



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

Kunnen luchtwassers legionella verspreiden naar de omgeving?

RIVM rapport 150017001/2013

A.A. Bartels | J.A.C. Schalk | R.W. Melse



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

Kunnen luchtwassers legionella verspreiden naar de omgeving?

RIVM Rapport 150017001/2013

Colofon

© RIVM 2013

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

A.A. Bartels, LCHV/RIVM
J.A.C. Schalk, RIVM
R.W. Melse, Wageningen UR Livestock Research

Contact:

A.A. Bartels
Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid, onderdeel van het
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
abartels@lchv.nl

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het LCHV.

Dankwoord

Graag willen wij Dhr dr. F. Oesterholt van KWR, Dhr B.-J.A.J. Kordes van Kordes Advies, Mw. Drs. M. Kraaij-Dirkzwager, Mw. dr. A. Dusseldorp, en Mw. Prof. Dr. A.M. de Roda Husman van het RIVM bedanken voor het kritisch doorlezen van het rapport.

Rapport in het kort

Kunnen luchtwassers legionella verspreiden naar de omgeving?

Industrieën en veehouderijen gebruiken luchtwassers om ongewenste chemische of organische stoffen, gassen of geuren te verwijderen uit lucht of gas. Onder bepaalde condities (temperatuur en zuurgraad), kan legionella in bepaalde typen natte luchtwassers uitgroeien. Als waternevel het systeem kan verlaten, is niet uit te sluiten dat legionella zich naar de omgeving kan verspreiden. Of legionella daadwerkelijk bij deze luchtwassers groeit en zich verspreidt, moet nader worden onderzocht.

Dit blijkt uit literatuuronderzoek en interviews, uitgevoerd door het RIVM. Aanleiding zijn vragen van GGD-en en milieudiensten over mogelijke gezondheidsrisico's voor omwonenden door verspreiding van legionella via natte luchtwassers. Met deze installaties worden ongewenste componenten in de lucht verwijderd door de lucht in contact te brengen met verneveld water. Ook worden hiervoor in sommige typen wassers chemicaliën (zure en basische wassers) of bacteriën (biowassers) aan het waswater toegevoegd. Het waswater wordt vaak opgevangen en hergebruikt.

Legionella kan groeien in water als dat een neutrale zuurgraad heeft en een temperatuur van tussen de 20 en 50 graden Celsius. Stofwassers, biowassers en biofilters hebben een neutrale zuurgraad. De temperatuur kan onbedoeld stijgen als de luchtwassers bijvoorbeeld worden opgewarmd door apparaten in de directe omgeving of door een hoge buitentemperatuur. Bij zure luchtwassers met een zuurgraad onder de 4 en basische luchtwassers met een zuurgraad boven de 9 is legionellagroei niet waarschijnlijk.

Van de ongeveer 1.500 luchtwassers in de veehouderij bestaat circa 90 procent uit zure wassers met een zuurgraad van 4 of lager, waarin legionellagroei niet waarschijnlijk is. De overige 10 procent bestaat voornamelijk uit biowassers. In deze wassers is groei van legionella niet uit te sluiten als de watertemperatuur in de wassers hoger dan 20 graden Celsius wordt. In de industrie wordt ook gebruikgemaakt van biowassers en stofwassers, waarbij legionella-groei en -verspreiding niet uit te sluiten is. Uit het uitgevoerde onderzoek, kon niet worden vastgesteld bij hoeveel industriële luchtwassers dit het geval is.

Dit rapport biedt handvatten voor GGD-en en milieudiensten bij de beantwoording van vragen over legionellarisico's van luchtwassers.

Trefwoorden:

legionella, legionellapneumonie, luchtwasser, gaswasser, aerosolen, risico-inventarisatie

Abstract

Can wet airscrubbers spread *Legionella* to the environment?

Industrial plants and cattle farms use scrubber units to remove inorganic or organic substances, gasses or odours from air or gas. In theory, certain conditions of temperature and pH can favour the growth of *Legionella* in some types of wet air and gas scrubbers. If water droplets can leave the scrubber system, there is a possibility that *Legionella* will be able to spread to the environment. Further research is needed to determine if this can occur in practice.

These facts were revealed by a literature survey and interviews performed by the Dutch National Institute for Public Health and the Environment (RIVM) in response to questions from municipal health services and environmental services on possible health risks to people living in the vicinity of wet air or gas scrubber units due to the spread of *Legionella* bacteria from such units. These scrubbers remove unwanted substances from air or gas by treating it with fine water spray. Certain chemicals or bacteria may be added to the water in some types of scrubbers (e.g. acidic, caustic and bioscrubbers), and the scrubber water is often collected and reused.

Legionella can grow in water if it has a neutral pH and a temperature of between 20°C and 50°C, even for relatively short periods. Dust scrubbers, bioscrubbers and biofilters use water at a neutral pH, and the temperature may rise to within the 20-50°C range for example due to heating by nearby equipment or due to high ambient temperature. *Legionella* are unlikely to grow in acidic air scrubbers with a pH below 4 or caustic air scrubbers with a pH above 9.

About 90 per cent of the roughly 1,500 air scrubber units used in Dutch cattle husbandry is of the acidic type, with a pH of 4 or less, which are unlikely to represent a health hazard. The remaining 10 per cent consists of mainly bioscrubbers, which use bacteria to remove undesirable substances. Growth of *Legionella* in scrubbers of this kind cannot be excluded if their water temperature rises to above 20°C. The bioscrubbers and dust scrubbers used in Dutch industry could also act as sources of *Legionella*. From the literature survey and interviews it was not possible to determine how many of these types of air scrubbers are used in the various branches of industry. This report serves as guidance for municipal health services and environmental services to answer questions about *Legionella* risks of air scrubbers.

Keywords:

Legionella, Legionnaires' disease, air scrubber, gas scrubber, aerosols, risk inventory

Inhoudsopgave

1	Inleiding	13
1.1	Aanleiding onderzoek	13
1.2	Onderzoeksvragen en doelstellingen	14
1.3	Leeswijzer	14
2	Opzet deskstudie	17
2.1	Materiaal en methoden	17
2.1.1	Samenstelling groep deskundigen	17
2.2	Kader onderzoek	18
2.2.1	Inventarisatie luchtwassers	18
2.2.2	Protozoa en biofilm	19
2.2.3	Grondstof wasvloeistof	19
2.2.4	Stilstand waswater	19
3	Luchtwassers in Nederland	21
3.1	Wat zijn luchtwassers	21
3.2	Aantal luchtwassers in Nederland	22
3.3	Veehouderij vs. industrie	23
3.4	Werkingsprincipe verschillende typen luchtwassers	23
3.4.1	Stofwassers	24
3.4.2	Biologische wassers (biowassers)	28
3.4.3	Biofilters	32
3.4.4	Zure wassers	35
3.4.5	(Oxidatieve) Basische wassers	37
3.4.6	Overige wassers	38
3.4.7	Combiwassers	38
4	Groefactoren voor legionella	41
4.1	Groefactoren voor legionella in luchtwassers	41
4.1.1	Temperatuur	41
4.1.2	pH	41
4.1.3	Recirculatie water	42
4.1.4	Zuurstof	42
4.1.5	Biofilm en protozoa	42
4.1.6	Zout	42
4.1.7	Factoren die legionellagroei remmen of voorkomen	42
4.2	Overeenkomsten en verschillen met koeltorens	44
5	Aerosolvorming en -verspreiding door luchtwassers	49
5.1	Aerosolvorming in luchtwassers	49
5.2	Aerosolverspreiding naar de omgeving	49
5.3	Klimatologische omstandigheden	50
5.4	Positie luchtwasser ten opzichte van de omgeving	50
6	Risicoschatting	53
6.1	Indeling in risicocategorieën	53
6.2	Onderbouwing indeling risicocategorieën	54
6.2.1	Stofwassers en biowassers	54
6.2.2	Biofilter	56
6.2.3	(oxidatieve) Basische water	56
6.2.4	Zure water	57
6.2.5	Locatie en aerosolverspreiding	57
7	Conclusie	59
7.1	Conclusie	59

7.2	Aanbevelingen	60
7.2.1	Aanbevelingen voor vervolgonderzoek	61
7.2.2	Aanbevelingen voor legionellapreventie	61
7.2.3	Advies voor milieudiensten, GGD'en en andere overheidsorganisaties bij vragen over luchtwassers	62

Samenvatting

Afvalverwerkingsbedrijven, vlees- en visverwerkingsbedrijven, (petro)chemische industrie, andere industrieën en veehouderijen gebruiken luchtwassers om ongewenste chemische of organische stoffen, gassen of geuren te verwijderen uit verontreinigde lucht of gassen. Bij natte luchtwassers wordt gebruikgemaakt van verneveld water waaraan soms chemicaliën of bacteriën zijn toegevoegd om ongewenste componenten af te breken. Het waswater wordt vaak gerecirculeerd om kosten te besparen. Het werkingsprincipe van deze luchtwassers vertoont overeenkomsten met het werkingsprincipe van natte koeltorens. In 2011 en 2012 ontving het Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid (LCHV) verschillende vragen over volksgezondheidsrisico's voor omwonenden door mogelijke legionellaverspreiding door luchtwassers. Gegevens ontbreken om deze vragen goed onderbouwd te kunnen beantwoorden. Daarom is door middel van een literatuurstudie en door gesprekken met deskundigen bepaald of in luchtwassers condities aanwezig zijn waardoor groei van legionellabacteriën en verspreiding naar de omgeving via kleine waterdruppels (aerosolen) kan plaatsvinden. Hiervoor is eerst een inventarisatie gemaakt van de verschillende typen natte luchtwassers die worden gebruikt in de veehouderij en de industrie. Er is een onderverdeling gemaakt in stofwassers, biologische wassers, biofilters, zure wassers, basische wassers, combiwassers en overige wassers. Van elk typen luchtwasser is het werkingsprincipe en de constructie geïnventariseerd, en is bepaald of condities bij de verschillende luchtwassers zodanig zijn dat legionellabacteriën kunnen groeien. Tot slot is bekeken of luchtwassers aerosolen naar de omgeving kunnen verspreiden.

Legionella kan in theorie groeien in water als dat een neutrale zuurgraad heeft en een (tijdelijke) temperatuur van tussen de 20 en 50 graden Celsius. Stofwassers, biowassers en biofilters hebben een dergelijke zuurgraad. De temperatuur kan onbedoeld stijgen als deze luchtwassers bijvoorbeeld worden opgewarmd door apparaten in de directe omgeving of door een hoge buitentemperatuur. Ook groei van legionella in licht zure of basische luchtwassers is niet uit te sluiten. Bij zure luchtwassers met een zuurgraad (pH) ≤ 4 en basische luchtwassers met pH > 9 is legionella-groei niet waarschijnlijk.

Van de ongeveer 1.500 luchtwassers die worden gebruikt in de veehouderij, bestaat circa 90 procent uit zure wassers met pH ≤ 4 . De overige 10 procent bestaat voornamelijk uit biowassers, waarin legionellagroei niet uit te sluiten is. Ook kan bij deze wassers aerosolvorming optreden en is verspreiding van legionella naar de omgeving niet uit te sluiten. In de industrie wordt ook gebruikgemaakt van biowassers en daarnaast van stofwassers waarbij legionellagroei en -verspreiding aannemelijk is. Het was echter niet mogelijk te bepalen bij hoeveel industriële luchtwassers legionellaverspreiding zou kunnen plaatsvinden, doordat een overzicht van alle luchtwassers in de verschillende industrieën ontbreekt.

Op basis van de kans op legionellagroei en -emissie, zijn de verschillende typen luchtwassers onderverdeeld in acht risicocategorieën. Bij luchtwassers geplaatst in categorie 1 is legionellagroei en -emissie 'goed mogelijk' en bij de laatste 2 categorieën is dit 'zeer onwaarschijnlijk'. De overige risicocategorieën variëren van 'mogelijk', 'in sommige situaties mogelijk' tot 'niet waarschijnlijk'. Door het ontbreken van literatuur over legionellapneumonie-uitbraken veroorzaakt door luchtwassers en de beperkte gegevens over aerosolver spreiding, is op dit

moment een risicocategorie-indeling op basis van van locatie van luchtwassers ten opzichte van de (woon)omgeving niet mogelijk. Nader onderzoek is nodig om vast te stellen of bij biowassers, biofilters en stofwassers inderdaad groei van legionella kan optreden en of emissie van legionella kan plaatsvinden. Het RIVM adviseert om opwarming en verneveling van het waswater bij stofwassers en biowassers zo veel mogelijk te voorkomen.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

Gas- en luchtwasininstallaties¹ worden gebruikt om verontreinigde lucht die is ontstaan door een bedrijfsproces zo veel mogelijk te reinigen voordat emissie plaatsvindt naar de buitenlucht. Luchtwassers worden gebruikt bij uiteenlopende industrieën, zoals afvalverwerkingsbedrijven, vlees- en visverwerkingsbedrijven, en in de (petro)chemische industrie en metaalindustrie. Ook veehouderijen² gebruiken luchtwassers. Hiermee wordt voldaan aan de luchtemissienormen die zijn opgenomen in het Activiteitenbesluit (industrie) en in de Regeling ammoniak veehouderij (Rav). Een aantal typen luchtwassers gebruikt bij het 'wassen' van de verontreinigde lucht verneveld water, ook wel 'natte' luchtwassers genoemd. In 2008 heeft het Landelijk Overleg Infectieziektebestrijding (LOI) op advies van het Centrum Infectieziektebestrijding (CIb) vastgesteld dat natte luchtwassers een potentiële bron vormen voor legionella. Geadviseerd wordt om legionellapreventie bij deze installaties uit te voeren (LCHV-draaiboek, 2012). De legionelladeskundigen van het CIb hebben het advies destijds gebaseerd op een publicatie over drie uitbraken van legionellapneumonie (longontsteking) bij omwonenden door een industriële luchtwasser in Sarpsborg, Noorwegen (Nygård et al., 2008). Bovendien bleek uit schematische tekeningen en informatie van deskundigen dat het werkingsprincipe van luchtwassers overeenkomsten vertoont met het werkingsprincipe van natte koeltoreninstallaties³. In 2009 bleek uit een epidemiologische vervolgstudie van de Noorse uitbraken dat mensen tot 10 km geïnfecteerd waren met legionella en dat hierbij ook een waterzuiveringsinstallatie betrokken was (Wedege et al., 2009). In 2010 verscheen een tweede vervolgstudie waaruit bleek dat de luchtwasser in Sarpsborg de bron niet kon zijn, maar dat de waterzuiveringsinstallatie de naastgelegen rivier had besmet met legionellabacteriën, waardoor verspreiding op grote afstand mogelijk was (Olsen et al., 2010). Olsen et al. (2010) concludeerden dat legionella niet kon overleven in de Noorse luchtwasser vanwege de relatief hoge pH (pH 8-9) en temperatuur (40-45 graden Celsius). Het Landelijk Centrum Hygiëne en Veiligheid (LCHV/RIVM) kreeg in 2011 en 2012 van zowel GGD'en als van milieudiensten geregeld de vraag of luchtwassers een potentiële bron vormen voor legionella en of bij deze installaties legionellapreventie noodzakelijk is. Vanwege de veranderde inzichten over de legionellabron bij de Noorse uitbraak, bleek het gewenst om de onderbouwing van het huidige CIb/LOI-advies over luchtwassers te evalueren.

In Nederland zijn luchtwassers nooit geïdentificeerd als bron van legionella. Internationaal is alleen de luchtwasser in Noorwegen geassocieerd met een legionellapneumonie-uitbraak, naar later bleek ten onrechte. Hieruit zou kunnen worden geconcludeerd dat er geen transmissie van virulente legionellabacteriën kan plaatsvinden door luchtwassers. Echter, in Nederland kan slechts bij circa 5

¹ Voor de leesbaarheid wordt in dit rapport alleen de term 'luchtwassers' gebruikt. Hiermee wordt bedoeld: alle wasinstallaties waar verneveld water als medium wordt gebruikt – al dan niet met toegevoegde chemicaliën of bacteriën – om ongewenste chemische of organische stoffen, gassen of geuren te verwijderen uit verontreinigde lucht of gas. Indien een vergelijking wordt gemaakt tussen de werking van de verschillende typen luchtwassers, dan wordt ook de term 'luchtwassysteem' gebruikt

² Veehouderij is een verzamelnaam voor: paardenfokkerij, pelsdierfokkerij, pluimveehouderij, rendierhouderij, rundveehouderij, varkenshouderij en andere dieren die voor hun producten worden gehouden.

³ Natte koeltoreninstallatie: installatie gebruikt voor het afvoeren van overtollige warmte uit productieprocessen en gebouwen door middel van het vernevelen van water.

procent van de patiënten met een legionellapneumonie worden vastgesteld wat de bron voor de infectie is (Euser et al., 2011). In het milieu worden bij bekende bronnen als drinkwaterinstallaties en koeltorens tot nu toe zelden de legionellastammen aangetroffen die voor de meeste infecties verantwoordelijk zijn (Den Boer et al., 2008). Luchtwassers zijn niet eerder bemonsterd tijdens brononderzoek na uitbraken of clusters van legionellapneumonie in Nederland en kunnen dus in theorie verantwoordelijk zijn voor een deel van deze gevallen. Er zijn verschillende typen luchtwassystemen met elk een ander werkingsprincipe. Mogelijk dat er natte luchtwassers zijn waarin condities dusdanig zijn dat legionellabacteriën er wel in kunnen groeien en emissie van deze bacteriën kan plaatsvinden naar de buitenlucht.

Sinds enkele jaren registreren gemeenten natte koeltorens en wordt gecontroleerd of de Activiteitenregeling 3.16a met regels voor legionellapreventie bij deze installaties wordt nageleefd. Luchtwassers vallen echter niet onder deze Activiteitenregeling. Indien werknemers kunnen worden blootgesteld aan legionellabacteriën op de werkvloer, dan is wel de Arboret voor deze werknemers van toepassing. Voor zover bekend is er nog geen Arbocatalogus waarin specifieke maatregelen voor legionellapreventie bij luchtwassers zijn vastgelegd. In het Arbo-Informatieblad (AI)-32 worden wel richtlijnen gegeven voor legionellapreventie bij deze installaties (AI-32, 3^e druk). Het AI-32 is de richtlijn die kan worden gebruikt om te voldoen aan het Arbeidsomstandighedenbesluit en het Activiteitenbesluit. Hierin wordt geadviseerd om dezelfde maatregelen te nemen als bij natte koeltorens. Ook op Europees niveau worden luchtwassers als potentiële bron genoemd en zijn vergelijkbare richtlijnen opgesteld (ECDC, 2011; Health and Safety Executive, 2000).

1.2 Onderzoeksvragen en doelstellingen

- Kunnen in luchtwassers waarin water wordt verneveld *Legionella spp.*, en in het bijzonder *Legionella pneumophila*, groeien?
- Is emissie van legionellabacteriën door luchtwassers mogelijk en kunnen deze bacteriën terecht komen in de (woon)omgeving?

Om de onderzoeksvragen te beantwoorden heeft het LCHV (onderdeel van het RIVM) in samenwerking met het Centrum voor Zoönosen en Omgevingsmicrobiologie (Z&O/RIVM) en Wageningen UR Livestock Research een literatuurstudie uitgevoerd en deskundigen geïnterviewd. Dit onderzoek is bedoeld om mogelijke risico's bij de emissie van legionella door luchtwassers te inventariseren. Afhankelijk van de conclusie wordt overwogen om vervolgonderzoek uit te voeren op locatie, zodat kan worden vastgesteld of legionellabacteriën aanwezig zijn in luchtwassystemen, en zo ja, of emissie van deze bacteriën naar de omgeving kan plaatsvinden.

1.3 Leeswijzer

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen is gebruikgemaakt van literatuur, websites, factsheets en richtlijnen. Verder zijn er gesprekken gevoerd met fabrikanten/leveranciers, adviesbureaus, een eigenaar/beheerder en deskundigen. Een uitgebreide toelichting over de onderzoeksopzet en het kader van het onderzoek wordt gegeven in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 wordt een overzicht gegeven van de verschillende luchtwassystemen die gebruikmaken van watervernevelling. Per

luchtwassysteem wordt beschreven wat het werkingsprincipe is van de luchtwasser en bij welke sector deze worden gebruikt. In hoofdstuk 4 wordt per luchtwassysteem aangegeven welke groeibevorderende en/of groeiremmende omstandigheden voor *Legionella spp.* aanwezig kunnen zijn in de installatie en in het waswater. In hoofdstuk 5 wordt besproken of emissie van legionellabacteriën kan plaatsvinden door luchtwassystemen. In hoofdstuk 6 wordt aan de hand van de resultaten uit hoofdstuk 3 t/m 5 een risicoschatting gemaakt. In hoofdstuk 7 volgt de conclusie, met enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek en het uitvoeren van legionellapreventie, alsmede adviezen voor GGD'en en milieudiensten bij het beantwoorden van vragen over legionellarisico's van luchtwassers.

2 Opzet deskstudie

2.1 Materiaal en methoden

Het inventariserende onderzoek is opgebouwd uit drie onderdelen:

- Informatie verkrijgen over het aantal en de verschillende typen luchtwassers in Nederland (hoofdstuk 3). Het werkingsprincipe van elk systeem is beschreven door gebruik te maken van (online) factsheets, richtlijnen en websites van fabrikanten/leveranciers. Aanvullende informatie over het werkingsprincipe en samenstelling van het waswater is verkregen door gesprekken met deskundigen (zie Tabel 2.1).
- Vaststellen of er factoren in de luchtwassystemen aanwezig kunnen zijn die legionellagroei kunnen bevorderen (hoofdstuk 4). Hiervoor zijn de gegevens over het werkingsprincipe van de verschillende typen luchtwassers vergeleken met literatuur over het waswater van luchtwassers en met literatuur waarin groei- en overlevingsfactoren van legionellabacteriën zijn beschreven. Met deskundigen is besproken of bepaalde milieus in het waswater aanwezig kunnen zijn en wat voor invloed dit op protozoa en legionellabacteriën kan hebben.
- Bepalen bij welke luchtwassystemen aerosolvorming optreedt en of emissie van aerosolen met legionella kan plaatsvinden naar de omgeving (hoofdstuk 5). Hiervoor worden de gegevens over het werkingsprincipe van luchtwassers vergeleken met andere waterinstallaties waarvan bekend is dat ze legionella kunnen verspreiden, zoals natte koeltorens. Deskundigen zijn geraadpleegd voor aanvullende informatie over aerosolvorming en -emissie door luchtwassers.

2.1.1 Samenstelling groep deskundigen

Bij het samenstellen van de groep deskundigen was het uitgangspunt om mensen/instellingen te benaderen die een zo breed mogelijke kennis hebben over luchtwassers, over het microbiologische milieu van het waswater en groeicondities van legionella. Eerst zijn het kennisinstituut voor de installatiesector (ISSO), Kiwa Water Research (KWR), kenniscentrum InfoMil en het RIVM benaderd. Deze instituten is gevraagd naar hun kennis over luchtwassers en mogelijke groeifactoren voor legionella in deze waterinstallaties. Ook is gevraagd welke andere partijen meer informatie kunnen verschaffen. Via Wageningen UR Livestock Research is een lijst verkregen met elf leveranciers/fabrikanten van luchtwassers. Van deze benaderde leveranciers/fabrikanten hebben er vier informatie verstrekt over hun luchtwassystemen, over de samenstelling van het waswater, omgevingsfactoren en andere typen luchtwassystemen. Bij één fabrikant is contact geweest met de microbiologische afdeling voor meer informatie over het milieu in biologische wassers. Een andere fabrikant heeft via hun onderzoeksafdeling informatie verstrekt over het milieu en de temperatuur van het waswater.

Stichting Kennisuitwisseling Industriële Watertechnologie (SKIW) is benaderd voor meer informatie over industriële luchtwassers in Nederland. Met Ingenieursbureau Royal Haskoning DHV is contact geweest omdat dit bedrijf auteur is van het technisch informatiedocument 'Emissiebeperkende technieken', waarin de verschillende industriële luchtwassystemen worden besproken en omdat dit bedrijf ook kennis heeft over legionellapreventie bij waterinstallaties. Op advies van ISSO is gesproken met Kordes Advies. Dit bedrijf adviseert over legionellapreventie en waterbehandeling bij verschillende industriële waterinstallaties, waaronder luchtwassers en koeltorens. Aan een groot

industriële bedrijf is informatie gevraagd over de luchtwassers die ze gebruiken en of in het verleden legionella is geïsoleerd in wasinstallaties. Tot slot is er contact geweest met een adviseur omgevingsvergunningen van Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied voor informatie over regelgeving en milieuvergunningen bij industriële luchtwassers.

In Tabel 2.1 worden alle respondenten vermeld waarvan informatie is gebruikt in dit rapport. In de laatste kolom is aangegeven welke informatie is verkregen. In het rapport staat bij relevante uitspraken de instelling vermeld, gevolgd door 'pm' (persoonlijke mededeling). De gesprekken hebben in januari en februari 2013 plaatsgevonden.

Tabel 2.1 Lijst met geraadpleegde deskundigen/instellingen naast RIVM en Wageningen UR Livestock research

Instelling	Type instelling	Verkregen informatie
KWR	Kennisinstituut	Groefactoren legionella
InfoMil	Kennisinstituut	Luchtwassers (algemeen)
SKIW	Kennisinstituut	Industriële luchtwassers (algemeen)
Royal HaskoningDHV	Adviesbureau	Industriële luchtwassers; legionellagroei
Kordes Advies	Adviesbureau	Werking luchtwassers, milieu waswater, onderhoud, aerosolvorming
Dorset Farmsystems B.V.	Leverancier/fabrikant veehouderij en industrie	Werking eigen systeem en andere systemen; milieu waswater en aerosolvorming
Bovema / F-air	Leverancier/fabrikant veehouderij en industrie	Werking eigen systeem en andere systemen; milieu waswater en aerosolvorming
Skov	Leverancier/fabrikant veehouderij	Werking eigen systeem en andere systemen; milieu waswater, aerosolvorming en microbiologie
Bij auteur bekend	Leverancier/fabrikant veehouderij	Werking eigen systeem en andere systemen; milieu waswater en aerosolvorming
Grote industriële locatie	Eigenaar/beheerder industriële luchtwassers	Eigen luchtwassers/legionellagroei
Omgevingsdienst Noordzeekanaalgebied (NZKG)	Toezichtouder/ vergunningverlener	Milieuwetgeving

2.2 Kader onderzoek

2.2.1 Inventarisatie luchtwassers

Via literatuuronderzoek en interviews is getracht in beeld te brengen of er luchtwassers in de industrie en veehouderij zijn die mogelijk legionellabacteriën kunnen verspreiden naar de omgeving. In paragraaf 3.3 wordt toegelicht waarom bij deze inventarisatie een onderscheid is gemaakt in 'industrie' en 'veehouderij'. Het is mogelijk dat sommige (nieuwe) systemen die als 'natte' luchtwasser kunnen worden gezien, ontbreken in dit rapport. Er zijn veel verschillende soorten luchtwassers en, voor zover bekend, is er geen compleet overzicht beschikbaar van alle in gebruik zijnde luchtwassers in Nederland. Er is op dit moment geen reden om aan te nemen dat er natte luchtwassersystemen zijn

in de veehouderij en industrie die qua werkingsprincipe en samenstelling van het waswater heel erg afwijken van de in dit rapport beschreven luchtwassers. Luchtbevochtigings-/luchtreinigingsapparaten die gebruikt worden voor klimaatregulering in gebouwen worden soms ook 'luchtwassers' genoemd. In dit rapport worden alleen luchtwassers besproken die door de veehouderij en de industrie worden gebruikt voor het reinigen van lucht of gas afkomstig van bedrijfsprocessen.

2.2.2 *Protozoa en biofilm*

Legionellabacteriën in het milieu groeien in protozoa, zoals de amoeben *Hartmannella spp.*, *Naegleria spp.* en *Acanthamoeba castellanii* (Schalk et al., 2011). Deze eencelligen bevinden zich in allerlei vochtige omgevingen en vooral in biofilm⁴. De legionellabacteriën gebruiken de in de amoebe aanwezige voedingsstoffen om zich te vermeerderen. De bacteriën komen vrij uit de biofilm en worden door aerosolen verspreid naar de omgeving. Zowel de amoebe als de biofilm biedt de legionellabacterie enige bescherming tegen turbulente waterstromen, temperatuurswisselingen, pH-veranderingen en in het water aanwezige chemische stoffen (Declerck, 2010).

2.2.3 *Grondstof wasvloeistof*

Bij natte wassers wordt water als wasvloeistof gebruikt. De grondstof van dit water kan afkomstig zijn uit bijvoorbeeld ongezuiverd oppervlaktewater (rivieren, meren, zee), drinkwater van een drinkwaterbedrijf of grondwater uit een eigen winning (zelfstandige collectieve watervoorziening). Bij legionellapreventie van drinkwaterinstallaties, maar ook verschillende andere waterinstallaties, wordt het type grondstof meegenomen in de risicoanalyse. De gedachte hierbij is dat de samenstelling van het soort water wellicht gevolgen heeft voor de legionellagroei. Het mogelijke verschil in samenstelling van de grondstof wordt in dit rapport echter niet als een significant bevorderende of remmende groeifactor voor legionella gezien. Legionella kan in verschillende concentraties aanwezig zijn in al de genoemde waterbronnen, en bij gunstige groeifactoren is verdere groei van legionella mogelijk (Fliermans et al., 1981; Costa et al., 2005).

2.2.4 *Stilstand waswater*

Stilstand of onvolledige doorstroming van water wordt in richtlijnen voor legionellapreventie als AI-32 en ISSO 55.1-3 genoemd als een risicofactor voor vermeerdering van legionella in waterinstallaties. Ook in luchtwassers komt langdurige of incidentele stilstand of onvolledige doorstroming van waswater voor (Handhavingssamenwerking Noord-Brabant, 2010).

In de risicoschatting voor legionellagroei in de verschillende typen luchtwassers wordt mogelijke stilstand van het waswater niet meegenomen. Stilstand of onvolledige doorstroming hangt voornamelijk af van de wijze van gebruik, de monitoring en het onderhoud bij elke individuele locatie en niet van de constructie of het werkingsprincipe van een bepaald type luchtwasser. Daarnaast wordt met continue doorstroming in een recirculerende waterinstallatie legionellagroei niet voorkomen (Declerck, 2010). Wellicht zorgt continue doorstroming zelfs voor de bevordering van legionellagroei (Liu et al., 2006). Het wel of niet (periodiek) stilstaan van waswater wordt in dit rapport

⁴ Biofilm: populatie van micro-organismen in een matrix van slijm, die aan het inwendige oppervlak van een installatie is gehecht (Bron: *Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater, 2011*).

daarom niet gezien als een bepalende factor voor legionellagroei of -remming in luchtwassers.

3 Luchtwassers in Nederland

In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van luchtwassers waarbij het vernevelen van water onderdeel is van de reiniging. Per type 'natte' luchtwasser wordt een korte beschrijving gegeven van de werking en de constructie, waarbij vooral aandacht is voor de onderdelen van het luchtwassysteem die kunnen bijdragen aan legionellagroei en -verspreiding. In hoofdstuk 4 wordt vervolgens besproken hoe deze onderdelen de legionellagroei kunnen bevorderen en in hoofdstuk 5 hoe verspreiding naar de omgeving kan plaatsvinden.

3.1 Wat zijn luchtwassers

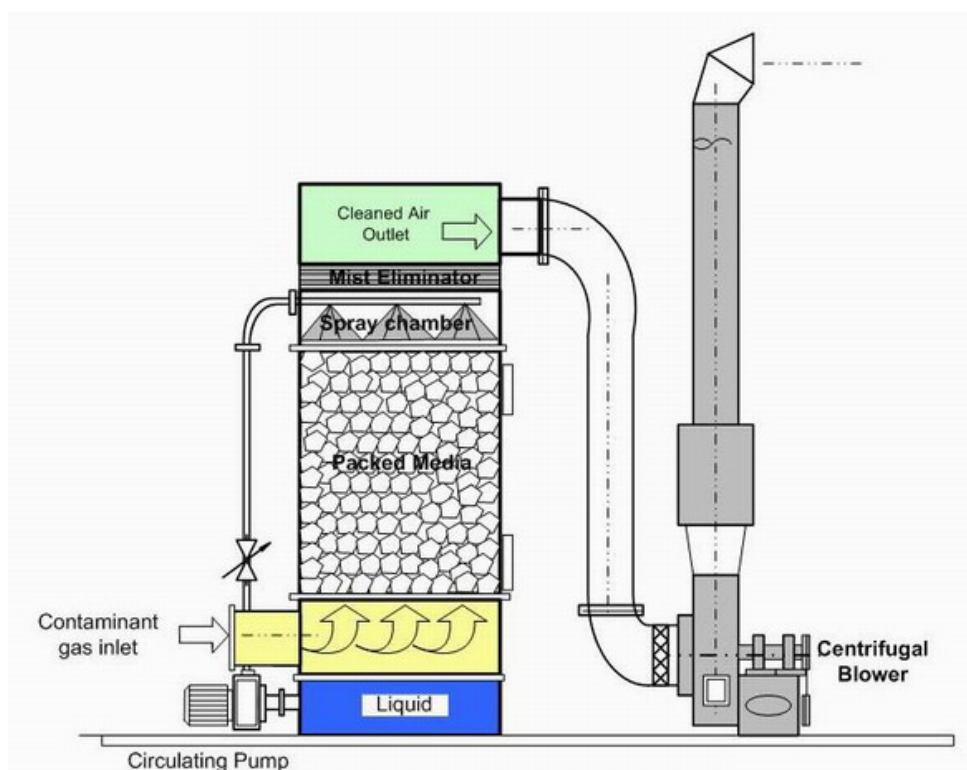
In het Activiteitenbesluit en de Rav zijn regels opgenomen voor luchtemissie naar de omgeving. Bedrijven moeten zich aan normen houden wat betreft emissie van fijnstof, chemicaliën, geuren en gassen naar de buitenlucht. Om aan deze normen te voldoen, bestaan er luchtemissie-beperkende technieken, zoals lucht- en gaswassersystemen (DHV, 2009; Melse en Willers, 2004). Lucht- en gaswassers verwijderen chemische of organische deeltjes, gassen en/of geuren uit een door een bedrijfsproces verontreinigde lucht of gas⁵.

Een veelgebruikt medium voor het wassen van verontreinigde lucht of gas is water. Dit wordt ook wel *nat* wassen (ofwel 'wet scrubbing') genoemd⁶. Daarnaast is er *droog* wassen (ofwel 'dry scrubbing', onder andere door filters) maar deze methode valt buiten het bereik van dit rapport en wordt verder niet besproken. Het werkingsprincipe van natte luchtwassers is dat de verontreinigde lucht of gas actief in contact wordt gebracht met verneveld water (zie Figuur 3.1). Soms is dat alleen water en vindt door dit contact absorptie van deeltjes of gassen plaats. Bij andere wassers vindt de reiniging plaats door in water aanwezige chemicaliën of bacteriën. Het vernevelen van dit behandelde water, al dan niet op een filterpakket ('packed bed', zie Figuur 3.1), zorgt voor een optimaal contact met de verontreinigde lucht.

Het actief in contact brengen van de verontreinigde lucht met het waswater wordt gedaan door ventilatoren. De ventilator kan zijn geplaatst vóór de wasinstallatie, waardoor de lucht door de wasinstallatie wordt 'geduwd', maar bij andere wasinstallaties is de ventilator aan het eind van het systeem geplaatst en wordt de lucht door de wasinstallatie 'getrokken'. De verontreinigde lucht en het water worden tegengesteld met elkaar in contact gebracht ('tegenstroom'; zie Figuur 3.1) of zijwaarts ('kruisstroom' of 'dwarsstroom'). Soms stroomt het water mee met de verontreinigde lucht ('meestroom'). In paragraaf 3.4 wordt in detail besproken wat voor typen natte wassers er zijn en wat het werkingsprincipe van elk luchtwassysteem is.

⁵ <http://en.wikipedia.org/wiki/Scrubber>

⁶ http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber



Figuur 3.1 Industriële natte luchtwater met filterpakket. Water wordt verneveld ('spray chamber') boven op het filterpakket ('packed media'). De vervuilde lucht ('contaminant gas inlet') wordt van onderen door dit filterpakket getrokken met behulp van een ventilator ('centrifugal blower'; tegenstroomprincipe). Vuile deeltjes en/of gas worden opgenomen door het waswater; al dan niet voorzien van chemicaliën. Het waswater met vuile deeltjes wordt opgevangen in een bassin ('liquid'). De deeltjes zakken naar de bodem en worden periodiek afgevoerd (gespuid). De gereinigde lucht wordt via een lange pijp naar de omgeving gebracht. Het waswater in het bassin wordt via een pomp ('circulating pomp') weer naar de sproeiers gebracht (recirculatie).

Bron: onlinechemicalengineering.com

3.2 Aantal luchtwassers in Nederland

Bij de veehouderij zijn circa 1.500 luchtwassers geplaatst, waarvan ongeveer 90 procent zure wassers en iets minder dan 10 procent biologische wassers (Melse, niet gepubliceerde data). Daarnaast zijn er enkele combiwassers waar zure en/of biologische wassers worden gecombineerd met bijvoorbeeld biofilters of stofwassers. Uit de literatuurstudie en interviews werd niet duidelijk hoeveel industriële wassers er worden gebruikt in Nederland. De respondenten konden ook geen schattingen geven.

Informatie hierover is gevraagd aan onder andere Stichting Kennisuitwisseling Industriële Watertechnologie (SKIW), adviesbureaus en leveranciers/fabrikanten. Kordes Advies gaf aan dat het in elk geval een beduidend lager aantal is dan het aantal natte koeltorens in Nederland⁷. SKIW heeft aangeboden bij een eventueel vervolgonderzoek samen met Aqua Nederland een inventarisatie uit te voeren.

⁷ Het aantal natte koeltorens in Nederland wordt geschat op minstens 4.000. Bron: *Stand van zaken natte koeltorens, kamerstuk, 9 juni 2009*.

3.3 Veehouderij vs. industrie

Bij het beschrijven van de verschillende typen luchtwassers in paragraaf 3.4 wordt onderscheid gemaakt tussen de veehouderij en de industrie.

Redenen hiervoor zijn:

- Er zijn verschillen in regelgeving. Voor de veehouderij geldt de Regeling ammoniak en veehouderij (Rav) met daarin normen voor emissie en een bijlage met toegelaten luchtwassers. Regels voor de industrie zijn opgenomen in het Activiteitenbesluit en deze zijn afhankelijk van het type inrichting (type B of C).
- Veehouderijen zijn verspreid over het land en kunnen dicht bij een woonomgeving gelegen zijn. Op veehouderijen zelf wordt meestal ook gewoond. Industrie bevindt zich vaak verder van een woonomgeving en er wonen over het algemeen geen mensen op het industrieterrein.
- In de veehouderij gaat het voornamelijk om het afvangen van ammoniak. In de industrie worden luchtwassers ook gebruikt voor het afvangen van allerei andere stoffen en gassen, afhankelijk van het bedrijfsproces.
- Omdat het in de veehouderij voornamelijk om ammoniakreductie gaat en de bedrijfsprocessen redelijk uniform zijn, wordt er maar een beperkt aantal systemen gebruikt en is er een redelijk goed overzicht van de factoren die kunnen zorgen voor legionellagroei. Bij vooral de grotere industrie worden wassers 'op maat' gemaakt, waarbij op de locatie meestal veel kennis aanwezig is over deze installatie.
- In de industrie worden vaak grotere systemen gebruikt met een combinatie van verschillende wastechnieken (combiwassers). Bij de veeteelt is meestal sprake van één wastechniek.

3.4 Werkingsprincipe verschillende typen luchtwassers

Er worden verschillende indelingen gehanteerd voor natte luchtwassers. Er zijn indelingen gericht op de waterdruk van de wasser, of op welke wijze de lucht of het gas in contact wordt gebracht met het water⁸. In het document Luchtemissiebeperkende technieken (DHV, 2009) is de indeling gemaakt op basis van de techniek waarmee de te wassen lucht wordt gereinigd. Natte wassers kunnen volgens deze indeling worden geplaatst in de categorieën:

- stofwassing (onder andere 'gewone' stofwasser', sproeitoren);
- absorptie (onder andere zure en basische wassers);
- biologische reiniging (onder andere biologische wassers en biofilters);
- gravitatie (natte cycloon).

Vanwege de onderzoeksvraag is in dit rapport voor een iets andere indeling gekozen. Onderstaande indeling is vooral gericht op het verschil in de samenstelling van het waswater:

- stofwasser; wassers vooral gericht op (fijn)stofwassen;
- biologische wasser (biowasser); inclusief biotrickling (alle typen wassers waar het vernevelen van water met bacteriën onderdeel is van de techniek);
- biofilter;
- zure wasser;
- basische wasser (inclusief oxidatief);
- overige natte wasinstallaties;

⁸ http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber

- combiwassers (combinatie van twee of meer van de bovenstaande wastechnieken).

Het werkingsprincipe van bovenstaande wassers wordt in deze paragraaf besproken. Hierbij wordt vooral ingegaan op de onderdelen die interessant zijn voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

Voor de beschrijving van de verschillende industriële wassers is gebruikgemaakt van de 'Handreiking luchtemissiebeperkende technieken' (DHV, versie april 2009) en de onlineversie 'Factsheets Luchtemissiebeperkende technieken' (www.infomil.nl). Voor luchtwassystemen in de veehouderij is gebruikgemaakt van 'Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij' (Melse en Willers, 2004) en het technisch informatiedocument 'Luchtwassystemen voor de veehouderij' (Kenniscentrum InfoMil, 2011). De 'aanvullende informatie' over het werkingsprincipe en het milieu van het waswater, is verkregen van de respondenten genoemd in Tabel 2.1.

3.4.1 Stofwassers

In deze categorie zijn de luchtwassers geplaatst die vooral zijn gericht op het verwijderen van (fijn)stof uit de inkomende lucht. Voor het afvangen van de verontreiniging wordt verneveld water gebruikt. In principe worden er geen chemicaliën en bacteriën toegevoegd om gassen of stoffen te verwijderen.

Veehouderij

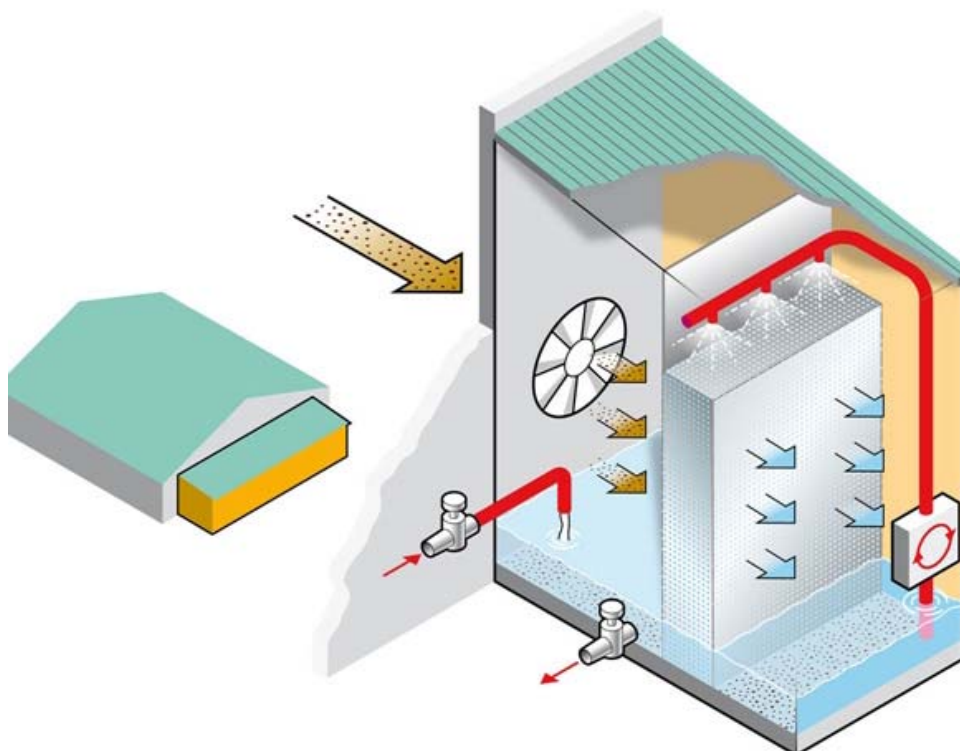
Waterwasser/watergordijn

Van een waterwasser (ook wel natwasser genoemd) wordt verwacht dat deze geschikt is om fijnstof uit de stallucht te verwijderen. Als wasvloeistof wordt water gebruikt. Doordat aan het waswater geen zuren of micro-organismen worden toegevoegd, hebben deze wassers een lager verwijderingsrendement voor ammoniak en geur.

Niet alle waterwassers zijn uitgevoerd met een filterpakket. Waterwassers zonder filter worden watergordijnen genoemd. Indien een filterpakket aanwezig is, dan bestaat het filter vrijwel altijd uit kunststof met bijvoorbeeld een honingraatstructuur. Door het filter wordt het contactoppervlak tussen water en te reinigen lucht vergroot. Figuur 3.2 is een voorbeeld van een stofwasser met filterpakket. Het afgevangen (fijn)stof wordt met het spuiwater uit het systeem afgevoerd. De in Nederland toegelaten waterwassers reduceren de fijnstof-emissie met gemiddeld 30 procent.

Vanwege de beperkte reductie van geur en ammoniak, wordt deze wastechniek alleen in combinatie met een zure of biowasser gebruikt. Bij deze combiwater wordt de te reinigen lucht eerst geleid door de natte wasser, zodat een deel van het (fijn)stof wordt afgevangen; vervolgens wordt de lucht geduwd of getrokken door de zure of biologische wasser voor ammoniakreductie. Door eerst gebruik te maken van een natte stofwasser, wordt voorkomen dat de zure of biowasser snel verstopt raakt.

Wordt gebruikt door: pluimveehouderij, varkenshouderij



*Figuur 3.2 Natte luchtwater met filterpakket (pluimveehouderij).
Bron: Brochure 'Schone lucht voor iedereen' (2011), ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie*

Aanvullende informatie:

De respondenten verschillen van mening over de temperatuur die het waswater van luchtwassers kan hebben. De meeste respondenten geven aan dat de te reinigen stallucht een temperatuur van 30 °C of iets meer kan hebben. Echter, het waswater is enkele graden lager vanwege verdamping van het vernevelende water wanneer het in contact met lucht komt (zelfde principe als bij koeltorens). Het is niet verplicht om de temperatuur van het waswater te monitoren, omdat bij normaal gebruik de temperatuur de werking van de wasinstallatie niet beïnvloedt (Melse, niet gepubliceerde data). Fabrikanten geven aan dat bij hun systemen de temperatuur wel wordt geregistreerd. Melse et al. (2012) hebben bij één wasser de temperatuur gemeten tussen november en juni waarbij het waswater niet warmer werd dan 22 °C, terwijl de stallucht 5 °C hoger was. Deze temperatuur werd in juni bereikt en het is niet uit te sluiten dat een verdere stijging plaatsvindt in de zomermaanden. Er is geen onderzoek verricht naar eventuele lokale opwarming van leidingen of van het waterbassin door bijvoorbeeld de pomp of andere warmteproducerende apparatuur ('hotspot'; zie paragraaf 4.2.2).

De plaats van de wasser kan ook invloed hebben op de waswatertemperatuur.

Bij sommige systemen is de wasser in de nok van de stal geplaatst (fabrikant/leverancier, pm). De omgevingstemperatuur kan daar 30-35 °C zijn. Meestal is de wasser geplaatst tegen de gevelwand van de stal.

Het waswater heeft ongeveer pH 7 (afwijking -/+ 0,5) doordat bij stofwassers geen zure of basische chemicaliën worden toegevoegd.

Verneveling vindt plaats aan de bovenzijde of zijwaarts van de luchtwater (kruis- of tegenstroom). Het hangt van de constructie van de combiwasser af of direct aerosolverbreiding plaatsvindt, of dat pas na passeren van de zure of biologische wasser contact is met de omgeving.

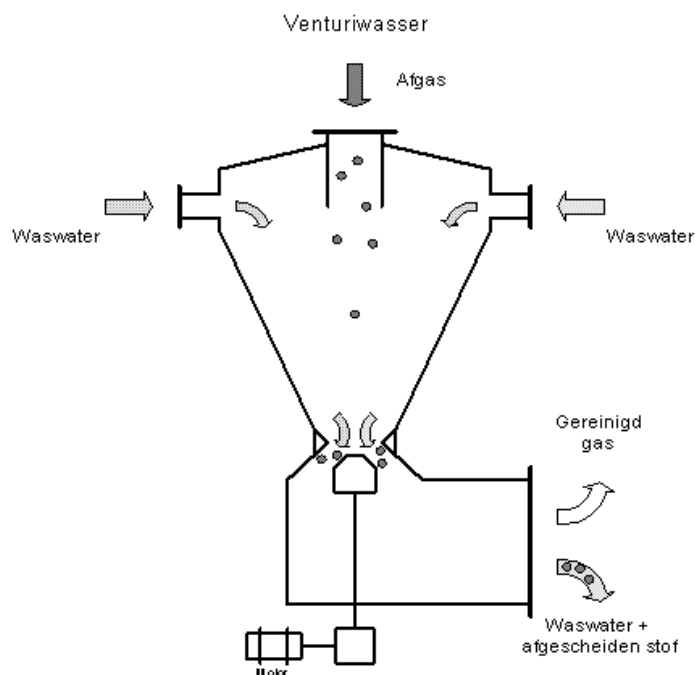
Industrie

In de industrie komt stofwassing vaker voor dan in de veehouderij en er zijn veel verschillende technieken. Hieronder een korte beschrijving van veelvoorkomende stofwassers met een verschillend werkingsprincipe. Tot slot volgt aanvullende informatie over het waswater en het werkingsprincipe.

Venturiwasser of wervelwasser

Een Venturiwasser bestaat uit een convergerende hals (het narrowste deel van de venturibuis), een divergerende expansiekamer met daarna een druppelafscheider (zie Figuur 3.3). Het stof/gasmengsel stroomt door de venturibuis en bereikt in de hals de hoogste snelheid. Daarna komt het mengsel in de expansiekamer, waarin de gassnelheid weer vermindert. De vloeistof (water) wordt in of voor de hals aan de gasstroom toegevoegd. In de hals van de venturibuis vindt dan een intensieve menging plaats tussen gas en vloeistof. Door de hoge snelheid van gas en vloeistof valt het water in fijne waterdruppels uiteen, waardoor intensief contact tussen gasfase en vloeistoffase wordt gerealiseerd. Om deze fijne druppelverdeling te bereiken, is relatief veel energie nodig. Venturiwassers kunnen worden toegepast voor het verwijderen van kleine deeltjes ($< 1 \mu\text{m}$) uit een gasstroom, al wordt het rendement wel snel kleiner naarmate de deeltjes kleiner worden. Ze kunnen echter ook voor grotere deeltjes worden gebruikt, hoewel het energieverbruik dan relatief hoog is ten opzichte van concurrerende technieken. Sommige stofsoorten zijn zelfs bij zeer hoge drukval niet af te scheiden.

Wordt gebruikt door: chemische industrie, basis metaalindustrie, productie van asfalt, hout en papierindustrie, afvalverbrandingsinstallaties



Figuur 3.3 Venturiwasser

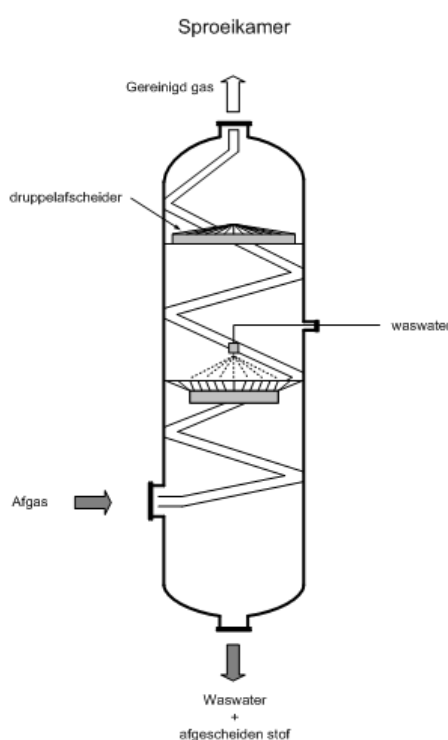
Bron: Kenniscentrum InfoMil

Sproeitoren / rotatiewasser / dynamische wasser

De sproeitoren is een specifiek type stofwasser. De wasvloeistof wordt door middel van een sneldraaiende verstuiverschijf of door roterende sproeiërs respectievelijk in kleine druppels uiteengeslagen of verdeeld, waardoor een groot contactoppervlak tussen druppels en gas ontstaat (zie Figuur 3.4). Er zijn ook uitvoeringen van sproeitoren zonder draaiend schoepenwiel. Het gas wordt tangentieel (schuin aan de zijkant) in de ontstoffingskamer geleid. Door centrifugale krachten en door de roterende verstuiving worden stofdeeltjes naar de wand van de wasser gesleurd, waardoor een hoog afscheidingsrendement haalbaar is. Het afgescheiden stof moet worden ontwaterd en afgevoerd naar riool of oppervlaktewater.

Wordt gebruikt door:

- chemische industrie voor de afscheiding van stof en aerosolen;
- metaalindustrie voor diverse soorten afgassen;
- afvalverbrandingsinstallaties;
- vergassingsprocessen;
- aardappelverwerkende industrie voor de verwijdering van zetmeel;
- glasindustrie;
- gieterijen;
- sinterprocessen;
- droogprocessen;
- kunstmestproductie;
- farmaceutische industrie;
- kunststofindustrie.



Figuur 3.4 Sproeitoren
Bron: Kenniscentrum InfoMil

Natte cycloon

De verontreinigde gasstroom wordt in de cilindervormige kamer geleid. Door de centrifugale kracht wordt het stof naar de wand geslingerd, waarna het stof via de onderzijde wordt afgevoerd. Het gezuiverde gas verlaat de cycloon in het midden aan de top. Het binnenkomende gas wordt gedwongen in de circulaire beweging langs de binnenzijde van de cycloon naar beneden te bewegen; aan de onderzijde van de cycloon keert de afgasstroom zich en verlaat deze de cycloon aan de bovenzijde. Bij een natte cycloon wordt water, juist vóór de cycloon, verneveld om het afscheidingsrendement voor stof ($< 20 \mu\text{m}$) te verhogen. Het water bindt zich aan het stof en wordt afgevoerd als een slurry.

Wordt gebruikt door:

- hout- en meubelindustrie;
- bouwsector;
- glasindustrie;
- op- en overslag;
- levensmiddelenindustrie;
- afvalverbrandingsinstallaties;
- chemische industrie
- smeltprocessen in metallurgie;
- sinterprocessen;
- koffiebranderijen;
- overige levensmiddelenindustrie.

Aanvullende informatie:

De temperatuur van het waswater kan verschillen per sector. Bij sommige sectoren is de temperatuur van de inkomende lucht >80 °C. Het waswater kan bij deze wassers echter rond 35-45 °C liggen, zoals ook het geval was bij de luchtwasser in Sarpsborg, waar legionella was aangetoond (Nygård et al., 2008). Het is ook niet uitgesloten dat er een gunstige omgevingstemperatuur is en dat lokaal opwarming kan plaatsvinden van (circulatie)leidingen of waterbassin. Als er geen zure of basische chemicaliën worden toegevoegd, heeft het waswater ongeveer een pH 7. Lichte afwijkingen kunnen er zijn door de te reinigen lucht. Mogelijk is er niet altijd sprake van recirculatie van het waswater. Bij Venturiwassers vindt verneveling aan het begin van de wasser plaats en is er sprake van 'meestroom' met de te reinigen lucht/gassen. Bij sproeitorens/rotatiewassers is sprake van tegenstroom en vindt verneveling meestal vanaf de bovenzijde plaats, dicht bij de uitlaat van de wasser. In sommige stofwassers kan er ook worden gebruikgemaakt van een filterpakket.

3.4.2

Biologische wassers (biowassers)

In deze paragraaf worden luchtwassers besproken waarbij wordt gebruikgemaakt van waswater met bacteriën om de lucht te reinigen. Algemeen principe is dat bacteriën worden toegevoegd die bepaalde chemische stoffen kunnen omzetten in minder schadelijke componenten.

Veehouderij

In de veehouderij worden de termen biowasser en biotricklingfilter vaak door elkaar gebruikt. In deze paragraaf wordt alleen de term biowasser gebruikt. De ammoniak in de stroom uitgaande stallucht lost op in water en wordt in de wateroplossing omgezet in ammonium (NH_4^+). Op het pakkingsmateriaal (ook wel filter genoemd) – veelal bestaande uit een honingraatstructuur van kunststof – groeit een biofilm met bacteriën die ammonium kunnen omzetten in de stikstofverbindingen nitriet (NO_2^-) en nitraat (NO_3^-). De biofilm wordt bevochtigd met waswater waaraan deze bacteriën zijn toegevoegd. De microbiële afbraak van ammonium naar nitriet en van nitriet naar nitraat wordt nitrificatie genoemd. De meest voorkomende bacteriën in dit proces zijn respectievelijk *Nitrosomonas* en *Nitrobacter*. Een stabiel werkende biowasser bevindt zich in een 'steady state', oftewel er is sprake van een evenwicht tussen de verschillende reacties betrokken bij de omzetting van ammoniak naar nitraat. Sommige biowassersystemen zijn uitgevoerd met een denitrificatiebassin. In dit bassin wordt nitraat onder anaerobe omstandigheden en met een koolstofbron omgezet in stikstof en water. Hiermee kan de concentratie stikstofverbindingen in het spuiwater worden verlaagd.

Voor de effectiviteit van de biowasser is het belangrijk te bepalen wanneer er moet worden gespuid. Te veel spuien en vervolgens weer aanvullen met suppletiewater kan ervoor zorgen dat te veel bacteriën worden afgevoerd met het spuiwater, waardoor de reductie van ammoniak vermindert. Te weinig

spuien kan leiden tot ophoping van onder andere ammonium, nitriet en nitraat (afbraakproducten). Daarnaast treedt ook verdamping op, waardoor indikken van water kan ontstaan en suppletiewater nodig is. Een luchtwasser op een varkenshouderijbedrijf verbruikt ongeveer 850- 2.200 liter water / vleesvarkensplaats/jaar (Melse en Willers, 2004). Tot slot moet ook rekening worden gehouden met gemeentelijke regels voor spuien van water uit een biowasser.

De reductie door biowassers van geur, ammoniak en fijnstof is afhankelijk van de tijd dat de lucht in het wassysteem verblijft. Bij een langere verblijftijd komt de lucht meer in aanraking met de wasvloei stof en is het verwijderingsrendement groter. Het gaat om de minimale verblijftijd in het filterpakket en (indien aanwezig) het bevochtigde deel van het aanstroomtraject van de ventilatielucht. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij een hoge concentratie fijnstof of onvoldoende spuien verstopping van het filterpakket kan optreden.

Wordt gebruikt door: alle sectoren in de veehouderij

Aanvullende informatie:

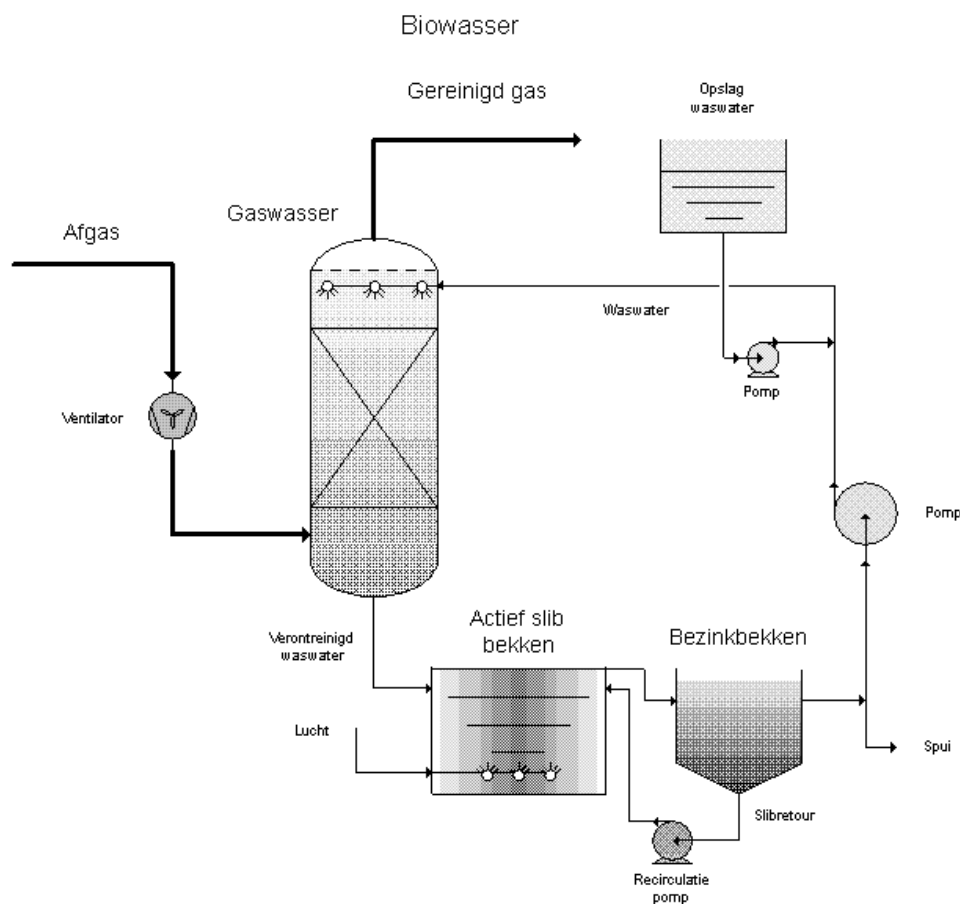
In biowassers is de pH 6,5-7,5. Zoals aangegeven bij stofwassers is het niet uit te sluiten dat het waswater, al dan niet tijdelijk of lokaal, een temperatuur heeft tussen 20 en 35 °C.

Juhler et al. (2009) vermelden dat de concentratie 'ammonium oxiderende bacteriën' (AOB) <0,12 procent uitmaakt van de totale populatie bacteriën in de biofilm. In het artikel wordt aangeraden te onderzoeken wat de overige bacteriën zijn in het filter. In het artikel van Ottosen et al. (2011) wordt verondersteld dat het nitrificatie-proces de meest dominante activiteit is in het filter. Er is verder geen literatuur gevonden over de samenstelling en verhouding van de bacteriën in de biowasser. Verneveling vindt plaats boven het filterpakket of zijwaarts.

Industrie

Gewone biowasser

Een biowasser bestaat uit een gaswasser en een biologische reactor. In de gaswasser worden de te verwijderen componenten uit de gasstroom in het waswater geabsorbeerd. In de biologische reactor worden vervolgens de geabsorbeerde verontreinigingen in het waswater biologisch afgebroken. De gezuiverde wasvloei stof wordt gerecirculeerd naar de wasser (zie Figuur 3.5). Biologisch afbreekbare koolwaterstoffen worden in de biowasser omgezet in water en CO₂. De niet-afbreekbare koolwaterstoffen blijven in het waswater aanwezig. Componenten als H₂S en NH₃ worden achtereenvolgens in sulfaat en nitraat omgezet. Om het zoutgehalte en het gehalte niet-afbreekbare vluchtige organische stoffen (VOS) laag genoeg te houden, moet regelmatig worden gespuid. Dit kan op basis van geleidbaarheid of via een vaste spui gebeuren. De mate van spui is afhankelijk van de samenstelling van het te reinigen gas. Een hydraulische verblijftijd van het waswater van 20-40 (maximum) dagen geeft goede resultaten.



*Figuur 3.5 Industriële biowasser. In het waswater bevinden zich bacteriën die componenten uit het 'afgas' kunnen omzetten. Het verontreinigde waswater wordt in een slibbekken en bezinkbekken gebracht voordat het wordt gespuid. Het water dat hieruit wordt verkregen wordt weer gebruikt voor de wasser (recirculatie) en wordt verneveld op het filterpakket.
Bron: Kenniscentrum InfoMil*

Wordt gebruikt door:

- sigarettenindustrie;
- waterzuiveringsinstallaties;
- verwijderen van geur voortkomend uit de productie van enzymen;
- verwijderen van geur voortkomend uit de productie van aromaproductie;
- rubberindustrie;
- verwijdering van geur- en zwavelcomponenten uit afgassen bij de productie van methionine;
- verwijdering van geur- bij de productie van polymeren;
- verwijdering van geur, VOS en stikstofcomponenten bij de verwerking van verfafval;
- stortplaatsen voor gevaarlijke afvalstoffen;
- koffiebranderijen;
- slachthuizen.

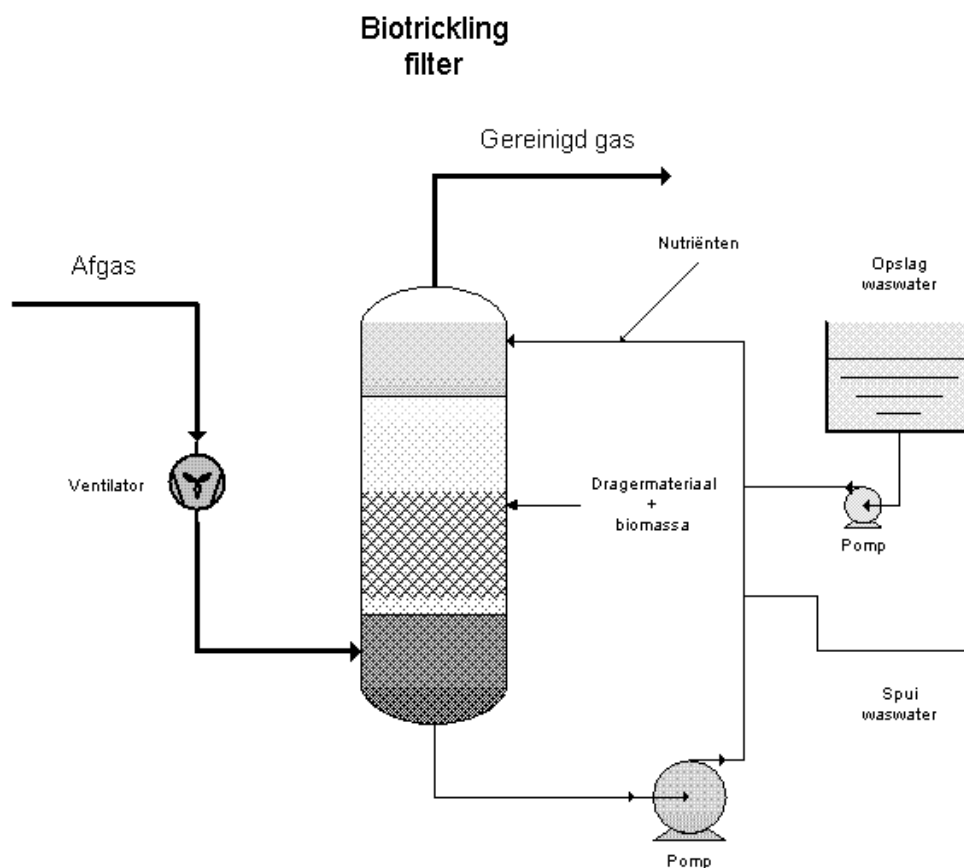
Biotrickling / lavafilter / BTF/ biodenox

Een biotricklingfilter is een combinatie tussen een biofilter (zie paragraaf 3.4.3) en een biowasser. Het filter bestaat uit een gepakte absorptiekolom, die continu of discontinu door circulatie of enkelvoudige toevoer wordt bevochtigd en van

nutriënten wordt voorzien. De bedoeling hierbij is dat de biomassa op de pakking achterblijft en niet met het water wordt meegevoerd. Na absorptie in de dunne waterfilm worden de verontreinigingen afgebroken door een op de pakking groeiende laag micro-organismen ('biofilm'); eventuele afbraakproducten worden door dezelfde waterfase afgevoerd. Dankzij de mobiele waterfase is de afvoer van verzurende afbraakproducten beter mogelijk dan bij biofilters met een stationaire waterfase: de zuurgraad van de circulatiestroom kan (licht) worden gecorrigeerd door dosering van loog of suppletiewater. Het filtermateriaal bestaat uit kunststofschuim, uit lava of uit plastic gestructureerde pakking. Het oppervlak moet van een dusdanige structuur zijn, dat de biomassa zich er goed aan kan vasthechten.

Wordt gebruikt door:

- RWZI's en AWZI's (H_2S);
- textielindustrie (CS_2 en H_2S);
- tabakindustrie (geur);
- drukkerijen, houtbewerking of -verwerking, meubelindustrie, metaalbewerkende industrie (NMVOC);
- (petro)chemische industrie;
- slib- en afvalverwerkingsinstallaties, rioolwaterpompstations.



Figuur. 3.6 Industriële biotrickling filter. Vergelijkbaar proces als bij de biowasser. Verschil is dat de bacteriën zich voornamelijk bevinden op het 'dragermateriaal + biomassa'. Dit pakket wordt besproeid met recirculerend waswater.

Bron: Kenniscentrum InfoMil

Moving Bed Trickling Filter / MBTF

Het Moving Bed Trickling Filter (MBTF) is een systeem voor de gecombineerde, of eventueel gescheiden, zuivering van lucht en waterstromen. Het MBTF wordt primair gevormd door een kunststof tank. De tank is gevuld met 50 tot 150 m³ speciaal gevormde kunststofballetjes. Op en in deze gegroefde balletjes groeien micro-organismen die de aangeboden verontreinigingen afbreken. Het te zuiveren afvalwater wordt met een regelbare circulatiepomp naar de bovenkant van de reactor gepompt en door middel van een ronddraaiende sproeiarm over het bed verdeeld. Het gereinigde water wordt opgevangen in de buffer/bezinkruimte, waar eventueel aanwezige slibdeeltjes in kunnen bezinken. De te zuiveren lucht wordt met een externe ventilator in meestroom met het water de reactor in geblazen. Onderin zorgen speciale secties in de zeefplaat vervolgens voor een goede afscheiding van lucht en water, waarna de gezuiverde lucht naar de atmosfeer wordt afgelaten. Zoals in elke biologische zuivering, wordt een deel van de aangevoerde verontreinigingen omgezet in biomassa. De hoeveelheid biomassa in de reactor zal hierdoor toenemen. Zonder maatregelen leidt dit in conventionele tricklingfilters tot verstopping. In het MBTF wordt verstopping voorkomen door een deel van de begroeide balletjes naar de top van de reactor te pompen waar de balletjes via een cycloon op een zeefplaat storten. Door de cycloonwerking en de daaropvolgende valenergie wordt een groot deel van de biomassa van de balletjes verwijderd. De gereinigde balletjes vallen bovenop het bed en kunnen weer deelnemen aan het zuiveringsproces. Het afgescheiden slib wordt periodiek afgevoerd.

Wordt gebruikt door:

- (petro)chemische industrie;
- afvalverwerking;
- vlees- en visverwerkende industrie.

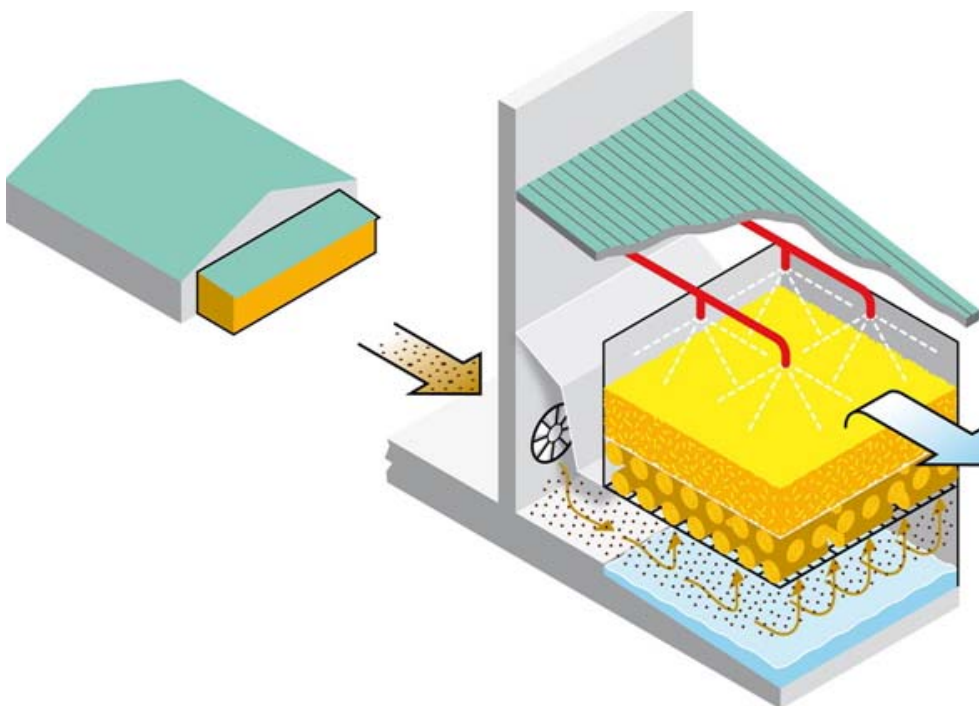
Aanvullende informatie:

Het waswater zal ongeveer pH 7 hebben. Dit kan wat zuurder of basischer zijn afhankelijk van de hoeveelheid spui en de te reinigen lucht. De temperatuur van het waswater kan verschillen en is afhankelijk van de inkomende lucht en de omgevingstemperatuur. De temperatuur zal niet extreem hoog of laag zijn, omdat anders de biowasser niet goed functioneert. Het is goed mogelijk dat er biowassers zijn met een al dan niet tijdelijke of lokale waswatertemperatuur van 20-45 °C. Verneveling vindt veelal plaats boven het filterpakket.

3.4.3*Biofilters***Veehouderij**

Biofilters worden ook wel 'biowand' of 'biobed' genoemd. Het biofilter is een geschikte techniek om geuremissie te reduceren. Het verschil met een biowasser is dat bij een bio(bed)filter wordt gebruikgemaakt van organisch pakkingsmateriaal en dat deze pakking periodiek moet worden bevochtigd om de micro-organismen in leven te houden. In de praktijk is gebleken dat biofilters voor het verwijderen van ammoniak ongeschikt zijn, vanwege problemen met verstopping en bevochtiging van het filter. Op termijn speelt ook de verzuring van het filter door overbelasting met gevormde zouten een rol. Vanwege de toepassing van organische materialen zijn biofilters moeilijk te reinigen. In Nederland is het daarom momenteel niet mogelijk om alleen biofilters te gebruiken voor reductie van ammoniakemissie uit dierenverblijven. Binnen een biofilter vinden (in principe) dezelfde processen plaats als in een biowasser. De micro-organismen bevinden zich op het biofiltermateriaal, meestal

bestaande uit compost, houtsnippers, boomschors, turf, kokosvezels of wortelhout. De te reinigen lucht wordt van onder naar boven door het filter geduwd (zie Figuur 3.7). De bevochtiging van het biobedfilter vindt plaats door de stroom stallucht voordat die de biofilter bereikt te bevochtigen, of door de biofilter rechtstreeks te bevochtigen. Omdat het filter uit organisch materiaal bestaat dat onder deze omstandigheden afbreekt, moet het regelmatig worden vervangen.



Figuur 3.7 Biofilter veehouderij. De te reinigen lucht wordt via ventilatoren door het biobed geduwd. Het biobed moet vochtig blijven en wordt daarom periodiek bevochtigd met sproeiers.

Bron: Brochure 'Schone lucht voor iedereen' (2011), ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Wordt gebruikt door: enkele veehouderijen, in combinatie met een zure of biologische wasser

Aanvullende informatie:

Er vindt geen recirculatie plaats van het water. Het biofilter of de stallucht wordt discontinu bevochtigd door sproei-installaties. Als het biobed direct wordt bevochtigd, dan gebeurt dit meestal door sproei-installaties die boven het biobed zijn geplaatst. Het waswater heeft ongeveer een pH 7. De temperatuur van het sproeiwater zou mogelijk tijdelijk of lokaal kunnen worden opgewarmd tot 20-35°C.

Industrie

Biofiltratie / biobed / biologisch filter / biobedfilter / compostfilter

Een biofilter bestaat uit een met biologisch materiaal gepakt bed, dat soms uit twee of drie bedden bestaat. De gasstroom wordt door het filterbed geleid, waar door ad- en absorptie de verontreinigingen door het filtermateriaal worden opgenomen. De componenten worden vervolgens door micro-organismen afgebroken. Het filter of het afgas wordt (discontinu) bevochtigd met water om

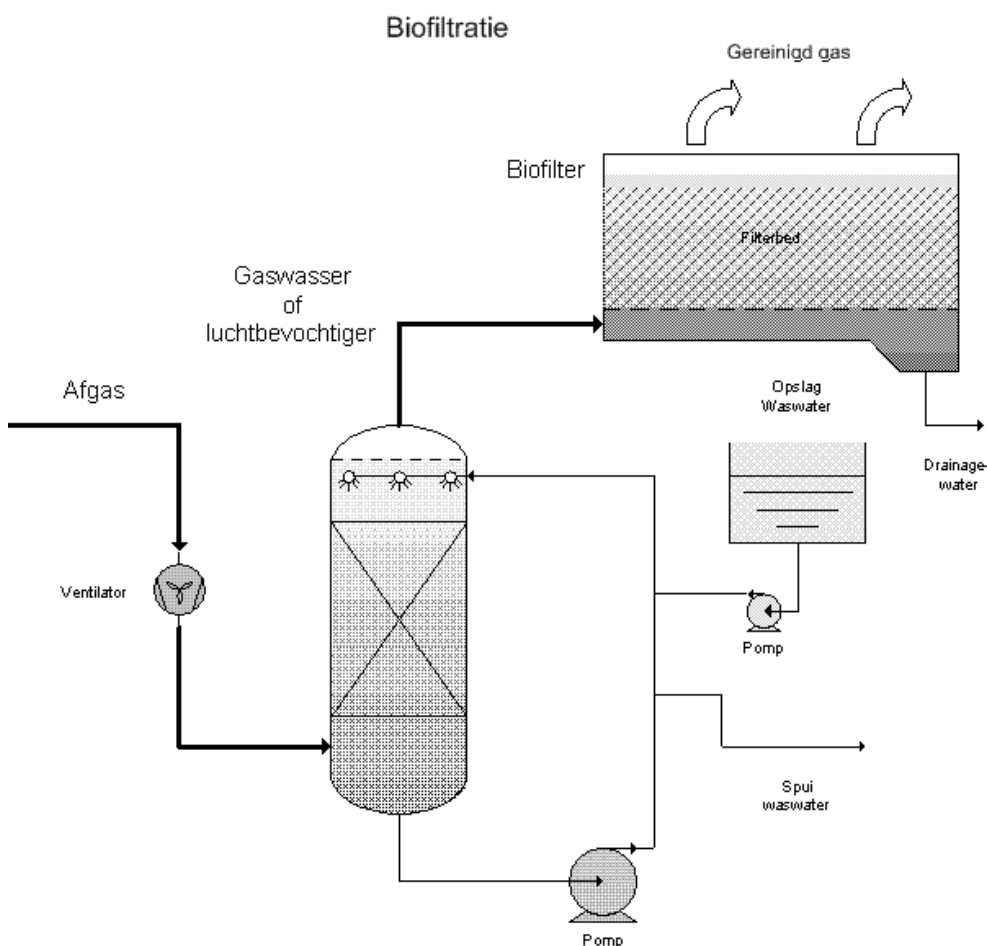
uitdroging van het filter te voorkomen. Het bed is opgebouwd uit een drager met daarop biologisch materiaal, zoals compost, boomschors, kokosvezels of turf. Om verzuring te verminderen, wordt soms kalk of dolomiet toegevoegd aan het vulmateriaal.

Wordt gebruikt door:

- RWZI's en AWZI's;
- composteringsinrichtingen (slib, GFT, mest);
- geur- en smaakstoffenindustrie;
- (petro)chemische industrie;
- kunststofproductie;
- voedingsmiddelenindustrie;
- vlees- en visverwerkende industrie.

Aanvullende informatie:

Zie veehouderij.



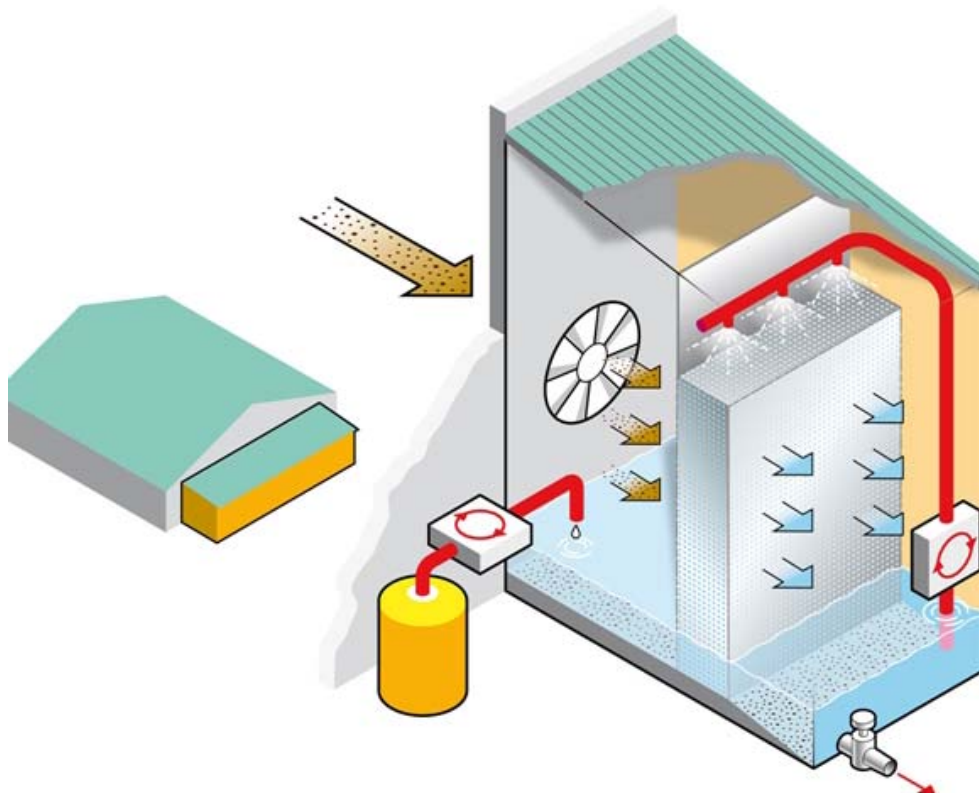
Figuur 3.8 Industriële biofiltratie. Na de chemische of biologische wasstap wordt de lucht door de biofilter geduwd of getrokken.

Bron: Kenniscentrum InfoMil

3.4.4

*Zure wassers***Veehouderij**

In de veehouderij worden zure wassers voornamelijk gebruikt om ammoniak af te vangen. Bij een zure waswater wordt aan het waswater zwavelzuur toegevoegd; meestal 96 procent, soms 98 procent. Hierdoor daalt de pH van het water. Een lagere pH-waarde van de wasvloei stof betekent dat meer ammoniak kan worden opgenomen. Vanwege de toevoeging van zwavelzuur aan de wasvloei stof, wordt de ammoniak gebonden en wordt ammoniumsulfaat (zout) gevormd. Het zure waswater wordt over kunststof materiaal met bijvoorbeeld een honingraatstructuur van kunststof, of over verticaal geplaatste elementen met doek/vezels (lamellen) gespreid (zie Figuur 3.9). Een deel van het water verdampt bij dit proces en dit verdampte water moet worden aangevuld met suppletiewater. Het overige water wordt opgevangen in een verzamelbak en wordt weer gebruikt voor het besproeien van de filters (recirculatie). Bij een goed functionerende luchtwasser is sprake van een stabiel rendement. Ook 'basische' geuren kunnen worden afgevangen door zure wassers. (Fijn)stof wordt afgevangen door de wasvloei stof dat over de filter wordt gespreid. Het afgevangen stof wordt met het spuiwater uit het systeem afgevoerd.



Figuur 3.9 Voorbeeld van een zure waswater in de veehouderij. Het principe is vergelijkbaar met stofwassen, alleen wordt periodiek zwavelzuur aan het waswater toegevoegd om de $pH \leq 4$ te houden (zie het gele vat).

Bron: Brochure 'Schone lucht voor iedereen' (2011), ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

Wordt gebruikt door: alle sectoren in de veehouderij; het is de meest gebruikte luchtwasser

Aanvullende informatie:

Uit gesprekken is gebleken dat zure wasinstallaties in de veehouderij niet boven de pH 4 komen. Het is mogelijk dat de pH enkele dagen kan oplopen naar

ongeveer 7 doordat er geen zuur wordt toegevoegd. Na een paar dagen wordt vervolgens weer een 'shot' gegeven en is de $\text{pH} \leq 4$ (Melse, pm). Verneveling vindt plaats aan de bovenzijde van het filter (zie Figuur 3.9) of aan de zijkant van het filterpakket.

Industrie

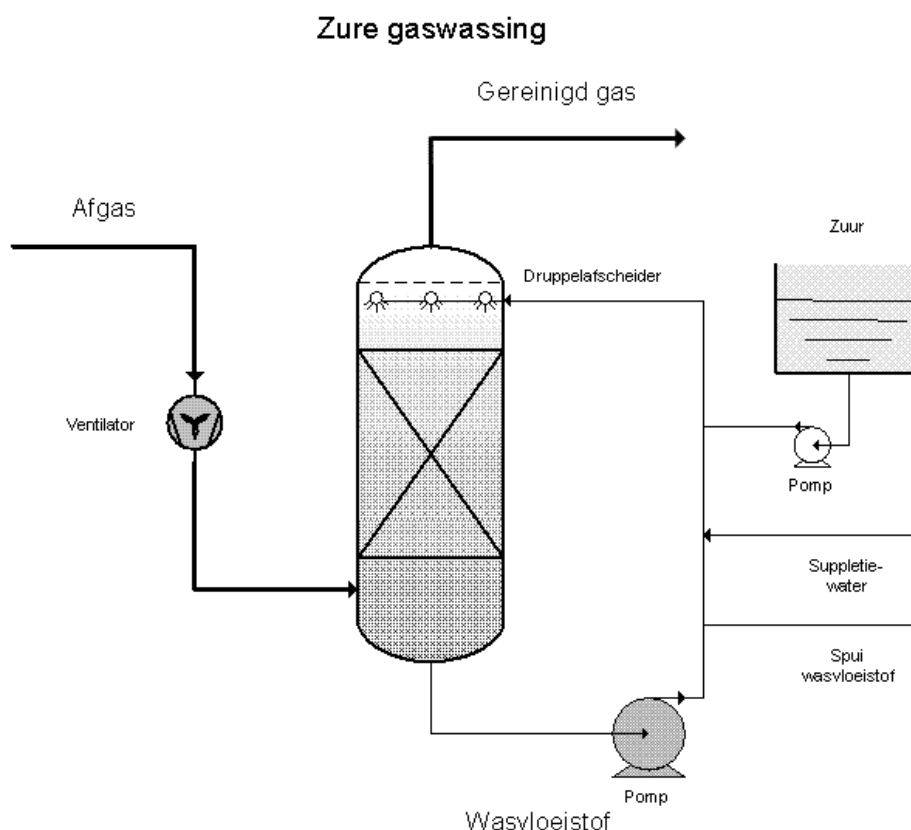
Een zure wasser werkt bij een lage zuurgraad, waardoor basische componenten beter worden afgevangen. Hierbij worden zouten gevormd. Op basis van dichtheid en/of geleidbaarheid wordt een gedeelte van het waswater gespuid. De spui kan tot 15 procent zouten bevatten en wordt ofwel na zuivering geloosd, ofwel ingedampt voor hergebruik. De dosering van het zuur gebeurt met een pH-regeling. De zuurgraad wordt in de meeste gevallen tussen pH 3 en 6 gestuurd. Als zuur wordt meestal – uit economische overwegingen – zwavelzuur (H_2SO_4) gebruikt. Voor specifieke toepassingen, zoals voor het afvangen van ammoniak, wordt ook wel salpeterzuur (HNO_3) gebruikt. Hierbij wordt ammoniumnitraat gevormd dat kan worden gebruikt als kunstmest. Door hun basisch karakter kunnen ook amines en esters worden afgevangen in een zure wasser. Zie Figuur 3.10 voor een schematische weergave van een zure wasser.

Wordt gebruikt door:

- mestverwerking (ammoniak);
- compostering (ammoniak);
- afvalverwerkingsinstallatie (ammoniak, amines);
- kunstmestproductie (ammoniak);
- farmaceutische industrie (esters);
- chemische industrie (esters);
- gieterijen (amines);
- productie van visvoeder (amines).

Aanvullende informatie:

Geen.



Figuur 3.10 Industriële zure wasser. Het werkingsprincipe is vergelijkbaar met een zure wasser in de veehouderij. De constructie van een industriële wasser kan wel meer gesloten zijn en kan voorzien zijn van een lange pijp voor de gereinigde lucht (zie bijvoorbeeld Figuur 3.1). Een basische wasser heeft hetzelfde werkingsprincipe, maar het zuur is hier vervangen door een base. Bron: Kenniscentrum InfoMil

3.4.5 (Oxidatieve) Basische wassers

Veehouderij

In de veehouderij worden, voorzover bekend, geen basische (alkalische) luchtwassers gebruikt.

Industrie

Gewone basische (of alkalische) wasser

Bij een alkalische wasser worden zuurvormende componenten beter afgevangen door neutralisatie met een base (loog) als wasvloeistof. Hierbij worden zouten gevormd die eventueel kunnen worden opgewerkt. Het spuiwater wordt gezuiverd en geloosd op het rioleringsnet.

De dosering van de base gebeurt op basis van een pH-sturing of een directie meting in de uitgaande luchtstroom, bijvoorbeeld een H_2S -meting. Meestal wordt de pH van een alkalische wasser tussen 8,5 en 9,5 gestuurd. Men kan de zuurgraad niet te hoog maken, dit in verband met absorptie van CO_2 in het water. Vanaf een pH boven 10 zal het opgeloste CO_2 als carbonaat aanwezig zijn in het water, waardoor het loogverbruik zeer sterk zal stijgen. Het calciumcarbonaat zal eveneens neerslaan op de pakking, waardoor de drukval verhoogt. Om dit te vermijden, wordt ook aangeraden om in een alkalische wasser onthard water te gebruiken.

Wordt gebruikt door:

- chemische industrie;
- galvanische industrie;
- op- en overslag van chemicaliën;
- afvalverbrandingsinstallatie;
- slibverwerkingsinstallaties, rioolwaterpompstations, RWZI's.

Basisch oxidatieve (of alkalische) wasser

Basisch oxidatieve gaswassing wordt vooral ingezet voor geurbestrijding. Hierbij worden de organische geurcomponenten in alkalisch milieu, bij pH 7-10, geoxideerd. Als sterke oxidant wordt natriumhypochloriet (NaOCl), kaliumpermanganaat (KMnO₄) of waterstofperoxide (H₂O₂) gebruikt. Bij kaliumpermanganaat wordt MnO₂ gevormd, dat periodiek uit de wasvloeistof moet worden verwijderd. Bij hypochloriet zijn dit chloriden en bij waterstofperoxiden worden geen bijproducten gevormd. Waterstofperoxide is echter een minder sterk oxidant dan hypochloriet of permanganaat. Vooral bij geurverwijdering, omdat dit complex kan zijn wat betreft de samenstelling van de geurcomponenten, is het aan te raden eerst testen op kleinere schaal uit te voeren om de verwijderingsefficiëntie specifiek te bepalen. Indien amines aanwezig zijn in de afgassen, is het aangewezen om eerst een zure wassing uit te voeren om de vorming van chlooramines te vermijden.

Wordt gebruikt door:

- voedingsmiddelenindustrie;
- mengvoederfabrikanten;
- slachthuizen;
- geurstoffenproductie;
- textielindustrie.

Aanvullende informatie:

Bij goed functionerende (oxidatieve) basische wassers is de pH 8-10. Bij gewone alkalische wassers kan het voorkomen dat de wasser tijdelijk onder pH 8 komt, maar waarschijnlijk niet langer dan een paar dagen, aangezien de effectiviteit sterk zal afnemen. Bij oxidatieve wassers kan dit mogelijk vaker gebeuren. Er kan sprake zijn van recirculatie van waswater, waarbij drinkwater als suppletiewater wordt gebruikt. Ook bij de basische wasser vindt verneveling aan de bovenzijde van de wasser plaats (tegen- of kruisstroom).

3.4.6 *Overige wassers*

In bovenstaande paragrafen is een overzicht gegeven van de meest gebruikte luchtwassystemen in de veehouderij en de industrie. In de industrie zijn nog andere typen wassers in gebruik, die lijken op de hierboven beschreven wassystemen. De techniek of constructie wijkt alleen iets af. Echter het werkingsprincipe is vergelijkbaar; een compleet overzicht is daarom niet noodzakelijk.

3.4.7 *Combiwassers*

Combiwassers, ofwel gecombineerde wassers of 'multi-stage scrubbers', zijn luchtwassystemen die twee of meer van de hierboven beschreven wastechnieken combineren. De inkomende lucht wordt hierdoor meerdere keren gewassen/gereinigd. In de veehouderij wordt niet veel gebruikgemaakt van combiwassers, omdat de zure of biologische wassers meestal afdoende functioneren. Sommige systemen in de veehouderij hebben wel een geïntegreerd combisysteem. In de industrie wordt regelmatig gebruikgemaakt

van verschillende combiwassers, omdat de verontreinigde lucht uit diverse stofdeeltjes en gassen kan bestaan, die door verschillende technieken uit de inkomende lucht moeten worden afgevangen.

Veehouderij

In de toegelaten systemen voor de varkenshouderij wordt een chemische of biowasser gecombineerd met een waterwasser en/of biofilter.

Het komt ook voor dat in een enkelvoudig luchtwassysteem technieken worden gecombineerd, zoals een waterwasser voor de biowasser. Deze reinigingsstap wordt aangebracht om het spuiwater te laten verdampen, zodat uit de luchtwasinstallatie uiteindelijk minder spuiwater vrijkomt. Bijkomend voordeel is dat deze reinigingstap ook bijdraagt aan het reinigen van schadelijke stoffen, met name (fijn)stof.

Ammoniak wordt vooral in de zure of biologische wasstap uit de stallucht verwijderd. Deze wassers werken op dezelfde wijze als de conventionele zure en biologische luchtwassystemen. Geurcomponenten worden verwijderd in de chemische of biologische luchtwassystemen. In gecombineerde luchtwassers die zijn voorzien van een biofilter wordt de geur vooral in het biofilter uit de stallucht verwijderd. Fijnstof wordt verwijderd in de chemische of biowassers.

Wordt gebruikt door: pluimveehouderij, varkenshouderij

Aanvullende informatie:

Bij een combiwasser zijn de waterstromen van de verschillende technieken vaak van elkaar gescheiden. Het is voor de werking van de wasser namelijk niet wenselijk dat bijvoorbeeld aangezuurd water van de zure wasser in de stofwasser of biowasser terechtkomt. In dit rapport worden de verschillende wasstappen in een combiwasser daarom apart behandeld.

Industrie

In de factsheets van Infomil en DHV worden geen aparte beschrijvingen gegeven van gecombineerde systemen. In principe dient elke wastechniek als apart systeem te worden beoordeeld, behalve als twee technieken zijn geïntegreerd (bijvoorbeeld twee verschillende stofwassing).

Wordt gebruikt door: industrie waar zowel (fijn)stof als geuren, lucht en/of gas moeten worden afgevangen

4 Groeifactoren voor legionella

In dit hoofdstuk wordt beschreven of de constructie van de verschillende luchtwassers en of de condities in het waswater legionellagroei kunnen bevorderen. In paragraaf 4.1 worden de verschillende groeifactoren van legionella weergegeven en wordt bepaald of deze factoren in luchtwassers aanwezig zijn. Ook wordt besproken of er factoren zijn die de groei kunnen remmen of voorkomen. In paragraaf 4.2 wordt aangegeven wat de overeenkomsten en verschillen zijn in het werkingsprincipe en in de constructie tussen luchtwassers en natte koeltorens en de mogelijkheden voor groei van legionella.

4.1 Groeifactoren voor legionella in luchtwassers

4.1.1 *Temperatuur*

De temperatuur is een belangrijke factor voor (explosieve) legionellagroei. In verschillende studies is onderzoek gedaan naar het effect van temperatuur op de groei van *Legionella pneumophila*, de belangrijkste veroorzaker van legionellapneumonieën. *L. pneumophila* groeit tussen 22-42 °C. De meest ideale temperatuur is rond 37 °C (Yee en Wadowsky, 1982; Wadowsky et al., 1985; Söderberg et al., 2008; Buse en Ashbolt, 2011). Legionellabacteriën overleven bij zeer lage temperaturen (Fliermans et al., 1981; Wullings en Van der Kooij, 2006; Wadowsky et al., 1985). Bij 20 °C treedt geen groei op van *L. pneumophila* in de amoëbe *A. castelanii* (Ohno et al., 2008). Tot 45 °C is metabolische activiteit waargenomen en boven de 50 °C sterft de bacterie af (Ohno et al., 2003).

Groei van *Legionella pneumophila* in waterinstallaties waar – schijnbaar – altijd de watertemperatuur onder de 20 °C is, is in sommige situaties toch mogelijk. Een verklaring hiervoor zijn zogenaamde 'hot spots': lokale opwarming van een deel van de installatie door een warm apparaat of door een andere leiding (Van Wolferen, 2002). Deze lokale opwarming wordt niet altijd opgemerkt bij monitoring van de temperatuur. Ook kan de omgevingstemperatuur een rol spelen, waardoor een tijdelijk gunstige temperatuur voor legionellagroei kan ontstaan, zoals in het zomerseizoen of bij een (tijdelijk) aangepast bedrijfsproces waarbij meer warmte vrijkomt. Indien geen preventieve maatregelen worden genomen, kan in deze periode legionellagroei plaatsvinden en kan de ontstane hoeveelheid legionellabacteriën gehandhaafd blijven in de biofilm, ondanks een verlaging van de temperatuur na deze periode. In Tabel 4.1 wordt aangegeven per type luchtwasser of gunstige temperaturen voor groei van legionellabacteriën aanwezig kunnen zijn.

4.1.2 *pH*

Legionella groeit optimaal bij pH 6,5-7,5. De bacterie kan overleven tussen pH 5 en 9 (Fliermans et al., 1981; Ohno et al., 2003; Anand et al., 1983). Wadowsky et al. (1985) beschrijven dat vermeerdering van legionella in drinkwater plaatsvindt tussen pH 5,5 en 9,2. Bij pH-waarden van 5,0 en 10,5 vindt geen vermeerdering plaats. Er is ook legionella-DNA geïsoleerd uit water met een lagere pH, namelijk bij een pH 2,7, in een heetwaterbron (Sheehan et al., 2005). Een mogelijke verklaring hiervoor is dat zich een micromilieu bevindt in de biofilm (zie 4.1.5) met gunstige omstandigheden voor de legionellabacteriën. States et al. (1987) hebben in een alkalische koeltoren aangetoond dat

naarmate de pH hoger is, er minder groei van legionella plaatsvond. Bij een pH 8,2-8,5 was er duidelijk verminderde groei waarneembaar.

Bij een veehouderij kan de pH van de zure wassers soms enkele dagen oplopen naar pH 6-7. Vervolgens wordt weer aangezuurd totdat pH 4, of lager, wordt bereikt (Melse/WUR, pm). Om de effectiviteit te controleren is het verplicht de pH van zure wassers die in de veehouderij worden gebruikt te monitoren.

Vanwege de pH ≤ 4 is het niet waarschijnlijk dat legionella in zure wassers bij veehouderijen kan groeien en lang kan overleven.

Bij een industriële zure wasser is de pH 3-6 (InfoMil/DHV factsheets). Er zijn verder geen data bekend over het pH-verloop in deze zure wassers. In Tabel 4.1 wordt per type wasinstallatie aangegeven of een voor legionellagroei gunstige pH aanwezig is.

4.1.3 *Recirculatie water*

Recirculatie van water wordt als een risicofactor gezien, aangezien hierdoor constant een gunstige temperatuur aanwezig kan zijn, en de biofilm en protozoa (zie 4.1.5) minder worden uitgespoeld. Hierdoor hebben legionellabacteriën een goede omgeving om te groeien (ISSO 55.3, 2008; AI-32).

4.1.4 *Zuurstof*

Legionellabacteriën hebben zuurstof nodig om te kunnen vermeerderen (aerobe condities). Wadowsky et al. (1985) hebben aangetoond dat in water dat is verzadigd met zuurstof (ongeveer 6-6,7 mg/l opgelost zuurstof) *Legionella pneumophila* goed groeit, terwijl onder anaerobe condities (1,7-2,2 mg/l opgelost zuurstof) legionella afsterft (Wadowsky et al., 1985). Fliermans et al. (1981) hebben echter legionellabacteriën geïsoleerd uit water met opgelost zuurstof van 0,3-9,6 mg/l. Overleving in anaerobe condities is dus (tijdelijk) wel mogelijk.

4.1.5 *Biofilm en protozoa*

In water vermeerdert legionella zich uitsluitend in protozoa, zoals amoeben (Schalk et al., 2011). Legionella haalt al de benodigde voedingsstoffen (onder andere aminozuren, ijzer) uit deze amoeben. Amoeben in waterinstallaties bevinden zich veelal in biofilm, waar ze zich voeden met bacteriën. De amoebe en biofilm beschermen de legionellabacterie tegen ongunstige omstandigheden, zoals bepaalde chemicaliën, plotselinge temperatuurwisselingen en pH-schommelingen. Biofilmvorming kan plaatsvinden in elke waterinstallatie. In zure wassers is biofilmvorming niet waarschijnlijk, omdat de bacteriën die de biofilm vormen bij de lage pH niet overleven.

4.1.6 *Zout*

Lage concentraties zout (0,1-0,5 procent NaCl) bevorderen de groei van legionella in water (Heller et al., 1998). Legionella kan ook overleven in zeewater en tot concentraties 3 procent NaCl, indien de temperatuur niet boven de 20 °C komt. Tussen 25-42 °C kan de legionellabacterie overleven bij 1,5 procent NaCl (Heller et al., 1998).

4.1.7 *Factoren die legionellagroei remmen of voorkomen*

In de laatste kolom van Tabel 4.1 wordt aangegeven of er factoren zijn die de groei remmen of voorkomen, de zogenaamde inhibitoren. Als de pH buiten de overlevingsnormen ligt (pH<5; pH>9), ongeacht of in een paar dagen wel een gunstige pH wordt bereikt, dan is er geen groei te verwachten. Andere groeifactoren zijn dan niet meer relevant. Voor het bereiken van een lage of

hoge pH worden chemicaliën gebruikt, die remmend kunnen werken op de groei. Dat geldt vooral bij toepassing van oxidatieve chemicaliën als H₂O₂. Zoals in paragraaf 4.2.2 beschreven, is de remmende werking van de temperatuur lastiger te bepalen dan van pH en chemicaliën. Als de temperatuur van het waswater nooit tussen de 20-45 °C komt, dan is groei van *L. pneumophila* niet te verwachten. Het is echter zeer lastig te garanderen dat deze temperaturen in het gehele systeem nooit worden bereikt, vanwege mogelijke *hot spots* en tijdelijke opwarming van de omgeving. Bij elk luchtwassysteem wordt daarom aangegeven dat een voor legionellagroei gunstige temperatuur mogelijk is. Mogelijk zijn er industriële wassers met een constante waswatertemperatuur ≥ 50 °C waardoor de bacterie niet kan overleven.

De respondenten uit Tabel 2.1 verschillen van mening over de remmende werking van afbraakproducten en micro-organismen in biowassers. Een microbioloog van een fabrikant/leverancier gaf aan dat legionella niet aanwezig kan zijn in de biowasser, omdat de concentratie ammoniumzouten, nitriet en nitraat te hoog is (soms >100 millimolair). Uit artikelen verkregen van dezelfde microbioloog blijkt dat het proces in de biowasser nog niet helemaal duidelijk is en dat wordt aangenomen dat de 'ammonium oxiderende bacteriën' (AOB) de meest dominante activiteit hebben (Ottosen et al., 2011). Juhler et al. (2009) vermelden dat <0,12 procent van de biofilm uit AOB bestaat en dat nog onduidelijk is welke andere bacteriën in de biofilm van de biowasser aanwezig zijn. Er zijn verder geen data te vinden over de groeiremmende werking van ammoniumzouten op legionella in een omgeving met veel biofilm. Wel is beschreven dat heterotrofe bacteriën, zoals *Pseudomonas spp.* en *Aeromonas spp.*, de groei van *Legionella spp.* kunnen remmen (Toze et al., 1990). Dit kan worden verklaard doordat deze bacteriën dezelfde voedingsstoffen gebruiken als *Legionella spp.* en ze met elkaar concurreren, of doordat deze bacteriën stoffen uitscheiden die legionellabacteriën afdoden (Declerck, 2010).

In Tabel 4.1 wordt aangegeven of groeifactoren voor legionella en amoeben in de verschillende wassystemen aanwezig zijn, verdeeld in veehouderij en industrie. Bij de genoemde gegevens in de tabel wordt uitgegaan van goed functionerende en goed onderhouden luchtwassers die worden gebruikt zoals voorgeschreven door de fabrikant. Zuurstof is in elk wassysteem altijd in voldoende mate aanwezig en wordt niet in de tabel weergegeven.

Tabel 4.1 Groeifactoren legionella

Type water; veeteelt	Gunstige pH (6,5-7,5)	Gunstige temp (20– 50 °C)	Recirculatie water	Biofilm	Inhibitors ⁹
Stofwater/ watergordijn	Ja	mogelijk	Ja	Ja	
Biowater/ biotrickling	Ja	mogelijk	Ja	Ja	Afbraakproducten (?)
Biofilter/biobed	Ja	mogelijk	Nee	Ja	Afbraakproducten (?)
Zure water	Nee (pH ≤4)	mogelijk	Ja	Weinig of geen	pH, chemicaliën
Combiwater	Mogelijk	mogelijk	Ja	Ja ¹⁰	pH, chemicaliën, Afbraakproducten (?)
Type water; industrie	pH	Temp 20–50 °C	Recirculatie water ¹¹	Biofilm	Inhibitors
Stofwater; Venturi, cycloon, sproeitoren, etc.	Ja	mogelijk	Ja	Ja	
Biologische water/ biotricklingfilter	Ja	mogelijk	Ja	Ja	Afbraakproducten (?)
Biofilter/biobed	Ja	mogelijk	Nee	Ja	Afbraakproducten (?)
Zure water	Nee / Mogelijk ¹² (pH 3-6)	mogelijk	Ja	Mogelijk of geen ¹³	pH, chemicaliën
(oxidatieve) Basische water	Nee/ Mogelijk (pH 7-10)	mogelijk	Ja	Mogelijk	pH, chemicaliën
Combiwater	Mogelijk	mogelijk	Ja	Ja ¹⁴	pH, chemicaliën, afbraakproducten (?)

4.2 Overeenkomsten en verschillen met koeltorens

Koeltorens zijn meerdere malen geïdentificeerd als bron van legionella bij legionellapneumonie-uitbraken maar ook bij individuele ziektegevallen. Het werkingsprincipe en de constructie van de koeltoren zorgen voor ideale groeiomstandigheden voor legionella. In deze paragraaf wordt beschreven wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen koeltorens en luchtwassers. In Figuur 4.1 en 4.2 worden twee typen natte luchtwassers weergegeven en in Figuur 4.3 en 4.4 verschillende typen natte koeltorens.

Overeenkomsten tussen natte luchtwassers en natte recirculerende koeltorens:

- Water wordt verneveld via 'spray nozzles'.
- Met ventilatoren wordt de lucht door de water geduwd of getrokken.
- Het proceswater wordt meestal gerecirculeerd.
- Water verdampt en komt in de omgeving via de uitgaande lucht. Dit water wordt aangevuld met suppletiewater.

⁹ Uitgezonderd (omgevings)temperatuur (toelichting in paragraaf 4.1.1)

¹⁰ Behalve bij zure wasstappen

¹¹ Mogelijk wordt bij sommige industriële wassers het water niet gerecirculeerd, maar dat werd niet duidelijk uit de literatuurstudie en de interviews

¹² Groei is mogelijk bij pH 5-6

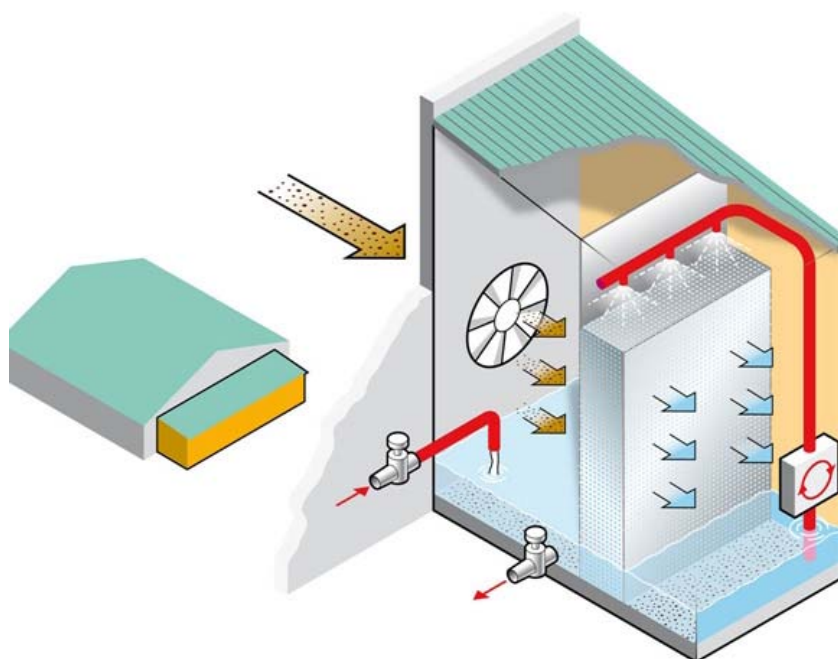
¹³ Bij pH 5-6 is de aanwezigheid van biofilm niet uit te sluiten

¹⁴ Behalve bij zure en sommige alkalische wasstappen

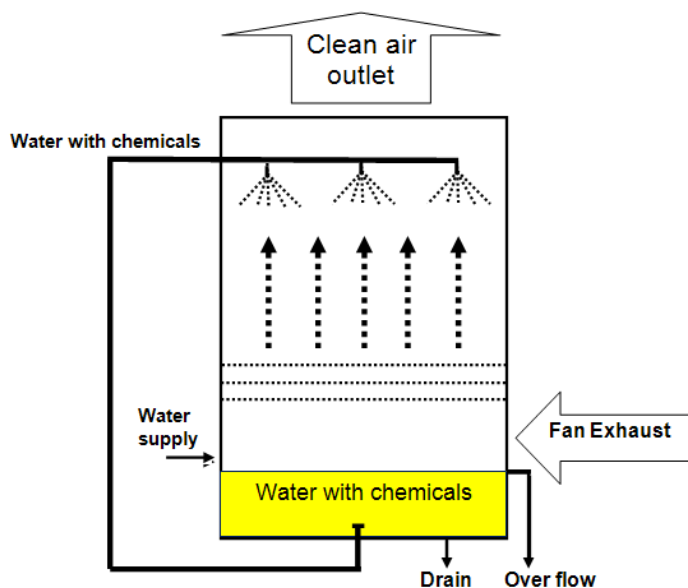
- Er zijn tegenstroom- en kruisstroomwassers
- Veel luchtwassersystemen maken gebruik van een filterpakket (pakking) om het contactoppervlak tussen lucht en water (al dan niet met chemicaliën of bacteriën) te vergroten.
- De gereinigde lucht en waterdamp kunnen zowel op maaiveldniveau als op enkele tientallen meters hoogte in de buitenlucht worden gebracht.

Verschillen tussen natte luchtwassers en natte recirculerende koeltorens:

- De temperatuur van het opgewarmde koelwater bij koeltorens ligt bijna altijd tussen 20-50 °C. De temperatuur van het waswater bij luchtwassers wordt vooral beïnvloed door de omgevingstemperatuur en de temperatuur van de inkomende verontreinigde lucht. Het kan zo zijn dat de temperatuur van het waswater in luchtwassers daarom nooit een gunstige temperatuur voor legionellagroei bereikt.
- Bij koeltorens wordt het koelwater teruggekoeld en kan het recirculerende buizensysteem met koelwater van en naar het te koelen apparaat lang zijn. Bij natte wassers wordt water als medium gebruikt om de lucht te reinigen en is de recirculatieleiding meestal korter, waardoor legionella minder kans krijgt om te groeien.
- Bij sommige luchtwassersystemen wordt gebruikgemaakt van een drukkamer, zodat de lucht gelijkmatig over de luchtwasser wordt geleid. De ventilatoren bevinden zich voor deze drukkamer om de verontreinigde lucht aan te zuigen (zie Figuur 4.1). Dit zal geen effect hebben op legionellagroei maar mogelijk is er hierdoor minder emissie van aerosolen naar de omgeving.
- Bij sommige, vooral industriële, wassersystemen wordt er ten opzichte van koeltorens na de verneveling een lange route afgelegd voordat emissie van de gereinigde lucht plaatsvindt (zie bijvoorbeeld Figuur 3.1). Mogelijk dat hierdoor minder emissie van aerosolen plaatsvindt
- Bij sommige industriële wassers vindt de verneveling aan het begin van het systeem plaats (meestroomsysteem) en is er een relatief lange route voordat emissie van mogelijke aerosolen naar het milieu plaatsvindt.
- De samenstelling van het water kan verschillen als gevolg van toegevoegde chemicaliën en bacteriën.
- Bij biowassers (biotrickling) wordt er biofilm gekweekt op een filterpakket om de verontreinigde lucht te wassen. Bij de meeste koeltorens wordt een biocide toegevoegd om vorming van biofilm te voorkomen.

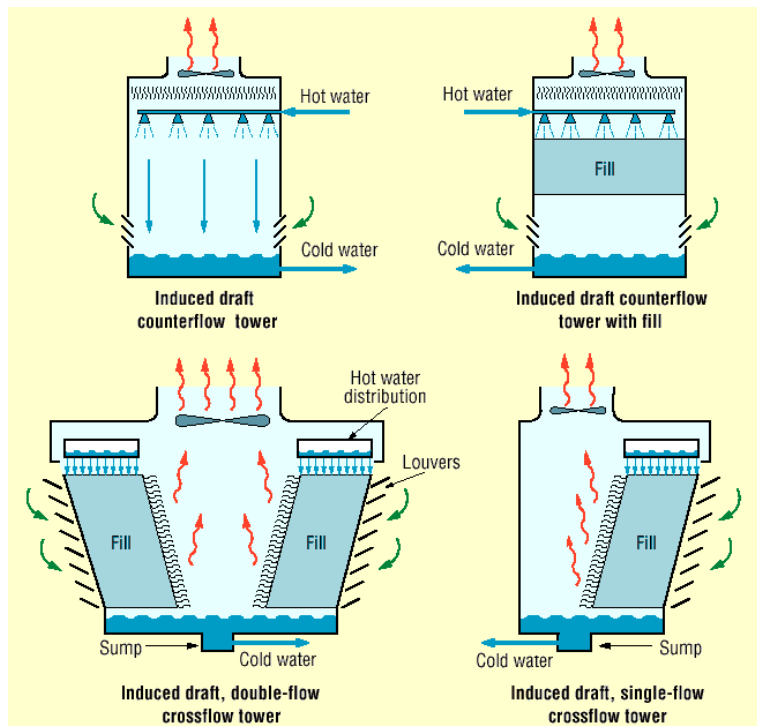


Figuur 4.1 Natte luchtwater met filterpakket (pluimveehouderij)
 Bron: Brochure 'Schone Lucht voor iedereen' (2011), ministerie van Economische Zaken, Landbouw en Innovatie

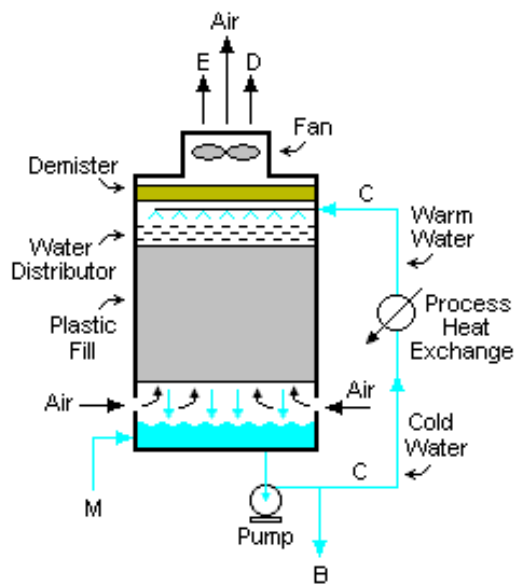


Figuur 4.2 Schematische weergave van een zure luchtwater
 Bron: Intech open science¹⁵

¹⁵ <http://www.intechopen.com/books/waste-management-an-integrated-vision/greenhouse-gas-emissions-from-housing-and-manure-management-systems-at-confined-livestock-operations>



Figuur 4.3 Schematische weergave van kruis- en tegenstroom natte koeltorens waarvan 3 met filterpakket ('fill') Bron: Geo4VA. U.S. Department of Energy's State Energy. De groene pijlen geven de richting aan van de inkomende buitenlucht; de rode pijlen van de opgewarmde lucht/waterdamp



- C = Circulating cooling water
- M = Makeup water
- E = Evaporated water
- D = Drift or windage water loss
- B = Blowdown or drawoff water

Figuur 4.4 Schematische weergave van een recirculerende natte koeltoren met filterpakket.
Bron: Milton Beychok (copyright free)

5 Aerosolvorming en -verspreiding door luchtwassers

5.1 Aerosolvorming in luchtwassers

Een legionella-infectie wordt verkregen door het inademen van legionellabacteriën. In het milieu groeien legionellabacteriën echter niet in de lucht, maar in water of in een vochtige omgeving als sloten, potgrond, whirlpools, drinkwater en koeltorens. De bacteriën worden in de lucht gebracht door vorming van fijne waternevel, ook wel aerosolen genoemd. Deze aerosolen hebben een grootte van ongeveer 1-8 μm (Bollin et al., 1985). Bij waterinstallaties ontstaan deze aerosolen door krachtig sproeien van het water, bijvoorbeeld door een douche of een fontein (Bollin et al., 1985). De meeste luchtwassers gebruiken net als koeltorens sproeiers ('spray nozzles'). Hiermee kunnen aerosolen worden geproduceerd die bij geschikte omstandigheden naar de omgeving buiten de luchtwasser kunnen worden verspreid.

5.2 Aerosolver spreiding naar de omgeving

Een uitbraak of een individuele legionella-infectie veroorzaakt door een luchtwasser kan alleen optreden als transmissie van aerosolen met virulente legionellabacteriën plaatsvindt. Kordes Advies geeft aan dat elke open luchtwasser in principe aerosolen verspreidt naar de omgeving, maar dat deze installaties vaak werken met een lagere luchthoeveelheid dan koeltorens. Ook leveranciers/fabrikanten sluiten aerosolver spreiding door luchtwassers niet uit. Kordes Advies geeft ook aan dat luchtwassers veelal lager zijn opgesteld dan koeltorens, waardoor het verspreidingsgebied mogelijk kleiner is. Geen enkele deskundige heeft echter onderbouwde (meet)gegevens over emissie van fijne waternevel afkomstig van het waswater van luchtwassers.

Zoals aangegeven in paragraaf 4.1, zijn er in de constructie van de luchtwasser overeenkomsten met koeltorens. Van koeltorens is bekend dat verspreiding van aerosolen met virulente legionellabacteriën tot op honderden meters en soms zelfs enkele kilometers mogelijk is (Van den Hoek et al., 2006; Nguyen et al., 2006; Bhopal et al., 1991; Ishimatsu et al., 2001; Mathieu et al., 2006).

Er zijn veel verschillende typen luchtwassers: de constructie en de luchtsnelheid kunnen afwijken van koeltorens. Mogelijk kunnen deze afwijkingen in de constructie en de luchtsnelheid gevolgen hebben voor de hoeveelheid aerosolen die naar de omgeving worden uitgestoten:

- Positie ventilator.
Bij sommige luchtwassersystemen is de plaats van de ventilator vóór dat de vervuilde lucht de wasser in gaat en in contact komt met de verneveling. De vervuilde lucht wordt gelijkmatig door de wasser geduwd. Wellicht zorgt dit voor een minder grote luchtsnelheid bij de uitgaande schone lucht dan bij koeltorens en wassers waar de lucht door de installatie wordt getrokken (Kordes, pm);
- Gesloten constructie van industriële luchtwassers.
Vooral bij sommige industriële luchtwassers is de constructie ten opzichte van koeltorens meer gesloten en moeten de aerosolen een relatief lange weg afleggen voordat ze in de omgeving worden gebracht. In Figuur 3.1 is een industriële luchtwasser weergegeven, waarbij na de verneveling nog een lange buis met bochten moet worden afgelegd voordat emissie van de gereinigde lucht plaatsvindt. Bij koeltorens is er een kort traject tussen verneveling, ventilator en vervolgens de omgeving. Wellicht zorgt dit ervoor dat relevante aerosolen met 1-8 μm diameter niet verspreid worden naar de

omgeving. Daarentegen blijft de lucht in de wasser continu erg vochtig. Fisman et al. (2005) hebben aangetoond dat de legionellabacterie langer overleeft in vochtige lucht;

- Bij Venturi-wassers (zie paragraaf 3.4.1) en vergelijkbare systemen vindt de verneveling in het begin van de wasser plaats en stroomt het water met de lucht mee verder door de wasser (meestroomprincipe). Het water en de lucht gaan daarbij door een vernauwing, om zo de absorptie van de stofdeeltjes te bevorderen. Wellicht worden door deze vernauwing de gevormde aerosolen weer opgelost in het water. Het is ook mogelijk dat de vernauwing juist weer nieuwe aerosolvorming veroorzaakt.

5.3 Klimatologische omstandigheden

Uit steeds meer onderzoek blijkt dat klimatologische omstandigheden een grote rol spelen bij de overleving en de verspreiding van legionellabacteriën in de buitenlucht (Nguyen et al., 2006; Ulleryd et al., 2012; Kusnetsov et al., 2010). Uit weermodellen blijkt dat vooral een warme periode gevolgd door een periode met regen kan leiden tot meer meldingen van legionellapneumonie (Hicks et al., 2007). Bij de verspreiding van legionella speelt wind ook een belangrijke factor (Ottosen et al., 2011). Bij waterzuiveringsinstallaties is de invloed van de wind op de verspreiding van legionellabacteriën in beeld gebracht (Blatny et al., 2011, Kusnetsov et al., 2010) en blijkt de wind legionellabacteriën tot enkele honderden meters te kunnen verspreiden. Deze installaties hebben een relatief groot wateroppervlak, waar de wind vrij spel heeft. Ook bij uitbraken met koeltorens is de windrichting van invloed (Ulleryd et al., 2012; Garcia-Fulgueiras et al., 2003).

Indien emissie van aerosolen met virulente legionellabacteriën kan plaatsvinden door luchtwassers, zal ook hier het weer van invloed zijn op de verdere verspreiding naar de omgeving. De mate van verspreiding hangt af van de positie en de hoogte van de luchtwasser. Als de uitlaat van de luchtwasser op grondniveau is en enige beschutting heeft van de wind, dan zal er minder snel verspreiding plaatsvinden over een grotere afstand dan wanneer de aerosolen zonder verdere beschutting op bijvoorbeeld 10 meter hoogte worden uitgestoten.

Biofilters kunnen direct in contact staan met de buitenlucht waardoor wind en regen in contact kunnen komen met de pakking, bestaande uit compost, houtsnippers of ander biologisch materiaal. Met ventilatoren wordt lucht door het biofilter geduwd, waardoor mogelijk aerosolen kunnen vrijkomen en worden meegevoerd door de wind.

5.4 Positie luchtwasser ten opzichte van de omgeving

Indien een luchtwasser aerosolen verspreidt naar de omgeving is het van belang om te bepalen of een grote groep mensen (populatie) met deze aerosolen in contact kan komen. Indien de luchtwasser op een terrein staat ver van een woonomgeving of van plekken waar grote groepen mensen komen, dan is het risico van een legionella-infectie kleiner dan wanneer de installatie midden in een stad staat.

Koeltorens worden onderverdeeld in vier risicocategorieën op basis van de positie ten opzichte van de omgeving (zie Tabel 5.1). Aan de hand van deze risicocategorie-indeling moeten drijvers van inrichtingen bepaalde preventieve of correctieve maatregelen nemen bij koeltorens. De indeling is afkomstig uit de

BREF¹⁶ voor industriële koeltorens en is gebaseerd op eerdere uitbraken en onderzoek.

*Tabel 5.1 Risicocategorie-indeling voor natte koeltorens
(Bron: Activiteitenregeling: Tabel 3.16a)*

Risicocategorie	Locatie natte koeltoren
1 (hoogste risico)	Natte koeltoren in nabijheid (< 200 m) van een ziekenhuis, verpleeghuis of andere (medisch georiënteerde) zorginstelling waar mensen verblijven met een verminderd immuunsysteem
2	Natte koeltoren in nabijheid (< 200 m) van verzorgingstehuizen, hotels of andere gebouwen waarin zich veel mensen bevinden
3	Natte koeltoren in nabijheid (< 600 m) van een woonomgeving
4 (laagste risico)	Natte koeltoren op afstand (> 600 m) van een woonomgeving

Met een woonomgeving wordt in deze tabel een dorp, stad of een vergelijkbare verzameling woonhuizen bedoeld en niet één of twee individuele woonhuizen (zoals boerderijen). Bij koeltorens in steden is de indeling soms lastig te hanteren doordat niet altijd duidelijk is of er ziekenhuizen of verzorgingshuizen op < 200 m staan. Voor luchtwassers die aerosolen naar de omgeving verspreiden, zou een vergelijkbare indeling kunnen worden gehanteerd. Een luchtwasser zoals omschreven in dit rapport komt echter niet vaak voor in een stedelijke omgeving. Een onderscheid zoals gemaakt in risicocategorieën 1 en 2 is wellicht overbodig.

Op dit moment ontbreekt een overzicht van hoeveel luchtwassers er zijn in Nederland, welke typen het betreffen en waar deze installaties staan. Gezien de hoge bevolkingsdichtheid van Nederland is het niet uitgesloten dat er risicovolle luchtwassers in gebruik zijn op < 600 m van een woonomgeving of terrein waar veel mensen verblijven. Door het ontbreken van literatuur over legionellapneumonie-uitbraken veroorzaakt door luchtwassers en de beperkte gegevens over aerosolver spreiding, is op dit moment een risicocategorie-indeling op basis van locatie niet mogelijk voor luchtwassers.

6 Risicoschatting

6.1 Indeling in risicocategorieën

In Tabel 6.1 zijn de verschillende luchtwassystemen onderverdeeld in acht risicocategorieën. Hierbij is gekeken of de pH- en temperatuur-condities in de verschillende luchtwassystemen legionellagroei kunnen bevorderen en of emissie van aerosolen naar de buitenlucht mogelijk is. De kans op legionellagroei en -emissie is het grootst bij stofwassers en biowassers in risicocategorie 1. De kans is het laagst bij basische en zure wassers geplaatst in risicocategorie 7 en 8. De risico-indeling is gemaakt op basis van de literatuurstudie en interviews beschreven in hoofdstuk 3, 4 en 5. Validatie van deze risico-indeling is nog noodzakelijk door middel van onderzoek naar legionella-groei in de verschillende luchtwassystemen, evenals onderzoek naar legionella-emissie door luchtwassystemen waar legionellagroei mogelijk is.

In tegenstelling tot hoofdstuk 3 t/m 5 is in Tabel 6.1 geen onderscheid gemaakt in luchtwassers die worden gebruikt in de veehouderij en de industrie. Zoals in paragraaf 3.3 weergegeven, zijn er verschillen in regelgeving en constructie, maar in beide werkgebieden kunnen luchtwassers voorkomen in de verschillende risicocategorieën zoals weergegeven in Tabel 6.1. Uit de literatuurstudie en de gesprekken met deskundigen kon niet worden vastgesteld of de plaats van de ventilator, de wijze van emissie van de schone lucht en andere verschillen in constructie, invloed hebben op de aerosolver spreiding naar de omgeving. Wellicht dat uit een vervolgonderzoek blijkt dat de constructie en/of positie van een luchtwasser een significante invloed hebben op de aerosolver spreiding en dat dit moet worden meegenomen in de risicoschatting.

Tabel 6.1 Risicoschatting natte luchtwassers

Risico-categorie	Type wassers ¹⁷	pH / temp ¹⁸	Aerosolvorming en -verspreiding; werkingsprincipe ¹⁹	Legionella-verspreiding naar populatie
1	Stofwasser, biowasser	pH 6,5-7,5; <50 °C	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	goed mogelijk
2	Biofilter	pH 6,5-7,5; <50 °C	Gebruik sproeiers voor bevochtigen biofilter. Geen recirculatie. Wind en regen meer invloed?	mogelijk
3	Stofwasser	pH 6,5-7,5; <50 °C	Gebruik sproeiers. <u>Geen</u> recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Mogelijk filterpakket aanwezig	Sommige situaties mogelijk
4	Licht (oxidatieve) basische water	pH 7,5-9; <50 °C	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	Sommige situaties mogelijk
5	Licht zure water	pH 5-6; <50 °C	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	Sommige situaties mogelijk
6	Stofwasser	pH 6,5-7,5; ≥50 °C	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	Niet waarschijnlijk
7	(oxidatieve) Basische water	pH >9; elke temp	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	Zeer onwaarschijnlijk
8	Zure water	pH ≤4; elke temp	Gebruik sproeiers. Recirculatie waswater. Gebruik van ventilator. Vaak filterpakket aanwezig.	Zeer onwaarschijnlijk

6.2 Onderbouwing indeling risicocategorieën

6.2.1 Stofwassers en biowassers

Legionella kan in zeer lage aantallen worden aangevoerd bij elke bijvulling van het waswater. Echter, voor groei in de luchtwater tot hoge aantallen zijn een neutrale pH en temperatuur tussen 20-50 °C nodig. Het is goed mogelijk dat in het waswater van stofwassers en biowassers met een neutrale pH legionella kan groeien indien de temperatuur gunstig is voor legionellagroei. Uit gesprekken met deskundigen en niet-gepubliceerde temperatuurgrafieken van luchtwassers uit de veehouderij blijkt dat het waswater bijna altijd ≤22 °C is, waardoor groei van legionella waarschijnlijk is. Risicofactoren voor significante groei zijn echter zomermaanden waarbij de temperatuur meerdere dagen achtereen ≥30 °C is, zoals in de zomers van 2006 en 2010, of luchtwassers die in de nok van de stal worden geplaatst waar de omgevingstemperatuur 25-35 °C kan zijn. Uit niet-gepubliceerde temperatuurgrafieken van een fabrikant blijkt dat de waswatertemperatuur kort boven de 25 °C kan komen door een hoge omgevingstemperatuur. Het is niet waarschijnlijk dat het waswater een

¹⁷ Er wordt uitgegaan van een goed onderhouden water en die continu wordt gebruikt zoals opgegeven door de fabrikant. Binnen elk type water kan er enigszins verschil zijn in watersamenstelling en constructie waardoor ook de groeicondities en aerosolvorming kunnen verschillen. Combiwassers zijn niet meegenomen omdat de risico-inschatting per wastechiek wordt gemaakt.

¹⁸ Van het waswater. Betreft standaardwaarden waarvan niet langer dan een paar dagen wordt afgeweken.

¹⁹ Risicopunten in de constructie / het werkingsprincipe; vergeleken met koeltorens.

temperatuur heeft ≥ 30 °C, omdat door het vernevelen van water afkoeling van het waswater plaatsvindt. Bij luchtwassers die worden gebruikt in veehouderijen is de temperatuur van het waswater ongeveer 5°C lager dan de inkomende lucht (Melse et al., 2012). Gezien de sectoren in de industrie waar stofwassers worden gebruikt, is het aannemelijk dat er stofwassers zijn waar de te reinigen lucht of de omgevingstemperatuur > 30 °C is, waardoor het waswater een temperatuur kan hebben van 25-40 °C.

Een andere risicofactor is een 'hotspot' in de wasinstallatie (Van Wolferen, 2002). Indien lokaal opwarming plaatsvindt in de recirculatieleiding, bijvoorbeeld door de pomp van de wasinstallatie of een extern warm apparaat, dan kan op die plek groei van legionella optreden. Het is moeilijk om deze *hot spot* op te merken bij periodieke temperatuurmetingen, doordat de lokale opwarming weinig gevolgen heeft voor de gemiddelde temperatuur van het waswater. Als er geen sprake is van een *hot spot* en de temperatuur altijd < 20 °C is, dan zal er in theorie geen groei van legionella plaatsvinden.

Wellicht dat bij sommige stofwassers groei enigszins wordt geremd door chemicaliën die uit de inkomende lucht worden afgevangen. Groei kan echter nog steeds mogelijk zijn. Bij koeltorens waarvan het water wordt behandeld met biociden voor het remmen van de microbiologische groei, kan nog steeds legionella in aanzienlijke concentraties worden aangetoond (Oosterholt et al., 2010; Oosterholt en Veenendaal, 2012).

Dat legionellabacteriën in deze wisselende en groeiremmende milieus kunnen worden aangetoond komt doordat ze zich bevinden in amoeben of in biofilm (Schalk et al., 2011; Declerck, 2010). De amoeben en biofilm beschermen de legionellabacteriën tegen deze invloeden. Door het werkingsprincipe en de constructie van luchtwassers is het aannemelijk dat er een biofilm aanwezig is in meerdere onderdelen van de installatie, waaronder de recirculatieleiding, de sproeileiding en het waterbassin. Bij een biowasser is vorming van biofilm onderdeel van het reinigingsproces. Bij biowassers in de veehouderij wordt een biofilm op het filterpakket gekweekt met ammonium-oxiderende bacteriën (AOB). Het recirculerende waswater bevat ook AOB. De bacteriën zorgen voor afbraak van ammoniak. Een fabrikant van deze wassystemen heeft aangegeven dat dermate hoge concentraties ammoniumzout (soms > 100 mM) en verschillende afbraakproducten als nitriet en 'free nitrous acid' (FNA, HNO_2) constant aanwezig zijn in het waswater, zodat legionellagroei niet waarschijnlijk is. Sommige protozoa kunnen zich echter beschermen tegen dergelijke omstandigheden doordat ze een 'cyste' vormen (KWR, pm). Het is aannemelijk dat dit ook kan plaatsvinden in biowassers, maar literatuur ontbreekt. Onduidelijk is of de AOB(-activiteit) invloed hebben (heeft) op de groei van protozoa of legionella. Wel is bekend dat legionellabacteriën kunnen groeien in een biofilm gevormd door andere micro-organismen (Stewart et al., 2012). AOB zijn echter niet meegenomen in dit onderzoek. Ook zijn er bij riool- en afvalwaterzuiveringsinstallaties hoge concentraties legionella geïsoleerd, en op enkele honderden meters van deze installatie is legionella in de lucht gedetecteerd (Kusnetsov et al., 2010; Blatny et al., 2011; Mathieu et al., 2006). Het is niet uitgesloten dat in deze installaties AOB aanwezig zijn. Uit onderzoek van Juhler et al. (2009) blijkt dat AOB $< 0,12$ procent uitmaken van de populatie bacteriën in de biofilm van de biowasser. Circa 99,9 procent van de bacteriepopulatie in de biofilm bestaat uit andere, nog niet gedefinieerde, bacteriën. Ottossen et al. (2010) gaat ervan uit dat de AOB-activiteit dominant is, maar bewijs ontbreekt. In industriële biowassers worden ook andere

componenten door bacteriën omgezet, zoals waterstofsulfide (H₂S) in sulfaat (SO₄). Ook hier is niet duidelijk wat de samenstelling van de bacteriepopulatie in de biofilm is.

Vanwege de niet-gedefinieerde bacteriepopulatie in de biofilm van de biowasser, de mogelijke beschermingsmechanismen van protozoa tegen afbraakproducten en de mogelijkheid van legionella om te groeien in biofilm gecreëerd door andere bacteriën, is het op dit moment niet uit te sluiten dat legionella, mogelijk tot hoge aantallen, kan groeien in biowassers (inclusief biotricklingfilters).

6.2.2 *Biofilter*

Een verschil met biowassers is dat bij een biofilter geen recirculatie plaatsvindt van het waswater. De verneveling vindt plaats doordat met tussenpozen een sproei-installatie aan en uit wordt gezet om het bio(bed)filter vochtig te houden, waardoor component-afbrekende micro-organismen op dit filter kunnen groeien. Door het niet recirculeren van water is de kans op gunstige groeiomstandigheden kleiner. Als het water van de sproei-installatie – al dan niet tijdelijk of lokaal – een temperatuur heeft >20 °C, kan er echter wel legionellagroei plaatsvinden en kan legionella worden verspreid naar de omgeving. In vergelijkbare sproeisystemen zijn legionellabacteriën geïsoleerd (Stojek en Dutkiewicz, 2002; Zietz et al., 2006).

Het is aannemelijk dat, vergelijkbaar met de biowasser, ook legionellagroei plaatsvindt op het biofilter bestaande uit organische materialen als compost en houtsnippers. Legionella is aangetoond op compostmateriaal (Casati et al., 2010). Onduidelijk is of er verneveling van legionella uit het filter plaats kan vinden doordat de te reinigen lucht actief via ventilatoren door het filter wordt geduwd. Het filter kan direct in contact staan met de buitenlucht. Een bepaalde windrichting zou kunnen leiden tot verspreiding van legionellabacteriën naar een woonomgeving. Een vergelijkbare besmettingsroute is eerder beschreven bij uitbraken door afvalwaterzuiveringsinstallaties (Kusnetsov et al., 2010). Dit zou in een vervolgonderzoek nader kunnen worden bekeken.

6.2.3 *(oxidatieve) Basische wasser*

De enige wetenschappelijk publicatie over de aanwezigheid van legionella in een luchtwasser betrof een basische luchtwasser met pH 8-9; de Noorse uitbraak bij Sarpsborg (Nygård et al., 2008). Na contact met een grote Nederlandse industriële locatie met meerdere luchtwassersystemen bleek ook hier legionella in een lage concentratie aangetoond in een basische wasser met pH 9 (pm; locatie bij auteur bekend). Gezien de groeiomstandigheden van legionella, is een hoge concentratie niet te verwachten en vindt er weinig groei plaats. Het is aannemelijk dat protozoa en/of biofilm ervoor zorgen dat de legionellabacterie kan overleven en wellicht ook enigszins kan groeien in een basische wasser met een pH 7,5-9 en temperatuur <50 °C.

Ook als aan de basische wasser oxidatieve biocide wordt toegevoegd (oxidatieve basische wasser), zoals waterstofperoxide, kan legionella in de wasinstallatie groeien. In koeltorens waar oxidatieve biociden worden toegevoegd aan het koelwater om microbiologische groei te voorkomen, wordt toch legionellagroei waargenomen (Oesterholt et al., 2010; Oesterholt en Veenendaal, 2012). De kans op aanwezigheid van legionella in de oxidatieve basische wasser wordt wel minder aannemelijk als de concentratie oxidatieve biocide significant hoger is dan in een koeltoren. Ook is het niet te verwachten dat legionellagroei plaatsvindt in basische wassers met pH >9. Amoeben en biofilm kunnen in deze omstandigheden moeilijk overleven (States et al., 1987).

6.2.4 *Zure wasser*

De meest gebruikte luchtwasser in de veehouderij is een zure wasser. Hoe lager de pH, hoe efficiënter de reiniging van de basische lucht of het basische gas plaatsvindt. Zure wassers in de veehouderij dienen pH ≤ 4 aan te houden. Soms kan de pH enkele dagen iets oplopen richting pH 7, maar daarna volgt weer een shotdosering, zodat de pH ≤ 4 is. Bij deze condities is legionellagroei niet te verwachten en is ook overleving van de bacterie niet waarschijnlijk.

Voorwaarden zijn wel dat deze wassers goed zijn onderhouden en dat de pH daadwerkelijk niet langer dan een paar dagen pH 6-7 heeft.

In de industrie kan de zure wasser ook zijn afgesteld op pH 5 of 6 (zie hoofdstuk 3). Hoewel deze pH niet ideaal is, kan (lichte) legionellagroei niet worden uitgesloten. Op basis van de literatuur en de inventarisatie worden zure wassers met een constante pH 5-6 (of soms iets hoger) op dit moment in de laagste categorie geplaatst, waar in sommige situaties emissie van legionella mogelijk is. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of dit ook daadwerkelijk plaatsvindt.

6.2.5 *Locatie en aerosolver spreiding*

Met dit literatuuronderzoek en met interviews van deskundigen was het niet mogelijk om vast te stellen in welke mate emissie van aerosolen met legionella plaatsvindt door luchtwassers. Literatuur ontbreekt en de respondenten hadden geen data over emissie van aerosolen afkomstig van het waswater. In deze risicoschatting is voornamelijk uitgegaan van een vergelijkbare aerosolvorming als bij andere vernevelende waterinstallaties, zoals koeltorens en fonteinen. Gezien de overeenkomsten met koeltorens (zie paragraaf 4.2) is het zeer aannemelijk dat emissie van aerosolen plaatsvindt door bepaalde luchtwassers. Het emissiegehalte en de mate van verspreiding in de directe omgeving kunnen door een afwijkende constructie mogelijk per type luchtwasser verschillen.

Wellicht fungeren sommige luchtwassystemen als reservoir en worden op betrekkelijke korte afstand andere potentiële bronnen besmet met legionellabacteriën, door bijvoorbeeld het spuiwater. Voorbeeld hiervan zijn de uitbraken in Noorwegen die eerder werden toegewezen aan een luchtwasser. Uit vervolgonderzoek bleek dat de naastgelegen rivier door een waterzuiveringsinstallatie was besmet met legionellabacteriën, waardoor over een afstand van 10 km mensen een legionellapneumonie ontwikkelden (Olsen et al., 2010). Voornamelijk is er geen risico-indeling gemaakt op basis van de locatie van de luchtwasser ten opzichte van een (stedelijke) woonomgeving. Deze risico-indeling is verplicht voor natte koeltorens (zie Tabel 5.1). Desalniettemin is het raadzaam om voor luchtwassystemen uit risicocategorie 1 t/m 5 zo nodig maatregelen te adviseren zoals verwoord in paragraaf 7.2.2. Uit vervolgonderzoek moet blijken of verdere maatregelen nodig zijn.

7 Conclusie

7.1 Conclusie

Om de emissie van schadelijke stoffen en gassen en hinderlijke geuren veroorzaakt door vrijgekomen lucht of gas van een bedrijfsproces naar de omgeving te beperken, worden verschillende typen luchtwassers gebruikt. In natte luchtwassers bestaat het risico van groei van legionella indien de pH van het waswater neutraal is en indien gunstige temperaturen voor legionellagroei worden bereikt, namelijk $> 20\text{ °C}$ en $< 50\text{ °C}$.

Bij de Nederlandse veehouderijen zijn circa 1.500 luchtwassers geplaatst, voornamelijk om ammoniak af te vangen. Ongeveer 90 procent van deze luchtwassers gebruikt hiervoor zwavelzuur, waardoor het waswater een $\text{pH} \leq 4$ heeft, zogenaamde zure wassers. Legionellagroei vindt niet plaats bij $\text{pH} < 5$ waardoor verspreiding van legionella naar de (woon)omgeving door deze luchtwassers niet is te verwachten. Deze luchtwassers zijn daarom geplaatst in de laagste risicocategorie: risicocategorie 8 (zie Tabel 6.1). De overige 10 procent in de veehouderij bestaat voornamelijk uit biologische wassers. Daarnaast worden op enkele locaties biofilters en stofwassers gebruikt, vrijwel altijd in combinatie met een zure en/of biowasser (combiwassers). Bij al deze wassystemen zijn groei en emissie van legionellabacteriën naar de buitenlucht niet uit te sluiten.

Uit de literatuurstudie en interviews werd niet duidelijk hoeveel luchtwassers zijn geplaatst bij de Nederlandse industrie. Luchtwassers worden gebruikt door onder andere waterzuiveringsinstallaties, (petro)chemische industrie, vis- en vleesverwerkingsbedrijven en afvalverbrandingsbedrijven. Bij deze bedrijven worden vergelijkbare luchtwassystemen gebruikt als bij de veehouderij. Verschil is dat de installaties veelal groter zijn en er worden ook meer combiwassers gebruikt omdat verschillende verontreinigingen moeten worden afgevangen. Ook kan de constructie meer gesloten zijn en kan de uitstoot van de gereinigde lucht plaatsvinden op enkele (tiental) meters boven het maaiveld via een lange schoorsteen (zie Figuur 3.1). Bij de industrie worden ook meer verschillende stofwassers gebruikt, zoals een Venturiwasser of een natte cycloon. Bij al deze stofwassers zijn legionellagroei en -verspreiding wellicht mogelijk als er een gunstige (omgevings)temperatuur is.

Op basis van het uitgevoerde literatuuronderzoek en afgenomen interviews met deskundigen, zijn biowassers en stofwassers geplaatst in de hoogste risicocategorie; legionellagroei en aerosolver spreiding zijn goed mogelijk. Het werkingsprincipe van biowassers en stofwassers heeft veel overeenkomsten met natte koeltorens: er wordt gebruikgemaakt van sproeiërs om het filterpakket te bevochtigen, de lucht wordt door het pakket getrokken of geduwd en het waswater wordt gerecirculeerd (zie Figuur 4.1-4.4). Daarnaast heeft het waswater een vrijwel neutrale pH en ook is een gunstige groeitemperatuur voor legionella, al dan niet lokaal of tijdelijk, mogelijk. Ondanks soms hoge concentraties ammoniumzouten en andere afbraakproducten in biowassers, zijn hoge aantallen legionellabacteriën in deze wassers niet uitgesloten. Op het filterpakket van een biowasser wordt bewust een biofilm gekweekt met $< 0,12$ procent ammonium oxiderende bacteriën (AOB), zodat ammoniak wordt afgebroken (Juhler et al., 2009). Het is nog onduidelijk wat de verdere samenstelling is van biofilm. Protozoa waarin legionella groeien, bevinden zich

voornamelijk in biofilm en kunnen zich – door het vormen van een cyste – beschermen tegen een vijandige omgeving (KWR, pm).

De temperatuur van de te reinigen lucht bij de industrie kan veel hoger zijn dan bij de veehouderij, soms meer dan 80 °C. Hierdoor kan het waswater worden opgewarmd tot ideale groeitemperaturen van 30-40 °C. Als de pH neutraal is, dan is groei van legionella in het waswater bij deze temperatuur aannemelijk. Als de temperatuur van het waswater hoger wordt dan 50°C, dan is groei niet meer aannemelijk. Stofwassers met een constante waswatertemperatuur van ≥ 50 °C zijn geplaatst in risicocategorie 6. Deze installaties zijn niet in de laagste risicocategorie opgenomen, omdat de temperatuur wellicht kan fluctueren en groei van legionella mogelijk is.

Biofilters maken gebruik van organische materialen als compost en houtsnippers om micro-organismen te kweken waarmee componenten kunnen worden afgevangen. Het organische filter wordt periodiek bevochtigd, maar dit water wordt niet gerecirculeerd. Legionellagroei in de sproeileiding is mogelijk als er (tijdelijk en/of lokaal) opwarming van deze leiding plaatsvindt. Wellicht dat aerosolvorming van legionellabacteriën op het filter optreedt doordat lucht van onderaf door het filter wordt geduwd en van bovenaf wordt besproeid. Harde wind zou hierbij ook een rol kunnen spelen, doordat het biofilter in contact staat met de buitenlucht. Ondanks ontbreken van literatuur over deze wijze van aerosolvorming is het niet uit te sluiten dat legionella wordt verspreid door de sproeileiding en/of het biofilter. Dit type luchtwasser is daarom geplaatst in risicocategorie 2; legionellaverspreiding naar de omgeving is mogelijk.

Bij sommige industriële stofwassers vindt mogelijk geen recirculatie van het waswater plaats. Door het ontbreken van recirculatie is er minder kans op gunstige groeiomstandigheden. Deze stofwassers zijn daarom geplaatst in risicocategorie 3; legionellaverspreiding is in sommige situaties mogelijk. Naast zure wassers met $\text{pH} \leq 4$ worden in de industrie ook licht zure wassers met pH 5-6 en basische wassers met pH 8-10 toegepast. Bij gunstige temperaturen is legionellagroei bij licht basische en zure luchtwassers niet uit te sluiten en daarom zijn zij geplaatst in respectievelijk risicocategorie 4 en 5. Tot slot kunnen er basische luchtwassers zijn met een $\text{pH} > 9$. Legionella-groei is zeer onwaarschijnlijk in deze luchtwassers en deze luchtwassystemen zijn daarom geplaatst in risicocategorie 7.

Er is geen literatuur over emissie van fijne waternevel afkomstig van het waswater van luchtwassystemen, maar gezien de overeenkomsten met het werkingsprincipe van koeltorens is het niet uit te sluiten dat aerosolvorming en -emissie kan plaatsvinden. Mogelijk hebben de luchtsnelheid binnen de wasser en de constructie wel invloed op de mate van verspreiding naar de omgeving. Dit moet blijken uit vervolgonderzoek.

7.2 Aanbevelingen

Uit de conclusies volgen een aantal aanbevelingen voor vervolgonderzoek en adviezen voor legionellapreventie bij luchtwassers. Ook is een advies opgenomen voor overheidsorganisaties hoe om te gaan met vragen over deze installaties.

7.2.1 *Aanbevelingen voor vervolgonderzoek*

1. Inventariseren hoeveel luchtwassers er in Nederland zijn (zie Tabel 6.1).
2. Het waswater bemonsteren van een representatief aantal luchtwassystemen uit risicocategorie 1 t/m 5, om vast te stellen of legionellagroei kan plaatsvinden. Bij voorkeur ook een representatief aantal luchtwassystemen uit risicocategorie 6 t/m 8 bemonsteren, om vast te stellen of hier geen legionellagroei kan plaatsvinden. Analyseren op de aanwezigheid van *Legionella spp.* Het monster nemen vlak voordat de verneveling plaatsvindt (sproeileiding of recirculatieleiding).
3. Bij luchtwassystemen waar legionella is geïsoleerd aerosolen meten na het uitlaatpunt van de luchtwasser, om vast te stellen of aerosolen de luchtwasser verlaten.
4. Luchtbemonsteringen uitvoeren in de omgeving van luchtwassers waar aerosolen zijn gemeten bij het uitlaatpunt, om vast te stellen of verspreiding van legionella naar de omgeving plaatsvindt en tot welke afstand.

7.2.2 *Aanbevelingen voor legionellapreventie*

In de AI-32 (3^e druk) wordt geadviseerd om bij alle luchtwassers vergelijkbare legionellapreventie uit te voeren als bij koeltorens. Ook het CIB/LOI adviseert om legionellapreventie uit te voeren bij luchtwassers (LCHV-draaiboek, 2012). Uit het hier gepresenteerde rapport blijkt dat legionellagroei in zure wassers met een $\text{pH} \leq 4$ en basische wassers met $\text{pH} > 9$ niet kan optreden. Dat betekent dat voor ongeveer 90 procent van de luchtwassers in de veehouderij en voor een nog onbekend aantal luchtwassers in de industrie legionellapreventie niet nodig is. Bij voorkeur wordt op korte termijn het vervolgonderzoek gestart om te bepalen of legionellabacteriën kunnen worden geïsoleerd in luchtwassystemen genoemd in risicocategorie 1 t/m 5, en of aerosolen kunnen worden verspreid naar de omgeving. Aan de hand van dit vervolgonderzoek kan worden bepaald bij welke luchtwassystemen legionellapreventie noodzakelijk is. Totdat het rapport van dit vervolgonderzoek is gepubliceerd, is het raadzaam de risicocategorie-indeling te hanteren zoals gepresenteerd in dit rapport en om maatregelen voor legionellapreventie vooral te richten op luchtwassers uit risicocategorieën 1 en 2.

Bij luchtwassystemen uit risicocategorie 1 en 2 is vergelijkbare preventie als bij koeltorens veelal niet mogelijk. Aan het waswater van biowassers en biofilters kunnen geen biociden worden toegevoegd, omdat daarmee ook de bacteriën die de componenten omzetten worden verwijderd. Ook 'alternatieve' beheersmethoden, zoals UV, filters en koper/zilver-ionisatie, zijn om dezelfde reden niet geschikt. Ook bij stofwassers is toevoeging van biociden die de biofilm en legionellabacteriën kunnen bestrijden niet altijd mogelijk, vanwege corrosie van de installatie of doordat de biocide invloed kan hebben op de effectiviteit van de wasser.

Een deel van de gunstige groeiomstandigheden kan worden voorkomen door eenmalige aanpassingen. Op dit moment is er bij luchtwassers weinig aandacht voor mogelijke (lokale of tijdelijke) opwarming van het waswater. Bij het ontwerpen van de luchtwasser zou meer aandacht kunnen zijn voor eventuele (lokale) opwarming van het waswater. Ook kunnen gunstige groeiomstandigheden en verspreiding van fijne waternevel worden voorkomen door aanpassen van de constructie en door goede monitoring:

- Probeer verneveling te voorkomen door gebruik te maken van alternatieve waterverdeling, zoals drukloze waterverdeelpaten.
- Zorg ervoor dat er geen warme apparatuur wordt geplaatst tegen of vlak bij de wasinstallatie (inclusief recirculatie- en suppletieleiding).
- Voorkom zo veel mogelijk opwarming door de omgeving, zoals de zomerzon en ruimtetemperaturen ≥ 25 °C.
- Blijf de luchtwasser continu monitoren, neem actie bij normafwijkingen en voer al het periodieke onderhoud correct uit.
- Indien mogelijk, voorkom dat de wind aerosolen tot een grotere afstand kunnen verspreiden door het plaatsen van afscheidingswanden.

Het is raadzaam om voor luchtwassystemen uit risicocategorie 1 t/m 5 nabij een woonomgeving (<600 meter; zie Tabel 5.1) een risicoanalyse uit te voeren om te bepalen of opwarming, al dan niet tijdelijk of lokaal, kan plaatsvinden en of dit kan worden voorkomen. Ook kan via een risicoanalyse worden bepaald of andere maatregelen kunnen worden uitgevoerd om legionellagroei te voorkomen. Indien in de Arbocatalogus van het bedrijf is opgenomen dat voor alle vernevelende waterinstallaties in het kader van legionellapreventie een risicoanalyse en beheersplan moet worden uitgevoerd of vergelijkbare maatregelen, dan is dit ook verplicht bij natte luchtwassers.

7.2.3 *Advies voor milieudiensten, GGD'en en andere overheidsorganisaties bij vragen over luchtwassers*

Uit de literatuurstudie en interviews blijkt dat er nog te veel ontbrekende data is om met zekerheid te kunnen vaststellen of een bepaald luchtwassysteem een potentiële bron voor legionella kan zijn. Uit vervolgonderzoek moet blijken of legionella kan worden gedetecteerd en of aerosolen met legionellabacteriën naar de omgeving kunnen worden verspreid door deze installaties. De studie geeft wel inzicht in de *mogelijke* risico's van legionellagroei in de verschillende luchtwassystemen. Met behulp van Tabel 6.1 en adviezen in paragraaf 7.2.2 kan worden bepaald of legionellagroei mogelijk is en wat voor maatregelen kunnen worden genomen om groei en aerosolvorming of -emissie zo veel mogelijk te voorkomen.

Advies werkwijze:

- Bepaal aan de hand van Tabel 6.1 in welke risicocategorie de luchtwasser zich bevindt. Vraag naar het type water. Als het zure of basische waters betreft: vraag naar de pH van het waswater en of er geen sprake is van sterke fluctuaties. Als het een stofwater betreft: vraag of de temperatuur van het waswater (tijdelijk) meer dan 20 °C of minder dan 50 °C kan zijn;
- Op basis van de huidige inzichten is legionellapreventie niet noodzakelijk voor luchtwassers in risicocategorie 6 t/m 8;
- Voor luchtwassers uit risicocategorie 1 t/m 5 kan worden overwogen om maatregelen te adviseren of op te nemen in de vergunning zoals verwoord in paragraaf 7.2.2.

Tot slot is het aan te raden om luchtwassers uit risicocategorie 1 t/m 5 te includeren in het legionella-brononderzoek, op vergelijkbare wijze als natte koeltorens.

Literatuur

- Anand CM, Skinner AR, Malic A, Kutz JB. 1983. Interaction of *L. pneumophila* and a free living amoeba (*Acanthamoeba palestinensis*). *J Hyg (Lond)* 91(2):167-78.
- Arbo-informatieblad 32. 2011. Sdu Uitgevers. 3^e druk.
- Besluit Algemene Regels voor Inrichtingen Milieubeheer (Activiteitenbesluit). 2008. http://wetten.overheid.nl/BWBR0022762/geldigheidsdatum_27-02-2013
- Bhopal RS, Fallon RJ, Buist EC, Black RJ, Urquhart JD. Proximity of the home to a cooling tower and risk of non-outbreak Legionnaires' disease. *BMJ*. 1991 302(6773):378-83.
- Blatny JM, Fossum H, Ho J, Tutkun M, Skogan G, Andreassen O, Fykse EM, Waagen V, Reif BA. 2011. Dispersion of *Legionella*-containing aerosols from a biological treatment plant, Norway. *Front Biosci*. 1;3:1300-9.
- Bollin GE, Plouffe JF, Para MF, Hackman B. 1985. Aerosols containing *Legionella pneumophila* generated by shower heads and hot-water faucets. *Applied Environmental Microbiology* 50(5):1128-31.
- Buse HY, Ashbolt NJ. 2011. Differential growth of *Legionella pneumophila* strains within a range of amoebae at various temperatures associated with in-premise plumbing. *Letters of Applied Microbiology* 53:217-224.
- Casati S, Conza L, Bruin J, Gaia V. 2010. Compost facilities as a reservoir of *Legionella pneumophila* and other *Legionella* species. *Clinical Microbiol Infect* 16(7):945-7
- Costa J, Tiago I, da Costa MS, Veríssimo A. 2005. Presence and persistence of *Legionella spp.* in groundwater. *Appl Environ Microbiol*. 71:663-71.
- Declerck P. 2010. Biofilms: the environmental playground of *Legionella pneumophila*. *Environmental Microbiology*. 12(3):557-66.
- Den Boer JW, Bruin JP, Verhoef LP, van der Zwaluw K, Jansen R, IJzerman EP. 2008. Genotypic comparison of clinical *Legionella* isolates and patient-related environmental isolates in The Netherlands, 2002-2006. *Clin Microbiol Infect*. 14(5):459-66.
- DHV. 2009. Handreiking luchtmissie beperkende technieken. SenterNovem/InfoMil.
- ECDC. 2011. EWGLI technical guidelines for the investigation, control and prevention of travel associated legionnaires' disease. Version 1.1.
- Euser SM, Brandsema P, Ruijs WL, den Boer JW. 2011. Legionellabronopsporing in Nederland, 2009-2010. Resultaten van de Bronopsporingseenheid Legionellapneumonie. *Infect Bull* 22(5):160-163.

Fisman DM, Lim S, Wellenius GA, Johnson C, Britz P, Gaskins M, Maher J, Mittleman MA, Spain CV, Haas CN, Newbern C. 2005. It's not the heat, it's the humidity: wet weather increases legionellosis risk in the greater Philadelphia metropolitan area. *J Infect Dis.* 15;192(12):2066-73.

Fliermans CB, Cherry WB, Smith SJ, Tison DL, Pope DH. 1981. Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol.* 41(1):9-16.

García-Fulgueiras A, Navarro C, Fenoll D, García J, González-Diego P, Jiménez-Buñuales T, Rodríguez M, Lopez R, Pacheco F, Ruiz J, Segovia M, Baladrón B, Pelaz C. 2003. Legionnaires' disease outbreak in Murcia, Spain. *Emerg Infect Dis.* 9(8):915-21.

Handhavingssamenwerking Noord-Brabant. 2010. Evaluatie Project luchtwassers 2009.

Health and Safety Executive. 2000. Legionnaires' disease; The control of legionella bacteria in water systems. Approved Code of Practice and guidance. 3^e druk.

Heller R, Höller C, Süssmuth R, Gundermann KO. 1998. Effect of salt concentration and temperature on survival of *Legionella pneumophila*. *Lett Appl Microbiol.* 26(1):64-8.

Hicks LA, Rose CE Jr, Fields BS, Drees ML, Engel JP, Jenkins PR, Rouse BS, Blythe D, Khalifah AP, Feikin DR, Whitney CG. 2007. Increased rainfall is associated with increased risk for legionellosis. *Epidemiol Infect.* 135(5):811-7

Ishimatsu S, Miyamoto H, Hori H, Tanaka I, Yoshida S. 2001. Sampling and detection of *Legionella pneumophila* aerosols generated from an industrial cooling tower. *Ann Occup Hyg* 45(6):421-427.

ISSO. 2008. Legionellapreventie in klimaatinstallaties. ISSO 55.3.

Juhler S, Revsbech NP, Schramm A, Herrmann M, Ottosen LD, Nielsen LP. 2009. Distribution and rate of microbial processes in an ammonia-loaded air filter biofilm. *Appl Environ Microbiol.* 75(11):3705-13.

Kenniscentrum InfoMil. 2011. Luchtwassersystemen voor de veehouderij. Technisch Informatiedocument.

Kusnetsov J, Neuvonen LK, Korpio T, Herrmann M, Ottosen LD, Nielsen LP. 2010. Two Legionnaires' disease cases associated with industrial waste water treatment plants: a case report. *BMC Infectious diseases.* 2;10:343.

LCHV. 2012. Draaiboek 'Melding van legionellabacteriën in water'.

Liu Z, Lin YE, Stout JE, Hwang CC, Vidic RD, Yu VL. 2006. Effect of flow regimes on the presence of *Legionella* within the biofilm of a model plumbing system. *J Appl Microbiol.* 101(2):437-42.

Mathieu L, Robine E, Deloge-Abarkan M, Ritoux S, Pauly D, Hartemann P, Zmirou-Navier D. 2006. *Legionella* bacteria in aerosols: sampling and analytical approaches used during the Legionnaires' disease outbreak in Pas-de-Calais. *J Infect Dis.* 1;193(9):1333-5.

Melse RW, Willers HC. 2004. Toepassing van luchtbehandelingstechnieken binnen de intensieve veehouderij. Agrotechnology and Food Innovations. Rapport 029.

Melse RW, Ploegaert JP, Ogink NW. 2012. Biotrickling filter for the treatment of exhaust air from a pig rearing building: Ammonia removal performance and its fluctuations. Biosystems Engineering, 113(3), 242-252.

Nguyen TM, Ilef D, Jarraud S, Rouil L, Campese C, Che D, Ganiayre F, Marcel F, Etienne J, Desenclos JC. 2006. A community-wide outbreak of legionnaires disease linked to industrial cooling towers - how far can contaminated aerosols spread? J Infect Dis. 1;193(1):102-11.

Nygård K, Werner-Johansen Ø, Rønsen S, Caugant DA, Simonsen Ø, Kanestrøm A, Ask E, Ringstad J, Ødegård R, Jensen T, Krogh T, Høiby EA, Ragnhildstveit E, Aaberge IS, Aavitsland P. 2008. An outbreak of legionnaires disease caused by long-distance spread from an industrial air scrubber in Sarpsborg, Norway. 1;46(1):61-9.

Oesterholt F, Veenendaal H, Wullings B, Van der Linde D. 2010. *Legionella pneumophila* in natte gebouwgebonden koeltorens. Analytisch onderzoek in een selectie van koelwatersystemen in Nederland. KWR 09.077.

Oesterholt F, Veenendaal H. 2012. *Legionella pneumophila* in natte gebouwgebonden koeltorens (vervolgonderzoek). KWR 2011.104.

Ohno A, Kato N, Yamada K, Yamaguchi K. 2003. Factors influencing survival of *Legionella pneumophila* serotype 1 in Hot Spring water and tap water. Appl Environ Microbiol. 69(5): 2540-2547.

Ohno A, Kato N, Sakamoto R, Kimura S, Yamaguchi K. 2008. Temperature-dependent parasitic relationship between *Legionella pneumophila* and a free-living amoeba (*Acanthamoeba castellanii*). Applied Environmental Microbiology. 74: 4585-4588.

Olsen JS, Aarskaug T, Thrane I, Pourcel C, Ask E, Johansen G, Blatny JM. 2010. Alternative routes for dissemination of *Legionella pneumophila* causing three outbreaks in Norway. Environ Sci Technol. 15;44(22):8712-7.

Ottosen LD, Juhler S, Guldborg LB, Feilberg A, Revsbech NP, Nielsen LP. 2011. Regulation of ammonia oxidation in biotrickling airfilters with high ammonium load. Chem Eng 167;(1):198-205.

Regeling ammoniak veehouderij (Rav). 2002.
<http://www.infomil.nl/onderwerpen/landbouw-tuinbouw/ammoniak-en/regeling-ammoniak>

Schalk JA, Redeker S, Docters van Leeuwen AE, Lodder WJ, de Roda Husman AM. 2011. Longitudinale studie naar de aanwezigheid van legionella en amoeben in drinkwaterinstallaties. RIVM briefrapport 703719082/2011.

Sheehan KB, Henson JM, Ferris MJ. Legionella species diversity in an acidic biofilm community in Yellowstone National Park. Appl Environ Microbiol. 2005 Jan;71(1):507-11.

Söderberg MA, Dao J, Starckenburg SR, Cianciotto NP. 2008 Importance of typeII secretion for survival of *Legionella pneumophila* in tap water and in amoebae at low temperatures. *Applied Environmental Microbiology* 74: 5583.

States SJ, Conley LF, Towner SG, Wolford RS, Stephenson TE, McNamara AM, Wadowsky RM, Yee RB. 1987. An alkaline approach to treating cooling towers for control of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol.* 53(8):1775-9.

Stewart CR, Muthye V, Cianciotto NP. 2012. *Legionella pneumophila* persists within biofilms formed by *Klebsiella pneumoniae*, *Flavobacterium sp.*, and *Pseudomonas fluorescens* under dynamic flow conditions. *PLoS One.* 7(11):e50560.

Stojek NM, Dutkiewicz J. *Legionella* in sprinkling water as a potential occupational risk factor for gardeners. *Ann Agric Environ Med.* 2002;9(2):261-4.

Toze S, Sly LI, Macrae IC, Fuerst JA. 1990. Inhibition of growth of *Legionella* species by heterotrophic plate-count bacteria isolated from chlorinated drinking water. *Curr Microbiol.* 21(2):139-143.

Ulleryd P, Hugosson A, Allestam G, Bernander S, Claesson BE, Eilertz I, Hagaeus AC, Hjorth M, Johansson A, de Jong B, Lindqvist A, Nolskog P, Svensson N. 2012. Legionnaires' disease from a cooling tower in a community outbreak in Lidköping, Sweden - epidemiological, environmental and microbiological investigation supported by meteorological modelling. *BMC Infect Dis.* 21;12:313.

Van den Hoek JA, IJzerman EP, Coutinho RA. 2006. Legionella-uitbraak in Amsterdam: koeltoren als bron. *Ned Tijdschr Geneeskd.* 19;150(33):1808-11.

Van Wolferen H. 2002. Hot spots in tapwaterleidingen in schachten. *V&V.* (11):839-841.

Wadowsky RM, Wolford R, McNamara AM, Yee RB. 1985. Effect of temperature, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring *Legionella pneumophila* in potable water. *Appl Environ Microbiol.* 49(5):1197-205.

Wedegge E, Bergdal T, Bolstad K, Efskind J, Heier HE, Kanestrøm A, Strand BH, Aaberge IS. 2009. Seroepidemiological Study after a Long-Distance Industrial Outbreak of Legionnaires' Disease. *Clin Vaccine Immunol.* 16(4): 528-534.

Wullings BA, van der Kooij D. 2006. Occurrence and genetic diversity of uncultured *Legionella* spp. in drinking water treated at temperatures below 15 degrees C. *Appl Environ Microbiol.* 72(1):157-66

Yee RB, Wadowsky RM. 1982. Multiplication of *Legionella pneumophila* in unsterilized tap water. *Appl Environ Microbiol.* 43(6):1330-4.

Zietz P, Dunkelberg H, Ebert J, Narbe M. 2006. Isolation and characterization of *Legionella* spp. and *Pseudomonas* spp. from greenhouse misting systems. *Journal of applied microbiology.* 100(6):1239-50.

Websites

Geraadpleegde websites voor hoofdstuk 3; luchtwasinstallaties in Nederland

<http://www.infomil.nl/onderwerpen/klimaat-lucht/ner/luchtemissie/virtuele-map/factsheets/>

<http://www.emis.vito.be/luss-techniekladen>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Scrubber>

http://en.wikipedia.org/wiki/Wet_scrubber

<http://www.agentschapnl.nl/programmas-regelingen/veel-gestelde-vragen>

http://www.engineeringtoolbox.com/scrubbers-air-washers-d_139.html

<http://www.f-air.nl/>

<http://www.dorset.nu/nl/pagina/home-fs/luchtreiniging.html>

<http://www.devrie.nl/luchtwasser.htm>

<http://www.inno-plus.nl/nl/>

<http://www.uniqfill.nl/>

<http://www.agroairconcepts.nl/>

<http://www.askove.com/luchtwassers-gaswassers-scrubbers.html>

<http://www.dirkse-milieutechniek.com/>

<http://www.lenntech.com/air-purification/overview-air-purification.html>

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
www.rivm.nl