30 60 69 599
E kimberly.learbuch@kwrwater.nl

Keywords

Legionella, nagroei,
microbiologische waterkwaliteit,
Reverse Osmosis, PE
leidingmateriaal

PO Box 1072
3430 BB Nieuwegein
The Netherlands

T +31 (0)30 60 69 511
F +31 (0)30 60 61 165
E info@kwrwater.nl
I www.kwrwater.nl



Watercycle
Research
Institute

BTO | Februari 2016 © KWR

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 enig andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

BTO Managementsamenvatting

Verlagen legionellagroeiopotentie van drinkwater mogelijk door gebruikmaking van geremineraliseerd RO-water

Auteur Kimberly Learbuch, MSc.

Grondwater dat is behandeld op locatie Kamerik met reverse osmose membraanfiltratie (RO) en vervolgens geremineraliseerd veroorzaakt niet tot nauwelijks groei van *Legionella pneumophila*. Dat blijkt uit onderzoek naar legionellagroeiopotentie (LGP) van geremineraliseerd RO-water dat in een proefinstallatie is geproduceerd. De leidingmaterialen PVC-P, PE-Xb, PE-Xc en PE-100 bevorderen nog wel steeds de groei van *L. pneumophila* wanneer ze in contact staan met geremineraliseerd RO-water. Dat komt door de groeibevorderende stoffen die uit deze materialen vrijkomen. Het onderzoek is uitgevoerd binnen het SPO van Oasen en past binnen de ontwikkeling dat het drinkwaterbedrijf op locatie Kamerik geremineraliseerd RO-water wil gaan distribueren naar klanten.



Boiler biofilm monitor (BBM)

Belang: meer kennis over legionellagroepotentie van (gereminaliseerd) RO-water

Oasen is van plan om op locatie Kamerik RO toe te passen voor de productie van drinkwater. Distributie van gereminaliseerd RO-water leidt naar verwachting niet langer tot groei van *L. pneumophila*. Deze hypothese is op locatie Kamerik getest door de legionellagroepotentie (LGP) van het huidige drinkwater te vergelijken met de LGP van RO-water en gereminaliseerd RO-water dat is geproduceerd met een proefinstallatie. Daarnaast is de LGP achterhaald van verschillende leidingmaterialen dat onder statische condities in contact staat met gereminaliseerd RO-water.

Aanpak: boilerbiofilmmonitor (BBM) en materialentest

De LGP van de verschillende watertypen is bepaald met boilerbiofilmmonitoren (BBM) die werden aangesloten op (gereminaliseerd) RO-water in de proefinstallatie en op het huidige reinwater van zuiveringsstation Kamerik. Door middel van een materialentest waarbij het water wekelijks werd ververs met gereminaliseerd RO-water is de LGP bepaald van verschillende leidingmaterialen. In beide experimenten werd *Legionella pneumophila* geënt, waarna in de tijd monsters werden genomen en ingezet op *L. pneumophila*.

Resultaten: LGP in (gereminaliseerd) RO-water ligt lager dan in reinwater

Uit het onderzoek blijkt dat zowel RO-water als gereminaliseerd RO-water een lagere legionellagroepotentie (LGP) hebben dan het huidige reinwater van het zuiveringsstation van Kamerik. De LGP van het (gereminaliseerde) RO-water is vergelijkbaar met de laagste waarde die tot nu toe in het Nederlandse drinkwater is waargenomen.

Het gereminaliseerde RO-water voorkomt echter niet dat *L. pneumophila*

zich weet te vermeerderen op leidingmaterialen die een hoge groeipotentie hebben (PVC-P, PE-Xb, PE-Xc en PE-100). Op deze materialen werd ook een relatief hoge biofilmconcentratie (ATP) waargenomen.

Implementatie: herhaal analyses met full-scale RO-zuivering

Aangezien de proefinstallatie laat zien dat de LGP van (gereminaliseerd) RO-water laag is, is het belangrijk het onderzoek te herhalen wanneer de full-scale RO-zuivering in bedrijf is. Daarnaast is het van belang om het gebruik van PE-materialen zoveel mogelijk te beperken in het distributiesysteem (vanwege de relatief hoge biomassavorming van PE in contact met gereminaliseerd RO-water) of binneninstallatie (vanwege de hoge groeipotentie voor *L. pneumophila*) wanneer gereminaliseerd RO-water wordt gedistribueerd

Rapport

Dit Speerpuntonderzoek voor Oasen is beschreven in rapport BTO 2016.202(s): *Legionellagroepotentie van (gereminaliseerd) RO-water*

Inhoud

Inhoud	4
1 Inleiding	5
1.1 Introductie	5
1.2 Doel van het onderzoek	6
2 Materiaal en methoden	7
2.1 Legionellagroeiopotentie water	7
2.2 Legionellagroeiopotentie materialen	8
2.3 Analyses	9
3 Resultaten	10
3.1 Legionellagroeiopotentie (geremineraliseerd) RO-water en reinwater zs Kamerik	10
3.2 Legionellagroeiopotentie van materialen in contact met geremineraliseerd RO-water	14
4 Discussie	20
4.1 Legionellagroeiopotentie BBM	20
4.2 Legionellagroeiopotentie materialen	22
4.3 Vergelijking legionellagroeiopotentie water en materialen	23
5 Conclusies en aanbevelingen	26
5.1 Conclusies	26
5.2 Aanbevelingen	26
6 Referenties	27
Bijlage I Resultaten materialentest 2015	28
Bijlage II Resultaten materialentest 2007	30

1 Inleiding

1.1 Introductie

Oasen wil op locatie Kamerik grondwater gaan behandelen met reverse osmose membraanfiltratie, waarna het water na een remineralisatiestap wordt gedistribueerd naar de klanten. Het voordeel van reverse osmose is dat vrijwel alle stoffen uit het water worden verwijderd. Hierdoor zullen biologisch afbreekbare stoffen waarschijnlijk niet of nauwelijks meer in het drinkwater aanwezig zijn, waardoor biofilmvorming op inerte materialen zeer laag zal zijn.

De verwachting is dat door de lage biofilmvorming, als resultaat van gebruik van geremineriseerd RO-water, er ook geen vermeerdering van *Legionella pneumophila* kan optreden en er dus *L. pneumophila* veilig drinkwater wordt gedistribueerd. Elk jaar worden er in Nederland ongeveer 350 mensen ziek door Legionella. De oorzaak ligt niet alleen bij (drink)water, maar ook andere bronnen (bv. koeltorens) kunnen legionellose veroorzaken. *L. pneumophila* is de voornaamste veroorzaker van legionellapneumonie ("veteranenziekte") en kan zich vermeerderen (in water) bij temperaturen tussen de 30 en 42°C. In water groeit *L. pneumophila* alleen in aanwezigheid van bepaalde vrijlevende protozoasoorten die optreden als gastheer voor de vermeerdering van *L. pneumophila* (Kuiper et al. 2004). Vrijlevende protozoa voeden zich in het drinkwaterdistributiesysteem met bacteriën die groeien in een biofilm. Bij opname van *L. pneumophila* door een gastheerprotozo is *L. pneumophila* in staat om niet te worden verteerd door de protozo, maar om zich te vermeerderen in deze protozo. Hierdoor raakt de protozo zo vol met *L. pneumophila* cellen dat de protozocel op een gegeven moment knapt en de *L. pneumophila* cellen weer vrijkomen in het watersysteem. Vervolgens kunnen deze vrijgekomen *L. pneumophila* cellen weer worden opgenomen door andere gastheerprotozoa, waarna de cyclus zich herhaalt.

De legionellagroeiopotentie (LGP) van water kan worden bepaald met de boiler biofilm monitor (BBM). Deze BBM bootst de binneninstallatie na door water met een temperatuur van 38°C periodiek door een biofilmmonitor te laten stromen. Bij een temperatuur van 38°C kan *L. pneumophila* zich goed vermeerderen. De BBM is in het verleden toegepast voor een aantal drinkwatertypen en daaruit is gebleken dat de hoeveelheid afbreekbare stoffen in het water (AOC) een relatie heeft met de LGP (van der Kooij & Veenendaal, 2011).

Leidingmaterialen die in het distributiesysteem en drinkwaterinstallatie worden gebruikt, kunnen echter ook groeibevorderende stoffen afgeven, wat ook leidt tot biofilmvorming van bacteriën op de buiswand (van der Kooij, 1999; Hamsch et al. 2014). Eerdere experimenten hebben laten zien dat deze biofilmvorming ook kan leiden tot vermeerdering van *L. pneumophila* wanneer het materiaal in contact staat met drinkwater bereid uit grondwater dat is behandeld met een klassieke zuivering (van der Kooij et al. 2002; 2005; 2008). Het is echter onduidelijk in hoeverre leidingmateriaal groei van *L. pneumophila* kan veroorzaken wanneer het in contact staat met geremineriseerd RO-water.

Het project is in twee delen uitgevoerd om zo meer duidelijkheid te verkrijgen in hoeverre het water en materiaaltype een bijdrage levert aan vermeerdering van *L. pneumophila* in drinkwaterinstallaties die worden gevoed met (geremineriseerd) RO-water.

1.2 Doel van het onderzoek

1.2.1 Legionellagroeiopotentie en RO-water

Het doel van het eerste deel is om de legionellagroeiopotentie van RO-water en geremineraliseerd RO-water, dat wordt geproduceerd in de proefinstallatie bij Kamerik, te bepalen met de boilerbiofilmmonitor en deze te vergelijken met de legionellagroeiopotentie van het huidige reinwater van zs Kamerik dat wordt geproduceerd met een 'klassieke' grondwaterzuivering.

1.2.2 Legionellagroeiopotentie van materialen in contact met geremineraliseerd RO-water

Het doel van het tweede deel is om te achterhalen in hoeverre verschillende leidingmaterialen groei van *L. pneumophila* kunnen veroorzaken in een statische batchtest (BPP-test) met geremineraliseerd RO-water.

2 Materiaal en methoden

2.1 Legionellagroeiopotentie water

De boiler biofilm monitor (BBM), te zien in Figuur 1, bevat een boiler (30 liter) die drie keer per uur gedurende 20 seconden zorgt voor doorspoeling van biofilmmonitoren met 1,5 tot 2 liter van het te onderzoeken (drink)water, waarbij het water door menging van koud en warm (70°C) water een temperatuur heeft van 38°C. De biofilmmonitoren zijn gevuld met glazen ringen en zijn geplaatst in een kast, waarin de temperatuur op 38°C wordt gehandhaafd en toetreding van licht wordt verhinderd. Er worden ringen gebruikt van een inert materiaal (glas) zodat het materiaal geen invloed heeft op de uitkomsten.



Figuur 1. Boiler biofilm monitor (BBM).

Twee BBM's werden aangesloten op RO-water en geremineraliseerd RO-water in de proefinstallatie van zuiveringsstation Kamerik en hadden een looptijd van 163 dagen (27-3-2015/9-9-2015), met elf meetmomenten. De derde BBM werd aangesloten op het huidige reinwater van zs Kamerik en is op hetzelfde moment gestart, maar door uitval van deze BBM na een stroomstoring is deze BBM later opnieuw gestart en had daardoor een looptijd van 104 dagen (26-6-15/8-10-15), met zeven meetmomenten.

Ongeveer twee weken na het opstarten wordt de BBM geïnoculeerd met *L. pneumophila*. Hiervoor wordt in de leiding na het mengventiel een stukje siliconenslang (ca. 1,5 cm) geplaatst, waarop *L. pneumophila* (serogroep 1, sequentietype 1) en andere micro-organismen (protozoa en bacteriën) zijn gekweekt door incubatie in leidingwater.

Periodiek (één keer per 14 dagen) zijn er ringen uit de biofilmmonitor genomen, in duplo, voor onderzoek van de biofilmconcentratie (ATP) en aantallen kolonievormende eenheden van *Legionella*. Tevens is het inkomende water bemonsterd en het water na het mengventiel, ook hier is ATP van bepaald en aantallen kolonievormende eenheden van *Legionella*.

Met behulp van de ATP-concentraties wordt de biofilmvormingspotentie (BVP-BBM) ($\mu\text{g ATP cm}^{-2}$) van het water bepaald door het 90-percentiel van de ATP-concentraties van de biofilm in de BBM gedurende de meetperiode te berekenen. De legionellagroepotentie (LGP-BBM) van het water wordt bepaald door het 90-percentiel te berekenen van het aantal kolonievormende eenheden per cm^2 in de biofilm in de BBM gedurende de meetperiode.

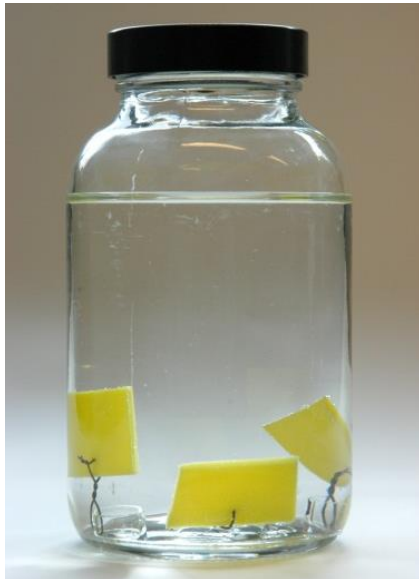
2.2 Legionellagroepotentie materialen

Voor de bepaling van de biomassaproductie (BPP) van materialen is bij KWR een werkwijze gestandaardiseerd. Vijf materialen (koper, PE-Xb, PE-Xc, PVC-C en PE-100), een negatieve controle (glas) en een positieve controle (PVC-P) zijn hiermee geanalyseerd (zie tabel 1 voor een overzicht van gebruik en oorsprong van de materialen). De materialen zijn in stukken met de juiste oppervlakte (25 cm^2) gesneden en zes stukken (totaal oppervlakte 150 cm^2) zijn toegevoegd aan flessen met 900 ml geremineraliseerd RO-water van de pilotzuivering bij Kamerik (Figuur 2). De flessen zijn vervolgens geïncubeerd bij 37°C en wekelijks ververs met geremineraliseerd RO-water van de proefinstallatie bij Kamerik. Na 16 weken zijn er monsters genomen om met behulp van ATP de biofilmhoeveelheid op het materiaal te bepalen. Vervolgens werden de flessen geïnculeerd met *L. pneumophila* serogroep 1, sequentietype 1 en werd het water twee weken niet ververs. Daarna vond weer wekelijkse verversing plaats met geremineraliseerd RO-water van de pilotzuivering bij Kamerik. Na 24, 28 en 32 weken worden materiaalstukjes en water onderzocht op ATP en *Legionella*. De materialentest heeft dus in totaal 32 weken geduurd. De eerste 16 weken waren hierbij nodig om een relatief stabiele biofilmhoeveelheid op de materialen te krijgen, zodat een meer natuurlijke situatie in het distributiesysteem of binnenhuisinstallatie wordt nagebootst.

TABEL 1. OVERZICHT VAN DE ONDERZOCHE LEIDINGMATERIALEN.

Test materiaal	Gebruik	Oorsprong
Negatieve controle (glas)		Voorraad
Positieve controle (PVC-P)		Voorraad
Koper	Binnenhuisinstallatie	Voorraad
PE-Xb	Binnenhuisinstallatie	Voorraad
PE-Xc	Binnenhuisinstallatie	Voorraad
PVC-C	Distributiesysteem	Verkregen van Oasen
PE-100	Distributiesysteem	Verkregen van Oasen

Op basis van ATP kan de biofilmvormingspotentie van het materiaal (BVP-mat) worden bepaald. De BVP-mat is de gemiddelde concentratie van de biomassa op het materiaal (attached biomass, AB). De BPP-waarde is de BVP-concentratie plus de concentratie van de biomassa in het water (suspended biomass, SB), berekend op basis van de oppervlakte/volume- verhouding van het materiaal in de test. De LGP-mat (Legionellagroepotentie) is het gemiddelde van het aantal kolonievormende eenheden per cm^2 in de biofilm van het materiaal gedurende de meetperiode.



Figuur 2. Voorbeeld van fles met materiaal.

2.3 Analyses

2.3.1 *Legionella pneumophila*

Het aantal legionellabacteriën is bepaald met de kweekmethode op het medium Buffered Charcoal Yeast Extract Agar (BCYE) met antibiotica conform NEN 6265. Na 7 dagen incubatie bij 37 °C werden typische kolonies geteld. Hierbij kon onderscheid worden gemaakt tussen kolonies van *L. pneumophila* en kolonies van de soort *L. anisa*. Bevestiging van de kolonies is uitgevoerd op BCYE-medium met en zonder cysteïne.

De kweekanalyse is uitgevoerd conform KWR-huisvoorschrift LMB-027.

2.3.2 Adenosinetrifosfaat (ATP)

ATP is aanwezig in alle levende organismen en wordt in de cel gevormd bij de oxidatie van energiebronnen en vervolgens gebruikt bij de synthese van nieuw celmateriaal. De ATP bepaling berust op de luciferine-luciferase reactie, waarbij ATP onder vorming van licht (een foton per molecuul ATP) overgaat in adenosinedifosfaat (ADP). Met behulp van lichtgevoelige apparatuur kan de lichtproductie nauwkeurig worden gemeten. De werkwijze levert binnen enkele minuten een resultaat op. De detectiegrens van de bepaling bij direct onderzoek van drinkwater bedraagt ca. 1 ng ATP l⁻¹. Op basis van gemiddelde waarden voor het ATP-gehalte per bacteriecel kan met het ATP-gehalte een schatting worden gemaakt voor de concentratie aan actieve (levende) bacteriën. De ATP-bepaling wordt gebruikt voor de bepaling van de biomassaconcentratie in leidingwater en in biofilms en in testen voor de bepaling van de biologische (in)stabiliteit van water en de groeibevorderende eigenschappen van materialen in contact met leidingwater.

De ATP-analyse is uitgevoerd conform KWR-huisvoorschrift LMB-002.

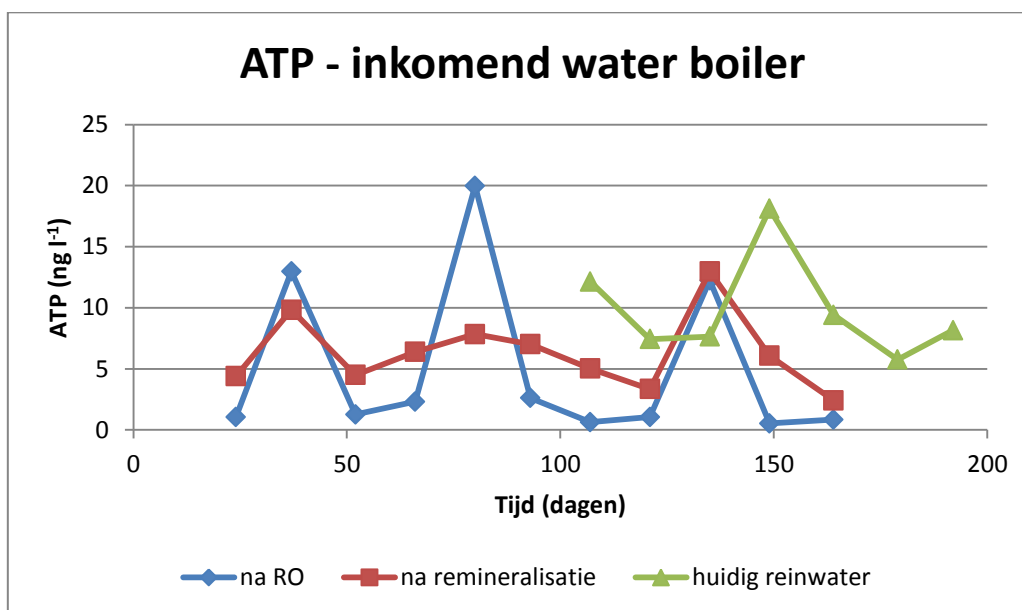
3 Resultaten

3.1 Legionellagroeiopotentie (geremineraliseerd) RO-water en reinwater z.s. Kamerik

3.1.1 Inkomend water

De ATP concentratie is bepaald van het inkomende water in de boiler als maat voor de hoeveelheid actieve biomassa waar de boiler mee wordt gevoed (Figuur 3). Er worden na RO-water en na geremineraliseerd RO-water drie piekconcentraties van ATP gevonden in het inkomende water van de BBM's, op de dagen 37, 80 en 135. Deze piekconcentraties zijn hoger dan de ATP concentratie van het huidige reinwater. Ook het reinwater vertoont een piekconcentratie, namelijk op dag 149.

Als de piekconcentraties buiten beschouwing worden gelaten dan is de ATP concentratie van RO-water het laagst, gevolgd door RO-water na remineralisatie en de ATP concentratie van het huidige reinwater is het hoogst. Tevens lijkt de hoeveelheid actieve biomassa redelijk stabiel (op de piekconcentraties na) te zijn in het inkomend water.



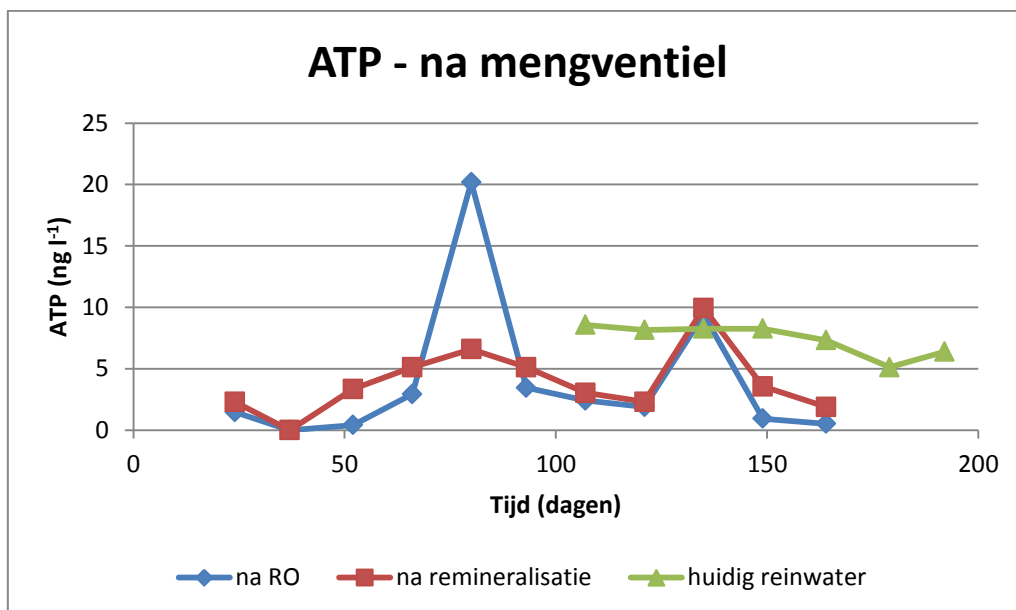
Figuur 3. ATP concentratie in het inkomende water van de boiler aangesloten op RO-water, geremineraliseerd RO-water en huidig reinwater van zuiveringsstation Kamerik.

3.1.2 Water na mengventiel in BBM

De ATP-concentratie in het water na het mengventiel in de BBM is ook bepaald (Figuur 4), omdat er een stukje siliconenslang wordt ingebracht in het mengventiel waarop *L. pneumophila* is gegroeid. Door na het mengventiel het water te analyseren wordt duidelijk of *Legionella* in het water terecht is gekomen en dus ook de biofilmmonitor bereikt.

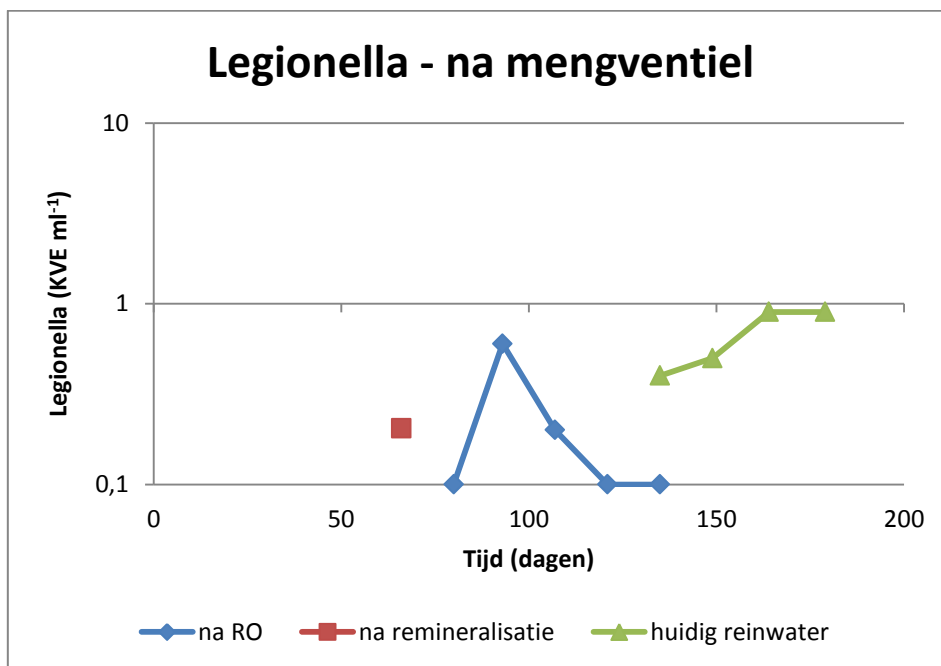
In de BBM's na RO en geremineraliseerd RO-water worden meestal ATP concentraties gemeten rond de 4 tot 5 ng l⁻¹. Op twee momenten bij de boilerbiofilmmonitor op het RO-water, en op één moment bij de boilerbiofilmmonitor op het geremineraliseerde RO-water

werden piekconcentraties van ATP in het water na mengventiel gevonden. Het moment van deze piekconcentraties komt overeen met de pieken die in het inkomende water zijn gevonden. Het inkomende water bevatte echter ook nog een piekconcentratie op dag 37, die niet in het water na mengventiel werd teruggevonden. In de BBM op het huidige reinwater wordt een ATP concentratie gemeten tussen de 5 en 10 ng l⁻¹. Als de piekconcentraties buiten beschouwing worden gelaten dan is de ATP concentratie van het huidige reinwater hoger dan voor de andere twee watertypen.



Figuur 4. ATP concentratie in het water na het mengventiel van de boiler aangesloten op RO-water, geremineraliseerd RO-water en huidig reinwater van zuiveringsstation Kamerik.

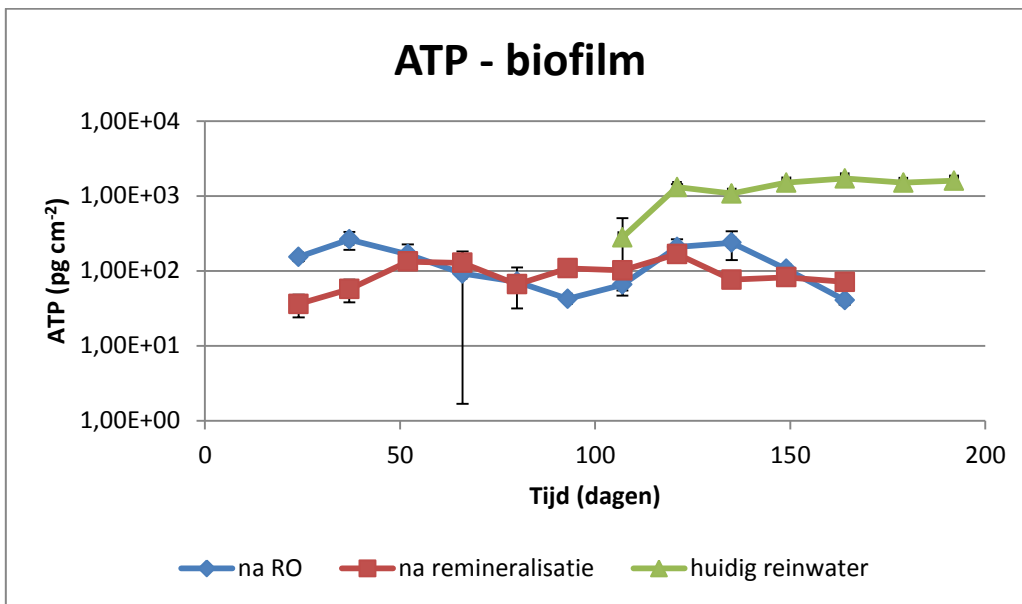
Naast ATP wordt er ook *Legionella* geanalyseerd na het mengventiel (Figuur 5). Na het mengventiel wordt in de BBM op het huidige reinwater en RO-water een enkele keer *Legionella* aangetroffen net boven de detectiegrens van 0,1 KVE ml⁻¹. Na remineralisatie werd *Legionella*, één keer aangetroffen net boven de detectiegrens. Ondanks de lage aantallen geven deze resultaten aan dat *Legionella* in het water terecht komt en dus ook in de biofilmmonitor.



Figuur 5. De Legionella-aantallen in het water na het mengventiel van de boiler aangesloten op RO-water, geremineraliseerd RO-water en huidig reinwater van zuiveringsstation Kamerik.

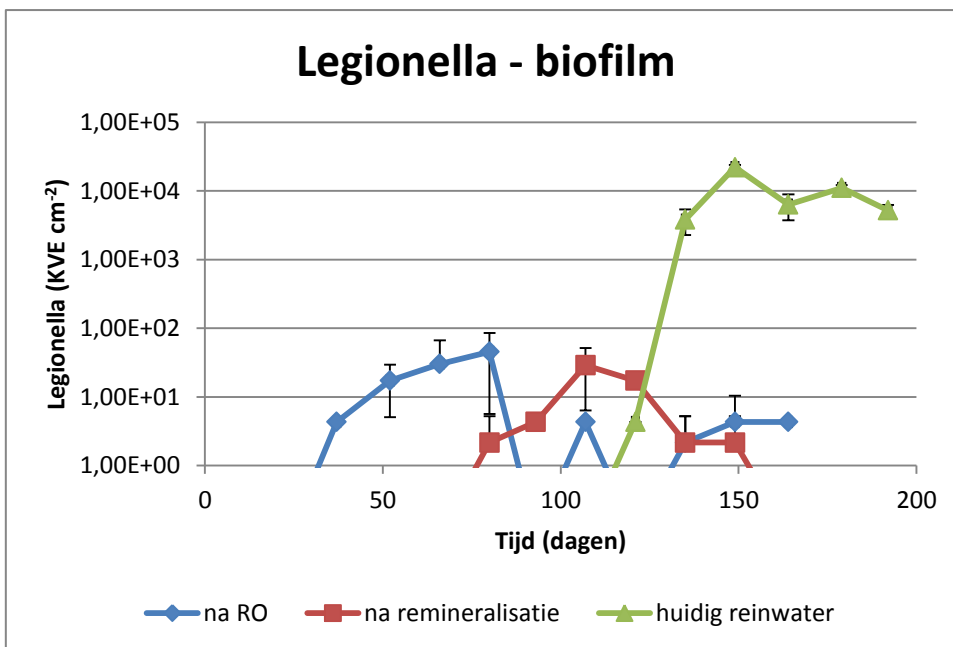
3.1.3 Biofilmmonitor

De resultaten van de ATP analyses van de biofilm die op de glasringen zijn gevormd in de diverse BBM's zijn weergegeven in Figuur 6. De ATP concentraties van de biofilm uit de BBM gevoed met RO-water en geremineraliseerd RO-water schommelen rond de 100 pg ATP cm⁻². De ATP concentratie in de biofilm van het huidige reinwater, ligt één logeenheid hoger, rond de 1000 pg ATP cm⁻².



Figuur 6. De biofilmvorming op glasringen in de BBM's gevoed met RO-water, geremineraliseerd RO-water en huidig reinwater van zuiveringsstation Kamerik.

De legionella-aantallen in de biofilm liggen voor RO-water en geremineraliseerd RO-water net boven de detectiegrens van 4,3 KVE cm⁻², zoals is te zien in Figuur 7. In het huidige reinwater van zs Kamerik zijn de aantallen gemiddeld 3 logeenheden hoger, rond de 10.000 KVE cm⁻².



Figuur 7. Legionella-aantallen op glas in de BBM's gevoed met RO-water, geremineraliseerd RO-water en huidig reinwater van zuiveringsstation Kamerik.

Vervolgens kan met de resultaten de biofilmvormingspotentie (BVP-BBM) en de legionellagroeiopotentie (LGP-BBM) worden berekend, zie tabel 2. De BVP-BBM na

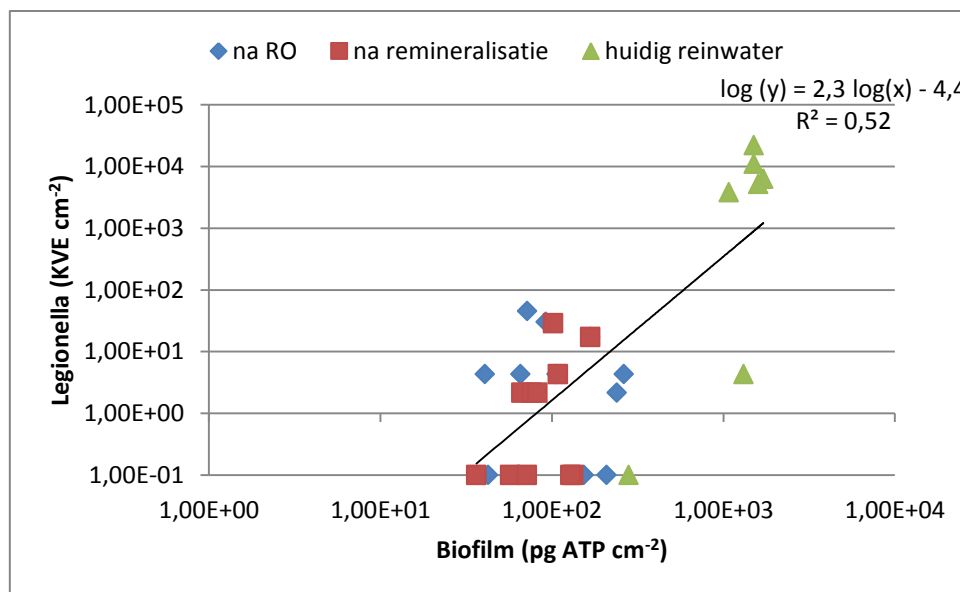
remineralisatie is lager dan na RO, hetzelfde geldt voor de LGP-BBM. Huidig reinwater heeft voor zowel de BVP-BBM en de LGP-BBM de hoogste waarde.

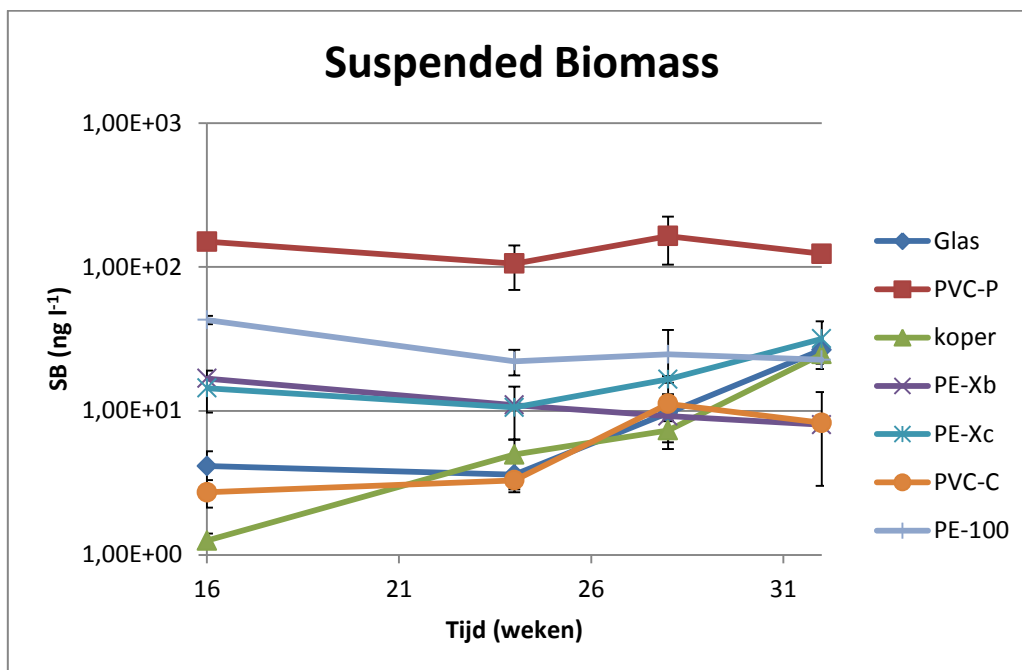
TABEL 2. DE BIOFILMVORMINGSPOTENTIE (BVP-BBM) EN LEGIONELLAGROEIOPOTENTIE (LGP-BBM) VOOR DE VERSCHILLENDE GETESTE WATERTYPEN

BBM	BVP-BBM (pg ATP cm ⁻²)	LGP-BBM (Leg-kve cm ⁻²)
Na RO	238,5	34,7
Na remineralisatie	133,4	23,1
Huidig reinwater	1.642,4	16.601,3

De relatie tussen biofilmconcentratie en legionella-aantallen zijn tegen elkaar uitgezet omdat de biofilmconcentratie (biofilmvormingspotentie) als maatstaf voor de beoordeling van de groeibevorderende werking van water en materiaal kan worden gebruikt.

Figuur 8 laat de verhouding zien tussen legionella-aantallen, op de y-as, en ATP concentraties van de biofilm op de x-as. Deze verhouding heeft een R² van 0,52. Toenemende biomassaconcentratie in de biofilm leidt dus tot hogere *Legionella* koloniegetallen. De vergelijking laat zien dat de helling 2,3 is. Dat wil zeggen dat als de biofilmconcentratie met één log toeneemt dat de legionella-aantallen met 2,3 log toeneemt.

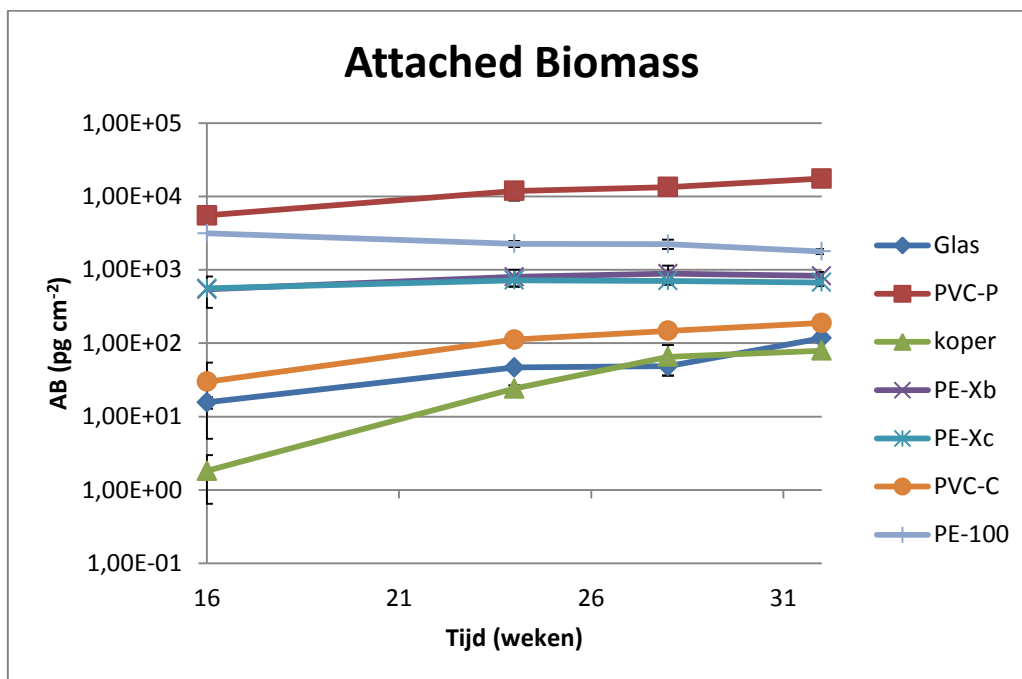




Figuur 9. ATP concentraties gemeten in het water van ieder materiaal.

De ATP concentraties van de biofilm op glas, koper en PVC-C zijn het laagst en liggen dicht bij elkaar (24 tot 188 pg cm⁻²). De ATP-concentraties van de biofilm op PE-Xb en PE-Xc zijn hoger en deze twee waarden liggen tussen de 672-883 pg cm⁻². De biofilm op PE-100 heeft een iets hogere ATP-concentratie (2.000 pg cm⁻²), terwijl de hoogste ATP concentratie is waargenomen voor de biofilm op PVC-P (15.000 pg cm⁻²).

Zoals verwacht lijkt het enten van Legionella voor de materialen glas, PE-Xb, PE-Xc, PVC-C, PE-100 en PVC-P niet veel invloed te hebben gehad op de biofilmconcentratie. Voor het materiaal koper lijkt een grotere invloed op de biofilmconcentratie zichtbaar, die is namelijk tijdens het volgende meetmoment 13 keer zo hoog.



Figuur 10. ATP concentraties van de biofilm op de verschillende materialen.

De resultaten van de BPP-waarden van de verschillende geteste materialen zijn weergegeven in Tabel 3. De biomassaproductie (BP) van week 24, 28 en 32 wordt berekend door de som te nemen van de ATP concentratie van de aangehechte biomassa (AB, biofilm) en de ATP concentratie van de gesuspendeerde biomassa (SB, water). De BPP waarde wordt vervolgens berekend door het gemiddelde van de drie BP waardes te berekenen.

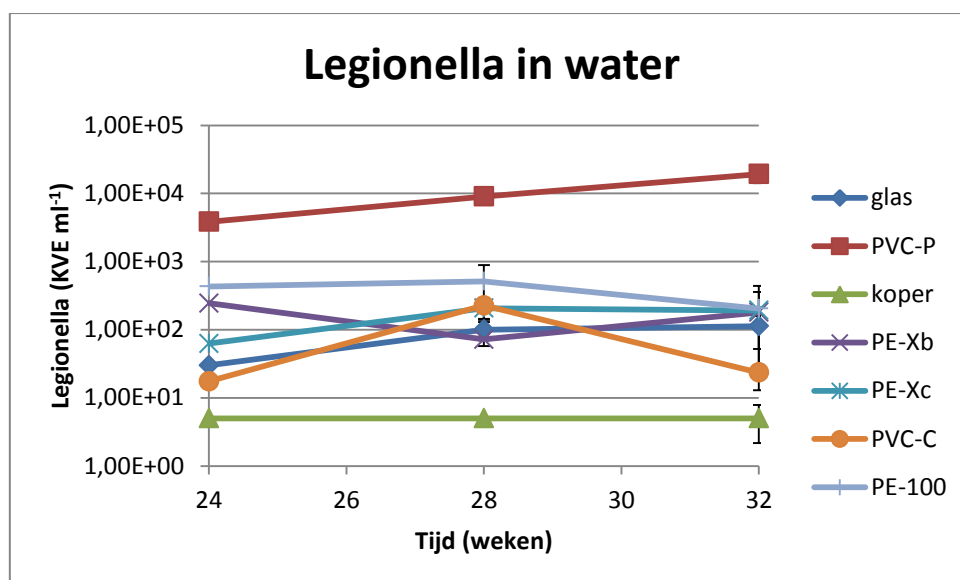
De negatieve controle glas, koper en PVC-C hebben een BPP waarde lager dan 200 pg ATP cm². De BPP waardes van PE-Xb en PE-Xc zijn hoger en liggen dicht bij elkaar (880 en 794 pg ATP cm² respectievelijk). Op de positieve controle (PVC-P) na heeft PE-100 de hoogste BPP concentraties onder de onderzochte materialen (2.204 pg ATP cm²). PVC-P heeft een BPP waarde van 14.885 pg ATP cm².

TABEL 3. DE BIOMASSAPRODUCTIEPOTENTIE (BPP), BIOFILMVORMINGSPOTENTIE (BVP-MAT) EN LEGIONELLAGROEIOPOTENTIE (LGP-MAT) VOOR DE VERSCHILLENDE GETESTE MATERIALEN.

Test materiaal	BPP (pg ATP cm ²)		BVP-mat (pg ATP cm ²)		LGP-mat (Leg-kve cm ²)	
	Gem	Stdev	gem	Stdev	gem	Stdev
Negatieve controle (glas)	132,9	11,1	70,7	8,0	3.084,7	3.702,0
Positieve controle (PVC-P)	14.885,5	3.300,0	14.260,3	3.107,9	1.465.490,7	120.865,3
Koper	112,7	26,3	56,2	17,1	25,9	14,5
PE-Xb	880,8	208,7	835,9	201,3	11.377,3	632,8
PE-Xc	794,6	69,7	700,1	90,9	5.065,2	2.143,7
PVC-C (Oasen)	185,8	46,0	149,5	34,6	1.359,2	723,1
PE-100 (Oasen)	2.204,6	207,8	2.095,7	240,4	18.140,7	8.069,7

De legionella-aantallen gemeten in het water 8, 12 en 16 weken na inoculatie met *L. pneumophila* op week 16 na start van de materialentest, zijn weergegeven in Figuur 11. Deze resultaten laten zien dat de legionella-aantallen in het water van het materiaal koper lager zijn dan de negatieve controle (glas). De aantallen in het water van koper zijn zelfs onder de detectiegrens van 1 kve ml⁻¹.

De legionella-aantallen in het water van de materialen glas, PVC-C, PE-Xb en PE-Xc waren vergelijkbaar en varieerden tussen de 10 en 250 KVE ml⁻¹. De legionella aantallen van PE-100 zaten daar net iets boven. De legionella-aantallen in het water van de positieve controle PVC-P is duidelijk hoger (4.000 tot 20.000 kve ml⁻¹) dan in het water van de andere materialen.

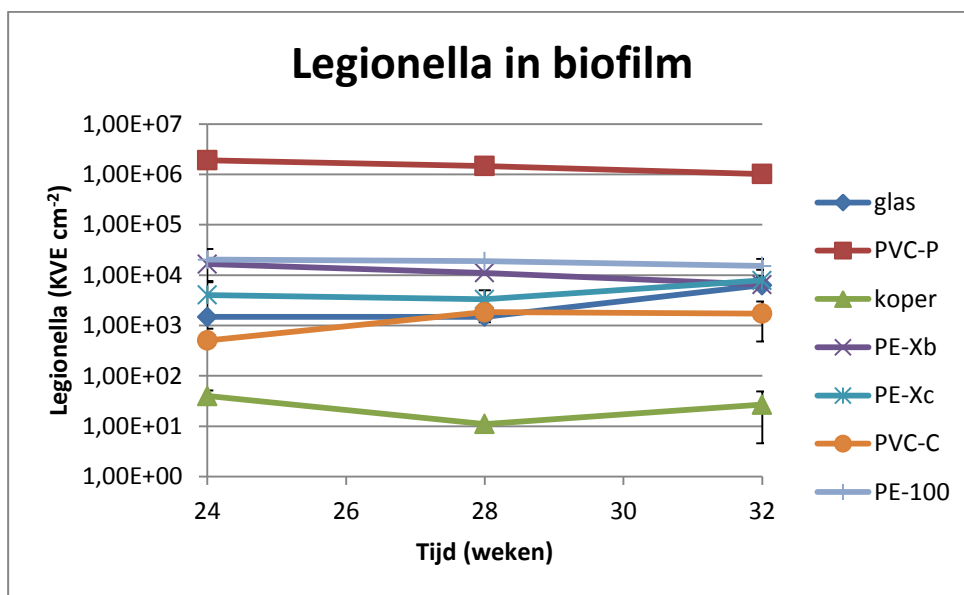


Figuur 11. De legionella-aantallen in het water, in aanwezigheid van verschillende materialen.

De aantallen van Legionella in de biofilm op de verschillende materialen volgt enigszins dezelfde trend als het water (Figuur 12). Namelijk dat de biofilm op koper de laagste aantallen heeft, tussen de 10 en 40 KVE cm⁻², terwijl PVC-P de hoogste aantallen heeft (1 × 10⁶ KVE cm⁻²). De legionella-aantallen van de biofilm op glas en PVC-C liggen rond de 1.000

KVE cm⁻². De materialen PE-Xb en PE-100 hebben legionella-aantallen rond de 10.000 KVE cm⁻². PE-Xc ligt daar tussenin.

In week 16 voor de inoculatie met Legionella werd er in één fles Legionella species aangetroffen die van nature voorkwam in het water en is gaan groeien. Bij vervolgmetingen werd deze Legionella echter niet meer aangetroffen en was deze natuurlijke stam blijkbaar weer verdwenen. Er zijn geen afwijkingen waargenomen t.o.v. de duplo fles ten tijde dat de natuurlijke legionellastam is waargenomen en er lijkt dus geen invloed op de resultaten te zijn geweest.

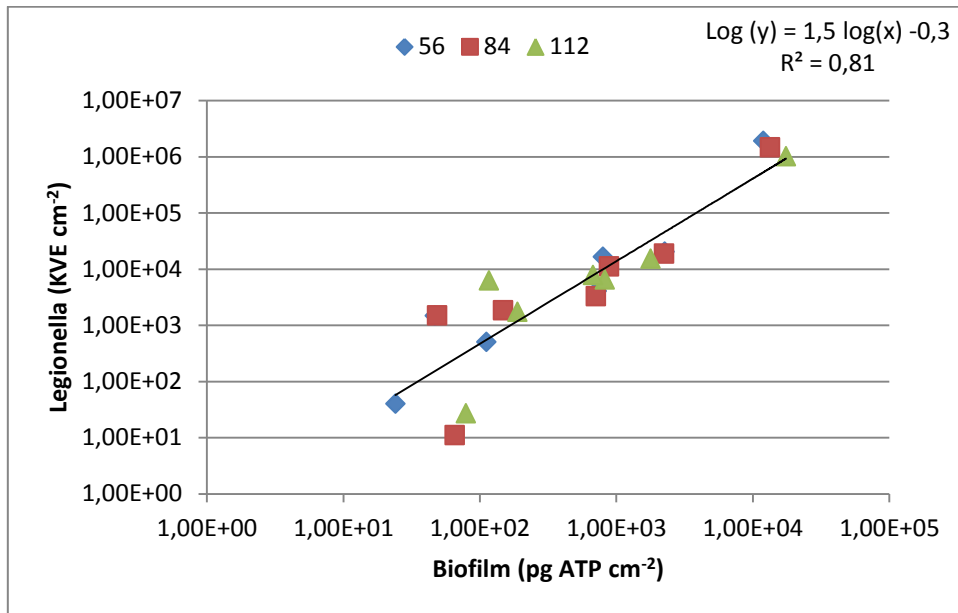


Figuur 12. De legionella-aantallen in de biofilm op de verschillende materialen.

De LGP-mat is berekend voor ieder materiaal en is weergegeven in Tabel 3. Koper heeft de laagste LGP-mat, gevolgd door PVC-C en glas. Daarna komen de materialen PE-Xb, PE-Xc, PE-100 en volgens verwachting heeft de positieve controle PVC-P de hoogste LGP-mat.

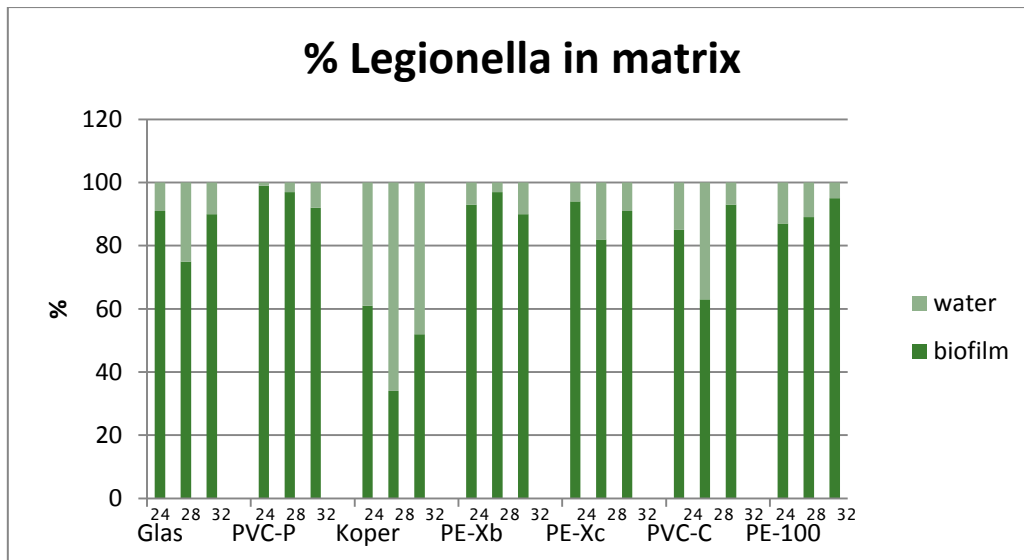
De relatie tussen biofilmconcentratie en legionella-aantallen zijn tegen elkaar uitgezet omdat de biofilmconcentratie (biofilmvormingspotentie) als maatstaf voor de beoordeling van de groeibevorderende werking van water en materiaal kan worden gebruikt.

Figuur 13 laat de verhouding zien tussen legionella-aantallen, op de y-as, en ATP concentraties van de biofilm op de x-as. Deze verhouding heeft een R² van 0,81. Toenemende biomassaconcentratie in de biofilm leidt dus tot hogere Legionella koloniegetallen. De vergelijking laat zien dat de helling 1,5 is. Dat wil zeggen dat als de biofilmconcentratie met één log toeneemt, de legionella-aantallen met 1,5 log toeneemt.



Figuur 13. Verhouding Legionella getallen en ATP biofilm concentraties.

Voor ieder materiaal is bepaald welk percentage van de legionella-aantallen zich in de biofilm bevindt en welk percentage in het water. Onderstaand Figuur 14 geeft dit percentage weer per materiaal, voor achtereenvolgens week 24, 28 en 32. Voor glas, PVC-P, PE-Xb, PE-Xc, PVC-C en PE-100 bevindt het grootste percentage van *L. pneumophila* zich in de biofilm. Deze resultaten geven dus weer dat Legionella zich voornamelijk in de biofilm op de materialen bevindt. Voor koper liggen de percentages Legionella in de biofilm rond de 50%.



Figuur 14. Percentage van legionella-aantallen in water of biofilm per materiaal, voor de weken 24, 28 en 32 achtereenvolgens.

4 Discussie

4.1 Legionellagroeiopotentie BBM

In Tabel 4 zijn de resultaten van het onderzoek naar de legionellagroeiopotentie van RO-water en geremineraliseerd RO-water dat wordt geproduceerd in de proefinstallatie bij Kamerik, bepaald met de BBM's samengevat. Tabel 4 bevat tevens resultaten van eerdere onderzoeken met de BBM met verschillende watertypes (van der kooij et al., 2011).

TABEL 4. OVERZICHT VAN RESULTATEN MET BBM'S GEBRUIKT IN DEZE EN EERDERE STUDIES (VAN DER KOOIJ ET AL., 2011). DE RESULTATEN ZIJN GESORTEERD OP LGP-BBM.

	Test periode	BVP-BBM (pg ATP cm ²)	LGP-BBM (Leg-kve cm ²)
Amersfoortseweg reinwater	2005/2006	2,8X10 ¹	5,0X10 ⁰
Geremineraliseerd RO-water	2015	1,3X10 ²	2,3X10 ¹
RO-water	2015	2,4X10 ²	3,5X10 ¹
Berenplaat reinwater	2008	5,6X10 ²	2,5X10 ²
Soestduinen reinwater	2008	2,3X10 ²	6,4X10 ²
Leiduin reinwater	2007/2008	6,0X10 ²	1,0X10 ³
Katwijk reinwater	2008	9,5X10 ²	4,8X10 ³
Weesperkarspel rein	2006/2007	1,6X10 ³	8,7X10 ³
Kralingen reinwater	2008	8,2X10 ²	9,1X10 ³
Kamerik reinwater	2015	1,6X10 ³	1,7X10 ⁴
Scheveningen reinwater	2006	7,7X10 ²	1,8X10 ⁴
Spannenburg reinwater	2006/2007	1,1X10 ³	1,9X10 ⁴
Oldeholtepede na ionenwisseling	2009	2,7X10 ²	1,9X10 ⁴
Spannenburg reinwater	2006	1,3X10 ³	2,0X10 ⁴
Nieuwegein	2005/2006	6,6X10 ²	7,1X10 ⁴

De vergelijking met andere watertypes laat zien dat de LGP van het huidige reinwater van zs van Kamerik relatief hoog is in vergelijking met de andere locaties. Alleen het reinwater van ps Spannenburg, Oldeholtepede, Scheveningen en Nieuwegein hadden hogere LGPs-BBM. De LGP van het RO-water en het geremineraliseerde RO-water is relatief laag en alleen het reinwater van ps Amersfoortseweg is vergelijkbaar qua LGP-BBM. Op de locatie Amersfoortseweg wordt drinkwater bereid uit zuurstofhoudend grondwater en het reinwater van deze locaties is in hoge mate biologisch stabiel (lage biofilmvormingssnelheid en een laag AOC-gehalte) (van der kooij et al., 2011).

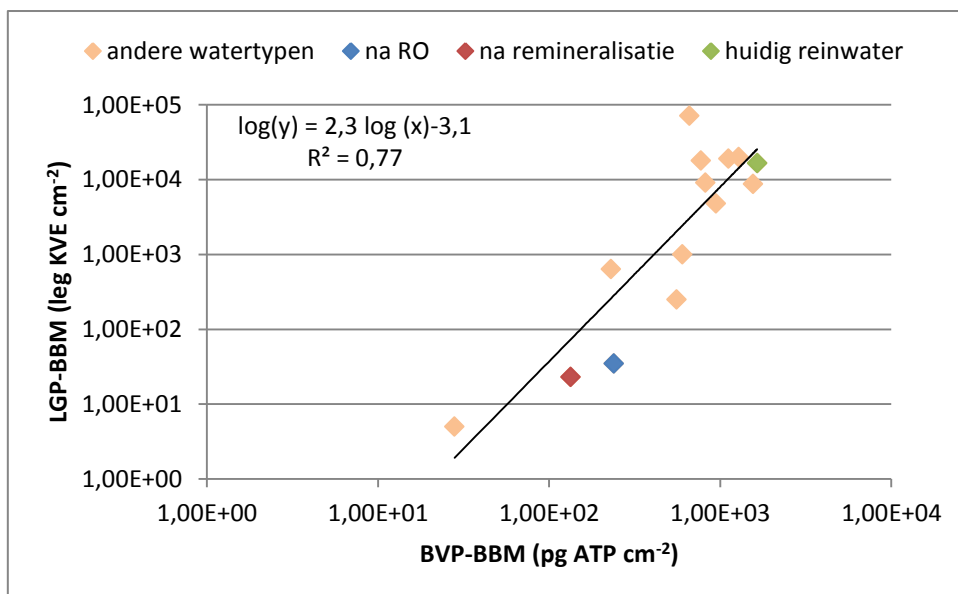
Het geremineraliseerde RO-water presteert goed, met een LGP-BBM die tegen de detectielimiet aan zit en veroorzaakt 1000 keer minder groei van *L. pneumophila* in vergelijking met het huidige reinwater dat wordt gedistribueerd.

De experimenten zijn uitgevoerd met een proefinstallatie die op kleine schaal RO-water produceert. Het is onduidelijk of dezelfde kwaliteit wordt verkregen wanneer de full-scale in

gebruik wordt genomen. Het is daarom van belang om de experimenten nog een keer uit te voeren als de full-scale in gebruik is genomen.

In het verleden is waargenomen dat de LGP-BBM van het drinkwater in het distributiesysteem in een aantal gevallen hoger is dan die van het reinwater (van der Kooij et al. 2011). Het is onduidelijk in hoeverre de LGP van geremineraliseerd water in het distributiesysteem hoger zal zijn dan die van het geremineraliseerde drinkwater direct na bereiding. Waarschijnlijk is na omschakeling naar geremineraliseerd RO-water nog steeds relatief veel biofilm en sediment aanwezig in het distributiesysteem van zs Kamerik. Het is daarom aan te raden om deze metingen te herhalen wanneer de full-scale 100% in gebruik is genomen voor zowel het reinwater als in het distributiesysteem.

In Figuur 15 wordt de relatie tussen de LGP-BBM, op de y-as, en de BVP-BBM, op de x-as, uitgezet van de metingen die zijn uitgevoerd in deze studie en van voorgaande studies (van der Kooij et al., 2011). De correlatie tussen LGP-BBM en BVP-BBM heeft een R^2 van 0,77. Toenemende biofilmvormingspotentie van het water leidt dus tot een hogere legionellagroeiopotentie. De vergelijking laat zien dat de helling 2,3 is. Dat wil zeggen dat als de biofilmconcentratie met één log toeneemt, de legionella-aantallen met 2,3 log toeneemt. Deze zelfde helling van 2,3 werd ook gevonden in Figuur 8, waar de biofilmconcentratie en legionella-aantallen tegen elkaar zijn uitgezet van alle afzonderlijke punten van de watertypen onderzocht in deze studie. Dit geeft aan dat dit een consistent verband is.



Figuur 15. Verhouding LGP-BBM en BVP-BBM van verschillende watertypes.

De ATP resultaten voor het inkomende water in de boiler lieten drie duidelijke pieken zien bij de BBM na RO-water en ook drie pieken op dezelfde dagen bij geremineraliseerd RO-water. Dit lijkt er op te duiden dat op deze piekmomenten de RO-installatie niet constant heeft gedraaid, waardoor er actieve biomassa in het water terecht is gekomen, met name wanneer de piek op hetzelfde moment werd waargenomen in het RO-water en geremineraliseerde RO-water. Dit kan invloed hebben gehad op de legionella-aantallen, want tijdelijk meer actieve biomassa kan tot meer protozoa leiden wat weer leidt tot mogelijk meer groei van Legionella. Waarschijnlijk zijn deze verhogingen alleen op korte piekmomenten geweest, want mocht het voor een lange tijd verhoogd zijn geweest dan zou dit terug gevonden moeten worden in

de andere resultaten zoals de LGP van (geremineraliseerd) RO-water. Hetzelfde geldt voor de pieken gevonden, op dezelfde dagen, in het water na het mengventiel na RO-water en na geremineraliseerd RO-water.

De gevonden ATP concentratie in de biofilm van het RO-water en geremineraliseerd RO-water zijn vergelijkbaar. Er is bovendien een duidelijk verschil zichtbaar met de ATP concentraties van het huidige reinwater. Deze resultaten laten dus zien dat remineralisatiestap weinig invloed heeft op biofilm- en legionellagroei in de boiler. Dit betekent dat er niet veel afbreekbare stoffen aan het water worden toegevoegd door de remineralisatiestap in het zuiveringsproces met RO.

4.2 Legionellagroeiopotentie materialen

In Figuur 16 zijn de resultaten van het onderzoek naar de legionellagroeiopotentie van materialen samengevat. Dit figuur bevat tevens de resultaten van eerdere materialentesten uitgevoerd bij KWR met Nieuwegeins drinkwater.

De BPP waarde van glas uit de materialen test met geremineraliseerd RO-water is hoger in vergelijking met de resultaten van voorgaande jaren. PVC-P daarentegen ligt wat lager, net zoals koper en PVC-C. Voor het materiaal PE-Xb is er maar één ander meetpunt, maar de concentratie die nu gevonden is, is lager dan die gevonden in 2002. Voor PE-Xc zijn er drie andere meetwaardes, en die zijn lager, op één na, dan de waarde die nu is gevonden. De BPP concentratie van PE-100 ligt hoger dan wat is gevonden in de voorgaande jaren. In het verleden is PE-100 van Oasen ook geanalyseerd, de concentraties waren toen lager (<1000 pg ATP cm^{-2}). Onduidelijk is waar dit verschil door wordt veroorzaakt. Maar binnen het BTO zijn ook grote verschillen waargenomen van PE van verschillende fabrikanten. Deze verschillen gelden mogelijk ook tussen verschillende batches. Het glas gebruikt in dit onderzoek is niet zeker helemaal vrij geweest van groeibevorderende stoffen, omdat de resultaten hoger zijn dan voorheen. Deze hoge resultaten van glas zijn niet te verklaren door de waterkwaliteit. Deze resultaten laten dus zien dat de hoeveelheid biomassa die wordt gevonden op de verschillende materialen met geremineraliseerd RO-water vergelijkbaar zijn met waarden die zijn gevonden met Nieuwegeins drinkwater. De waterkwaliteit lijkt dus weinig invloed te hebben op de mate van biomassavorming. Dit is volgens verwachting omdat de biomassavorming op de meeste materialen wordt veroorzaakt door de afbreekbare stoffen die uit het materiaal beschikbaar komen dan door de afbreekbare stoffen die in het water aanwezig zijn.

In Tabel 5 zijn de resultaten van de LGP van 2015 en 2007 weergegeven (Van der Kooij & Veenendaal, 2008). Bij alle materialen zijn de waardes gevonden in 2015 hoger dan in 2007, met één uitzondering namelijk koper. De biomassa concentratie in 2015 is ook hoger dan in 2007. Een mogelijke verklaring voor deze verschillen zou het gebruik van verschillende batches van de materialen zijn. Maar er zijn ook verschillen tussen de experimentele condities. Zoals de incubatietemperatuur die in 2007 bij de start van het experiment 30°C was en in de loop van het experiment pas is veranderd naar 37°C .

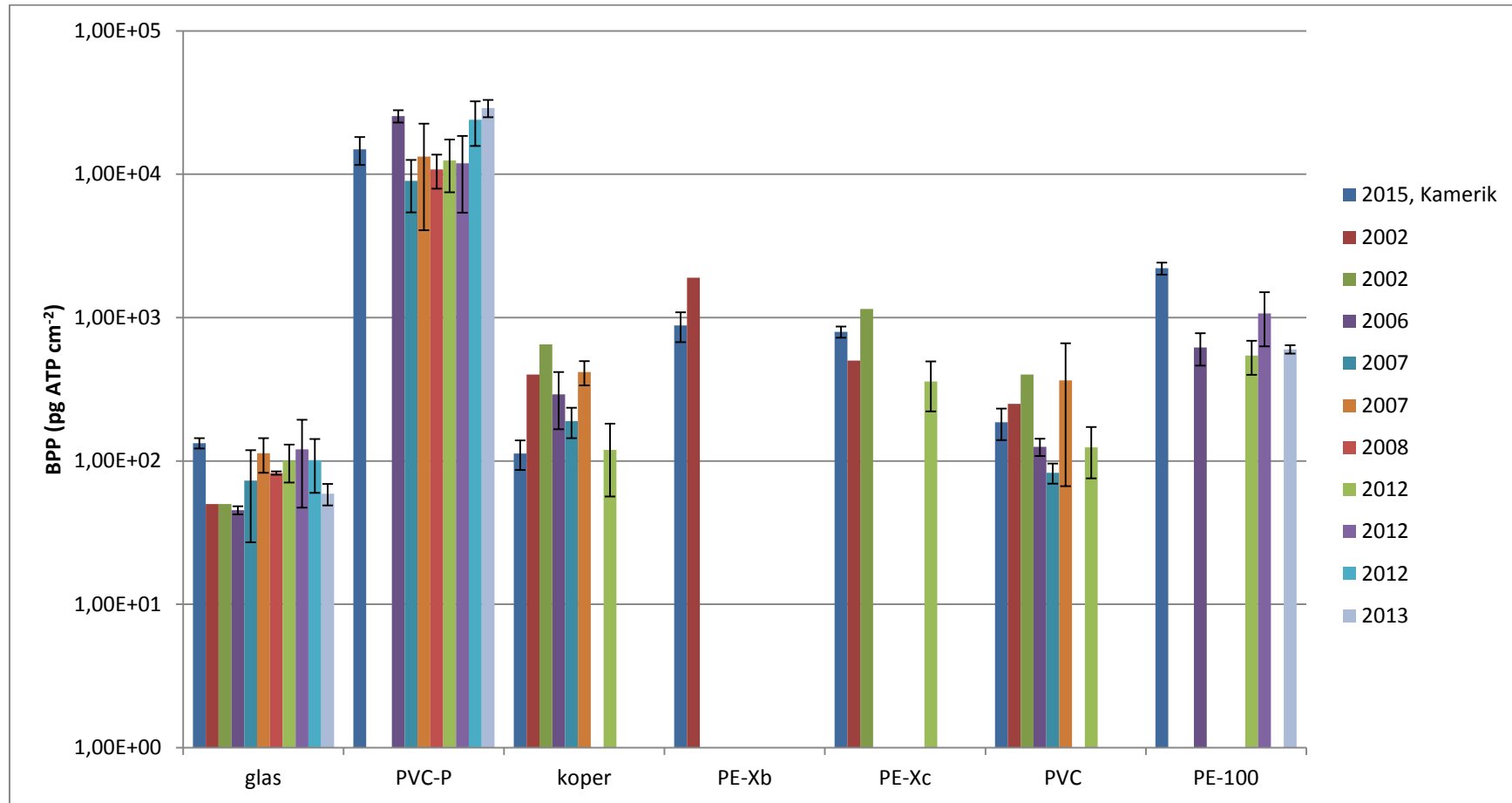
TABEL 5. VERGELIJKING LGP-MAT (LEG-KVE CM³) VAN 2015 EN 2007

Test materiaal	2015		2007	
	gem	Stdev	gem	Stdev
Negatieve controle (glas)	3.084,7	3.702,0	<15,7	0
Positieve controle (PVC-P)	1.465.490,7	120.865,3	495.184,5	787.397,1
Koper	25,9	14,5	360,7	734,9
PE-Xb	11.377,3	632,8	n.v.t.	n.v.t.
PE-Xc	5.065,2	2.143,7	n.v.t.	n.v.t.
PVC-C	1.359,2	723,1	26,3	10,6
PE-100	18.140,7	8.069,7	3.024,5	4.692,2

4.3 Vergelijking legionellagroeiopotentie water en materialen

De LGP van het geremineraliseerde RO-water is zeer laag, maar wanneer dit water in contact staat met PE-100 dan wordt er toch redelijk veel biofilm gevormd. Wanneer geremineraliseerde RO-water wordt gedistribueerd door een lange PE-100 pijp, zou dit kunnen betekenen dat de microbiologische waterkwaliteit verslechtert door uitwisseling tussen biofilm en water. Het is echter onduidelijk of dit tot een hogere LGP van het gedistribueerde water leidt.

Als de lage LGP van het geremineraliseerde RO-water tijdens distributie gehandhaafd blijft, dan zal de waterkwaliteit niet de oorzaak zijn van groei van Legionella in een binneninstallatie. Echter wanneer her materialen van PE-X, rubber en/of PVC-P worden gebruikt in de binneninstallatie dan kan er nog steeds groei van *L. pneumophila* plaatsvinden ongeacht de goede kwaliteit van het geleverde water.



Figuur 16. BPP resultaten van eerder materialentesten met Nieuwegeins drinkwater en van geremineraliseerd RO-water van Kamerik

5 Conclusies en aanbevelingen

5.1 Conclusies

Het geproduceerde drinkwater met de huidige zuivering van zs Kamerik heeft een relatief hoge legionellagroepotentie. In een binneninstallatie kan dit water dus groei van *Legionella pneumophila* veroorzaken, ongeacht het leidingmateriaal van de binneninstallatie

Het RO-water en geremineraliseerd RO-water hebben een zeer lage legionellagroepotentie. In een binneninstallatie veroorzaakt dit water dus (vrijwel) geen groei van *L. pneumophila*. Het geremineraliseerd RO-water voorkomt niet dat *L. pneumophila* zich vermeerdt op leidingmaterialen die een hoge groepotentie hebben. Dus wanneer het geremineraliseerde RO-water dat is geproduceerd met de proefinstallatie op zs Kamerik wordt geleverd aan een binneninstallatie van materialen met lage groepotentie (bv koper, PVC-C) dan zal groei van *L. pneumophila* niet of nauwelijks optreden, maar wanneer het wordt geleverd aan een binneninstallatie van materialen met een relatief hoge groepotentie (bv PEX of PVC-P) dan zal nog steeds groei van *L. pneumophila* optreden.

5.2 Aanbevelingen

- Wees terughoudend met het gebruik van PE materialen in het distributiesysteem (vanwege de relatief hoge biomassavorming) of binneninstallatie (vanwege groei van *L. pneumophila*) wanneer geremineraliseerd RO-water wordt gedistribueerd. Mocht er wel gebruikt worden gemaakt van PE, maak dan gebruik van PE met lage BPP waarden. Bij voorkeur BPP-waarden < 200 tot 400 pg ATP cm⁻², omdat in deze en een andere studie is waargenomen dat bij die waarden groei van *L. pneumophila* niet optreedt.
- Metingen met BBM herhalen op het reinwater, in het distributiesysteem en op locatie wanneer de full-scale 100% in gebruik is genomen. Eventueel een BBM plaatsen met glazen én PE-X ringen om specifiek de invloed van PE-X op de legionellagroepotentie te onderzoeken onder meer realistische condities voor de binnen installatie.

6 Referenties

- Hamsch, B., J. Ashworth, and D. van der Kooij (2014), Enhancement of microbial growth by materials in contact with drinking water: problems and test methods, in *Microbial Growth in Drinking-Water Supplies. Problems, Causes, Control and Research Needs.*, edited by D. van der Kooij and P. W. J. J. van der Wielen, pp. 339-361, IWA Publishing, London.
- van der Kooij, D., J. H. M. van Lieverloo, J. Shellart, and P. Hiemstra (1999), Maintaining quality without a disinfectant residual, *J. AWWA*, 91(1), 55-64.
- van der Kooij, D., H. R. Veenendaal, N. P. G. Slaats, and D. Vonk (2002), Biofilm formation and multiplication of Legionella on synthetic pipe materials in contact with treated water under static and dynamic conditions, in *Legionella*, edited by R. Marre, Y. Abu Kwaik, C. Bartlett, N. P. Cianciotto, B. S. Fields, M. Frosch, J. Hacker and P. C. Luck, pp. 176-180, ASM Press, Washington, D.C.
- van der Kooij, D., H. R. Veenendaal, and W. J. Scheffer (2005), Biofilm formation and multiplication of Legionella in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene, *Water Res*, 39(13), 2789-2798.
- Van der Kooij, D., & Veenendaal, H. R. (2008). Foundation of pass-fail criteria for the biomass production potential of materials in contact with treated water intended for human consumption. (Vol. KWR 07.100). Nieuwegein: KWR.
- van der Kooij, D., & Veenendaal, H. R. (2011). Bepaling en beoordeling van de legionellagroepotentie van drinkwater (Vol. BTO 2011.037). Nieuwegein: KWR.

Bijlage I Resultaten materialentest 2015

TABEL 6. ATP CONCENTRATIE (NG L⁻¹) IN HET WATER VAN DE MATERIALEN

Test materiaal	Week 24		Week 28		Week 32	
	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2
Negatieve controle (glas)	4,2	3,0	10,5	8,8	26,8	26,2
Positieve controle (PVC-P)	80,0	130,9	121,2	206,3	111,7	135,0
Koper	5,9	4,0	6,4	8,2	21,1	28,5
PE-Xb	10,7	11,2	11,9	6,5	8,1	7,9
PE-Xc	7,6	13,5	17,2	16,0	24,4	38,9
PVC-C (Oasen)	3,0	3,6	9,9	12,5	12,0	4,6
PE-100 (Oasen)	25,3	19,0	33,0	16,4	21,7	23,6

TABEL 7. ATP CONCENTRATIE (PG CM⁻²) IN DE BIOFILM VAN DE MATERIALEN

Test materiaal	Week 24		Week 28		Week 32	
	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2
Negatieve controle (glas)	46,8	46,7	57,2	39,9	112,3	121,5
Positieve controle (PVC-P)	9692,2	14111,7	11396,6	15367,2	15117,2	19877,1
Koper	25,9	22,1	44,6	86,1	76,8	81,3
PE-Xb	942,9	655,9	1068,4	698,7	902,1	747,2
PE-Xc	815,7	624,9	735,0	679,5	723,0	622,6
PVC-C (Oasen)	114,8	108,7	167,0	128,6	226,5	151,2
PE-100 (Oasen)	2108,1	2420,7	2012,9	2472,4	1877,3	1682,6

TABEL 8. LEGIONELLA-AANTALLEN (KVE ML⁻¹) IN HET WATER VAN DE MATERIALEN

Test materiaal	Week 24		Week 28		Week 32	
	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2
Negatieve controle (glas)	1,50X10 ¹	1,50X10 ¹	1,07X10 ²	9,30X10 ¹	6,30X10 ¹	1,63X10 ²
Positieve controle (PVC-P)	5,25X10 ³	2,45X10 ³	5,47X10 ³	1,26X10 ⁴	3,03X10 ⁴	8,23X10 ³
Koper	<5,00X10 ⁰	5,00X10 ⁰	<3,00X10 ⁰	7,00X10 ⁰	7,00X10 ⁰	3,00X10 ⁰
PE-Xb	2,55X10 ²	2,35X10 ²	8,70X10 ¹	5,70X10 ¹	7,30X10 ¹	2,87X10 ²
PE-Xc	1,10X10 ²	1,50X10 ¹	3,85X10 ²	3,00X10 ¹	3,63X10 ²	2,00X10 ¹
PVC-C (Oasen)	2,50X10 ¹	1,00X10 ¹	2,93X10 ²	1,60X10 ²	2,00X10 ¹	2,70X10 ¹
PE-100 (Oasen)	6,95X10 ²	1,70X10 ²	6,23X10 ²	4,07X10 ²	3,13X10 ²	9,70X10 ¹

TABEL 9. LEGIONELLA-AANTALLEN (KVE CM⁻³) IN DE BIOFILM VAN DE MATERIALEN

Test materiaal	Week 24		Week 28		Week 32	
	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2
Negatieve controle (glas)	1,43X10 ³	1,53X10 ³	1,26X10 ³	1,72X10 ³	1,75X10 ³	1,08X10 ⁴
Positieve controle (PVC-P)	>1,92X10 ⁶	>1,91X10 ⁶	1,39X10 ⁶	1,54X10 ⁶	8,8X10 ⁵	1,15X10 ⁶
Koper	4,78X10 ¹	3,16X10 ¹	1,11X10 ¹	<1,11X10 ¹	4,27X10 ¹	1,11X10 ¹
PE-Xb	1,64X10 ⁴	1,68X10 ⁴	1,11X10 ⁴	1,10X10 ⁴	5,74X10 ³	7,21X10 ³
PE-Xc	6,29X10 ³	1,79X10 ³	4,51X10 ³	2,09X10 ³	8,46X10 ³	7,24X10 ³
PVC-C (Oasen)	5,22X10 ²	4,89X10 ²	1,81X10 ³	1,88X10 ³	8,46X10 ²	2,62X10 ³
PE-100 (Oasen)	1,13X10 ⁴	2,94X10 ⁴	1,92X10 ⁴	1,85X10 ⁴	1,92X10 ⁴	1,11X10 ⁴

Bijlage II Resultaten materialentest 2007

TABEL 10. ATP CONCENTRATIE (PG CM²) IN DE BIOFILM VAN DE MATERIALEN

Test materiaal	Week 5 (Dag 35)		Week 9 (Dag 60)		Week 17 (Dag 119)	
	gem		gem		Gem	
Negatieve controle (glas)	45		58		109	
Positieve controle (PVC-P)	13.575		10.492		6.606	
Koper	103		85		269	
PE-Xb	n.v.t.		n.v.t.		n.v.t.	
PE-Xc	n.v.t.		n.v.t.		n.v.t.	
PVC-C	86		92		148	
PE-100	1.246		807		2.416	

TABEL 11. RESULTATEN MATERIALENTTEST MET NIEUWEGEINS WATER IN 2007

Test materiaal	LGP-mat (Leg-kve cm ²)	
	gem	Stdev
Negatieve controle (glas)	<15,7	0
Positieve controle (PVC-P)	495.184,5	787.397,1
Koper	360,7	734,9
PE-Xb	n.v.t.	n.v.t.
PE-Xc	n.v.t.	n.v.t.
PVC-C	26,3	10,6
PE-100	3.024,5	4.692,2

TABEL 12. LEGIONELLA AANTALLEN (KVE CM³) IN DE BIOFILM, MET NIEUWEGEINS WATER IN 2007

Test materiaal	Week 5 (Dag 35)		Week 9 (Dag 60)		Week 17 (Dag 119)	
	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2	Fles 1	Fles 2
Negatieve controle (glas)	<15	15	<15	<15	<17	<17
Positieve controle (PVC-P)	1,3X10 ⁶	630	1,4X10 ⁶	460	2,7X10 ⁵	<17
Koper	1,95X10 ³	150	15	<15	<17	<17
PE-Xb	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
PE-Xc	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
PVC-C	34	60	<15	<15	<17	<17
PE-100	9,2X10 ³	<15	6,5X10 ³	<15	2,4X10 ³	17