



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Effectiviteit van beheerstechnieken voor legionella in drinkwaterinstallaties

RIVM Rapport 703719078/2012
J.A.C. Schalk | A.A. Bartels | A.M. de Roda
Husman



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Effectiviteit van beheerstechnieken voor legionella in drinkwaterinstallaties

RIVM Rapport 703719078/2012

Colofon

© RIVM 2012

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: 'Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave'.

J.A.C. Schalk, RIVM
A.A. Bartels, GroundWorks
A.M. de Roda Husman, RIVM

Contact:
J.A.C. Schalk
Laboratorium voor zoönosen en omgevingsmicrobiologie
marjolijn.schalk@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van Inspectie Leefomgeving en Transport, Programma Schoon en veilig water, in het kader van project M/703719 Monitoring en handhaving drinkwaterwet, toezicht drinkwater en legionella

Dankwoord

Graag willen wij Dhr. R. Derworts van Kiwa, Mw. H. Kok en Dhr. P. Molenaar van GGD Amsterdam, Dhr. F. Mul van Vereniging Gehandicaptenzorg Nederland, Dhr. P. ten Outenaar van PWN, Dhr. P. Korff de Gidts van LegioFreeWater BV, Dhr. M. Westerlaken van Blygold Laboratories BV, Dhr. G. Veenendaal van de Stichting Interakt Contour Groep, Mw. J. Flapper van Radar en AO/IC, Mw. Veldhuis de Winter van Aveleijn, Dhr. L. Vermeulen van Prinsentichting en Dhr. L. Dibbets van Zideris bedanken voor hun medewerking aan dit rapport. Verder willen wij graag Mw. A. Versteegh en Dhr. A.J. de Neeling van het RIVM en Dhr. F. Oosterholt van KWR bedanken voor het kritisch doorlezen en becommentariëren van dit rapport.

Rapport in het kort

Effectiviteit van beheerstechnieken voor legionella in drinkwaterinstallaties

De groei van legionellabacteriën in een drinkwaterinstallatie kan met uiteenlopende technieken worden beperkt. Zo kunnen drinkwaterleidingen die weinig worden gebruikt regelmatig worden doorgespoeld (thermisch beheer). Een ander voorbeeld is het gebruik van filters in douchekoppen (fysisch beheer). Daarnaast bestaat de zogeheten koper/zilver-ionisatie, waarbij koper- en zilverionen door de leidingen worden geleid (elektrochemisch beheer).

Sommige technieken kunnen problemen geven bij de uitvoering ervan. Vooral bij thermisch beheer moeten handelingen vaak worden herhaald en gecontroleerd. Dit gebeurt in de praktijk niet altijd, wat de effectiviteit kan beïnvloeden. Ook bij andere beheerstechnieken is de effectiviteit afhankelijk van een continue uitvoering, controle en onderhoud op de locatie.

Dit blijkt uit een onderzoek van het RIVM. Hierin zijn alle bestaande technieken geïnventariseerd en zijn wetenschappelijke bevindingen over de effectiviteit van beheerstechnieken op een rij gezet. Daarnaast zijn enkele partijen in Nederland ondervraagd die te maken hebben met het toetsen of uitvoeren van legionellabeheer. De studie is uitgevoerd in opdracht van de Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT, voorheen VROM-Inspectie).

Trefwoorden:

Legionella, beheersmaatregelen, beheerstechnieken, thermisch beheer, fysisch beheer, elektrochemisch beheer, fotochemisch beheer, chemisch beheer

Abstract

Effectiveness of control measures for *Legionella* in water supply systems

Growth of *Legionella* in water supply systems can be controlled by several measures. Water pipes can be flushed regularly (thermal control). Another example of a control method is the use of filters on faucets where aerosolisation takes place (physical control). Copper-silver ionization is a method in which copper and silver ions are passed through pipes (electrochemical control).

Some control measures can lead to problems in the execution. Especially for thermal control many actions have to be performed and checked regularly. This is not always performed correctly what can affect the effectiveness of the control method. Also for other control methods correct implementation, control and maintenance are important.

This is concluded from a study that was conducted by the RIVM. Existing control methods were taken into account and scientific studies on the effectiveness with respect to control of *Legionella* were investigated. Also, several parties in The Netherlands, involved in the inspection or execution of control measures for *Legionella*, were interviewed. The study was conducted by order of the "Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT)".

Keywords:

Legionella, *Legionella* control, control measures, thermal control, physical control, electrochemical control, photochemical control, chemical control.

Inhoud

Samenvatting—11

1 Inleiding—13

2 Beheerstechnieken—15

- 2.1 Waar vindt het beheer plaats?—15
- 2.2 Thermisch beheer—15
 - 2.2.1 Warmtelint—16
 - 2.2.2 Geautomatiseerd thermisch beheer—17
- 2.3 Fysisch beheer—17
 - 2.3.1 Microfiltratie (MF)—17
 - 2.3.2 Ultrafiltratie (UF)—17
 - 2.3.3 Ultraviolet (UV)-licht—18
 - 2.3.4 Ultrasonische cavitatie (geluidsgolven)—18
 - 2.3.5 Pasteurisatie—18
- 2.4 Fotochemisch beheer—18
 - 2.4.1 Advanced oxidation technology (AOT)—18
- 2.5 Elektrochemisch beheer—19
 - 2.5.1 Koper/zilver-ionisatie—19
 - 2.5.2 Anodische oxidatie—20
- 2.6 Chemisch beheer—20
 - 2.6.1 Chloordioxide (ClO₂)—21
 - 2.6.2 Monochlooramine—21
 - 2.6.3 Natriumhypochloriet—21
 - 2.6.4 Ozon—21

3 Regelgeving en certificering—23

- 3.1 Drinkwaterbesluit 2011—23
- 3.2 BRL K14010—23

4 Effectiviteit van legionellabeheerstechnieken—27

- 4.1 Thermisch beheer—27
- 4.2 Fysisch beheer—28
 - 4.2.1 Filtratie—28
 - 4.2.2 UV—28
 - 4.2.3 Ultrasonische cavitatie—28
- 4.3 Elektrochemisch beheer—28
 - 4.3.1 Koper/zilver-ionisatie—28
- 4.4 Chemisch beheer—30
 - 4.4.1 Chloordioxide—30
 - 4.4.2 Monochlooramine—30

5 Implementatie van legionellabeheerstechnieken—33

- 5.1 De regelgeving—33
- 5.2 De praktijk—33

6 Discussie—37

Aanbevelingen—41

Literatuur—43

Samenvatting

Literatuuronderzoek naar de huidige wetenschappelijke kennis over de effectiviteit van beheerstechnieken voor legionella in drinkwaterinstallaties heeft een uitvoerig overzicht opgeleverd. Tevens zijn enkele publieke en private partijen in Nederland gevraagd naar hun ervaringen met de toepassing en effectiviteit van beheerstechnieken in de Nederlandse praktijk.

De onderzochte literatuur uit 2007-2011 betreft vooral casestudies naar het effect van de introductie van een bepaalde beheerstechniek in een drinkwaterinstallatie op de legionellagroei. Er zijn geen beschrijvingen van systematische vergelijkingen tussen verschillende beheerstechnieken aangetroffen. Ook zijn er in de recente literatuur weinig studies aangetroffen naar het effect van verschillende variabelen, zoals pH, waterhardheid of leidingmateriaal, op de effectiviteit van de beheerstechniek. Uit de literatuurstudie blijkt dat ondanks het toepassen van thermisch beheer toch vaak kolonisatie van het systeem met legionella optreedt. Het toepassen van thermische desinfectie van koudwaterleidingen is meestal niet mogelijk, terwijl hier wel vaak groei van legionella plaatsvindt. Point-of-use-toepassing van filters op tappunten waar verneveling plaatsvindt blijkt effectief, mits de filters regelmatig gereinigd of vervangen worden. Ook koper/zilver-ionisatie blijkt een effectieve techniek te zijn om legionella in een installatie te bestrijden en te voorkomen, mits de ionconcentratie in het water voldoende hoog is.

De effectiviteit van een beheerstechniek hangt echter niet alleen af van de werking van de techniek. De beheerstechniek moet op de juiste wijze worden uitgevoerd, gecontroleerd en onderhouden. Afwijkingen kunnen leiden tot verminderde effectiviteit. Met name voor thermisch beheer lijkt juiste uitvoering lastig omdat voor deze techniek ten opzichte van andere beheerstechnieken veel handelingen moeten worden verricht, zoals het regelmatig spoelen van de leidingen. Vaak wordt het beheer geheel uitbesteed aan leveranciers of adviesbedrijven. Een mogelijk nadeel hiervan is dat de juridische eigenaar geen kennis meer heeft over het beheer, terwijl de eigenaar wel eindverantwoordelijk is.

1 Inleiding

Legionella is een bacterie die in waterige milieus kan overleven maar voor de vermeerdering protozoa als gastheer nodig heeft (Fields et al., 2002). Deze protozoa komen voor in biofilms in bijvoorbeeld drinkwaterleidingen. De biofilms vormen een voedselrijke omgeving voor protozoa en legionellabacteriën (Rogers en Keevil, 1992; Murga et al., 2001; Declerck et al., 2009). Uitbraken van legionellapneumonie (longontsteking), waarbij mensen ziek werden door blootstelling aan legionella uit drinkwaterinstallaties, zijn veelvuldig beschreven (Craun et al., 2010; Bornstein et al., 1986; Breiman et al., 1990). Er bestaan meer dan 50 verschillende legionellasoorten, maar de soort *Legionella pneumophila* is in meer dan 90% van de gediagnosticeerde gevallen van legionellapneumonie de veroorzaker (Fields et al., 2002).

Om blootstelling aan legionellabacteriën via drinkwaterinstallaties te voorkomen is in het Drinkwaterbesluit van 2011 (Staatsblad nr 293, 2011) vastgelegd dat bij bepaalde collectieve drinkwaterinstallaties legionellapreventie toegepast moet worden. Het betreft locaties waar voor het merendeel personen verblijven die een groter risico hebben om een legionellapneumonie op te lopen, zoals ziekenhuizen en verzorgingshuizen, of type locaties die eerder als bron zijn aangemerkt, zoals hotels en zwembaden. Ook gaat het om locaties waar personen onder verantwoordelijkheid van de overheid min of meer gedwongen verblijven, zoals gevangenissen en asielzoekerscentra. Legionellapreventie begint met het uitvoeren van een risicoanalyse van de drinkwaterinstallatie. Als uit de risicoanalyse blijkt dat de drinkwaterinstallatie niet voldoet aan het bouwbesluit (NEN 1006), zoals de aanwezigheid van niet gebruikte of verkeerd geïnstalleerde leidingen of appendages, dan moeten deze leidingen of appendages zo spoedig mogelijk worden verwijderd of aangepast (correctieve maatregel). De risico's die niet kunnen worden weggenomen moeten worden beheerst. Hiervoor dient een beheersplan te worden opgesteld en te worden uitgevoerd waarbij een beheerstechniek wordt gebruikt volgens de 'ladder van IenM':

1. Thermisch, fysisch of fotochemisch,
2. Elektrochemisch,
3. Chemisch.

Tot 1 juli 2011 was het Waterleidingbesluit van kracht en hierin was opgenomen dat beheer moest plaatsvinden op basis van een thermisch beheersplan. Alleen onder bepaalde voorwaarden kon gebruik gemaakt worden van "alternatieve" beheerstechnieken zoals fysische- of elektrochemische technieken. In het nieuwe Drinkwaterbesluit dat per 1 juli 2011 van kracht is, worden fysische- of fotochemische beheerstechnieken gelijkgeschakeld met thermisch beheer. Voor het toepassen van deze technieken is geen onderbouwing of toestemming vereist. Indien deze technieken niet voldoen kan onder bepaalde voorwaarden, onderbouwd door een gecertificeerde adviseur, elektrochemisch beheer worden toegepast.

Dit rapport geeft een overzicht van de huidige beheerstechnieken. Het principe van de werking van de bestaande beheerstechnieken is beschreven in hoofdstuk 2 en de regelgeving met betrekking tot het gebruik van deze technieken is beschreven in hoofdstuk 3. De auteurs van dit rapport hebben een literatuuronderzoek uitgevoerd naar de effectiviteit van diverse beheerstechnieken. In eerdere rapporten zijn al de voor- en nadelen en de

effectiviteit van destijds beschikbare 'alternatieve beheerstechnieken' voor legionellapreventie beschreven (Beerendonk et al., 2002; KWR 2003 en 2006; Versteegh et al., 2007). In deze studie is de recente literatuur van 2007-2011 onderzocht op studies naar de effectiviteit van beheerstechnieken. In hoofdstuk 4 worden de resultaten van het literatuuronderzoek beschreven. Tevens zijn enkele partijen in Nederland die te maken hebben met het toetsen of uitvoeren van beheerstechnieken gevraagd naar hun ervaringen om een indruk te krijgen van de toepassing en effectiviteit van beheerstechnieken in de Nederlandse praktijk. De resultaten van deze interviews staan beschreven in hoofdstuk 5. In hoofdstuk 6 worden de resultaten bediscussieerd, conclusies getrokken en aanbevelingen gedaan met betrekking tot de effectiviteit van beheerstechnieken voor legionella in drinkwaterinstallaties.

2 Beheerstechnieken

2.1 Waar vindt het beheer plaats?

Voor de verschillende beheerstechnieken zijn er verschillen in de positie waar de beheerstechnieken worden geplaatst in de drinkwaterinstallatie en waar in de installatie de technieken hun werking hebben. Sommige beheerstechnieken worden net na de watermeter geplaatst of verderop in de installatie bij een hoofdleiding en zorgen ervoor dat er (nagenoeg) geen legionellabacteriën in de nageschakelde drinkwaterinstallatie komen. Voorbeelden van deze beheerstechnieken zijn UV/filter-apparaten. Het beheer vindt alleen plaats bij binnenkomst van het drinkwater in het gebouw of bij het deel van de drinkwaterinstallatie waar verneveling plaatsvindt en niet in de rest de installatie; er is sprake van *lokaal beheer*. Vanwege de functie en positie in de drinkwaterinstallatie worden deze technieken '*poortwachters*' genoemd of '*point-of-entry*'-systemen. Bij een dergelijke beheerstechniek dient de drinkwaterinstallatie na de poortwachter grondig gereinigd te worden om ervoor te zorgen dat er geen legionellabacteriën en biofilm (meer) aanwezig zijn. Vanaf het moment dat die situatie is bereikt, en zolang die situatie kan worden gehandhaafd, is beheer na de poortwachter niet noodzakelijk.

Een andere vorm van lokaal beheer zijn systemen die worden geplaatst in de douchekoppen of andere vernevelende tappunten, zoals filters. Het beheer vindt dan alleen plaats bij het vernevelende tappunt, ook wel '*point-of-use*'-beheer genoemd. Dit type beheer wordt vooral toegepast bij drinkwaterinstallaties met weinig vernevelende tappunten of als tijdelijke beheerstechniek na het vinden van een verhoogde legionellaconcentratie.

Daarnaast zijn er technieken die bacteriën en de biofilms in de hele drinkwaterinstallatie bestrijden door vorming of toevoeging van bacteriedodende stoffen in het drinkwater. Voorbeelden zijn koper/zilver-ionisatie en anodische oxidatie. De apparatuur wordt meestal ook vlak na de watermeter geplaatst of bij een hoofdleiding waar vernevelende tappunten op zijn aangesloten. Deze systemen worden echter geen poortwachters genoemd, want er is geen sprake van lokaal beheer, maar beheer in de gehele nageschakelde installatie.

2.2 Thermisch beheer

In het Drinkwaterbesluit en de Regeling legionellapreventie (Staatsblad nr. 293 2011 en Staatscourant nr. 10828 2011) wordt uitgebreid beschreven wat verstaan wordt onder thermisch beheer. Bij thermisch beheer wordt getracht op twee manieren de groei van legionellabacteriën te beheersen:

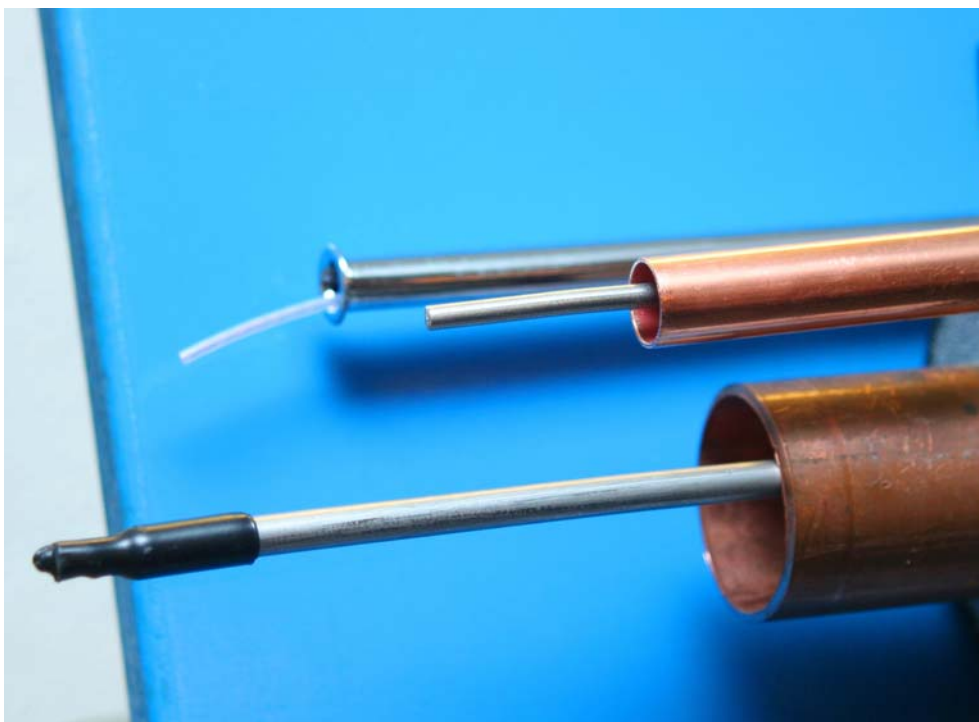
- Het voorkómen van een gunstige temperatuur voor groei in de gehele drinkwaterinstallatie; koud water niet warmer dan 25°C (bij voorkeur <20°C) en warm water niet kouder dan 50°C (bij voorkeur >60°C);
- Het voorkómen van stilstand van water in leidingen door de gehele installatie minimaal wekelijks te gebruiken (doorstroming).

Om deze beheersmaatregelen correct uit te kunnen voeren is het noodzakelijk de temperatuur en de gebruiksfrequentie van het gehele drinkwatersysteem wekelijks te controleren. Indien een tappunt niet wekelijks gebruikt wordt maar de watertemperatuur komt niet tussen de 25°C en 50°C, dan kan worden

volstaan met het spoelen van deze tappunten tot 10 seconden nadat een stabiele temperatuur is bereikt. Als de temperatuur wel tussen de 25°C en 50°C komt is thermische desinfectie noodzakelijk. Voor de warmwaterleiding en mengwaterleiding is desinfectie uit te voeren door de leidingen te spoelen met water van boven de 60°C. Hoe hoger de temperatuur, hoe korter de spoeltijd (60°C – 20 minuten, 65°C – 10 minuten, 70°C – 5 minuten). Functie van de desinfectie is om eventueel aanwezige legionellabacteriën af te doden en de biofilm zo veel mogelijk te verwijderen. Desinfectie van koudwaterleidingen met water boven de 60°C is lastiger. Soms is het mogelijk via een bypass de warmwaterinstallatie aan te sluiten op de koudwaterinstallatie, maar de koudwaterinstallatie is niet altijd geschikt voor thermische desinfectie en er bestaat een risico op verbranding van de huid of de slijmvliezen indien geen goede naspoeling met koud water heeft plaatsgevonden.

2.2.1 Warmtelint

Sinds een paar jaar is een toepassing beschikbaar waarmee ook koudwaterleidingen thermisch gedesinfecteerd kunnen worden zonder dat de warmwaterleiding hoeft te worden aangesloten op de koudwaterinstallatie. Een *warmtelint* van RVS of teflon wordt door de drinkwaterleiding getrokken, vervolgens wordt daar 40-50 volt op gezet en gedurende twintig minuten wordt het water in de leiding tot minimaal 60°C verhit (thermische desinfectie). Hierna worden de leidingen doorgespoeld met koud water. De leverancier geeft aan dat hiermee de legionellabacteriën worden gedood en de biofilm uit de leidingen wordt afgebroken (<http://www.dehit.nl/LFW>). Het warmtelint vormt een onderdeel van een 'totaal installatie- en beheerprogramma' van de leverancier en wordt zover bekend niet als losse techniek aangeboden.



Figuur 1 Warmtelint in een drinkwaterleiding (afbeelding verkregen van LegioFreeWater BV).

2.2.2 *Geautomatiseerd thermisch beheer*

Steeds meer bedrijven bieden volledig geautomatiseerde systemen aan voor thermisch beheer. Deze systemen registreren de temperatuur en spoelen automatisch een tappunt als deze niet wekelijks gebruikt wordt en/of gunstige groeitemperaturen worden gemeten. Ook zijn er systemen die altijd één keer per week spoelen, ongeacht of er sprake is van stilstand. Vaak kunnen deze systemen geïntegreerd worden met een eventueel aanwezig gebouwbeheersysteem. Het beheer hoeft dan niet meer te worden uitgevoerd door de onderhouds- of schoonmaakdienst op de locatie en kan op afstand worden gemonitord. Vaak is het geautomatiseerde beheer geheel in handen van een externe beheermaatschappij.

2.3 **Fysisch beheer**

Fysische beheerstechnieken zijn het toepassen van filters, ultraviolet (UV)-licht, ultrasonische cavitatie of pasteurisatie. Het zijn technieken waarbij geen stoffen worden toegevoegd of gevormd in het drinkwater.

2.3.1 *Microfiltratie (MF)*

Een microfilter heeft poriën ter grootte van 0,1 – 1,0 µm. Het drinkwater kan door dit filter stromen, maar de meeste bacteriën en amoeben niet. Legionellabacteriën zijn 0,3 – 0,9 µm breed en 2 - 20 µm lang. Legionellabacteriën kunnen in de loop van de tijd door het filter groeien en MF is daarom minder geschikt om als enige beheerstechniek te gebruiken. De filters worden vaak gebruikt in combinatie met bijvoorbeeld UV-licht en geplaatst vlak na de watermeter of bij een hoofdleiding ('point of entry' of 'poortwachter'). Het filter zorgt ervoor dat zoveel mogelijk (organische) deeltjes worden tegengehouden, zodat de volgende beheerstechniek die na het filter is geplaatst beter werkt. Het filter kan ook (tijdelijk) worden gebruikt in de douchekop ('point of use'). Het is wel belangrijk om filters tijdig te vervangen om doorgroei te voorkomen.

2.3.2 *Ultrafiltratie (UF)*

Bij ultrafiltratie wordt het drinkwater onder druk door een filter met een poriëgrootte van 0,01 – 0,1 µm geperst. Bacteriën zoals legionella kunnen dit filter niet passeren. UF wordt meestal als poortwachter gebruikt om herkolonisatie van de drinkwaterinstallatie na de watermeter te voorkomen. Ook dit filter wordt gebruikt in combinatie met andere beheerstechnieken zoals UV-licht. De filters kunnen ook worden geplaatst in douchekoppen. De filters moeten gecontroleerd worden op vervuiling/verstopping. Periodiek moeten de filters vervangen worden of gereinigd om verstopping te voorkomen. Bij onvoldoende controle en niet tijdig vervangen kan schade aan het filter ontstaan, waardoor legionellabacteriën in het drinkwater terecht kunnen komen. Sommige filters kunnen ook automatisch worden gereinigd.

Bij zowel UF als MF is de integriteit van het membraan een belangrijk aspect. Beide membraantypen kunnen door productiefouten bij aanvang of door verschillende oorzaken tijdens gebruik lekkages gaan vertonen. Hierdoor is het membraan niet meer volledig dicht en kunnen bacteriën alsnog het membraan passeren. Bij poortwachtersystemen is dit al direct ongewenst. Het membraan is niet langer integer en in het nageschakelde systeem kan herkolonisatie en uitgroei van legionellabacteriën plaatsvinden. Bij point-of-use-apparaten kunnen lekkages leiden tot blootstelling van de gebruiker.

2.3.3 *Ultraviolet (UV)-licht*

Bij deze vorm van beheer wordt het drinkwater langs UV-licht geleid. UV-licht met een golflengte van circa 254 nm geeft genoomschade en verstoort de celdeling van de legionellabacterie. In het drinkwater bevinden zich echter ook (organische) deeltjes zoals amoeben of kalkdeeltjes die door het blokkeren van UV-licht ervoor kunnen zorgen dat de bacteriën onvoldoende stralingsdosis ontvangen. De UV-apparatuur die voor legionellapreventie van drinkwater wordt gebruikt bevat daarom ook een microfilter (zie paragraaf 2.3.1) om deze deeltjes tegen te houden voordat het drinkwater langs de UV-lamp wordt geleid. De UV-apparatuur wordt meestal geplaatst als poortwachter in een drinkwaterinstallatie (zie ook paragraaf 2.6). Er bestaan echter ook douchekoppen met een UV-lamp.

2.3.4 *Ultrasonische cavitatie (geluidsgolven)*

Ultrasonische golven kunnen afwisselend hoge en lage druk in het water genereren. Bij lage druk ontstaan vacuümbelletjes of holtes die bij hoge druk imploderen; dit wordt cavitatie genoemd. Door de implosie ontstaat een hoge temperatuur en druk waardoor celwanden van amoeben kapot gaan. Om eventuele legionellabacteriën die in de amoeben zaten te vernietigen wordt het systeem vaak gecombineerd met UV-licht.

2.3.5 *Pasteurisatie*

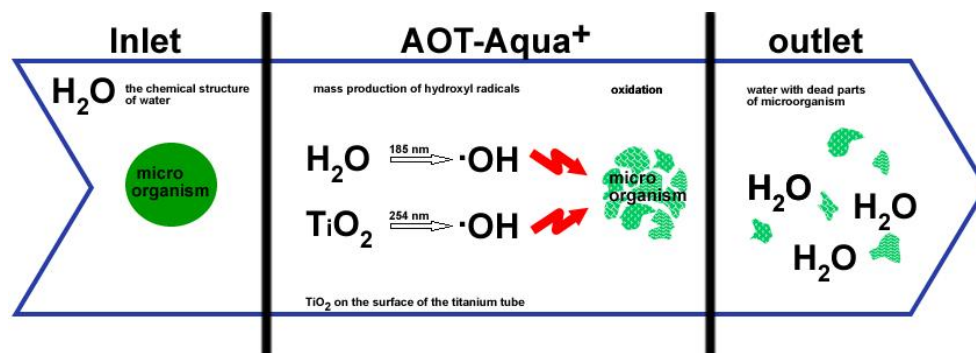
In een pasteurisatiesysteem wordt het water eerst verhit gedurende 5 minuten bij minimaal 70°C (pasteurisatie/thermische desinfectie) en vervolgens wordt het water afgekoeld naar ongeveer 40-50°C voordat het verder in de waterinstallatie wordt gebracht ('point-of-entry'-systeem). Door pasteurisatie van het drinkwater worden legionellabacteriën gedood. Om het drinkwater te kunnen pasteuriseren is het van belang om de temperatuur gedurende de pasteurisatieperiode constant te houden. Hiervoor wordt gebruikgemaakt van warmtewisselaars en oplaadboilers (buffervaten). Door gebruik van de oplaadboilers kan ook bij piekmomenten in het watergebruik de pasteurisatie gegarandeerd worden. Pasteurisatie is vooral geschikt voor warmwater- en mengwaterleidingen. Het gepasteuriseerde water kan onvoldoende afgekoeld worden om te worden gebruikt voor koud water.

2.4 **Fotochemisch beheer**

2.4.1 *Advanced oxidation technology (AOT)*

Recent is een nieuwe beheerstechniek op de markt gekomen: Advanced Oxidation Technology (AOT). Bij AOT wordt drinkwater geleid door een apparaat met UV-licht in een behuizing met een laagje titaniumoxide (TiO₂). Doordat het TiO₂-laagje in de buis met UV-licht wordt bestraald ontstaat een reactie waarbij watermoleculen worden omgezet in hydroxyl (OH)-radicalen (fotochemische reactie). TiO₂ treedt op als katalysator. Deze OH-radicalen veroorzaken een oxidatiereactie waardoor de celwand van micro-organismen, waaronder legionellabacteriën, in het drinkwater wordt vernietigd (zie Figuur 2). Ook de UV-lamp zorgt voor bestrijding van de legionellabacteriën (zie paragraaf 2.2.3). Door de korte levensduur van de radicalen vindt de reactie alleen in de behuizing plaats. Er is dus geen restwerking en er worden geen stoffen gevormd of toegevoegd aan het water. Door oxydatiereacties van hydroxylradicalen met organische stoffen kan de samenstelling van het drinkwater wel enigszins wijzigen. Het systeem AOT-Aqua+ van firma Blygold is toegelaten door het College voor de toelating van gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Ctgb). Het AOT-apparaat wordt net als een UV/filter-apparaat als poortwachter

geplaatst. Voordat de apparatuur geplaatst wordt, is het daarom nodig de nageschakelde drinkwaterinstallatie grondig te reinigen.



Figuur 2 Werkingsprincipe AOT-beheerstechniek (afbeelding verkregen van Blygold Nederland BV).

2.5 Elektrochemisch beheer

Door elektrochemische beheerstechnieken worden stoffen in het water gevormd of toegevoegd die bij een bepaalde concentratie schadelijk kunnen zijn voor de volksgezondheid en het milieu. De techniek van een leverancier moet daarom worden toegelaten door het Ctgb en indien het gebruikt wordt voor legionellapreventie voorzien zijn van het BRL K14010-2-certificaat om in Nederland voor drinkwater te worden gebruikt (zie ook paragraaf 3.2). De volgende elektrochemische technieken zijn in Nederland toegelaten door het Ctgb en/of in procedure:

2.5.1 Koper/zilver-ionisatie

Een koper/zilver-ionisatiesysteem wordt in de hoofdleiding vlak na de watermeter of verderop in het systeem geplaatst. In dit 'doorstroomsysteem' zitten 2 elektroden; 1 van koper (Cu) en 1 van zilver (Ag), of legeringen van koper en zilver. Als hier stroom door wordt geleid, ontstaan ionen (Cu^+ en Ag^+) bij de elektroden (= elektrolyse). Het water wordt langs deze elektroden geleid en de ionen komen in het drinkwater terecht. Cu^+ wordt in het water omgezet in Cu^{2+} en zorgt er voor dat de celwand van micro-organismen, zoals legionellabacteriën, permeabel wordt. De Ag^+ -ionen dringen vervolgens de bacterie binnen en verstoren de celprocessen waardoor de bacterie niet meer kan delen en afsterft. Indien de concentratie ionen optimaal is, hebben ze ook nog enkele weken een restwerking na uitschakeling van het systeem, doordat de ionen diep kunnen binnendringen in de biofilm en daar accumuleren. De ionen kunnen in het hele systeem worden verspreid mits de concentratie correct is afgesteld, de pH niet te hoog is (lieft $pH < 8$) en er weinig tot geen dode leidingen aanwezig zijn. De hoeveelheid stroom en daarmee de hoeveelheid ionen kan worden gereguleerd. De BRL K14010-2 stelt dat de apparatuur zodanig moet zijn afgesteld dat overdosering dient te worden voorkomen. Het kopergehalte direct na de apparatuur moet onder de $1.000 \mu g/l$ blijven en bij elk tappunt onder $2.000 \mu g/l$. Het zilveragehalte dient direct na de apparatuur onder de $50 \mu g/l$ te blijven. Bij koper/zilver-ionisatie voor legionellapreventie blijven deze waarden hier ruim onder, namelijk respectievelijk $100-400 \mu g/l$ en $10-40 \mu g/l$. Het Ctgb heeft inmiddels systemen van een aantal leveranciers toegelaten, maar in alle gevallen beperkt die toelating zich tot prioritaire installaties.

2.5.2 *Anodische oxidatie*

Bij anodische oxidatie worden geen stoffen aan het water toegevoegd maar worden de in het drinkwater aanwezige stoffen door elektrolyse omgezet in oxiderende en desinfecterende stoffen, voornamelijk vrij chloor (OCl^- , HOCl). De oxidatie van chloride vindt plaats bij de anode, vandaar de naam 'anodische oxidatie'. De wisselwerking van de verschillende stoffen die zijn gevormd door de elektrolyse versterkt volgens de leveranciers het desinfecterende effect. Net als bij koper/zilver-ionisatie wordt er gebruikgemaakt van een doorstroomsysteem. Er kan ook gekozen worden voor een bypass-systeem waarbij een deel van de volumestroom door de zogenaamde 'oxidatiekamer' wordt geleid.

Voor een effectieve anodische oxidatie is het noodzakelijk een zoutgehalte van minimaal 20-50 mg/l in het drinkwater te hebben. Als het zoutgehalte te laag is wordt keukenzout aan het systeem toegevoegd. Soms wordt ook ultrasone cavitatie gebruikt om de celwand van amoeben permeabel te maken waardoor de desinfecterende stoffen de legionellabacteriën in de amoeben kunnen bereiken. Een hoge pH ($\text{pH} > 8$) heeft een nadelig effect op de werking van anodische oxidatie. De hoeveelheid desinfecterende stoffen hangt af van de stroomsterkte die door de elektroden wordt geleid. Vanwege de in-situ-bereiding van desinfecterende stoffen is niet altijd bekend wat de concentraties zijn. De hoeveelheid chloor kan variëren van enkele $\mu\text{g/l}$ tot 1 mg/l, maar deze concentratie blijft ver onder de door de WHO gestelde norm van maximaal 5 mg/l. Net als bij koper/zilver-ionisatie is er bij anodische oxidatie sprake van restwerking na uitschakeling van het systeem. Dit is echter veel korter dan bij koper/zilver-ionisatie omdat het vrij chloor relatief snel wegreageert. Recent is door het Ctgb een dergelijk beheerssysteem toegelaten.

Elektrodiafragmalysie is een vorm van anodische oxidatie. Bij elektrodiafragmalysie zit tussen de anode en kathode een keramisch diafragma waardoor alleen ionen en elektronen kunnen passeren. Aan de anode wordt onder andere ozon, waterstofperoxide en chloordioxide gevormd. Elektrodiafragmalysie-apparatuur gebruikt onthard leidingwater om een verzadigde keukenzoutoplossing te bereiden die vervolgens in de elektrolysecel wordt gebracht. Deze oplossing wordt vervolgens proportioneel gedoseerd aan het drinkwatersysteem (KWR, 2006).

2.6 **Chemisch beheer**

In Nederland wordt voor legionellapreventie geen gebruik gemaakt van chemisch beheer in drinkwaterinstallaties, mede omdat het op dit moment niet door het Ctgb is toegelaten. In het buitenland wordt wel gebruikgemaakt van een continue dosering van chemicaliën (biociden) aan het drinkwater om micro-organismen te bestrijden, veelal betreft dit chloorverbindingen die centraal door het drinkwaterbedrijf worden gedoseerd. In de (momenteel fictieve) situatie dat door het Ctgb toelating zou zijn verleend, mag chemisch beheer alleen worden ingezet als met thermische, fysische, fotochemische of electrochemische beheerstechnieken de legionellabacteriën niet beheerst kunnen worden. Hiervoor is een schriftelijke en gemotiveerde verklaring nodig van een op grond van BRL 6010 gecertificeerd bedrijf.

Belangrijk is om onderscheid te maken in continu chemisch beheer en eenmalige desinfectie. Voor eenmalige desinfectie om bijvoorbeeld een verhoogde concentratie legionellabacteriën te vernietigen of om een systeem te reinigen

voordat een poortwachter wordt geplaatst, mogen, onder bepaalde voorwaarden, wel chemicaliën die toegelaten zijn door het Ctgb gebruikt worden. Bij gebruik van chemicaliën als beheerstechniek is het belangrijk om de concentratie te controleren en te voorkomen dat concentraties worden bereikt die schadelijk kunnen zijn voor de volksgezondheid en het milieu. Meestal wordt een automatisch doseersysteem gebruikt om de juiste concentratie van de biocide in het drinkwater te doseren en te controleren. Een overzicht van chemicaliën die voor beheer in theorie denkbaar zouden kunnen zijn volgt hieronder.

2.6.1 *Chloordioxide (ClO₂)*

Chloordioxide (ClO₂) wordt al sinds de jaren '40 van de vorige eeuw in Europa gebruikt voor behandeling van drinkwater. Chloordioxide is een gas in oplossing. ClO₂ is minder corrosief dan chloor en beter werkzaam bij een hogere pH. Bij gebruik van ClO₂ ontstaat echter chloriet en chloraat die in verhoogde concentratie schadelijk zijn voor de volksgezondheid. Vanwege vorming van chloriet en chloraat mag niet meer dan 0,2 mg/l chloordioxide continu aanwezig zijn in het drinkwater.

2.6.2 *Monochlooramine*

Monochlooramine (MCA) wordt gevormd uit ammonium en natriumhypochloriet. MCA werkt goed in op de biofilm omdat de biocide stabiel is dan vrij chloor (uit natriumhypochloriet (zie paragraaf 2.6.3) en de pH ook minder van invloed is bij dit proces. Ook voor MCA geldt een doseerlimiet in verband met neveneffecten van bijproducten.

2.6.3 *Natriumhypochloriet*

Natriumhypochloriet werkt het best bij een pH lager dan 7,5. Het vrije chloor is dan voornamelijk aanwezig als HOCl.

2.6.4 *Ozon*

Ozon is uitgezonderd van de reikwijdte van de Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden, maar heeft voor gebruik in drinkwater wel een goedkeuring op basis van de Drinkwaterwet. Voor legionellapreventie in collectieve leidingwaterinstallaties is geen goedkeuring afgegeven.

3 Regelgeving en certificering

3.1 Drinkwaterbesluit

In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat voor legionellapreventie van drinkwater er een vrije keus is uit thermische, fysische en fotochemische beheerstechnieken. Voorwaarde is dat fysische en fotochemische beheerstechnieken gecertificeerd zijn op basis van BRL K14010-1. Voor fotochemisch beheer moet bovendien door het Ctgb een toelating zijn afgegeven op basis van de Wet gewasbeschermingsmiddelen en biociden (Wgb). Ook een combinatie van deze technieken, al dan niet met thermisch beheer, is toegestaan (Drinkwaterbesluit artikel 44, lid 1). Als deze beheerstechnieken redelijkerwijs niet toereikend zijn om de concentratie legionellabacteriën te verlagen dan kan gekozen worden voor electrochemische beheerstechnieken. Hiertoe moet een op grond van BRL 6010-gecertificeerd bedrijf een schriftelijke en gemotiveerde verklaring opstellen. In het Drinkwaterbesluit is ook opgenomen dat de techniek voorzien moet zijn van een BRL K14010-2-certificaat. Op grond van de Wgb is een toelating van het Ctgb vereist en de daarin opgenomen voorschriften moeten worden nageleefd. Op dit moment is in die voorschriften opgenomen dat elektrochemische technieken alleen op prioritaire locaties mogen worden gebruikt. Tevens dient te worden voldaan aan de Regeling chemicaliën en materialen in contact met drinkwater in de vorm van een zogenoemd ATA-certificaat. De laatste trede in de keuze van beheerstechnieken is chemisch beheer. Net als voor fotochemisch en electrochemisch beheer geldt ook voor een chemische beheerstechniek dat de Ctgb een toelating moet hebben afgegeven op basis van de Wgb. Bovendien moet een BRL 6010-gecertificeerd bedrijf schriftelijk motiveren waarom anders dan chemisch beheer niet toereikend is (Drinkwaterbesluit artikel 44, lid 3). Op dit moment is door het Ctgb voor chemisch beheer voor legionellapreventie in collectieve leidingwaterinstallaties geen toelating gegeven.

Omdat fysische of fotochemische beheerstechnieken gelijkgeschakeld zijn met thermisch beheer sinds het nieuwe Drinkwaterbesluit van kracht is per 1 juli 2011 hoeft voor toepassen van deze technieken geen motivatie meer te worden ingediend bij ILT. Mogelijk dat het toepassen van fysische en fotochemische technieken hierdoor zal stijgen. Het gebruik van elektrochemische technieken zal waarschijnlijk niet toenemen, omdat deze techniek alleen gebruikt mag worden als thermisch, fysisch of fotochemisch beheer niet werkt. Er is een Europese Biocide Verordening in voorbereiding waarin het in de handel brengen van koper als precursor vanaf 1 september 2013 wordt verboden (communicatie met Kiwa). Het gebruik van koper/zilver-ionisatie zou dan vanaf 2013 niet meer mogelijk zijn. Als reactie hierop heeft een overleg tussen het ministerie van Infrastructuur en Milieu, het Ctgb en een aantal leveranciers plaatsgevonden en zijn acties ondernomen, waardoor toepassing van koper/zilver-ionisatie in de toekomst wellicht toch mogelijk blijft.

3.2 BRL K14010

In het drinkwaterbesluit is opgenomen dat fysische en elektrochemische beheerstechnieken een 'BRL K14010'-certificaat moeten hebben. Dit certificaat wordt afgegeven als de techniek voldoet aan de eisen gesteld in een door Kiwa samen met KWR ontwikkelde beoordelingsrichtlijn (BRL, Kiwa 2007 en 2009). Fysische en fotochemische technieken dienen te voldoen aan BRL K14010-1 (Kiwa, 2007) en elektrochemische technieken aan BRL K14010-2 (Kiwa, 2009).

In beide BRLs worden eisen gesteld aan het product (de beheerstechniek). Het product mag geen toxicologische grenzen overschrijden. Hier wordt aan voldaan als het product een 'Attest Toxicologische Aspecten' (ATA)-certificaat heeft. Ook worden er eisen gesteld aan geur, smaak en kleur van het drinkwater bij gebruik van het product. Voor elektrochemische technieken wordt ook verlangd dat het product is toegelaten door het Ctgb. Het product moet corrosievast zijn en voor de gebruikte materialen zoals koper, staal en rubber worden NEN-normen of andere normen gesteld. Het product moet ook voldoen aan de werkdruk die door de fabrikant is opgegeven. Per techniek worden ook aanvullende eisen gesteld indien daarvoor normen bekend zijn. De membranen van micro- en ultrafilters moeten bijvoorbeeld voldoen aan de 'Standard Practice for Integrity of Water Filtration Membrane Systems'. Voor koper/zilver-ionisatie moet de apparatuur zodanig zijn afgesteld dat overdosering wordt voorkomen.

In de BRL K14010-1 voor fysische technieken worden voor twee beheerstechnieken de volgende prestatie-eisen genoemd:

- Voor micro- en ultrafiltratie: voldoen aan NEN-EN 14652
- Voor UV-behandelingsapparatuur: voldoen aan of NORM M 5873-1 of DVGW W 294 of prEN 14897
- Beide technieken: 5 log verwijdering van legionellabacteriën (conform beproevingsmethode in de BRL)

Ultrasonische cavitatie valt niet onder de definitie van fysisch beheer in het Drinkwaterbesluit en is daarmee op grond van artikel 44 Drinkwaterbesluit (dat een limitatieve opsomming geeft van bij legionellapreventie te gebruiken technieken) een techniek die niet mag worden toegepast. De fotochemische beheerstechniek AOT wordt op dit moment niet genoemd in de BRL K14010-1, maar de techniek zit wel in de certificeringsprocedure. De techniek is goedgekeurd door het Ctgb en in de regelgeving is deze techniek gelijkgeschakeld met thermisch en fysisch beheer.

In BRL K14010-2 voor elektrochemische technieken worden de volgende prestatie-eisen genoemd:

- Koper/zilver-ionisatie: in een testprotocol moet worden aangetoond dat 500 µg/l koper en 25 µg/l zilver in het water kunnen worden gebracht, dat er een beveiliging is om overdosering te voorkomen en dat er een regelmechanisme is waarmee de concentraties koper en zilver tot 25% lager kunnen worden gebracht.
- Anodische oxidatie: in een testprotocol moet worden aangetoond dat 0,3 mg/l vrij chloor in het water kan worden gebracht, en dat net als bij koper/zilver-ionisatie overdosering wordt voorkomen en er een regelmechanisme is.

Samen met de apparatuur moet een beheersconcept worden geleverd waarin de volgende onderwerpen worden vermeld:

- Algemene informatie: verschillende NAW-gegevens van betrokken bedrijven en instellingen;
- Toepassingsvoorwaarden: wanneer mag gebruikgemaakt worden van deze beheerstechniek en aan welke voorwaarden moet de apparatuur voldoen alsook eisen die worden gesteld aan de risicoanalyse en het beheersplan op de locatie;

- Installatievoorschriften: instructies die moeten zijn opgenomen voor installatie en gebruik van de apparatuur;
- Onderhouds- en bedieningsvoorschriften: voor de gebruiker van de apparatuur moet duidelijk worden gemaakt hoe en in welke mate bepaalde onderhouds- en bedieningsaspecten direct van invloed kunnen zijn op de prestaties van de apparatuur;
- Beheersinstructies: hoe wordt de goede werking bewaakt en storingen gesignaleerd. Hoe moet daarop worden gereageerd. Alle controles en acties moeten worden opgenomen in een logboek.

In hoofdstuk 4 van de beide BRLs staat weergegeven aan welke voorwaarden het testen van de apparatuur moet voldoen (*beproevingmethoden*). In hoofdstuk 5 staat vermeld wat voor aanduidingen op de apparatuur moeten worden aangebracht en in hoofdstuk 6 worden de eisen aan het kwaliteitssysteem vermeld (vermelden 'wie doet wat'). De overige hoofdstukken hebben betrekking op de certificatie-procedure.

4 Effectiviteit van legionellabeheerstechnieken

Bij studies naar de effectiviteit van een legionellabeheerstechniek wordt gekeken in hoeverre een techniek de concentratie legionellabacteriën in een drinkwaterinstallatie verlaagt of voorkomt.

4.1 Thermisch beheer

Hrubá et al. (2009) hebben het verband tussen kolonisatie door *L. pneumophila* en temperatuur van water uit een warmwaterleiding bestudeerd. Bij watertemperaturen van 30-35°C worden de hoogste *L. pneumophila*-concentraties gevonden. En hoewel er boven een temperatuur van 50°C een flinke afname in het aantal positieve monsters was te zien, werd bij een watertemperatuur van 55-60°C in 3,8% van de onderzochte monsters nog *L. pneumophila* gevonden. Boven de 60°C waren alle onderzochte monsters negatief.

Allegra et al. (2011) hebben het effect van thermische desinfectie op de legionellabacterie in de tijd bestudeerd. Zij onderzochten de legionellastammen die gedurende 20 jaar waren geïsoleerd uit drinkwatersystemen waarin thermische desinfectie werd toegepast, op hun gevoeligheid voor temperatuur. Hieruit bleek dat dezelfde legionellastammen de systemen vele jaren koloniseerden. De geïsoleerde legionellastammen verschilden in hun gevoeligheid voor hitte en sommige stammen werden na verloop van tijd ongevoelig voor thermische desinfectie (Allegra et al., 2011). Ook Farhat et al. (2010) vonden dat legionellabacteriën ongevoelig kunnen worden voor thermische desinfectie. Zij bestudeerden in een pilot-test-systeem het effect van heat-shock. Hieruit bleek dat een eerste heat-shock nog wel effect had, maar dat bij een tweede heat-shock geen reductie in aantallen legionella werd gezien (Farhat et al., 2010). *L. pneumophila*-bacteriën lijken beter bestand tegen thermische desinfectie dan *L. non-pneumophila*-bacteriën (Mouchtouri et al., 2007). Verder is beschreven dat legionellabacteriën bij ongunstige omstandigheden een Viable-But-Not-Culturable (VBNC)-stadium in kunnen gaan. Deze VBNC-cellen blijken minder gevoelig voor hittebehandeling (Chang et al., 2007).

Door Arvand et al. (2011) is ook de contaminatie van koudwaterleidingen met legionella en het verband met temperatuur onderzocht. Opvallend in deze studie is dat in de onderzochte ziekenhuizen en verzorgingstehuizen het aantal tappunten van koudwaterleidingen dat positief was voor legionella (40%) hoger was dan het aantal positieve tappunten van de warmwaterleidingen (23%). Van de tappunten waarvan de temperatuur <20°C was, was nog een aanzienlijk deel (35%) positief voor legionella. Zelfs beneden de 15°C was nog 28% van de tappunten besmet. Dit geeft aan dat alleen het registreren van een temperatuur van lager dan 20°C, waarvan gedacht wordt dat legionella daarbij niet kan groeien, geen garantie is voor een legionellavrij systeem (Arvand et al., 2011). Mogelijk dat elders in de leiding verwarming van het koude water heeft plaatsgevonden, waardoor groei van legionella heeft kunnen optreden. Ook in Nederland is het merendeel van de legionella-overschrijdingen afkomstig van koudwaterleidingen (Versteegh et al., 2007). Het probleem met koudwaterleidingen is, zoals ook beschreven in paragraaf 2.1, dat het op sommige locaties lastiger is om de koudwatertemperatuur constant onder de 25°C te houden en om daar thermische desinfectie toe te passen. Een

mogelijkheid voor desinfectie van koudwaterleidingen is via een verwarmingslint (zie paragraaf 2.2.1). In de wetenschappelijke literatuur zijn nog geen studies met deze methode beschreven.

4.2 Fysisch beheer

4.2.1 Filtratie

Point-of-use (POU)-filters blijken effectief in het tegenhouden van legionella (Rivera et al., 2007; Lin et al., 2011). Daarnaast wordt ook de aanwezigheid van andere pathogenen, zoals *Pseudomonas aeruginosa* en mycobacteriën in drinkwater teruggedrongen door het toepassen van filters. Bij een vergelijking in een ziekenhuis waarbij niet-gefilterd water werd vergeleken met gefilterd water bleek dat 29 van de 60 ongefilterde samples legionella bevatte en dat alle samples, op één na, van de gefilterde samples vrij was van legionella (Vonberg et al., 2008). In deze studie werden herbruikbare POU-filters toegepast met en zonder zilver-coating. Beide typen filters bleken effectief. Ook Daeschlein et al. (2007) rapporteerden goede resultaten met dit type filter. Na verloop van tijd voldeden de filters echter niet meer, waarschijnlijk vanwege microbiële verontreinigingen aan de buitenzijde van de filters (Vonberg et al., 2008; Daeschlein et al., 2007). Tijdig vervangen of reinigen van de filters is dus noodzakelijk.

4.2.2 UV

UV wordt over het algemeen gebruikt als poortwachtersysteem. UV voorkomt dus niet de groei van legionella in biofilms die zich al hebben gevormd in de drinkwaterinstallatie. Voordat deze methode wordt toegepast dient daarom de nageschakelde drinkwaterinstallatie eerst grondig gereinigd te worden om de biofilm te verwijderen. Echter, biofilms blijken lastig te verwijderen via spoelen of chemische desinfectie (Lethola et al., 2007; Simões et al., 2010).

Om te voorkomen dat (organische) deeltjes in het drinkwater de werking van de UV kunnen verminderen en weer kunnen leiden tot biofilmvorming wordt UV vaak gebruikt in combinatie met een ultra- of microfilter (Lin et al., 2011).

4.2.3 Ultrasonische cavitatie

In de literatuur is een studie naar de effectiviteit van ultrasonische cavitatie in de bestrijding van legionella beschreven, ook wel 'power ultrasound' genoemd (Declerck et al., 2010). In deze studie is het effect van 'power ultrasound' uitgetest op suspensies met legionella, suspensies met *Acanthamoeba castellanii* (zowel cystes als trophozoïeten), en suspensies met legionella in *A. castellanii*. Power ultrasound vernietigde volledig de trophozoïete *A. castellanii*. Ook legionella werd efficiënt vernietigd door geluidsgolven, zowel in vrije vorm als aanwezig in trophozoïete *A. castellanii*. Echter, de amoebecysten werden nauwelijks vernietigd en legionella aanwezig in cysten leek deels beschermd tegen de behandeling. Legionella in vrije vorm vertoont een 3,3 log₁₀ reductie na blootstelling aan geluidsgolven, terwijl voor legionella in cysten slechts een 1,3 log₁₀ reductie werd verkregen (Declerck et al., 2010).

4.3 Elektrochemisch beheer

4.3.1 Koper/zilver-ionisatie

Cachafeiro et al. (2007) hebben de beschreven studies naar de effectiviteit van koper/zilver-ionisatie tussen 1997 en 2007 systematisch bestudeerd en zij

concludeerden dat koper/zilver-ionisatie effectief is tegen legionella, zowel op de korte (enkele maanden) als lange (tot 70 maanden) termijn. Echter, volledige uitroeiing van legionella is vaak niet mogelijk. Daarnaast bleek dat een hoge temperatuur van het water de effectiviteit van de methode verhoogde en dat een pH boven de 8 een negatief effect had. In een review van Lin et al. (2011) wordt geconcludeerd dat koper/zilver-ionisatie de meest effectieve technologie is die nu beschikbaar is om de groei van legionella te beheersen. Koper/zilver-ionisatie gaf goede resultaten, ook op de langere termijn, waar andere methoden, zoals heat-shock faalden (Sarjooma et al., 2011; Mòdol et al., 2007; Casari et al., 2007; Lin et al., 2011).

In een ziekenhuis in Taiwan werd na een uitbraak van legionellapneumonie twee maal thermische desinfectie toegepast (Chen et al., 2008). Nadat dit niet effectief bleek te zijn in de bestrijding van legionella werd in twee gebouwen koper/zilver-ionisatie toegepast voor zowel warm- als koudwaterleidingen. Bij een ionconcentratie van ongeveer 110/14 µg/L koper/zilver in gebouw 1 en 80/10 µg/L koper/zilver in gebouw 2 werd geen effect op de legionellabesmetting waargenomen en respectievelijk 20% en 28% van de tappunten in de gebouwen was besmet. Na verhogen van de concentratie tot gemiddeld 170/ 13 µg/L en 100/42 µg/L koper/zilver was in gebouw 1 geen enkel tappunt meer positief en in gebouw 2 slechts 9% (Chen et al., 2008).

Mòdol et al. (2007) beschrijven de ervaringen met koper/zilver-ionisatie in een Spaans ziekenhuis waarvan de drinkwaterinstallatie jaren gekoloniseerd werd door een *L.pneumophila* serogroep 1 (SG1)-stam, welke ook was teruggevonden bij patiënten met een in het ziekenhuis opgelopen longontsteking. Continue chlorering en toepassen van thermische desinfectie (verhitten van het water tot boven 60°C gedurende 10-30 minuten) leidde niet tot het gewenste effect. Regelmatig werden gevallen van nosocomiale legionellapneumonie geconstateerd (2,45 gevallen per 1000 patiënten) en 57% van de geteste watersamples was positief voor legionella. Na invoering van een koper/zilver-ionisatie methode in 1999 met koper- en zilver-ionconcentraties van 100-300 en 10-30 µg/L respectievelijk was nog slechts 21% van de samples positief en was het aantal gevallen van nosocomiale legionellapneumonie gereduceerd van 2,45 naar 0,18 per 1000 patiënten. Na verhoging van de koper/zilver-concentraties in 2003 naar >300 en >30 µg/L respectievelijk waren 16% van de watermonsters positief. Bij de meeste positieve monsters betrof het *L. pneumophila* SG2-14. Er werden geen gevallen van legionellapneumonie meer waargenomen in de daaropvolgende 1,5 jaar.

KWR heeft onderzoek gedaan naar het verlagen van de concentratieniveaus koper en zilver zonder verlies van effectiviteit (Oesterholt, 2007). Op een locatie waar gedurende een jaar koper- en zilverconcentraties werden toegepast die overeenkomen met de advieswaarden (30 tot 50 µg/l voor zilver en 300 tot 500 µg/l voor koper) kon gedurende een jaar de koper- en zilverconcentratie worden verlaagd tot 75% van deze advieswaarden zonder dat legionellabesmettingen toenamen (Oesterholt, 2007).

Naast legionella bleek koper/zilver-ionisatie in een model systeem ook effectief tegen *P. aeruginosa*, *Stenotrophomonas* en *Acinetobacter baumannii* (Shih en Lin., 2010; Huang et al., 2008) alsook tegen schimmels (Pedro-Botet et al., 2007).

Als voordelen van koper/zilver-ionisatie worden het gemak van installatie en onderhoud van het systeem genoemd en het geprolongeerde effect in het geval

het systeem uitvalt. Hoge pH en lage ionconcentratie hebben een nadelig effect op de werking (Lin et al., 2011). Resistentie tegen koper/zilver trad op een aantal jaar na installatie van het systeem bij een aantal ziekenhuizen (gereviewed door Lin et al., 2011). Als nadeel van koper/zilver-ionisatie wordt ook de verkleuring van het water genoemd (Sarjomaa et al., 2011). Verder kunnen te hoge concentraties koper- en zilverionen schadelijk zijn voor de gezondheid. Dit is met name van belang bij toepassing in de koudwaterleidingen waarvan het water wordt gebruikt voor consumptie.

4.4 Chemisch beheer

Het gebruik van chloordioxide, monochlooramine, en natriumhypochloriet wordt in verschillende landen toegepast en is in diverse studies geëvalueerd (gereviewed door Lin et al., 2011). Chlorering kan constant worden toegepast in een concentratie van 0,2-1 mg/L of via een shock dosering van 20-50 mg/L. Echter, eenmaal gevormde biofilm bleek bestand tegen vrij chloorconcentraties van 50 mg/L (Cooper en Hanlon, 2010). En ondanks toepassing van shocktherapie bleken bepaalde genotypes persistent aanwezig te kunnen blijven in een drinkwatersysteem (Cooper et al., 2008).

4.4.1 Chloordioxide

Casini et al. (2008) beschrijven het effect van behandeling van water met chloordioxide gedurende een periode van 5 jaar. Hoewel door de chlorering het aantal positieve samples (>1.000 kve/L) flink was afgenomen, werd *L. pneumophila* nog steeds aangetroffen. Drie *L. pneumophila* genotypes bleken prevalent voor te komen waarvan er twee tolerant waren voor chloordioxide. Desondanks was de strategie effectief in het voorkomen van nieuwe gevallen van nosocomiale legionellapneumonie (Casini et al., 2008).

In een studie in een Italiaans ziekenhuis waarbij hyperchlorering, heat-shock, chloordioxide, monochlooramine, boilers en POU-filters zijn toegepast bleek dat na heat-shock de legionellacontaminatie vaak na 1 tot 2 maanden weer op het oude niveau was (Marchesi et al., 2012). Chloordioxide hield de legionellaconcentratie beneden 100 kve/L. Ook POU-filters bleken effectief te zijn evenals het gebruik van een boiler die verwarmde tot boven de 58°C. Tesauro et al. (2010) rapporteerden dat in twee Italiaanse ziekenhuizen alleen chloordioxidebehandeling leidde tot een reductie van *L. pneumophila* tot <100 kve/L gedurende 4 jaar, terwijl continue onderhoud van boilers, vervangen van douchekoppen en verhogen van de boiler temperatuur naar 60°C slechts op de korte termijn tot reductie leidde.

Chloordioxide blijkt beter te werken in koudwaterleidingen dan warmwaterleidingen. Waar in koudwaterleidingen wel een volledige eradicatie van legionella werd bewerkstelligd, bleef in de warmwaterleidingen een deel van de tappunten positief voor legionella (Sidari et al., 2004). In de warmwaterleidingen werd dan ook een groter verlies aan chloordioxide gemeten (Sidari et al., 2004; Zhang et al., 2007). Ook organisch koolstof in het water had een negatief effect op de chloordioxide concentratie. Daarnaast bleek ook de mate van corrosie van ijzeren leidingen een groot effect te hebben op het verlies aan chloordioxide (Zhang et al., 2008).

4.4.2 Monochlooramine

In een studie waar monochlooramine gedurende een jaar werd toegepast en vergeleken met chloordioxide (Marchesi et al., 2012) gaf monochlooramine betere resultaten in het reduceren van besmette tappunten (van 97% naar

13,3%) dan chloordioxide (van 100% naar 56,7 - 60,8%). In een andere studie waarin het effect van zowel monochlooramine als chloordioxide op legionella, acanthamoeben en legionella in acanthamoeben werd bestudeerd, bleek dat monochlooramine in alle gevallen het meest effectief was (Dupuy et al., 2011). Ook in andere studies werd aangetoond dat toepassing van monochlooramine leidde tot reductie van positieve tappunten (gereviewed door Lin et al., 2011). In één studie werd daarentegen een toename van mycobacteriën waargenomen (Pryor et al., 2004). Daarnaast rapporteerden Alleron et al. (2008) dat na blootstelling van *L. pneumophila* aan monochlooramine de bacteriën een VBNC-stadium ingingen, waardoor ze niet meer kweekbaar, maar nog wel levend waren. In dit stadium konden ze lange tijd (meer dan 4 maanden) overleven en weer een kweekbaar stadium ingaan na replicatie in amoeben (Alleron et al., 2008). Controle van het effect van monochlooramine door detectie van legionella door kweek op BCYE-platen kan dus een vertekend beeld geven van de effectiviteit van de methode.

5 Implementatie van legionellabeheerstechnieken

Er zijn geen studies die onderzoeken of de verschillende beheerstechnieken op korte en lange termijn juist zijn geïmplementeerd op de locatie en of dit gevolgen heeft voor de effectiviteit. Met een juiste implementatie wordt in dit geval bedoeld dat zowel de juridische eigenaar als ook alle andere partijen die betrokken zijn bij de legionellapreventie op de locatie er voor zorgen dat de gekozen beheerstechniek en het bijbehorend beheersplan continu op de juiste wijze worden uitgevoerd, gecontroleerd en onderhouden. Hieronder wordt ook verstaan continuering van de kwaliteit van het beheer door voldoende kennis te hebben op de locatie om plotselinge veranderingen in bijvoorbeeld personeelssamenstelling of een faillissement van de externe beheermaatschappij te ondervangen.

5.1 De regelgeving

In het Drinkwaterbesluit is opgenomen dat de juridische eigenaar van de drinkwaterinstallatie door het uitvoeren van legionellabeheer zorg moet dragen dat waarden onder de norm van 100 kolonievormende eenheden legionella per liter (kve/L) kunnen worden gehandhaafd. Een correcte uitvoering van de beheersmaatregelen moet worden gecontroleerd. Een controlemaatregel die voor elke beheermethode hetzelfde is, is het nemen van halfjaarlijkse monsters om te controleren of op dat moment legionellabacteriën aanwezig zijn in de drinkwaterinstallatie. Overige controles (of monitoringen) verschillen per beheerstechniek. Alle controles en onderhoudsmaatregelen moeten worden opgenomen in een logboek. Deze verplichting geldt ook als de uitvoering, controle en/of onderhoud wordt uitbesteed aan een extern bedrijf.

De drinkwaterbedrijven controleren, in opdracht van ILT, via clusterinspecties of de prioritaire locaties de beheersmaatregelen goed hebben geïmplementeerd. Dit moet blijken uit onder meer de vermelding van de monstername-uitslagen, opvolging van de adviezen van het wateradviesbedrijf, of de beheerstechniek correct en periodiek wordt gecontroleerd en of (periodiek) onderhoud aan drinkwaterinstallatie en beheerstechniek heeft plaatsgevonden. Tijdens de ILT/RIVM-studiedag "De controle van leidingwaterinstallaties - beleid en praktijk in gesprek" op 30 november 2011 uitten controleurs hun bedenkingen bij de juiste implementatie van verschillende beheerstechnieken. Het uitbesteden van bepaalde taken aan externe beheermaatschappijen kunnen ertoe leiden dat onvoldoende kennis aanwezig is op de locatie, waardoor gebreken niet worden opgemerkt (Van den Outenaar, 2011).

5.2 De praktijk

Om een indruk te krijgen of onjuiste implementatie kan leiden tot vermindering van de effectiviteit van de beheerstechniek is aan een aantal controleurs en zorginstellingen een vragenlijst gestuurd. De vragenlijst is verstuurd naar drinkwaterbedrijf PWN, GGD Amsterdam en verschillende zorginstellingen voor lichamelijk en verstandelijk gehandicapten. Inspecteurs van drinkwaterbedrijf PWN controleren in opdracht van ILT in een groot deel van de provincie Noord-Holland of het drinkwaterbesluit goed wordt nageleefd. GGD Amsterdam controleert in opdracht van verschillende zorginstellingen in Amsterdam of op deze locaties de legionellapreventie voldoet aan de regelgeving en aan de

kwaliteitseis die de zorginstelling zelf stelt aan de preventie. Vijf zorginstellingen voor gehandicaptenzorg uit verschillende delen van Nederland hebben gereageerd op het verzoek de vragenlijst in te vullen. Deze zorginstellingen hebben meerdere locaties, sommige meer dan 100 locaties. Hieronder worden de antwoorden op de vragenlijsten besproken.

Welke beheerstechnieken worden gebruikt?

Van de circa 1.500 prioritaire locaties in het leveringsgebied van PWN gebruikt 94% thermisch beheer als beheerstechniek. Van de 90 zorginstellingen die de GGD bezoekt, gebruikt 97% thermisch beheer. Van de 5 ondervraagde zorginstellingen gebruiken 3 zorginstellingen thermisch beheer voor hun locaties en 1 zorginstelling gebruikt voor meerdere locaties koper/zilver-ionisatie. Eén zorginstelling meldde dat zij geen overzicht kunnen leveren omdat vaak de woningbouwvereniging eigenaar is en per locatie wordt bepaald wie het legionellabeheer uitvoert. Deze zorginstelling is verder niet meegenomen in de resultaten. In Tabel 1 is een overzicht van de verschillende beheerstechnieken per ondervraagde instantie weergegeven.

Tabel 1 Overzicht van gebruik van beheerstechnieken per ondervraagde instantie

	PWN ¹	GGD	Zorginstellingen ²
Thermisch (handmatig spoelen en controle)	~1409	~86	2
Thermisch (automatisch)	?	1	1
UF bij watermeter	0	2	0
UV/filter bij watermeter	41	1	0
Koper/zilver	43	0	1
Anodische oxidatie	6	0	0
Overig ³	4	0	0
Tijdelijke beheersmaatregel ⁴	?	30	0
Totaal	~1500	~90	4

? = onbekend

¹ PWN heeft alleen cijfers aangeleverd voor 'thermisch beheer' en maakt geen onderscheid in thermisch beheer via handmatige en automatische handelingen.

² Elke zorginstelling heeft meerdere locaties, soms meer dan 100 locaties. Niet bij elke zorginstelling is bekend hoeveel locaties. Wel bekend is dat de zorginstelling die koper/zilver gebruikt, dit heeft laten plaatsen bij 45 locaties.

³ PWN kon niet opgeven wat voor overige beheerstechnieken er worden gebruikt.

⁴ Zowel PWN als GGD merken op dat UF in douchekoppen incidenteel worden gebruikt als tijdelijke beheersmaatregel als legionella is geconstateerd in de drinkwaterinstallatie. PWN komt UV in douchekoppen niet tot nauwelijks tegen.

Wordt er nog legionella aangetoond met de huidige beheerstechniek?

De GGD meldde dat bij 80% van de locaties waar thermisch beheer wordt uitgevoerd regelmatig legionella werd aangetoond. Bij de locaties waar gebruikgemaakt werd van UF of UV/filter werd geen legionella aangetoond na plaatsing van deze beheerstechnieken.

Eén van de vijf zorginstellingen meldt nog steeds legionellabesmettingen te hebben in de drinkwaterinstallatie ondanks het uitvoeren van thermisch beheer. Een andere zorginstelling geeft aan ook nog steeds legionella aan te tonen na uitvoeren van thermisch beheer maar minder vaak. Een derde zorginstelling meldt geen legionella-overschrijding meer na uitvoeren van het thermische beheersplan. De zorginstelling die overgestapt is op koper/zilver-ionisatie vond na plaatsen van deze beheerstechniek geen legionella meer in de installatie.

PWN kan geen gegevens verstrekken over het aantal locaties met besmettingen, omdat deze gegevens beheerd worden door de ILT.

Extern beheer: bij hoeveel locaties is het beheer uitbesteed aan een extern (beheer)bedrijf? Indien er sprake is van extern beheer; wat voor onderdelen zijn uitbesteed en wat is de ervaring met locaties waar gebruik wordt gemaakt van extern beheer?

PWN heeft geen exacte gegevens op hoeveel locaties het beheer is uitbesteed. Wel is bekend dat op een aantal locaties het beheer geheel of gedeeltelijk is uitbesteed. De ervaring is wisselend:

- Grotere, gespecialiseerde adviesbureaus die het beheer volledig uitvoeren volbrengen de beheertaak over het algemeen consequent en uitgebreid. Als nadeel wordt ervaren dat de eigenaar zich volledig afhankelijk maakt van derden en zelf geen kennis opbouwt.
- Gedeeltelijk beheer op afstand (via gebouwbeheersysteem) geeft meer problemen. Grootste knelpunt is het ontbreken van totaaloverzicht bij de eigenaar. Verschillende logboekformulieren en uitslagen liggen verspreid op de locatie.

Bij ongeveer de helft van de locaties (45) die de GGD bezoekt en waar thermisch beheer plaatsvindt wordt het beheer gedeeltelijk extern uitgevoerd. De controles zoals temperatuurmetingen worden door een extern bedrijf gedaan maar de spoelregimes ter voorkoming van stilstaand water in leidingen worden uitgevoerd door personeel op locatie, onder meer door schoonmaakpersoneel. Hierdoor kan een onoverzichtelijke situatie ontstaan. Door deels extern beheer is bij deze locaties ook niet duidelijk wat voor acties genomen worden bij een legionella-overschrijding. Bij de 3 locaties waar een 'alternatieve' beheerstechniek wordt gebruikt is het onderhoud geheel uitbesteed. De controles worden echter niet uitgevoerd en opgenomen in het logboek. De taken ('wie doet wat, wanneer en hoe') zijn op deze locaties niet duidelijk afgesproken.

De zorginstelling die op 45 locaties koper/zilver-ionisatie als beheerstechniek gebruikt heeft het beheer ook uitbesteed. De vragenlijst is zelfs, ondanks uitdrukkelijk verzoek de vragen zelf te beantwoorden, ingevuld door de leverancier van de beheerstechniek. De zorginstelling heeft laten weten geen kennis te hebben om zelf de vragen te beantwoorden. Bij de drie zorginstellingen die thermisch beheer uitvoeren is het beheer gedeeltelijk uitbesteed. Monitoring en onderhoud wordt uitbesteed maar spoelregimes worden door de locaties zelf uitgevoerd. Twee van de drie locaties gebruikt digitale logboeken. Op sommige locaties is beheer overgedragen aan woningcorporaties.

Welke beheerstechniek is het beste te implementeren op een locatie? Wat is volgens u de meest effectieve beheerstechniek?

PWN: een technische goede installatie die met thermisch beheer onder controle kan worden gehouden. Als dit niet mogelijk is, dan is naar mening van de respondent koper/zilver-ionisatie als point-of-entry-systeem de meest effectieve methode, omdat de techniek nog een lange periode restwerking heeft en de techniek goed ingeregeld kan worden en op afstand gevolgd. Door de restwerking biedt deze techniek nog beheer als het systeem uitvalt. Dit is niet het geval bij fysische en anodische technieken. De respondent heeft ervaren dat een UV/filter-poortwachter voor problemen kan zorgen bij de verwisseling van de filters. Hierdoor liep de legionellaconcentratie, voorheen beperkt tot enige honderden kve/l, na vele reinigingsmaatregelen en plaatsen van een filter op naar 40.000 kve/l door te laat wisselen van het filter.

De GGD noemt geen specifieke beheerstechniek maar geeft aan dat de beste beheerstechniek zo min mogelijk onderhoud moet vergen en zo min mogelijk afhankelijk is van menselijk handelen zoals temperatuurmetingen en spoelregimes. Verder is hun ervaring dat de risicoanalyse en het beheersplan door de eigenaar of beheerder op de locatie niet goed gelezen of doorgelopen wordt waardoor adviezen en acties voorgesteld door het wateradviesbedrijf niet (goed) worden opgevolgd.

Kennis zorginstellingen

Aan de zorginstellingen is gevraagd of ze enkele signalen kunnen noemen die er op kunnen duiden dat de beheerstechniek niet goed functioneert. Gevraagd is om hiervoor geen externe (advies)bedrijven of personen te raadplegen.

Een zorginstelling antwoordt "in het gebouwbeheersysteem is alles te controleren". Een tweede zorginstelling antwoordt dat besmetting op kan treden door onvoldoende gebruik of door opwarming en meldt dat dit met de woningstichting wordt opgelost. De derde zorginstelling waar thermisch beheer wordt gebruikt geeft een opsomming met signalen: spoellijsten zijn niet ingevuld, leegstand wordt niet gemeld of onderhoud is niet opgenomen in logboek. De locaties waar koper/zilver-ionisatie wordt toegepast is ingevuld door de leverancier, omdat de zorginstelling alles heeft uitbesteed en over dit onderwerp geen kennis heeft.

6 Discussie

Effectiviteit beheerstechnieken

De meeste publicaties over effectiviteit van beheerstechnieken zijn casestudies van ziekenhuizen waarin het effect van de invoering van een bepaalde beheersmaatregel wordt beschreven. Er zijn nagenoeg geen studies waarin systematisch het effect van bepaalde beheerstechnieken wordt uitgezocht of vergeleken of waarin het effect van bijvoorbeeld pH, waterhardheid of leidingmateriaal op de effectiviteit wordt onderzocht. Bovendien verschillen de methoden waarmee de effectiviteit van beheerstechnieken zijn bestudeerd waardoor studies niet altijd met elkaar zijn te vergelijken. Het totaal aan beschrijvingen van ervaringen met een bepaalde beheerstechniek geeft echter wel een beeld van de efficiëntie van een dergelijke techniek en de voor- en nadelen. Opvallend is dat in verschillende publicaties wordt beschreven dat ondanks het toepassen van beheerstechnieken dezelfde legionellenotypen jarenlang persistent aanwezig kunnen blijven in een drinkwaterinstallatie (Oberdorfer et al., 2008; Allegra et al., 2011; Mòdol et al., 2007; Stout et al., 2007).

Het ontwerp en aanleg van een drinkwaterinstallatie is zeer belangrijk om hot spots en dode leidingen te voorkomen. Hiertoe zijn in NEN 1006 en de daarop gebaseerde Waterwerkbladen voorschriften opgenomen. Dit voorkomt dat water te lang stilstaat of dat het koude water opwarmt of het warme water te weinig verhit wordt en dat legionella kan uitgroeien. De manier waarop een installatie is aangelegd kan ook invloed hebben op de effectiviteit van beheerstechnieken. Indien veel dode leidingen aanwezig zijn, kunnen bepaalde delen van de drinkwaterinstallatie onbereikbaar blijven voor de beheerstechniek.

Thermisch beheer bestaat uit het voldoende koud houden van het koude water (<25°), voldoende warm houden van het warme water (>50°) en regelmatig spoelen van de leidingen. Echter, pas boven 60°C lijkt legionella volledig te worden afgedood. Om legionella te voorkomen is het dus nodig het warme water continu op hoge temperatuur te houden. Dit kost echter veel energie en heeft bovendien als nadeel dat er risico is op verbranding. Thermische beheersmaatregelen zoals regelmatig spoelen van het systeem met heet water blijken vaak niet effectief om legionella op de lange termijn te voorkomen (Mouchtouri et al., 2007; Allegra et al., 2011; Chang et al., 2007; Farhat et al., 2010). Bacteriën worden ongevoelig voor behandeling met hitte of gaan een VBNC-stadium in waarin ze beter beschermd zijn tegen hitte. Uit ondervraging van instanties in Nederland die verantwoordelijk zijn voor het controle op legionellabeheer blijkt dat thermische beheersmaatregelen, zoals het regelmatig spoelen van het systeem, periodiek controleren van de watertemperatuur en bijhouden van de gebruiksfrequentie lastig zijn om na te leven. Verder vindt kolonisatie vooral plaats in koudwaterleidingen. Het spoelen van koudwaterleidingen leidt vaak niet afdoende tot verwijdering van de biofilm en de koudwaterleidingen kunnen meestal niet thermisch worden gedesinfecteerd (Versteegh et al., 2007; Arvand et al., 2011; Lehtola et al., 2007). Voor thermische desinfectie van zowel koud- als warmwaterleidingen kan ook gebruikgemaakt worden van een warmtelint. Deze techniek wordt voornamelijk door één leverancier aangeboden, maar is alleen beschikbaar als onderdeel van een totaalpakket waarbij ook de leidingen van de drinkwaterinstallatie serieel

worden aangelegd om stilstand te voorkomen. Er is geen literatuur aangetroffen over deze desinfectie- en installatietechniek waardoor geen uitspraak gedaan kan worden over de effectiviteit.

De fysische beheerstechnieken UF en UV-licht als poortwachter kunnen effectief zijn in het bestrijden van legionella door het tegenhouden van legionellabacteriën bij binnenkomst in de drinkwaterinstallatie. De effectiviteit is echter afhankelijk van het verwijderen van biofilm in de nageschakelde drinkwaterinstallatie (bereiken 'nul-punt'), een goede bewaking van de integriteit (door monitoring) van de beheerstechniek en geregeld uitvoeren van onderhoud. Als de biofilm niet volledig wordt verwijderd kan alsnog uitgroei van legionella optreden. Uit verschillende studies blijkt dat het volledig verwijderen van biofilm lastig is en afhangt van het type leidingmateriaal en weghalen van dode leidingen (Saby et al., 2005, Lehtola et al., 2007, Van der Kooij et al., 2005). Monitoring en geregeld vervangen of reinigen van filters en UV-lampen, die als point-of-use-apparaat worden toegepast, is noodzakelijk om de effectiviteit van deze technieken te waarborgen. Uit praktijkervaring van PWN blijkt dat het verwisselen zeer secuur en op tijd moet gebeuren, omdat anders een hoge concentratie bacteriën in de drinkwaterinstallatie kan komen en het verwijderen van deze bacteriën niet gemakkelijk is. Vanwege de beperkingen van deze techniek is het vooral geschikt voor minder complexe en verouderde drinkwaterinstallaties met bij voorkeur een goed geïmplementeerd gebouwbeheersysteem of volledig extern onderhoud en beheer door een BRL6010-gecertificeerd bedrijf (Versteegh et al., 2007). PWN en GGD Amsterdam komen filters bij tappunten alleen tegen als tijdelijke beheersmaatregel indien een verhoogde concentratie legionella wordt gevonden. In de literatuur worden goede resultaten beschreven met de toepassing van filters op plaatsen waar mensen verblijven die een hoger risico hebben om legionellapneumonie op te lopen (Lin et al., 2011). Deze technieken zijn vooral in deze situaties effectief omdat de techniek snel is te plaatsen. Indien deze techniek bij prioritaire installaties met veel vernevelde tappunten als enige beheerstechniek wordt gebruikt is een goed gestructureerd en continu beheer noodzakelijk om de effectiviteit te waarborgen door regelmatig de filters te controleren en te vervangen.

Over de effectiviteit van AOT is geen peer-reviewed literatuur te vinden. De techniek is wel toegelaten door het Ctgb en in het Drinkwaterbesluit is deze techniek gelijkgesteld met thermische en fysische methoden. Gezien de opzet van de techniek zijn er veel overeenkomsten met de UV/filter-installaties (poortwachtersysteem, geen toevoegen van stoffen, gebruik UV-licht). Verschil is dat met deze techniek ook radicalen worden gevormd waarmee de bacteriën kunnen worden bestreden. Wellicht dat deze techniek daardoor een betere bestrijding en beheer van de bacterie oplevert, hoewel de oxidatie van organische stof door radicalen en de mogelijke vorming van AOC aandachtspunten zijn. Het is aan te bevelen in een gecontroleerd onderzoek deze techniek te vergelijken met thermisch en fysisch beheer. Vanwege de poortwachterfunctie is ook deze techniek minder geschikt voor een complexe drinkwaterinstallatie.

Uit de literatuurstudie lijkt koper/zilver-ionisatie een efficiënte methode voor bestrijding van legionella op de lange termijn te zijn. Voordeel ten opzichte van poortwachtersystemen is dat deze techniek op de gehele drinkwaterinstallatie werkt. De effectiviteit van deze techniek is echter wel afhankelijk van de ionconcentratie en de hoeveelheid dode of weinig gebruikte leidingdelen. Als de concentratie te laag is en er veel dode of weinig gebruikte leidingen zijn dan is

het mogelijk dat de werking niet overal in het systeem voldoende plaatsvindt. Vanwege de veiligheid voor de gebruiker is het van belang dat de concentratie niet te hoog wordt. Het is dus belangrijk dat de koper- en zilver-ionconcentratie in het water regelmatig gecontroleerd wordt om effectiviteit en veiligheid te waarborgen. Ook moet er regelmatig gecontroleerd worden op de aanwezigheid van legionella. In enkele studies is beschreven dat resistentie kan optreden.

Monochlooramine wordt gezien als het meest effectief voor chemisch beheer. Net als bij koper/zilver-ionisatie worden er stoffen aan het drinkwater toegevoegd en moet de concentratie goed gemonitord worden. Er kunnen ook voor de gezondheid schadelijke bijproducten worden gevormd waardoor de concentratie monochlooramine aan beperkingen is verbonden. Ook bij chemisch beheer is er sprake van werking op het hele systeem, mits de concentratie voldoende hoog is en doorstroming van de leidingdelen plaatsvindt. Uit de literatuurstudie blijkt niet dat monochlooramine beter is dan koper/zilver-ionisatie om de legionellabacterie te bestrijden en te beheersen (Lin et al., 2011). Monochloramine is op grond van de Wgb in Nederland niet toegelaten.

Naast dat beheerstechnieken effect hebben op de aanwezigheid van legionellabacteriën worden mogelijk ook andere pathogenen, zoals pseudomonas en mycobacteriën, bestreden. Er is echter ook een studie beschreven waarbij bestrijding van legionella met behulp van monochloramine leidde tot toename van mycobacteriën (Pryor et al., 2004). De meeste studies zijn gericht op het effect van de beheerstechniek op legionella. Het effect op andere pathogenen is zeker ook een punt van aandacht.

Implementatie van beheerstechnieken op locatie

De effectiviteit van een beheerstechniek hangt naast de intrinsieke werking van de techniek en van factoren in de drinkwaterinstallatie ook af van een goede implementatie op de locatie. Als de beheerstechniek en het bijbehorende beheersplan niet op de korte én lange termijn goed worden uitgevoerd, gecontroleerd en onderhouden dan kan dit leiden tot hoge concentraties legionellabacteriën, ongeacht de beheerstechniek. Thermisch beheer lijkt erg gevoelig voor een verminderde effectiviteit door onvolledige of verkeerde implementatie omdat voor deze techniek ten opzichte van andere beheerstechnieken veel handelingen moeten worden verricht en goede communicatie tussen zowel uitvoerende als leidinggevende partijen belangrijk is. Sommige leveranciers of adviesbedrijven bieden een 'totaalpakket' aan waarmee ze het legionellabeheer gedeeltelijk of geheel uit handen nemen van de gebouwbeheerder. Bij de alternatieve beheerstechnieken is dit meestal standaard onderdeel van het contract. Nadeel is dat de juridisch eigenaar geen kennis meer heeft over het beheer, terwijl de eigenaar wel eindverantwoordelijk is. Ook kunnen er problemen ontstaan als er aanpassingen aan de drinkwaterinstallatie plaatsvinden zonder dat de eigenaar dit meldt aan het externe beheerbedrijf. Veranderingen in de organisatie van de opdrachtgever of het externe beheerbedrijf of een faillissement kan er toe leiden dat het beheer op de locatie wordt 'vergeten' of tijdelijk niet (goed) wordt uitgevoerd. Dit risico bestaat vooral bij beheerstechnieken waarvoor weinig tot geen handelingen hoeven te worden verricht zoals fysische en fotochemische technieken. Bij een volledig geautomatiseerd beheersysteem op afstand of als de beheermaatschappij periodiek langs komt is het aan te bevelen dat ook door de beheerder op locatie gecontroleerd wordt of alle beheer naar behoren werkt en dat de juridisch eigenaar zich er van vergewist dat de legionellapreventie op de juiste wijze wordt uitgevoerd.

De ervaringen van PWN en GGD Amsterdam met gedeeltelijk extern beheer zijn niet positief. Het onderhoud en de controles worden door een extern bedrijf uitgevoerd maar, in geval van thermisch beheer, worden de spoelregimes uitgevoerd door de gebouwbeheerder of soms de schoonmaakdienst. Door gebrek aan overzicht en communicatie is niet altijd duidelijk welke (beheers)maatregelen wanneer genomen moeten worden. Dit kan leiden tot onvolledig beheer met onacceptabel volksgezondheidsrisico tot gevolg.

Uit de interviews met de zorginstellingen komt ook het beeld naar voren dat deze instellingen niet goed (meer) op de hoogte zijn welke maatregelen genomen moeten worden. Door het uitbesteden van taken ontbreekt kennis en overzicht. Als er een afwijking is in het beheer kunnen de beheerder en de eigenaar van de locatie dat mogelijk niet herkennen.

De uitgevoerde enquête bestond uit een kleine groep respondenten en kan niet gezien worden als een voor Nederland representatief onderzoek. Door de beperkte tijd en middelen was het niet mogelijk een grotere groep respondenten te interviewen en het was ook niet mogelijk de verzamelde gegevens verder uit te diepen. De interviews zijn alleen bedoeld om een indruk te krijgen hoe een tweetal controlerende partijen het uitvoeren van het legionellabeheer ervaren en bij een aantal zorginstellingen is getracht te achterhalen in hoeverre de uitvoering van het beheer op deze locaties heeft plaatsgevonden en wordt ervaren. Uit de interviews is het beeld naar voren gekomen dat juiste uitvoering en onderlinge communicatie door betrokken partijen een belangrijk onderdeel is voor de effectiviteit van de beheersmethode. Een uitgebreider onderzoek kan inventariseren of analyseren of verkeerde of onvolledige uitvoering van de verschillende beheerstechnieken gevolgen heeft voor de effectiviteit. Mocht dit zo blijken te zijn dan is het aan te bevelen de wijze van uitvoering mee te wegen bij de toetsing volgens BRL6010 of BRL K14010.

Aanbevelingen

Het verdient aanbeveling om een uitgebreidere literatuurstudie uit te voeren naar systematische vergelijkingen tussen beheerstechnieken of studies naar het effect van variabelen, zoals pH, waterhardheid, leidingmateriaal en de wijze van aanleggen van drinkwaterleidingen op de effectiviteit van beheerstechnieken en op deze wijze kennis te achterhalen. Studies in de literatuur over de effectiviteit van beheerstechnieken betreffen veelal casestudies die het effect van het invoeren van bepaalde beheerstechnieken op de legionellabesmetting in een installatie beschrijven. Er zijn in de onderzochte literatuur weinig studies op bovenstaande aspecten aangetroffen.

Het is aan te bevelen om in een gecontroleerde omgeving en met behulp van pilotstudies in het veld te onderzoeken of het AOT-systeem, anodische oxidatie en het seriële installatie/warmtelint-beheersconcept in vergelijking met andere technieken effectief zijn in het voorkomen van groei van legionellabacteriën in drinkwaterinstallaties.

Van deze technieken was geen peer-reviewed literatuur beschikbaar.

Het verdient aanbeveling uitgebreid onderzoek te doen naar het effect van verkeerde of onvolledige implementatie op de kwaliteit van het legionellabeheer. Uit vraaggesprekken met een aantal partijen is de indruk verkregen dat beheerstechnieken niet altijd juist worden geïmplementeerd, met name bij thermische beheersmethoden. Door gedeeltelijke of gehele uitbesteding van het beheer is op de locatie weinig kennis over de beheerstechniek aanwezig, waardoor gebreken mogelijk onopgemerkt blijven. Onjuiste implementatie en onvoldoende kennis over het beheer kan mogelijk gevolgen hebben voor de effectiviteit.

Literatuur

- Allegra S, Grattard F, Girardot F, Riffard S, Pozzetto B, Berthelot P. 2011. Longitudinal evaluation of the efficacy of heat treatment procedures against *Legionella* spp. in hospital water systems by using a flow cytometric assay. *Appl Environ Microbiol.* 77:1268-1275.
- Alleron L, Merlet N, Lacombe C, Frère J. 2008. Long-term survival of *Legionella pneumophila* in the viable but nonculturable state after monochloramine treatment. *Curr Microbiol.* 57:497-502.
- Arvand M, Jungkind K, Hack A. 2011. Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by *Legionella pneumophila*: Do we know the true dimension? *Euro Surveill.* 16: pii=19844.
- Beerendonk E.F., et al., 2002. Alternatieve technieken voor legionella preventie: kenmerken en beoordeling. Kiwa rapport nr. koa 00.105.
- Bornstein N, Vieilly C, Nowicki M, Paucod JC, Fleurette J. 1986. Epidemiological evidence of legionellosis transmission through domestic hot water supply systems and possibilities of control. *Isr. J. Med. Sci.* 22: 655-661.
- Breiman RF, Fields BS, Sanden GN, Volmer L, Meier A, Spika JS, Mascola L. (1990) Association of shower use with Legionnaires' disease. Possible role of amoebae. *JAMA* 263: 2924-2926.
- Cachafeiro SP, Naveira IM, García IG. 2007. Is copper-silver ionisation safe and effective in controlling legionella? *J Hosp Infect.* 67:209-216.
- Casari E., Ferrario A., Montanelli A. 2007. Prolonged effect of two combined methods for *Legionella* disinfection in a hospital water system. *Ann Ig* 19:525-32.
- Casini B., Valentini P., Baggiani A., Torracca F., Frateschi S., Nelli L.C., Privitera G. 2008. Molecular epidemiology of *Legionella pneumophila* serogroup 1 isolates following long-term chlorine dioxide treatment in a university hospital water system. *J. Hosp. Infect.* 69:141-147.
- Chang CW, Hwang YH, Cheng WY, Chang CP. 2007. Effects of chlorination and heat disinfection on long-term starved *Legionella pneumophila* in warm water. *J Appl Microbiol.* 102:1636-1644.
- Chen YS, Lin YE, Liu YC, Huang WK, Shih HY, Wann SR, Lee SS, Tsai HC, Li CH, Chao HL, Ke CM, Lu HH, Chang CL. 2008. Efficacy of point-of-entry copper-silver ionisation system in eradicating *Legionella pneumophila* in a tropical tertiary care hospital: implications for hospitals contaminated with *Legionella* in both hot and cold water. *J. Hosp. Infect.* 68:152-158.
- Cooper IR, White J, Mahenthiralingam E, Hanlon GW. 2008. Long-term persistence of a single *Legionella pneumophila* strain possessing the *mip* gene in a municipal shower despite repeated cycles of chlorination. *J Hosp Infect.* 70:154-159.

Cooper IR, Hanlon GW. 2010. Resistance of *Legionella pneumophila* serotype 1 biofilms to chlorine-based disinfection. *J Hosp Infect.* 74:152-159.

Craun GF, Brunkard JM, Yoder JS, Roberts VA, Carpenter J, Wade T, Calderon RL, Roberts JM, Beach MJ, Roy SL. 2010. Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006. *Clin. Microbiol. Rev.* 23:507-528.

Daeschlein G, Krüger WH, Selepkó C, Rochow M, Dölken G, Kramer A. 2007. Hygienic safety of reusable tap water filters (Germlyser) with an operating time of 4 or 8 weeks in a haematological oncology transplantation unit. *BMC Infect Dis.* 7:45.

Declerck P, Behets J, Margineau A, van Hoef V, De Keersmaecker B, Ollevier F. 2009. Replication of *Legionella pneumophila* in biofilms of water distribution pipes. *Microbiol. Res.* 164: 593-603.

Declerck P, Vanysacker L, Hulsmans A, Lambert N, Liers S, Ollevier F. 2010. Evaluation of power ultrasound for disinfection of both *Legionella pneumophila* and its environmental host *Acanthamoeba castellanii*. *Water Res.* 44:703-710.

Dupuy M, Mazoua S, Berne F, Bodet C, Garrec N, Herbelin P, Ménard-Szczebara F, Oberti S, Rodier MH, Soreau S, Wallet F, Hécharde Y. 2011. Efficiency of water disinfectants against *Legionella pneumophila* and *Acanthamoeba*. *Water Res.* 45:1087-1094.

Farhat M, Trouilhé MC, Brand E, Moletta-Denat M, Robine E, Frère J. 2010. Development of a pilot-scale 1 for *Legionella* elimination in biofilm in hot water network: heat shock treatment evaluation. *J. Appl. Microbiol.* 108: 1073-1082.

Fields, B.S., R.F. Benson, R.E. Besser (2002) *Legionella* and Legionnaires' disease: 25 years of investigation. *Clinical Microbiology Reviews* 15: 506-526.

Hrubá L. 2009. The colonization of hot water systems by *Legionella*. *Ann Agric Environ Med.* 16:115-119.

Huang HI, Shih HY, Lee CM, Yang TC, Lay JJ, Lin YE. 2008. In vitro efficacy of copper and silver ions in eradicating *Pseudomonas aeruginosa*, *Stenotrophomonas maltophilia* and *Acinetobacter baumannii*: implications for on-site disinfection for hospital infection control. *Water Res* 42:73-80.

Kiwa. 2007. Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa attest-met-productcertificaat voor legionellapreventie met alternatieve technieken; Deel 1 Fysische techniek inclusief beheersconcept voor de nageschakelde installatie. BRL K14010-1/01.

Kiwa. 2009. Beoordelingsrichtlijn voor het Kiwa attest-met-productcertificaat voor legionellapreventie met alternatieve technieken; Deel 2 Elektrochemische technieken: koper/zilver-ionisatie en anodische oxidatie. BRL K14010-2/01.

Kooij van der D, Veenendaal HR, Scheffer WJ. 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* 2005; 39(3): 2789-2798.

KWR. 2003. Kritische aspecten van alternatieve technieken voor Legionella-preventie . KWR 03.039.

KWR. 2006. Evaluatie van praktijktesten met alternatieve technieken voor legionellapreventie. KWR 05.066.

KWR. 2006. Ontwerp, realisatie en testen van een proefleidinginstallatie voor onderzoek aan alternatieve technieken voor legionellapreventie. KWR 05.069.

Lehtola MJ, Torvinen E, Kusnetsov J, et al. 2007. Survival of *Mycobacterium avium*, *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli*, and *Caliciviruses* in drinking water-associated biofilms grown under high-shear turbulent flow. *Appl Environ Microbiol.* 73: 2854–2859.

Lin YE, Stout JE, Yu VL. 2011. Controlling Legionella in hospital drinking water: an evidence-based review of disinfection methods. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 32:166-73.

Marchesi I, Cencetti S, Marchegiano P, Frezza G, Borella P, Bargellini A. 2012. Control of Legionella contamination in a hospital water distribution system by monochloramine. *Am J Infect Control.* 40: 279-281.

Mòdol J, Sabrià M, Reynaga E, Pedro-Botet ML, Sopena N, Tudela P, Casas I, Rey-Joly C. 2007. Hospital-acquired legionnaires disease in a university hospital: impact of the copper-silver ionization system. *Clin Infect Dis.* 44:263-265.

Mouchtouri V, Velonakis E, Hadjichristodoulou C. 2007. Thermal disinfection of hotels, hospitals, and athletic venues hot water distribution systems contaminated by Legionella species. *Am J Infect Control.* 35:623-627.

Murga R., Forster TS, Brown E, Pruckler JM, Fields BS, Donlan RM. (2001) Role of biofilms in the survival of Legionella pneumophila in a model potable-water system. *Microbiology* 147: 3121-3126.

Oberdorfer K, Müssigbrodt G, Wendt C. 2008. Genetic diversity of Legionella pneumophila in hospital water systems. *Int J Hyg Environ Health.* 211:172-178.

Oosterholt F. 2007. Optimalisatie van koper/zilver-ionisatie in leidingwaterinstallaties bij de Rijksgebouwendienst. KWR rapport nr. 07.042

Outenaar van den P. 2011. Beleid en praktijk ontmoeten elkaar. Presentatie studiedag De controle van leidingwaterinstallaties.
<http://www.rivm.nl/dsresource?objectid=rivmp:57790&type=org&disposition=inline>

Pedro-Botet ML, Sanchez I, Sabria M, Sopena N, Mateu L, García-Núñez M, Rey-Joly C. 2007. Impact of copper and silver ionization on fungal colonization of the water supply in health care centers: implications for immunocompromised patients. *Clin Infect Dis.* 45:84-86.

Pryor M., Springthorpe S., Riffard S. et al. 2004. Investigation of opportunistic pathogens in municipal drinking water under different supply and treatment regimens. *Water Sci Technol.* 50: 83-90.

Rivera JM, Aguilar L, Granizo JJ, Vos-Arenilla A, Giménez MJ, Aguiar JM, Prieto J. 2007. Isolation of Legionella species/serogroups from water cooling systems compared with potable water systems in Spanish healthcare facilities. J Hosp Infect. 67:360-366

Rogers J. en Keevil CW. 1992. Immunogold and fluorescein immunolabeling of Legionella pneumophila within an aquatic biofilm visualized by using episcopic differential interference contrast microscopy. Appl. Environ. Microbiol. 58: 2326-2330.

Saby S, Vidal A, Suty H. 2005. Resistance of *Legionella* to disinfection in hot water distribution systems. Water Sci. Technol. 52: 15-28.

Sarjomaa M, Urdahl P, Ramsli E, Borchgrevink-Lund CF, Ask E. 2011. Prevention of Legionnaires' disease in hospitals. Tidsskr Nor Laegeforen. 131:1554-1557.

Shih HY, Lin YE. 2010. Efficacy of copper-silver ionization in controlling biofilm- and plankton-associated waterborne pathogens. Appl Environ Microbiol. 76:2032-2035.

Simões LC, Simões M, Vieira MJ. (2010) Influence of the Diversity of Bacterial Isolates from Drinking Water on Resistance of Biofilms to Disinfection. Appl. Environ. Microbiol. 76: 6673-6679.

Stout JE, Muder RR, Mietzner S, Wagener MM, Perri MB, De roos K, Goodrich D, Arnold W, Williamson T, Ruark O, Treadway C, Eckstein EC, Marshall D, Rafferty ME, Sarro K, Page J, Jenkins R, Oda G, Shimeda KJ, Zervos MJ, Bittner M, Camhi SL, Panwalker AP, Donskey CJ, Nguyen MH, Holodniy M, Yu VL. Legionella Study Group. 2007. Role of environmental surveillance in determining the risk of hospital - acquired legionellosis: A national surveillance study with clinical correlations. Infect. Control Hosp. Epidemiol. 28: 818-824.

Tesauro M, Bianchi A, Consonni M, Pregliasco F, Galli MG. 2010. Environmental surveillance of Legionella pneumophila in two Italian hospitals. Ann Ist Super Sanita. 46:274-278.

Versteegh J.F.M., Brandsema P.S., van der aa N.G.F.M., Dik H.H.J., de Groot G.M. 2007. Evaluatie legionellapreventie Waterleidingwet. RIVM rapport 703719020.

Vonberg RP, Sohr D, Bruderek J, Gastmeier P. 2008. Impact of a silver layer on the membrane of tap water filters on the microbiological quality of filtered water. BMC Infect Dis. 8:133.

Zhang Z, McMann C, Stout JE, Piesczynski S, Hawks R, Vidic R, Yu VL. 2007. Safety and efficacy of chlorine dioxide for Legionella control in a hospital water system. Infect Control Hosp Epidemiol. 28:1009-1012.

Zhang Z, Stout JE, Yu VL, Vidic R. 2008. Effect of pipe corrosion scales on chlorine dioxide consumption in drinking water distribution systems. Water Res. 42: 129-136.

Voor informatie over de verschillende beheerstechnieken is gebruikgemaakt van informatie afkomstig van de volgende websites:

Algemeen: ISSO. Zorgplicht legionella-preventie; alternatieve technieken.

<http://www.zorgplicht-legionella.nl/overig/alternatieve-technieken>

Warmtelint: <http://www.dehit.nl/LFW>

Filters: http://www.watercool.nl/legionella_filters.html

UV-licht:

<http://www.sanitair.melker.nl/pages/demelker.aspx?FrameUrl=../Document/Documentatie%2023.aspx>

Pasteurisatie: <http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40018127.pdf>

Ultrasone /UV:

<http://www.hielscher.com/nl/cavitat.htm>

http://www.hielscher.com/nl/water_disinfection.htm

http://www.water-besparing.nl/Page/414409_legionellapreventie-door-ultrafiltratie-uv-ultrasound-en-logboek-.aspx

Advanced Oxidation Technology (AOT)

<http://www.blygold.nl/index/page/view/PageID/84>

Koper/zilver-ionisatie

<http://www.lenntech.nl/processen/desinfectie/chemisch/desinfectiemiddelen-koperzilverionisatie.htm>

[http://www.uneto-](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003306.pdf)

[vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003306.pdf](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003306.pdf)

http://www.dailymotion.com/video/xij2v0_liquitech-koper-zilver-ionisatie-hatenboer-water-toegelaten-door-ctgb_tech

Anodische oxidatie

[http://www.uneto-](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003307.pdf)

[vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003307.pdf](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40003307.pdf)

[http://www.uneto-](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40019765.pdf)

[vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40019765.pdf](http://www.uneto-vni.nl/Applications/getObject.asp?FromDB=1&Obj=40019765.pdf)

Chemisch

<http://www.lenntech.com/processes/disinfection/regulation-eu/eu-water-disinfection-regulation.htm>

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl