



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

Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties

RIVM Briefrapport 2019-0061
A.A. Bartels et al.



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

Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties

RIVM Briefrapport 2019-0061
A.A. Bartels et al.

Colofon

© RIVM 2019

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties, 2019.

DOI 10.21945/RIVM-2019-0061

A.A. Bartels (auteur), RIVM
R.C. van Leerdam (auteur), RIVM
W.J. Lodder (auteur), RIVM
L.C. Vermeulen (auteur), RIVM
H.H.J.L. van den Berg (auteur), RIVM

Contact:

A.A. Bartels
Landelijke Coördinatie Infectieziektebestrijding
alvin.bartels@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van IenW in het kader van het project Legionella in AWZI's en RWZI's, M/270053/01/K1

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Inventarisatie van legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties

Legionellabacteriën kunnen zich via de lucht verspreiden en een longontsteking veroorzaken als mensen ze inademen. Ze worden meestal verspreid door installaties die water vernevelen, zoals bubbelbaden en 'natte' koeltorens. Sinds 2012 stijgt in Nederland het aantal legionella-infecties, maar meestal is niet bekend door welke bron mensen ziek zijn geworden. De afgelopen jaren zijn meerdere gevallen van longontsteking door Legionella toegeschreven aan afvalwaterzuiveringsinstallaties. Daarom hebben Omgevingsdienst NL en STOWA de afvalwaterzuiveringsinstallaties in Nederland geïnventariseerd. Het RIVM heeft bepaald bij welke installaties Legionella mogelijk kan groeien en zich verspreiden.

In totaal zijn er 709 afvalwaterzuiveringsinstallaties bekend: 382 industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties en 327 rioolwaterzuiveringsinstallaties die huishoudelijk afvalwater zuiveren. Het merendeel van deze afvalwaterzuiveringsinstallaties vormt geen verhoogd risico. De kans dat Legionella kan vermeerderen en vrijkomen is aannemelijk bij 69 van de 382 industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties (18 procent) en 12 van de 327 rioolwaterzuiveringsinstallaties (4 procent). Bij de helft van deze risicovollere afvalwaterzuiveringsinstallaties zijn maatregelen getroffen om te voorkomen dat legionella zich verspreidt. Onduidelijk is nog of deze maatregelen voldoende werken.

Eén van de factoren die de groei van Legionella bevordert, is de biologische werkwijze om afvalwater te zuiveren met bacteriën in slib. Daarnaast bevordert industrieel afvalwater met een hoog gehalte aan eiwitten en aminozuren (levensmiddelenindustrie, hout- en papierindustrie, destructiebedrijven en petrochemische industrie) de groei van Legionella. Dat is ook het geval als het afvalwater een temperatuur heeft tussen 25 en 45 graden Celsius. De optimale groeitemperatuur is tussen 30 en 38 graden Celsius. Ten slotte stimuleert de beluchting, een onderdeel van het zuiveringsproces, de groei van legionella omdat er dan meer zuurstof in het water komt. De beluchting zorgt er ook voor dat kleine waterdruppeltjes met legionellabacteriën ontstaan en zich vervolgens via de lucht kunnen verspreiden. De bacteriën kunnen zich ook verspreiden via het water dat de zuivering verlaat.

Maatregelen kunnen ervoor zorgen dat minder legionellabacteriën uit de beluchtingstank vrijkomen en de zuivering verlaten. Aanbevolen wordt om de ontbrekende of onbekende informatie uit de inventarisatie aan te vullen en de gegevens beschikbaar te maken voor onder meer brononderzoek door GGD'en.

Kernwoorden: legionella, veteranenziekte, afvalwaterzuivering, RWZI, AWZI, risico-inschatting, maatregelen

Synopsis

Risk inventory for Legionella at wastewater treatment plants

Legionella bacteria can spread via the air and cause pneumonia if inhaled by humans. These bacteria are mostly spread by water systems that generate aerosols, such as whirlpools and wet cooling towers. The number of Legionella infections has been increasing since 2012. However, the source causing the infection in patients is often unknown. In the Netherlands, multiple cases of pneumonia due to Legionella bacteria have been attributed to wastewater treatment plants. Omgevingsdienst NL and STOWA have therefore identified and listed the wastewater treatment plants in the Netherlands and RIVM has determined at which of these plants Legionella can potentially grow and spread.

A total of 709 wastewater treatment plants are known: 382 industrial wastewater treatment plants and 327 sewage treatment plants that treat municipal wastewater. The majority of these wastewater treatment plants do not constitute a high risk. It is probable that Legionella bacteria can multiply and be released at 69 of the 382 industrial wastewater treatment plants (18 per cent) and 12 of the 327 sewage treatment plants (4 per cent). Half of these wastewater treatment plants have taken measures to prevent the spread of Legionella but it is not yet clear whether these measures are adequate.

One of the factors that promotes the growth of Legionella is the sludge containing bacteria used in the biological method for treating wastewater. Industrial wastewater containing high concentrations of proteins and amino acids (food industry, timber and paper industry, rendering plants and petrochemical industry) promotes the growth of Legionella, too. The same applies if the temperature of the wastewater is between 25 and 45 degrees Celsius. Optimal growth temperature is between 30 and 38 degrees Celsius. Lastly, aeration, which is a part of the treatment process, facilitates growth because it increases the oxygen in the water. Moreover, aeration results in the formation of small water droplets, containing Legionella bacteria, which can spread via the air. The bacteria can, furthermore, spread via the water that leaves the waste water plant.

Measures can be taken to reduce the spread of Legionella bacteria from aeration tanks at wastewater treatment plants. In conclusion, we recommend that the list of wastewater treatment plants be supplemented and made available for more research on sources by the Municipal Health Services.

Keywords: legionella, Legionnaires' disease, wastewater treatment, STP, WWTP, risk assessment, measures

Verklarende termen

Term zoals van toepassing in het rapport	Verklaring
Actief slib	Zuiverende biomassa in vlokform. Dit is het slib, waarin bacteriën en andere micro-organismen voorkomen, die de (opgeloste) verontreinigingen in het rioolwater als voedsel gebruiken, waardoor deze uit het rioolwater worden verwijderd.
Aeroob	Milieu waar zuurstof aanwezig is of wordt toegevoegd waarin organismen die zuurstof nodig hebben kunnen gedijen, bijvoorbeeld aerobe bacteriën zoals <i>Legionella spp.</i>
Aerosolen	Aerosolen zijn zeer kleine vaste of vloeibare deeltjes die zweven in de lucht. Waterinstallaties kunnen wateraerosolen produceren waarmee Legionella kan meeliften. Dit kan door sproeien, beluchten van water (bijvoorbeeld bubbelbaden) of mistvormers.
Afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI)	Een installatie die afvalwater zuivert door middel van mechanische, biologische en/of chemische processen. Dit kunnen industrieel afvalwaterzuiveringsinstallaties (IWZI) of rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI) zijn.
Anaeroob	Milieu waar geen zuurstof aanwezig is of wordt toegevoegd en waarin organismen die geen zuurstof gebruiken om te leven kunnen gedijen, bijvoorbeeld anaerobe bacteriën zoals verschillende <i>Clostridium spp.</i>
Anammox	Anaerobe ammonium oxidatie. Anammox-bacteriën zetten ammonium (NH_4^+) en nitriet (NO_2^-) om in stikstofgas.
Beheersen (beperken)	Legionellagroei of – verspreiding <i>zo veel mogelijk</i> voorkomen. Hiervoor worden veelal beheersmaatregelen gebruikt.
Beheersmaatregelen	Maatregelen om de legionellagroei te voorkomen of te beheersen. Bijvoorbeeld door thermisch beheer (pasteurisatie/ temperatuurmanagement), fysisch beheer (filters en UV), elektrochemisch beheer (koper/zilver-ionisatie) of chemisch beheer (biocides). Het nemen van maatregelen om verspreiding van Legionella te voorkomen kan worden gezien als beheersmaatregel.
Beheersplan	Document waarin de beheersmaatregelen en controlemaatregelen (monitoring) staan, te gebruiken door de uitvoerder(s) van de beheersmaatregelen en de eindverantwoordelijke(n). Vaak staan ook de risicoanalyse en de logboekformulieren in het beheersplan. Het beheersplan wordt gecontroleerd door de toezichthouder, indien het beheersplan verplicht is.
Beluchtingstank	Onderdeel van het zuiveringsproces. De tank wordt gebruikt om lucht aan het afvalwater toe te voegen zodat zuurstof in het water komt en de aerobe biologische zuivering kan plaatsvinden.
Biofilm	Een laag slijm geproduceerd door micro-organismen. Deze slijmlaag bestaat uit micro-organismen, dode organische deeltjes en anorganische deeltjes en is vastgehecht aan een

Term zoals van toepassing in het rapport	Verklaring
	oppervlak zoals een waterleiding of watertank.
Controlemaatregelen	Maatregelen om te controleren of de beheersmaatregelen functioneren. De frequentie kan per methode en locatie verschillen, en hoeft ook niet altijd continu te zijn. Voorbeelden: periodiek nemen en analyseren van watermonsters, temperatuur controleren, biocide toevoer controleren, gebruiksfrequentie tappunten bijhouden.
Desinfectie	Maatregel om Legionella te verwijderen, i.e. onder de detectiegrens te brengen. Bijvoorbeeld door shotdosering chloorproduct (biocide).
Effluent	Het water dat een processtap heeft ondergaan of een RWZI of IWZI verlaat.
Genomic Units per Liter (GU/L)	Een maat voor de hoeveelheid Legionella-specifiek DNA per liter water van een watermonster.
Industrieel afvalwaterzuivering (IWZI)	Een installatie die enkel industrieel afvalwater zuivert door middel van mechanische, biologische en/of chemische processen.
Influent	Het te zuiveren afvalwater dat een processtap of een RWZI of IWZI binnenkomt.
Kolonievormende eenheden per liter (kve/L)	Een maat voor aantonen van de aanwezigheid van legionellabacteriën in een liter watermonster.
Kweekmethode	Werkwijze om mogelijk aanwezige bacteriën in een (water)monster onder gunstige en gecontroleerde omstandigheden te laten uitgroeien op een voedingsbodem. Eventueel aanwezige bacteriën groeien uit tot zichtbare koloniën en kunnen zo worden geteld.
Legionella	Gramnegatieve staafvormige bacterie van het geslacht Legionellaceae.
Legionellose	Infectie met de legionellabacterie. Ziektebeeld kan variëren van griepachtige klachten (Pontiac fever) tot zware longontsteking (legionellapneumonie/veteranenziekte).
Logboek	Formulieren waarop uitgevoerde beheersmaatregelen en controlemaatregelen worden genoteerd.
Log reductie (logaritmische vermindering)	Verminderen van het aantal legionellabacteriën (of andere micro-organismen) met een factor 10.
Membraanbioreactor (MBR)	Een waterzuiveringsinstallatie die bestaat uit een biologische waterzuiveringsinstallatie (aeroob of anaeroob) en membraanfilters. De membraanfilters scheiden onder druk (actief) slib en water. De membraaneenheden kunnen zowel in de biologische zuivering als daarbuiten opgesteld staan.
Monitoring	Het (continu) controleren van (beheers)maatregelen en van het behoud van gewenste waardes. Dit kan bijvoorbeeld door het controleren van: de temperatuur, de pH en de aanwezigheid van Legionella in water door het nemen van watermonsters.
Pathogenen	Verwekkers van ziekte. Voorbeelden zijn virussen, bacteriën en schimmels.
(q)PCR	(quantitative) Polymerase Chain Reaction. Laboratoriumtechniek om stukjes DNA te vermeerderen zodat het mogelijk is specifieke DNA-delen aan te tonen.

Term zoals van toepassing in het rapport	Verklaring
Persoonlijke beschermingsmiddelen	Middelen die door een persoon gedragen of gebruikt worden om zich te beschermen tegen gevaren die kunnen optreden tijdens het uitvoeren van werkzaamheden.
Rioolwaterzuivering (RWZI)	Een installatie die gemeentelijk (communaal) afvalwater zuivert van huishoudens en bedrijven door middel van mechanische, biologische en/of chemische processen.
Risicoanalyse	Beschrijving van de installatie en bepalen van de risicofactoren die kunnen leiden tot legionellagroei en -verspreiding. Aan de hand van de risicoanalyse wordt bepaald welke onderdelen van de installatie aangepast zouden moeten worden en welke beheerst. Meestal is de risicoanalyse onderdeel van het legionella-beheersplan.
Risicocriterium	Procesonderdeel of –situatie van een AWZI die leidt tot een hogere kans op legionellagroei en –verspreiding.
Risiko-inschatting	Bepalen welke risicocriteria aanwezig zijn en op basis van deze resultaten indelen bij een risicogradatie zodat een afweging gemaakt kan worden of een AWZI een verhoogd risico is.
Risicogradatie	Omschrijving van een bepaald risiconiveau om aangetroffen risicocriteria te kunnen indelen en een risico-inschatting te kunnen maken.
Sequence (based) type	Manier om op DNA-niveau een onderscheid te maken binnen één bacteriesoort naar genotypisch profiel (ST-type).
Uitbraak	Meer ziektegevallen in een specifiek geografisch gebied (of specifieke populatie) dan gebruikelijk in een bepaalde tijdsperiode, waarbij sprake is van een vermoedelijke of bewezen gemeenschappelijke bron van besmetting.
Verspreiden	Het verplaatsen van legionellabacteriën naar de (buiten)lucht via aerosolen of door het water met Legionella naar een andere (vernevelende) waterinstallatie te verplaatsen of te lozen op het oppervlaktewater.
Verwijderen	Maatregelen nemen om ervoor te zorgen dat Legionella niet detecteerbaar meer is.
Veteranenziekte	Longontsteking door legionellabacteriën. Vertaling van de Engelse term: Legionnaires' disease.

Inhoudsopgave

Samenvatting — 13

1 Introductie — 17

- 1.1 Leeswijzer — 17
- 1.2 Aanleiding kennisinventarisatie — 18
- 1.3 Doelstelling — 19

2 Achtergrondinformatie — 21

- 2.1 Legionella en veteranenziekte — 21
 - 2.1.1 Legionella — 21
 - 2.1.2 Legionellose en besmettingsroute — 22
 - 2.1.3 Brononderzoek en detectiemethoden — 24
- 2.2 Afvalwaterzuiveringsinstallaties — 26
 - 2.2.1 Rioolwaterzuiveringsinstallaties — 26
 - 2.2.2 Industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties — 27
 - 2.2.3 Biologische en fysisch/chemische zuivering — 27
- 2.3 Regelgeving legionellapreventie — 29

3 Risico-inschatting legionellaverspreiding door afvalwaterzuiveringsinstallaties — 31

- 3.1 AWZI's als directe of indirecte bron voor legionellose — 31
 - 3.1.1 Informatie over de AWZI's die als bron zijn vastgesteld — 32
 - 3.1.2 Nederlandse casuïstiek — 33
 - 3.1.3 Legionellagroei en -verspreiding AWZI's met casuïstiek — 36
- 3.2 Detectie van Legionella in afvalwater en lucht van afvalwaterzuiveringsinstallaties — 37
- 3.3 Risicocriteria — 39
 - 3.3.1 Uitgangspunten voor de risicocriteria — 39
 - 3.3.2 Biologische zuivering — 41
 - 3.3.3 Type afvalwater — 41
 - 3.3.4 Temperatuur van het proceswater — 42
 - 3.3.5 Beluchting – aerobe zuivering — 42
 - 3.3.6 Verspreiding lucht en effluent — 42

4 Inventarisatie van risicovolle AWZI's — 45

- 4.1 Inventarisatie AWZI's — 45
 - 4.1.1 Inventarisatie IWZI's door Omgevingsdiensten — 45
 - 4.1.2 Inventarisatie RWZI's door STOWA — 45
- 4.2 Risico-inschatting AWZI's — 46
 - 4.2.1 Biologische zuivering — 46
 - 4.2.2 Type industrie (influent) — 46
 - 4.2.3 Procestemperatuur — 47
 - 4.2.4 Beluchting — 47
 - 4.2.5 Risico-inschatting van de geïnventariseerde AWZI's — 48

5 Maatregelen en kennisvelden — 53

- 5.1 Aanpassingen procescondities in de waterzuivering om legionellagroei in de AWZI te voorkomen of te beperken — 53
 - 5.1.1 Aanpassing van de waterzuivering — 53
 - 5.1.2 Procestemperatuur verlagen of verhogen — 53

- 5.1.3 Desinfectie van actief slib door biocides — 54
- 5.1.4 Biologisch beheer — 54
- 5.2 Verspreiding legionellabacteriën uit AWZI via de lucht beperken of voorkomen — 54
 - 5.2.1 Afdekking — 54
 - 5.2.2 Desinfectie van de lucht — 56
 - 5.2.3 Beluchting en zuurstofbeluchting — 56
- 5.3 Verspreiding legionellabacteriën uit AWZI via effluent beperken of voorkomen — 56
 - 5.3.1 UV — 57
 - 5.3.2 Waterstofperoxide — 57
 - 5.3.3 Ozon — 58
 - 5.3.4 Chloor — 58
 - 5.3.5 Zandfiltratie — 58
 - 5.3.6 Membraanfiltratie — 59
- 5.4 Persoonlijke beschermingsmaatregelen werknemers — 59
- 5.5 Kennishiaten — 59

6 Discussie — 61

7 Conclusie en aanbevelingen — 67

- 7.1 Conclusie — 67
- 7.2 Aanbevelingen — 67

Dankwoord — 69

Literatuurlijst — 71

Bijlagen — 77

- Bijlage 1. Overzicht van publicaties waarin detectie van *L. pneumophila* en andere *Legionella spp.* in AWZI's wordt beschreven — 77
- Bijlage 2. Vragenlijst Omgevingsdiensten — 81

Samenvatting

Aanleiding

In 2016 en 2017 werden in de gemeente Boxtel een ongewoon hoog aantal patiënten gemeld met een longontsteking door legionellabacteriën. Bekende bronnen zoals natte koeltorens bleken niet de bron te zijn voor deze besmettingen. Eind 2017 werd vastgesteld dat een afvalwaterzuiveringsinstallatie (AWZI) bij een voedselverwerkend bedrijf de meest waarschijnlijke bron van besmetting was. Bij deze AWZI werden in het zuiveringsproces hoge concentraties Legionella aangetroffen met een identiek legionella-type als bij vijf van de patiënten uit Boxtel: *Legionella pneumophila* ST1646. Uit het brononderzoek bleek dat verspreiding waarschijnlijk over een afstand van meer dan 1.5 km was. Eerder was alleen een korte afstand tot 300 meter gepubliceerd. Begin 2018 werden patiënten in de omgeving Eindhoven met hetzelfde legionella-type gelinkt aan een AWZI in Son met een waarschijnlijke verspreiding tot 3 km.

Sinds 2012 stijgt het aantal in Nederland opgelopen legionella-infecties en voor de meeste patiënten kan de bron van besmetting niet worden aangetoond. Mogelijk spelen AWZI's een rol in deze stijging bij een deel van de patiënten. Op basis van een literatuurstudie wordt daarom beoogd een beeld te krijgen bij welke AWZI's in Nederland de kans op groei en verspreiding van legionellabacteriën vergroot is. Hiervoor zijn risicocriteria opgesteld voor legionellagroei en –verspreiding waarmee AWZI's in Nederland kunnen worden geclassificeerd. Ook worden maatregelen beschreven die zijn genomen om legionellagroei en -verspreiding te voorkomen. Tot slot wordt geïnventariseerd welke kennis nog ontbreekt om het legionellabeheer bij AWZI's te verbeteren.

Inventariseren risicocriteria

Uit literatuuronderzoek blijkt dat er acht wetenschappelijke publicaties zijn waar patiënten met een infectie door *L. pneumophila* gelinkt worden aan AWZI's. In deze gepubliceerde casuïstiek is een AZWI direct of indirect de bron van een legionella-infectie bij werknemers en omwonenden. Uit vijftien andere publicaties blijkt zowel in Nederland als in andere landen *L. pneumophila* en andere legionellasoorten te worden aangetoond in het proceswater van een AWZI, zonder link met patiënten. Bovendien zijn de legionellabacteriën niet alleen in het water, maar ook in de lucht nabij beluchtingsprocessen aangetoond. Uit de literatuurstudie blijkt dat AWZI's een bron kunnen vormen voor blootstelling aan legionellabacteriën gevolgd door ziekte. Op basis van de beschreven casussen en een literatuurstudie naar risicocriteria voor legionellagroei en –verspreiding zijn criteria vastgesteld. Hiermee kan worden bepaald of een AWZI een mogelijk risico geeft op verspreiding van Legionella (risico-inschatting).

De volgende risicocriteria zijn geformuleerd:

- Biologische zuivering: Legionella blijkt goed te kunnen groeien in biologische AWZI's;
- Type industrie: vooral in afvalwater van industrieën met een hoog eiwit- en aminozuurgehalte, ofwel nutriëntrijk (levensmiddelenindustrie, hout- en papierindustrie,

- destructiebedrijven; en petrochemische industrie) worden hoge concentratie ($\geq 10^6$) *L. pneumophila* in het water gedetecteerd
- Temperatuur van het proceswater: AWZI's die direct of indirect de bron waren voor legionella-infecties hadden een afvalwatertemperatuur tussen 30-38 °C;
 - Beluchting: door beluchting van het afvalwater is er voldoende zuurstof voor legionellagroei en er kunnen aerosolen worden gevormd waardoor Legionella via de lucht verspreid kan worden.

Inventarisatie en risico-inschatting van AWZI's

Om een beter beeld te krijgen van het aantal AWZI's in Nederland is door de omgevingsdiensten en STOWA een inventarisatie uitgevoerd. Hiermee zijn respectievelijk het aantal industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties (IWZI's) en rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's; zuivering huishoudelijk en industrieel water) in kaart te brengen. Gedurende deze inventarisatie waren in totaal 709 AWZI's geïdentificeerd, waarvan 382 IWZI's en 327 RWZI's. Tijdens deze inventarisatie werden specifieke kenmerken van de bekende AWZI's opgevraagd, en werd nagegaan hoeveel van deze AWZI's één of meerdere risicocriteria hadden.

Voor 567 van de 709 AWZI's (240 IWZI's en 327 RWZI's) kon een risico-inschatting worden uitgevoerd. Hieruit bleek dat legionellagroei en –verspreiding bij 69 IWZI's en 12 RWZI's aannemelijk tot zeer aannemelijk is. Bij 140 AWZI's is de kans op legionellagroei en -verspreiding niet aannemelijk en bij 346 van de geïdentificeerde AWZI's mogelijk. Voor de 315 RWZI's waarbij legionellagroei en –verspreiding mogelijk is, kan een hoger risico aanwezig zijn indien afvalwater afkomstig is van industrieën met nutriëntrijk afvalwater, bijvoorbeeld veel eiwitten.

Bij IWZI's waarbij het risico 'aannemelijk' tot 'zeer aannemelijk' is, kan dit verder gespecificeerd worden wanneer er gedetailleerdere informatie over de temperatuur van het proceswater bekend is. Bij een AWZI waarbij verspreiding van Legionella 'aannemelijk' of 'zeer aannemelijk' is, is het raadzaam om eerst te inventariseren of er al maatregelen worden genomen om verspreiding tegen te gaan. Zo blijkt uit de inventarisatie dat ruim de helft van de AWZI's waarvan verspreiding van Legionella aannemelijk tot zeer aannemelijk is, al geheel of gedeeltelijk zijn overdekt of er zijn voorbereidingen voor afdekking. Echter, over de effectiviteit van deze en andere genomen of mogelijk nog te nemen maatregelen is nog onvoldoende bekend.

Maatregelen en kennislücken

In dit rapport worden maatregelen beschreven die zijn genomen om vermeerdering en verspreiding van Legionella bij AWZI's te voorkomen of te beperken. Ook worden maatregelen besproken om blootstelling van werknemers te voorkomen. Hierbij betreft het maatregelen om:

- Legionellagroei in de zuivering van een AWZI te voorkomen of te minimaliseren;
- De hoeveelheid legionellabacteriën in het effluent te verminderen of te voorkomen;
- Verspreiding van legionellabacteriën uit beluchtingstank te beperken of te voorkomen;
- Medewerkers te beschermen tegen blootstelling met Legionella tijdens werkzaamheden.

Uit de literatuurstudie blijkt dat er nog weinig bekend is over de effectiviteit van de preventieve maatregelen tegen legionellagroei en –verspreiding. Ook kennis over aerosolvorming en –verspreiding ontbreekt.

Conclusie

Op basis van een literatuurstudie zijn er een viertal risicocriteria opgesteld waarmee het mogelijk is een risico-inschatting te maken of groei en verspreiding van legionellabacteriën door een AWZI aannemelijk is. Omgevingsdiensten en Waterschappen kunnen deze informatie gebruiken om te bepalen welke AWZI's een verhoogd risico hebben. Bij 567 van de 709 van de door OD'en en STOWA geïdentificeerde AWZI's waren eigenschappen bekend en kon een risico-inschatting worden gemaakt. Hieruit bleek dat voor:

- 81 AWZI's de kans op Legionellagroei en –verspreiding aannemelijk tot zeer aannemelijk was;
- 486 AWZI's de kans op legionellagroei en –verspreiding mogelijk of niet aannemelijk te zijn, indien in het afvalwater dat gezuiverd wordt (influent) geen hoge concentratie legionellabacteriën aanwezig zijn;

Bij de risico-inschatting is niet meegenomen of deze AWZI's al maatregelen hebben genomen om verspreiding van Legionella via de lucht of het effluent tegen te gaan omdat deze informatie ontbrak of omdat niet bepaald kan worden hoe effectief de maatregelen zijn. In het rapport worden enkele maatregelen besproken die zijn aangewend om legionellagroei en –verspreiding te voorkomen bij AWZI's die een waarschijnlijke bron waren van legionellose. Uit vervolgonderzoek moet blijken welke genomen maatregelen effectief zijn, of meer Nederlandse AWZI's gerelateerd kunnen worden aan legionellose-patiënten en of de opgestelde risicocriteria aangepast moeten worden. Een volledig overzicht van de AWZI's in Nederland is nodig en ontbrekende of onbekende informatie uit de inventarisatie dient te worden aangevuld. Het is aan te bevelen de gegevens beschikbaar te maken voor onder meer brononderzoek door GGD'en.

1 Introductie

In opdracht van het Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) is een kennisinventarisatie uitgevoerd naar legionellarisico's bij afvalwaterzuiveringsinstallaties (AWZI's). Via literatuurstudie en gesprekken met deskundigen is bepaald welke typen AWZI's een verhoogd risico vormen op verspreiding van Legionella naar de omgeving. Daarnaast wordt beschreven welke preventieve maatregelen zijn genomen bij AWZI's die de bewezen bron zijn van legionella-infecties en wat de kennishiaten zijn.

De conclusies en aanbevelingen kunnen door omgevingsdiensten (OD'en), GGD'en en beleidsmakers gebruikt worden voor het maken van beleidskeuzes en voor het adviseren of opleggen van tijdelijke maatregelen.

Deze kennisinventarisatie is het eerste deel van de opdracht van IenW om de legionellarisico's bij AWZI's in kaart te brengen en wordt in dit rapport beschreven. In het tweede deel van de opdracht wordt via modellering en epidemiologische analyses van Legionella-incidentie onder de bevolking bepaald of meer meldingen van legionellose mogelijk veroorzaakt kunnen zijn door AWZI's. Tevens wordt in het tweede deel van het onderzoek bij enkele AWZI's door luchtmetingen de effectiviteit van genomen preventieve maatregelen bepaald. Dit ter ondersteuning van het opstellen van voorschriften voor AWZI's. Deze twee onderwerpen worden in een vervolgrapportage door het RIVM in het najaar van 2019 gepubliceerd.

1.1 Leeswijzer

In het eerste hoofdstuk wordt de aanleiding voor het onderzoek beschreven en de doelstelling geformuleerd. Het tweede hoofdstuk geeft achtergrondinformatie die relevant is voor het verdere rapport zoals informatie over factoren die zorgen voor legionellavermeerdering en over AWZI's. In het derde hoofdstuk worden de risicocriteria vastgesteld en onderbouwd. Met behulp van de risicocriteria wordt in hoofdstuk 4 een inschatting gemaakt bij hoeveel AWZI's in Nederland er een verhoogde kans is op van legionellagroei en –verspreiding naar de omgeving. Hoofdstuk 5 bespreekt welke maatregelen in de literatuur zijn beschreven om legionellagroei of –verspreiding van AWZI's naar de omgeving zo veel mogelijk te voorkomen. De beperkingen van het onderzoek en kennishiaten komen aanbod in de discussie (hoofdstuk 6) en tot slot staan in hoofdstuk 7 de conclusie en aanbevelingen.

In het rapport wordt met de term AWZI twee type zuiveringen bedoeld:

- rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI); installaties die huishoudelijk en industrieel afvalwater zuiveren.
- industriële afvalwaterzuiveringsinstallatie (IWZI); installaties die afvalwater van één of meerdere industrieën zuiveren.

Meer informatie over deze zuiveringen is opgenomen in paragraaf 2.2. In principe wordt in het rapport AWZI gebruikt maar waar specifiek één van de twee type zuiveringsinstallaties wordt besproken wordt

gebruikgemaakt van de afkortingen RWZI of IWZI. In de lijst met 'Verklarende termen' (pagina 6) worden andere afkortingen en vaktermen toegelicht.

1.2 Aanleiding kennisinventarisatie

In de plaats Boxtel werd in 2016 en 2017 een verhoogd aantal patiënten met een longontsteking door legionellabacteriën (veteranenziekte) gemeld. Het ging om in totaal 14 patiënten. Uit het onderzoek bleek dat het niet waarschijnlijk was dat bekende bronnen zoals natte koeltorens en bubbelbaden de besmetting hadden veroorzaakt. Eind 2017 werd vastgesteld dat een IWZI bij een voedselverwerkend bedrijf op een industrieterrein in Boxtel de waarschijnlijke bron van besmetting was. Bij deze installatie werden in het afvalwater in het zuiveringsproces hoge concentraties Legionella gevonden van een identiek legionella-type als bij vijf van de patiënten uit Boxtel: *Legionella pneumophila* serogroep 1 ST1646 (zie paragraaf 2.1 voor toelichting over ST-type legionella). Bij de overige patiënten was het ST niet bekend en soms afwijkend.

In de plaatsen Son, Best en Eindhoven werden in de periode 2013 tot het tweede kwartaal van 2018 een verhoogd aantal patiënten gemeld. In totaal werden in dit gebied 54 patiënten gemeld die veteranenziekte in Nederland hebben opgelopen, waarvan drie patiënten zijn overleden. Bij vijftien van de 54 patiënten was de legionellabacterie die de infectie veroorzaakte beschikbaar voor vergelijking met omgevingsbronnen. Hiervan hadden zeven patiënten dezelfde bacteriestam (ST1646) als in Boxtel. Eerder brononderzoek leverde geen gemeenschappelijk bron op. Na de vondst van een AWZI als bron van besmetting in Boxtel werd ook in de omgeving van Eindhoven naar een AWZI gezocht. Uiteindelijk bleek een IWZI bij een bedrijf in Son de waarschijnlijke bron van besmetting voor deze regio.

De meeste patiënten met een *L. pneumophila* ST1646-infectie in Boxtel, Son, Best en Eindhoven waren niet in de omgeving van de AWZI's geweest. Luchtmetingen toonden aan dat aerosolen besmet met Legionella vanaf de beluchtingstanks naar de omgeving kunnen verspreiden. Directe verspreiding van Legionella over een afstand van meer dan 1,5 kilometer vanuit een AWZI was nog niet eerder aangetoond (Loenenbach et al., 2018). Voor beide locaties betrof het een biologische IWZI waarbij bacteriën ammonium en nitriet omzetten in stikstofgas. Dit is een relatief nieuwe techniek om stikstof uit afvalwater te verwijderen.

Sinds 2012 stijgt het aantal in Nederland opgelopen Legionella-infecties. De oorzaak van deze stijging is nog niet goed bekend. Voor de meeste patiënten wordt de bron van besmetting niet gevonden. Vanwege de verspreiding van Legionella over een afstand van meerdere kilometers kunnen AWZI's mogelijk een aandeel hebben in de stijging. Via deze kennisinventarisatie zijn risicocriteria opgesteld en is bekeken of er effectieve beheersmaatregelen beschreven zijn om verspreiding van legionellabacteriën te voorkomen. Daarnaast is aan de hand van inventarisatiegegevens die zijn ontvangen van Omgevingsdienst NL (ODNL) en Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer (STOWA) bepaald hoeveel AWZI's een verhoogd risico vormen.

1.3 Doelstelling

Het doel van deze kennisinventarisatie is:

- Inventariseren van risicofactoren bij AWZI's die een rol kunnen spelen bij de vermeerdering van Legionella in het zuiveringsproces en de verspreiding naar medewerkers en omwonenden;
- Opstellen van risicocriteria om te kunnen voorspellen of er risico is op verspreiding van Legionella via lucht of via effluent bij verschillende typen AWZI's;
- De risicocriteria toepassen op de ontvangen gegevens van AWZI's uit de inventarisatie van ODNL en STOWA om een beeld te krijgen hoeveel AWZI's in Nederland een verhoogd risico geven;
- Beschrijving van potentiële maatregelen om legionellagroei in afvalwater te beperken, verspreiding via lucht te voorkomen en legionellaconcentratie in effluent zo veel mogelijk te beheersen;
- Beschrijving van kennislücken op het gebied van legionellabeheersing bij AWZI's.

2 Achtergrondinformatie

In dit hoofdstuk wordt achtergrondinformatie gegeven die relevant is voor het verdere rapport. Eerst wordt ingegaan op Legionella en legionellose, vervolgens worden AWZI's verder uitgelegd.

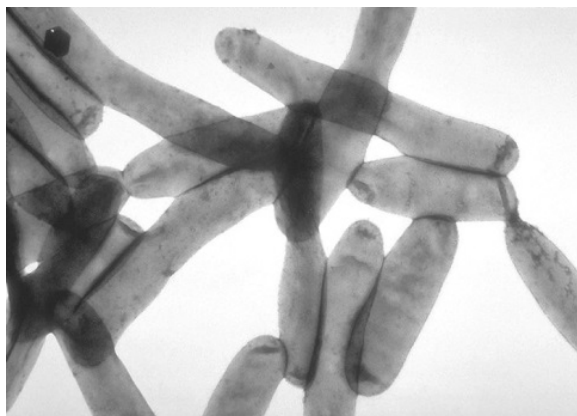
2.1 Legionella en veteranenziekte

Na een congres van oorlogsveteranen in Philadelphia (VS) in 1976 kregen zeker 182 deelnemers een longontsteking (Fraser et al., 1977). De veroorzaker van de longontsteking bleek een niet eerder ontdekte bacterie te zijn: de legionellabacterie. De bacterie is vernoemd naar de veteranen ('Legionnaires'). In Nederland wordt de longontsteking door legionellabacteriën daarom 'veteranenziekte' genoemd.

In deze paragraaf volgt een uitleg over legionellabacteriën en de ziekten die deze bacteriën kunnen veroorzaken.

2.1.1 Legionella

Legionellabacteriën komen van nature voor in de bodem en in water, veelal in lage concentraties (Steinert et al., 2002). In waterinstallaties komen soms hogere concentraties voor doordat de temperatuur voor vermeerdering gunstiger is en mogelijk doordat de concurrentie van andere bacteriën lager is (Steinert et al., 2002). Voorbeelden van deze waterinstallaties zijn: leidingwaterinstallaties, natte koeltorens en bubbelbaden. Legionella is een gramnegatieve, beweeglijke, staafvormige bacterie, die goed groeit onder aerobe omstandigheden, bij een pH 5,5-9,2 (Wadowsky et al., 1985).



Afbeelding 1.1. Legionellabacteriën (Beeldbank RIVM)

Legionellabacteriën bevinden zich vooral in biofilm; een slijmachtig laagje dat wordt gevormd op oppervlakken door bacteriën en ook bestaat uit anorganische deeltjes zoals kalk (Abu Khweek and Amer, 2018). Voor vermeerdering gebruiken legionellabacteriën protozoa, zoals amoeben, die ook leven in of op de biofilm (Fields et al., 2002). De legionellabacteriën laten zich opnemen door de amoeben en gebruiken de amoebe om zich te vermeerderen. De amoebe en biofilm leveren ook

bescherming voor Legionella bij stresssituaties, bijvoorbeeld hoge temperaturen.

De legionella-soort die verantwoordelijk was voor de uitbraak in Philadelphia in 1976 was *Legionella pneumophila*. Naast deze soort zijn er inmiddels meer dan 60 andere legionellasoorten ontdekt, waarvan een deel ook infecties kan veroorzaken zoals: *L. bozemanii*, *L. micdadei*, *L. dumoffii*, *L. feeleii*, *L. wadsworthii* en *L. anisa* (Versteegh et al., 2009). *L. pneumophila* veroorzaakt in Nederland ongeveer 90% van de gediagnosticeerde legionella-infecties (Reukers et al., 2018). Ook wereldwijd is het aandeel van deze legionella-soort bij infecties vergelijkbaar (Fields et al., 2002). Uitzondering is Australië waar ongeveer evenveel infecties veroorzaakt worden door *L. longbeachae* (Whiley and Bentham, 2011). Vanwege de kleine kans op ziekte worden de overige soorten vaak collectief '*Legionella non-pneumophila*' genoemd.

De soort *L. pneumophila* kan verder worden onderverdeeld in 16 serogroepen (sg). Verreweg de meeste meldingen van mensen waar veteranenziekte is bevestigd betreft *L. pneumophila* sg1. Een nog nauwkeurigere typering kan worden verkregen door *sequence based typing* (SBT). Hiermee kan het legionella-DNA worden geanalyseerd en kan worden bepaald of de patiënt ziek is geworden van het legionellatype die bij een mogelijke bron is gevonden. Via deze methode zijn al meer dan 2500 verschillende 'sequence types' (ST) bekend. Bij de uitbraken in Boxtel en regio Eindhoven bleek het te gaan om *L. pneumophila* sg1 met 'sequence type' (ST)1646.

Invloed temperatuur op *L. pneumophila*:

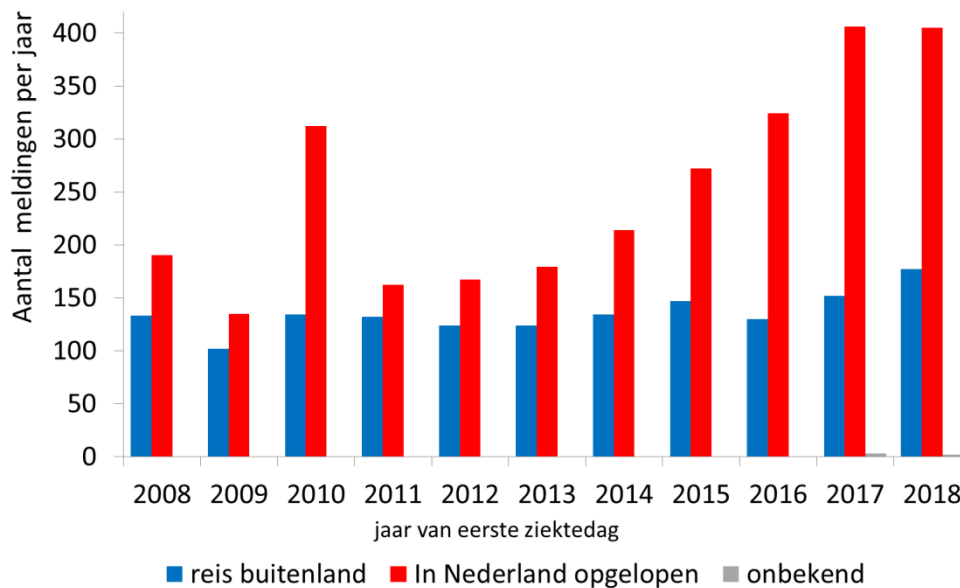
- **Groei** vanaf ongeveer 25 °C tot ongeveer 45 °C. Optimale vermeerdering is bij ongeveer 35-37 °C (Falkinham et al., 2015; Wadowsky et al., 1985).
- **Lichte groei** mogelijk tussen 20-25 °C en 46-51 °C.
- **Overleving** onder 20 °C. Ook onder het vriespunt kan *L. pneumophila* overleven (Bartram et al., 2007).
- **Afsterving**: boven 45 °C stagneert de groei en onder laboratoriumomstandigheden sterft de bacterie bij 50 °C (Bartram et al., 2007; Falkinham et al., 2015). Recente studies zien echter in leidingwaterinstallaties vermeerdering van *L. pneumophila* bij 51 °C (Ji et al., 2017) en *L. pneumophila* lijkt beter bestand tegen hitte bij het kortstondig spoelen met hoge temperaturen (Ji et al., 2018). In het milieu wordt *L. pneumophila* ook aangetoond bij een temperatuur boven 60 °C vanwege de beschermende werking van biofilm en protozoa (Dobrowsky et al., 2017; Fliermans, 1996).

Andere legionellasoorten zoals *L. anisa* lijken nog wel te kunnen groeien onder 20 °C (Nogueira et al., 2016).

2.1.2 Legionellose en besmettingsroute

Een infectie met legionellabacteriën wordt 'legionellose' genoemd. Een infectie met Legionella leidt niet altijd tot longontsteking. De meeste mensen worden niet ziek. Sommige mensen krijgen alleen griepverschijnselen die binnen enkele dagen vanzelf overgaan. Dit wordt Pontiac fever genoemd. Longontsteking veroorzaakt door Legionella

(Veteranenziekte) is een meldingsplichtige ziekte en moet door de arts en het laboratorium gemeld worden aan de GGD. De GGD doet bronopsporing en meldt aan het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM). Elk jaar worden in Nederland ongeveer 400 patiënten gemeld waarvan bekend is dat ze een longontsteking door *Legionella* hebben opgelopen (zie figuur 2.1). Ongeveer 5-10% van de gemelde patiënten overlijdt. De laatste jaren neemt het aantal gemelde patiënten toe. In 2018 waren er ruim 550 patiënten gemeld, waarvan 97% in het ziekenhuis was opgenomen. Het werkelijke aantal patiënten ligt hoger dan het aantal gemelde patiënten, aangezien bij veel patiënten in het ziekenhuis het micro-organisme dat de longontsteking veroorzaakt onbekend blijft. Daarnaast zijn er patiënten met een longontsteking die door de huisarts behandeld worden met antibiotica. Het is onbekend hoeveel van deze patiënten een longontsteking heeft door *Legionella* omdat aanvullend onderzoek naar de ziekteverwekker niet wordt uitgevoerd. In de zomer zijn er over het algemeen meer patiënten dan in de winter en vochtige weersomstandigheden lijken ook invloed te hebben (Reukers et al., 2018).



Figuur 2.1 Aantal meldingen ontvangen door RIVM van een longontsteking veroorzaakt door *Legionella* 2008-2018.

De legionellabacterie kan ziekte veroorzaken wanneer zeer kleine waterdruppeltjes (aerosolen) met legionellabacteriën worden ingeademd. Hoewel *Legionella* overal in water en bodem voorkomt, schuilt het risico op blootstelling vooral in inademing van deze bacteriën als die zijn vermeerderd in watersystemen (Steinert et al., 2002). Hoe lang legionellabacteriën in de lucht kunnen overleven is afhankelijk van de heersende omgevingstemperatuur, de relatieve luchtvochtigheid en de grootte van de aerosolen. *Legionella* kan een longontsteking veroorzaken als de bacteriën worden ingeademd en in de longblaasjes terecht komen. Aerosolen met een afmeting van 1-10 µm kunnen in de longblaasjes terecht komen. In de longblaasjes zijn macrofagen (een type witte bloedcel) aanwezig die de bacteriën proberen te verwijderen door ze op te nemen. Echter, net als in amoeben kunnen de

legionellabacteriën zich vermeerderen in macrofagen en verder verspreiden in de longen (Escoll et al., 2013).

Vooraf waterinstallaties, zoals natte koeltorens, douches van leidingwaterinstallaties en bubbelbaden, kunnen de aerosolen produceren die leiden tot veteranenziekte. In Nederland zijn twee uitbraken geweest door waterinstallaties. De grootste uitbraak van veteranenziekte was tijdens de Flora in Bovenkarspel in 1999. Een bubbelende whirlpool verspreidde *L. pneumophila* in de ruimte waardoor zeker 188 mensen ziek zijn geworden en 21 zijn overleden (Den Boer et al., 2002). De tweede uitbraak in Nederland werd in 2006 veroorzaakt door een natte koeltoren vlakbij Amsterdam CS met 31 bevestigde legionellose-patiënten waarvan drie mensen overleden (Sonder et al., 2008). Andere bronnen zijn onder meer fonteinen, douches, ijsmachines, tandartsunits, luchtbevochtigers, tuinslangen en potgrond/compost (van Heijnsbergen et al., 2015). In hoofdstuk 3 worden AWZI's als bron van legionellose besproken.

Als legionellabacteriën in waterinstallaties worden aangetoond tijdens een periodieke controle, zijn er meestal geen ziektegevallen bekend. Ook niet als er hoge concentraties werden aangetoond. Een duidelijke relatie tussen de concentratie Legionella die gevonden wordt in een waterinstallatie en de kans op veteranenziekte (dosisresponsrelatie) is tot op heden niet gevonden (Prussin et al., 2017). Dit komt door meerdere factoren zoals:

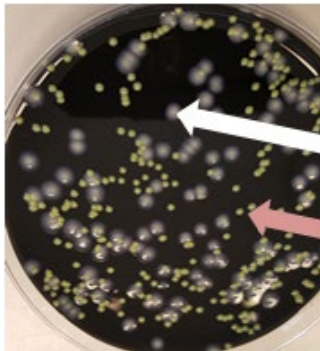
- De legionellabacteriën zorgen niet voor ziekte. Als *L. pneumophila* bij een routinecontrole wordt aangetoond in een waterinstallatie komt het niet vaak voor dat bij mensen die aan verneveling van deze waterinstallatie zijn blootgesteld veteranenziekte wordt vastgesteld;
- De legionellabacteriën bevinden zich in een stadium dat niet voor een besmetting zorgt ('niet infectieuze staat');
- Legionellabacteriën zijn soms in een niet kweekbare staat waardoor geen of een lage concentratie wordt gedetecteerd in kweek;
- Bij inademing kunnen meer of minder legionellabacteriën in de longblaasjes komen;
- De vatbaarheid voor een legionella-infectie verschilt per persoon. Sommige mensen hebben een grotere kans op legionellose zoals ouderen, mensen met verzwakte afweer en mensen met chronische longklachten (COPD).

2.1.3 *Brononderzoek en detectiemethoden*

Na een legionellose-melding probeert de GGD te achterhalen waar de patiënt is blootgesteld. Doel van deze bronopsporing is het voorkomen van meer legionella-infecties door dezelfde bron. Bij de bronopsporing worden mogelijke bronnen van besmetting geïnventariseerd. Voorbeelden zijn bezochte accommodaties tijdens reizen naar het buitenland en blootstelling aan risicovolle waterinstallaties in gebouwen en/of bronnen, zoals sauna's, ziekenhuizen en koeltorens. Bij slechts één of de vijf patiënten lukt het om met behulp van kweek de legionellabacterie uit het patiëntmateriaal te isoleren en daarna te typeren. Het ontbreken van een typeerbare Legionella bij het merendeel van patiënten bemoeilijkt de bronopsporing. Wanneer er van de

patiënten wel een typeerbare legionellabacterie beschikbaar is en men omgevingsbronnen heeft bemonsterd wordt desondanks maar zelden de besmettingsbron gevonden. In de periode 2002 -2012 konden 41 van de 1.991 gemelde patiënten (2%) gelinkt worden aan een bron (Den Boer et al., 2015).

Voor het aantonen van legionellabacteriën wordt meestal de kweekmethode NEN-EN-ISO 11731 gebruikt (Anoniem, 2017). Het monster wordt op een voedingsbodem uitgeplaat en voor ongeveer 7 dagen bij 37 °C geïncubeerd. Als levende legionellabacteriën aanwezig zijn dan groeit de bacterie uit tot een kolonie; een melkwitachtig stipje (zie afbeelding 2.2). De aanwezige kolonies worden geteld en via een terugrekenfactor kan bepaald worden hoeveel 'kolonievormende eenheden' er zijn per liter (kve/L) of kve per kubieke meter (kve/m³) bij luchtmonsters. Milieumonsters moeten worden voorbehandeld om overgroei van andere micro-organismen (stooflora) te voorkomen. Water van AWZI's is zeer vervuild en hiervoor is een hitte- en zuurvoorbehandeling noodzakelijk om de stooflora kwijt te raken uit het monster.



Afbeelding 2.2: Voedingsbodem met legionellabacteriën (witte pijl) en stooflora (rode pijl) (Bron: RIVM)

Nadeel is dat met dergelijke voorbehandelingen minder volume kan worden getest waardoor de kweekmethode van afvalwater ten opzichte van drinkwater een hoge detectiegrens heeft, afhankelijk van de uitvoering is deze minimaal 10⁴ kve/L of 10⁶ kve/L. Ook kunnen de voorbehandelingen leiden tot meer legionellabacteriën die in 'niet-kweekbare staat' verkeren (Caicedo et al., 2019).

Een andere veelgebruikte analysemethode is de qPCR-methode (*quantitative polymerase chain reaction*). Met deze methode kan legionella-specifiek DNA gedetecteerd worden. De gevonden concentratie wordt uitgedrukt in 'Genomic Units' per liter (GU/L) en als het luchtmonsters betreft in GU/m³. De voordelen van qPCR zijn dat het resultaat snel beschikbaar is, binnen een dag of soms binnen een paar uur, en dat ook legionellabacteriën in niet kweekbare staat worden aangetoond. Een nadeel van de qPCR-methode is dat er geen onderscheid wordt gemaakt in dode of levende legionellabacteriën. Hierdoor is niet duidelijk hoeveel levende legionellabacteriën aanwezig zijn (Caicedo et al., 2019).

2.2 Afvalwaterzuiveringsinstallaties

AWZI's kunnen worden onderverdeeld in rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's) en industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties (IWZI's). Beide typen AWZI's worden in deze paragraaf verder toegelicht.

2.2.1 *Rioolwaterzuiveringsinstallaties*

Een RWZI zuivert communaal afvalwater, dat is het afvalwater afkomstig van huishoudens, bedrijven en industrieën en vaak ook het hemelwater dat via wegverhardingen via het riool wordt afgevoerd. Het inkomende vuile water (influent) uit de riolen wordt in een aantal stappen gezuiverd en het gezuiverde water (effluent) wordt geloosd op het oppervlaktewater. De waterschappen zijn verantwoordelijk voor deze rioolwaterzuivering.

Traditionele RWZI's omvatten meestal de volgende zuiveringsprocessen (Metcalf & Eddy, 2003; Spaan et al., 2004):

- Primaire zuivering, gericht op verwijdering van deeltjes op basis van grootte
 - Voorzuivering (vuilrooster en zandverwijdering)
 - Mechanische zuivering ((voor)bezinking)
- Secundaire zuivering, gericht op verwijdering van organische stoffen
 - Biologische zuivering, vaak op basis van actief slibprocessen en (na)bezinking (zie afbeelding 2.3)

De afgelopen decennia zijn er additionele zuiveringsstappen aan de rioolwaterzuivering toegevoegd, gericht op het verwijderen van nutriënten en specifieke stoffen.

- Tertiaire zuivering, gericht op verdere verwijdering van nutriënten, onder andere:
 - Extra stikstofverwijdering (denitrificatie) door het aanbrengen van zuurstofloze zones, bijvoorbeeld in systemen met Anammox-bacteriën
 - Biologische en eventueel aanvullende chemische fosfaatverwijdering
- Quaternaire zuivering (nazuivering), gericht op verwijdering van specifieke stoffen. Voorbeelden zijn ultrafiltratie om zeer laag zwevend stofgehalte te bereiken en om de hoeveelheid pathogenen te verlagen. Om organische microverontreinigingen te verwijderen kan ook gebruikgemaakt worden van ozon en actief koolfiltratie. Een UV-behandeling kan worden ingezet om het effluent te desinfecteren.



Afbeelding 2.3. Nabezinktanks van een RWZI (Bron: RIVM)

2.2.2 Industriële afvalwaterzuiveringsinstallaties

Grote industrieën of industrieterreinen kunnen hun afvalwater in een afvalwaterzuiveringsinstallatie op eigen terrein behandelen. Daarna wordt het effluent geloosd op het rioolstelsel voor verdere behandeling op de RWZI of direct op het oppervlaktewater. Een IWZI kan biologische of fysisch-chemische zuiveringsstappen hebben of een combinatie. Biologische zuiveringsprocessen op een IWZI zijn vaak vergelijkbaar met de biologische zuiveringsprocessen op een RWZI.

2.2.3 Biologische en fysisch/chemische zuivering

In een biologische zuivering wordt zuiverings-slib geïntroduceerd dat micro-organismen (aeroob of anaeroob) bevat die de aanwezige verontreinigingen biologisch kunnen afbreken (van Nieuwenhuijzen et al., 2007). De procestemperatuur bij een biologische zuivering is veelal afhankelijk van de omgevingstemperatuur en varieert meestal van ongeveer 8–20 °C. Er vindt groei plaats van deze micro-organismen tijdens het zuiveringsproces.



Afbeelding 2.4. Overeenkomstige beluchting van een biologische zuivering bij een RWZI (links) en IWZI (rechts) (Bron: RIVM)

Voor de biologische zuivering wordt (lucht-)zuurstof toegevoegd, dat nodig is voor de aerobe processen. Dit vindt plaats door beluchting (zie afbeelding 2.4). Tijdens dit proces breken micro-organismen organisch materiaal af in het water-slibmengsel door:

- Oxidatie van organisch materiaal. Dit resulteert in de vorming van voornamelijk minerale bestanddelen

- Biosynthese. Hierbij wordt het organisch materiaal omgezet in nieuw celmateriaal.

Daarnaast zorgt het beluchten voor voldoende beweging om te voorkomen dat het actief slib uit het water-slibmengsel bezinkt. De verschillende typen en uitvoeringen van beluchtingen kunnen op verschillende manieren worden vormgegeven, deze worden in tekstkader 2.1 genoemd. Er kan ook nog een apart mechanisch systeem gebruikt worden om het actief slib in suspensie te houden.

Typen beluchting

- Puntbeluchting, door een mixer (half onder water) met hoog toerental te roteren wordt lucht en daarmee zuurstof in het water gebracht. Dit is een vorm van oppervlaktebeluchting.
- Rotoren of beluchtingsborstels, door borstels, hoekplaten of kammen bevestigd op een horizontaal geplaatste roterende as wordt lucht in het water gebracht. Dit is een vorm van oppervlaktebeluchting.
- Bellenbeluchting, vanaf de bodem worden luchtbelletjes gecreëerd door lucht onder druk door een membraan te persen en deze luchtbelletjes stijgen op naar het wateroppervlak.

Uitvoeringen van beluchting

- Volledig gemengde tank: nastreven van een gelijkmatige verdeling van afvalwater en slib in de beluchtingstank.
- Propstroming: aan het begin van de beluchtingstank worden het afvalwater en het slib gemengd, waarbij de grootste verwijdering van verontreinigingen aan het begin plaatsvindt en in mindere mate naar het einde.
- Omloopsystemen, zoals carrousel en oxidatiesloot: het afvalwater/slibmengsel gaat vele malen door het beluchtingssysteem.

Tekstkader 2.1. Voorbeelden van typen en uitvoeringen van beluchting gebruikt bij een biologische zuivering (Kruit et al., 1999; Metcalf & Eddy, 2003)

Warme deelstroombehandeling

Vanuit de wens om zoveel mogelijk energie op te wekken uit rioolslib, is het aantal slibvergistingsinstallaties de afgelopen jaren gegroeid. In het proces van slibverwerking ontstaat een stroom water dat bij de slibontwatering vrijkomt, die zeer stikstofrijk is en welke niet in alle gevallen op de bestaande zuivering kan worden verwerkt (De Vogel, 2018). Dit maakte de ontwikkeling van deelstroombehandelingen van dit water nodig. Een type deelstroomtechnologie is waarin de Anammox-bacterie wordt toegepast voor de omzetting van ammonium en nitriet naar stikstofgas. Deze technologie behandelt de stikstofrijke stroom efficiënter dan andere deelstroomtechnieken doordat er minder zuurstof wordt verbruikt (een reductie in beluchtingsenergie tot wel 60%) en minder toevoeging van hulpstoffen nodig is (De Vogel, 2018). Bij de Nederlandse waterbeheerders zijn verschillende technologieën geïmplementeerd. De optimale temperatuur voor de Anammox-bacteriën ligt in de range tussen de 30 en 40°C (De Vogel, 2018).

Naast biologische AWZI's zijn er ook fysisch-chemische AWZI's. In een fysisch-chemische zuivering wordt geen zuiverings-slib geïntroduceerd. Soms is voor deze processen lucht nodig (bijvoorbeeld in een flotatiecel om de verontreinigingen te laten opdrijven) maar meestal is er geen actieve beluchting, zoals bij aerobe biologische zuiveringsprocessen. Verschillende methodes om een stof te verwijderen uit het water zijn door middel van:

- Hechting (bijvoorbeeld aan actief kool);
- Chemische reactie (bijvoorbeeld een oxidatie- of neerslagreactie);
- Bezinking of juist opdrijving (o.b.v. dichtheidsverschillen);
- Filtratie (o.b.v. de grootte van de verontreinigende stof);
- Elektrodialyse (o.b.v. ladingsverschillen);
- Ionenwisseling (hiermee kunnen bijvoorbeeld zware metalen worden verwijderd).

2.3 Regelgeving legionellapreventie

Voor verschillende waterinstallaties zijn regels voor legionellapreventie opgesteld om blootstelling aan Legionella bij mensen zo veel mogelijk te voorkomen. Eigenaren van onder meer natte koeltorens en zwembaden zijn verplicht om een legionella-beheersplan te maken en uit te voeren. Effectieve beheersmaatregelen moeten worden uitgevoerd om legionellagroei te voorkomen. De effectiviteit moet worden gecontroleerd door onder meer het nemen van watermonsters. Voor zwembaden en sommige leidingwaterinstallaties geldt de norm dat minder dan 100 kve/L legionellabacteriën in het water aanwezig zijn. Voor natte koeltorens is deze norm niet opgenomen.

Vergelijkbare regelgeving voor het uitvoeren van legionellapreventie bij AWZI's ontbreekt. Wel is in het Arbeidsomstandighedenbesluit (Anoniem, 1997), het zogenoemde Arbobesluit, opgenomen dat een werknemer aan minder dan 100 kve/L mag worden blootgesteld als gewerkt wordt met een waterinstallatie die water in aerosolvorm in de lucht kan brengen ([Arbobesluit artikel 4.87b](#)). Indien blootstelling mogelijk is dan moeten adequate preventieve maatregelen opgenomen worden in de Arbocatalogus van de branche of het bedrijf. Gestreefd dient te worden naar het voorkómen van blootstelling bij de bron (collectieve bescherming; i.e. bescherming van de hele groep in plaats van een individu). Als dat niet mogelijk is dan zijn persoonlijke beschermingsmiddelen noodzakelijk ([Arbobesluit artikel 4.87a](#)). Hiermee zijn er voldoende mogelijkheden om preventieve maatregelen op te leggen die bescherming voor werknemers opleveren. Echter, na de uitbraak van veteranenziekte door een natte koeltoren in Amsterdam (Sonder et al., 2008) is gebleken dat de regels in het Arbobesluit niet toereikend zijn, omdat niet de werknemers maar de mensen in de omgeving ziek werden. Daarom zijn er aanvullende regels voor het uitvoeren van legionellapreventie bij natte koeltorens opgenomen in het Activiteitenbesluit, vallend onder de Wet milieubeheer (Anoniem, 1979).

3 Risico-inschatting legionellaverspreiding door afvalwaterzuiveringsinstallaties

Om te bepalen welke typen AWZI's potentieel legionellabacteriën kunnen verspreiden worden in dit hoofdstuk risicocriteria opgesteld. Deze criteria worden afgeleid en onderbouwd met behulp van:

1. Casuïstiek; peer-reviewed Engelstalige publicaties waarin AWZI's werden beschreven die direct of indirect de bron waren voor legionellose
2. Peer-reviewed Engelstalige artikelen over factoren die kunnen leiden tot legionellagroei en – verspreiding

3.1 AWZI's als directe of indirect bron voor legionellose

Er zijn 8 publicaties in peer-reviewed tijdschriften waarin AWZI's direct of indirect de bron waren van legionellose bij werknemers en mensen in de omgeving (zie tabel 3.1). In de verdere tekst wordt dit 'casuïstiek' genoemd.

Casuïstiek werknemers: Bij 4 van de 8 casussen werden werknemers die in of nabij een AWZI werkten besmet:

- Gregersen et al. (1999) beschrijven 5 werknemers die Pontiac fever hebben gekregen na onderhoud aan een onderdeel van een AWZI (Denemarken).
- Isozumi et al. (2005) stellen dat bij onderhoud aan de koeltoren 2 werknemers ziek zijn geworden. De koeltoren gebruikte als koelwater het effluent van de AWZI. Dit effluent had een hoge concentratie legionella. Een match van serotype was niet mogelijk omdat de monsters niet beschikbaar waren (Japan).
- Allestam et al. (2006) vermelden geen details alleen dat het om een werknemer ging die besmet was door de AWZI van een papierfabriek (Zweden).
- Kusnetsov et al. (2010) beschrijft dat 1 werknemer ziek is geworden na reparatie aan een pomp van een beluchtingstank en daar is blootgesteld aan aerosolen. In hetzelfde artikel wordt ook een mogelijke besmetting genoemd van een persoon die 200 meter van de AWZI aan het werk was en ziek is geworden. Het serotype is echter niet gevonden in de AWZI maar wel in de koeltoren. De koeltoren kreeg effluent van de AWZI waardoor het waarschijnlijk is dat het serotype aanwezig is in de zuivering (Finland).

Casuïstiek omgeving: De overige 4 casussen beschrijven uitbraken waarbij mensen in de omgeving van de AWZI of RWZI ziek zijn geworden:

- Nguyen et al. (2006) beschrijven de eerste uitbraak waarbij in Pas de Calais (Frankrijk) 86 patiënten legionellose hebben gekregen en 18 mensen zijn overleden.
- Blatny et al. (2008); Olsen et al. (2010) concludeerden dat één AWZI in Sarpsborg (Noorwegen) in een paar jaar tijd 3 uitbraken heeft veroorzaakt met zeker 64 patiënten met veteranenziekte, maar mogelijk hadden meer dan 100 mensen legionellose.

- Maisa et al. (2015) en Nogueira et al. (2016) toonden aan dat in 2013 afvalwater van een brouwerij in Warstein (Duitsland) via de RWZI, de rivier en een natte koeltoren zeker 78 mensen maar mogelijk 159 mensen heeft besmet met *L. pneumophila*. Dit is de grootste uitbraak waar een AWZI bij is betrokken.
- Loenenbach et al., (2018) beschreven dat in Boxtel (Nederland) er geen sprake was van een snel verlopende uitbraak. Hier werden in 2 jaar tijd 14 mensen ziek door blootstelling aan *L. pneumophila* uit een AWZI van een vleesverwerkingsbedrijf.

Niet meegenomen casuïstiek

Castor et al. (2005) beschreven 14 werknemers die mogelijk Pontiac fever hadden door blootstelling aan aerosolen afkomstig van effluent van een suikerverwerkingsbedrijf in de Verenigde Staten. Het effluent werd gebruikt voor schoonmaken met hogedrukreiniging. In het effluent is *L. pneumophila* aangetroffen in concentraties 10^8 kve/L. Echter, het was niet mogelijk om vast te stellen of de patiënten ziek waren geworden door Legionella of door endotoxinen. Dit onderzoek is daarom buiten de casuïstiek gehouden.

Er is ook informatie bekend van niet-gepubliceerde casuïstiek via de Nationale instituten van Europese landen welke samenwerken in het European Legionnaires' disease surveillance Network (ELDSNet).

Voorbeelden van niet gepubliceerde casuïstiek zijn:

- 5 medewerkers met pontiac fever bij een Finse AWZI;
- 3 verschillende AWZI's in Zweden, waarbij totaal 3 medewerkers en 7 omwonenden legionellose kregen. Via Zweedse collega's is vernomen dat de watertemperatuur in de AWZI's 30-40 °C kan zijn, maar meestal een temperatuur heeft van 36 °C.

De niet-gepubliceerde casuïstiek wordt verder niet gebruikt in het bepalen van de risicocriteria. Wel lijkt de niet-gepubliceerde casuïstiek vergelijkbare kenmerken te vertonen als de gepubliceerde casuïstiek.

3.1.1 Informatie over de AWZI's die als bron zijn vastgesteld

In tabel 3.1 staat per publicatie informatie over de bron die vanuit epidemiologisch oogpunt van belang werd geacht.

Overeenkomstige kenmerken die mogelijk tot legionellagroei en -verspreiding hebben geleid zijn:

- Type zuivering: het betreft biologische zuiveringen waarbij gebruik wordt gemaakt van aerobe bacteriën die het water zuiveren. In de meeste artikelen wordt het type zuivering niet verder gespecificeerd. De bacteriën hebben vergelijkbare eisen voor optimale groei als legionellabacteriën, waaronder zuurstof (via beluchting). Groei van Legionella wordt door deze bacteriën niet geremd.
- Type industrie; het betreft industrieën waar veel organische verbindingen zoals eiwitten en aminozuren in het afvalwater aanwezig zijn. Dit nutriëntrijke afvalwater is gunstig voor legionellagroei (Caicedo et al., 2019).
- Temperatuur van het proceswater is tussen de 30 en 37 °C. Een optimale temperatuur voor legionellavermeerdering (Wadowsky et al., 1985); (Falkinham et al., 2015).

- Concentratie Legionella in de AWZI is hoog in vergelijking met leidingwater; tot wel $1,0 \times 10^{10}$ kve/L. In leidingwater wordt zelden $1,0 \times 10^6$ kve/L aangetoond.

3.1.2

Nederlandse casuïstiek

In Nederland waren 2 legionella-uitbraken gerelateerd aan een AWZI. De casus in Boxtel is in tabel 3.1 al kort besproken omdat het in een peer-reviewed tijdschrift is gepubliceerd (Loenenbach et al., 2018). De casus in Son is niet in een peer-reviewed tijdschrift gepubliceerd maar wel in het Infectieziekten bulletin, [binnenlandse signalen](#) (2018). Tussen 2013 en 2017 werd bij de uitbraak in Son bij 7 van de 15 patiënten hetzelfde ST-type aangetoond als in Boxtel. Een biologische AWZI van een destructiebedrijf was de meest waarschijnlijke bron.

In Boxtel vond de besmetting tot zeker 1,5 km afstand van de AWZI plaats. Besmetting via het effluent kon niet worden aangetoond maar wordt niet uitgesloten (Loenenbach et al., 2018). In Son was een patiënt niet dichter dan 3 km van de AWZI geweest. In internationale casuïstiek is eerder een afstand van 300 m aangetoond (Nguyen et al., 2006). Verdere verspreiding van aerosolen is in buitenlandse casuïstiek toegeschreven aan natte koeltorens die effluent van een AWZI hebben ingenomen (zie paragraaf 2.1.3).

In tabel 3.2 zijn de verschillende kenmerken weergegeven van de 2 Nederlandse AWZI's die een (mogelijke) bron zijn. Voor Boxtel zijn aanvullende kenmerken opgenomen die niet in tabel 3.1 zijn gepubliceerd, waaronder de uitslag van de luchtmeting.

Tabel 3.1. Gepubliceerde casuïstiek waarin AWZI's de directe of indirecte bron van legionellose waren. Overeenkomstige kenmerken die kunnen leiden tot legionellagroei worden weergegeven en ook de gedetecteerde concentratie Legionella in het afvalwater of effluent. Indien de gegevens niet beschreven zijn wordt dit in de tabel weergegeven als 'nb' (niet beschreven). Kve/L = kolonievormende eenheden per liter.

	Artikel	Type industrie	Type zuivering	Temperatuur (°C) in (deel) proces	Type Legionella	Concentratie Legionella (kve/L) in zuivering	Concentratie Legionella (kve/L) in effluent
1	Gregersen et al. (1999)	Levensmiddelen	Biologische IWZI	nb	<i>L. pneumophila</i> sg1	1.5 x 10 ⁶	nb
2	Isozumi et al. (2005)	nb	IWZI, nb biologisch of fysisch chemisch	nb	<i>L. pneumophila</i> sg1	4,1 x 10 ⁵ tot 2,5 x 10 ⁷	nb
3	Nguyen et al. (2006)	Petrochemie	Biologische IWZI	nb	<i>L. pneumophila</i> sg1	1,0 x 10 ⁶ tot 1,0 x 10 ¹⁰	nb
4	Allestam et al. (2006)	Papierindustrie	Biologische IWZI	37 °C	<i>L. pneumophila</i> sg1	nb	nb
5	Blatny et al. (2008)/ Olsen et al. (2010)	Houtverwerkings-industrie	Biologische IWZI	37 °C	<i>L. pneumophila</i> sg1	1,0 x 10 ¹⁰	1,0 x 10 ⁵
6	Kusnetsov et al. (2010)	Papier en pulpindustrie	Biologische IWZI	33-36 °C	<i>L. pneumophila</i> sg1	1,0 x 10 ⁶	2,4 x 10 ⁴
7	Maisa et al. (2015)/ Nogueira et al. (2016)	Levensmiddelen (brouwerij)	Aerobe voorbehandeling en RWZI	30-35 °C	<i>L. pneumophila</i> sg1	1,0 x 10 ¹⁰ - 5,0 x 10 ⁷	2,0 x 10 ⁵
8	Loenenbach et al. (2018)	Levensmiddelen (vleesverwerking)	Biologische IWZI	35 °C	<i>L. pneumophila</i> sg1	5,6 x 10 ⁷ tot 2,3 x 10 ⁹	1,0 x 10 ⁵

Tabel 3.2. Informatie over Nederlandse AWZI's die als bron voor legionellose zijn beschreven. n.b. = 'niet beschreven'. *Van Son zijn de watertemperaturen niet bekend maar wel de zuiveringstechniek. Aangezien de techniek optimaal werkt bij temperaturen 30-40 °C is dat in de tabel vermeld.

AWZI	Type industrie	Type zuivering	Temperatuur Afvalwater (°C)	Type beluchting	Type legionella en concentratie in beluchtingstank	Type en concentratie Legionella effluent	Type Legionella in luchtmeting
Boxtel (Loenenbach et al., 2018)	Levensmiddelen (Vleesverwerking)	Biologisch: Anammox / MBR.	35 °C	Fijne bellenbeluchting (bodembeluchting) 84 m ³ / min. Grove beluchting voor MBR.	<i>L. pneumophila</i> sg1 (ST1646) 2,3x10 ⁹ kve/L	<i>L. pneumophila</i> sg1 (ST1646) 1,0x 10 ⁵ kve/L	<i>L. pneumophila</i> sg1 (ST1646) Positief (300 m)
Son (Anoniem, 2018)	Deconstructie -bedrijf kadevers	Biologisch: Anammox / MBR.	30-40 °C*	Puntbeluchting (oppervlakte beluchting)	<i>L. pneumophila</i> sg1 (ST1646) 8,0 x 10 ⁷ kve/L	<i>L. pneumophila</i> sg1 (ST1646) 1,0x10 ³ kve/L	Na afdekking negatief

3.1.3 *Legionellagroei en -verspreiding AWZI's met casuïstiek*

In deze paragraaf worden de verschillende onderdelen van het zuiveringsproces besproken waar legionellagroei en -verspreiding kan plaatsvinden.

Hoe komt Legionella in het systeem?

Zoals verwoord in paragraaf 2.1.1. komen legionellabacteriën van nature voor in (leiding)water, lucht en de bodem. Er zijn dan ook vele mogelijkheden waarop Legionella in de AWZI terecht kan komen. Introductie van enkele bacteriën in het systeem kunnen bij gunstige groei-omstandigheden vermeerderen tot hoge concentraties. Het is daarom vrijwel niet mogelijk om legionellavermeerdering in dergelijke installaties te voorkomen. Legionella kan bijvoorbeeld aanwezig zijn in het te zuiveren afvalwater (influent). Bij de casus in Warstein was er een zeer hoge concentratie van meer dan $1,0 \times 10^{10}$ kve/L dat afkomstig was van een brouwerij en via leidingen van enkele kilometers naar een RWZI werd getransporteerd (Nogueira et al., 2016). Beschreven is dat het enten van slib kan leiden tot introductie van Legionella in de IWZI (Nguyen et al., 2006). Het is denkbaar dat er ook andere mogelijkheden zijn voor besmetting van de beluchtingstanks, zoals het schoonspuiten van de beluchtingstank met leidingwater of door aerosolen van waterinstallaties zoals nabij gelegen natte koeltorens. Dit is echter niet beschreven in relatie tot casuïstiek.

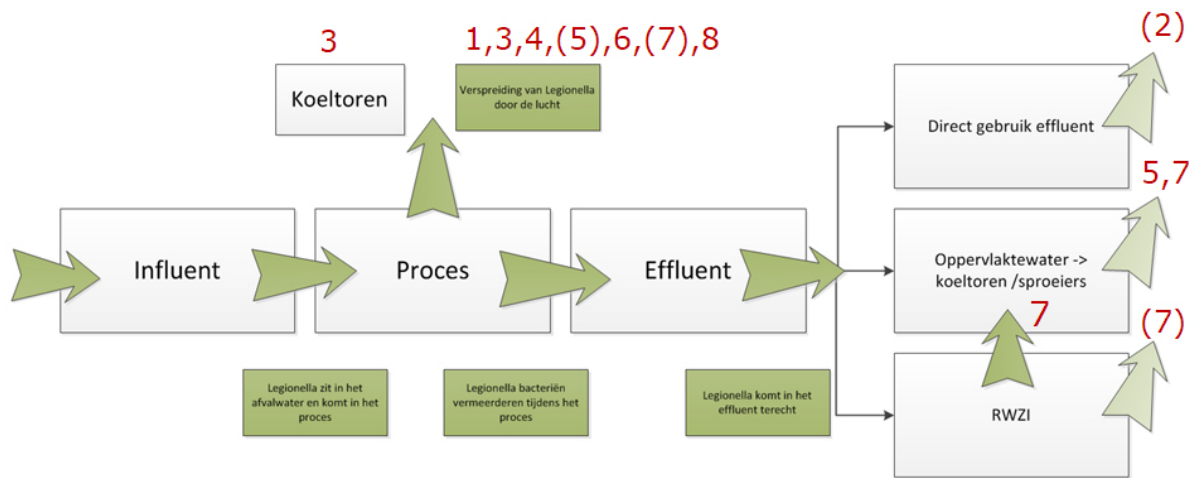
Legionellavermeerdering

Binnen het zuiveringsproces van een aerobe biologische zuivering is verdere legionellagroei mogelijk indien de temperatuur gunstig is, er continu zuurstof wordt toegevoegd en er voldoende nutriënten zijn (Caicedo et al., 2019). In het effluent kunnen hoge concentraties Legionella aanwezig zijn (Nogueira et al., 2016; Olsen et al., 2010), ook als er gebruik wordt gemaakt van membraan-ultrafiltratie (Loenenbach et al., 2018).

Verspreiding door lucht

De meest beschreven route van besmetting is directe blootstelling door aerosolen van de AWZI (zie figuur 3.1). Het betreft bij 3 van de 8 casussen werknemers die in of nabij de AWZI zijn geweest (casus 1,4 en 6).

De Nederlandse casus (casus 8) beschrijft verspreiding van aerosolen door een IWZI over meer dan 1,5 km. Eerder was verspreiding van ongeveer 300 meter beschreven (casus 3 en 5). Casus 3 beschrijft de besmetting van een koeltoren door aerosolen van een IWZI.



Figuur 3.1. Overzicht van de afvalwaterzuivering en de onderdelen waar legionellagroei en -verspreiding kan plaatsvinden. De rode cijfers komen overeen met de casuïstiek in tabel 3.2: 1= Gregersen, 2=Isozumi, 3=Nguyen, 4=Allestam, 5=Blatny/Olsen, 6=Kusnetsov, 7=Maisa/Nogueira, 8=Loenenbach. De cijfers geven weer op welke manier verspreiding van aerosolen heeft plaatsgevonden. Een cijfer tussen haken betekent dat in het artikel geconcludeerd werd dat het (ook) een mogelijke route voor besmetting was.

Verspreiding via effluent van de AWZI

Casus 5 betrof een papierfabriek waar na vervolgonderzoek werd geconcludeerd dat via het effluent van de IWZI Legionella in de rivier terecht is gekomen (zie figuur 3.1). Mogelijk hebben zowel de aerosolen van de IWZI als de rivier tot ziektegevallen geleid. Daarnaast wordt aangenomen dat sproeiende waterinstallaties langs de rivier, zoals natte koeltorens, tot ziektegevallen hebben geleid.

In Warstein (casus 7) vond vermeerdering van de legionellabacteriën plaats in het afvalwater van een brouwerij, maar de verspreiding is voornamelijk veroorzaakt door 2 natte koeltorens (Maisa et al., 2015). Het afvalwater werd voor het lozen op de nabijgelegen RWZI alleen aeroob voorbehandeld. Vervolgens werd het afvalwater met een temperatuur van ca. 35 °C geloosd op de RWZI. Ongeveer een derde van de afvalwaterstroom bestond uit het afvalwater van de brouwerij. Via de RWZI is het afvalwater in de rivier gekomen en enkele kilometers verder ingenomen door koeltorens. Geconcludeerd werd dat deze koeltorens zorgden voor verdere verspreiding van de pathogene *L. pneumophila* in de omgeving. Echter, verspreiding door de beluchtingstank van de RWZI of de aerobe voorbehandeling van de brouwerij wordt niet uitgesloten. Bij casus 2 was er sprake van een koeltoren die effluent van een AWZI als koelwater gebruikte. In dit effluent zijn hoge concentraties Legionella gedetecteerd. Twee blootgestelde werknemers die in de koeltoren kwamen werden ziek door *L. pneumophila*.

3.2 Detectie van Legionella in afvalwater en lucht van afvalwaterzuiveringsinstallaties

Zowel in Nederland als internationaal, worden in AWZI's legionellabacteriën of legionella-DNA-eenheden aangetoond zonder dat hieraan patiënten worden gelinkt. Ook worden in de lucht boven

beluchtingstanks legionellabacteriën aangetoond. In bijlage 1 wordt een overzicht gegeven van wetenschappelijk onderzoek naar de aanwezigheid van Legionella in AWZI's.

In 13 van de 15 artikelen is gebruikgemaakt van de kweek en/of PCR-methode om Legionella in het water te detecteren. Bij 2 van de 15 onderzoeken is ook een andere methode gebruikt, respectievelijk Direct Fluorescent-Antibody (DFA) en de amoëbe-kweekmethode.

Conclusies uit de milieuonderzoeken:

- *L. pneumophila* en *Legionella spp.* werden gedetecteerd in het afvalwater en boven de beluchtingstanks van industrieën waar ook casuïstiek is, inclusief RWZI's zonder warme deelstroom.
- Het betreft voornamelijk biologische AWZI's.
- Bij 4 onderzoeken zijn luchtmetingen verricht bij RWZI's. Van 1 onderzoek is bekend dat het een RWZI is zonder warme deelstroom (temperatuur 9,5–20 °C), bij de andere onderzoeken lijkt dit ook het geval maar ontbreekt informatie over de temperatuur om dit vast te stellen.
- Bij 2 onderzoeken wordt ook bij temperaturen <20 °C *L. pneumophila* en *Legionella spp.* aangetoond. Dit is vrijwel uitsluitend gedetecteerd met PCR, maar in 1 monster is ook met kweek Legionella aangetoond.
- Bij 6 van de 15 onderzoeken wordt de temperatuur van het water in de zuivering vermeldt. Bij 4 onderzoeken zijn er AWZI's bemonsterd met een temperatuur 30-40 °C. Met PCR worden dan altijd Legionella gedetecteerd maar niet altijd met kweek.
- Met PCR worden veel vaker *L. pneumophila* en *Legionella spp.* aangetoond dan de kweekmethode. Lund et al. (2014) hebben uitgebreid onderzoek verricht bij verschillende industrieën/RWZI's: bij 8 RWZI's, 9 IWZI's van zuivelindustrieën en petrochemie-industrieën, 4 houtindustrieën en 4 overige industrieën (waaronder aardappelverwerkingsbedrijven) zijn watermonsters genomen en geanalyseerd met kweek en PCR. Bij de zuivelindustrie en houtindustrie werd met kweek geen enkel positief monster gevonden maar met PCR waren alle monsters positief. Daarvan was bij de zuivelindustrie 33% positief voor *L. pneumophila* en bij de houtindustrie 65%. Bij de RWZI's kon met de kweekmethode in 1 monster *Legionella spp.* worden gedetecteerd. Met PCR was 98% van de monsters positief (n=125).

In andere vergelijkende onderzoeken worden met PCR ook veel meer positieve monsters gevonden (zie bijlage 1). Dit komt mogelijk doordat ook Legionella in niet kweekbare staat wordt aangetoond. Echter, met PCR wordt ook DNA van dode bacteriën aangetoond. Het is met de huidige methoden nog niet goed te bepalen hoe groot het percentage dood/levend is (Caicedo et al., 2019). Dit maakt het lastig te bepalen of en hoeveel vermeerdering in de zuivering plaatsvindt of dat legionella-DNA al in het te zuiveren afvalwater aanwezig is. Hierdoor, en door verschillen in de methodiek, zijn de resultaten uit milieuonderzoek niet goed bruikbaar voor het opstellen van de risicocriteria.

3.3 Risicocriteria

Op basis van de 8 casussen en een literatuurstudie naar legionellagroei en –verspreiding zijn de volgende criteria vastgesteld voor het bepalen van het risico op verspreiding van Legionella door biologische AWZI's:

- Type zuivering
- Type industrie
- Temperatuur proceswater
- Beluchting

De risicocriteria zijn opgenomen in tabel 3.3 en beschrijft welke kenmerken van de AWZI leidt tot een verhoogd risico op legionellaverspreiding door verneveling van afvalwater of het effluent. De tabel is opgesteld op basis van huidige inzichten. Beperkingen kunnen zijn dat bij de casuïstiek vooral onderzoek is gedaan naar oorzaken van legionellagroei en -verspreiding en niet naar factoren die *geen* rol spelen bij legionellagroei. In vervolgonderzoek wordt via modellering bepaald of patiënten die in het verleden gemeld zijn, gelinkt kunnen worden aan AWZI's (retrospectief onderzoek). Deze resultaten kunnen mogelijk leiden tot aanpassing van de criteria.

3.3.1 *Uitgangspunten voor de risicocriteria*

Voor het vaststellen van de risicocriteria in tabel 3.3. wordt uitgegaan van omstandigheden die normaalgesproken aanwezig zijn bij een biologische AWZI. Bijvoorbeeld, er wordt vanuit gegaan dat in een biologische AWZI de pH 5-9 is. Ook wordt er van uitgegaan dat vrijwel altijd dezelfde omstandigheden aanwezig zijn (continu proces). Als de temperatuur wisselt door het influent en regelmatig terecht kan komen in een hogere categorie, ga dan uit van de hogere temperatuur en een hogere risicocategorie. Bijvoorbeeld: de afvalwatertemperatuur schommelt tussen de 24-27 °C. Ga in dat geval uit van temperatuurrange van 25-29 °C. Als het afvalwater door de hoge omgevingstemperatuur voor een langere periode (bijvoorbeeld zomerweken) wordt verwarmd tot ≥ 25 °C, ga dan voor die periode uit van een hogere risicocategorie. Onder tabel 3.3 wordt per risicocriterium een toelichting gegeven (methodiek).

Tabel 3.3. Kans op verspreiding van Legionella door biologische AWZI

Type industrie	Temperatuur (deel)proces	Beluchting	Verspreiding via lucht	Verspreiding via effluent
<ul style="list-style-type: none"> • Levensmiddelen • Papier en hout • Petrochemie • Destructiebedrijven • Rioolwaterzuivering * 	30 – 38 °C	Ja	Ze er aan nem elij k	Ze er aan nem elij k
		Nee	A an nem elij k	Ze er aan nem elij k
	25 -29 °C of 39 – 45 °C	Ja	A an nem elij k	A an nem elij k
		Nee	M og elij k	A an nem elij k
	<25 °C of >45 °C	Ja	M og elij k	M og elij k
		Nee	N iet a an nem elij k	M og elij k

*In rioolwaterzuiveringen zonder warme deelstroom (<25 °C) kan een zeer hoge concentratie Legionella (tijdelijk) aanwezig zijn als deze installaties afvalwater ontvangen van industrieën waar kans op verspreiding zeer aannemelijk is. De kans op verspreiding is dan groter dan in deze tabel opgenomen.

Toelichting van de 4 risicogradaties uit tabel 3.3:**Ze
er
aan
nem
elij
k**

Er is casuïstiek (patiënten gelinkt aan AWZI's). Hoge tot zeer hoge concentraties in beluchtingstanks ($\geq 10^6$ kve/L) en effluent ($\geq 10^4$ kve/L) zijn te verwachten. Grote kans op blootstelling indien aerosolvorming plaatsvindt vanuit het afvalwater of effluent en geen maatregelen zijn genomen om groei en/of verspreiding te voorkomen.

**A
an
nem
elij
k**

Legionellagroei is mogelijk, afhankelijk van de situatie (tijdelijk) tot hoge concentraties. Er is kans op blootstelling indien aerosolvorming plaatsvindt vanuit het afvalwater of effluent en geen maatregelen zijn genomen om groei en/of verspreiding te voorkomen.

**M
og
elij
k**

Legionella kan aanwezig zijn maar onder standaard condities wordt geen hoge concentratie verwacht. Mogelijk wel incidenteel door influent met hoge concentraties legionella. Kleine kans op blootstelling indien aerosolvorming plaatsvindt vanuit het afvalwater of effluent en geen maatregelen zijn genomen om groei en/of verspreiding te voorkomen.

**N
iet
a
an
nem
elij
k**

Legionella is niet of in zeer lage concentratie aanwezig. Mogelijk wel incidenteel door influent met hoge concentraties legionella. Zeer kleine kans op blootstelling indien aerosolvorming plaatsvindt vanuit het afvalwater of effluent en geen maatregelen zijn genomen om groei en/of verspreiding te voorkomen.

3.3.2 *Biologische zuivering*

Uit casuïstiek blijkt *Legionella* te groeien in biologische AWZI's. Bij een biologische zuivering wordt gebruikgemaakt van bacteriën die het water zuiveren. In Nederland zijn verschillende systemen beschikbaar, waaronder systemen die werken met Anammox-bacteriën. In de Nederlandse casuïstiek betrof het beide keren een membraanbioreactor (MBR). Met MBR wordt onder druk water en slib gescheiden. Echter, uit buitenlandse casuïstiek lijkt er niet altijd sprake te zijn van een MBR of het is niet duidelijk of er gebruikgemaakt werd van een MBR. Besloten is om bij de risicocriteria daarom uit te gaan van alle vormen van biologische zuivering. De bacteriën die gebruikt worden voor biologische zuivering hebben vergelijkbare eisen voor optimale groei als legionellabacteriën, waaronder zuurstof (via beluchting) en een optimale groeitemperatuur. Gezien de hoge concentraties *Legionella* die in de AWZI's worden aangetoond wordt de groei van *Legionella* door deze bacteriën niet geremd.

3.3.3 *Type afvalwater*

Vooraf in afvalwater van industrieën met een hoog eiwit- en aminozuurgehalte worden hoge concentratie *Legionella* gedetecteerd (Caicedo et al., 2019). Zoals verwoord in paragraaf 2.1 zijn sommige industrieën met dit nutriëntrijke afvalwater gelinkt aan patiënten met legionellose. Dit zijn:

- Levensmiddelenindustrie (o.a. vleesverwerking, brouwerij)
- Papier- en houtindustrie
- Deconstructiebedrijven (verwerking kadavers)
- Petrochemische bedrijven

Ook een rioolwaterzuiveringsinstallatie die een hoge concentratie voor *Legionella* nutriëntrijk afvalwater zuiverde van een bierbrouwerij was betrokken bij een legionellose-uitbraak. Een risicocriterium is daarom wat voor type industrieel proceswater wordt gezuiverd. Het is mogelijk dat ook andere industrieën nutriëntrijk afvalwater produceren wat de legionellavermeerdering bevordert. Voor deze industrieën ontbreekt op dit moment casuïstiek waardoor hier 'zeer aannemelijk' als risicocategorie niet van toepassing is, maar legionellavermeerdering wel 'aannemelijk' kan zijn. Vooralsnog is er onvoldoende informatie om andere industrieën in de risicocriteria op te nemen. Mogelijk dat door het modelleringsonderzoek hier meer duidelijkheid over komt.

Daarnaast kan in een RWZI zonder verhoogde temperatuur (<25 °C) waar nutriëntrijk afvalwater van de hierboven genoemde industrieën wordt verwerkt (tijdelijk) een hoge concentratie legionellabacteriën in de zuivering aanwezig zijn. Bij de uitbraak in Warstein was een RWZI betrokken waarvan een derde van de te zuiveren afvalstroom afkomstig was van een brouwerij. Dit afvalwater was warm afvalwater (30-35 °C) en er was een zeer hoge concentratie legionellabacteriën aanwezig (10¹⁰ kve/L). Hierdoor was ook in de RWZI en het effluent van de RWZI een hoge concentratie aanwezig (zie casus 7; paragraaf 3.1). Een relatief grote stroom afvalwater met hogere temperatuur kan dus de kans op verspreiding van *Legionella* vergroten.

3.3.4 *Temperatuur van het proceswater*

AWZI's die direct of indirect de bron waren voor legionellose hadden een afvalwatertemperatuur tussen 30-37 °C, voornamelijk tussen 35-37 °C. Dit is ook de temperatuurrange waarbij (optimale) legionella-vermeerdering plaatsvindt. Aangezien bij de meeste casuïstiek een afvalwatertemperatuur van 35-37 °C is en de groeirange nog iets hoger ligt is besloten om de categorie 'zeer aannemelijk' een graad te verruimen tot 38 °C. In AWZI's van industrieën met nutriëntrijk afvalwater én optimale temperatuur is legionella-vermeerdering zeer aannemelijk. Vermeerdering van *L. pneumophila* vindt plaats vanaf ongeveer 25 °C. Vermeerdering is daarom aannemelijk bij temperaturen tussen 25-29 °C en tussen 39-45 °C (Steinert et al., 2002). Vermeerdering tot hoge concentraties *L. pneumophila* bij waterzuiveringen waar de temperatuur altijd <25 °C is, is niet te verwachten. Maar enige vermeerdering is niet uitgesloten. Andere legionellasoorten kunnen mogelijk wel vermeerderen. Ook is het mogelijk dat deze waterzuiveringen afvalwater ontvangen van 'risicovolle' industrieën waardoor (incidenteel) toch een hoge concentratie *L. pneumophila* aanwezig kan zijn. Als een deel van het influent uit ≥25 °C warm afvalwater bestaat van risicovolle industrieën dan kan hier ook een zeer aannemelijk risico zijn op verspreiding, ondanks een gemiddeld lage temperatuur van de hoofdstroom.

Tot slot, de genoemde temperatuurrange is indicatief. De genoemde ranges zijn niet 'zwart-wit', maar afhankelijk van de situatie. Groei van Legionella hangt niet alleen af van de temperatuur. Een andere belangrijke factor is de samenstelling van het microbiom, waaronder de soorten en hoeveelheid protozoa die aanwezig zijn en aanwezigheid van bacteriën die een negatief of positief effect hebben op de legionellagroei (Caicedo et al., 2019). Ook kunnen er omstandigheden zijn dat de temperatuur niet overal gelijk is in het bassin of tijdelijk wijzigt waardoor de concentratie in de loop van de tijd kan toe- of afnemen.

3.3.5 *Beluchting – aerobe zuivering*

Door beluchting van afvalwater worden aerosolen gevormd waarmee Legionella kan meeliften over een afstand van meer dan 1,5 km (Loenenbach et al., 2018). De literatuurstudie en de casuïstiek hebben onvoldoende informatie opgeleverd om te differentiëren in de mate van risico op verspreiden van Legionella door gebruik van verschillende typen beluchting. Bijvoorbeeld: de IWZI in Bostel gebruikt fijne bellenbeluchting in de aerobe beluchtingstank en meer grove beluchting bij de filters van de MBR. De AWZI in Son maakt gebruik van puntbeluchting (oppervlaktebeluchting). Het is (nog) niet vastgesteld of één van beide type beluchtingen verantwoordelijk is voor verspreiding of dat beide vormen van beluchting hebben bijgedragen aan verspreiding. Vooralsnog is het risicocriterium daarom wel of geen beluchting, ongeacht type beluchting.

3.3.6 *Verspreiding lucht en effluent*

In tabel 3.3 wordt een onderscheid gemaakt in risico op verspreiding door de lucht en door het effluent.

Met risico op 'verspreiding via lucht' wordt alleen aerosolvorming in het proces zelf of onderhoud van de AWZI bedoeld. Beluchting is hierbij een belangrijk criterium. Dit proces vindt continu of zeer geregeld plaats

waardoor de kans op verspreiding toeneemt. Daarom wordt een onderscheid gemaakt in wel of geen beluchting. Echter, ook als er geen beluchting is, kan er (incidenteel) toch sprake zijn van verspreiding van Legionella vanuit het afvalwater door bijvoorbeeld het schoonspuiten van de bassins.

Met 'verspreiding via effluent' wordt het risico aangegeven op hoge concentraties Legionella in het effluent. Dit effluent kan direct verneveld worden doordat het gebruikt wordt voor schoonmaakwerkzaamheden of luchtwassers. Het effluent kan ook geloosd worden naar een andere AWZI of oppervlaktewater. Hierdoor kunnen hoge concentraties Legionella verneveld worden door deze waterzuiveringen of doordat koeltorens of irrigatiesystemen oppervlaktewater innemen waar een hoge concentratie Legionella aanwezig is.

4 Inventarisatie van risicovolle AWZI's

Dit hoofdstuk bespreekt welke waterzuiveringsinstallaties in Nederland tot de verhoogde risico-installaties behoren.

4.1 Inventarisatie AWZI's

Om een overzicht te krijgen van hoeveel AWZI's er in Nederland zijn, is een inventarisatie uitgevoerd door de Omgevingsdiensten (OD'en) naar alle IWZI's in Nederland en door STOWA naar alle RWZI's in Nederland.

4.1.1 *Inventarisatie IWZI's door Omgevingsdiensten*

In november 2018 heeft ODNL de 29 regionale OD'en aangeschreven om een overzicht van alle IWZI's in hun regio aan te leveren. In het najaar van 2018 is in samenwerking met het RIVM hiervoor een lijst met kenmerken gemaakt om inzicht te krijgen in mogelijke risico's op legionellagroei en -verspreiding bij afvalwaterinstallaties. De informatie die is opgevraagd staat in bijlage 2.

Eind 2018 is van alle OD'en een reactie ontvangen en opgenomen in een overzicht door ODNL. Aanvullende informatie is nog aangeleverd in 2019. In totaal waren er 330 IWZI's geïdentificeerd. Na vergelijking van de geïdentificeerde IWZI's met het emissieregistratiesysteem (www.emissieregistratie.nl; gegevens 2016) in februari 2019, werden door de OD'en ongeveer 140 IWZI's gevonden die niet in het emissieregistratiesysteem stonden, mogelijk omdat ze onder de emissielimiet blijven. Echter, er stond een vergelijkbaar aantal IWZI's in het emissieregistratiesysteem die niet uit de inventarisatie van de OD'en kwamen. Door 7 OD'en werd de informatie voor 65 IWZI's uit de betreffende regio gecontroleerd op actualiteit en indien nodig toegevoegd aan de inventarisatie. Uiteindelijk resulteerde dit in een totaal van 382 IWZI's.

Het aantal IWZI's ligt mogelijk hoger omdat van de ontbrekende IWZI's uit het emissieregistratiesysteem nog niet duidelijk is of deze installaties nog bestaan. Het aantal geïnventariseerde IWZI's per OD varieert tussen 0 en 74 IWZI's, dit impliceert dat er mogelijk nog IWZI's in enkele regio's aanwezig zijn die onder de radar zijn gebleven bij de inventarisatie. Ook zijn er enkele OD'en die alleen IWZI's met een biologische zuivering hebben gerapporteerd, hierdoor is er een onderrapportage van het aantal niet biologische zuiveringen.

4.1.2 *Inventarisatie RWZI's door STOWA*

Het kenniscentrum van de Nederlandse waterschappen, STOWA, heeft bij alle waterschappen geïnventariseerd welke RWZI's zij in beheer hebben, en of deze installaties beschikken over specifieke kenmerken die zorgen voor een verhoogd risico op groei en verspreiding van legionella. De informatie van alle waterschappen met hun RWZI's is ontvangen door STOWA, waaruit blijkt dat er in Nederland 327 RWZI's zijn.

Uit de inventarisatie door STOWA en ODNL zijn in totaal 709 AWZI's geïdentificeerd.

4.2 Risico-inschatting AWZI's

In deze paragraaf wordt onderzocht of de geïdentificeerde AWZI's één of meerdere risicocriteria bezitten, zoals beschreven in tabel 3.3. Op basis van de aanwezigheid van de risicocriteria werd een risico-inschatting gemaakt voor de mogelijkheid op verspreiding via de lucht of via het effluent. Hierbij zijn al genomen maatregelen om mogelijke verspreiding te voorkomen niet meegenomen.

4.2.1 *Biologische zuivering*

Alle 327 geïnventariseerde RWZI's beschikken over een biologische zuivering, dit is echter niet het geval bij alle 382 geïnventariseerde IWZI's. Uit de inventarisatie van ODNL blijkt dat 211 van de 382 IWZI's beschikken over een biologische zuivering en 140 IWZI's beschikken over een niet-biologische zuivering, waarbij het veelal om een fysisch-chemische zuivering gaat. Van 31 van de 382 geïdentificeerde IWZI's (8%) is het niet bekend of er wel of geen biologische zuivering aanwezig is. Het aantal IWZI's zonder biologische zuivering zal hoger liggen, omdat enkele OD'en alleen IWZI's met biologische zuivering hebben gerapporteerd.

Het overgrote deel van de biologische zuiveringen is of een aerob proces of een combinatie van aerob/anaerob. Alleen een anaerob proces komt relatief weinig voor, namelijk slechts bij 7% van de IWZI's.

4.2.2 *Type industrie (influent)*

Het influent van een RWZI bestaat over het algemeen uit een mengsel van rioolwater van huishoudens, afvalwater van industrie, al of niet voorbehandeld, en afstromend hemelwater (Buunen et al., 2017). De mate van afkoppeling van regenwater heeft een grote invloed op het aandeel regenwater. Het aandeel afvalwater afkomstig van industrie verschilt ook per zuivering, maar is over het algemeen relatief laag (<20%) (Buunen et al., 2017). Specifieke informatie over het percentage nutriëntrijk afvalwater van bepaalde industrieën was voor deze studie niet bekend.

In huishoudelijk afvalwater bevinden zich voldoende nutriënten voor de groei van verschillende soorten bacteriën. Echter is het mogelijk dat in industrieel afvalwater bepaalde nutriënten en sporenelementen onvoldoende aanwezig zijn om voldoende slibgroei mogelijk te maken. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn bij papierindustrie of suikerhoudend afvalwater vanwege lage hoeveelheden fosfor en stikstof (Buunen et al., 2017).

Bij een IWZI is het influent afkomstig van één of meerdere industrieën. De samenstelling van industrieel afvalwater is in de meeste gevallen afwijkend van stedelijk afvalwater. De hoeveelheden en de samenstelling van het influent hangt sterk samen met de soort industrie. Industrieel afvalwater is doorgaans warmer en zorgt sneller voor slijtage van leidingen en apparatuur. Afhankelijk van het industrieel proces bevat het afvalwater stoffen zoals olieresten, metaalslakken, zetmeel en chemische stoffen. Bij levensmiddelenindustrie en hout- en papierindustrie kunnen veel organische verbindingen zoals eiwitten en aminozuren in het afvalwater aanwezig zijn (nutriëntrijk).

In tabel 4.1 zijn het aantal IWZI's onderverdeeld per type industrie, waarbij onderscheid is gemaakt in industrieën uit de risicocriteria: industrieën met nutriëntrijk afvalwater (levensmiddelenindustrie, petrochemische industrie, destructiebedrijven, hout- en papierindustrie, rioolwaterzuivering) en overige industrieën. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aangeleverde informatie door de OD'en in december 2018, informatie uit het emissieregistratiesysteem (2016) en online beschikbare informatie over de bedrijven.

Tabel 4.1. Resultaten van het aantal IWZI's per type industrie. Overige industrieën omvat onder andere chemische industrie, textielindustrie, transportindustrie, afvalverwerking en mestverwerking.

Type industrie	Aantal IWZI's
Levensmiddelenindustrie	158
Petrochemische bedrijven	17
Destructiebedrijven	1
Hout- en papierindustrie	16
Overige industrieën	190
Totaal	382

4.2.3

Procestemperatuur

Bijna alle RWZI's (96%) hebben een procestemperatuur die afhankelijk is van de omgevingstemperatuur en varieert tussen ongeveer 8–20 °C. Er zijn momenteel 12 RWZI's die een warme deelstroombehandeling hebben als onderdeel van een energiefabriek. De procestemperatuur van de warme deelstroom ligt tussen de 30 en 38 °C voor een optimale werking van de Anammox-bacteriën bij de omzetting van ammonium en nitriet naar stikstofgas. Zie paragraaf 2.2.3 voor toelichting over warme deelstroom.

Bij de inventarisatie door de OD is uitgegaan van de toen bekende risicotemperatuurrange van 25-45 °C. De resultaten uit dit rapport waren nog niet bekend waardoor een verder onderscheid in temperatuur niet is uitgevoerd. Bij de IWZI's met een biologische zuivering hebben 65 bedrijven een procestemperatuur lager dan 25 °C en 118 bedrijven een procestemperatuur tussen de 25 en 45 °C. Van de bedrijven met een verhoogde procestemperatuur blijkt dat in 5 gevallen 25 °C sporadisch gehaald wordt, bijvoorbeeld bij een hoge omgevingstemperatuur. In tabel 4.2 is het aantal AWZI's weergegeven bij de verschillende temperaturen van het proceswater, waarbij ook een onderverdeling is gemaakt in het type industrie.

4.2.4

Beluchting

Bij alle RWZI's wordt beluchting toegepast tijdens de biologische (aerobe) zuivering. Uit de inventarisatie van de OD'en blijkt dat van de 211 IWZI's met een biologische zuivering 173 IWZI's het proceswater beluchten (82%). In de inventarisatie is niet opgenomen welk type beluchting en uitvoering van de beluchting plaatsvindt. In tabel 4.2 is het aantal AWZI's en de percentages weergegeven voor de verschillende AWZI's met of zonder beluchting.

Tabel 4.2. Aantal AWZI's met een temperatuur van het proceswater lager dan 25 °C of tussen 25-45 °C en aanwezigheid van beluchting waar een biologische zuivering wordt toegepast. De IWZI's zijn onderverdeeld in de nutriëntrijke en overige industrieën volgens de risicocriteria.

AWZI	Type industrie	Temperatuur proceswater			Beluchting		
		<25°C	25-45°C	Niet bekend	Ja	Nee	Niet bekend
IWZI's met biologische zuivering	Industrieën met nutriëntrijk afvalwater	31 (25%)	69 (56%)	24 (19%)	95 (77%)	8 (6%)	21 (17%)
	Overige industrieën	34 (40%)	49 (55%)	4 (5%)	78 (90%)	3 (3%)	6 (7%)
	Totaal	65 (31%)	118 (56%)	28 (13%)	173 (82%)	11 (5%)	27 (13%)
RWZI met biologische zuivering		315 (96%)	12 (4%)	0	327 (100%)	0	0

4.2.5 Risico-inschatting van de geïnventariseerde AWZI's

Hieronder is een overzicht van alle AWZI's waarbij de installaties met bijbehorende kenmerken geïdentificeerd door STOWA en OD'en worden vergeleken met de risicocriteria uit hoofdstuk 3, tabel 3.4.

Voor alle RWZI's waren de kenmerken van de risicocriteria bekend en kon een risico-inschatting worden uitgevoerd. Het aantal RWZI's dat is in te delen onder de risicocriteria is weergegeven in tabel 4.3.

Tabel 4.3. Overzicht van het aantal RWZI's ingedeeld op basis van de risicocriteria.

Industrie	Zuivering	Temperatuur proceswater (°C)	Beluchting
Rioolwaterzuiverings-installaties <i>n</i> =327	Biologische zuivering <i>n</i> =327	<25 °C <i>n</i> =315	Ja <i>n</i> =315
		30 – 38 °C <i>n</i> =12	Ja <i>n</i> =12

Aan de hand van de aanwezige risicocriteria kan een risico-inschatting voor verspreiding via de lucht en/of het effluent gemaakt worden zoals omschreven in Hoofdstuk 3 tabel 3.4. Hieruit kan worden afgeleid dat verspreiding via de lucht en/of het effluent:

- zeer aannemelijk is bij 12 RWZI's;
- mogelijk is bij 315 RWZI's.

Bij de 315 RWZI's waarbij verspreiding mogelijk is, is onder normale omstandigheden (<20 °C watertemperatuur) geen uitgroei tot hoge concentratie te verwachten. Uitzondering zijn RWZI's die afvalwater ontvangen van nutriëntrijk afvalwater van industrieën met een verhoogde procestemperatuur. Door de combinatie van nutriëntrijk industrieel afvalwater en een gunstige groeitemperatuur voor Legionella in dit afvalwater is het mogelijk dat hoge aantallen Legionella in de RWZI terechtkomen en daardoor de kans op verspreiding van Legionella vanuit de RWZI toeneemt. Hierdoor is de risicogradatie van enkele

In totaal waren er 192 IWZI's van industrieën met nutriëntrijk afvalwater, waarvan er bij 124 IWZI's bekend was dat deze een biologische zuivering hadden (zie tabel 4.4). Van de overige IWZI's, hadden 52 geen biologische zuivering en bij 16 was het type zuivering onbekend. Voor de IWZI's zonder biologische zuivering is het niet aannemelijk dat legionellagroei en –verspreiding plaatsvindt. Voor de 16 IWZI's waarvan niet bekend was of er een biologische zuivering aanwezig was kan geen risico-inschatting gemaakt worden. Van de 124 IWZI's met een biologische zuivering kon bij 24 IWZI's ook geen risico-inschatting worden gemaakt, omdat de temperatuur van het afvalwater niet bekend was.

In totaal waren er 190 IWZI's waarvan het afvalwater afkomstig is van overige industrieën, waarvan 87 wel en 88 geen biologische zuivering hadden. Voor de 88 IWZI's zonder biologische zuivering is het niet aannemelijk dat legionellagroei en –verspreiding plaatsvindt. Voor de 87 IWZI's met een biologische zuivering is het niet mogelijk om een risico-inschatting te maken, omdat er onvoldoende informatie is over de samenstelling van het influent en er geen casuïstiek is voor deze industrieën (zie tabel 4.4).

De resultaten van de risico-inschatting voor verspreiding van Legionella via de lucht en/of het effluent bij IWZI's leverde de volgende resultaten op:

- Verspreiding is aannemelijk tot zeer aannemelijk bij 69 IWZI's; waarvan bij 58 verspreiding via lucht en bij 69 verspreiding via effluent. Het risico kan verder gespecificeerd worden wanneer er gedetailleerdere informatie over de temperatuur van het proceswater bekend is.
- Verspreiding is mogelijk bij 31 IWZI's
- Verspreiding is niet aannemelijk bij 140 IWZI's omdat er geen biologische zuivering aanwezig is
- Kans op verspreiding kon bij 142 IWZI's niet worden berekend, omdat:
 - bij 55 IWZI's niet alle kenmerken bekend zijn;
 - bij 87 IWZI's met een biologische zuivering waarvoor onvoldoende informatie over de samenstelling van het influent (overige industrie) en geen casuïstiek is.

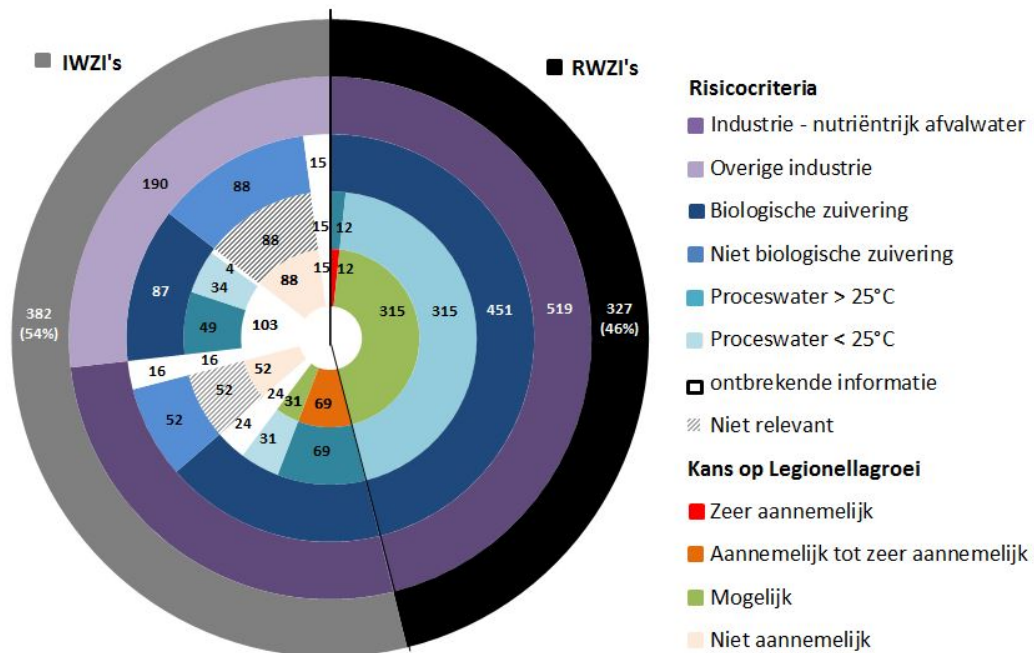
Samenvatting risico-inschatting

Een overzicht van het aantal AWZI's in Nederland per risicogradatie voor de kans op verspreiding van Legionella via de lucht en via het effluent waarbij is aangenomen dat er geen aanvullende maatregelen zijn genomen is weergegeven in tabel 4.5.

Tabel 4.5. Een overzicht van het aantal AWZI's met de kans op verspreiding van Legionella via de lucht of het effluent, ingedeeld op risicogradatie. Hierbij zijn eventuele preventieve maatregelen om verspreiding van Legionella te voorkomen niet meegenomen.

Kans op verspreiding van Legionella via de lucht en/of effluent	Aantal AWZI's	
	RWZI	IWZI
Zeer aannemelijk	12	0
Aannemelijk tot zeer aannemelijk	0	69
Mogelijk	315	31
Niet aannemelijk	0	140
Niet in te delen (ontbrekende informatie of geen casuïstiek)	0	142

Alle gegevens van de geïdentificeerde AWZI's is samengevat in figuur 4.1. In deze grafische weergave is het aantal RWZI's en IWZI's te zien, met de bijbehorende risicocriteria en de kans op Legionellagroei in de installatie.



Figuur 4.1. Schematisch overzicht van het aantal AWZI's met bijbehorende risicocriteria en kans op groei van Legionella. In de buitenste schil van de figuur is het aantal AWZI's opgesplitst in 327 RWZI's (zwart) en 382 IWZI's (grijs). De volgende drie schillen geven elk één risicocriterium weer waarin van de RWZI's en IWZI's het aantal installaties aangegeven is voor het type industrie, en daarna het type zuivering en tenslotte de temperatuur van het proceswater. In de binnenste schil is de kans op Legionellagroei weergegeven voor de AWZI's met de bijbehorende risicocriteria.

5 Maatregelen en kennisbiaten

In dit hoofdstuk volgt een overzicht van preventieve maatregelen om vermeerdering van legionellabacteriën in AWZI te voorkomen, verspreiding van legionellabacteriën uit beluchtingstanks te voorkomen en verspreiding van legionella via effluent zo veel mogelijk te beperken. Ook worden preventieve maatregelen beschreven om blootstelling van werknemers aan legionellabacteriën te voorkomen. Het betreft geen allesomvattend overzicht van alle mogelijke maatregelen, maar maatregelen die in de praktijk genomen zijn bij AWZI's die de bron waren van legionellose (Caicedo et al., 2019; Nogueira et al., 2016). Voor het beschrijven van nabehandelingen van het effluent van de AWZI is ook gebruikgemaakt van de review van Collivignarelli et al. (2018). Aan het eind van het hoofdstuk worden de kennisbiaten besproken.

5.1 Aanpassingen procescondities in de waterzuivering om legionellagroei in de AWZI te voorkomen of te beperken

Caicedo et al. (2019) concluderen dat de aandacht voor legionellabeheer gericht zou moeten zijn op het voorkomen of beperken van legionellagroei in AWZI's. Hieronder volgt een overzicht van maatregelen waarmee getracht wordt groei te voorkomen of te beheersen.

5.1.1 *Aanpassing van de waterzuivering*

Bij twee van de acht casussen besproken in paragraaf 3.1 is de zuivering aangepast door het plaatsen van een 'Expanded Granular Sludge Blanket' (EGSB) reactor. In deze anaerobe reactor wordt het afvalwater met behulp van anaeroob korrelslib gezuiverd. De afvalstoffen worden door de anaerobe bacteriën in het slib afgebroken en er wordt biogas gevormd. Het lijkt er op dat deze anaerobe stap zorgt voor een reductie van *Legionella spp.* maar er zijn nog geen ervaringen op de langere termijn met deze zuiveringstechniek (Nogueira et al., 2016).

5.1.2 *Procestemperatuur verlagen of verhogen*

Een mogelijke maatregel om Legionellagroei te verminderen in een AWZI is het aanpassen van de procestemperatuur, zodat deze verder afkomt van de optimale groeitemperatuur van Legionella. In een Anammox-proces werd met behulp van een warmtewisselaar een temperaturodaling bereikt van 4 °C (*persoonlijke communicatie*). Deze daling was te gering om Legionellagroei tegen te gaan. Het is ook niet duidelijk of dit tot een reductie van de legionellaconcentratie heeft geleid. Daarnaast zorgde een lichte verhoging van de procestemperatuur tot boven de 38 °C voor een afname van de legionellaconcentratie in een AWZI (*persoonlijke communicatie*). Er is echter meer onderzoek nodig om de effecten van temperatuurverandering op de legionellagroei in een AWZI vast te stellen.

5.1.3 *Desinfectie van actief slib door biocides*

Nogueira et al. (2016) hebben in laboratoriumopstellingen het effect van verschillende biociden op *Legionella spp.* in actief slib bestudeerd. De volgende biociden zijn getest:

- zilverdeeltjes,
- waterstofperoxide,
- chloordioxide,
- ozon,
- en een alkalische pH van 12.

Indien biociden in de juiste concentratie worden gebruikt, worden hiermee legionellabacteriën gedood. Echter, de concentraties biociden konden niet hoog genoeg zijn omdat anders de werking van het actieve slib werd aangetast. Bij andere waterinstallaties is bekend dat *Legionella* kan overleven als biociden worden toegediend (Messi et al., 2017). Geen van de biocides zorgden daardoor voor een significante reductie van de *Legionella spp.* in het actief slib. Gebruik van biociden voor legionellabeheer van actief slib in de AWZI is niet effectief.

5.1.4 *Biologisch beheer*

Eén eigenaar van een AWZI is nagegaan welke mogelijkheden er zijn om *Legionella* te verwijderen met een biologische biocide (*persoonlijke communicatie*). Deze methode werkt met specifieke Amoeben die *Legionella* zouden kunnen verwijderen. Deze amoeben kunnen echter niet overleven in afvalwater. Het product heeft ook geen Europese toelating en mag daarom niet als biocide worden gebruikt. Voor bacteriofagen werd geen leverancier gevonden en de mate van effectiviteit van deze techniek op *Legionella* is niet bekend.

Meer onderzoek is nodig naar het microbiom van de risicovolle AWZI's. Caicedo et al. (2019) stellen dat een beter inzicht in de rol van protozoa (zoals amoeben, zie paragraaf 2.1) en de rest van het microbiom in een AWZI kan leiden tot het voorkomen of beperken van de legionellagroei (Caicedo et al., 2019). Recent onderzoek suggereert dat onder meer sommige *Pseudomonas spp.* een remmend effect kunnen hebben op de legionellagroei (Corre et al., 2018). Echter, meer onderzoek is nog nodig om te bepalen of een biologische beheerstechniek kan worden ontwikkeld die effectief is tegen legionellabacteriën.

5.2 **Verspreiding legionellabacteriën uit AWZI via de lucht beperken of voorkomen**

Legionellabacteriën kunnen zich verspreiden via de lucht door aersolen vanuit een beluchtingstank. Er zijn verschillende maatregelen beschreven om het verspreiden van *Legionella* van het afvalwater naar de buitenlucht te voorkomen of te beperken.

5.2.1 *Afdekking*

Verschillende soorten afdekkingen zijn beschikbaar voor beluchtingstanks van AWZI's. Permante harde afdekkingen zijn mogelijk met bijvoorbeeld glasvezel of staal. Uit (onderhouds)technisch en/of economisch oogpunt is niet altijd een permanente afdekking mogelijk. Meer flexibele afdekkingen zijn zeilconstructies, tentconstructies,

drijvende pontons en kleine drijvende afdekkingen zoals zeshoekige drijvers en ballen.

Een afdekking is effectief als die geheel gesloten is waardoor aerosolen met Legionella niet naar de buitenlucht kunnen ontsnappen. Kieren of openstaande onderhoudsdeuren verminderen de effectiviteit van de afdekking. Publicaties waarbij de effectiviteit is gemeten door het uitvoeren van luchtmetingen na het plaatsen van afdekkingen ontbreken. Het uitvoeren van luchtmetingen is essentieel om de effectiviteit van genomen maatregelen te bepalen. Bij de twee Nederlandse casussen zijn luchtmetingen uitgevoerd om na te gaan of na afdekking nog Legionella in de lucht gedetecteerd kon worden.

- Zeilconstructies kunnen effectief zijn, indien de constructie goed afdekkend wordt geïnstalleerd en geen onderdelen open (blijven) staan indien er belucht wordt. Bij één casus is na afdekking met zeil geen Legionella meer in de lucht aangetroffen.
- Bij een tijdelijke tentconstructie is na plaatsing nog Legionella aangetroffen in luchtmetingen in de buitenlucht. In deze constructie zaten verschillende kieren en gaten (zie afbeelding 5.1). De tent was niet op maat gemaakt en gehele afsluiting was niet mogelijk.



Afbeelding 5.1. Tentconstructie over een AWZI met nog zichtbare openingen.

Bij één AWZI bleken zeshoekige drijvers niet effectief voor de beluchtingstank. Nadat de drijvers waren geïnstalleerd werd de beluchting weer aangezet, waarna de drijvers naar de kant van de beluchtingstank dreven en geen goede afdekking meer aanwezig was.

Hung et al. (2010) onderzochten het effect van drijvende ballen van verschillende groottes op *E. coli* bacteriën in aerosolen boven een beluchtingsbak in laboratoriumsetting. Zij vonden dat de ballen zorgden voor een vermindering van 50% tot bijna 100% van aerosolen met bacteriën, waarbij meerdere lagen en kleinere ballen het effectiefst bleken. Verder onderzoek is nodig om te bepalen of dit ook effectief is voor Legionella in aerosolen en buiten een laboratoriumsetting.

Door Nederlandse AWZI's wordt momenteel (voorjaar 2019) geëxperimenteerd met drijvende pontons en drijvende ballen, hier zijn nog geen resultaten van beschikbaar.

5.2.2 *Desinfectie van de lucht*

Wanneer een beluchtingstank afgedekt en afgezogen wordt, dient de lucht ook te worden gedesinfecteerd, bijvoorbeeld door middel van UV-straling. Er is literatuur beschikbaar die suggereert dat dit effectief zou kunnen zijn (Chang et al., 2013; Josset et al., 2010; Prussin et al., 2017). Mogelijk zijn andere desinfectiemethoden van lucht ook effectief. Hier moet nader onderzoek naar worden verricht.

5.2.3 *Beluchting en zuurstofbeluchting*

Beluchting met fijnere luchtbellens leidt tot minder aerosolvorming dan beluchting met grotere bellens. Dit is in meerdere studies consistent aangetoond (Korzeniewska, 2011; Michalkiewicz and Kruszelnicka, 2018). Sánchez-Monedero et al. (2008) vonden dat beluchtingssystemen die het afvalwater mechanisch in beweging brengen, zoals horizontale rotors en oppervlakteturbines, meer aerosolen vormen (tussen de 450 en 4580 kve/m³) dan beluchtingssystemen die gebruikmaken van luchtdiffusie (tussen de 22 en 57 kve/m³). Echter, studies die specifiek onderzoek naar het effect van verschillende types beluchting op Legionella in aerosolen hebben gedaan, zijn niet bekend. Het type beluchting biedt dus mogelijk handelingsperspectief om aerosolvorming te reduceren, maar het zal nader onderzocht moeten worden of dit daadwerkelijk de verspreiding van Legionella vermindert.

Door zuivere zuurstof te gebruiken voor de beluchting in plaats van lucht kan de luchtdoorvoer mogelijk met 80% worden gereduceerd en toch dezelfde hoeveelheid zuurstof gedoseerd worden. Dit kan voor verminderde aerosolvorming zorgen, maar dit zal onderzocht moeten worden, evenals het effect op de menging van het afvalwater. De installatie voor opslag en doseren van de zuurstof vraagt extra ruimte op het terrein van de AWZI en extra veiligheidsmaatregelen.

5.3 **Verspreiding legionellabacteriën uit AWZI via effluent beperken of voorkomen**

De verspreiding van Legionella via effluent zou gereduceerd moeten worden indien het effluent weer wordt hergebruikt (direct of indirect via lozing op oppervlaktewater dat gebruikt wordt). Echter, indien via het effluent geen blootstelling kan plaatsvinden zijn extra maatregelen mogelijk niet nodig.

Om de hoeveelheid legionellabacteriën in het effluent (aan het eind van de zuivering) te reduceren of onder de detectiegrens te brengen, zijn er verschillende mogelijkheden. Er kan worden gedesinfecteerd door middel van een UV-behandeling of met chemische desinfectiemiddelen. Ook filtratie, met behulp membranen, kan de hoeveelheid *Legionella* in het effluent verlagen.

Factoren die moeten worden overwogen bij de keuze voor een desinfectiemethode voor het effluent zijn onder meer de samenstelling (chemisch en microbiologisch) van het effluent, de toxiciteit van een

eventueel chemisch desinfectiemiddel, en de vorming van desinfectiebijproducten.

De effectiviteit van desinfectiemethoden wordt vaak vastgesteld met behulp van indicatororganismen, zoals *E. coli*. Daarnaast kan er ook gebruik gemaakt worden van procesindicatoren (bijvoorbeeld troebelheid, deeltjestelling). Voor legionellaverwijdering is minder informatie beschikbaar.

Een algemeen nadeel bij het gebruik van chemische desinfectiemiddelen is de vorming van ongewenste bijproducten. Dit speelt een rol bij chloordosering, en ook bij gebruik van ozon en peroxide. Daarom is het zaak om de dosering van het desinfectiemiddel goed af te stemmen op de gewenste mate van desinfectie, zodat de vorming van bijproducten wordt beperkt.

5.3.1 UV

Een UV-behandeling is een mogelijke maatregel om de concentratie Legionella in het effluent te reduceren (Caicedo et al., 2019). In de drinkwaterbehandeling wordt UV veelvuldig als desinfectiestap gebruikt. Noguiera et al. (2016) verkregen door UV 1,6 – 3,4 log-reductie¹ van legionellabacteriën in het effluent.

De effectiviteit van de UV-straling kan sterk dalen als het water troebel is, organische of anorganische stoffen bevat die de UV-straling (sterk) absorberen, of door deeltjes in het effluent. Dit kan bij een UV-behandeling van effluent van AWZI's het geval zijn. Voor een effectieve UV-behandeling van het effluent zal waarschijnlijk een veel hogere UV-dosis nodig zijn dan bijvoorbeeld voor de drinkwaterbehandeling. Het energieverbruik gaat hiermee omhoog.

Als de deeltjes in het effluent te groot zijn, kan het voorkomen dat volledig desinfecteren met UV ook bij een relatief hoge UV-dosis niet mogelijk is.

Effluent van een warme deelstroombehandeling bevat vaak nog wat slib en is vrij donker van kleur, waardoor UV-behandeling zonder extra behandeling minder effectief is.

Daarnaast is het mogelijk dat legionellabacteriën zich bevinden in protozoa of in delen van protozoa waardoor ze niet de (volledige) dosis krijgen en kunnen overleven. Of een UV-behandeling van het effluent effectief is, zal per effluentstroom bepaald moeten worden.

5.3.2 Waterstofperoxide

Waterstofperoxide wordt vaak in combinatie gebruikt met UV-straling of met ozon. Op deze manier worden OH-radicalen geproduceerd met een sterke en oxiderende werking. Collivignarelli et al. (2018) geven echter aan dat de vorming van deze hydroxylradicalen niet altijd een toegevoegde waarde heeft voor de desinfectie en dat UV-behandeling zonder toevoeging van waterstofperoxide mogelijk effectiever is. Indien zowel UV als waterstofperoxide wordt toegepast werden er vrijwel geen

¹Voor de reductie van het aantal legionellabacteriën in de zuivering wordt gebruik gemaakt van logreductie in Log₁₀ eenheden. Bij 1 logreductie wordt het aantal legionellabacteriën (of andere micro-organismen) met een factor 10 verminderd. Bijvoorbeeld 1 logreductie is 90% reductie van de bacteriën en 2 logreductie is 99% vermindering.

legionellabacteriën meer gedetecteerd (Noguiera et al., 2016). Dit is echter alleen voor een korte periode toegepast.

5.3.3 *Ozon*

Ozon (O₃) kan gebruikt worden om effluent te desinfecteren. Voor een bepaalde logreductie is zowel de concentratie van ozon als de contacttijd van belang, de zogenoemde milligram minuut per liter (mg min/L). Collivignarelli et al. (2018) rapporteren een 2-log reductie (99%) van bacteriën bij een dosis van 3-4 mg min/L. Legionellabacteriën zijn in deze studie niet meegenomen (Collivignarelli et al., 2018). Als grote hoeveelheden effluent moeten worden gedesinfecteerd kan dit leiden tot de dosering van grote hoeveelheden ozon. De effectiviteit van ozon voor desinfectie van legionellabacteriën zal verder onderzocht moeten worden.

5.3.4 *Chloor*

Chloor, in de vorm van hypochloriet (HOCl) of chloordioxide (ClO₂), is een bekend desinfectiemiddel. Voor een bepaalde logreductie is zowel de concentratie van het desinfectiemiddel als de contacttijd van belang. Collivignarelli et al. (2018) rapporteerden een 2-log reductie van bacteriën bij een chloordosering van 0,1-0,2 mg min/L en 10-12 mg min/L voor een 4-log reductie. Voor legionellabacteriën kan dit hoger zijn. Bij gebruik van chloordioxide zijn hogere doseringen nodig, respectievelijk 8-10 en 50-70 mg min/L voor 2- en 4-log reductie van bacteriën. Als grote hoeveelheden effluent moeten worden gedesinfecteerd kan dit leiden tot de dosering van grote hoeveelheden chloor. De effectiviteit van chloordosering voor het reduceren van Legionella in het effluent en het effect op het oppervlaktewater zullen verder onderzocht moeten worden.

5.3.5 *Zandfiltratie*

Met een zogenoemd langzaam zandfilter (filtratiesnelheid van 3-8 meter per dag) is het mogelijk om 2-logreductie (99%) te bereiken van verschillende micro-organismen (Collivignarelli et al., 2018). De filterwerking zorgt voor de verwijdering van de micro-organismen en uiteindelijk voor afdoding.

In een langzaam zandfilter op laboratoriumschaal werd ook een daling waargenomen van het aantal legionellabacteriën (Calvo-Bado et al., 2003). Echter, gebruik van zandfilters bij hogere (omgevings)temperaturen werd afgeraden vanwege risico op legionellagroei.

Daarnaast is een uitbraak van legionellose door een whirlpool beschreven waarbij de pathogene stam was geïsoleerd uit het zandfilter dat werd gebruikt voor zuivering van het water (Jernigan et al., 1996). Langzame zandfiltratie is een robuuste methode om microbiologisch veilig water te produceren. Voor verwijderen van legionella in effluent is het waarschijnlijk niet effectief genoeg en is er kans op legionellagroei in het zandfilter. Een nadeel is ook dat deze filters relatief veel ruimte innemen; een membraanfiltratie systeem is veel compacter.

5.3.6 *Membraanfiltratie*

Microfiltratie en ultrafiltratie zijn vormen van membraanfiltratie waarmee voorkomen kan worden dat deeltjes, bacteriën en virussen terechtkomen in het effluent. Voor indicatororganismen, zoals *E. coli*, wordt met ultrafiltratie een verwijdering gerapporteerd van 4 log (Collivignarelli et al., 2018). Voor legionellabacteriën in het effluent kan een vergelijkbare effectiviteit verwacht worden.

Membraandoorslag is hier een punt van aandacht en uit Nederlandse casuïstiek blijkt dat een doorslag met hoge concentraties legionellabacteriën mogelijk is. Door kleine beschadigingen aan de membranen kunnen Legionellabacteriën doorslibben en de verwijderingsefficiëntie sterk dalen. Indien de membranen in of direct na een biologische reactor zijn geplaatst wordt gesproken over een MBR.

5.4 **Persoonlijke beschermingsmaatregelen werknemers**

Meerdere werknemers hebben legionellose opgelopen door het werken aan of vlakbij een AWZI (zie paragraaf 3.1). Wanneer *Legionella* is aangetoond in de AWZI kan met de bedrijfsarts of arbocoördinator worden overlegd welke maatregelen geschikt zijn om blootstelling van de medewerkers te voorkomen.

Om blootstelling aan legionellabacteriën te voorkomen wordt voorgesteld om effectieve adembescherming te dragen tijdens het werken bij een AWZI, bijvoorbeeld een Filtering Facepiece Particals (FFP) type 3-masker als persoonlijke beschermingsmaatregel. Hierdoor worden werknemers beschermd tegen het inademen van legionellabacteriën.

Indien werknemers een baard hebben kan een FFP3-masker mogelijk niet goed afsluiten en zou een (half)gelaatsmasker een goed alternatief kunnen zijn. Daarnaast is het aan te bevelen goede instructie te geven over het gebruik van deze persoonlijke beschermingsmiddelen en het onderhoud hiervan.

Een andere aanvullende maatregel is, voordat men een installatie (risicovol voor besmetting met *Legionella*) betreedt waar veel aerosolvorming plaatsvindt, de beluchting uit te zetten, zodat de ruimte minder aerosolen bevat tijdens de werkzaamheden. Het hangt echter af van de situatie wanneer de aerosolen sterk verminderd zijn en de ruimte na het uitzetten kan worden betreden. Hierover zijn geen gegevens beschikbaar. Ook is deze maatregel alleen mogelijk wanneer het geen nadelige effecten heeft op het zuiveringsproces.

5.5 **Kennishiaten**

Er zijn in dit rapport een aantal kennishiaten benoemd op het gebied van het beheersen van legionellagroei of –verspreiding. Hieronder volgt een overzicht van de belangrijkste ontbrekende kennis:

Aerosolvorming door beluchting: hoewel informatie beschikbaar is over de mate van aerosolvorming bij verschillende typen beluchting, is niet bekend welk type AWZI-beluchting wel of niet *Legionella* in de lucht brengen zodat verspreiding over grotere afstand mogelijk is.

Aerosolvorming en verspreiding door weersomstandigheden en hoogte van beluchtingstank: bij de Nederlandse casuïstiek wordt verspreiding

van Legionella over een afstand van meer dan 1,5 km en mogelijk meer dan 3 km gerapporteerd. Het is niet bekend onder welke (weers)omstandigheden deze verspreiding mogelijk is en wat voor invloed de hoogte van de beluchtingstank heeft op de mate van verspreiding. Een hoge luchtvochtigheid lijkt wel een rol te spelen in de stijging van het aantal legionellose-meldingen (Brandsema et al., 2014).

Welke factoren zorgen voor remming legionellagroei: in de literatuur is vooral informatie te vinden over factoren die zorgen voor legionellagroei in AWZI's maar niet over factoren die zorgen voor remming. Het is mogelijk dat in een AWZI met als risicogradatie 'zeer aannemelijk' geen legionellabacteriën worden aangetroffen. Kennis over het microbioom en procescondities die een nadelig effect hebben op de legionellagroei ontbreekt nog.

Het is niet mogelijk om aan een uitslag van monster af te leiden wat het gezondheidsrisico is en wanneer acties noodzakelijk zijn. Een dosisresponsrelatie ontbreekt en door het vuile water is het lastig Legionella, waaronder *L. pneumophila*, te kweken. Hierdoor kunnen monsters negatief zijn terwijl er wel Legionella aanwezig kan zijn. De uitslag van qPCR is nog moeilijk te plaatsen in vergelijking met de kweekuitslagen door het detecteren van DNA van dode bacteriën en mogelijke verstoringen door het vuile water. Verbeterde technieken en standaard procedures kunnen hierin mogelijk verbetering brengen.

6 Discussie

Opstellen risicocriteria

Op basis van literatuuronderzoek zijn vier risicocriteria geformuleerd die gebruikt kunnen worden om de geïdentificeerde AWZI's door ODNL en STOWA een risicogradatie toe te kennen voor de kans op verspreiding van *Legionella* door AWZI's. De criteria zijn:

- Type zuivering. Een biologische zuivering leidt tot verhoogd risico;
- Type industrie. Industrie met nutriëntrijk afvalwater leidt tot verhoogd risico;
- Temperatuur van het proceswater. Watertemperaturen tussen 25–45 °C leiden tot legionellagroei, casuïstiek is beschreven bij watertemperaturen tussen 30-38 °C;
- Beluchting. Toevoegen van lucht aan het water leidt tot aerosolvorming en voldoende zuurstof tot legionellagroei.

Vervolgens is op basis van (de mate van) aanwezigheid van de risicofactoren een risicogradatie gemaakt. De risicogradatie geeft aan of legionellaverspreiding vanuit de beluchtingstank en effluent van een AWZI: 'zeer aannemelijk', 'aannemelijk', 'mogelijk' of 'niet aannemelijk' is.

Met betrekking tot het type zuivering is biologische zuivering een risicofactor. Bij 7 van de 8 in de literatuur beschreven casussen betrof het een biologische zuivering. Bij 1 casus is het type zuivering niet beschreven. Binnen de biologische zuiveringen wordt geen verder onderscheid gemaakt naar type biologische zuivering. De Nederlandse casuïstiek betrof een specifiek type zuivering: gebruik van MBR met Anammox-bacteriën. Uit de buitenlandse casuïstiek kon echter niet afgeleid worden wat voor type biologische zuivering de directe of indirecte bron was. Veelal werd alleen vermeld dat er gebruikgemaakt wordt van 'actief slib'. Gezien de publicatiedata is het niet aannemelijk dat het allemaal een MBR is met Anammox-bacteriën omdat deze techniek pas de afgelopen jaren in opkomst is.

Uit de beschreven casuïstiek (i.e. AWZI is meest waarschijnlijke bron) blijkt dat het vrijwel altijd om industrieën met nutriëntrijk afvalwater ging. Bij een aantal casussen was niet precies omschreven wat voor type industrie het betrof maar wel dat het bijvoorbeeld om levensmiddelen ging. Het is niet uitgesloten dat naast levensmiddelenindustrie, hout- en papierindustrie, petrochemische bedrijven, destructiebedrijven en rioolwaterzuiveringsinstallaties, ook andere industrieën nutriëntrijk afvalwater zuiveren waarin een hoge concentratie *Legionella* aanwezig is en kan worden verspreid naar de omgeving. Hiervoor ontbreekt echter gepubliceerde casuïstiek.

Hoewel in de casuïstiek de watertemperatuur steeds tussen de 30-38 °C was, is het aannemelijk dat ook bij een afvalwatertemperatuur van 25-29 °C of 39-45 °C groei en verspreiding van *Legionella* kan optreden. Dit is gebaseerd op de groeifactoren van *L. pneumophila*. Casuïstiek bij AWZI's met deze temperaturen ontbreekt echter vooralsnog.

Vervolgonderzoek waarbij via modellering wordt bekeken of patiënten gerelateerd kunnen worden aan AWZI's leidt mogelijk tot identificatie van dergelijke installaties of met een mogelijk hogere of lagere watertemperatuur dan tot nu werd gevonden. Bij een afvalwatertemperatuur van <math>< 20\text{ }^\circ\text{C}</math> is groei van legionella en verspreiding niet uitgesloten maar is een hoge concentratie *L. pneumophila* niet te verwachten. Een hogere concentratie van andere, mogelijk pathogene, legionellasoorten is niet uitgesloten.

Ook in een RWZI zonder warme deelstroom maar waar een (aanzienlijk) deel van de afvalwaterstroom afkomstig is van industrieën met nutriëntrijk, warm afvalwater is een hoge concentratie *L. pneumophila* mogelijk. Bij de uitbraak in Warstein bestond een derde van het te zuiveren afvalwater door een RWZI uit het industriële afvalwater van een brouwerij (rijk aan nutriënten en met een afvalwatertemperatuur van 30-35 °C) waarin een zeer hoge concentratie Legionella aangetoond werd. Uit bemonsteringsonderzoeken moet blijken of ook in vergelijkbare situaties waar RWZI afvalwater ontvangen van risicovolle industrieën (nutriëntrijk afvalwater met temperatuur 30-38 °C) hoge concentraties legionellabacteriën in deze RWZI's kunnen worden aangetroffen.

Beluchting is van invloed op de aerosolvorming. Risicodifferentiatie tussen de verschillende typen beluchting was niet mogelijk op basis van de casuïstiek. Ook is niet duidelijk onder welke omstandigheden de verspreiding van legionella op grotere afstand door een AWZI mogelijk is. De IWZI in Boxtel was internationaal de eerste gepubliceerde casus waarbij mensen zeer waarschijnlijk over een afstand van meer dan 1,5 km zijn besmet (Loenenbach et al., 2018). Eerder was een verspreiding beschreven tot 300 meter (Nguyen et al., 2006). Grotere afstanden werden alleen toegeschreven aan natte koeltorens (Nguyen et al., 2006); (Maise et al., 2015). De hoogte en positie van de beluchtingstank kan een rol spelen in de verspreiding. Het modelleringsonderzoek geeft hierin mogelijk meer inzicht.

Uit acht casussen konden vier risicocriteria worden vastgesteld. Criteria die de legionellagroei of -verspreiding in biologische AWZI's remmen, bijvoorbeeld bepaalde weersomstandigheden, konden niet worden geformuleerd op basis van de casuïstiek. Mogelijk dat nog meer kenmerken van belang zijn om tot een betere risico-inschatting te komen. Uit vervolgonderzoek moet blijken of deze risicocriteria volledig zijn of dat uit voortschrijdend inzicht aanpassingen noodzakelijk zijn.

Inschatting aantal risicovolle AWZI's

Voor het bepalen van het aantal risicovolle AWZI's is gebruikgemaakt van de gegevens die zijn aangeleverd door ODNL en STOWA. In totaal werden 709 AWZI's geïdentificeerd; mogelijk is de inventarisatie niet helemaal compleet. Van 567 van de 709 AWZI's kon een risico-inschatting worden gemaakt.

De kans op legionellagroei en -verspreiding is bij 12 RWZI's (2%) zeer aannemelijk en bij 69 IWZI's (10%) aannemelijk tot zeer aannemelijk. Bij 140 AWZI's (20%) de kans op legionellagroei en -verspreiding niet aannemelijk is en bij 346 van de geïdentificeerde AWZI's (49%) mogelijk. Bij de risico-inschatting zijn al genomen maatregelen om

verspreiding van Legionella via de lucht of het effluent tegen te gaan niet meegenomen.

De uitgevoerde risico-inschatting heeft een aantal beperkingen:

- Tijdens de inventarisatie door de OD's waren de vastgestelde risicocriteria zoals vermeld in dit rapport nog niet bekend. Bij de inventarisatie is uitgegaan van de groeifactoren van *L. pneumophila* en gevraagd naar afvalwater 25-45 °C. Hierdoor is het niet mogelijk te bepalen of er sprake is van een 'zeer aannemelijk' risico. Wel konden deze IWZI's ingedeeld worden in de risicogradaties 'aannemelijk' tot 'zeer aannemelijk'. Aanvullende informatie over de aanwezigheid van temperaturen tussen 30-38 °C is nodig om een betere risico-inschatting te kunnen maken.
- Voor de 315 RWZI's waarbij de kans op legionellagroei en -verspreiding 'mogelijk' is, is het niet bekend hoeveel van deze installaties nutriëntrijk industrieel afvalwater ontvangen. Door de combinatie van nutriëntrijk industrieel afvalwater en een gunstige groeitemperatuur voor Legionella in dit afvalwater is het mogelijk dat hoge aantallen Legionella in de RWZI terechtkomen en daardoor de kans op verspreiding van Legionella vanuit de RWZI toeneemt.
- Bij 142 van de geïnventariseerde IWZI's (20%) kon geen risico-inschatting gemaakt worden omdat de overige industrieën met een biologische zuivering (87 IWZI's) niet vallen onder de risicovolle industrie of omdat informatie over één of meerdere aanwezige risicocriteria ontbrak (55 IWZI's).

Preventieve (beheers)maatregelen

Informatie over effectieve preventieve maatregelen om verspreiding van pathogene legionella naar de omgeving te voorkomen is beperkt. Dit wordt mede veroorzaakt doordat AWZI's –ook internationaal– pas recent geïdentificeerd zijn als bron van legionellose. Bij AWZI's die eerder als waarschijnlijke bron zijn beschreven (casuïstiek) zijn verschillende tijdelijke en permanente maatregelen genomen. Het dragen van een FFP3-masker door werknemers tijdens werkzaamheden in of vlak naast de AWZI is een voorbeeld van een effectieve maatregel, mits het masker volgens de voorschriften wordt gedragen.

De effectiviteit op de langere termijn van verschillende beheersmaatregelen is echter vaak nog onbekend. Voorbeelden hiervan zijn:

- Een anaerobe stap om de concentratie legionella in het afvalwater te reduceren (Nogueira et al., 2016).
- Afdekken van de beluchtingstank met bijvoorbeeld pontons of drijvende ballen (*persoonlijke communicatie*)
- Gebruik van zuiver zuurstof in plaats van normale beluchting (Caicedo et al., 2019).
- Behandelen van het effluent met een extra zuiveringsstap, zoals UV of toevoeging biociden (Collivignarelli et al., 2018).

Veel van de genoemde maatregelen zijn gericht op het beperken of voorkomen van legionellaverspreiding via de lucht of het effluent. De hoge concentratie Legionella in de AWZI blijft echter aanwezig en bij problemen met de afdekking of bij onderhoudswerkzaamheden kan

mogelijk toch verspreiding naar de omgeving plaatsvinden. Een duurzame oplossing is om het zuiveringsproces aan te passen zodat legionellagroei wordt voorkomen of in ieder geval zo veel mogelijk wordt beheerst. Toevoegen van lage concentraties biociden is echter niet effectief gebleken. Hoge concentraties biociden zijn niet mogelijk omdat hierdoor ook de biologische zuivering niet meer werkt. Biologische zuivering bij een lage temperatuur (<25 °C) is mogelijk maar minder efficiënt en het kost veel energie om afvalwater met een hoge temperatuur terug te koelen (*persoonlijke communicatie*). Meer onderzoek is gewenst naar het microbiom in de afvalwaterzuivering en naar de mogelijkheden om (tijdelijk) de omstandigheden voor legionellagroei ongunstig te maken (Caicedo et al., 2019). Dit leidt mogelijk (tijdelijk) tot een minder efficiënte zuivering maar wel tot een vermindering van het legionellarisico. Het gebruik van effluent voor vernevelende bedrijfsprocessen op het terrein van de AWZI heeft tot ziekte geleid. Een preventieve maatregel om blootstelling te voorkomen is om verneveling van dit water te verbieden.

Monitoring; monstername en -analyse

Door het ontbreken van een relatie tussen concentratie Legionella in AWZI en kans op veteranenziekte (dosisresponsrelatie) en beperkingen van de huidige detectiemethoden is het niet mogelijk om acties te adviseren bij een bepaalde concentratie; i.e. vaststellen van 'actielevels' (zie paragraaf 2.1.2.). Daarmee is het ook niet mogelijk een uitspraak te doen bij welke concentratie Legionella een nabehandeling van het effluent of maatregelen bij de beluchtingstank noodzakelijk zijn om het gezondheidsrisico te beperken. Vooralsnog zal hiervoor per situatie een afweging gemaakt moeten worden door de eigenaar van de AWZI en de handhaver. Wanneer er bij een AWZI een verhoogde kans op legionellagroei en –verspreiding is, is het aan te bevelen de aanwezigheid van legionella (periodiek) in de zuivering en het effluent te monitoren. Ook al is er een verhoogde kans op legionellagroei en –verspreiding, dan is het niet altijd zo dat er ook Legionella bij de AWZI wordt aangetroffen. Echter, wanneer een verhoogde concentratie Legionella wordt aangetroffen dan is het aan te bevelen om het bevoegd gezag hiervan op de hoogte te stellen. Indien legionellabacteriën in het effluent en/of oppervlaktewater waarop het effluent wordt geloosd worden gedetecteerd kan het bevoegd gezag overwegen om bedrijven te informeren die op enkele kilometers het oppervlaktewater innemen voor de koeltorens. Deze bedrijven kunnen zo nodig hun legionella-beheer (tijdelijk) aanpassen door extra monitoring en/of biocidedosering. Het is echter ook van belang te kijken naar langetermijneffecten op de legionellaconcentratie in het oppervlaktewater waarop het effluent wordt geloosd. Voor de monitoring van het afvalwater en effluent is het aan te bevelen de kweekmethode te gebruiken, geschikt voor vuil water (NEN-EN-ISO 11731; zie paragraaf 2.1.3.). Hoewel dit de meest geschikte methode is voor dit type water blijft het lastig om Legionella te detecteren.

Kennishiaten

Uit de literatuur en gesprekken met (ervarings)deskundigen blijkt dat er nog veel kennishiaten zijn over de legionellarisico's bij AWZI's en de mogelijkheden om de risico's te voorkomen of te beheersen. Zo is bijvoorbeeld nog onduidelijk of elk type beluchting leidt tot aerosolvorming en of genomen maatregelen effectief zijn. Het ministerie van IenW heeft het RIVM in het najaar van 2018 al opdracht gegeven voor twee vervolgonderzoeken om meer inzichten te krijgen in de problematiek:

- Via modellering wordt bepaald of meer patiënten in Nederland besmet zijn door Legionella afkomstig van AWZI's. De resultaten kunnen meer inzicht geven of en zo ja welke AWZI's tot besmettingen hebben geleid. Op basis daarvan kunnen de criteria voor de risicobeoordeling zo nodig worden aangepast, bijvoorbeeld: toevoegen van een ander type industrie met biologische zuivering.
- Bij 5 locaties wordt via luchtmetingen de effectiviteit van de genomen beheersmaatregelen bepaald. De resultaten kunnen bijdragen aan meer kennis over de mogelijkheden om legionellaverspreiding te voorkomen of te beheersen.

De resultaten van beide onderzoeken worden in het najaar van 2019 verwacht. Voor overige kennishiaten zijn aanbevelingen geformuleerd.

7 Conclusie en aanbevelingen

7.1 Conclusie

Risicocriteria bij AWZI's

Op basis van literatuurstudie zijn 4 risicocriteria opgesteld waarmee een risico-inschatting gemaakt kan worden hoe aannemelijk de kans is op groei en verspreiding van legionellabacteriën door AWZI's. Het betreft de volgende risicocriteria voor een AWZI:

- met een biologisch zuiveringsproces;
- van een type industrie met nutriëntrijk afvalwater (Papier- en houtindustrie, petrochemische industrie, destructiebedrijven en levensmiddelenindustrie);
- waar het afvalwater (deels) een temperatuur heeft waarbij (optimale) groei kan plaatsvinden: optimale groei 30-38 °C, groei 25-29 °C en 39-45 °C;
- en beluchting plaatsvindt (aerobe zuivering).

Risico-inschatting AWZI's

Door de ODNL en Stowa waren 709 AWZI's geïdentificeerd maar mogelijk zijn er nog meer AWZI's in Nederland. Van 567 AWZI's kon een risico-inschatting worden gemaakt, waarbij bij 486 AWZI's de kans op Legionellagroei en verspreiding niet aannemelijk (140) of mogelijk (346) is. Bij 12 RWZI's is de kans op Legionellagroei en -verspreiding zeer aannemelijk en bij 69 IWZI's aannemelijk tot zeer aannemelijk. Van 142 van de 709 AWZI's kon geen risico-inschatting gemaakt worden omdat informatie ontbrak.

Potentiële beheersmaatregelen

Bij AWZI's die de waarschijnlijke bron waren voor legionellose zijn verschillende maatregelen genomen om blootstelling aan legionellabacteriën te beperken of te voorkomen. Het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen, bij voorkeur FFP3-mondmasker, is een effectieve maatregel om werknemers te beschermen tegen blootstelling. Er zijn ook potentiële maatregelen om legionellagroei en -verspreiding te beperken, zoals afdekken van de beluchtingstank met zeil, gebruik van zuiver zuurstof voor de beluchting en nabehandeling van het effluent met UV-licht. Als een beluchtingstank wordt afgedekt is het wel belangrijk dat er geen overdruk ontstaat. Bij overdruk dient van een afzuigingsinstallatie gebruikgemaakt te worden waarmee wordt voorkomen dat legionella in de omgeving komt.

Gegevens over de effectiviteit van beheersmaatregelen zijn nog beperkt. Een indicatie van de effectiviteit van de beheersmaatregelen waarmee aerosolverbreiding wordt voorkomen kan worden verkregen door het nemen van luchtmonsters.

7.2 Aanbevelingen

Er is aanvullend onderzoek nodig om meer inzicht te krijgen in hoe groei en verspreiding van legionellabacteriën kunnen worden voorkomen of beheerst:

- Welke factoren spelen een rol bij het ontstaan van aerosolen en de verspreiding daarvan? Wat is de invloed van de hoogte van beluchtingstank en het type beluchting;
- Onder welke omstandigheden kunnen aerosolen met Legionella zich over langere afstand verspreiden en over welke afstand? Deze kennis draagt ook bij aan het verbeteren van de bronopsporing;
- Welke maatregelen zijn mogelijk om de legionella-vermeerdering in het zuiveringsproces zo veel mogelijk te beperken;
- Inzicht krijgen onder welke condities wel en geen vermeerdering van Legionella optreedt door AWZI's, uitslagen van legionella-analyses verzamelen en de kenmerken van deze AWZI's registreren. Ook nagaan wat het langetermijneffect is op de legionellaconcentratie in het oppervlaktewater waarop effluent wordt geloosd. Hiermee wordt een beter inzicht verkregen bij welke condities geen groei optreedt en bij welke condities (hoge) concentraties legionella worden verwacht in AWZI's, het effluent en het oppervlaktewater. Een voorbeeld waar meer inzicht is gewenst: RWZI's zonder warme deelstroom die afvalwater ontvangen van industrieën waar een hoge concentratie legionellabacteriën zeer aannemelijk is.

Beleidsadviezen naar aanleiding van de kennisinventarisatie.

Dit betreft beleidsadviezen die voortvloeien uit de conclusie van de kennisinventarisatie.

- Een volledig overzicht van de AWZI's in Nederland is nodig en ontbrekende of onbekende informatie uit de inventarisatie dient te worden aangevuld. Dit overzicht dient te worden bijgehouden en beschikbaar te worden gesteld om informatie-uitwisseling tussen toezichthouders en GGD'en mogelijk te maken. Deze informatie is van belang voor bronopsporing en preventie.
- Stel een procedure op hoe om te gaan met meldingen van legionellabacteriën in een AWZI en het effluent, waarbij ook aandacht is voor interpretatie van de uitslagen van de bemonsteringen.
- Voeg aan de Arbocatalogus richtlijnen toe over het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen door werknemers die in of naast een biologische AWZI werken;
- Bepaal of landelijke regels of richtlijnen voor AWZI's noodzakelijk zijn om blootstelling aan legionella zo veel mogelijk te voorkomen.

Dankwoord

Wij willen graag Diany Stoel en Mark van Rijn (Omgevingsdienst Brabant Noord), Imke Leenen en Cora Uijterlinde (STOWA) en Petra Brandsema (RIVM) bedanken voor hun inhoudelijke bijdrage. Ook willen we de omgevingsdiensten bedanken voor het uitvoeren van de inventarisatie. Tot slot bedanken we alle geraadpleegde collega's, deskundigen, handhavers en beheerders van AWZI's voor het delen van hun kennis.

Literatuurlijst

Abu Khweek, A. and A. O. Amer (2018). "Factors Mediating Environmental Biofilm Formation by Legionella pneumophila." *Front Cell Infect Microbiol* 8: 38.

Allestam, G., B. de Jong and J. Langmark (2006). Chapter 119: Biological Treatment of Industrial Wastewater: a Possible Source of Legionella Infection. N. Cianciotto, Y. Kwaik, P. Edelstein et al., ASM Press: 493-496.

Anoniem (1979). Wet milieubeheer. Ministerie van Infrastructuur en Milieu. BWBR0003245.

Anoniem (1997). Arbeidsomstandighedenbesluit. WBJA/W2/96/1537. Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. BWBR0008498.

Anoniem (2017). "Water - Telling van Legionella." NEN-EN-ISO 11731 2017.

Anoniem (2018) "Legionella pneumophila in tweede biologische afvalwaterzuivering." *Infectieziekten Bulletin* 2018-04.

Bartram, J., Y. Chartier, J. V. Lee, K. Pond and S. Surman-Lee (2007). Legionella and the prevention of legionellosis. Geneva, Switzerland, World Health Organization.

Blatny, J. M., B. A. Reif, G. Skogan, O. Andreassen, E. A. Hoiby, E. Ask, V. Waagen, D. Aanonsen, I. S. Aaberge and D. A. Caugant (2008). "Tracking airborne Legionella and Legionella pneumophila at a biological treatment plant." *Environ Sci Technol* 42(19): 7360-7367.

Brandsema, P. S., S. M. Euser, I. Karagiannis, J. W. Den Boer and W. Van Der Hoek (2014). "Summer increase of Legionnaires' disease 2010 in The Netherlands associated with weather conditions and implications for source finding." *Epidemiol Infect* 142(11): 2360-2371.

Brissaud, F., E. Blin, S. Hemous, L. Garrelly (2008). "Water reuse for urban landscape irrigation: aspersion and health related regulations." *Water Sci Technol* 57, 781-787.

Buunen, A., P. Clevering-Loeffen, M. Leusden, J. van Opijnen and W. Wiegant (2017). Handboek stikstof- en fosforverwijdering uit communaal afvalwater op RWZI's, Stowa. 46.

Cai, L., T. Zhang (2013). "Detecting human bacterial pathogens in wastewater treatment plants by a high-throughput shotgun sequencing technique." *Environ Sci Technol* 47, 5433-5441.

- Caicedo, C., K. H. Rosenwinkel, M. Exner, W. Verstraete, R. Suchenwirth, P. Hartemann and R. Nogueira (2019). "Legionella occurrence in municipal and industrial wastewater treatment plants and risks of reclaimed wastewater reuse: Review." *Water Res* 149: 21-34.
- Calvo-Bado, L. A., T. R. Pettitt, N. Parsons, G. M. Petch, J. A. Morgan and J. M. Whipps (2003). "Spatial and temporal analysis of the microbial community in slow sand filters used for treating horticultural irrigation water." *Appl Environ Microbiol* 69(4): 2116-2125.
- Castor, M. L., E. A. Wagstrom, R. N. Danila, K. E. Smith, T. S. Naimi, J. M. Besser, K. A. Peacock, B. A. Juni, J. M. Hunt, J. M. Bartkus, S. R. Kirkhorn and R. Lynfield (2005). "An outbreak of Pontiac fever with respiratory distress among workers performing high-pressure cleaning at a sugar-beet processing plant." *J Infect Dis* 191(9): 1530-1537.
- Catalan, V., F. Garcia, C. Moreno, M.J. Vila, D. Apraiz (1997). "Detection of Legionella pneumophila in wastewater by nested polymerase chain reaction." *Res Microbiol* 148, 71-78.
- Chang, C. W., S. Y. Li, S. H. Huang, C. K. Huang, Y. Y. Chen and C. C. Chen (2013). "Effects of ultraviolet germicidal irradiation and swirling motion on airborne Staphylococcus aureus, Pseudomonas aeruginosa and Legionella pneumophila under various relative humidities." *Indoor Air* 23(1): 74-84.
- Collivignarelli, M. C., A. Abbà, I. Benigna, S. Sorlini and V. Torretta (2018). "Overview of the Main Disinfection Processes for Wastewater and Drinking Water Treatment Plants." 10(1): 86.
- Corre, M. H., V. Delafont, A. Legrand, J. M. Berjeaud and J. Verdon (2018). "Exploiting the Richness of Environmental Waterborne Bacterial Species to Find Natural Legionella pneumophila Competitors." *Front Microbiol* 9: 3360.
- De Vogel, D. (2018). Gebruikerservaringen met Demon® en Anammox® in deelstroombehandelingen STOWA. 2018-70.
- Den Boer, J. W., S. M. Euser, P. Brandsema, L. Reijnen and J. P. Bruin (2015). "Results from the National Legionella Outbreak Detection Program, the Netherlands, 2002-2012." *Emerg Infect Dis* 21(7): 1167-1173.
- Den Boer, J. W., E. P. Yzerman, J. Schellekens, K. D. Lettinga, H. C. Boshuizen, J. E. Van Steenberg, A. Bosman, S. Van den Hof, H. A. Van Vliet, M. F. Peeters, R. J. Van Ketel, P. Speelman, J. L. Kool and M. A. Conyn-Van Spaendonck (2002). "A large outbreak of Legionnaires' disease at a flower show, the Netherlands, 1999." *Emerg Infect Dis* 8(1): 37-43.
- Dobrowsky, P. H., S. Khan and W. Khan (2017). "Resistance of Legionella and Acanthamoeba mauritaniensis to heat treatment as determined by relative and quantitative polymerase chain reactions." *Environ Res* 158: 82-93.

Escoll, P., M. Rolando, L. Gomez-Valero and C. Buchrieser (2013). "From amoeba to macrophages: exploring the molecular mechanisms of *Legionella pneumophila* infection in both hosts." *Curr Top Microbiol Immunol* 376: 1-34.

Falkinham, J. O., A. Pruden and M. Edwards (2015). "Opportunistic Premise Plumbing Pathogens: Increasingly Important Pathogens in Drinking Water." *Pathogens* 4(2): 373-386.

Fields, B. S., R. F. Benson and R. E. Besser (2002). "Legionella and Legionnaires' disease: 25 years of investigation." *Clin Microbiol Rev* 15(3): 506-526.

Fliermans, C. B. (1996). "Ecology of Legionella: From Data to Knowledge with a Little Wisdom." *Microb Ecol* 32(2): 203-228.

Fraser, D. W., T. R. Tsai, W. Orenstein, W. E. Parkin, H. J. Beecham, R. G. Sharrar, J. Harris, G. F. Mallison, S. M. Martin, J. E. McDade, C. C. Shepard and P. S. Brachman (1977). "Legionnaires' disease: description of an epidemic of pneumonia." *N Engl J Med* 297(22): 1189-1197.

Gregersen, P., K. Grunnet, S. A. Uldum, B. H. Andersen and H. Madsen (1999). "Pontiac fever at a sewage treatment plant in the food industry." *Scand J Work Environ Health* 25(3): 291-295.

Huang, S.W., B.M. Hsu, P.H. Ma, K.T. Chien (2009). "Legionella prevalence in wastewater treatment plants of Taiwan." *Water Sci Technol* 60, 1303-1310.

Hung, H. F., Y. M. Kuo, C. C. Chien and C. C. Chen (2010). "Use of floating balls for reducing bacterial aerosol emissions from aeration in wastewater treatment processes." *J Hazard Mater* 175(1-3): 866-871.

Isozumi, R., Y. Ito, I. Ito, M. Osawa, T. Hirai, S. Takakura, Y. Iinuma, S. Ichiyama, K. Tateda, K. Yamaguchi and M. Mishima (2005). "An outbreak of Legionella pneumonia originating from a cooling tower." *Scand J Infect Dis* 37(10): 709-711.

Jernigan, D. B., J. Hofmann, M. S. Cetron, C. A. Genese, J. P. Nuorti, B. S. Fields, R. F. Benson, R. J. Carter, P. H. Edelstein, I. C. Guerrero, S. M. Paul, H. B. Lipman and R. Breiman (1996). "Outbreak of Legionnaires' disease among cruise ship passengers exposed to a contaminated whirlpool spa." *Lancet* 347(9000): 494-499.

Ji, P., W. J. Rhoads, M. A. Edwards and A. Pruden (2017). "Impact of water heater temperature setting and water use frequency on the building plumbing microbiome." *Isme j* 11(6): 1318-1330.

Ji, P., W. J. Rhoads, M. A. Edwards and A. Pruden (2018). "Effect of heat shock on hot water plumbing microbiota and *Legionella pneumophila* control." *Microbiome* 6(1): 30.

- Josset, S., S. Hajiesmaili, D. Begin, D. Edouard, C. Pham-Huu, M. C. Lett, N. Keller and V. Keller (2010). "UV-A photocatalytic treatment of Legionella pneumophila bacteria contaminated airflows through three-dimensional solid foam structured photocatalytic reactors." *Journal of Hazardous Materials* 175(1-3): 372-381.
- Korzeniewska, E. (2011). "Emission of bacteria and fungi in the air from wastewater treatment plants - a review." *Front Biosci (Schol Ed)* 3: 393-407.
- Kruit, J., E. G. Wypkema and A. Visser (1999). Procedure voor de keuze van het beluchtingssysteem, STOWA. 1999-024.
- Kulkarni, P., N.D. Olson, J.N. Paulson, M. Pop, C. Maddox, E. Claye, R.E. Rosenberg Goldstein, M. Sharma, S.G. Gibbs, E.F. Mongodin, A.R. Sapkota (2018). "Conventional wastewater treatment and reuse site practices modify bacterial community structure but do not eliminate some opportunistic pathogens in reclaimed water." *Sci Total Environ* 639, 1126-1137.
- Kusnetsov, J., L. K. Neuvonen, T. Korpio, S. A. Uldum, S. Mentula, T. Putus, N. N. Tran Minh and K. P. Martimo (2010). "Two Legionnaires' disease cases associated with industrial waste water treatment plants: a case report." *BMC Infect Dis* 10: 343.
- Loenenbach, A. D., C. Beulens, S. M. Euser, J. P. G. van Leuken, B. Bom, W. van der Hoek, A. M. R. Husman, W. L. M. Ruijs, A. A. Bartels, A. Rietveld, J. W. den Boer and P. S. Brandsema (2018). "Two Community Clusters of Legionnaires' Disease Directly Linked to a Biologic Wastewater Treatment Plant, the Netherlands." *Emerg Infect Dis* 24(10): 1914-1918.
- Lund, V., W. Fonahn, J. E. Pettersen, D. A. Caugant, E. Ask and A. Nysaeter (2014). "Detection of Legionella by cultivation and quantitative real-time polymerase chain reaction in biological waste water treatment plants in Norway." *J Water Health* 12(3): 543-554.
- Ma, J., Z. Wang, L. Zang, J. Huang, Z. Wu (2015). "Occurrence and fate of potential pathogenic bacteria as revealed by pyrosequencing in a full-scale membrane bioreactor treating restaurant wastewater." *Royal Society of Chemistry Advances* 5, 24469-24478.
- Maisa, A., A. Brockmann, F. Renken, C. Luck, S. Pleischl, M. Exner, I. Daniels-Haardt and A. Jurke (2015). "Epidemiological investigation and case-control study: a Legionnaires' disease outbreak associated with cooling towers in Warstein, Germany, August-September 2013." *Euro Surveill* 20(46).
- Medema, G.J., B. Wullings, P. Roeleveld, D. Van der Kooij (2004). "Risk assessment of Legionella and enteric pathogens in sewage treatment works." *Water Science & Technology Water Supply* 4, 125-132.

Messi, P., S. de Niederhausern, I. Anacarso, R. Iseppi, C. Sabia and M. Bondi (2017). "Legionella pneumophila in healthcare settings: sensitivity to biocidal treatments in mono- and multi-species biofilms." *J Hosp Infect* 97(2): 200-201.

Metcalf & Eddy, I. (2003). *Wastewater engineering: treatment and reuse*, 4th edition. McGraw-Hill, New York.

Michalkiewicz, M. and I. Kruszelnicka (2018). "The Variability of the Concentration of Bioaerosols Above the Chambers of Biological Wastewater Treatment." *ECOL CHEM ENG S.* 25(2): 267-278.

Mirzaee, S.A., M. Nikaeen, Y. Hajizadeh, B.F. Nabavi, A. Hassanzadeh (2015). "Detection of Legionella spp. by a nested-PCR assay in air samples of a wastewater treatment plant and downwind distances in Isfahan." *Adv Biomed Res* 4, 48.

Nguyen, T. M., D. Ilef, S. Jarraud, L. Rouil, C. Campese, D. Che, S. Haeghebaert, F. Ganiayre, F. Marcel, J. Etienne and J. C. Desenclos (2006). "A community-wide outbreak of legionnaires disease linked to industrial cooling towers--how far can contaminated aerosols spread?" *J Infect Dis* 193(1): 102-111.

Nogueira, R., K. U. Utecht, M. Exner, W. Verstraete and K. H. Rosenwinkel (2016). "Strategies for the reduction of Legionella in biological treatment systems." *Water Sci Technol* 74(4): 816-823.

Olsen, J. S., T. Aarskaug, I. Thrane, C. Pourcel, E. Ask, G. Johansen, V. Waagen and J. M. Blatny (2010). "Alternative routes for dissemination of Legionella pneumophila causing three outbreaks in Norway." *Environ Sci Technol* 44(22): 8712-8717.

Palmer, C.J., Y.L. Tsai, C. Paszko-Kolva, C. Mayer, L.R. Sangermano (1993). Detection of Legionella species in sewage and ocean water by polymerase chain reaction, direct fluorescent-antibody, and plate culture methods. *Appl Environ Microbiol* 59, 3618-3624.

Pascual, L., S. Perez-Luz, A. Amo, C. Moreno, D. Apraiz, V. Catalan (2001). Detection of Legionella pneumophila in bioaerosols by polymerase chain reaction. *Can J Microbiol* 47, 341-347.

Prussin, A. J., 2nd, D. O. Schwake and L. C. Marr (2017). "Ten Questions Concerning the Aerosolization and Transmission of Legionella in the Built Environment." *Build Environ* 123: 684-695.

Reukers, D. F. M., L. van Asten, P. S. Brandsema, F. Dijkstra, G. A. Donker, A. B. van Gageldonk-Lafeber, M. Hooiveld, M. M. A. de Lange, S. Marbus, A. C. Teirlinck, A. Meijer and W. van der Hoek (2018). Annual report Surveillance of influenza and other respiratory infections: Winter 2017/2018 = Surveillance van griep en andere luchtweginfecties: winter 2017/2018. RIVM rapport. 2018-0049.

Roll, B., R.S. Fujioka (1995). "Detection of Legionella bacteria in sewage by polymerase chain reaction and standard culture method." *Water Science & Technology* 31, 409-416.

Sanchez-Monedero, M. A., M. I. Aguilar, R. Fenoll and A. Roig (2008). "Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants." *Water Res* 42(14): 3739-3744.

Schalk, J.A.C., A.E. Docters van Leeuwen, W.J. Lodder, H. de Man, S. Euser, J.W. den Boer, A.M. de Roda Husman (2012). "Isolation of Legionella pneumophila from Pluvial Floods by Amoebal Coculture." *Appl Environ Microbiol* 78 (12): 4519-4521.

Sonder, G. J., J. A. van den Hoek, L. P. Bovee, F. E. Aanhane, J. Worp, M. Du Ry van Beest Holle, J. E. van Steenberg, J. W. den Boer, E. P. Ijzerman and R. A. Coutinho (2008). "Changes in prevention and outbreak management of Legionnaires disease in the Netherlands between two large outbreaks in 1999 and 2006." *Euro Surveill* 13(38).

Spaan, S., L. Smith, M. J. Visser, H. J. J. M. Arts, I. M. Wouters and D. Heederik (2004). Blootstelling aan endotoxinen en het voorkomen van klachten bij werknemers van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Utrecht, STOWA. 2004-41.

Steinert, M., U. Hentschel and J. Hacker (2002). "Legionella pneumophila: an aquatic microbe goes astray." *FEMS Microbiol Rev* 26(2): 149-162.

van Heijnsbergen, E., J. A. Schalk, S. M. Euser, P. S. Brandsema, J. W. den Boer and A. M. de Roda Husman (2015). "Confirmed and Potential Sources of Legionella Reviewed." *Environ Sci Technol* 49(8): 4797-4815.

van Nieuwenhuijzen, A. F., A. van Bentem, B. A. Reitsma and P. de Jong (2007). Het actief-slibproces, STOWA. 24.

Versteegh, J. F. M., P. S. Brandsema, W. J. Lodder, A. M. de Roda Husman, J. A. C. Schalk and N. G. F. M. van der Aa (2009). Betekenis van Legionella-soorten voor preventiebeleid van leidingwaterinstallaties. RIVM Briefrapport. 609715003.

Wadowsky, R. M., R. Wolford, A. M. McNamara and R. B. Yee (1985). "Effect of temperature, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring Legionella pneumophila in potable water." *Appl Environ Microbiol* 49(5): 1197-1205.

Whiley, H. and R. Bentham (2011). "Legionella longbeachae and legionellosis." *Emerg Infect Dis* 17(4): 579-583.

Bijlagen

Bijlage 1. Overzicht van publicaties waarin detectie van *L. pneumophila* en andere *Legionella spp.* in AWZI's wordt beschreven

Tabel 8.1. Overzicht van publicaties waarin de aanwezigheid van legionellabacteriën of legionella-DNA in AWZI's zijn beschreven. De 8 casussen in tabel 3.2 zijn niet in deze tabel opgenomen.

n.b. = niet beschreven. * percentage positieve monsters met tussenhaakjes absoluut aantal positieve monsters

Artikel	RWZI of IWZI	Temperatuur water	Detectie methode	Aantal positief / totaal aantal	Luchtmeting resultaten
Palmer et al. 1993	RWZI	n.b.	Kweek	1 / 4 <i>Legionella spp.</i> , max. 500 cells/ml Geen <i>L. pneumophila</i>	Nee
			PCR	60 / 60 <i>Legionella spp.</i> 3/60 <i>L. pneumophila</i>	
			DFA	7/7 <i>Legionella spp.</i> 7/7 <i>L. pneumophila</i>	
Roll and Fujioka 1995	RWZI	n.b.	Kweek	27 / 55 positief. Meeste bij influent (12/18). gemiddeld 190 – 203 kve/ml.	Geen <i>L. pneumophila.</i> (0/9) <i>Legionella spp.</i> 3/9 <10 ² cell/ml
			PCR	1/54 <i>L. pneumophila</i> <10 ³ cells/ml. Bijna alle monsters <i>Legionella spp.</i> (52/54) >10 ³ cell/ml.	
Catalan et al. 1997	1 RWZI	n.b.	Kweek	0/12 Niet te bepalen door overgroei	Nee
			PCR	9/12 <i>L. pneumophila</i>	

Artikel	RWZI of IWZI	Temperatuur water	Detectie methode	Aantal positief / totaal aantal	Luchtmeting resultaten
Pascual et al. 2001	RWZI. Met actief slib	9,5 – 20,8°C	PCR	Geen watermonsters, alleen luchtbemonstering uitgevoerd.	3/9 <i>L. pneumophila</i> voorbehandeling. 1/9 bij beluchtingstank
Medema et al. 2004	5x RWZI	n.b.	Kweek	0/7 Legionella spp. (<20 - <200 kve/ml).	0/5 RWZI. Geen legionella.
			PCR	7/7 legionella spp. Ca. 10 ⁵ GU/ml.	3/5 RWZI's positief. 0,56 – 56 n/m ³
Castor et al. 2005	AWZI, suikerverwerkingsindustrie. Biologisch (opslag in vijver)	n.b.	Kweek	4/4 <i>L. pneumophila</i> Tot 1,0 x 10 ⁵ kve/ml	Nee
Allestam et al. 2006	43 biologische IWZI's	Gemiddeld 37 °C	Kweek	28 /43 (66%) AWZI's positief <i>Legionella spp.</i>	Nee
Brissaud et al. 2008	1x biologische RWZI	20 - 30 °C	PCR	Aantal monsters: n.b. Outlet: <i>Legionella spp.</i> 10 ⁶ – 3.10 ⁷ GU/l. Effluent: 2.10 ⁵ – 7.10 ⁶ GU/l Rhone rivier: 10 ⁵ – 10 ⁶ GU/l <i>L. pneumophila</i> : rivier 5.100 GU/l	Nee
Huang et al. 2009	17 RWZI's en IWZI's.	Gemiddelde 22,1 °C – 24,9 °C	PCR	10/17 RWZI's <i>Legionella spp.</i> 2/10 <i>L. pneumophila</i> (RWZI en IWZI ziekenhuis)	Nee
Schalk et al. 2012	5 RWZI's	n.b.	Amoebekweek	3/5 RWZI <i>Legionella spp.</i> 1/5 RWZI <i>L. pneumophila</i> Influent RWZI: 4/5 <i>Legionella spp.</i> 2/5 <i>L. pneumophila</i>	Nee

Artikel	RWZI of IWZI	Temperatuur water	Detectie methode	Aantal positief / totaal aantal	Luchtmeting resultaten
Cai and Zhang 2013	2 RWZI. Actief slib	22-32 °C en 24-32 °C	PCR	Legionella aangetoond maar geen verdere details.	Nee
Lund et al. 2014	8 RWZI. bio en chemisch	7-15 °C	Kweek	3% (1) <i>Legionella spp.</i> * 3% (1) <i>L. pneumophila</i> *	Nee
			PCR	98% (125) <i>Legionella spp.</i> * 30% (37) <i>L. pneumophila</i> *	
	8 IWZI zuivel-industrie	20-30 °C	Kweek	0% (0) <i>Legionella spp.</i> * 0% (0) <i>L. pneumophila</i> *	
			PCR	100% (102) <i>Legionella spp.</i> * 33% (34) <i>L. pneumophila</i> *	
	9 IWZI Petro-chemisch	25-35 °C	Kweek	36% (13) <i>Legionella spp.</i> * 14% (5) <i>L. pneumophila</i> *	
			PCR	99% (118) <i>Legionella spp.</i> * 65% (80) <i>L. pneumophila</i> *	
	4 IWZI Houtindustrie:	35-40 °C	Kweek	44% (7) <i>Legionella spp.</i> * 38% (6) <i>L. pneumophila</i> *	
			PCR	100% (34) <i>Legionella spp.</i> * 65% (40) <i>L. pneumophila</i> *	
	4 IWZI Overig. (aardappelverwerking, chemisch houtverwerking) actief slib	20-35 °C	Kweek	0% (0) <i>Legionella spp.</i> * 0% (0) <i>L. pneumophila</i> *	
			PCR	100% (57) <i>Legionella spp.</i> * 46% (27) <i>L. pneumophila</i> *	

Artikel	RWZI of IWZI	Temperatuur water	Detectie methode	Aantal positief / totaal aantal	Luchtmeting resultaten
Ma et al. 2015	1x IWZI Biologisch met MBR	n.b.	PCR	Geen aantallen. <i>Legionella spp.</i> meer in actief slib dan influent aangetoond.	Nee
Mirzaee et al. 2015	RWZI actief slib. Horizontale oppervlakte beluchting.	n.b.	PCR	Geen watermonsters, alleen luchtbemonstering uitgevoerd	1/9 boven beluchtingtank, 1/9 belt filter press, en 250 m downwind. Totaal 54 samples; 6% positief.
Kulkarni et al. 2018	4 RWZI's Actief slib 2x	n.b.	PCR	3/4 RWZI <i>Legionella spp.</i> Geen aantallen GU/L. Groei vindt plaats in RWZI.	Nee

Bijlage 2. Vragenlijst Omgevingsdiensten

Algemene informatie

- Naam Industrieel AWZI
- Postcode
- Adres (locatie waar de waterzuivering staat)
- Plaats
- Bevoegd gezag

Type zuivering

- Biologische zuivering
Zo ja, vanaf welk jaar biologisch?
Zo ja, wanneer is deze voor het laatst aangepast?
- Proces: Aeroob - anaeroob proces - combinatie -
- Afkomst afvalwater
- Verhoogde watertemperatuur (25-45 °C)
- Beluchting?
- Hoogte beluchtingsbassins
- Overdekt/dicht?
- Hoe worden afvalwater en slib gescheiden?

Effluent

- Wordt effluent uit waterzuivering nog gebruikt voor andere processen?
- Waar wordt het effluent op geloosd?
- Welke RWZI of oppervlaktewater?

Afstand tot woonbebouwing

- Afstand tot woonbebouwing

Koeltorens

- Is er op het betreffende bedrijf een natte koeltoren aanwezig?
- Zijn er in de nabije omgeving (<600 meter) andere natte koeltorens aanwezig? Zo ja, waar?

Toelichting

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag