



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

Interpretatie van risicoschattingen voor *Legionella pneumophila*

RIVM briefrapport 703719085
M. Bouwknecht | J.A.C. Schalk | A.M. de Roda Husman



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

Interpretatie van risicoschattingen voor *Legionella pneumophila*

RIVM Briefrapport 703719085
M.Bouwknecht | J.A.C. Schalk | A.M. Roda Husman

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'.

Martijn Bouwknecht, LZO, RIVM/CIb
Marjolijn Schalk, LZO, RIVM/CIb
Ana Maria de Roda Husman, LZO, RIVM/CIb

Contact:
Martijn Bouwknecht
Laboratorium voor Zoonosen en Omgevingsmicrobiologie
martijn.bouwknecht@rivm.nl

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

Rapport in het kort

Interpretatie van risicoschattingen voor Legionella pneumophila

Volgens de huidige Nederlandse norm voor legionellabacteriën in water moet drinkwater minder dan 100 kolonievormende eenheden (KVE) per liter water bevatten. Deze norm is niet gebaseerd op een risico op infectie, dat bijvoorbeeld ontstaat doordat mensen tijdens een douche of baden in een bubbelbad blootgesteld worden aan de bacterie. Het is echter raadzaam om het infectierisico in de norm te betrekken, aangezien het infectierisico bij 100 KVE per liter mogelijk al aanzienlijk is. Meer gegevens zijn evenwel nodig om de schattingen van dit risico goed te kunnen onderbouwen.

Dit blijkt uit drie schattingen van de infectierisico's door de aanwezigheid van Legionella pneumophila in water die het RIVM tussen 2008 en 2010 heeft uitgevoerd, in opdracht van VROM-Inspectie (tegenwoordig de Inspectie Leefomgeving en Transport). Een handleiding is opgesteld om de resultaten van deze risicoschattingen te interpreteren. Daarnaast worden de gemaakte aannames vanwege ontbrekende data en de nog bestaande kennishiaten toegelicht.

Het infectierisico na elke douche van 15 minuten werd geschat op 2 procent als het water 100 kolonievormende eenheden Legionella pneumophila per liter water bevat. Voor bubbelbaden is dat risico groter, namelijk 50 procent. De noodzakelijk gemaakte aannames maken de absolute waarden van deze risicoschattingen echter onzeker, waardoor deze voorzichtig moeten worden geïnterpreteerd. Wel wijzen de resultaten erop dat de norm voor legionellabacteriën niet moet worden verruimd. Bij een hoger aantal legionellabacteriën per liter water neemt het geschatte risico op een legionella-infectie namelijk toe.

Trefwoorden:

Legionella, risicoschatting, douchen, bubbelbad, interpretatie

Inhoud

1	Inleiding—9
2	Infectierisico voor douchen—11
3	Infectierisico geassocieerd met verblijf in een actief bubbelbad—15
4	Interpretatie van de risicoschattingen—17
5	Aanbevelingen—19
	Referenties—21

1 Inleiding

In de periode 2008-2010 zijn bij het Laboratorium voor Zoönosen en Omgevingsmicrobiologie van het RIVM met behulp van kwantitatieve microbiologische risicoschattingen (in het Engels: Quantitative Microbiological Risk Assessment (QMRA)) drie studies uitgevoerd in opdracht van VROM Inspectie naar de gezondheidsrisico's die zijn geassocieerd met legionella in water (Bouwknegt et al. 2008, 2009, 2010). QMRA is een rekenmethode waarbij wetenschappelijke informatie kwantitatief en gestructureerd wordt geanalyseerd om een schatting te maken van een volksgezondheidsrisico. Dit risico kan verschillende eindpunten hebben, zoals een risico op infectie, een risico op ziekte¹, of een risico op sterfte, en wordt voorafgaand aan het onderzoek vastgesteld. Dit onderzoek kan de basis vormen voor beleidsmakers om een dergelijk gezondheidsdoel vast te kunnen stellen en voor toezichthouders om hierop te handhaven. De huidige norm voor legionella in Nederland bestaat uit een waterkwaliteitsdoel waarvoor geen relatie bekend is met het gezondheidsdoel ofwel het eventuele volksgezondheidsrisico. Voor blootstelling aan een bepaalde hoeveelheid legionella in water bestaat een specifieke relatie met de respons, bijvoorbeeld het risico op infectie, bij de mens.

De eerste studie uitgevoerd bij LZO is gericht op de infectierisico's geassocieerd met douchen in een beperkte ruimte, namelijk een douchecabine (Bouwknegt et al., 2008). In de tweede studie is het model uit de eerste studie uitgebreid naar situaties met meerdere douches in een grotere ruimte (Bouwknegt et al., 2009). In de derde studie is het infectierisico geschat voor een individu die een bepaalde tijd in een bubbelbad zit (Bouwknegt et al., 2010). In de volgende paragrafen worden deze risicoschattingen samengevat en wordt bediscussieerd in hoeverre de resultaten relevant zijn voor beleid.

¹ Ziekte onderscheidt zich van infectie met het optreden van klinische verschijnselen.

2 Infectierisico voor douchen

Legionellabacteriën kunnen tijdens het douchen worden ingeademd via aërosolen die kleiner zijn dan 10 micrometer. Om het infectierisico te schatten door douchen is het nodig de vraag te splitsen in een aantal deelvragen: ten eerste is het nodig om te schatten hoeveel aërosolen gevormd worden tijdens het douchen, ten tweede om te schatten hoeveel van deze aerosolen ingeademd worden en hoeveel legionellabacteriën daarmee worden ingeademd en ten derde moet geschat worden wat het risico op infectie is bij inademen van een bepaalde hoeveelheid van de bacterie. Door deze drie schattingen te combineren kan tenslotte geschat worden wat het risico is op infectie tijdens het douchen.

Om de eerste vraag te kunnen beantwoorden, namelijk hoeveel aerosolen worden gevormd tijdens het douchen is een studie van Zhou en collega's (2007) van belang. In deze studie is een douchecabine nagebootst, waarin een dummy gelijkwaardig aan een mens is geplaatst. Ter hoogte van de mondopening van de dummy is het aantal aërosolen, en de grootte daarvan, gemeten en vervolgens met een formule beschreven. Deze formule is gebruikt bij de door ons uitgevoerde risicoschatting. Aërosolvorming is afhankelijk van watertemperatuur en stroomsnelheid van het water. Door Zhou en collega's (2007) is aërosolvorming onderzocht voor een stroomsnelheid van 5,5, van 6,1 en van 9 liter water per minuut, en bij koud water en een watertemperatuur van 44°C. Voor de door ons uitgevoerde risicoschatting is gebruik gemaakt van de gegevens voor water van 44°C, aangezien de meeste mensen douchen met warm water. Voor de stroomsnelheid van het water zijn de twee uiterste snelheden genomen en de mogelijke waardes daartussen zijn meegenomen als variatiebron in de QMRA aangezien de stroomsnelheid van het water die wordt gebruikt tijdens het douchen ook in werkelijkheid verschilt tussen personen (zie voor meer informatie Bouwknecht et al., 2008).

Bij het schatten van de aërosolvorming in de douchecabine worden een aantal aannames gedaan. In de eerste plaats wordt ervan uitgegaan dat zowel de vermeerdering als vermindering van aërosolen constant is in de tijd en dat de aërosolen een constante grootte houden. Daarnaast wordt de stroomsnelheid van het water constant verondersteld gedurende de douchetijd. Verder werd aangenomen dat aërosolen willekeurig in de douchecabine verspreiden. Tenslotte werd uitgegaan van een legionellaconcentratie in aërosolen gelijk aan de concentratie in leidingwater.

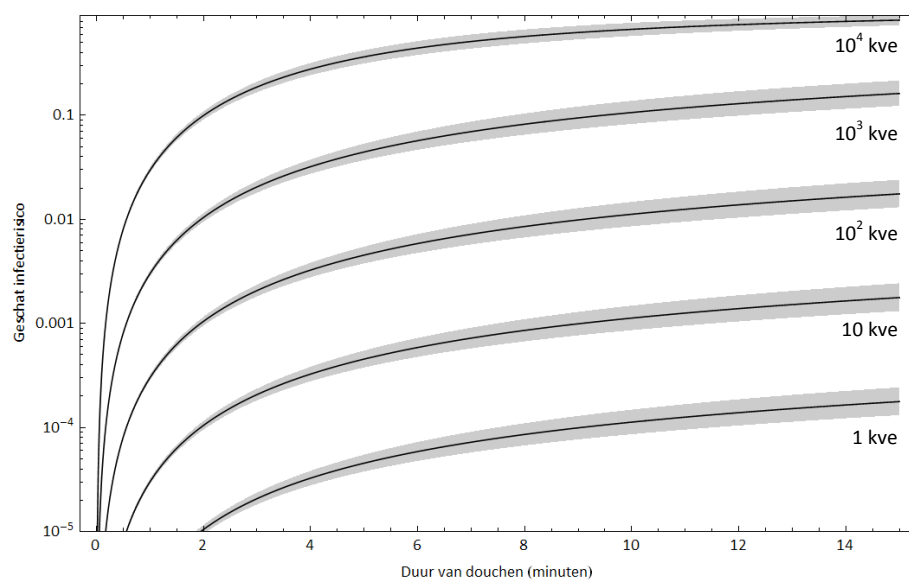
De hoeveelheid ingeademde aërosolen is vervolgens afhankelijk van de hoeveelheid lucht die wordt ingeademd. Voor deze schatting is gebruik gemaakt van waardes die worden gegeven door de *International Committee on Radiological Protection (ICRP)*, wat een standaard is voor inademingsstudies. De standaardwaarden gegeven voor een jongvolwassen man die lichte activiteit verricht–het ingeschatte activiteitsniveau gedurende douchen–zijn 1,25 L ingeademde lucht per ademhaling met een frequentie van 20 ademhalingen per minuut. Dit betekent dat er per minuut douchen 25 liter lucht wordt ingeademd. Voor deze risicoschatting is uitgegaan van ademhaling via de neus. Verder is ervan uitgegaan dat de ademfrequentie en dus de hoeveelheid ingeademde lucht voor iedere persoon gelijk is.

Met de geschatte hoeveelheid aërosolen per liter lucht in de douchecabine en de geschatte hoeveelheid ingeademde lucht per minuut kan de totale hoeveelheid

ingeademde aërosolen per minuut worden geschat. Deze hoeveelheid komt overeen met een bepaald volume water. Aannemende dat de legionellaconcentratie in aërosolen even groot is als de concentratie in leidingwater, kan het aantal ingeademde legionellabacteriën per minuut worden geschat. Het totale aantal ingeademde bacteriën is afhankelijk van de douchetijd. Hierbij wordt geen rekening gehouden met een blootstelling die langer duurt dan de douchetijd. Dit langere verblijf in de badkamer is denkbaar voor de duur van afdrogen, bijvoorbeeld.

Om aan de hand van het aantal ingeademde legionellabacteriën de infectiekans te kunnen schatten is kennis nodig over de dosisrespons relatie voor *Legionella pneumophila*. Deze relatie beschrijft de gemiddelde infectiekans voor een bepaalde ingeademde legionelladosis. Bij gebrek aan gegevens voor mensen is deze relatie gebaseerd op metingen in cavia's. Armstrong en collega's (2007) hebben data van verschillende proefdieren vergeleken en geconcludeerd dat, mede op basis van biologische en fysiologische overeenkomsten, data van cavia's op dit moment het meest representatief zijn voor mensen. Deze conclusie werd voor de risicoschatting onderschreven en genoemde dosisrespons relatie is gebruikt om het infectierisico te berekenen (Figuur 1). Voor een besmetting van water met 100 kolonievormende eenheden (kve) legionella per liter water is het infectierisico geschat op 0,7% (0,6 – 0,9%) voor een douche van 7 minuten en op 1,8% (95% interval: 1,3 – 2,4%) voor een douche van 15 minuten.

Bovenstaande risicoschatting gaat uit van een enkele douche in een beperkte ruimte, namelijk een douchecabine. Deze aanpak kan worden uitgebreid naar meerdere douches in een ruimte. Dit vergt voor de berekeningen aan de infectierisico's een uitbreiding van het beschreven model, met een grotere data behoefte tot gevolg. Onder andere zijn gegevens nodig over de inrichting van de betreffende ruimte, het aantal douches en luchtverplaatsingsnelheden. Omdat deze gegevens zeer locatiespecifiek zijn is in de tweede studie gekozen voor een beschrijving van een algemene aanpak voor modellering en gegevensverzameling om dergelijke infectierisico's uit te rekenen (zie Bouwknecht et al., 2009). Het belangrijkste verschil met de studie naar de risico's voor één douche is de grotere ruimte waarin een risico wordt gelopen. Dit vergt een model dat rekening houdt met luchtverplaatsing van aërosolen en legionellabacteriën. Daarnaast zijn dergelijke opstellingen vaak te vinden in sportcomplexen en sauna's, waar niet alleen de persoon die doucht een risico loopt. Dit maakt het belang van een luchtverplaatsingmodule in de risicoschatting groter in vergelijking met de studie voor douchen in een douchecabine. Om deze module te kunnen gebruiken zijn gegevens nodig over luchtsnelheden, gemeten op verschillende locaties in de ruimte.



Figuur 1. Geschatte infectiekans als functie van de duur van douchen (in minuten) voor een jongvolwassen man, inclusief 95% interval, en voor verschillende legionellaconcentraties per L water.

3 Infectierisico geassocieerd met verblijf in een actief bubbelbad

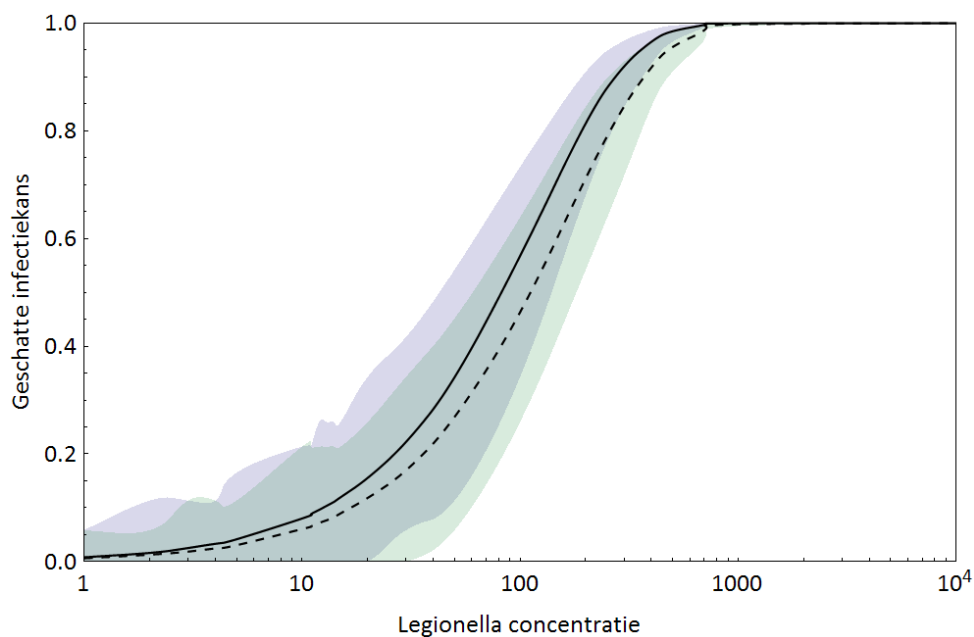
Het legionella-infectierisico voor een verblijf in een bubbelbad is volgens eenzelfde manier berekend als voor douchen, d.w.z. een schatting van de hoeveelheid gevormde aërosolen en een schatting van de hoeveelheid ingeademde lucht. Het laatstgenoemde deel is hetzelfde als hierboven, maar met andere standaardwaarden omdat verblijf in een bubbelbad is ingeschaald als 'zitten' met ICRP-standaardwaarden van 0,75 L per ademhaling en een frequentie van 12 per minuut voor een jongvolwassen man. Verder is als aanvulling onderscheidt gemaakt tussen mannen en vrouwen; standaardwaarden voor een jongvolwassen vrouw zijn 0,42 liter per ademhaling met een frequentie van 16 per minuut.

De hoeveelheid gevormde aërosolen door een actief bubbelbad is voornamelijk afhankelijk van de diepte van het bad, van het aantal luchtbellen dat wordt geproduceerd en van de grootte van de geproduceerde luchtbellen. Gedurende de stijging van een luchtbel in het bad kunnen botsingen met legionellabacteriën optreden, waarna deze met de luchtbel meestijgen naar het wateroppervlak. Bij het wateroppervlak barsten de luchtbellen en vormen zogenaamde *jet drops* en *film drops*. De *jet drops* zijn doorgaans >20 micrometer en daarmee niet inhaleerbaar en niet relevant voor de risicoschatting. De *film drops* zijn doorgaans <10 micrometer, daarmee wel inhaleerbaar en voor de risicoschatting relevant. Het aantal legionellabacteriën dat door botsing met de luchtbel meestijgt is een kansproces en als zodanig gemodelleerd volgens de theorie van hydrodynamica (zie voor details Bouwknecht et al., 2010).

Aannames in deze berekening zijn een constante grootte van de luchtbellen van 0,7 cm, omdat hiervoor de benodigde experimentele gegevens voorhanden waren. In werkelijkheid zal er een mix van luchtbellen met verschillende groottes worden geproduceerd. Verder is aangenomen dat de kans op een botsing tussen legionellabacteriën en een luchtbel constant is, evenals de kans dat legionellabacteriën meestijgen naar het wateroppervlak. Wegens gebrek aan gegevens is verder aangenomen dat de legionellabacteriën aanwezig op de luchtbel gelijkmatig verdeeld zijn over de *jet drops* en *film drops*. Daarnaast is geen rekening gehouden met desinfectie van het water in een bubbelbad, wat bij commercieel gebruikte bubbelbaden doorgaans gebeurt. Tot slot is ervan uitgegaan dat legionellaconcentraties in het water constant zijn gedurende de blootstelling en homogeen verdeeld.

Met bovenstaande methode is het aantal legionellabacteriën in aërosolen geschat per luchtbel. In een gemiddeld bubbelbad van een bepaald merk wordt tussen de 0,19 en 0,38 m³ lucht per minuut ingebracht. Uitgaande van een ronde luchtbel van 0,7 cm (zie boven) levert dit 1 tot 2 miljoen luchtbellen per minuut, wat in de risicoschatting is meegenomen om het totaal aantal legionellabacteriën in aërosolen te schatten. Dit totale aantal legionellabacteriën is vervolgens gedeeld door de hoeveelheid lucht boven het bubbelbad, wat een concentratie (aantal legionellabacteriën per liter lucht) geeft. Hierbij is uitgegaan van een gelijkmatige verdeling van de legionellabacteriën in die hoeveelheid lucht. Vanuit de eerder genoemde ademhalingsgegevens is vervolgens het aantal ingeademde legionellabacteriën geschat voor mannen en vrouwen, afhankelijk van de tijdsduur van verblijf in een bubbelbad (Figuur 2). De

ingeademde dosis is vervolgens gerelateerd aan dezelfde dosisresponse relatie die is gebruikt in de risicoschatting voor douchen. Voor een besmetting van water met 100 kve legionella per liter water is het infectierisico geschat op 57% (38% – 73%) voor een jong volwassen man en 47% (26% - 66%) voor een jongvolwassen vrouw, voor een verblijf van 15 minuten in een actief bubbelbad.



Figuur 2. Geschatte infectiekans voor verblijf in een actief bubbelbad gedurende 15 minuten, als functie van legionellaconcentratie (kolonievormende eenheden per L water) voor een jongvolwassen man (doorgetrokken lijn) en vrouw (onderbroken lijn), inclusief 95% interval (grijs: man, groen: vrouw).

4 Interpretatie van de risicoschattingen

Eén van de interessante uitkomsten van deze studiereeks is de vergelijking tussen geschat infectierisico voor douchen en gebruik van een bubbelbad. Onder de beschreven aannames is het geschatte infectierisico in het geval van 100 kve per liter water voor 15 minuten douchen ongeveer 2% (95% interval: 1,3% – 2,4%), terwijl dit voor ongedesinfecteerde bubbelbaden uitkwam op ongeveer 50% (38% – 73%). Dit betekent dat onder vergelijkbare omstandigheden en dezelfde duur van blootstelling, het geschatte infectierisico voor bubbelbaden ongeveer 25 maal groter is dan voor douchen. Hoe deze verhouding doorwerkt in de totale legionella ziektelast in Nederland, is echter nog onbekend. Dit laatste hangt ook af van de frequentie van legionellabesmettingen in de twee typen watersystemen. Een hogere frequentie van legionellabesmettingen in doucheleidingen in vergelijking met bubbelbaden kan ervoor zorgen dat de totale ziektelast veroorzaakt door legionella voor douchen groter is dan voor het gebruik van een bubbelbad, ondanks de lagere infectiekans per douchebeurt. Door een koppeling te maken met de frequentie van legionellabesmettingen, geschat uit een steekproef van water uit willekeurig geselecteerde doucheleidingen en bubbelbaden, kan deze vergelijking worden gemaakt.

De frequentie van besmetting kan onder andere beïnvloed worden door het gebruik van chloor voor desinfectie, wat wordt gedaan voor commercieel geëxploiteerde bubbelbaden. Desinfectie van het water reduceert de aantallen legionellabacteriën. In welke mate dit gebeurt hangt af van het desinfectiemiddel, de procedure van desinfectie, het water, het type legionella en de hoedanigheid van legionella (vrij voorkomend of in amoeben). Niet voor ieder desinfectieproces zijn gegevens bekend over de reductie van legionellabacteriën in water zodanig dat deze gegevens geschikt zijn voor gebruik in de risicoschatting.

Beide studies waarin een infectierisico is geschat (d.i. douchen en bubbelbaden) geven een schatting van het gemiddelde en het 95% interval in een zogenaamde scenariostudie. Dit betekent dat uitkomsten van de beschreven studies geïnterpreteerd moeten worden als 'Als-dan' schattingen. Als een individu bijvoorbeeld 7 minuten doucht met water waarin 100 legionellabacteriën per liter aanwezig zijn, dan is de gemiddelde geschatte infectiekans ongeveer 0,7%. Dit komt in algemene zin neer op ongeveer 70 infecties per 10.000 vergelijkbare douchebeurten. Indien een dergelijke besmetting van het water als systeembesmetting aanwezig is gedurende een half jaar in een verzorgingstehuis, dan zou dit betekenen dat de kans op infectie voor een individu ongeveer 70% bedraagt indien dagelijks wordt gedoucht. Indien in het tehuis 250 bewoners wonen, dan zou dit betekenen dat in een half jaar tijd ongeveer 180 bewoners een infectie oplopen bij de genoemde legionellabesmetting van het water van 100 kve/L en dagelijks douchen. Wat vervolgens de kans is om ook daadwerkelijk ziek te worden is niet bekend en hangt sterk af van de gevoeligheid van de persoon. Deze gevoeligheid hangt onder andere af van leeftijd, onderliggend lijden, en wel of niet roken. **Bij de interpretatie van deze getallen is dus voorzichtigheid geboden.**

De 95% intervallen rondom de gemiddelde schattingen komen voort uit de variatie door toeval, die in de studie is meegenomen voor verschillende parameters zoals de stroomsnelheid van water uit de douchekop en de kans op

een botsing tussen een luchtbel en legionellabacteriën. Niet meegenomen in deze intervallen is de statistische onzekerheid rondom de schattingen, wegens gebrek aan de juiste gegevens. De schattingen van het aantal aërosolen in de lucht door Zhou en collega's (2007) bijvoorbeeld zijn omgeven door statistische onzekerheid, maar ook kan de gebruikte douchecabine afwijken van de douchecabines die in Nederland voorkomen. Dit alles betekent dat de gepresenteerde cijfers geen harde absolute aantallen infecties weergeven. Wat deze studies wel aantonen, door het gestructureerde gebruik van de wetenschappelijke kennis op dit moment, is dat bij een concentratie van 100 kve legionellabacteriën per liter water (wat net boven de norm van <100 kve/L ligt) het geschatte infectierisico al ruim boven het maximaal toelaatbare infectierisico van 10^{-4} ligt dat in Nederland geldt voor drinkwater. Dit infectierisico houdt in dat jaarlijks maximaal 1 op de 10.000 personen een (in dit geval maagdarms-) infectie mag oplopen ten gevolge van het consumeren van drinkwater.

Een groot aantal aannames liggen ten grondslag aan de hier beschreven risicoschattingen vanwege een gebrek aan wetenschappelijk bewijs. Deze aannames kunnen het geschatte infectierisico positief dan wel negatief beïnvloeden. Aangenomen werd bijvoorbeeld dat tijdens het douchen door de neus wordt ademgehaald, wat een langere afgelegde route inhoudt voor de eventuele legionella's in de aërosolen in vergelijking met ademhaling door de mond. Dit betekent dat trilhaartjes en slijmvliezen meer legionella wegvangen dan bij mondademhaling, waardoor bij mondademhaling het geschatte infectierisico groter is. Daarnaast is geen rekening gehouden met de blootstelling na het douchen of de blootstelling voor andere personen in de badkamer. Een verblijf in de badkamer na het douchen, of tijdens het douchen door huisgenoten, is niet meegenomen in de risicoschatting. Beide situaties kunnen leiden tot een extra blootstelling aan legionella ten opzichte van de geschatte blootstelling in de huidige studie, en daarmee tot een groter geschatte volksgezondheidslast. Tot slot is de gebruikte dosisrespons relatie momenteel weliswaar de meest representatieve voor mensen onder de beschikbare modellen, maar de nauwkeurigheid van dit model in voorspellingen voor de mens is onbekend. Bovendien is de dosisrespons relatie in cavia's slechts vastgesteld voor één type *L. pneumophila*. De *L. pneumophila* soort bestaat uit verschillende serogroepen die weer verder onder te verdelen zijn in typen. Deze zijn niet allen even ziekteverwekkend. Mogelijk dat de dosisrespons relaties voor verschillende typen *L. pneumophila* verschillen. Daar komt bij dat de cavia's in de experimenten die het dosisrespons model onderliggen geen immuunrespons hadden tegen legionella. Zeer waarschijnlijk is dit wel het geval voor de Nederlandse bevolking, waardoor een deel van de bevolking beschermd zal zijn tegen infectie. Voor deze mensen treedt dus wel blootstelling op, maar zonder verdere gevolgen waardoor de schattingen van het infectierisico lager zouden worden.

Het is wenselijk om de risicoschattingen uit te breiden met de statistische onzekerheid en verder onderzoek te doen om gegevens te genereren die de aannames zouden kunnen onderbouwen zoals de representativiteit van de dosisrespons relatie. Daarmee kan worden nagegaan of de norm van <100 kve legionellabacteriën per liter water wellicht lager zou moeten liggen wanneer wordt gekeken naar het daadwerkelijke volksgezondheidsrisico. Op basis van de huidige beschikbare gegevens is dat nog niet te concluderen.

5 Aanbevelingen

Uit de hier beschreven infectierisicoschattingen voor legionella blijkt dat bij een concentratie van 100 kolonievormende eenheden (KVE) legionellabacteriën per liter water (wat net boven de norm van <100 KVE/L ligt) het geschatte infectierisico voor douchen en voor een verblijf in een bubbelbad ruim boven het maximaal toelaatbare infectierisico van 10^{-4} ligt dat in Nederland geldt voor drinkwater.

Een groot aantal aannames liggen ten grondslag aan deze risicoschattingen vanwege een gebrek aan wetenschappelijk bewijs. Het is wenselijk om verder onderzoek te doen om gegevens te genereren die de aannames in de hier beschreven infectierisicoschattingen zouden kunnen onderbouwen. Dan kan worden nagegaan of de norm van <100 KVE legionellabacteriën per liter water wellicht lager zou moeten liggen wanneer wordt gekeken naar het daadwerkelijke volksgezondheidsrisico.

Referenties

- Armstrong, T. W., Haas, C. N.. A quantitative microbial risk assessment model for Legionnaires' disease: animal model selection and dose-response modeling. *Risk Analysis* 2007, 27, 1581-1596
- Bouwknegt, M., Lodder, W., Schijven, J. F., Schalk, J. A. C., De Roda Husman, A. M.. Estimation of the inhalation exposure to *Legionella pneumophila* and risk of infection during showering. 2008, in voorbereiding voor publicatie.
- Bouwknegt, M., Schalk, J. A. C., De Roda Husman, A. M.. Development of a model to estimate infection risks for *Legionella* due to showering in saunas. 2009, in voorbereiding voor publicatie.
- Bouwknegt, M., Schalk, J. A. C., De Roda Husman, A. M.. Quantitative risk estimation for a *Legionella pneumophila* infection due to whirlpool use. 2010. Aangeboden voor publicatie bij Risk Analysis.
- Zhou, Y., Benson, J. M., Irvin, C., Irshad, H., Chang, Y.. Particle size distribution and inhalation dose of shower water under selected operating conditions. *Inhal Toxicol* 2007, 19, 333-342.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl