



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Gebäude

**Schlussbericht** vom 03.06.2020

---

# **Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden**

---

**Datum:** 30.06.2020

**Ort:** Bern

**Auftraggeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
CH-3003 Bern  
www.bfe.admin.ch

**Auftragnehmer/in / Autorenschaft:**

Universität Zürich (UZH)  
Institut für Medizinische Mikrobiologie  
Prof. Dr. Hubert Hilbi  
Gloriastrasse 30, 8006 Zürich

Geberit International AG  
Dr. Arnd Gildemeister  
Schachenstrasse 77, 8645 Jona

Kantonales Labor Zürich (KLZH)  
Dr. Hans Peter Füchslin  
Fehrenstrasse 15, 8032 Zürich

Hochschule Luzern (HSLU)  
Institut für Gebäudetechnik und Energie  
Prof. Heinrich Huber  
Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Nationales Referenzzentrum Legionellen  
(NRZL)  
Dr. Valeria Gaia  
Via Mirasole 22°, 6500 Bellinzona

Selbständiger Sachverständiger  
Robert Dumortier  
Holenweg 28, 4434 Hölstein

**BFE-Projektbegleitung:**

Stefanie Bertschi, [stefanie.bertschi@bfe.admin.ch](mailto:stefanie.bertschi@bfe.admin.ch)

Rita Kobler, [rita.kobler@bfe.admin.ch](mailto:rita.kobler@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SH/8100049-01-01-39

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**

**Bundesamt für Energie BFE**

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern  
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	5
2	Résumé .....	7
3	Sintesi .....	9
4	Gefahrenquellen/Infektionsquellen .....	11
4.1	Festhaltung des aktuellen Stands der Forschung (Mikrobiologie und Technik).....	11
4.1.1	Ausgangslage .....	11
4.1.2	Mikrobiologie/Virulenz/Biologische Kontrolle .....	12
4.1.3	Epidemiologie/Umwelt .....	16
4.1.4	Probenahme und Nachweis von Legionellen .....	18
4.1.5	Trinkwasserinstallationen in Gebäuden.....	21
4.1.6	Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik.....	26
4.2	Festhaltung der fehlenden (Wissens-)Grundlagen im Bereich Mikrobiologie und Technik, Forschungsbedarf.....	28
4.2.1	Mikrobiologie/Virulenz/Biologische Kontrolle.....	28
4.2.2	Epidemiologie/Umwelt .....	29
4.2.3	Probenahme und Nachweis von Legionellen .....	30
4.2.4	Gebäude-/Hausinstallationen .....	31
4.2.5	Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen .....	34
4.3	Festhaltung und Priorisierung bekannter und potenzieller Gefahrenquellen für Legionellen- Kontaminationen und Aerosol-Entwicklungen sowie deren Verbreitung.....	34
4.3.1	Natürliche und technische Gefahrenquellen .....	34
5	Schweizer Gesetzgebung und Normierung.....	35
5.1	Vergleich der aktuellen mit der alten Gesetzgebung und Normierung (technische Anforderungen).....	35
5.1.1	Einführung .....	35
5.1.2	Öffentliches Recht .....	40
5.1.3	Privatrecht.....	41
5.1.4	Aus der öffentlichen und privatrechtlichen Gesetzgebung resultierende Pflichten .....	41
5.1.5	EU-Trinkwasser-Richtlinie .....	43
5.2	Festhaltung von Diskrepanzen und Änderungen .....	44
5.2.1	Einführung .....	44
5.2.2	Regulierung der Hausinstallationen (Schweiz und Vergleich Deutschland) .....	44
5.2.3	Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen .....	44
5.2.4	Herausforderungen für die Zukunft.....	45
5.3	Analyse Korrelation zwischen Gesetzgebung/Normierung und Zunahme der Erkrankungen	45
5.3.1	Zunahme der Erkrankungen unabhängig von der Gesetzgebung .....	45
5.3.2	Abschätzung des volkswirtschaftlichen Schadens durch Legionellose.....	46
5.3.3	Faktoren, die zur Zunahme von Legionellose-Fällen führen .....	47

6	Gebäudetechnik.....	48
6.1	Festhaltung von signifikanten Unterschiede zwischen MFH, EFH, Ferienhäusern und Leerwohnungen sowie Spitäler, Alters- und Pflegeheime.....	48
6.2	Analyse Gebäudetechnikanlagen – unter Berücksichtigung der priorisierten Gefahrenquellen .....	48
6.2.1	Übliche Hausinstallation in der Schweiz.....	48
6.2.2	Lösungsansätze für die Legionellen-Problematik in Trinkwasseranlagen .....	54
6.3	Analyse der unterschiedlichen Wassererwärmer .....	56
6.4	Analyse der verschiedenen Warmhaltesysteme in Trinkwasseranlagen .....	57
6.5	Analyse der Wirksamkeit der Legionellenschaltung .....	59
6.5.1	Die Legionellenschaltung .....	59
6.5.2	Alternative Installationsarten .....	59
6.6	Fragen der Qualitätssicherung unterschiedlicher Anforderungen .....	59
6.6.1	Anforderungen an die Selbstkontrolle von öffentlichen Duschanlagen.....	59
6.7	Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik.....	60
6.7.1	Rückkühlanlagen .....	60
6.7.2	Raumlufttechnik-Anlagen .....	60
7	Risikoanalyse.....	62
7.1	Generelle Risikofaktoren .....	62
7.1.1	Unterscheidung epidemische Ausbrüche versus sporadische Fälle .....	62
7.2	Fehlende Informationen in der Schweiz .....	63
7.3	Gefahrenquellen .....	68
7.4	Gebäudetypen .....	68
7.4.1	Trinkwasseranlagen.....	68
7.5	Gebäudetechnikanlagen.....	69
7.5.1	Rückkühlungsanlagen .....	69
7.5.2	Raumlufttechnik-Anlagen .....	69
7.6	Potenzielle Zunahme von Erkrankungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel .....	70
8	Bestehende Lösungen auf dem europäischen Markt.....	71
9	Empfehlungen.....	72
10	Referenzen/Literatur .....	74

# 1 Zusammenfassung

Die Legionärskrankheit ist eine schwere Lungenentzündung, die 1976 erstmals charakterisiert wurde und von Umweltbakterien, den Legionellen, verursacht wird. Die Infektion erfolgt durch das Einatmen von kleinsten Wassertröpfchen, sogenannten Aerosolen, welche mit Legionellen kontaminiert sind. Neben der Legionärskrankheit gehört noch das grippeähnliche Pontiac-Fieber (ohne Lungenentzündung) zu den Erkrankungen durch Legionellen (Legionellose). Die Letalität der Legionärskrankheit beträgt ca. 5-15%. Sie ist für entwickelte Länder zur gefährlichsten wasserbürtigen Erkrankung geworden.

Seit 2008 nimmt die Anzahl der gemeldeten Fälle von Legionärskrankheit in der Schweiz stetig zu, und insgesamt hat sich die Fallzahl in den letzten zehn Jahren mehr als verdoppelt. Eine ähnliche Zunahme der Inzidenz wurde auch in Europa, Kanada und in den Vereinigten Staaten beobachtet. Eine Reihe von Faktoren tragen zum Anstieg der Legionärskrankheit bei: eine erhöhte Aufmerksamkeit gegenüber dem Thema, die zu medizinischen Abklärungen auf Legionellose führen, sowie die Zunahme von Bevölkerungsgruppen mit geschwächtem Immunsystem (hohes Alter, Organtransplantationen, chronische Erkrankungen, Rauchen), vermehrter Einsatz von aerosolbildenden technischen Anlagen, und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch die Klimaerwärmung. Es gestaltet sich jedoch häufig schwierig die Infektionsquelle zu finden. In einigen Fällen korrelieren Patientenisolat und Umgebungsproben aufgrund molekularer Typisierungstechniken. In den meisten Fällen jedoch ist eine Korrelation nur durch epidemiologische Befunde möglich.

Legionellen sind weitverbreitet und werden unter anderem in geringer Konzentration in Grund- und Quellwasser gefunden und gelangen via Fassung ins Trinkwassernetz. Die Bakterien vermehren sich in den Trinkwasserinstallationen in Gebäuden, wenn sie auf günstige Bedingungen treffen. Dazu gehören Wassertemperaturen zwischen 25°C und 45°C, genügend Nährstoffe und stehendes Wasser. Erfahrungsgemäss können Duschen, Kühltürme, Klimaanlage, Sprudelbäder, Luftbefeuchter etc. zu Infektionen mit Legionellen führen. Bei Lüftungs- und Klimaanlage sind Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser (sog. Luftwäscher) die kritischsten Komponenten. Zur Prävention sollte daher Wasserstagnation in Gebäuden nach Möglichkeit reduziert und Wassertemperaturen zwischen 25°C und 50°C vermieden werden. Für bestehende Gebäude ist dies oft aufwändig. Im Neubau könnten die Anforderungen mit geschickter Planung und wassersparender Spültechnologie umgesetzt werden.

Mit der Revision des Lebensmittelgesetzes 2014 und des darauf gestützten Verordnungsrechts 2017 wurde das Duschwasser in den Geltungsbereich der Lebensmittelgesetzgebung aufgenommen und der Vollzug der dafür geltenden Vorschriften den Kantonen übertragen. Die aktuelle Gesetzgebung regelt Legionellenpräventionsmassnahmen nur für öffentlich zugängliche Duschen sowie Wasser in Sprudelbecken und Dampfbädern. Andere mögliche Infektionsquellen sind nicht geregelt (Kühltürme, Klimaanlage, etc.). Eigentümer und Betreiber von Rückkühl-systemen, Verdunstungskühlanlagen und anderen technischen Anlagen, die Aerosole bilden können, sind jedoch angehalten, Dritte vor Gefahren zu schützen.

Trotz intensiver Forschung blieben grundlegende Wissenslücken bestehen: So sind die Hauptinfektionsquellen für die Legionärskrankheit, die Virulenz von Legionellen unter verschiedenen physiologischen Zuständen, sowie ihre Ausbreitung in Wassersystemen unbekannt. Auch kann bis heute der jedes Jahr zu beobachtende Verlauf der Legionellosefallzahlen nicht erklärt werden. Die Legionellose können aber nur optimal bekämpft werden, wenn die Ursachen geklärt werden können. Konzertierte, interdisziplinäre, und hochstehende Forschung ist erforderlich, um verschiedene Präventionsmassnahmen hinsichtlich Wirksamkeit, Ressourcenverbrauch und Wirtschaftlichkeit besser bewerten zu können.

Basierend auf dieser Faktenlage empfehlen wir folgende Massnahmen:

- a) Lücken in der aktuellen Gesetzgebung (Kühltürme, Klimaanlage, Mietwohnungen) müssen mit entsprechenden Gesetzen geschlossen werden, und die Branchenleitlinien sollen in Zusammenarbeit mit den verantwortlichen Fachverbänden ausgebessert werden. Gut wäre, damit das gleiche Schutzniveau wie im EU-Raum zu erreichen.

- b) Risikogruppen (ältere/immunsupprimierte Personen) in der Bevölkerung müssen durch Infokampagnen über die Legionellen-Problematik und den Schutz vor Legionellose besser informiert werden. Eventuell werden diese Personen durch die bestehenden Höchstwerte gar nicht geschützt, und die Höchstwerte müssen angepasst werden.
- c) Grundlegende mikrobiologische, molekular- und zellbiologische Forschung auf hohem Niveau sollte gefördert werden in den Bereichen Detektion und Virulenzanalyse von (VBNC) Legionellen, Biofilmbildung, Beweglichkeit und Besiedelung von Wasser-systemen und biologische Kontrolle von Legionellen.
- d) Forschung zur Vermehrungskinetik von Legionellen in Abhängigkeit von Parametern wie der Temperatur, Nährstoffen oder Amöben sollte gefördert werden, um technische Grenzwerte für zulässige Temperaturen und Stagnationszeiten wissenschaftlich untermauern zu können.
- e) Der Vergleich von Legionellen-Stämmen aus der Umwelt und der Klinik ist zentral für die Ursachenfindung und sollte zum Standard in der Schweiz werden. Es müssen Verfahren für klinische Probenahmen etabliert werden, welche risikofrei für den Patienten sind.
- f) Die Ursache der Saisonalität der Legionellosefallzahlen muss verstärkt untersucht werden, damit die Legionellen-Infektionsquellen gefunden werden können.
- g) Es sollte abgeklärt werden, ob die Klimaerwärmung eine übermässige Vermehrung von Legionellen während den Sommermonaten in den bekannten und allenfalls in nicht bekannten, möglichen Aerosol-Quellen fördert.
- h) Für Neubauten wie auch für bestehende Bauten sollten Präventionsmassnahmen erarbeitet und optimiert werden, welche einerseits die hygienischen Anforderungen erfüllen und andererseits möglichst wenig Energie- und Wasserressourcen benötigen. Dies sollte als Chance für die Sanitärbranche in der Schweiz verstanden werden.
- i) Kontrollen der Trinkwasserhausinstallation analog zur periodischen Kontrolle von elektrischen Anlagen (z.B. Intervall 10 Jahre) mit Fokus Hygiene, Energieeffizienz, Sicherheit des öffentlichen Netzes sind wünschenswert.
- j) Verbandszertifikate oder Konformitätszeichen könnten etabliert werden für möglichst „legionellensichere“ Duschwasserkontakmaterialien und Duscharmaturen mit Mischern von hoher Qualität, reduzierter Bildung von lungengängigen Wassertröpfchen, und keinen Toträumen (Reduktion auf das Wesentliche).
- k) Für Rückkühlanlagen sollten Grundsätze der Prävention und Gefahrenvorbeugung beachtet werden (**Anhang 3**); Beispiele: Entscheidungsbaum Ablauf-Massnahmen für neue und bestehende Anlagen, ideales Rückkühlsystem (**Anhang 5**).
- l) Für Raumluftheizungsanlagen sollten in den Normen und Richtlinien einige Begriffe und Anforderungen geklärt werden. Dies betrifft die Bezeichnung und Klassierung der Befeuchtertypen (z. B. Hybrid-Befeuchter), der Wasserarten und die Probenahme. Ausserdem sollten für den hygienisch einwandfreien Anfahrbetrieb von Luftbefeuchtern Regeln erarbeitet werden, die in Normen und Richtlinien einfließen.

## 2 Résumé

La légionellose, ou maladie du légionnaire, est une infection pulmonaire grave décrite pour la première fois en 1976, qui est due aux légionnelles, des bactéries naturellement présentes dans l'environnement. L'infection a pour origine l'inhalation de minuscules gouttelettes d'eau, appelées *aérosols*, contaminées par des légionnelles. Outre la maladie du légionnaire, les légionnelles peuvent être à l'origine de la fièvre de Pontiac, une affection pseudo-grippale (sans inflammation pulmonaire). La légionellose présente un taux de mortalité d'environ 5 à 15%. Elle est aujourd'hui la maladie transmise par l'eau la plus dangereuse dans les pays industriels.

Depuis 2008, le nombre de cas déclarés de légionellose est en constante augmentation en Suisse. Au total, le nombre de cas a plus que doublé au cours de la dernière décennie. Une augmentation similaire de l'incidence a été observée en Europe, au Canada et aux États-Unis. Une série de facteurs contribue à expliquer cette progression de la légionellose: l'attention accrue portée à ce thème, débouchant sur une meilleure détection des cas de légionellose lors d'examen médicaux; l'accroissement des groupes de population présentant un système immunitaire affaibli (âge avancé, transplantation d'organes, maladies chroniques, tabagisme); le recours accru à des installations techniques favorisant la formation d'aérosols et, avec une forte probabilité, le réchauffement climatique. Trouver la source de l'infection relève souvent d'une gageure. Il arrive que les isolats identifiés chez les patients se recoupent avec les prélèvements issus de l'environnement grâce à des techniques de typage moléculaire. Mais dans la plupart des cas, les indicateurs épidémiologiques ne permettent pas d'établir une corrélation.

Largement répandues, présentes notamment en faible concentration dans les eaux souterraines et les eaux de source, les légionnelles, via le captage, se retrouvent dans le réseau d'eau potable. Les bactéries se multiplient dans les installations d'eau potable à l'intérieur des bâtiments lorsqu'elles y trouvent des conditions favorables, à savoir notamment une température de l'eau comprise entre 25°C et 45°C, des nutriments en suffisance et de l'eau stagnante. L'expérience montre que les contaminations aux légionnelles peuvent provenir, entre autres, des douches, des tours de refroidissement, des climatisations, des spas et des humidificateurs. Parmi les installations de ventilation et de climatisation, les humidificateurs par vaporisation comportant de l'eau en circulation (épurateurs d'air) présentent le plus de risques. Il convient dès lors, à titre préventif, de réduire, dans la mesure du possible, la stagnation de l'eau dans les bâtiments et d'éviter les températures d'eau comprises entre 25°C et 50°C. Dans les bâtiments existants, cela implique souvent un investissement important, tandis que dans les nouvelles constructions, une bonne planification et une technologie de rinçage consommant peu d'eau permettent de remplir ces conditions.

Avec la révision de la loi sur les denrées alimentaires en 2014 et des ordonnances correspondantes en 2017, l'eau de douche a été incluse dans le champ d'application de la législation sur les denrées alimentaires et l'exécution des prescriptions en vigueur confiée aux cantons. La législation actuelle ne prévoit de mesures de prévention des légionnelles que pour les douches ouvertes au public ainsi que pour l'eau des spas et des bains de vapeur. Les autres sources d'infection possibles ne sont pas réglementées (tours de refroidissement, climatiseurs, etc.). Les propriétaires et les exploitants de systèmes de refroidissement, refroidisseurs par évaporation et autres dispositifs techniques susceptibles de donner lieu à la formation d'aérosols sont tenus de protéger les tiers contre les dangers.

Malgré une intense activité de recherche, d'importantes lacunes subsistent: les principales sources d'infection à la légionellose, la virulence des légionnelles selon différents états physiologiques et leur dissémination dans les systèmes aqueux restent des points à élucider. L'évolution statistique récurrente de l'incidence de la légionellose observée d'année en année demeure également inexpliquée. Or, pour combattre efficacement la légionellose, il faut en connaître les causes. Des études interdisciplinaires et coordonnées de haut niveau sont nécessaires pour mieux évaluer les différentes mesures de prévention en prenant en compte leur efficacité, la consommation des ressources et la rentabilité.

Au vu des faits en présence, il est recommandé de prendre les mesures suivantes:

- a) Les lacunes dans la législation actuelle (tours de refroidissement, climatiseurs, appartements locatifs) doivent être comblées par des lois adaptées et les guides par branche d'activité

doivent être améliorés en collaboration avec les associations de branche concernées. Atteindre le même niveau de protection qu'au sein de l'UE serait une bonne chose.

- b) Les groupes à risque (personnes âgées, patients immunosupprimés) au sein de la population doivent être mieux informés, par des campagnes d'information, de la problématique des légionelles et des façons de se prémunir contre une légionellose. Il se peut que les valeurs maximales existantes ne protègent pas ces personnes et qu'il faille les adapter.
- c) Des recherches de fond de haut niveau en microbiologie, biologie moléculaire et biologie cellulaire devraient être encouragées dans les domaines de la détection et de l'analyse de la virulence de légionelles (à l'état viable non cultivable [VBNC]), de la formation de biofilms, de la mobilité et de la colonisation de systèmes aqueux et du contrôle biologique des légionelles.
- d) La recherche sur la cinétique de multiplication des légionelles en fonction de paramètres tels que la température, les nutriments ou les amibes devrait être soutenue afin d'étayer scientifiquement les valeurs limites techniques pour ce qui est des températures admises et des temps de stagnation.
- e) La comparaison entre les souches de légionelles provenant de l'environnement et celles d'origine clinique est cruciale pour identifier les causes et devrait devenir la norme en Suisse. Des protocoles sans risque pour le patient doivent être établis pour le prélèvement clinique d'échantillons.
- f) L'origine de la saisonnalité des chiffres sur l'incidence des cas de légionellose doit être davantage investiguée pour pouvoir identifier les sources d'infection par les légionelles.
- g) Des clarifications devraient être menées pour déterminer si le réchauffement climatique induit une multiplication disproportionnée des légionelles pendant les mois d'été dans les sources possibles d'aérosols connues et, le cas échéant, dans des sources encore inconnues.
- h) Des mesures de prévention devraient être élaborées et optimisées pour les nouvelles constructions et pour les bâtiments existants. Il s'agit, d'une part, de respecter les exigences en matière d'hygiène et, d'autre part, de limiter autant que possible les ressources en énergie et en eau nécessaires. La branche sanitaire suisse devrait y voir une opportunité.
- i) Des contrôles des installations d'eau potable de la maison, analogues au contrôle périodique des installations électriques (p. ex. tous les dix ans), sont souhaitables. Les principaux aspects à contrôler sont l'hygiène, l'efficacité énergétique et la sécurité du réseau public d'alimentation en eau.
- j) Des certificats d'associations ou des marques de conformité pourraient être mis en place pour des matériaux en contact avec l'eau de douche garantis «sans légionelles» et pour des robinetteries de douche équipées de mitigeurs de qualité, limitant la formation de goutelettes d'eau susceptibles de pénétrer dans les poumons et en supprimant tout espace mort (réduction à l'essentiel).
- k) Pour les installations de refroidissement, les principes de prévention et de protection contre les dangers devraient être observés (**annexe 3**). On citera en exemple l'arbre décisionnel sur le déroulement des mesures pour les installations nouvelles ou existantes, ainsi que le système de refroidissement idéal (**annexe 5**).
- l) Pour les installations techniques de ventilation des locaux, un certain nombre de notions et d'exigences devraient être clarifiées dans les normes et les directives. Sont concernés la désignation et la classification des types d'humidificateurs (p. ex. humidificateur hybride) et des types d'eau ainsi que le prélèvement d'échantillons. De plus, des règles devraient être élaborées pour que le démarrage des humidificateurs d'air se fasse dans des conditions d'hygiène irréprochables. Ces règles devraient être intégrées dans des normes et des directives.



### 3 Sintesi

La malattia del legionario è una forma grave di polmonite individuata per la prima volta nel 1976 e che è provocata da batteri diffusi in natura, le legionelle. L'infezione avviene attraverso l'inalazione di piccole gocce d'acqua, i cosiddetti aerosol, contaminati dalle legionelle. Oltre alla malattia del legionario, tra le malattie provocate dalle legionelle (legionellosi) figura anche la febbre di Pontiac, che è simile all'influenza, ma non provoca la polmonite. La letalità della malattia del legionario è di circa il 5-15 per cento e nei Paesi sviluppati è diventata la malattia più pericolosa trasmessa dall'acqua.

Dal 2008, il numero di casi di malattia del legionario segnalati in Svizzera è in costante aumento: negli ultimi dieci anni, esso è complessivamente più che raddoppiato. Un aumento simile dell'incidenza è stato osservato anche in Europa, Canada e Stati Uniti. Una serie di fattori contribuisce all'aumento della malattia: la maggiore consapevolezza e quindi gli accertamenti medici sulla legionellosi, l'aumento dei gruppi di popolazione aventi un sistema immunitario indebolito (età avanzata, trapianti d'organo, malattie croniche, fumo), maggiore utilizzo di impianti che generano aerosol e, con tutta probabilità, il riscaldamento globale. Tuttavia, la fonte dell'infezione è spesso difficile da individuare. In alcuni casi, si riscontra una correlazione tra isolati di pazienti e campioni ambientali in base alle tecniche di tipizzazione molecolare. Nella maggior parte dei casi, tuttavia, la correlazione è possibile solo attraverso risultati epidemiologici.

Le legionelle sono molto diffuse e si trovano, tra l'altro, in basse concentrazioni nelle acque sotterranee e di sorgente, entrando successivamente nella rete dell'acqua potabile attraverso gli impianti di captazione. I batteri si moltiplicano negli impianti dell'acqua potabile degli edifici quando incontrano condizioni favorevoli, come ad esempio temperature dell'acqua tra i 25°C e i 45°C, nutrienti sufficienti e acqua stagnante. L'esperienza mostra che docce, torri di raffreddamento, condizionatori d'aria, vasche per idromassaggio, umidificatori, ecc. possono portare a infezioni da legionelle. Negli impianti di aerazione e di condizionamento, gli umidificatori a spruzzo con acqua in circolazione (i cosiddetti lava aria) costituiscono i componenti più critici. Ai fini della prevenzione, si dovrebbe per quanto possibile evitare il ristagno dell'acqua negli edifici e temperature dell'acqua tra i 25°C e i 50°C. Spesso ciò è complicato da realizzare negli edifici esistenti. Negli edifici nuovi, i requisiti potrebbero essere attuati grazie a una pianificazione accorta e a sciaquoni a basso consumo di acqua.

Con la revisione della legge sulle derrate alimentari nel 2014 e le ordinanze ad essa correlate nel 2017, l'acqua delle docce è stata inclusa nel campo di applicazione della legislazione sulle derrate alimentari e l'esecuzione delle prescrizioni ad essa applicabili è stata affidata ai Cantoni. La legislazione attuale disciplina le misure di prevenzione delle legionelle solo per le docce accessibili al pubblico, le vasche per idromassaggio e i bagni di vapore. Altre possibili fonti di infezione non sono invece regolamentate (torri di raffreddamento, impianti di condizionamento dell'aria, ecc.). Tuttavia, i proprietari e gli operatori di sistemi di raffreddamento a circuito chiuso, condizionatori a evaporazione e altri impianti che possono generare aerosol sono tenuti a proteggere i terzi dai rischi.

Malgrado una ricerca costante, sussistono lacune fondamentali nelle conoscenze: non si sa nulla delle principali fonti di infezione per la malattia dei legionari, della virulenza delle legionelle in diverse condizioni fisiologiche e della loro diffusione nei sistemi idrici. Inoltre non è possibile tuttora spiegare l'andamento dei casi di legionellosi che si osserva ogni anno. Tuttavia, le legionellosi possono essere combattute in maniera ottimale solo se sono chiarite le cause. Una ricerca concertata, interdisciplinare e di alto livello è necessaria per valutare meglio le diverse misure di prevenzione in termini di efficacia, impiego delle risorse e redditività.

Fatte queste premesse, raccomandiamo le seguenti misure:

- a) Le lacune nell'attuale legislazione (torri di raffreddamento, impianti di condizionamento dell'aria, alloggi in locazione) devono essere colmate con le opportune leggi; le direttive settoriali devono essere aggiornate in collaborazione con le competenti associazioni specializzate. Sarebbe bene raggiungere lo stesso livello di protezione esistente nell'area UE.

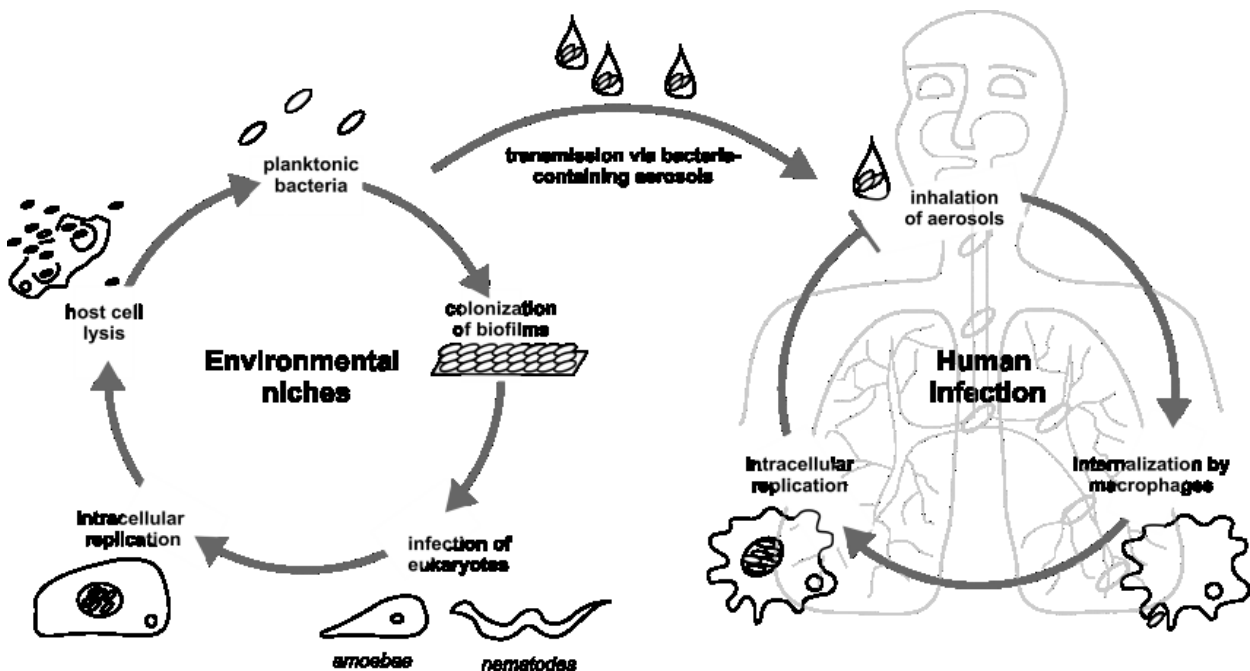
- b) Mediante campagne di informazione, i gruppi di popolazione a rischio (persone anziane /immuno-depresse) devono essere meglio informati sulle legionelle e sulla protezione contro la legionellosi. Queste persone potrebbero non essere protette dai valori massimi attuali e questi valori devono essere adeguati.
- c) La ricerca fondamentale ad alto livello in ambito microbiologico, molecolare e cellulare deve essere promossa nei settori del rilevamento e dell'analisi della virulenza delle legionelle (VBNC), formazione di biofilm, mobilità e colonizzazione di sistemi acquatici e controllo biologico delle legionelle.
- d) La ricerca sulla cinetica di riproduzione delle legionelle in funzione di parametri come la temperatura, i nutrienti o le amebe deve essere promossa, affinché possa sostenere scientificamente i valori limite tecnici per temperature e tempi di stagnazione ammissibili.
- e) Il confronto tra ceppi di legionelle in natura e ceppi clinici è fondamentale per individuare le cause e dovrebbe diventare uno standard in Svizzera. Si devono stabilire procedure per il campionamento clinico che siano prive di rischi per il paziente.
- f) La causa della stagionalità del numero di casi di legionellosi deve essere studiata più intensamente, in modo da individuare le fonti di infezione.
- g) Occorre chiarire se il riscaldamento climatico favorisce durante i mesi estivi l'eccessiva proliferazione di legionelle nelle fonti di aerosol conosciute e eventualmente in quelle sconosciute e possibili.
- h) Sia per gli edifici nuovi che per quelli esistenti, devono essere sviluppate e ottimizzate misure preventive che, da un lato, soddisfino i requisiti igienici e, dall'altro, richiedano il minor numero possibile di risorse energetiche e idriche. Questo dovrebbe essere visto come un'opportunità per il settore dell'impiantistica sanitaria in Svizzera.
- i) Sono auspicabili controlli degli impianti dell'acqua potabile negli edifici analogamente a quelli degli impianti elettrici (ad es. ogni 10 anni), con particolare attenzione all'igiene, all'efficienza energetica e alla sicurezza della rete pubblica.
- j) Si potrebbero stabilire certificati di associazione o marchi di conformità per materiali a contatto con l'acqua della doccia e rubinetterie con miscelatori di alta qualità, ridotta formazione di gocce d'acqua respirabili e nessuno spazio morto (riduzione all'essenziale), che siano il più possibile «a prova di legionella».
- k) Per i sistemi di raffreddamento a circuito chiuso, si devono osservare i principi di profilassi e di prevenzione dei pericoli (**allegato 3**); Esempi: Albero di decisione per le misure necessarie relative a nuovi e vecchi impianti, sistema ideale di raffreddamento a circuito chiuso (**Allegato 5**).
- l) Per gli impianti di ventilazione e di condizionamento dell'aria, alcuni termini e requisiti dovrebbero essere chiariti negli standard e nelle direttive. Ciò riguarda la denominazione e la classificazione dei tipi di umidificatori (ad esempio gli umidificatori ibridi), i tipi di acqua e il campionamento. Inoltre, regole per un avvio igienico degli umidificatori dovrebbero essere sviluppate e incorporate in standard e direttive.

## 4 Gefahrenquellen/Infektionsquellen

### 4.1 Festhaltung des aktuellen Stands der Forschung (Mikrobiologie und Technik)

#### 4.1.1 Ausgangslage

Die Legionärskrankheit ist eine schwere Lungenentzündung und wird von Bakterien der Gattung *Legionella* verursacht [1-4] (**Abb. 1**). Die Anzahl gemeldeter Fälle nimmt seit 2008 sowohl in der Schweiz also auch auf globaler Ebene kontinuierlich zu. In der Schweiz werden aktuell jährlich zwischen 500 bis 600 Fälle registriert. Die Legionärskrankheit trifft bevorzugt ältere und immun-geschwächte Personen, verläuft in 5-20% der Fälle tödlich und kann in Epidemien von mehreren 100 Fällen auftreten. In Zukunft ist mit einem weiteren Anstieg der Fälle zu rechnen, da die steigende Lebenserwartung und vermehrte Anwendung von immun-schwächenden medizinischen Therapien (Transplantation, Chemotherapie) die Empfindlichkeit gegenüber Legionellen erhöht, und Klimaerwärmung, Wasserverknappung sowie Energiesparmassnahmen möglicherweise höhere Legionellen-Zahlen in Wassersystemen zur Folge haben.



**Abb. 1. Legionellen in der Umwelt und Übertragung auf den Menschen.** In der Umwelt besiedeln Legionellen Biofilme oder replizieren in Amöben in einer speziellen „Legionellen-Vakuole“. Virulente Bakterien werden freigesetzt und über kontaminierte Aerosole eingeatmet. In der menschlichen Lunge zerstören die Bakterien gewisse Immunzellen (Makrophagen) und können so die Legionärskrankheit oder das Pontiac-Fieber auslösen [3].

Legionellen sind ubiquitäre Umweltbakterien, die sich in technischen und natürlichen Wassersystemen in planktonischer Form, Biofilmen und einzelligen Amöben vermehren (**Abb. 1**) [5]. Amöben und Biofilme schützen die Bakterien vor physikalischen, chemischen und antibiotischen Einflüssen. Durch Inhalation von Wassertröpfchen (Aerosole) gelangen die Legionellen in die menschliche Lunge, wo sie sich in spezialisierten Immunzellen (Makrophagen) vermehren und eine fulminante Entzündung auslösen. Legionellen werden praktisch ausschliesslich über kontaminierte Aerosole übertragen – ein einzelner Fall einer Übertragung von Person zu Person ist dokumentiert [6]. Aufgrund des Übertragungswegs und der komplexen Physiologie der Legionellen sind die Identifikation von Infektionsquellen und die Risikoabschätzung sehr anspruchsvoll [7]. Die hier vorgeschlagene Situations- und Risikoanalyse soll die verfügbaren

biologischen, epidemiologischen, technischen und regulatorischen Fakten erschliessen, Forschungslücken definieren und eine Roadmap für eine effektive Strategie zur Reduktion der Legionärskrankheit aufzeigen.

#### 4.1.2 Mikrobiologie/Virulenz/Biologische Kontrolle

##### *Physiologie und Metabolismus von Legionellen*

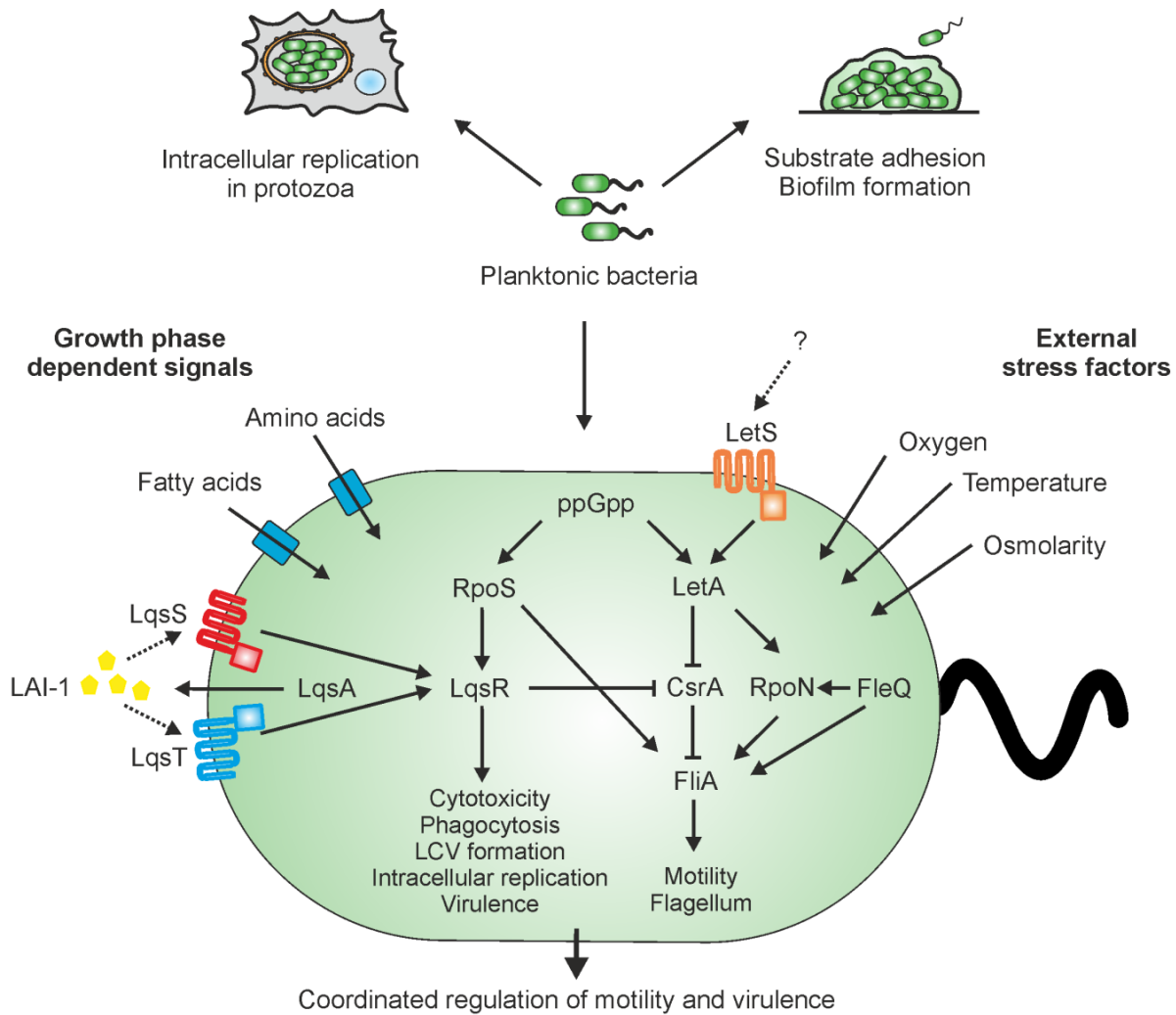
Legionellen sind strikt aerobe, fakultativ intrazelluläre Bakterien, d.h. sie können nur in Anwesenheit von Sauerstoff wachsen, sie vermehren sich jedoch sowohl ausserhalb als auch innerhalb von Wirtszellen (**Abb. 1, 2**). Anfängliche Untersuchungen des Metabolismus von *L. pneumophila* ergaben, dass Aminosäuren und Proteine die hauptsächlichen Kohlenstoff- und Energiequellen der Bakterien sind [8-11]. Entsprechend produzieren Legionellen eine Reihe von Transportproteinen und Enzymen, welche die Aufnahme und den Abbau von Aminosäuren katalysieren [12]. Analysen des Transkriptom (Gesamtheit der abgelesenen Gene) [13,14] und des Proteoms (Gesamtheit der produzierten Proteine) [15] von *L. pneumophila* legten aber nahe, dass die Bakterien über vielfältigere metabolische Kapazitäten verfügen [16]. Tatsächlich metabolisiert *L. pneumophila* (vor allem bei intrazellulärem Wachstum) auch Kohlenhydrate wie Glukose [17,18] und Inositol [19], Glycerin [20] sowie Glycerolipide [21] und vermutlich auch Polysaccharide (Zellulose, Chitin, Stärke, Glykogen) [22].

Legionellen benötigen auch Eisen und andere "Mikro-Nährstoffe" für ihr Wachstum (vgl. auch Kapitel 1.1.5), und die Bakterien produzieren zur Eisenaufnahme spezifische Komplexbildner, die Siderophore [23]. Eisen ist notwendig für das Wachstum von *L. pneumophila* sowohl in Wirtszellen [24,25] als auch in Biofilmen [26]. Entsprechend inhibieren Substanzen, welche Eisen komplexieren, das bakterielle Wachstum. Um dieser Inhibition entgegenzuwirken, sekretiert *L. pneumophila* das Enzym LppA, welches die Verbindung Phytat abbaut [27]. Phytat ist ein Komplexbildner für Eisen und andere Metallionen und wird auch von Amöben gebildet. Der Abbau von Phytat in Amöben fördert somit das intrazelluläre Wachstum der Legionellen [27].

Eine besondere Form der Legionellen stellen die VBNC („viable-but-non-culturable“) Bakterien dar, welche metabolisch aktiv sind, auf herkömmlichen Nährmedien aber nicht wachsen (vgl. auch Kapitel 1.1.5). VBNC Legionellen produzieren (Virulenz-)proteine [28] und können von Amöben "erweckt" und im Anschluss an das intrazelluläre Wachstum in den Amöben unter Umständen auch in Nährmedien kultiviert werden [29-33].

*L. pneumophila* ist ein Bakterium, das von 2 Zellmembranen umhüllt ist (ein sogenanntes Gram-negatives Bakterium), und besitzt eine polare Geissel (Flagellum), mit dessen Hilfe es beweglich ist und entlang einem Konzentrationsgradienten gerichtet zu einer Nährstoffquelle schwimmen kann (Chemotaxis) [34,35]. Die Produktion des Flagellums und somit die Beweglichkeit von *L. pneumophila* wird durch die Temperatur, Viskosität, und Osmolarität des Wachstumsmediums, sowie die Wachstumsphase der Bakterien reguliert [36,37] (**Abb. 2**). Unter Laborbedingungen bewegt sich *L. pneumophila* mit einer Geschwindigkeit von 2-3  $\mu\text{m/s}$  (ca. 7-10 mm/h) [38], was die Ausbreitung der Bakterien in stagnierenden Wassersystemen erklären kann.

Die Wachstumsphasen von Legionellen bestehen aus einer replikativen, nicht-virulenten Phase, während der sich die Bakterien teilen, und einer stationären Phase, während der die Bakterien virulent und beweglich sind [12,39]. Besonders ausgeprägt sind diese beiden Phasen für *L. pneumophila*; in diesem Fall sind die Bakterien praktisch ausschliesslich in der stationären Wachstumsphase virulent und beweglich.



**Abb. 2. Physiologie und Metabolismus von Legionellen.** In der Umwelt kommen Legionellen als planktonische Bakterien, in Biofilmen oder in Amöben vor. *L. pneumophila* ist durch einen bi-phasischen Lebenszyklus charakterisiert, der eine replikative, nicht-virulente und eine stationäre, virulente/ bewegliche Phase umfasst. Umweltsignale (Nährstoffe, Sauerstoff, Temperatur, Osmolarität) und Bakteriensignale (LAI-1, ppGpp, c-di-GMP) werden von bakteriellen Rezeptoren erkannt und steuern über Signaltransduktionswege den Wechsel zwischen der replikativen und der virulenten/ beweglichen Wachstumsphase [34]. Das „Zweikomponenten-System“ LetAS, zusammen mit den „Sigma-Faktoren“ RpoS, RpoN und FliA, kontrollieren den RNA-bindenden Regulator CsrA und somit die Virulenz und Beweglichkeit von *L. pneumophila*. Ausserdem spielen das Zelldichte-abhängige *Legionella* quorum sensing (Lqs) System und das Signalmolekül LAI-1 (*Legionella* Autoinducer-1, 3-Hydroxypentadecan-4-on) eine wichtige Rolle für die Regulation der Virulenz und Beweglichkeit.

#### Zell-Zell-Kommunikation von Legionellen

Bakterien kommunizieren untereinander mittels niedermolekularen Signalmolekülen. Da diese Form der Signalübertragung abhängig von der Dichte einer Bakterienpopulation ist, spricht man von „Quorum Sensing“. Zell-Zell-Kommunikation und dichteabhängige Regulation von *L. pneumophila* werden durch das „*Legionella* quorum sensing“ (Lqs) System vermittelt [40,41] (**Abb. 2**). Das Lqs System produziert und detektiert LAI-1 (*Legionella* Autoinducer-1, 3-Hydroxypentadecan-4-on) [38,42]. Das Lqs System umfasst das Enzym LqsA [43], welches LAI-1 synthetisiert, die Sensor-Kinasen (Signalrezeptoren) LqsS and LqsT [43-45], welche LAI-1 detektieren, und den Response-Regulator (Signalempfänger) LqsR [46-48], welcher das Signal übernimmt und in eine (bislang unbekannte) biochemische Aktivität umsetzt.

Das Lqs System reguliert unter anderem die Aufnahme von DNA durch *L. pneumophila* („genetische Kompetenz“), sowie die Virulenz und Beweglichkeit [49]. Überdies reguliert synthetisches LAI-1 nicht nur die Flagellen-Produktion und Beweglichkeit von *L. pneumophila* [38], sondern auch die Migration und Beweglichkeit von Wirtszellen und übernimmt somit die Kommunikation zwischen Bakterien und Wirtszellen mittels eines niedermolekularen Signals („Inter-kingdom Signaling“) [50,51]. Schliesslich reguliert das Lqs System auch die Bildung von nicht-replizierenden, „ruhenden“ Persister-Bakterien in eukaryotischen Wirtszellen [52]. Diese persistierende Population von intrazellulären *L. pneumophila* ist metabolisch aktiv, Antibiotika-tolerant und hoch virulent.

#### *Besiedlung und Bildung von Legionellen-Biofilmen*

Das *L. pneumophila* Lqs System ist durch den Transkriptionsfaktor LvbR („*Legionella* virulence and biofilm regulator“) mit einem Regulationsnetzwerk verbunden, das durch das universelle bakterielle Signalmolekül zyklisches di-GMP (c-di-GMP) vermittelt wird [53,54]. Zyklisches di-GMP ist ein Hauptregulator von bakteriellen Biofilmen, und entsprechend reguliert LvbR nebst der DNA-Aufnahme und Virulenz auch die Biofilm-Bildung von *L. pneumophila*. Die Architektur des *L. pneumophila*-Biofilms wird unter anderem von Faktoren der Bakterien definiert, was sich auch in einer unterschiedlichen Migrationsgeschwindigkeit von Amöben durch den Biofilm manifestiert [55].

In der Umwelt besiedelt *L. pneumophila* komplexe Biofilme, die aus prokaryotischen (Bakterien) und eukaryotischen (Algen) Organismen bestehen [3,56] (**Abb. 1, 2**). Diese Biofilme stellen ein dynamisches Netzwerk von architektonischen und metabolischen Wechselwirkungen dar. Aufgrund des limitierten Nährstoffangebots in Wasser repliziert *L. pneumophila* in der Regel signifikant schneller in Anwesenheit von Amöben [57-60]. Legionellen können sich in Biofilmen jedoch wahrscheinlich auch von abgetöteten Bakterien und ihren Bestandteilen ernähren („nekrotrophes Wachstum“), da Hitze-abgetötete Bakterien das Wachstum von *L. pneumophila* in Filter-sterilisierten Wasser fördern [61].

Unter Laborbedingungen (in komplexen Medien) bildet *L. pneumophila* „flaumartige“ Biofilme [62]. Die Morphologie der Bakterien und die Architektur der *L. pneumophila* Biofilme ist von der Wachstumstemperatur abhängig, da bei 25°C stäbchenförmige Bakterien einen eher losen Biofilm bilden, während dem bei 37-42°C filamentöse Bakterien eine dicken und dichten, Myzel- und Matten-ähnlichen Biofilm bilden [63]. *L. pneumophila* bildet Biofilme auch in Minimalmedium, welches die tiefen Kohlenstoffkonzentrationen unter natürlichen Bedingungen vermutlich besser rekapituliert [64]. Unter diesen nährstoffarmen Bedingungen bilden die Bakterien nach 6 Tagen einen für Wochen stabilen Biofilm, der 300 µm Dicke aufweist und von einer Kohlenhydrat-Schicht umgeben ist.

#### *Virulenz von L. pneumophila*

Ein bedeutender Virulenzfaktor von Gram-negativen Bakterien ist das Lipopolysaccharid (LPS), welches im Fall von *L. pneumophila* einen speziellen Aufbau aufweist. Der Kern von *L. pneumophila* LPS (Lipid A, Endotoxin) ist in die äussere Membran eingebettet und enthält unüblich lange und verzweigte Fettsäuren, welche die Hydrophobizität erhöhen und daher vermutlich weniger toxisch auf Zellen des Immunsystems wirken [65-67]. Der distale Bereich des *L. pneumophila* LPS, das „O-Antigen“, besteht hauptsächlich aus Legionaminsäure [68-70]. Die Struktur des *L. pneumophila* LPS liegt der Einteilung in verschiedene sogenannte Serogruppen zu Grunde, und das LPS ist für die Stamm-spezifische Virulenz der Legionellen verantwortlich [71,72]. Unter den 16 verschiedenen bekannten *L. pneumophila* Serogruppen werden die meisten Infektionen von Serogruppe 1 verursacht [73], welche jedoch in der Umwelt nicht überrepräsentiert ist [74].

Der wohl unbestreitbar wichtigste Virulenzfaktor von Legionellen ist ein sogenanntes Typ IV Sekretionssystem (T4SS), welches in allen Spezies der Gattung *Legionella* konserviert ist [75,76]. Das Icm/Dot („Intracellular multiplication/Defective organelle transport“) T4SS ist essentiell für das intrazelluläre Wachstum und die bakterielle Virulenz [77-79]. Mutanten-Stämme, denen das Icm/Dot T4SS fehlt, sind avirulent (im Tiermodell) und werden von Phagozyten (Fresszellen) abgetötet. Das T4SS überspannt die innere und äussere Zellmembran der Legionellen und injiziert im Fall von *L. pneumophila* mehr als 300 verschiedene „Effektorproteine“ in Wirtszellen [80] (**Abb. 3**). Die Effektorproteine modulieren zentrale

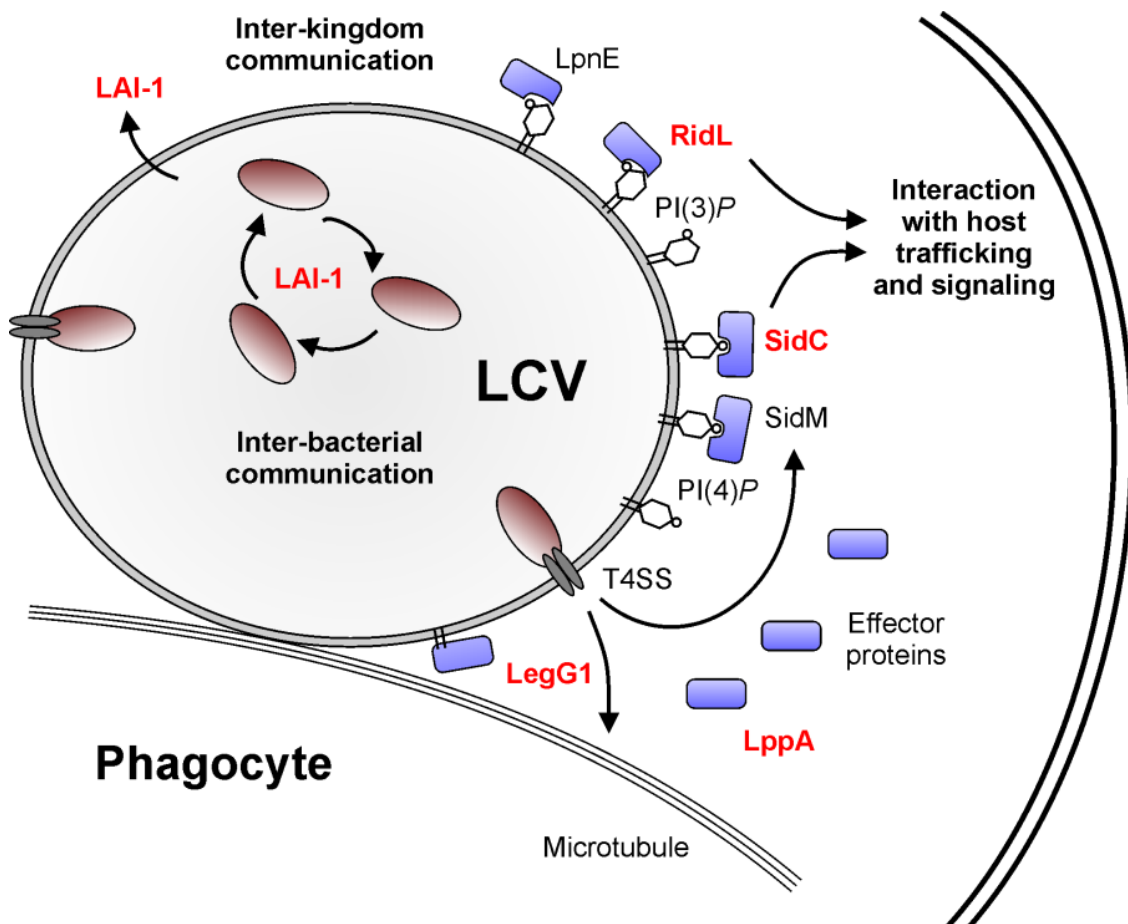
zellbiologische und biochemische Prozesse der Zellen zu Gunsten des Pathogens. Essentielle Zellprozesse umfassen unter anderem Signalübertragung, Membran- und Zytoskelett-Dynamik, Vesikeltransport, sowie Genexpression und Proteinproduktion [80-89].

Eine Reihe dieser *L. pneumophila* Effektorproteine ist direkt beteiligt an der Inhibition des bakterioziden Zellwegs (Endozytose) und der Bildung eines replikations-permissiven Kompartiments, der sogenannten Legionellen-Vakuole (LCV, „*Legionella*-containing vacuole“). Am Ende eines komplexen Reifungsprozesses assoziiert die LCV mit dem Zellorganell endoplasmatisches Retikulum (ER). Zu diesem Zweck modifizieren die Effektorproteine unter anderem kleine oder grosse GTPase Enzyme [90-97], Phosphoinositid-Lipide [89,98-102] oder andere Komponenten von Vesikeltransportwegen [86,103,104] (**Abb. 3**).

*Evolution von Legionellen und Pathogenität für den Menschen*

*L. pneumophila* ist ein opportunistisch pathogenes Bakterium, dessen Evolution praktisch ausschliesslich auf die Wechselwirkungen mit Amöben und anderen Protozoen zurückzuführen ist [105-107]. Tatsächlich können Legionellen in mindestens 30 verschiedenen Protozoen replizieren, inklusive Amöben (*Acanthamoeba*, *Hartmannella*, *Naegleria*, *Vahlkampfia* and *Dictyostelium* spp.) und Ziliaten (*Tetrahymena* and *Paramecium* spp.) [5,108,109]. Kürzlich konnte auch experimentell gezeigt werden, dass der kumulative „evolutionäre Druck“ von mehreren verschiedenen Amöben-Spezies die Virulenz von *L. pneumophila* definiert und somit auch die Pathogenität für Menschen determiniert [110].

Die intrazelluläre Vermehrung von *L. pneumophila* in freilebenden Amöben und Makrophagen des Immunsystems verläuft gemäss einem ähnlichen Mechanismus [111,112]. Dies hat den experimentellen Vorteil, dass verschiedene Amöben (*A. castellanii*, *D. discoideum*) und Säugerzellen (Makrophagen und andere Zellen) als Modell-Systeme für die Pathogen-Wirtszell-Interaktionen verwendet werden können. Ausserdem eignen sich Amöben, um intrazellulär wirksame, neuartige antimikrobielle Verbindungen gegen Legionellen und andere Bakterien zu identifizieren und zu charakterisieren [113-115].

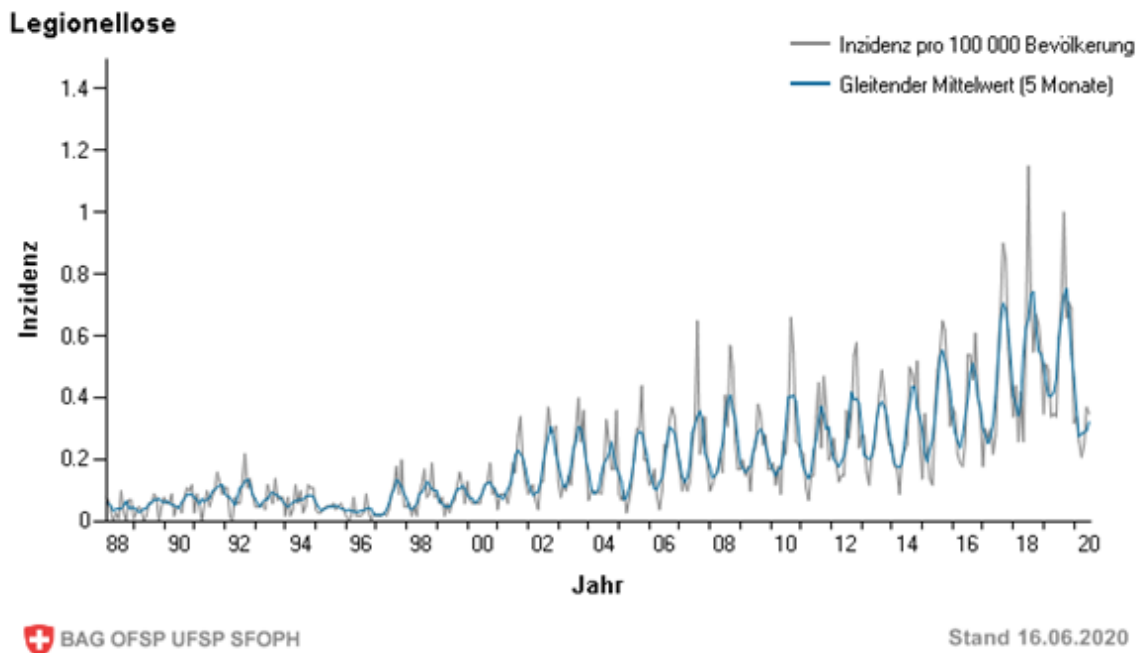


**Abb. 3. Virulenz und Kommunikation von *L. pneumophila*.** Die Bildung der Legionellen-Vakuole (LCV) und die intrazelluläre Replikation von *L. pneumophila* wird von T4SS-sekretierten „Effektor-proteinen“ gesteuert, von denen einige an Phosphoinositid-Lipide binden (SidM, SidC, RidL). Die Effektorproteine SidM and SidC modulieren den sekretorischen Vesikeltransportweg und die Interaktion mit dem ER. Das Effektorproein RidL bindet den Retromer-Komplex und inhibiert den retrograden Vesikeltransportweg. Das Effektorproein LppA baut den Komplexbildner Phytat ab. Das Effektorproein LegG1 aktiviert die kleine GTPase Ran und fördert die Polymerisation des Mikrotubuli-Zellskeletts, die Beweglichkeit der LCV und die Zellmigration. Das niedermolekulare Signalmolekül LAI-1 vermittelt die Zell-Zell-Kommunikation zwischen Bakterien und zwischen Bakterien und Wirtszellen [3].

Die Resistenz gegenüber Makrophagen ist eine Voraussetzung für die Pathogenität von *L. pneumophila* [1]. Die Legionellen vermehren sich in Makrophagen und töten diese Immunzellen ab, was nicht ohne die Ausschüttung von Botenstoffen (Zytokinen) ablaufen kann. Diese Zytokine lösen die fulminante Entzündungsreaktion aus, welche typisch für die Legionärskrankheit ist und einen tödlichen Verlauf nehmen kann. In der Regel sind Legionellen jedoch empfindlich gegenüber Makrolid- und Fluorochinolon-Antibiotika, und die Infektion kann damit unterbunden werden.

#### 4.1.3 Epidemiologie/Umwelt

Seit 2008 nimmt die Anzahl Fälle von Legionärskrankheit in der Schweiz stetig zu [116]. Insgesamt hat sich die Fallzahl in diesen zehn Jahren mehr als verdoppelt: von 219 Fällen im Jahr 2008 auf 581 im Jahr 2019. Diese Zunahme der Fälle von Legionärskrankheit wurde nicht nur in der Schweiz beobachtet, sondern auch in Europa, Kanada und in den Vereinigten Staaten [117,118]. Auch die Inzidenz nimmt in der Schweiz zu (**Abb. 4**). Sie bewegt sich zwischen 2.8 Fällen pro 100'000 Einwohner im Jahr 2008 und 6.8 im Jahr 2019.



**Abb. 4: Monatliche Inzidenz der Legionellose pro 100'000 Einwohner in der Schweiz.**  
<https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-zu-infektionskrankheiten.ex-turl.html/aHR0cHM6Ly9tZWxkZXN5c3Rlb-WUuYmFnYXBwcy5jaC9pbmZyZX/BvcnRpbmVZGF0ZW5kZXRhWxzL2QvbGVnaW9uZWxsYS5odG1s/P3dlYmduYWI9aWdub3Jl.html>

Die in der Schweiz gemeldeten Fälle von Legionärskrankheit weisen eine unterschiedliche regionale Verteilung auf. Die mittlere Melderate für die Jahre 2008 bis 2017 war 3.5 Fälle pro 100'000 Einwohner. Der Kanton Tessin weist eine mittlere jährliche Melderate von 10.1 Fällen pro 100'000 Einwohner auf und



liegt damit weit über dem schweizerischen Mittel. An zweiter Stelle folgt der Kanton Genf mit 4.6 Fällen pro 100'000 Einwohner. Dann folgen in absteigender Reihenfolge der Kanton Basel-Stadt, Solothurn, Schaffhausen, Neuenburg und Waadt. Die Melderaten aller anderen Kantone sind gleich oder unter dem schweizerischen Durchschnitt [116].

Die Angaben bezüglich den möglichen Ansteckungsorten auf der Meldung zum klinischen Befund werden BAG ebenfalls kategorisiert. War die Person in den zwei bis vierzehn Tagen vor Manifestationsbeginn stationär hospitalisiert, wird der Fall als „nosokomial“ klassiert. Lebt die Person in einem Altersheim, wird der Fall als „Altersheim-assoziiert“ eingestuft. Hat die Person in einem Hotel oder sonstigem Ort auswärts übernachtet, wird der Fall als „Reise-assoziiert“ angesehen. Könnte die Infektion in Ausübung des Berufes erworben sein, gilt der Fall als „Beruf-assoziiert“. Alle anderen Fälle werden als «im Alltag erworben» bezeichnet. Diese Kategorie beinhaltet aber auch Fälle, in denen kein Anhaltspunkt für eine mögliche Infektionsquelle besteht. Zwischen 2008 und 2017 fielen 78% der Erkrankten in die Kategorie „im Alltag erworben“ und 14% waren „Reise-assoziiert“. Bei je 3% wird eine Infektion im Spital oder Altersheim vermutet, und bei rund 1% wird eine Ansteckung bei der Berufsausübung angenommen [116].

In der Literatur sind mehrere Fälle von Legionärskrankheit beschrieben, bei denen versucht wurde, die Infektionsquelle zu identifizieren. Für einige dieser Fälle waren die Forscher in der Lage, isolierte Stämme aus dem Patienten und der Umgebung zu vergleichen und sie mit Hilfe molekularer Typisierungstechniken zu korrelieren. In anderen Fällen wurde die Korrelation nur durch epidemiologische Evidenz hergestellt. Dies gilt insbesondere für die zahlreichen Fälle, in denen es nicht möglich war, den Patientenstamm zu kultivieren. Zusätzlich wurden zahlreiche Reservoirs beschrieben, die bei Aerosolbildung ein potentielles Übertragungsrisiko darstellen können. Diese Quellen und die entsprechenden Referenzen sind in der **Tabelle 1** zusammengefasst (**Anhang 1**).

#### ***Legionellose-Quellen, die durch molekulare Analysen bestätigt wurden***

In der Literatur gibt es zahlreiche Quellen, die dank molekularer Typisierungstechniken mit Legionellose-Fällen in Verbindung gebracht werden können. Diese Quellen sind insbesondere Ein- und Mehrfamilienhäuser, Hotels, Kurhäuser, Krankenhäuser (onkologische Abteilungen), Gefängnisse, Zahnarztpraxen, Baustellen, Kühltürme, Fahrzeugklimaanlagen, Luftbefeuchter, Badewannen, Duschen, Gartenschläuche, Kläranlagen, Flüsse und heiße Quellen.

#### ***Legionellose-Quellen, die durch epidemiologische Analyse eruiert wurden***

In einigen Fällen konnten die Quellen oder Aktivitäten nur auf epidemiologische Zusammenhänge zurückgeführt werden. Neben den bereits erwähnten Warm- und Kaltwassersystemen von Häusern und Krankenhäusern, Zahnärzten und Kühltürmen können wir folgende nennen: private Sprudelbäder, Erde, Blumenerden, solarbeheizte Wassertanks (Wassererwärmer), Fahrzeugklimaanlagen, Reisen, Verwendung von CPAP (Continuous Positive Airway Pressure), Gefängnisse, Reinigung von Warmwasserbereitern, Flüsse, Wohnhäuser, Straßenreinigungsfahrzeuge und Autowaschanlagen.

#### ***Umweltreservoirs, die potentielle Quellen darstellen, wenn Aerosol entwickelt wird***

Schließlich gibt es einige Umgebungen, die nachweislich Reservoirs für *Legionella* spp. sind und die im Falle einer Aerosolproduktion eine Quelle darstellen können. Es handelt sich in diesen Fällen um Kompostierungsanlagen, Regenwasser auf Straßen, Regenwassertanks auf Dächern, Seen, Sprinkleranlagen, Gärten und Wasser für Erholungszwecke.

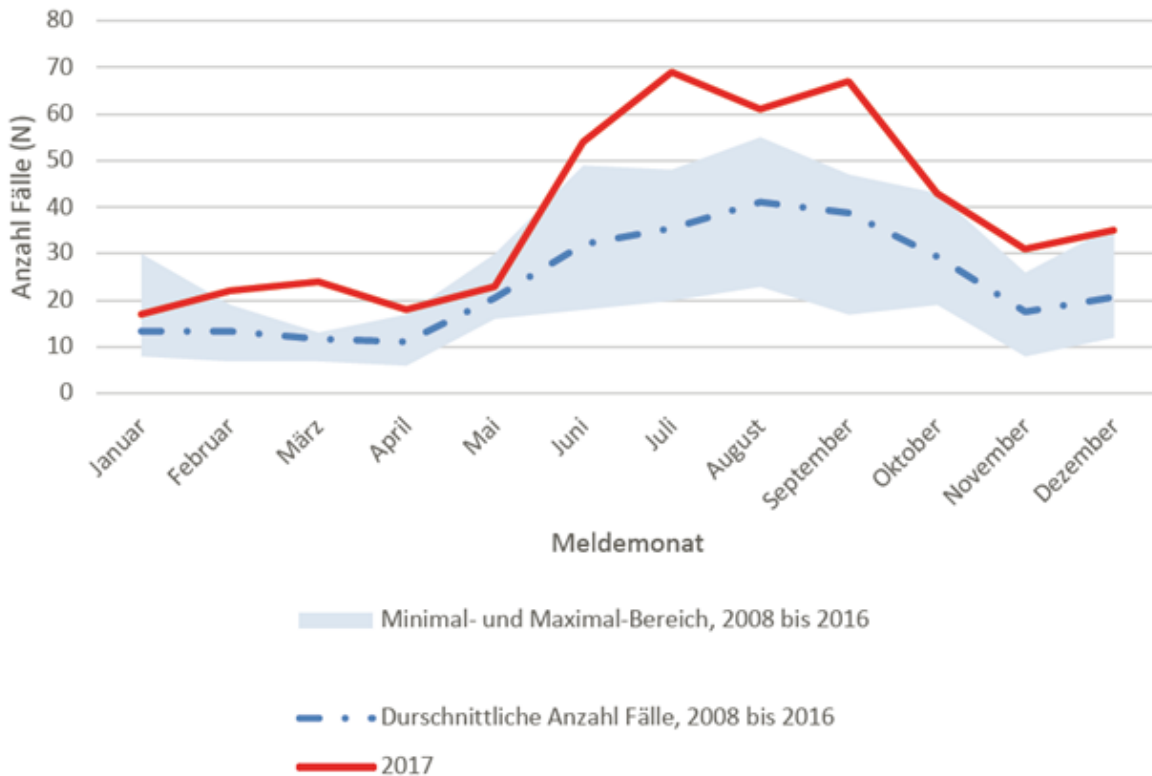
#### ***Aerosolbildung in Gebäude-Trinkwasser***

Die Duschen werden als starke Aerosolbildnern betrachtet, währenddessen Lavabohahnen als schwache Aerosolbildner gelten.

Gemäss den vom BAG erfassten Daten werden die meisten Fälle jedes Jahr in den Sommer- und Herbstmonaten registriert (**Abb. 5**). Die Monate Juli, August und September verzeichnen rund 41% aller Fälle. Die wenigsten Fälle werden in den Monaten Februar, März und April registriert. Schliesst man die Reise-assoziierten Fälle aus, bleibt das saisonale Muster bestehen. Demnach kann das Reisen alleine nicht

der einzige Grund für die saisonal beobachtete Schwankung sein [116]. Ein ähnlicher Trend ist auch in den anderen europäischen Ländern zu beobachten [119].

Mehrere Forscher haben versucht, das Auftreten von Legionellose-Fällen mit meteorologischen Faktoren zu korrelieren. Es wurden signifikante Korrelationen mit der relativen Luftfeuchtigkeit, der Durchschnittstemperatur, dem Niederschlag und sogar mit außergewöhnlichen Ereignissen gefunden [120-147]. Die Auswirkungen des Klimawandels und der Klimaveränderung auf die beobachtete Zunahme der Legionellose-Fälle müssen noch vertieft analysiert werden (siehe auch Kapitel 1.2.2).



**Abb. 5. Auftreten der Legionärskrankheit in der Schweiz nach Monat, 2008 bis 2017.** [116].

#### 4.1.4 Probenahme und Nachweis von Legionellen

##### *Ist-Zustand Probenahme und Nachweis*

Gemäss Trink-, Bade- und Duschwasserverordnung (TBDV) ist in Duschwasserproben von öffentlichen Anlagen ein Höchstwert für *Legionella* spp. von 1'000 KBE/L und für Wasser in Sprudelbädern über 23°C von 100 KBE/L definiert [148]. Wie bei allen mikrobiologischen Höchstwerten ist die Nachweismethode für den jeweiligen Analyten in der TBDV angegeben. Im Falle der Legionellen ist dies die international anerkannte Kultivierungsmethode ISO 11731 [149]. Der Höchstwert ist in *Legionella* spp. angegeben. Dabei ist spp. die lateinische Abkürzung für *species pluralis* und bedeutet mehrere Arten (Spezies) einer Gattung. Der Höchstwert gilt für alle Legionellenarten und nicht nur für die klinisch relevanten. Auch wenn die Fälle von Legionärskrankheit grossmehrheitlich auf die Art *Legionella pneumophila* zurückzuführen sind, ist nicht ausgeschlossen, dass auch andere *Legionella*-Arten ein Infektionsrisiko bergen. Folglich ist für alle *Legionella*-Arten, d. h. für *Legionella* spp., im Duschwasser sowie im Wasser von Gemeinschaftsbädern ein Höchstwert festgelegt [150].

##### *Probenahme*

Im Zusammenhang mit Legionellen-Beprobungen weisen verschiedene internationale Dokumente [151,152], wie auch die entsprechenden BAG/BLV Legionellen-Module [153] darauf hin, dass eine fachgerechte Probenahme Erfahrung und Know-how voraussetzt. Dies insbesondere, um geeignete Probenahmestellen und –Zeitpunkte festzulegen und die Ergebnisse richtig zu interpretieren, aber auch um

das eigene Infektionsrisiko richtig einschätzen zu können und die nötigen Arbeitsschutzmassnahmen zu treffen.

Die Norm EN ISO 19458:2006 schreibt weiter vor, dass eine geregelte Schulung, Schulungsnachweise und die Prüfung der Kompetenz des für die Probenahme verantwortlichen Personals durchgeführt und dokumentiert werden muss [151].

Die Probenahmestrategie muss an das Untersuchungsziel angepasst werden [151-153]. Für die Untersuchung von Gebäude-Trinkwasserinstallationen auf Legionellen wird zwischen vier Untersuchungszielen unterschieden:

- i) Routinebeprobung: Erstmalige oder wiederholte Überprüfung einer Gebäude-Trinkwasserinstallation auf Legionellen und gegebenenfalls auf weitere Untersuchungsparameter gemäss der betrieblichen Risikobewertung.
- ii) Weitergehende Beprobung: Lokalisierung und weitere Charakterisierung einer Legionellen-Kontamination.
- iii) Nachbeprobung: Überprüfung des Sanierungserfolges nachdem eine Kontamination nachgewiesen und Massnahmen ergriffen wurden.
- iv) Fallabklärung: Überprüfung einer Gebäude-Trinkwasserinstallation als potenzielle Infektionsquelle im Zusammenhang mit einem Legionellose-Erkrankungsfall.

Die Proben sollten so rasch wie möglich ins Labor gebracht werden. Die mikrobiologischen Proben sollten nach Möglichkeit bis zur Ankunft im Labor in einer Kühlbox Temperatur-isoliert aufbewahrt werden.

Die verschiedenen Vorgehensweisen sind generell beschrieben im Modul 10 der entsprechenden BAG/BLV-Empfehlungen [153]. Für die Zukunft ist eine aktualisierte Beschreibung in der Methodensammlung des SVGW vorgesehen ([www.svgw.ch/Methodensammlung/](http://www.svgw.ch/Methodensammlung/)).

*Nachweis von Legionellen*

Die aktuelle Standardkultivierungsmethode (ISO 11731) ist international anerkannt und weltweit die Referenzmethode [149]. Es ist aber bekannt, dass mit der Standardmethode nicht alle Legionellen nachgewiesen werden können. Die Standardkultivierungsmethoden können z.B. VBNC Legionellen nicht erfassen und detektieren somit nur „die Spitze des Eisbergs“ – VBNC-Organismen sind nämlich keineswegs tot. VBNC („viable-but-non-culturable“) Legionellen sind lebensfähige, aber nicht kultivierbare Bakterien, die sich in einem Zustand sehr geringer Stoffwechselaktivität befinden und sich nicht teilen, aber die Fähigkeit haben, nach einer „Wiederbelebung“ wieder kultivierbar zu werden (vgl. auch Kapitel 1.1.2). Dies könnte eine Erklärung für das Phänomen sein, dass in der Praxis gelegentlich zeitlich schwankende Befunde erhoben werden, da die Ziel-Organismen sich alternierend in einem kultivierbaren und dann wiederum in einem nicht kultivierbaren Zustand befinden [154]. Einen Überblick der verfügbaren Methoden, um Legionellen nachzuweisen, gibt **Tabelle 2**.

	Standard-kultivierung	Legiolert	Real time oder qPCR	digital PCR	Viability PCR (vPCR)	Lateral flow test	In situ-Hybridisierung
<b>Zeitbedarf für Nachweis</b>	5 bis 10 Tage	7 Tage	Ca. 6 Stunden	Ca. 6 Stunden	6-8 Stunden	30 Minuten	4 bis 8 Stunden
<b>Nachweis von</b>	Kultivierbare Bakterien (KBE/L)	Konzentrationsbereich KBE/ (MPN)	Genomische Einheiten (GE)	Genomische Einheiten (GE)	Unterscheidung zw. lebenden und toten Bakterien	LPS oder Proteine	Qualitativer Nachweis von Nukleinsäuren (RNA oder DNA)

<b>Norm</b>	ISO 11713		ISO 12869	-	-	-	-
<b>Nachweisprinzip</b>	Wachstumsverhalten	Selektiver Agar	DNA-Polymerasekettenreaktion	Digitale droplet-PCR	Zellpermeabilität, mRNA	Antikörper (z.B. Schwangerschaftstest)	Sonden spezifisch für RNA/DNA
<b>Vorteile</b>	Goldstandard im Gesetz verankert, Kolonie isoliert	Einfach handbar	Schnell, automatisierbar	Schnell, automatisierbar	Unterscheidung lebend/tot, Geschwindigkeit	Schnell und vor Ort anwendbar	Räumliche Lokalisierung, relativ schnell
<b>Nachteile</b>	Zeitbedarf, arbeitsaufwändig	Nachweis nur von <i>L. pneumophila</i> , Zeitbedarf	Inhibition, keine Unterscheidung lebend/tot	Keine Unterscheidung lebend/tot	Arbeitsaufwändig	Hohe Nachweisgrenze, Resultat unsicher	Arbeitsaufwändig, keine Isolate, qualitative Auswertung
<b>Entwicklungspotential</b>	Direkte und schnellere Bestätigung von präsumptiven Kolonien	Automatisierbar	Mehrfachnachweis (Multiplex), automatisierbar	Multiplex PCR, automatisierbar, Schwellenwert	Aktuell nicht routine-tauglich, automatisierbar	Mehrfachnachweis	Nicht Routine für Spezialabklärungen
<b>Referenzen</b>	[149]	[155]	[152]	[156]	[157]	[158]	[159]

**Tabelle 2. Überblick über die Nachweismethoden für Legionellen.**

#### Alternativen

Für die Erfassung und Beurteilung mikrobieller Kontaminationen in der Trinkwasser-Installation kann daher in kritischen Fällen die kombinierte Anwendung konventioneller Kulturverfahren und kultivierungsunabhängiger molekularbiologischer Methoden (FISH, qPCR-basierte Methoden) zielführend und für die Praxis hilfreich sein [154].

In der Literatur finden wir auch andere, einfach auszuführende Methoden, die den Nachweis von Legionellen im Feld erleichtern sollen. Leider gibt es für diese Methoden nur wenige veröffentlichte Studien, die ihre Wirksamkeit bestätigen.

Der Test "Legiolert®" (IDEXX) wird durch die grösste Anzahl von Publikationen beschrieben. Die Vorteile liegen in der Einfachheit der Ausführung und Interpretation. Die Nachteile liegen vor allem darin, dass der Test nur den Nachweis von *L. pneumophila* und nicht von anderen Spezies erlaubt und die Analyse 7 Tage dauert wie eine normale Kulturanalyse [160-162].

In den letzten Jahren wurden neue Techniken zur Sequenzierung von Nukleinsäuren entwickelt, die als "Next Generation Sequencing" bezeichnet werden und die es ermöglichen, auf vielen Gebieten der Mikrobiologie und Genetik große Fortschritte zu erzielen.

Diese Methoden werden nicht nur für die Diagnose von genetischen und onkologischen Krankheiten eingesetzt, sondern sind auch auf eine Vielzahl von Mikroorganismen wie Bakterien und Viren anwendbar. Diese Techniken ermöglichen auch die Analyse des sogenannten Mikrobioms, d.h. die Gesamtheit aller Mikroorganismen, die in einer bestimmten Umgebung vorhanden sind. Beispielsweise wurden Variationen im aquatischen Mikrobiom positiv oder negativ mit der Anwesenheit oder Abwesenheit bestimmter

pathogener Mikroorganismen, einschließlich Legionellen, in Verbindung gebracht [163-167]. Die Mikrobiomanalyse wird auch zu diagnostischen Zwecken und zum besseren Verständnis der Legionelleninfektion in der Lunge eingesetzt [168-170]. Im Moment sind diese Techniken noch sehr teuer und daher nicht in großem Massstab anwendbar, aber sie sind geeignet, in den kommenden Jahren zu einem Hauptinstrument der mikrobiologischen Diagnostik zu werden.

#### 4.1.5 Trinkwasserinstallationen in Gebäuden

##### *Risikofaktoren, die zu Vermehrung von Legionellen führen*

Legionellen sind weit verbreitete Umweltbakterien, welche im Grund-, Quell- und Flusswasser in tiefen Konzentrationen vorkommen können. Wenn Legionellen in Hausinstallationen auf günstige Bedingungen treffen wie Wassertemperaturen von 25°C bis 45°C, genügend Nährstoffe und stehendes Wasser, kann es zu einer Vermehrung der Bakterien kommen, welche die menschliche Gesundheit gefährden kann. Legionellen werden durch die Vermehrung in Hausinstallationen erst zum Problem. Um besser zu verstehen, warum dies so ist, müssen die Unterschiede zwischen kommunaler Netzleitung und den Hausinstallationen erkannt werden. Erfahrungsgemäss besteht bei Duschen, Sprudelbädern, Klimaanlage, Luftbefeuchtern etc. die Gefahr von Infektionen mit Legionellen. Durch das Einatmen von kleinsten Wassertröpfchen, sogenannten Aerosolen, kontaminiert mit Legionellen, gelangen die Bakterien in die Atemwege und können die Lunge infizieren. Die Frage, warum sich in gewissen Gebäuden Legionellen vermehren und in anderen nicht, kann nicht abschliessend beantwortet werden. Es können zwar mögliche Ursachen und davon abgeleitete Regeln definiert werden, von klaren Gesetzmässigkeiten zu sprechen, ist aber zu weit gegriffen. Es können aber Bedingungen genannt werden, welche erfahrungsgemäss zu Legionellen-Kontaminationen führen können. Diese sollten möglichst vermieden werden.

Die wesentlichen Faktoren, die zur Vermehrung von Legionellen in Gebäuden führen, sind nach heutigem Wissensstand: (i) kritischer Temperaturbereich von 25°C bis 45°C, (ii) Stagnation (nicht vereinbarte Nutzung, Totleitungen, etc.), (iii) Verfügbarkeit von Nährstoffen, und (iv) Oberflächen (geeignetes Habitat).

Nicht alle Vermehrungsfaktoren basieren gleichermassen auf verlässlichen wissenschaftlichen Daten. Sie gründen teilweise nur auf plausiblen Vermutungen und allgemein akzeptiertem Expertenwissen. Dies sollte klar unterschieden werden, wenn aufgrund der allgemein anerkannten Vermehrungsfaktoren möglichst wirksame Regeln für die Vermeidung von Legionellen abgeleitet werden sollen. Im Folgenden wird auf die einzelnen Risikofaktoren näher eingegangen.

##### *Kritischer Temperaturbereich*

Verschiedene Studien belegen, dass Legionellen in einem sehr grossen Temperaturbereich überleben können. So wurde *L. pneumophila* aus Wasserproben in einem Temperaturbereich zwischen 5.6 - 66°C isoliert [171,172]. Legionellen können sich generell im Temperaturbereich zwischen 25°C - 42°C gut vermehren [173,174]. Für Legionellen ist es aber auch möglich, sich bei Temperaturen < 25°C und > 42°C langsam zu vermehren [175-179].

Legionellen sind im Vergleich zu anderen Bakterien relativ hitzeresistent. Sie können aber durch erhöhte Temperaturen abgetötet werden. Dabei spielt es eine Rolle, wie lange die Legionellen einer bestimmten Temperatur ausgesetzt sind. Während bei 60°C wenige Minuten Expositionszeit für eine 90%ige Reduktion der Legionellen genügen, werden bei 50°C für den gleichen Effekt mehrere Stunden benötigt [178,180-182].

Viele Studien haben die Anfälligkeit von Trinkwasserinstallationen gegenüber einem Befall durch Legionellen in Abhängigkeit der Temperatur untersucht. Diese umfassen Untersuchungen an realitätsnahen Pilotsystemen, wie auch in realen Objekten [183]. In Ein- und Mehrfamilienhäusern, Hotels, öffentlichen Gebäuden wie Schulen sowie Spitälern wurden dafür einzelne bis mehrere hundert Proben aus der Wasserphase und/oder Biofilmphase entnommen und analysiert. Die Studien aus verschiedenen Ländern (u.a. Schweiz, Italien, Deutschland, Schweden, Amerika, Ukraine, Kroatien, Finnland, Griechenland und Spanien) zeigen, dass:

i) Trinkwassersysteme mit Speichertemperaturen unter 50°C eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber einem Befall durch Legionellen aufweisen (< 40°C [176,177,184,185], 40°C – 45°C [176,177,183-189], 45°C – 50°C [177,183-185,188,190-196]).

ii) Im Bereich von 50°C - 60°C zeigt sich oft, dass je höher die Temperaturen sind, desto geringer die Anzahl von Positivbefunden ist [172,188,195,197-199]. Weniger einheitlich sind die Ergebnisse, ab welcher Temperatur zwischen 50°C – 60°C keine oder nur noch vereinzelt positive Legionellen-Befunde festgestellt wurden [166,183,188,190,191,198]. Dies kann einerseits an abweichenden Probenahmestrategien und Analysemethoden liegen oder andererseits an der Vielfalt der untersuchten Gebäude mit unterschiedlichen Rohwasserqualitäten, Systemeigenschaften und Betriebsmodi, welche ebenfalls einen Einfluss auf eine mögliche Kontamination durch Legionellen haben können.

iii) Systeme mit einer Speichertemperatur von  $\geq 60^\circ\text{C}$  keine oder nur vereinzelt Legionellen-positive Proben aufweisen [177,183,184,186,188,189,191,192,196,198,200-204].

Die Auswirkung der Temperatur auf die Legionellen hängt von weiteren Faktoren ab. Das Zusammenspiel zwischen Trinkwassersystem und Mikrobiologie ist sehr komplex und wird von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst [176,177,183,185,191,198,205-208]. In einer Studie wurde das Zusammenspiel mehrerer Faktoren anhand von über 400 Wasserproben modelliert [208]. Das Modell zeigt einerseits den Temperatureinfluss auf die Kontaminations-wahrscheinlichkeit durch Legionellen. Andererseits wird aufgezeigt, wie sich dieser in Kombination mit den Faktoren „Stagnation“ und „Distanz“ (Entfernung einer Entnahmestelle von Speicherausgang) der Installation verändert. Im Falle einer ideal geplanten, umgesetzten und betriebenen kleineren bis mittleren Installation kann z.B. eine Speichertemperatur von 55°C genügen, um eine Kontamination durch Legionellen im ganzen System zu verhindern. Unter Berücksichtigung von zusätzlichen Faktoren, wie Stagnation und weit tieferen Temperaturen an den distalen Enden resultierend aus Wärmeverlusten, muss jedoch auch bei Speichertemperaturen von 55°C mit einem erhöhten Kontaminationsrisiko gerechnet werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass verschiedene Faktoren die Anfälligkeit einer Installation gegenüber einem Befall durch Legionellen beeinflussen, wobei die Temperatur einer der wichtigsten und am einfachsten zu kontrollierenden Faktoren ist. Weiter sollten nach einer kurzen Spülzeit mindestens 50 - 55°C an der Entnahmestelle erreicht werden und Temperaturen > 55°C das Kontaminationsrisiko zusätzlich senken. In der Regel ist eine Zirkulationstemperatur von mind. 55°C und eine Speichertemperatur von 60°C nötig (in grossen Gebäuden sogar 65°C [186]), um auch an den entferntesten Entnahmestellen diese Temperaturanforderungen zu erfüllen. Permanent erhöhte Temperaturen sind in der Regel viel effizienter als periodische Temperaturerhöhungen. Zudem ist es essenziell, dass bei Inbetriebnahme oder einer Änderung am System ein fachgerechter hydraulischer Abgleich durchgeführt sowie ein regelmässiger Wasseraustausch im gesamten System gewährleistet wird (Vermeidung von Toträumen und Langzeitstagnation).

### *Stagnation*

Legionellen vermehren sich vorwiegend in Amöben, welche sich von Bakterien im Biofilm ernähren. Etwa 90 bis 95% der Bakterien in den Hausinstallationen sind sessil, das heisst, sie besiedeln Biofilme, welche die Innenwände der Hausleitungen auskleiden. Nur ca. 5 bis 10% der Bakterien sind planktonisch und befinden sich im freien Wasser [209]. Die Legionellen lysieren die Amöben und werden vom Biofilm periodisch in die Wasserphase entlassen. Dies bedeutet einen steten Fluss von Legionellen vom Biofilm in die Wasserphase. Der Biofilm stellt aus diesem Grund eine echte Gefahr für die Trinkwasserqualität in Hausinstallationen dar. Je länger das Wasser in den Leitungen stagniert, umso mehr Legionellen können sich in der Wasserphase ansammeln. Es wird deshalb empfohlen, mindestens alle drei Tage das Wasser in den nicht warmgehaltenen Leitungen zu erneuern, damit sich die Legionellen nicht zu gesundheitsgefährdenden Konzentrationen vermehren können.

### Verfügbarkeit von Nährstoffen

Legionellen haben spezielle Nährstoffbedürfnisse bezüglich bestimmter Aminosäuren und Eisen (III) [11,210] (vgl. auch Kapitel 1.1.2). Legionellen können sich deshalb im Trinkwasser nicht gegen die oligotrophen Mitkonkurrenten durchsetzen, die in nährstoffarmer Umgebung wachsen können [211]. Die Legionellen vermehren sich vorwiegend in Amöben, welche die intrazellulären Bakterien mit Nährstoffen wie Aminosäuren und Eisen (III) versorgen. Amöben ernähren sich ihrerseits von Bakterien im Biofilm [212], und deshalb hängt die Amöben-Konzentration von den Bakterien im Biofilm ab.

### Assimilierbarer organischer Kohlenstoff

Die Kohlenstoff-Nahrung von Bakterien wird in assimilierbarem organischem Kohlenstoff (engl. AOC) gemessen. Der AOC umfasst leicht assimilierbaren organischen Kohlenstoff. Dies sind mikrobiell leicht verwertbare Substanzen, z.B. organische Säuren. Der AOC ist somit ein Mass für die Neigung zur Wiederverkeimung von Wasser. Die Nährstoffe können entweder durch das Rohwasser oder die Kontaktmaterialien ins Wasser gelangen. Die Biofilmkonzentration korreliert mit der AOC-Konzentration im Trinkwasser [213]. Dies bedeutet, dass die Legionellen-Zahlen im Trinkwasser indirekt mit der AOC-Konzentration der Legionellen im Wasser korrelieren. Es wird angenommen, dass Wasser mit einer AOC-Konzentration von  $<1 \mu\text{g C/L}$  biologisch stabil ist, das heisst nicht zu einer Vermehrung von Bakterien führt. Dieser Schwellenwert kann von Trinkwasseranlagen in den Vereinigten Staaten nicht erreicht werden [214]. Im Gegensatz zu anderen Ländern wird in der Schweiz das mikrobielle Wachstum in Trinkwassersystemen durch die Reduktion von Nährstoffen anstelle der Verwendung von Desinfektionsmittelrückständen kontrolliert. Die AOC-Konzentration in der Wasserphase kann mit einer an der Eawag entwickelten Methode nachgewiesen werden. Im Verteilnetz liegen die AOC-Konzentrationen im günstig tiefen Bereich von 1 bis  $10 \mu\text{g C/L}$ . In Gebäude-Trinkwasserinstallationen liegen nur vereinzelte AOC-Messungen vor (Lautenschlager, Eawag), diese deuten auf erhöhte AOC-Konzentrationen hin.

Gemäss SIA-Norm 385/1 und SVGW-Richtlinie W3 sollten in Gebäude-Trinkwasserinstallationen zertifizierte Trinkwasserkontaktmaterialien eingesetzt werden. Alle Materialien, die in Kontakt mit dem Trinkwasser kommen, können seine Zusammensetzung verändern. Ungeeignete Materialien und Produkte in der Hausinstallation können die Trinkwasserqualität bei Trinkwassergewinnung, Weiterleitung und Speicherung nachteilig beeinflussen. Für die Trinkwasserkontaktmaterialien liegt die Biofilm-Schwellenkonzentration bei  $50 \mu\text{g Adenosintriphosphat (ATP)/cm}^2$  [213]. Erfahrungsgemäss gibt es starke qualitative Unterschiede in den eingesetzten Materialien in Trinkwasserhausinstallationen. Dies liegt einerseits daran, dass je nach Art der Materialien unterschiedliche Qualitätsanforderungen gesetzt werden, andererseits, dass aus Kostengründen auf den Einbau von qualitativ hochwertigen Materialien verzichtet wird.

Etablierte Verfahren zur Prüfung von Kunststoffmaterialien auf ihr Biofilmbildungspotential sind zeitaufwendig und unterscheiden sich in den europäischen Ländern. In Deutschland gilt der 1984 veröffentlichte W270-Test. Zulassungen werden mittels etablierter Grenzwerte geregelt. Die volumetrische Messung der Biofilmbildung ist in seiner Aussagekraft beschränkt. Zur besseren und schnelleren Beurteilung des Einflusses von Kunststoffen auf die Qualität und Mikrobiologie des Trinkwassers wurden an der Eawag bestehende Verfahren zur Prüfung des Migrations- und Biofilmbildungspotenzials erweitert und verbessert. Die daraus resultierende Testkombination (BioMig) ermöglicht innerhalb von vier Wochen eine quantitative, reproduzierbare und formunabhängige Bestimmung des Einflusses von Kunststoffen auf die mikrobiologische Wasserqualität. Für die Zukunft muss auf den Einbau von hochwertigen Trinkwasserkontaktmaterialien hingearbeitet werden, welche möglichst wenig AOC an das vorbeifliessende Trinkwasser abgeben.

### Mineralische Elemente (Eisen, Kalzium, Magnesium)

Eisen kann einerseits durch das Rohwasser eingetragen werden, andererseits ist die Hauptquelle von Eisen im Trinkwasser die Korrosion von Wasserinstallationen. Die Rolle von Eisen(III) für das Wachstum von *L. pneumophila* ist intensiv untersucht worden; sie ist eine Voraussetzung für das Wachstum der Bakterien in chemisch definierten Medien [215-217]. Die Zugabe des Eisen-Chelators (Komplexbildners) Laktoferrin reduziert die Lebensfähigkeit von *L. pneumophila* [218]. Zusätzlich fördern Eisen-Ionen auch

die Virulenz von *L. pneumophila* [219]. Ausserdem werden erhöhte Eisenkonzentrationen mit zunehmender Legionellen-Infektiosität von Amöben und Makrophagen in Zusammenhang gebracht [220,221]. Es konnte auch gezeigt werden, dass Eisenrost in Edelduschköpfen zu einer Vermehrung der Spezies *Legionella anisa* führt [222]. Eisen ist nicht nur ein essentieller Nährstoff für Legionellen, es reagiert auch mit dem Chlornetzschutz, wodurch die Wiederverkeimung erhöht wird. Bei einem massiven Korrosionsereignis in Flint (Michigan) wurde mit dem Eiseneintrag eine starke Vermehrung von Legionellen beobachtet. Dabei könnte neben dem Nährstoffeintrag auch die Neutralisierung des Chlornetzschutzes die Ursache der Legionellen-Vermehrung gewesen sein. In Dänemark wurde in komplexen Gebäuden mit Kupferinstallationen geringere kultivierbare Legionellen-Zahlen als in Gebäuden mit Eisenrohren festgestellt [223].

Erhöhte Kalzium- und Magnesiumkonzentrationen führen zu erhöhten *L. pneumophila*-Konzentrationen in Trinkwasserhausinstallationen [224]. Ausserdem korreliert die Wasserhärte (>321 mg CaCO<sub>3</sub>/L und Kalziumkonzentrationen >150 mg CaCO<sub>3</sub>/L) positiv mit den Legionellen-Keimzahlen [225]. Die Wirkung anderer mineralischer Elemente auf das Wachstum von *L. pneumophila* in Sanitärinstallationen ist nicht gut verstanden [198].

#### *Oberflächen (geeignetes Habitat)*

Legionellen leben vorwiegend in Amöben im Biofilm [56]. Die Bakterien werden von Zeit zu Zeit in die freie Wasserphase entlassen. Entsprechend führen Toträume in Installationsanlagen zu Legionellen-Kontaminationen. Aber auch Totleitungen beziehungsweise wenig verwendete Leitungen können die gut durchflossenen Leitungen durch Rückfluss oder aktive Beweglichkeit der Bakterien mit Legionellen kontaminieren. Durch Korrosion werden einerseits Eisen(III)-Ionen freigesetzt, andererseits wird durch Pustelbildung die Oberfläche, an denen sich Biofilm bilden kann, massiv vergrössert. Durch die Verkalkung werden glatte Oberflächen in eine komplexe Oberflächenstruktur umgewandelt, in der sich der Biofilm gut einnisten kann. Auch führen Ablagerungen von Kalk oder Korrosionsprodukten in Leitungen zu möglichen Nischen für Biofilme.

#### *Gebäudetrinkwasserinstallationen unter dem Gesichtspunkt der Legionellen-Vermehrung*

Trinkwasser wird in der Schweiz zu 40% aus Quellen, zu 40% aus Grundwasser und zu 20% aus Seewasser gewonnen. Die Temperaturen des Rohwassers sind auch im Sommer mit 5-15°C relativ tief. Bei der Aufbereitung wie auch bei der Verteilung im Netz ergibt sich eine Erwärmung. Nur in Ausnahmefällen – z.B., im Hochsommer bei geringem Verbrauch – können im Verteilnetz Temperaturen bis ca. 25°C erreicht werden. Bei einzelnen Hydranten, welche aus Gusseisen bestehen, können, wenn sie an der Sonne exponiert sind, Temperaturen über 50°C erreicht werden. Es ist bekannt, dass ca. 10% der Hydranten mit *Pseudomonas aeruginosa* kontaminiert sind (Kantonales Labor Zürich, Jahresbericht 2017). Eine offene Frage ist, ob Hydranten auch mit Legionellen verkeimt sind und ob dies von hygienischer Relevanz sein könnte.

Im Vergleich der Bedingungen des Wassers in der Netzleitung und in Hausinstallationen zeigt sich, dass letztere hinsichtlich Legionellen das grössere, wenn nicht gemäss aktueller Lehrmeinung ausschliessliche Problem darstellen (**Tabelle 3**). Problembereiche ergeben sich in Bezug auf Kaltwasser, Wasser-Aufbereitung (Filter, Enthärtung), systemische Bedingungen (Warmwasserspeicher, warmgehaltene Leitungen: Steigleitung/Zirkulation), und periphere Gegebenheiten (Stichleitung, Mischer, Armaturen, Duschschlauch, Anzahl Duschen).

#### *Periphere Legionellen-Kontaminationen*

In der Praxis ergibt sich immer wieder die Situation, dass in einem Gebäude die Warmwasserspeichertemperaturen den Empfehlungen entsprechen und auch in den systemischen Proben keine Legionellen nachgewiesen werden können, doch in den peripheren Proben von einzelnen Duschen Legionellen-Kontaminationen festgestellt werden. Diese peripheren Kontaminationen stellen für die Betriebe ein schwer zu lösendes Problem dar. Einerseits ist die regelmässige Kontrolle wegen der Anzahl von Duschen schwierig, und andererseits sind die Massnahmen bei Legionellen-Kontaminationen schwierig und aufwändig. Bei systemischen Kontaminationen kann in den meisten Fällen durch Temperaturerhöhung das



Kontaminationsproblem gelöst werden. Bei peripheren Problemen wird vielfach nur Symptombekämpfung betrieben mit regelmässigem spülen. Für eine Behebung der Ursache müsste das gesamte Verteilnetz im Gebäude ersetzt werden. Dies ist sehr teuer und in bestehenden Gebäuden schwer auszuführen.

Parameter	Netzleitung	Hausinstallation
Temperatur	5-15°C	Kaltwasser: 5-30°C Warmwasser: 40-60°C
Rohrdurchmesser	Durchmesser: 10-50 cm	Durchmesser: 1-3 cm
Oberflächen-Volumen Verhältnis (Fläche/Volumen [m <sup>-1</sup> ])	Relativ klein	Relativ gross
Stagnation	Selten	Normalfall

**Tabelle 3. Vergleich Netzleitung und Hausinstallationen.**

*Standardmassnahmen der Legionellen-Kontrolle*

In der Praxis hat sich das Multibarrierensystem bewährt. Es zeigt sich, dass um die Vermehrung von Legionellen sicher zu vermeiden, nicht eine Massnahme genügt, sondern mehrere ineinandergreifende Massnahmen erforderlich sind. Jede Massnahme ist für sich allein zu wenig sicher, nur das Zusammenspiel von mehreren Barrieren bringt die gewünschte Sicherheit gemäss dem Multibarrierensystem. Das Multibarrierensystem (auch Mehrbarrierensystem oder Multibarrierenprinzip) ist ein in der Trinkwasserhygiene angewendetes Prinzip, bei dem mehrere nacheinander gestaffelte Barrieren Sicherheit gewährleisten sollen. Dabei kommt es auf das Zusammenwirken aller Barrieren an; keine Barriere sollte auf Kosten einer anderen vernachlässigt werden.

Die wichtigsten Faktoren der Legionellen-Prävention wurden in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben und sind im „Hygienesdreieck“ zusammengefasst (**Abb. 6**). Dazu gehören das Einhalten der empfohlenen Solltemperaturen (Kaltwasser: <25°C, Warmwasserspeicher: ≥60°C, Verteilnetz: ≥55°C und Bezugspunkte ≥50°C). Das Wasser sollte im Fluss bleiben und nicht stagnieren. Deshalb sollte das Wasser mindestens alle 72 Stunden erneuert werden. Es sollten im Trinkwasserbereich nur geeignete Materialien eingesetzt werden, welche möglichst wenig Nährstoffe ins Trinkwasser migrieren. Ausserdem sollten die Regeln der Technik gemäss SIA-Norm 385/1 und 385/2 sowie SVGW-Richtlinie W3 eingehalten werden. Dazu gehören: gemäss neuer SIA-Norm 385/1 (in Vernehmlassung) sowie den Grundsätzen (SVGW W3-Richtlinie), dass (i) Kaltwasser kalt bleibt, (ii) nicht warmgehaltene Leitungen nach Gebrauch auskühlen (≤25°C), (iii) keine Wärmequellen in der Nähe von Kaltwasserleitungen vorkommen, (iv) warmgehaltene Leitungen mit Wärmesiphon von nicht warmgehaltenen Leitungen getrennt sind, (v) warmgehaltene Leitungen warm gehalten werden (≥55°C), (vi) Entnahmestellen nach einfacher Ausstosszeit 40°C und nach siebenfacher Ausstosszeit 50°C betragen, (vii) Temperaturen beim Speicheraustritt je nach den Wärmeverlusten der warmgehaltenen Leitung bemessen werden, und (viii) Speicheraustritts-Temperaturen mindestens 58°C (bei hygienischer Voraussetzung ≥55°C) betragen.

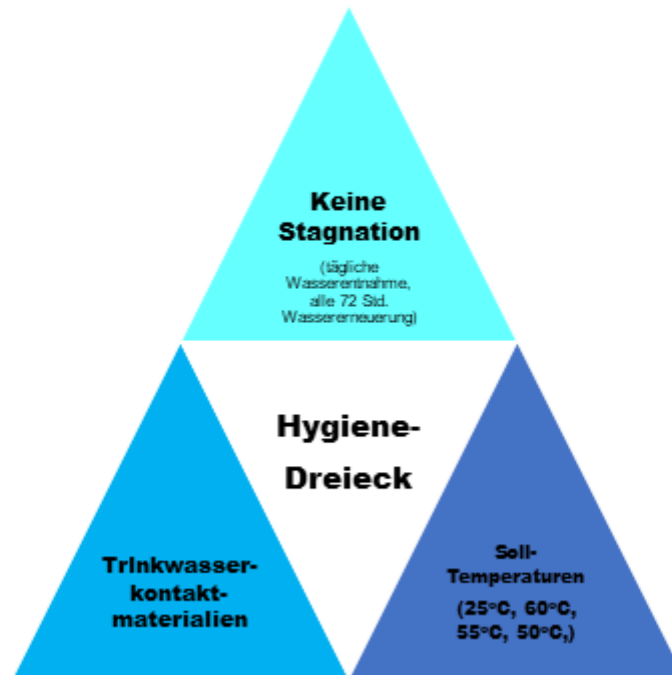


Abb. 6. Hygienedreieck: die wichtigsten Faktoren der Legionellen-Prävention.

#### 4.1.6 Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik

##### *Hygiene in der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik*

In der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik werden Legionellen als Randgebiet des Themas Hygiene behandelt. Die Anforderungen und Massnahmen nach dem Stand der Technik können grob in folgende Gruppen gegliedert werden:

- Sauberkeit von luftberührenden Oberflächen
- Vermeidung von stagnierendem Wasser (auch Wasserfilme und Tropfen) in Luftströmen
- Filterung zur Vermeidung von Verschmutzungen von Anlagen und/oder zum Schutz von Personen
- Instandhaltung (Wartung, Reinigung, Hygienekontrollen und Inspektionen)

In der Praxis wird nicht systematisch zwischen Legionellen und anderen mikrobiellen Risiken unterschieden. Der Grund ist, dass in der Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik ein breites Spektrum von Keimen (u. a. Schimmelpilze) mikrobielle Risiken darstellen können. Massnahmen, die die mikrobielle Gesamtbelastung reduzieren, vermindern auch das Legionellen-Risiko.

##### *Rückkühlung*

Der Nachweis geschieht mittels Probenahme-Dip-Slide gemäss VDI 2047.

##### *Raumlufttechnik (RLT)*

In Normen und Richtlinien werden die in **Tabelle 4** aufgeführten Prozesse und Apparate als hygienisch sensibel beurteilt, die aufgeführten Risiken eingeschätzt und entsprechende Massnahmen getroffen. Auf Sprühbefeuchter wird im nächsten Kapitel vertieft eingegangen.

##### *Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser*

Diese Bauart, die auch als Luftwäscher bezeichnet wird, ist bezüglich Legionellen-Risiko die kritischste. Luftwäscher kommen vorwiegend bei alten (>20 Jahre) Klimaanlage vor und sind am Verschwinden. Das Umlaufwasser wird in einem Behälter gespeichert, in den auch das Speisewasser fliesst. Oft werden Entkeimungsanlagen eingesetzt, z. B. Bestrahlung mit UV-C.

Gemäss der Hygienerichtlinie SWKI VA104-01, Ziff. 6.3.7, müssen bei Stillstandphasen von mehr als 48 h die Wanne und die Leitungen vollständig entleert werden. Bei der Instandhaltung werden neben Reinigungsarbeiten und visuellen Kontrollen auch eine halbmonatliche Ermittlung der Gesamtkoloniezahl gefordert. Bei der Hygieneinspektion, die mindestens alle zwei Jahre durchzuführen ist, wird eine Probenahme zur Bestimmung der Legionellen-Konzentration durchgeführt. Ein kritischer Befund liegt vor, wenn die Legionellen-Konzentration über 100 KBE/100 ml liegt.

In einer Studie im Jahr 2009 wurde ein Befeuchter mit mikrobiell stark belastetem Umlaufwasser untersucht (Legionellen-Übertragung durch Raumluftechnische (RLT) Anlagen? Bericht eines Praxisversuches; www.kunz-beratungen.ch). Als Fazit findet sich (Zitat): „Der Praxisversuch wurde unter extremen bakteriologischen Verhältnissen im Umlaufwasser durchgeführt. Trotzdem konnten wir nur innerhalb der Befeuchtungsstrecke Legionellen nachweisen. Die Resultate des Praxisversuches lassen sich dahingehend interpretieren, dass die Wahrscheinlichkeit eines Austragens von Legionellen mittels Aerosolen aus einem belasteten Luftbefeuchter in einen klimatisierten Raum sehr klein ist.“ (Ende Zitat).

**Raumlufbefeuchter**

In den Schweizer Haushalten dürfte über einer Million Raumlufbefeuchter vorhanden sein. Zudem sind Raumlufbefeuchter in Gewerbe und Industrie im Einsatz (z. B. Holzlager, Käselager). Ein Merkblatt der Schweizerischen Unfallverhütungsanstalt (SUVA) aus dem Jahr 2012 gibt einen guten Überblick über die Prinzipien und Bauarten (<https://www.suva.ch/44021.d>). Die hygienisch kritischste Art ist der Zertstäubungs- resp. Sprühbefeuchter. Die hygienisch vorteilhafteren Dampfbefeuchter sind jedoch energetisch ungünstig.

Je nach Raumtemperatur und Konstruktion sind Wassertemperaturen von über 25°C möglich, BAG/BLV (2018) nennt gar 25°C bis 45°C, ohne aber Quellen anzugeben. Bei einem Fachgespräch (Januar 2020) bei einem führenden Hersteller von verschiedenen Bauarten war eine Temperatur von über 25°C für die Teilnehmenden nicht nachvollziehbar.

Prozess/Apparat	Allgemeine Hygienerisiken → Massnahmen	Beurteilung bezüglich Legionellen-Risiko
Aussenluft-fassung	Ansaugen von kontaminierter Luft → Geeignete Lage, nicht in der Nähe von Nasskühltürmen	Im Allgemeinen sehr gering. In Einzelfällen (ältere Anlagen) mittel
Luftkühlung	Bildung von Kondensat → Abführen über Tropfenabscheider und Tropfwannen	Sehr gering (Temperatur <20°C, Stagnation im Bereich von Stunden)
Luftbefeuchtung mit Dampf	Unkritischer Befeuchtungsprozess, aber evtl. Kondensatbildung → Befeuchtungsstrecke und Tropfen-abscheider	Sehr gering (Temperatur <25°C, Stagnation im Bereich von Stunden)
Sprühbefeuchter ohne Umlaufwasser	Systematisch Bildung von Aerosolen mit Frischwasser → Befeuchtungsstrecke und Tropfen-abscheider, resp. Nachverdunster; Behandlung des Speisewassers; Wartung und Hygieneinspektion	Im Betriebsmodus im Allgemeinen sehr gering (Temperatur <20°C, Stagnation im Bereich von Stunden). Geringes Risiko bei Inbetriebnahme; mittel bei vernachlässigten Anlagen
Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser	Systematisch Bildung von Aerosolen mit Umlaufwasser → Befeuchtungsstrecke und Tropfenabscheider, Behandlung des Speise- und Umlaufwassers; Entleerung bei Stillstand; Wartung und Hygieneinspektion	Im Betriebsmodus im Allgemeinen gering (Temperatur <25°C, Stagnation im Bereich von Tagen). Geringes Risiko bei Inbetriebnahme; mittel bei vernachlässigten Anlagen
Verdunstungs-befeuchter	Abreissen von Tropfen von der Wasseroberfläche → Befeuchtungsstrecke und Tropfenabscheider, Behandlung des	Sehr gering (Aerosolbildung wenig wahrscheinlich, Temperatur <25°C, Stagnation im Bereich von Tagen)

	Speise- und Umlauf-wassers; Entleerung bei Stillstand; Wartung und Hygieneinspektion	
Adiabate Kühlung mit Sprühbefeuchter in der Abluft	Übertragung in die Zuluft oder Verteilung im Freien → gleich wie bei Sprühbefeuchtern in der Zuluft	Im Betriebsmodus im Allgemeinen sehr gering (Temperatur <25°C, Stagnation im Bereich von Tagen, starke Verdünnung). Geringes Risiko bei Inbetriebnahme
Wartung und Reinigungsarbeiten	Kontamination des Reinigungspersonals → Hygieneschulung und persönlicher Arbeitsschutz	Sehr gering bei spezialisierten Firmen; gering bei wenig sensibilisierten Personen (z. B. Hausdienst)

**Tabelle 4. Hygienisch sensible Prozesse und Apparate in der RLT.**

Die deutsche VDI 6022, Blatt 6 (VDI 6022-6, 2018) schreibt in Ziff. 1 Anwendungsbereich (Zitat): „Diese Richtlinie gilt für Luftbefeuchtung durch dezentrale Einzelgeräte sowie für dekorative Wasser führende Einrichtungen (z.B. Springbrunnen, Wasserläufe, Wasserwände), ... Von diesen Geräten geht ein besonderes Gefahrenpotenzial aus, das z.B. aufgrund von ungefilterter Einbringung mikrobiologisch belasteter Atemluft sowie unzureichender Wartung entstehen kann.“ (Ende Zitat).

## 4.2 Festhaltung der fehlenden (Wissens-)Grundlagen im Bereich Mikrobiologie und Technik, Forschungsbedarf

### 4.2.1 Mikrobiologie/Virulenz/Biologische Kontrolle

#### *Detektion von VBNC Legionellen*

VBNC Legionellen können per Definition nicht als KBE detektiert werden. Zwar gibt es Nachweismethoden für (tote) Legionellen und deren Bestandteile (z.B., Oberflächenmarker, Zellwandbestandteile, DNA), aber es gibt zurzeit keine Methode, die VBNC von toten Bakterien unterscheiden kann. Solche Nachweismethoden wären in der Praxis sehr nützlich.

#### *Korrelation Physiologie/VBNC und Virulenz*

Es sind zurzeit keine Methoden verfügbar, welche die Physiologie und insbesondere den VBNC-Status von Legionellen mit der Virulenz einer bestimmten Bakterienpopulation korrelieren. Das Gefahrenpotenzial einer Wasserprobe könnte besser abgeschätzt werden, wenn die Virulenz der darin vorhandenen (VBNC) Legionellen quantifiziert werden könnte.

#### *Biofilmbildung*

Die Bildung und Besiedelung von Biofilmen durch Legionellen ist kaum untersucht. Insbesondere ist nicht bekannt, ob Biofilme verschiedene Subpopulationen von Legionellen beherbergen, welches die Signale sind, welche zu Subpopulationen führen und was deren Eigenschaften sind. Die Dispersion (Zerstreuung) von Biofilmen und das Loslösen („Schwärmen“) von beweglichen Legionellen aus Biofilmen sind ebenfalls nicht verstanden.

#### *Beweglichkeit von Legionellen und Besiedelung von Wassersystemen*

*L. pneumophila* ist begeißelt und beweglich. Es gibt zurzeit keine Studien, welche die Beweglichkeit von *L. pneumophila* und die (Wieder-)Besiedelung von Wassersystemen in einen Zusammenhang bringt. Mittels der Kenntnis der Ausbreitungs- und Besiedelungsgeschwindigkeit von Legionellen könnte die Gefahr einer (Wieder-)Besiedelung von Wassersystemen besser abgeschätzt werden.

#### *Biologische Kontrolle von Legionellen*

Die Kontrolle von Legionellen beschränkt sich zurzeit auf physikalische (Temperatur, Spülung) und chemische (Chlor, Chloramin, Silber-Ionen) Praktiken. Mit Ausnahme des positiven Einflusses der Anwesenheit von Amöben auf das Wachstum von Legionellen ist sehr wenig darüber bekannt, welche biologischen Voraussetzungen das Wachstum von Legionellen fördern oder hemmen. Forschung in dieser Richtung könnte die Voraussetzung für eine verbesserte Kontrolle von Legionellen mittels biologischen Mitteln darstellen.

#### 4.2.2 Epidemiologie/Umwelt

##### *Einfluss von Klimaerwärmung auf Legionellen-Inzidenz*

Es wird erwartet, dass der Klimawandel in den kommenden Jahren grosse Auswirkungen auf das Leben der Menschen haben wird. Extreme Wetterereignisse und steigende Temperaturen auf der ganzen Welt geben Anlass zu grosser Sorge. Der Klimawandel und die damit verbundenen extremen Wetterereignisse wirken sich bereits jetzt negativ auf die Ökosysteme und die menschliche Gesundheit aus.

Veränderungen in der Meeresumwelt und den Süsswasserreserven betreffen bereits bedeutende Teile der Weltbevölkerung, und wärmere Temperaturen können zu einer verstärkten Ausbreitung und Übertragung von Infektionskrankheiten führen [147]. Der Klimawandel kann die Inzidenz von Legionellose durch komplexe Effekte im Zusammenhang mit der Ökologie der Legionellen oder mit den Aerosolexpositionswegen erhöhen [142], sowie auch durch die vermehrte Anwendung von Klimaanlageanlagen in Gebäuden.

Studien über Zusammenhänge zwischen meteorologischen Variablen und sporadischen Legionellose-Fällen legen eine Reihe von möglichen alternativen Expositionswegen nahe. Es wurde über Zusammenhänge zwischen Legionellose und verschiedenen meteorologischen Variablen berichtet, aber die konsistentesten Ergebnisse betreffen den Niederschlag [121,122,125,127,128,130,133-135,137,138,143,144,147,226], die Feuchtigkeit und die Temperatur [123,127-129,131-133,135-137,141]. Eine in der Schweiz durchgeführte Studie zeigte auch, dass ein erhöhtes relatives Legionellose-Risiko in Verbindung mit erhöhtem Dampfdruck und erhöhter Temperatur einer möglichen Legionellen-Quelle besteht [128].

Es ist plausibel, dass Regenfälle die Exposition gegenüber Legionellen durch eine Reihe von möglichen Mechanismen beeinflussen können. So ist eine Kontamination des Trinkwassernetzes möglich, und die Vermehrung von Legionellen könnte durch steigende Temperaturen begünstigt werden. Eine weitere Hypothese ist, dass Fahrzeuge auf nassen Strassen Aerosole produzieren können, die Legionellen enthalten. Der molekulare Vergleich von klinischen Proben und Umweltproben ist ein vielversprechender Ansatz, der diese Hypothese in gewisser Weise unterstützt [142].

Aussergewöhnliche klimatische Ereignisse wurden mit Legionellose-Clustern in Verbindung gebracht. In Italien kam es 5-6 Tage vor Ausbruch der Fälle im Juli 2018 zu heftigen Niederschlägen, die mit dem grossen Ausbruch von Legionellose verbunden sein könnten [226]. Der Ausbruch in Portugal im Oktober 2014 scheint auch mit anormalen Temperaturen zusammenzuhängen, die bei der Vermehrung von Legionellen in Kühlturmsystemen eine Rolle gespielt haben könnten. Darüber hinaus wurde die Episode verschlimmert durch eine hohe relative Luftfeuchtigkeit und eine thermische Inversion, welche die Konzentration der kontaminierten Aerosole in einer bestimmten Region erhöhte und die bakterielle Ausbreitung einschränkte [141].

Umweltquellen und die globalen Auswirkungen der Legionellose sollten neu bewertet werden. Es reicht nicht aus, sich bewusst zu sein, dass Legionellen überall vorhanden sind. Die Bakterien existieren ubiquitär in der Umwelt, aber es ist nicht klar, was die wichtigsten Quellen für die Gefährdung der menschlichen Gesundheit sind.

##### *Korrelation Amöben-Vorkommen und Legionellen-Inzidenz/-Virulenz*

Ein direkter Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von Amöben in der Umwelt und der Inzidenz von Legionellose konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Das Vorhandensein von Amöben lässt *L. pneumophila* jedoch in der Regel signifikant schneller replizieren [57-60]. In den letzten zwei Jahrzehnten wurde die Bedeutung des Vorkommens von lebensfähigen, aber nicht kultivierbaren Legionellen (VBNC)

in der Umwelt diskutiert, es ist jedoch nicht klar, ob diese VBNC-Legionellen menschliche Makrophagen direkt infizieren und somit Infektionen verursachen können. Eine Infektion von Amöben mit VBNC-Legionellen wird jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer erhöhten bakteriellen Konzentration in Trinkwassersystemen führen. Wenn Zellen im VBNC-Zustand verbleiben, wird die tatsächliche Zahl der aktiven Legionellen durch die Verwendung von Standardkulturtechniken unterschätzt, was zu einer Unterschätzung des tatsächlichen Expositionsrisikos führt [33,227].

#### 4.2.3 Probenahme und Nachweis von Legionellen

##### *Generelle Problematik*

In Zukunft wird es eine Herausforderung sein, neue Entwicklungen der Probenahmetechnik und der mikrobiologischen Diagnostik für die Praxis verfügbar zu machen. Bei amtlichen Kontrollen wird gemäss TBDV die Standardkultivierungsmethode ISO 11731 angewendet werden müssen. Für die Selbstkontrolle von öffentlichen Dusch- oder Badeanlagen oder bei weitergehenden Abklärungen werden neue Methoden angewendet werden können. Neuere Methoden, welche auf molekularbiologischen Prinzipien basieren, führen schneller zu Resultaten und können zu mehr Informationen führen. Ausserdem besteht die Möglichkeit zur Automatisierung. Allerdings sind die Resultate aufgrund der fehlenden Erfahrung vielfach interpretationsbedürftig. Zur Beurteilung, ob ein Duschwasser die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Legionellen erfüllt oder nicht sollten nur validierte Methoden herangezogen werden, welche sicher in der Lage sind zu entscheiden, ob die gesetzlichen Höchstwerte eingehalten werden oder nicht.

Nach Auflösen des Schweizerischen Lebensmittelbuches (SLMB) wurde vom SVGW eine Methodensammlung lanciert. Die geplante Methodensammlung soll in Zukunft eine Plattform für Probenahme- und Nachweismethoden bilden, welche als wertvoll für Wasseranalysen insbesondere für die Selbstkontrolle erachtet werden. Die Methodensammlung ist im Aufbau aber noch nicht aktiv. Geplant ist, dass durch die Fachgremien eine Selektion getroffen werden, damit nur seriöse und genügend geprüfte Methoden in die Sammlung aufgenommen werden. Methodenbeschreibungen und Beurteilungskriterien sollen regelmässig aktualisiert und publiziert werden. So könnten wichtige Entwicklungsarbeiten gebündelt und der Erfahrungsaustausch vorangetrieben werden. Die Methodensammlung könnte ähnlich wie die Branchenleitlinien vom BLV abgesegnet werden. Analysenlabore könnten sich auf diese Methodensammlung berufen.

##### *Spezifische Fragestellungen*

Die amtlichen Kontrollen auf Legionellen müssen von Gesetzes wegen mit der ISO 11731 durchgeführt werden. Es ist aber sinnvoll, neue molekularbiologische Nachweismethoden für Legionellen, welche schneller, günstiger und robuster im Nachweis sind, zu etablieren.

Optimierung der Standardmethode ISO 11731: Der Nachweis von Legionellen ist arbeits- und kostenintensiv (ISO 11731 mit Agglutinationstest). Die offizielle Standardmethode ISO 11731 weist eine Reihe von Unzulänglichkeiten auf: (i) statistisch unsichere Ergebnisse im Bereich 1'000 bis 9'000 KBE/L beim Direktausstrich (ii) grosser Zeitbedarf, und (iii) unsicherer Nachweis (VBNC-Zustand). Daher sollte die **offizielle Standardmethode optimiert werden**.

Die Bestätigung von verdächtigen Legionellen-Kolonien direkt ab Platte durch PCR oder MALDI-TOF Massenspektrometrie anstelle von Kultivierung auf BCYE- und Blutagar ist schneller. Der Zeitbedarf kann um rund 2 bis 3 Tage reduziert werden.

PCR -Screening-Methode für Schnellnachweis und Selbstkontrolle: Das Resultat der Standardkultivierungsmethode liegt erst nach 7-10 Tagen vor. Im Gegensatz dazu führen molekularbiologische Methoden in einem Arbeitstag zu Resultaten. Der Nachweis von Legionellen durch PCR basiert auf der ISO-Norm 12869 [152]. Es werden mittlerweile Ringversuche kommerziell angeboten.

In Zukunft soll überprüft werden, ob ein PCR-Schwellenwert in Genomischen Einheiten pro Liter (GE/L) definiert werden kann, unterhalb dessen der aktuelle gesetzliche Grenzwert für *Legionella* spp. (1'000 KBE/L) sicher eingehalten wird [228]. Dies könnte die Etablierung einer kosteneffizienten Screeningmethode für Routinekontrollen (erst PCR-Screening und Kultivierung nur bei Überschreiten eines Schwellenwertes von GE/L) ermöglichen.

Die Vorteile und Nachteile des PCR-Nachweises sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (**Tabelle 5**).

<p><b>Vorteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Resultat schnell verfügbar (innerhalb eines Arbeitstages)</li> <li>• Resultat quantitativ (digitaler PCR)</li> <li>• Nachweis auch von Legionellen im VBNC-Zustand</li> <li>• Nachweis potentiell automatisierbar</li> <li>• Dank Automatisierung wird der PCR-Nachweis in Zukunft kostengünstiger als die Standardkultivierungsmethode sein</li> </ul>
<p><b>Nachteile</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gesetzlich nicht verankert</li> <li>• Aktuell keine Höchstwerte definiert</li> <li>• Keine Unterscheidung zwischen toten und lebenden Legionellen (DNA)</li> </ul>

**Tabelle 5. Vor- und Nachteile des PCR-Nachweises.**

*Neue Entwicklungen für weitergehende Fallabklärungen*

Filterbeprobung: Legionellen vermehren sich in den Trinkwasserinstallationen vorwiegend in Amöben, die sich im Biofilm an den Innenwänden der Leitungen befinden. Sporadisch gelangen sie in das vorbeifliessende Wasser, was eine Erklärung für stark schwankende Befunde sein kann. Dies kann dazu führen, dass in einer standardmässig gezogenen Probenmenge von einem Liter keine Legionellen vorkommen oder Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze vorliegen. Um eine repräsentativere Probenahme sowie eine Senkung der Nachweisgrenze zu ermöglichen, wurde am Kantonalen Labor Zürich eine Filtrationsprobenahme entwickelt. Dazu werden vor Ort mit einer Filtrationseinheit, die anstelle der Duschbrause an den Duschschauch geschraubt wird, 50 L Wasser filtriert und die Bakterien so auf dem Filter aufkonzentriert.

Multiplex PCR: Durch Multiplex PCR können gleichzeitig verschiedene Mikroorganismen nachgewiesen werden. Die Amöben sind für die Vermehrung von Legionellen von entscheidender Bedeutung. Sie könnten als Indikator dienen. Auch könnten neben den Legionellen andere Pathogene von Trinkwasserinstallationen wie *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas hydrophila* und Mykobakterien gemessen werden.

*Risikofreie Probenahme von klinischen Proben aus Legionellose-Patienten*

Für die Ursachenfindung bei Legionellose-Fällen ist der genetische Vergleich zwischen klinischen und Umweltproben von elementarer Wichtigkeit, damit die Infektionsquelle sicher identifiziert werden kann. Die aktuelle klinische Beprobungsmethode, die Lungenlavage, ist für den Patienten sehr unangenehm und mit Risiken behaftet. In Zukunft sollten klinische Beprobungsverfahren entwickelt werden, welche für den Legionellose-Patienten risikofrei sind. Der Vergleich von Legionellen-Isolaten aus der Klinik und der Umwelt sollte zum Standard in der Schweiz werden.

**4.2.4 Gebäude-/Hausinstallationen**

*Aktuelle Präventionsempfehlungen*

In verschiedenen Ländern wurden von den Trinkwasserverbänden oder von den Vollzugsbehörden diverse Empfehlungen für die Legionellen-Prävention in Hausinstallationen verfasst. So herrscht kein Mangel an Information und Empfehlung für die Legionellen-Prävention in Gebäude- und Hausinstallationen. Die Auswirkungen dieser Empfehlungen scheinen plausibel und nachvollziehbar. Allerdings ist unklar, welche der Empfehlungen auf wissenschaftlichen Grundlagen basieren und welche nur auf Expertenmeinungen gründen, aber nicht durch Daten gestützt sind. Beispiele dafür sind die fehlende Kosten-Nutzen-Abschätzung der empfohlenen Temperaturen des Warmwassers (60, 55 oder 50°C) oder des Kaltwassers (25°C), sowie die Empfehlungen zur Stagnation des Wassers in Hausinstallationen (nicht länger als 72 h).

Die aktuellen Präventionsmassnahmen beruhen stark auf der Erfahrung von Experten, empirischen Einzelfallbetrachtungen und Plausibilitätsüberlegungen. Ein fundiert statistischer Nachweis der Wirksamkeit steht aus. Somit lassen sich einzelne Präventionsmassnahmen in ihrer Wirkung auch kaum vergleichen. Auch Kosten-Nutzen-Abschätzungen sind kaum möglich, da weder Kosten noch Nutzen von Massnahmen genau bekannt sind. Breit angelegte, wissenschaftlich hochstehende und dabei praxisnahe Forschung mit klarer Zielsetzung würde es erlauben, die wirksamsten und dabei ressourcensparendsten Massnahmen zu identifizieren und die künftige Regulierung daran auszurichten.

Für den Betrieb von Hausinstallation ergeben sich eine Reihe von offenen Fragen. Ein hoher Optimierungsbedarf bezüglich Energie- und Ressourcenverbrauch besteht bei aktuellen Standardpräventionsmassnahmen wie regelmässigem Wasserbezug und empfohlenen Warmwassertemperaturen. Diese Massnahmen haben sich in der Praxis als erfolgreich erwiesen, sind aber sehr Energie- und Ressourcenintensiv. Es müssen Legionellen-Präventionsmassnahmen entwickelt werden, welche Energie- und Ressourcen-schonender sind als die heutigen Standardpräventionsverfahren.

Der Wasserverbrauch könnte durch bedarfsgesteuerte und sehr zielgerichtete Spülungen geringgehalten werden. Beispiel: Wir betrachteten eine grössere Wohnung mit gehobenem Ausbaustandard mit einem Wasserinhalt der Warm- und Kaltwasserleitungen von je 6 L, also insgesamt 12 L. Werden diese mit den üblichen Volumenströmen ausgespült (z.B. Zapfstellen voll geöffnet), so ist von einer turbulenten Strömung auszugehen. Unter diesem Regime kann man davon ausgehen, dass ein Ausspülen des doppelten Leitungsinhalts mit fast 100% Wahrscheinlichkeit sämtliches Wasser in den Leitungen austauscht. Werden nun alle drei Tage die 24 L Wasser ausgespült, so erfordert das knapp 3 m<sup>3</sup> Wasser im Jahr. Die Kosten dafür betragen knapp 6 CHF (CHF 2 pro m<sup>3</sup>, <http://trinkwasser.svgw.ch/index.php?id=825>). Zum Vergleich: Im Schnitt verbraucht eine Person in der Schweiz im eigenen Haushalt etwa 142 L Wasser pro Tag (<http://wasserqualitaet.svgw.ch/index.php?id=874>). Geht man bei der betrachteten Wohnung von einem Vier-Personen-Haushalt aus, so verbraucht der Haushalt bei normaler Nutzung knapp 600 L Wasser pro Tag. Das Spülvolumen für das gesamte Jahr entspricht also dem Verbrauch von gerade einmal 5 Tagen. Deutlich reduzieren lässt sich das Spülvolumen nochmals dadurch, dass nur dann gespült wird, wenn der normale Gebrauch nicht ohnehin das Wasser in den Leitungen austauscht. Das kann durch Sensorik erfasst werden. Nimmt man an, dass die Wohnung während drei Wochen im Jahr nicht genutzt wird, so sinkt das Spülvolumen auf etwa 170 L pro Jahr.

Eine Hochrechnung auf die ganze Schweiz kann nur eine grobe Abschätzung sein, da Statistiken über den Leitungsinhalt Schweizer Gebäude fehlen. Beruhend auf obigem Beispiel ergibt sich folgende Hochrechnung: Wird bedarfsunabhängig alle drei Tage der Leitungsinhalt ausgespült, ergibt sich pro Haushaltsmitglied ein Spülvolumen von 24 L / 3 Tage / 4 Personen = 2 L pro Tag und Person oder etwa 750 L pro Jahr und Person. Hochgerechnet auf 8.6 Millionen Einwohner ergibt sich ein Spülvolumen von 6.5 Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr mit Kosten von etwa CHF 13 Millionen. Der Wasserverbrauch stiege von 142 L pro Tag und Person auf 144 L pro Tag und Person, also etwa um 1.4%. Wird gemäss diesem Beispiel nur bei Bedarf während drei Wochen im Jahr gespült, sinkt das Spülvolumen auf 170 L / 4 Personen pro Jahr = 43 L pro Jahr und Person (=0.1 L pro Tag und Person). Multipliziert mit der Einwohnerzahl der Schweiz ergibt sich ein Spülvolumen von 370 Tsd. m<sup>3</sup> pro Jahr mit Kosten von etwa 740 Tsd. CHF pro Jahr. Der Wasserverbrauch pro Person stiege von 140.0 L pro Tag auf 140.1 L pro Tag, also um 0.7 ‰.

Die grobe Abschätzung berücksichtigt viele Faktoren nicht, z.B. die Wasserleitungen in nicht-Wohngebäude. Gemäss Einschätzung des SVGW ergibt sich über die gesamte Bevölkerung gemittelt ein Verbrauch von rund 163 L pro Person und Tag, zählt man den Wasserverbrauch am Arbeitsplatz, in der Freizeit und in den Ferien dazu. Dieser Wert dürfte auch eine grobe Indikation für das zusätzliche Leitungsvolumen darstellen. Dies zeigt, dass obige Abschätzung grössenordnungsmässig stimmen könnte.

In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass der Begriff «Spülen» in den einschlägigen Dokumenten teilweise recht unterschiedlich gebraucht wird:

- Wasseraustausch durch normalen Betrieb
- Gezielter Wasseraustausch durch manuelles Öffnen von Auslaufarmaturen o.ä.
- Gezielter Wasseraustausch durch automatisches Öffnen von elektrischen Ventilen



Auch die Spüldauer wird unterschiedlich betrachtet:

- Spülen bis zum Austausch eines x-fachen Leitungsinhaltes (z.B. in obigem Beispiel)
- Spülen während einer gewissen Zeit
- Spülen bis zur Erreichung einer gewissen Temperatur

Bei der Interpretation der Texte muss also der Kontext berücksichtigt werden.

Die konkreten Probleme der aktuellen Standardpräventionsmassnahmen liegen in der (i) Umsetzbarkeit der normativen und gesetzlichen Forderungen, (ii) mangelnden Quantifizierung und mangelndem wissenschaftlicher Nachweis, und (iii) peripheren Legionellen-Kontamination (z.B. hohe Anzahl von Duschen).

#### *Umsetzbarkeit der normativen und gesetzlichen Forderungen*

Nicht alle in den einschlägigen Dokumenten geforderten Massnahmen zum Schutz vor Legionellen können in der Praxis umgesetzt werden. So empfiehlt beispielsweise der SVGW (W3/E3), Wasser solle nicht länger als 72 h in der Leitung im Gebäude verweilen. Bei Warmwasserleitungen mit Zirkulation ist dies praktisch kaum umzusetzen. Wird binnen 72 h weniger Warmwasser verbraucht, als der Warmwasserspeicher fasst (im Minimum typischerweise einige hundert Liter), so ist dies offensichtlich. Aber selbst wenn in dieser Frist mehr Warmwasser verbraucht wird, so wird sich auch nach 72 h noch ein Teil des ursprünglichen Wassers im Warmwasserspeicher befinden. Aufgrund der Zirkulation wird das Wasser nicht sequentiell ausgespült („first in first out“), sondern lediglich durch das nachfliessende Wasser mit der Zeit verdünnt. Nimmt man an, dass die Konzentration von Legionellen im Frischwasser hinreichend niedrig ist und die Temperatur im Warmwasserspeicher und den Zirkulationsleitungen immer genug hoch ist, um eine Vermehrung auszuschliessen, so stellen Warmwasserspeicher und Zirkulationsleitungen ebenfalls kein Problem dar. Die Formulierungen in den Regelwerken sollten jedoch angepasst werden.

#### *Mangelnde Quantifizierung und mangelnder wissenschaftlicher Nachweis*

Unter Experten besteht weitgehender Konsens, dass sich Legionellen bei Temperaturen zwischen 25°C und 45°C besonders gut vermehren. Quantitative Aussagen diesbezüglich wären in der Praxis sehr wünschenswert, sind aber kaum zu finden. Beispiel 1: Wenn Wasser bei 25°C während 72 h im Gebäude verweilen darf, wie lange darf es dann bei 35°C im Gebäude verweilen? Beispiel 2: Nicht warmgehaltene und nicht zirkulierte Warmwasser-Ausstossleitungen sollen nicht gedämmt werden (Ausnahme: Küchenarmaturen, gemäss prSIA 385/2:2019-6). Dadurch steigt vermutlich der Energieverbrauch. Begründet wird diese Forderung mit der Minimierung der Zeit, in welcher das Wasser beim Abkühlen Temperaturen im kritischen Bereich aufweist. Mangels Quantifizierung des Legionellen-Wachstums in Abhängigkeit von der Temperatur ist aber unklar, ob diese Massnahme effektiv ist und den vermuteten zusätzlichen Energieverbrauch rechtfertigt.

Aus nachvollziehbaren Gründen fordern viele Regelwerke die Vermeidung bzw. Minimierung des Eintrags von Nährstoffen durch Bauteile des Trinkwassersystems. Während konzeptionell klar ist, welche Stoffe für Legionellen relevant sind (z.B. Aminosäuren oder allgemeiner AOC), ist viel weniger klar, woher diese stammen. Mögliche Quellen gibt es viele: Kunststoffrohre, Dichtringe, und so weiter. Gleichzeitig gilt auch Eisen als relevant für die Ernährung und Vermehrung von Legionellen. Insgesamt mangelt es an praktisch verwertbaren Erkenntnissen über die genaue Bedeutung und Quelle unterschiedlicher Nährstoffe.

#### *Neue Ansätze für Legionellen-Präventionsmassnahmen*

Um der komplexen Herausforderung der Legionellen gerecht zu werden, sollen neue Ansätze für Legionellenpräventionsmassnahmen beschritten werden. Grundsätzlich sollen die Massnahmen:

- (i) möglichst auf wissenschaftlichen Fakten basieren,
- (ii) das Multibarrierenkonzept anwenden (mehrere, sich ergänzende Massnahme),
- (iii) die Kooperation zwischen Herstellern, Betreibern, Verbänden, Vollzug- und Forschungsinstitutionen verbessern,

- (iii) Plattformen der Verbände (SVGW, Suissetec) nutzen,
  - (iv) die Methodensammlung SVGW und die Richtlinie zur risikobasierten Selbstkontrolle in Hausinstallationen W3 E4 berücksichtigen,
  - (v) Zertifikate definieren für Legionellen-sichere Duscharmaturen, Duschwasserkontakt-materialien, Aerosolschutz, keine Toträume, etc.,
  - (vi) Reduktion auf das Nötige: Verzicht auf wenig genutzte Abgänge wie Duschen und Lavabohähnen und Verzicht auf Warmwasser. Wo möglich Reduktion der Durchmesser von Leitungsrohren, damit die 72-Stundenregel im Normalbetrieb automatisch eingehalten wird.
- Ebenso wichtig sind die (i) optimale Leitungsführung (Ringleitung) und das Spülen mit kaltem Wasser (Frischwasserstation), (ii) Duschwasser-Kontaktmaterialien von hoher Qualität.

#### 4.2.5 Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen

##### *Rückkühlsysteme und Hybridsysteme*

Die Begriffe und Definitionen im Zusammenhang mit Rückkühl- und Hybridsystemen sind im **Anhang 2a** beschrieben, und die betroffenen Rückkühlsysteme sind im **Anhang 2b** aufgeführt. Die in der Kälte- und Klimatechnik eingesetzten Kühltürme und Rückkühler werden im **Anhang 2c** beschrieben. Für die Gefahrenquellen in Rückkühlsystemen sowie die Überwachung der mit Wasser in Kontakt stehenden Komponenten siehe **Anhang 2a**. Die zu treffenden Massnahmen je nach Art und Ausführung der Rückkühlsysteme werden im **Anhang 3** aufgeführt.

### 4.3 Festhaltung und Priorisierung bekannter und potenzieller Gefahrenquellen für Legionellen-Kontaminationen und Aerosol-Entwicklungen sowie deren Verbreitung

#### 4.3.1 Natürliche und technische Gefahrenquellen

##### *Umwelt*

Das wichtigste Ziel im Umweltbereich besteht darin, das Auftreten von „im Alltag erworbenen“ Legionellose-Fällen zu verhindern, wobei ein besonderer Schwerpunkt auf der Prävention von Ausbrüchen liegt. Dabei geht es vor allem darum, durch molekulare Typisierungsanalysen zu identifizieren und nachzuweisen, welche die wichtigsten gemeinschaftlichen Quellen von Legionellen-Infektionen in der Schweiz sind. Sobald die Quellen identifiziert sind, wird es möglich sein, einen Plan zur Sanierung oder Kontrolle dieser Reservoirs zu entwickeln.

##### *Trinkwasserinstallationen in Gebäuden*

Eine Quantifizierung des von Trinkwasserinstallationen in Gebäuden ausgehenden Risikos ist mit den vorliegenden Daten kaum möglich. Es ist jedoch anzunehmen, dass diese Installationen eine relevante Rolle spielen: 1. Jede und jeder ist exponiert. 2. Es gibt mit Duschen und Wasserhähnen offensichtliche Quellen von Aerosolen. 3. Es werden regelmässig erhöhte Konzentrationen von Legionellen in Trinkwasserinstallationen nachgewiesen.

##### *Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik*

In Raumlufttechnik (RLT)-Anlagen (Lüftungs- und Klimaanlage) ist der hygienisch sensible Prozess die Befeuchtung. Heikel sind insbesondere Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser (Luftwäscher). Bei fachgerechtem Betrieb stellen sie aber auch in älteren Anlagen kein relevantes Legionellen-Risiko dar. Unklar ist aber, ob und wie viele Befeuchter nicht korrekt betrieben und gewartet werden.

Hygienisch sensibel sind auch mobile Luftbefeuchter. Diese fallen zwar nicht in den Aufgabenbereich dieser Arbeit. Da sie aber als Alternative oder Ersatzmassnahme zu Befeuchtern in RLT-Anlagen infrage kommen, sollten sie in weiterführenden Arbeiten behandelt werden.

## 5 Schweizer Gesetzgebung und Normierung

### 5.1 Vergleich der aktuellen mit der alten Gesetzgebung und Normierung (technische Anforderungen)

#### 5.1.1 Einführung

Die Hierarchie der Gesetzgebung, Normen, Richtlinien, Empfehlungen sind in **Abb. 7** dargestellt, und **Tabelle 6** zeigt eine Übersicht über Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien in der Schweiz und im Vergleich zu Deutschland.



**Abb. 7. Von Fachleuten im Baugewerbe üblicherweise vermutete und praktisch angewendete Hierarchie von Gesetzgebung, Normen, Richtlinien und Empfehlungen.**

n EN 45020 werden die anerkannten Regeln der Technik wie folgt definiert: “technische Festlegung, die von einer Mehrheit repräsentativer Fachleute als Wiedergabe des Standes der Technik angesehen wird.” Ein normatives Dokument zu einem technischen Gegenstand wird zum Zeitpunkt seiner Annahme als der Ausdruck einer anerkannten Regel der Technik anzusehen sein, wenn es in Zusammenarbeit der betroffenen Interessen durch Umfrage- und Konsensverfahren erzielt wurde.

ANMERKUNG: Dank ihres Status als Normen, ihrer öffentlichen Zugänglichkeit und ihrer Änderung oder Überarbeitung, soweit dies nötig ist, um mit dem Stand der Technik Schritt zu halten, besteht die Vermutung, dass internationale, regionale, nationale oder Provinznormen anerkannte Regeln der Technik sind.

Die Wasseraufbereitungs- und Duschanlagen müssen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik betrieben werden (**Abb. 8**). Die Inhaberin oder Inhaber ist verpflichtet, sie durch entsprechend ausgebildete Personen regelmässig überwachen und unterhalten zu lassen (Art. 13, TBDV). Die allgemein anerkannten Regeln der Technik haben erhebliche Bedeutung für die Bestimmung der Soll-Eigenschaften von Gebäude-Trinkwasserinstallationen. Für den Sanitärbereich ist der Stand der Technik normalerweise in den entsprechenden SIA-Normen oder in anderen gleichwertigen internationalen Normen geregelt [Referenz Nr. 150 Erläuterungen TBDV].



**Abb. 8. Der Begriff „allgemein anerkannte Regeln der Technik“.**

Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

		LMG, LMV, TBDV	SIA 385/1 & SIA 385/2	SIA 385/1 (Neue Fas- sung)	Module BAG/BLV	SVGW W3, W3/E1 und W3/E2	SVGW W3/E3	SVGW W3/E4	SVGW W5	Zusammenfas- sung diverser Re- gularien in Deutschland
<b>In Kraftsetzung</b>		1.5.2017	1.5.2011 & 1.1.2015	Ziel im 2020	1.8.2018	1.1.2013	Teil 1: 1.10.2018 Teil 2: 1.10.2020	In Arbeit	1.10.2018	diverse
<b>Verbindlichkeit</b>		Gesetz und Verordnun- gen	Normen	Norm	Empfehlun- gen	Richtlinien	Richtlinie	Richtlinie	Richtlinie	Hohe Verbindlich- keit
<b>Geltungsbereich</b>		--	Neubau, bei Umbau soweit möglich	Neubau, bei Umbau soweit möglich	Bestand, Neu- und Um- bau	Bestand, Neu- und Umbau	Bestand, Neu- und Umbau	Bestand, Neu- und Umbau	Bestand, Neu- und Umbau	Bestand, Neu- und Umbau
<b>Zielgruppe</b>	<b>Eigentümer /Betreiber</b>	X			X			X		X
	<b>Vermieter / Mieter</b>	X					X			X (UBA)
	<b>Architekt</b>		X	X						
	<b>Sanitärplanung</b>		X	X		X	X	X	X	X
	<b>Sanitärinstallation</b>		X	X		X	X	X	X	X
<b>Wassertemperaturen</b>	<b>Kaltwasser</b>	--	≤ 20°C	≤ 25°C	≤ 25°C	--	≤ 25°C	≤ 25°C	--	≤ 25°C (20°C Emp- fehlung UBA/VDI)
	<b>Warmwasser am Speicheraustritt</b>	--	≥ 60°C	≥ 55°C	≥ 60°C	--	≥ 60°C	≥ 60°C	--	55 <sup>1)</sup> - 60°C
	<b>Warmwasser in warmgehaltenen Lei- tungen</b>	--	≥ 55°C	≥ 55°C	≥ 55°C	--	≥ 55°C	≥ 55°C	--	50 <sup>1)</sup> - 55°C
	<b>Erwärmung ohne Speicher, ohne warm- gehaltene Leitungen (z.B. Durchflusswas- sererwärmer)</b>	--	--	≥ 52°C	--	--	--	--	--	50-60°C <sup>2)</sup>
	<b>Entnahmestellen</b>	--	≥ 50°C	≥ 50°C	≥ 50°C	--	≥ 50°C	≥ 50°C	--	Nur Komfort-, keine Hygiene-Anforde- rung
	<b>Kritischer Temperbe- reich</b>	--	25-50°C	25-50°C	25-50°C	--	--	25-50°C	--	25-50°C
<b>Maximale Stagnations- dauer</b>	--	3 Tage	3 Tage	3 Tage	7 Tage	3 Tage	3 Tage	3 Tage	4 h (UBA) 3 Tage (VDI) 7 Tage (DIN)	

	LMG, LMV, TBDV	SIA 385/1 & SIA 385/2	SIA 385/1 (Neue Fas- sung)	Module BAG/BLV	SVGW W3, W3/E1 und W3/E2	SVGW W3/E3	SVGW W3/E4	SVGW W5	Zusammenfas- sung diverser Re- gularien in Deutschland
<b>Legionellen - Massnah- menwert</b>	1'000 KBE/L	--	--	1'000 KBE/L 100 KBE/L <sup>3)</sup>	--	--	1'000 KBE/L 100 KBE/L <sup>3)</sup>	--	1'000 KBE/L

**Tabelle 6. Übersicht Gesetze, Verordnungen, Normen und Richtlinien in der Schweiz und Deutschland.**

<sup>1)</sup> Bei der Inbetriebnahme muss der Betreiber über ein mögliches Gesundheitsrisiko informiert werden.

<sup>2)</sup> Keine Anforderung bei dezentraler Einzelversorgung resp. Klein-Wasssererwärmer (z.B. Untertischmodelle).

<sup>3)</sup> Grenzwert für Spitäler mit Intensivpflege 100 KBE/L.

**Legende zu Regularien in der Schweiz**

- LMG: Lebensmittelgesetz
- LMV: Lebensmittel und Gebrauchsgegenstandsverordnung
- TBDV: Verordnung betreffend Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen
- SIA 385/1: Norm Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen
- SIA 385/2: Norm Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden – Warmwasserbedarf, Gesamtanforderungen und Auslegung
- Module BAG/BLV: Empfehlungen zu Legionellen und Legionellose
- SVGW W3: Richtlinie für Trinkwasserinstallationen
- SVGW W3/E1: Richtlinie für Rückflussverhinderung in Sanitäranlagen
- SVGW W3/E2: Richtlinie für Betrieb und Unterhalt von Sanitäranlagen
- SVGW W3/E3: Richtlinie für Hygiene in Trinkwasserinstallationen
- SVGW W4: Richtlinie für Risikobasierte Selbstkontrolle
- SVGW W5: Richtlinie für Löschwasserversorgung

**Legende zu relevanten Regularien in Deutschland**

- UBA: Umweltbundesamt Deutschland
- VDI 6023: Hygiene in Trinkwasser-Installationen
- DIN 1988: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen

Die **Tabelle 7** zeigt eine Übersicht über die Geltung öffentliches Recht, privates Recht, Vollzugshilfen, Branchenrichtlinien, Verträge für die verschiedenen Akteure, wie z.B. Hauseigentümer, Vermieter, und Betreiber von öffentlichen Duschanlagen.

	<b>Öffentliches Recht</b>	<b>Privatrecht</b>	<b>*Vollzugshilfen</b>	<b>* Normen und Branchenrichtlinie</b>	<b>*Diverses</b>
<b>Hauseigentümer</b>			Empfehlungen BAG/BLV	SIA- Norm 385/1 und /2 Richtlinie W3	*Reglement örtliche Wasserversorgung, Selbstverantwortung
Vermieter	TBDV Artikel 2 Buchstabe c Wasserversorger=Lebensmittelbetrieb TBDV Artikel 3 Absatz 1 Keine Gesundheitsgefährdung	Tauglicher Zustand OR Artikel 256 Werkeigentümerhaftung OR Artikel 58	Empfehlungen BAG/BLV	SIA-Norm 385/1 und /2 Richtlinie W3	*Mietvertrag, *Reglement örtliche Wasserversorgung
Mieter		Meldepflicht bei Schäden OR Art. 257 Absatz g		SIA-Norm 385/1 und /2 Richtlinie W3	*Mietvertrag, *Reglement örtliche Wasserversorgung
Betreiber von öffentlichen Duschanlagen	TBDV: Höchstwerte Legionellen LMG Artikel 26 LVG Artikel 73, 84,85	Werkeigentümerhaftung OR Artikel 58	Empfehlungen BAG/BLV	SIA-Norm 385/1 und /2 Richtlinie W3	*Reglement örtliche Wasserversorgung

**Tabelle 7. Übersichtstabelle Rechtsgeltung.**

Bei den mit\* markierten Dokumenten ist fraglich, ob sie als juristisch bindend eingestuft werden können oder nur als Empfehlungen zu verstehen sind. Gemäss der juristischen Beurteilung des Bundesamtes für Energie können von diesen Dokumenten keine bindenden Verpflichtungen abgeleitet werden.

**Legende**

LMG: Lebensmittelgesetz

LMV: Lebensmittel und Gebrauchsgegenstandsverordnung

## 5.1.2 Öffentliches Recht

Das öffentliche Recht ist derjenige Teil der Rechtsordnung, der das Verhältnis zwischen Trägern der öffentlichen Gewalt (dem Staat) und einzelnen Privatrechtssubjekten (den Bürgern) regelt. Im Unterschied dazu regelt das Privatrecht die rechtlichen Beziehungen zwischen Privatrechtssubjekten.

### *Lebensmittelgesetz (LMG)*

Seit dem 1. Mai 2017 ist das neue Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände, (SR 817.0; LMG) in Kraft. Das Lebensmittelgesetz schützt die Gesundheit der Konsumentinnen und Konsumenten vor Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen, die nicht sicher sind, und stellt den hygienischen Umgang mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen sicher. Das Gesetz umfasst diverse Verordnungen wie beispielsweise die Lebensmittel- und Gebrauchsgegenstandsverordnung (SR 817.02; LMV) oder die Trink- / Bade- und Duschwasser Verordnung (SR 817.022.11; TBDV). Das LMG gilt (Art. 2) u. a. für den Umgang mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen, das heisst für deren Herstellung, Behandlung, Lagerung, Transport und Inverkehrbringen.

Vom Gesetz ausgeschlossen ist die häusliche Herstellung, Behandlung und Lagerung von Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen für die private häusliche Verwendung. Als Lebensmittel (Art. 4) gelten auch Getränke einschliesslich Wasser für den menschlichen Konsum. Als Gebrauchsgegenstände (Art. 5) werden u. a. Gegenstände und Materialien bezeichnet, die dazu bestimmt sind mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen aber auch Wasser, das dazu bestimmt ist, in Anlagen, die der Allgemeinheit oder einem berechtigten, nicht ausschliesslich privaten Personenkreis zugänglich sind, mit dem menschlichen Körper in Kontakt zu kommen, und das nicht dazu bestimmt ist, getrunken zu werden, wie namentlich das Dusch- und Badewasser in Spitälern, Pflegeheimen oder Hotels.

### *Lebensmittelverordnung (LGV)*

Diese Verordnung regelt das Herstellen, Verarbeiten, Behandeln, Lagern, Transportieren und Inverkehrbringen, den hygienischen Umgang mit Lebensmitteln und Gebrauchsgegenständen, sowie die Selbstkontrolle, die Probenahme, die Beurteilungsgrundlagen und die Untersuchungsmethoden. Für jeden Lebensmittel- und jeden Gebrauchsgegenständebetrieb ist eine verantwortliche Person zu bezeichnen (Art. 73). Die Dokumentation der Selbstkontrolle ist angemessen schriftlich oder durch gleichwertige Verfahren zu gewährleisten (Art. 85).

### *Trinkwasser, Badewasser und Duschwasser Verordnung (TBDV)*

Diese Verordnung regelt die Aufbereitung, die Bereitstellung und die Qualität von Trinkwasser als Lebensmittel und von Wasser als Gebrauchsgegenstand. Sie legt die Anforderungen fest in Bezug auf Trinkwasser, Duschwasser in öffentlich zugänglichen Anlagen und Wasser in öffentlich zugänglichen Schwimmbädern. Das Warmwasser gilt dabei ebenfalls als Lebensmittel (erwärmtes Trinkwasser). Anforderungen an Trinkwasser (Art. 3): Trinkwasser muss hinsichtlich des Geruchs, Geschmacks und Aussehens unauffällig sein und darf hinsichtlich Art und Konzentration der darin enthaltenen Mikroorganismen, Parasiten sowie Kontaminanten keine Gesundheitsgefährdung darstellen. Trinkwasser muss die mikrobiologischen, chemischen sowie weitere spezifischen Mindestanforderungen erfüllen. Anforderungen an Wasserversorgungsanlagen (Art. 4): Beim Bau oder Umbau sowie beim Betrieb der Wasserversorgungsanlage müssen die anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden. Der Betreiber ist verpflichtet, die Anlage durch entsprechend ausgebildete Personen regelmässig überwachen und warten zu lassen. Im Weiteren sind Trinkwasserkontaktmaterialien zu verwenden, dessen Stoffe nur in Mengen ins Trinkwasser abgeben, die gesundheitlich unbedenklich, technisch unvermeidbar sind und keine Veränderung der Zusammensetzung oder der organoleptischen Eigenschaften herbeiführen.

Mit der Revision wurden Legionellenhöchstwerte für das Dusch- und Badewasser in öffentlichen Anlagen in die neue Gesetzgebung aufgenommen. So gilt für Wasser in Duschanlagen von öffentlich zugänglichen Anlagen (nicht zur Nutzung in einem familiären Rahmen) bezüglich Legionellen ein Höchstwert von 1'000 KBE/L.



### *Zusammenfassung (Situation) LMG/LGV/TBDV*

Eigentümer einer Liegenschaft die diese ganz oder teilweise vermieten und damit Wasser an Dritte abgeben, gelten als Betreiber einer „Wasserversorgung“ und unterstehen damit der Lebensmittelgesetzgebung. Hausinstallationen im Rahmen der privaten Nutzung unterstehen hingegen nicht der Lebensmittelgesetzgebung (es gilt die Selbstverantwortung).

Duschwasser in öffentlich zugänglichen Anlagen gilt als Gebrauchsgegenstand. Als öffentlich zugänglich gelten Anlagen die für die Allgemeinheit oder einen berechtigten Personenkreis geöffnet und nicht zur Nutzung in einem familiären Rahmen bestimmt sind. Dies sind z.B. Duschen in Alters- und Pflegeheimen, Spitäler, Hotels, Sportanlagen, Schulen, Fitness-/ Wellness-Center sowie Personalduschen. Der Betreiber muss die Einhaltung des Legionellen-Höchstwerts von 1'000 KBE/L sicherstellen, und die Anlage muss nach den anerkannten Regeln der Technik betrieben werden. Weiter gilt die Selbstkontrolle, die durch eine verantwortliche Person durchgeführt und schriftlich dokumentiert werden muss.

### 5.1.3 Privatrecht

Privatrecht ist dasjenige Rechtsgebiet, das die Rechtsbeziehungen zwischen Privaten, das heisst natürlichen und juristischen Personen regelt.

#### *Werkeigentümerhaftung (OR Art. 58)*

Der Eigentümer eines Werkes haftet für den Schaden, den das Werk infolge fehlerhafter Anlage oder Herstellung oder mangelhafter Unterhaltung verursacht. Die Haftung des Werkeigentümers ist Verschuldensunabhängig (Kausalhaftung).

Es steht ihm kein Entlastungsbeweis offen, aber Rückgriff (Regress) auf die verantwortliche juristische oder natürliche Person. Nach OR Art. 58 Abs. 2 steht dem Werkeigentümer der Regress gegen andere Personen offen, die für den Schaden direkt verantwortlich sind. (bspw. Sanitärplaner, Installateur, Mieter). Haftungsgrundlage ist dann das zwischen diesen Personen jeweils bestehende Rechtsverhältnis (z.B. Werkvertrag, Auftrag). Bei Abgabe von gesundheitsgefährdendem Trink- oder Duschwasser kann der Mieter entsprechende Schadensersatzforderungen an den Vermieter geltend machen.

### 5.1.4 Aus der öffentlichen und privatrechtlichen Gesetzgebung resultierende Pflichten

Die Pflichten der Eigentümer, Betreiber und Mieter für die Trink- und Duschwasserqualität in Gebäude-Trinkwasserinstallationen ergeben sich aus der Lebensmittelgesetzgebung, dem Obligationenrecht und dem Zivilgesetzbuch sowie den Reglementen der kommunalen Wasserversorgungen. Die Pflichten werden im Folgenden einzeln dargelegt. Wie in **Tabelle 7** dargelegt, wird zurzeit diskutiert, ob von SIA-Normen, SVGW-Richtlinien sowie Reglementen der kommunalen Trinkwasserversorgung bindende Verpflichtungen abgeleitet oder ob nur Empfehlungen ausgesprochen werden können.

#### *Private häusliche Verwendung*

Die kommunale Wasserversorgung ist ein Lebensmittelbetrieb und untersteht dem Lebensmittelgesetz. In der Gebäude-Trinkwasserinstallation trägt der Eigentümer/Betreiber die Verantwortung. Der Betrieb von Gebäude-Trinkwasserinstallationen für die private häusliche Verwendung untersteht nicht der Lebensmittelgesetzgebung. Für diesen Bereich gilt die Selbstverantwortung der Eigentümer/Betreiber.

Im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens und des Trinkwasseranschlussgesuches gilt das Reglement der örtlichen Wasserversorgung als Bestandteil der Baubewilligung. Gemäss diesem Reglement muss der Eigentümer/Betreiber sicherstellen, dass die Gebäude-Trinkwasserinstallation nach den anerkannten Regeln der Technik geplant, ausgeführt, betrieben und instandgehalten wird sowie dass von dieser keine Gefahr für das kommunale Wasserverteilnetz ausgeht.

Wenn nachgewiesen werden kann, dass durch unsachgemässe Installationen verschmutztes Wasser von der Gebäude-Trinkwasserinstallation in das kommunale Wasserverteilnetz gelangt, kann dies Haftungsklagen von Seiten der Wasserversorgung an den Eigentümer/Betreiber zur Folge haben. Es wird

empfohlen die Gebäude-Trinkwasserinstallationen nach anerkannten Regeln der Technik zu betreiben, um die Gesundheitsgefährdungen der eigenen Person wie auch der Angehörigen zu vermeiden.

#### *Nicht private häusliche Verwendung*

Wenn der Eigentümer/Betreiber seine Liegenschaft ganz oder teilweise vermietet, wird dieser zu einer Wasserversorgung und gilt rechtlich gesehen als Lebensmittelbetrieb. Er ist deshalb zur Selbstkontrolle verpflichtet und für die Qualität des an den Mieter gelieferten Trinkwassers verantwortlich (Art. 26, LMG). Die Dokumentation der Selbstkontrolle ist schriftlich oder durch gleichwertige Verfahren zu gewährleisten (Art. 85, LGV). Ausserdem muss er die kantonalen Behörden informieren, wenn eine Gesundheitsgefährdung der Mieter durch das Trinkwasser vermutet wird (Art. 84, LGV). Für jeden Lebensmittelbetrieb und jeden Gebrauchsgegenstandsbetrieb - somit auch für die Gebäude-Trinkwasserinstallationen - ist eine verantwortliche Person zu bezeichnen (Art. 73, LGV). Der Betrieb ist frei bei der Wahl dieser Person. Generell kann zum Beispiel eine Person der Hausverwaltung oder des technischen Dienstes als verantwortliche Person bezeichnet werden. Ist keine solche bestimmt, so ist für die Sicherheit des abgegebenen Wassers die Unternehmensleitung, respektive der Eigentümer/Betreiber verantwortlich.

Die Interpretation des Lebensmittelrechts durch den Vollzug ist, dass beim Bau und Betrieb der Gebäude-Trinkwasserinstallationen die anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden müssen (Art. 4, Absatz 2, TBDV). Als anerkannte technische Regelwerke und Fachempfehlungen gelten in der Schweiz generell die SVGW-Richtlinie W3 mit den entsprechenden Merkblättern oder die SIA Normen 385/1 und /2. Generell können aber auch gleichwertige international anerkannte Normen angewendet werden. Der Eigentümer/ Betreiber einer Liegenschaft ist verpflichtet die Gebäude-Trinkwasserinstallationen durch entsprechend ausgebildete Personen regelmässig überwachen und unterhalten zu lassen (Art. 4, Absatz 3, TBDV). Der Vermieter ist verpflichtet, die Sache zum vereinbarten Zeitpunkt in einem zum vorausgesetzten Gebrauch tauglichen Zustand zu übergeben und in demselben zu erhalten (Art. 256, OR).

Für den Hauseigentümer besteht die Werkeigentümerhaftung (Art. 58, OR). Entsprechend hat der Eigentümer eines Gebäudes oder Werkes den Schaden zu ersetzen, den dieses durch fehlerhafte Anlage oder Herstellung oder mangelhafter Unterhaltung verursacht. Bei Abgabe von gesundheitsgefährdenden Trink- oder Duschwasser kann der Mieter entsprechende Schadensersatzforderungen an den Vermieter geltend machen.

#### *Mieter*

Der Vermieter hat keinen Zugang zur Wohnung und zur Dusche des Mieters. Der Mieter ist deshalb für die bestimmungsgemässe Nutzung an allen Entnahmestellen technisch gesehen verantwortlich. Inwiefern daraus eine Verpflichtung für den Mieter definiert werden kann ist aktuell in der Diskussion. Duschköpfe und Strahlregler sollten regelmässig entkalkt und gereinigt werden. Es sollten nur trinkwasserkonforme Duschschräume installiert werden. Probleme und Mängel, die der Mieter nicht selber zu beseitigen hat, sind dem Eigentümer/Betreiber zu melden (Art. 257g, OR).

#### *Betreiber von öffentlichen Duschanlagen*

Duschwasser in öffentlich zugänglichen Anlagen ist als Gebrauchsgegenstand im Lebensmittelgesetz (LMG) geregelt. Als öffentlich gelten dabei alle Duschanlagen, die der Allgemeinheit oder einem berechtigten, nicht ausschliesslich privaten Personenkreis zugänglich sind. Dazu zählen beispielsweise Duschen in Spitälern, Alters- und Pflegeheimen, Hotels, Schulanlagen, Sportanlagen, Wellness-Centers, Personalduschen, etc. Duschanlagen in Mietwohnungen für die private häusliche Verwendung sind keine öffentlichen Anlagen.

Folgende gesetzliche Anforderungen sind einzuhalten:

- Höchstwert von 1'000 KBE/L für *Legionella* spp. (TBDV; Anhang 5, Absatz 5).
- Die Wasseraufbereitungs- und Duschanlagen müssen nach den anerkannten Regeln der Technik betrieben werden. Der Inhaber ist verpflichtet, sie durch entsprechend ausgebildete Personen regelmässig überwachen und unterhalten zu lassen (Art. 13, TBDV). Inhaber von öffentlichen Duschanlagen sind zur Selbstkontrolle verpflichtet (Art. 26, LMG) und müssen die Qualität des Duschwassers überprüfen.

- Das Selbstkontrollkonzept, mit denen Inhaber von öffentlich zugänglichen Duschanlagen die einwandfreie Qualität des Duschwassers sicherstellen, sowie die Massnahmen zur Umsetzung des Selbstkontrollkonzeptes müssen schriftlich dokumentiert sein (Art. 85, LGV).
- Die Wirksamkeit der Selbstkontrolle muss mit Probenahmen und Analysen überprüft werden. Insbesondere der Legionellen-Höchstwert muss nachweislich eingehalten sein.
- Bei vermuteter Gesundheitsgefährdung, das heisst bei einem Nachweis von Legionellen über dem Höchstwert, müssen die entsprechenden Massnahmen zum Schutz der Duschbenützer getroffen werden.
- Können die mikrobiologischen Anforderungen an Wasser in Duschanlagen nur durch eine bauliche Sanierung eingehalten werden, so muss diese bis zum 30. April 2027 erfolgen. In diesem Fall gelten diese Anforderungen während dieser Zeit nicht, es sind jedoch alle übrigen nach dieser Verordnung vorgesehenen Massnahmen zu treffen, um den Schutz der Gesundheit sicherzustellen (Art. 16, TBDV).

### 5.1.5 EU-Trinkwasser-Richtlinie

Die Trinkwasserrichtlinie der Europäischen Union (EU) bestimmt die Anforderungen an Wasser für den menschlichen Gebrauch, also Wasser, das zum Trinken, zum Kochen, für die Körperpflege und zu sonstigen häuslichen Zwecken bestimmt ist [229]. Sie setzt die Rahmenbedingungen, welche in den nationalen Gesetzgebungen der EU umgesetzt werden müssen.

#### *Bedeutung für die Schweiz*

Für die Schweiz als Nicht EU-Mitglied ist die EU-Richtlinie nicht bindend. Das neue Bundesgesetz über Lebensmittel und Gebrauchsgegenstände, welches am 1. Mai 2017 in Kraft getreten ist, bezweckt unter anderem eine Angleichung des schweizerischen Rechts an dasjenige der EU, um bestehende Handelshemmnisse abzubauen. Gleichzeitig sollen die schweizerischen Konsumentinnen und Konsumenten nicht schlechter geschützt sein als diejenigen der EU. Die im Zuge der Lebensmittelgesetzgebungsrevision neu geschaffene TBDV zielt darauf ab, das schweizerische Recht über das Trinkwasser vollständig kompatibel mit demjenigen der EU auszugestalten (Richtlinie 98/83/EG1; Referenz Erläuterungen TBDV). Somit hat die EU-Trinkwasser-Richtlinie in Zukunft, wenn nicht einen direkt bindenden, so doch einen richtungsweisenden Einfluss auf die schweizerische Lebensmittelgesetzgebung und somit auf die Legionellen-Prävention in der Schweiz.

#### *Legionellen-Prävention in der EU gemäss EU-Trinkwasser-Richtlinie*

In der aktuellen EU-Trinkwasser-Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch werden die Legionellen nicht erwähnt. Aktuell ist die EU-Trinkwasser-Richtlinie in Überarbeitung. In Zusammenarbeit mit der WHO wurden die Parameterwerte aktualisiert. Die WHO hat festgestellt, dass unter allen Krankheitserregern, die durch Wasser übertragen werden können, von Legionellen die stärkste Gesundheitsbelastung ausgeht. Die Legionellen werden über Warmwassersysteme durch Inhalation (z.B. beim Duschen) übertragen. Folglich stehen sie eindeutig mit Hausinstallationen im Zusammenhang. Da eine einseitige Verpflichtung, alle privaten und öffentlichen Räumlichkeiten auf diesen Krankheitserreger hin zu überwachen, zu unverhältnismässig hohen Kosten führen würde, ist eine Risikobewertung von Hausinstallationen besser geeignet, um diesem Problem zu begegnen. Die Risikobewertung von Hausinstallationen sollte daher unter anderem die schwerpunktmässige Überwachung der von den Mitgliedstaaten ermittelten prioritären Räumlichkeiten umfassen (Krankenhäuser, Gesundheits-, Kinderbetreuungs- und Bildungseinrichtungen, Schulen, Gebäude mit Unterkunftsmöglichkeiten, Restaurants, Bars, Sport- und Einkaufszentren, Strafvollzugsanstalten und Campingplätze, etc.). Für die Bewertung wird ein Parameterwert für Legionellen in Gebäude-Trinkwasserinstallationen definiert.

Am 5. Februar 2020 haben die Vertreter der EU-Mitgliedstaaten der vorläufigen Einigung auf einen ersten Entwurf zugestimmt [230]. Damit rückt ein Abschluss des Revisionsprozesses der EU-Trinkwasser-Richtlinie näher. Mit der neuen EU-Trinkwasser-Richtlinie wird die Hygiene in Trinkwasser-Gebäudeinstallationen an Bedeutung gewinnen. Insbesondere wird in der EU und ihren assoziierten Ländern der Legionellen-Prävention vermehrt Beachtung geschenkt werden müssen.

## 5.2 Festhaltung von Diskrepanzen und Änderungen

### 5.2.1 Einführung

Die aktuelle Gesetzgebung ist betreffend Legionellen-Prävention lückenhaft. Gemäss TBDV ist ein Höchstwert für *Legionella* spp. in Duschwasserproben von 1'000 KBE/L und für Wasser in Sprudelbädern über 23°C ein Höchstwert von 100 KBE/L definiert. Andere mögliche Legionellen-Infektionsquellen wie Kühltürme, Klimaanlage werden zwar im Legionellen-Modul des BAG/BLV erwähnt, sind aber in der Bundesgesetzgebung nicht geregelt. Diese Lücken sollten mittelfristig mit Branchenrichtlinien geschlossen werden.

Bei den Vollzugsbehörden fehlen weitgehend die Ressourcen für flächendeckende Kontrollen oder weitgehende Abklärungen bei Legionellose-Fällen. Es muss auf die Selbstkontrolle der Betriebe gesetzt werden. Die Vollzugsbehörden können nur Stichproben erheben. Liegenschaftsbetreiber müssen sich ihrer Verantwortung als Lebensmittelbetrieb oder Werkeigentümer bewusstwerden und ihre Selbstkontrolle schriftlich dokumentieren.

### 5.2.2 Regulierung der Hausinstallationen (Schweiz und Vergleich Deutschland)

Die aktuellen Normen und Richtlinien, welche in der Trinkwasserversorgung im Gebäude relevant sind sowie deren Wirksamkeit, sind in **Tabelle 7** zusammengefasst.

Die Regulierung der Hausinstallation ist festgehalten in den geltenden Regulierungswerken in der Schweiz (LMG, LGV, TBDV, SIA, SVGW) und in Deutschland (DIN EN 806, 1717, DIN 1988, DVGW).

### 5.2.3 Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen

#### *Rückkühlanlagen*

Die betreffenden Richtlinien sind im **Anhang 2c** zusammengefasst:

SWKI BT 102-01 Wasserbeschaffenheit für Gebäudetechnik – Anlagen (wenig aussagend)

SWKI VA 104-02 (VDI 6022)

BAG-BLV Empfehlungen Legionellen und Legionellose (Modul 14 wenig aussagend)

Schweizerischer Verein Luft-Wasserhygiene SVLW: „Verdunstungskühlung“ - Wegleitung für Betreiber  
Fachbuch: „Legionellen-Risiken in Verdunstungskühlanlagen und Kühltürmen“ (Beuth-VDE Verlag)

#### *Raumlufttechnik-Anlagen*

**Nationale Vorschriften und Publikationen von öffentlichen Institutionen:** Auf gesetzlicher Stufe ist die Raumluftqualität nur in der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3, 2015) Art. 16 und 17 geregelt. In der Wegleitung zu Art. 17 wird bezüglich Hygiene auf Richtlinien und Normen sowie auf Dokumente der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS) und der SUVA verwiesen. Legionellen werden nicht explizit erwähnt.

**Nationale Normen und Richtlinien:** Die Richtlinie SWKI VA104-01 ist in der Schweiz das zentrale Dokument für die Hygieneanforderungen in der RLT. Aktuelle Normen, Richtlinien und auch Fachliteratur beziehen sich oft auf diese Richtlinie, respektive das deutsche Mutterdokument VDI 6022. Die Begriffe „Legionellen“ und „Legionellose“ werden in Zusammenhang mit Luftbefeuchtern mit Umlaufwasser explizit verwendet. Auf Detailanforderungen wird beim Thema Luftbefeuchter eingegangen.

Die Richtlinie SWKI BT102-01 stellt Minimalanforderungen an die physikalische, chemische und mikrobielle Qualität des Betriebswassers von Heizungs-, Lüftungs-, Klima- und Kälteanlagen. Details dazu finden sich beim Thema „Speisewasser von Luftbefeuchtern“.

### *Bemerkungen zu den Anforderungen an das Speisewasser*

SWKI VA104-01 verweist beim Speisewasser von adiabaten Befeuchtern auf SWKI BT102-01. Diese fordert eine Gesamtkeimzahl von  $< 300$  KBE/mL und eine Legionellen-Konzentration von  $< 100$  KBE/L. Weiter wird bei adiabaten Befeuchtern, mit Ausnahme von Hybrid-Luftbefeuchtern, eine periodische Kontrolle von 14 Tagen gefordert. Für Hybrid-Luftbefeuchter genügt eine jährliche periodische Kontrolle. Es findet sich weder eine Begründung für die markant unterschiedlichen Kontrollintervalle noch eine Beschreibung von Hybrid-Luftbefeuchtern. Möglicherweise geht SWKI BT102-01 implizit davon aus, dass bei dieser Bauart immer Nachverdunstungselemente und Massnahmen zur Wachstumshemmung von Mikroben (z.B. Silber-Ionisierung) vorhanden sind.

## 5.2.4 Herausforderungen für die Zukunft

Die demographische Entwicklung in der Schweiz führt dazu, dass ein immer grösserer Teil der Bevölkerung ein Alter erreicht, in dem die Anfälligkeit gegenüber Infektionskrankheiten erhöht ist. Ausserdem hat ein ansteigender Teil der Bevölkerung ein permanent geschwächtes Immunsystem, sei es durch chronische Erkrankungen oder durch Organtransplantationen. Dieser immunsupprimierte Anteil der Bevölkerung muss in Zukunft speziell vor Legionellose-Erkrankungen geschützt oder zumindest informiert werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass in Zukunft mehr Klimaanlageanlagen, Duschen, Wärmetauscher und Kühltürme gebaut und betrieben werden. Diese sollten die entsprechenden hygienischen Standards erfüllen, damit sie nicht zu einer Gefahr für die öffentliche Gesundheit werden.

Sparmassnahmen (Reduktion der Warmwassertemperatur und Rezyklieren des Wassers), wie auch alternative Warmwasserproduktionen (Wärmepumpen, Solaranlagen, etc.), können dazu führen, dass die nötige Hygiene nicht mehr gewährleistet wird. Mit geeigneten Gegenmassnahmen muss sichergestellt werden, dass Legionellen nicht zu gesundheitsgefährdenden Konzentrationen aufwachsen können.

Auch steigt der gesellschaftliche Druck für eine griffige Legionellen-Prävention. Die wesentlichen Faktoren dafür sind:

Die am 1. Mai 2017 in Kraft getretene TBDV muss vollzogen werden.

Von einem erstklassigen Lebens- und Wirtschaftsstandort wie der Schweiz wird erwartet, dass die Bürger vor Legionellen aus Duschen, Klimaanlageanlagen, Kühltürmen etc. angemessen geschützt werden. Vor allem, wenn das Problem bekannt ist und öffentlich diskutiert wird.

Die EU setzt mit ihrer neuen Trinkwasser-Richtlinie ein Schwergewicht auf die Legionellen-Prävention. Die Schweiz hat sich in der neuen Lebensmittelgesetzgebung verpflichtet, ihren Bürger und Bürgerinnen einen der EU gleichwertigen Gesundheitsschutz zu gewährleisten.

Bei möglichen Legionellen-Infektionsquellen ausserhalb der aktuellen Gesetzgebung, wie z.B. Kühltürme und Klimaanlage, sollte auf die verantwortlichen Branchenverbände zugegangen werden, damit Branchenrichtlinien für den hygienischen Betrieb von Kühltürmen und Klimaanlageanlagen erarbeitet werden.

In den USA haben sich bereits Anwaltspraxen auf Schadensersatzforderungen bei Legionellose-Fällen spezialisiert. Es wird in Zukunft auch mit Schadensersatzforderungen in der Schweiz gerechnet werden müssen.

## 5.3 Analyse Korrelation zwischen Gesetzgebung/Normierung und Zunahme der Erkrankungen

### 5.3.1 Zunahme der Erkrankungen unabhängig von der Gesetzgebung

- a) Die Gesetzgebung unterscheidet sich von Land zu Land. Sie scheint jedoch aktuell nur ein Nebenaspekt zu sein, da die Fallzahlen in allen Ländern mit Ausnahme Frankreichs steigen.

- b) Viele Informationen fehlen, um eine mögliche Korrelation feststellen zu können. Es stellen sich auch Fragen nach dem Vollzug der Gesetzgebung (streng/lasch), und den Ressourcen, die dafür eingesetzt werden. Wie hoch ist die Dunkelziffer von nicht gemeldeten Legionellose-Fällen? Länder mit einem schlechten Legionellose-Meldewesen stehen besser da, als Länder, welche viel Aufwand in die Erkennung von Legionellose-Fällen investieren.

### 5.3.2 Abschätzung des volkswirtschaftlichen Schadens durch Legionellose

Im Jahr 2019 wurden dem BAG 581 Legionellose-Fälle gemeldet (**Tabelle 8**) [231]. Im Ausland wurden Studien publiziert, welche die Kosten pro Legionellose-Fall abschätzten. Bei der Studie aus Grossbritannien wurde von einem Legionellen-Ausbruch in Edinburgh aus dem Jahre 2012 mit 101 Infizierten und 3 Toten die durchschnittlichen Kosten pro Legionellose-Fall auf 18'000 £ abgeschätzt [232]. Dabei entsprechen die Kosten für die medizinische Behandlung in etwa den Kosten des Arbeitsausfalles der Infizierten. Die 3 Todesfälle wurden nicht berücksichtigt.

	2015	2016	2017	2018	2019
<b>Schweiz</b>	388	365	464	567	581

**Tabelle 8. Anzahl gemeldete Legionellose-Fälle in der Schweiz.** [231].

Bei der Studie aus USA vom Centers for Disease Controls and Prevention (CDC) wurde aufgrund der Krankenversicherungsdaten die durchschnittlichen Kosten für die medizinische Behandlung zwischen 26'000 und 38'000 \$ abgeschätzt [233]. Dabei wurden die Kosten durch Arbeitsausfall nicht berücksichtigt. In der **Tabelle 9** wurde aufgrund der Fallkosten aus den beiden Studien die jährlichen Kosten durch Legionellen-Erkrankungen unter der Annahme von 600 Legionellose-Fällen pro Jahr in der Schweiz abgeschätzt (Variante a). Gemäss Studien in Deutschland wird davon ausgegangen, dass nur ca. 5% der Fälle, das heisst jeder zwanzigste Fall gemeldet wird [234]. In einer Variante b wurden die mutmasslich nicht gemeldeten Legionellose-Fällen berücksichtigt.

Studien	Fallkosten pro Legionellose-Fall	Angenommene Jährliche Legionellose-Fälle in CH	a) Abschätzung jährlicher Kosten gemeldeter Legionellose-Fälle in der Schweiz aufgrund der Fallkosten aus GB und USA	b) Abschätzung jährlicher Kosten der Legionellose-Fälle in der Schweiz unter Annahme, dass nur jeder 20. Fall gemeldet wird [234]
GB 2012 [232]	18'000 £ *26'000 Fr.	600	10.8 Mio £ *15.6 Mio Fr.	216 Mio £ *312 Mio Fr.
USA 2017 [233]	26'000 bis 38'000 \$ *26'850 bis 39'250 Fr.  nur Behandlungskosten	600	15.6 bis 22.8 Mio \$ *16.1 bis 23.6 Mio Fr.	312 bis 456 Mio \$ *322 bis 472 Mio Fr.

**Tabelle 9. Überblick über die Fallkosten.** Überblick über die Fallkosten in Grossbritannien und den USA sowie Abschätzung der jährlichen Legionellose-Kosten in der Schweiz aufgrund der Fallkosten-Zahlen aus den Studien von Grossbritannien [232] und USA [233]. Dabei wurde in Variante a nur die Kosten der gemeldeten Legionellose-Fälle berechnet (600 pro Jahr). In Variante b wurden die mutmasslich nicht gemeldeten Legionellose-Fälle auch berücksichtigt (Dunkelziffer: 95%, [234]) und die Kosten der Variante a mit dem Faktor 20 multipliziert. \*Die angegebenen Fremdwährungsbeträge wurden in Schweizer Franken umgerechnet und inflationsbereinigt, dafür wurde ein Umrechnungsprogramm im Internet verwendet (<https://fxtop.com/>)

Nicht berücksichtigt sind die nicht gemeldeten Fälle von Pontiac-Fieber, welche zu Krankheitsausfällen am Arbeitsplatz und Behandlungskosten führen. Dazu kommen nicht monetär bezifferbare Einbussen an Lebensfreude und -qualität. Die Bandbreite der berechneten Kosten ist je nach getroffenen Annahmen gross (**Tabelle 9**). Die Kosten können deshalb nur als eine erste Näherung betrachtet werden. Für präzisere und verlässlichere Abschätzungen müssten für die Schweiz in eigenen Studien die aktuellen Fallkosten abgeschätzt und die Annahmen für die Schweiz klar definiert werden.

### 5.3.3 Faktoren, die zur Zunahme von Legionellose-Fällen führen

Von folgenden Faktoren wird vermutet, dass sie zu steigenden Fallzahlen führen:

- a) Bevölkerungsanteil von älteren und immunsuprimierten Personen wird grösser.
- b) Allgemeine Zunahme von Klimaanlageanlagen und benetzten Wärmeüberträgern.
- c) Steigender Wohnkomfort heisst auch mehr Duschen und – wenn keine geeigneten Massnahmen ergriffen werden – mehr Stagnation.
- d) Energiesparmassnahmen auf Kosten der Hygiene.
- e) Klimaerwärmung und erhöhte Temperaturen in Kühltürmen.
- f) Erhöhung der Aufmerksamkeit gegenüber dem Thema führt zu Kontrollmessungen und folglich zu mehr Fällen.

## 6 Gebäudetechnik

### 6.1 Festhaltung von signifikanten Unterschieden zwischen MFH, EFH, Ferienhäusern und Leerwohnungen sowie Spitälern, Alters- und Pflegeheimen

Gebäude unterscheiden sich in Bezug auf die Legionellen-Problematik aufgrund verschiedener Kriterien:

- Regelmässigkeit der Nutzung: Unregelmässig genutzte Gebäude (Ferienhäuser, Kasernen, ...) oder Gebäudeteile sind problematischer als ständig genutzte. In gut ausgelegten ständig genutzten Gebäuden wird allein durch die normale Nutzung die Stagnation von Wasser vermieden. In unregelmässig genutzten Gebäuden müssen hingegen gezielte Massnahmen zur Vermeidung der Stagnation ergriffen werden, z.B. manuelle Spülungen.
- Eignung der Trinkwasserinstallation: In jeder Gebäudeart können mehr oder weniger geeignete Arten der Trinkwasserinstallation vorhanden sein. Totleitungen sind z.B. immer problematisch, unabhängig von der Gebäudeart. Die Eignung ist auch nicht unmittelbar mit dem Alter des Gebäudes verknüpft.
- Verantwortlichkeit: Bei Einfamilienhäusern sind Besitzer, Betreiber und Bewohner häufig identisch. Hier gelten entsprechend die weniger verbindlichen Regeln der Eigenverantwortung. Grössere oder kommerziell genutzte Gebäude unterliegen verbindlicheren Regeln.
- Risikoprofil der Nutzer: Legionellen sind problematisch vor allem für ältere Menschen oder Menschen mit Vorerkrankungen. Entsprechend ist ein Spital mit Intensivstation wesentlich kritischer als die Wohnung einer jungen Familie.

Entsprechend dem Risikoprofil können Gebäude kategorisiert und Kontrollmassnahmen (Betriebskontrollen, Legionellen-Beprobung, etc.) gestaffelt werden. Der Entwurf der SVGW W3/E4 sieht folgende Kategorien mit abnehmenden Kontrollmassnahmen vor:

- Spitälern mit Intensivpflege
- Spitälern ohne Intensivpflege
- Pflege- und Alterszentren
- Hotels
- Kasernen, Zivilschutzanlagen, Gefängnisse, übrige Beherbergungsstätten, Schul- und Sportanlagen mit Duschen, Duschen in Bahnhöfen, Flughäfen, Raststätten, Duschanlagen in Bädern, Personalduschen
- Vermieteter Wohnraum

Für andere Gebäudetypen (z.B. Einfamilienhäuser oder Ferienhäuser) sind keine Kontrollmassnahmen vorgesehen.

Die Kategorisierung der SVGW W3/E4 ist nachvollziehbar, kann im Einzelfall aber natürlich versagen. Der ältere Mensch mit Lungenerkrankung ist in seinem selten genutzten Ferienhaus mit ungeeigneter Trinkwasserinstallation (keine Kontrollmassnahmen vorgesehen) vermutlich stärker gefährdet als auf der Intensivstation eines nach dem Stand der Technik errichteten und ständig genutzten Spitals (maximale Kontrollmassnahmen).

### 6.2 Analyse Gebäudetechnikanlagen – unter Berücksichtigung der priorisierten Gefahrenquellen

#### 6.2.1 Übliche Hausinstallation in der Schweiz

Die Trinkwasserinstallation im Gebäude wird in folgende Hauptbereiche unterteilt (**Abb. 9**):

- Hausanschlussleitung



- Verteilbatterie
- Verteilleitungen horizontal und vertikal
- Stockwerkverteilung

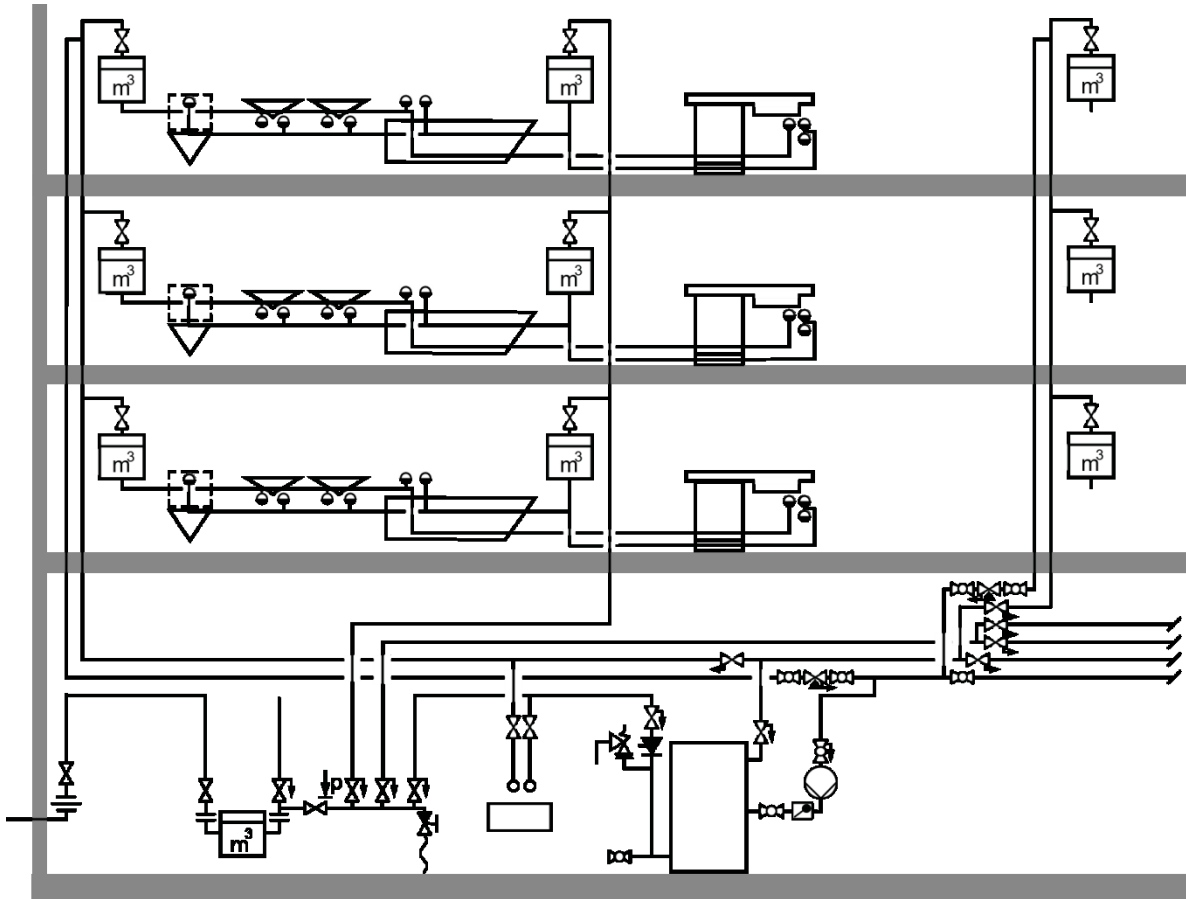
Die Trinkwasserversorgung erfolgt unabhängig von der Gebäudeart meistens über eine Verteilbatterie, die je nach Objektgröße mehrere Trinkwasser-Verteilstränge aufweist. Die Verteilbatterie beinhaltet Armaturen zur mechanischen Filterung des Trinkwassers oder Sicherheitsarmaturen für den Anschluss des Wassererwärmers wie auch allfällige Apparate wie Enthärtungsanlagen oder Druckerhöhungseinrichtungen.

#### *Hygienische Beurteilung*

Ein Hygienierisiko in diesen Anlageteilen kann aufgrund fehlender Wartung, z.B. des Feinfilters (Reinigung/Ersatz der Filterkartuschen), des Wassererwärmers (Entkalkung) oder der Enthärtungsanlagen (Ersatz Harzbett und Silberharz) u. w. auftreten. Die Verteilbatterie sowie zusätzliche Apparate müssen zudem in einem kühlen, aber frostsicheren Raum installiert werden.

Weitere Gründe für hygienische Probleme in Trinkwasserinstallationen können sein:

- Überdimensionierte Leitungen
  - Zu viel Reserven eingeplant
  - Fehlende Nutzungsvereinbarung (Unklarheiten während der Planungsphase)
  - Spararmaturen und Spareinsätze oder Sparverhalten führt zu weniger Wasserdurchsatz als für die Installation geplant
  - Geringere Gleichzeitigkeiten gegenüber der Richtlinie SVGW W3
- Erwärmung von Kaltwasserleitungen aufgrund Abwärme
  - Wärmestau im Gebäude (sehr dichte Gebäudehüllen)
  - Kombinierte Steigschächte oder Medienschränke zusammen mit Heizung, Lüftung und Elektro
- Stagnation infolge Abwesenheiten
  - Ferienwohnungen
  - Fehlende Auslastung in Gebäuden, z. B. in einzelnen Hoteltrakten (saisonal)
  - Wohnungsleerstand
- Umnutzung von Gebäuden mit bestehender Trinkwasserinstallation ohne entsprechende Anpassung der Installation
- Erwärmung von Kaltwasser oder Abkühlung von Warmwasser infolge mangelhafter Isolation



**Abb. 9. Trinkwasserinstallation im Gebäude.** Trinkwasserinstallation im Gebäude mit getrennten Kalt- und Warmwasser-Steigleitungen und der Stockwerkverteilung als T-Stück-Installation (*Bildquelle: SVGW, Richtlinie W3/E3, Vernehmlassung 2020*). Bemerkung zur Abbildung: Die Trennung von Kalt- und Warmwasser in der Steigzone wird empfohlen, jedoch in der Praxis nicht angewendet. Die T-Stück-Installation ist eher selten.

Ein Hygienierisiko in Bezug auf Stagnation besteht aber vor allem in der Stockwerkverteilung (Feinverteilung zu den Armaturen und Apparaten). In der Stockwerkverteilung können verschiedene Leitungsinstallationsarten zur Anwendung kommen. Diese haben sich über die Jahrzehnte entwickelt und verändert, auch infolge technologischen Fortschrittes.

Bei der Wahl der Leitungsinstallationsart werden folgende Hauptpunkte berücksichtigt (**Tabelle 10**):

- Projektart; Neubau, Umbau/Sanierung
- Gebäudeart; Wohnungsbau, Hotel, Spital, Altersheime usw.
- Standort, Art und Anzahl der Entnahmestellen
- Benutzungsart beziehungsweise Häufigkeit der Wasserentnahme
- Warmwasser Ausstosszeiten
- Trinkwasserhygiene
- Wirtschaftlichkeit

#### *Empfehlung zur Installationsart in der Stockwerkverteilung*

Sowohl die SVGW-Richtlinie W3:2013 als auch die neue SVGW-Richtlinie W3/E3:2020 machen keine Empfehlung zum geeigneten Verteilsystem. In der W3/E3 (Richtlinie für Hygiene in Trinkwasserinstallationen) steht (Zitat): „Jedes Verteilsystem oder eine Kombination von mehreren Verteilsystemen hat seine Vor- und Nachteile, die eingehend geprüft und gegeneinander abgewogen werden müssen.“ (Ende Zitat). Wie in diesem Abschnitt eingangs erwähnt, ist die Wahl des „geeigneten“ Verteilsystems nebst der Hygiene auch von weiteren Punkten abhängig.

In der (**Tabelle 10 und 11**) wird das Stagnationsrisiko der verschiedenen Leitungsinstallationsarten direkt miteinander verglichen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Verlegeart der „Reihenleitungen“,

## **Situations-** und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

der „Ringleitungen“ oder der „Wasserkirkulation in Stockwerken“ die geringsten Stagnationsrisiken bergen und damit hinsichtlich Hygienefisiko am geeignetsten sind.

	Einzelzuleitungen	Reihenleitungen	Ringleitungen	T-Stück-Installation
Schematische Darstellung				
Beschreibung	Jede Entnahmestelle wird mit einer separaten Rohrleitung ab einem Stockwerksverteiler versorgt	Mehrere Entnahmestellen werden durch eine gemeinsame Rohrleitung versorgt	Die Entnahmestellen werden über eine Ringleitung, d. h. von zwei Seiten her erschlossen	Alle Entnahmestellen werden durch eine gemeinsame Hauptrohrleitung mit einzelnen Stichleitungen versorgt
Einsatzbereiche	Wohnungsbau, Hotel	Wohnungsbau, Hotel, Spital, Altersheim	Hotel, Spital, Altersheim	Wohnungsbau
Anwendung	80%	10%	1%	9%
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Rohrweitenbestimmung</li> <li>• Kleine Rohrquerschnitte</li> <li>• Einhaltung der Warmwasser Ausstosszeiten</li> <li>• Minimierte Druckverluste</li> <li>• Eindeutige Fliessrichtung</li> <li>• Bei zugänglichen Verteilern ist jede Leitung separat abstellbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Rohrweitenbestimmung</li> <li>• Geringere Leitungslängen</li> <li>• Gute Trinkwasserhygiene bei regelmässiger Nutzung der letzten Entnahmestelle</li> <li>• Kein Stockwerksverteiler nötig</li> <li>• Eindeutige Fliessrichtung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringere Druckverluste bei gleichen Rohrquerschnitten</li> <li>• Teildurchfluss in der gesamten Installation bei jeder Nutzung einer beliebigen Entnahmestelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfache Rohrweitenbestimmung</li> <li>• Kurze Rohrlängen bei geringem Wasserinhalt</li> <li>• Kein Stockwerksverteiler nötig</li> <li>• Eindeutige Fliessrichtung</li> </ul>
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stagnationsgefahr bei nicht regelmässiger Nutzung aller Entnahmestellen</li> <li>• Insgesamt grosse Leitungslängen</li> <li>• Stockwerksverteiler notwendig</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Druckverluste</li> <li>• Grössere Leitungslängen als bei T-Stück-Installation</li> <li>• Einhaltung der Warmwasser Ausstosszeiten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwändige Rohrweitenbestimmung</li> <li>• Benötigt mehr Fachkompetenz</li> <li>• Fliessrichtung und Durchfliessen aller Teilstrecken nicht eindeutig</li> <li>• Einhaltung der Warmwasser Ausstosszeiten</li> <li>• Grössere Leitungslängen als Reihenleitung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stagnationsgefahr in den Stichleitungen bei nicht regelmässiger Nutzung aller Entnahmestellen</li> <li>• Erhöhte Druckverluste</li> <li>• Teils Einhaltung der Warmwasser Ausstosszeiten</li> </ul>
Stagnationsrisiko	<b>gross</b>	<b>Gering</b>	<b>sehr gering</b>	<b>mittel</b>

Tabelle 10. Übersicht der Leitungsinstallationsart in der Stockwerkverteilung.

Ein weiteres Verteilsystem ist die «Wasserzirkulation in Stockwerken». Da diese Art der Trinkwasserversorgung zusätzliche und spezielle Komponenten benötigt (Strömungsteiler in der Steigleitung), wird diese Installationstechnik nachfolgend separat aufgeführt (**Tabelle 11**).

Wasserzirkulation in Stockwerken	
<b>Schematische Darstellung</b>	
<b>Beschreibung</b>	Die Entnahmestellen werden über eine Ringleitung erschlossen. Die Ringleitung führt direkt zurück in die Steigleitung, in dieser ist ein Strömungsteiler (Sonderbauteil) eingebaut. Der Strömungsteiler stellt sicher, dass beim Bezug von Wasser in den oberen Etagen, ein Teilstrom über die unteren Stockwerke zirkuliert und so ein regelmässiger Wasseraustausch sicherstellt.
<b>Einsatzbereiche</b>	Hotel, Spital, Altersheim
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regelmässiger Wasseraustausch ist sichergestellt, da bei Durchfluss in der Steigleitung/Verteilleitung, hervorgerufen durch;             <ol style="list-style-type: none"> <li>a) einen manuellen Trinkwasserbezug</li> <li>b) einen automatischen Bezug mittels zentralem Spülpunkt</li> <li>c) durch die ständig in Betrieb stehende Zirkulationspumpe (Warmwasser), ein Teildurchfluss durch die Stockwerkverteilung fliesst</li> </ol> </li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nicht einsetzbar bei der Verwendung von Wohnungswasserzählern</li> <li>• Aufgrund des Strömungsteilers zusätzlicher Druckverlust in der Verteilleitung</li> <li>• Wartungsaufwand des Strömungsteilers (Problematik der Zugänglichkeit)</li> <li>• Ungewollte Schachterwärmung, da permanente Zirkulation (Warmwasser)</li> <li>• Über die Entnahmemarmatur kann eine Wärmebrücke zur Kaltwasseranschlussleitung entstehen</li> <li>• Grösserer Warmwasserwärmeverlust</li> <li>• Aufwändige Rohrweitenbestimmung → spezielle Software → erfolgt meist durch den Hersteller (Anbieter des Strömungsteilers)</li> </ul>
<b>Stagnationsrisiko</b>	<b>sehr gering</b>

**Tabelle 11.** Übersicht der Leitungsinstallationsart in der Stockwerkverteilung (Spezialfall).

## 6.2.2 Lösungsansätze für die Legionellen-Problematik in Trinkwasseranlagen

In **Tabelle 12** sind Lösungsansätze für die Legionellen-Problematik in Trinkwasseranlagen dargestellt.

Lösungsansatz/Reifegrad	Herangehensweise	Beurteilung
<p>Wasser austauschen durch <b>Spülen</b></p> <p>Marktübliche Standardlösung.</p>	<p>Stagnierendes Wasser und Wasser im kritischen Temperaturbereich wird durch manuelles oder automatisches Spülen durch Frischwasser mit unkritischer Temperatur ersetzt. Legionellen haben somit keine Zeit, um sich zu vermehren.</p>	<p>Spülen ist einfach und kann in der Praxis leicht umgesetzt werden. Über die Wirksamkeit besteht weitgehend Konsens, ein streng wissenschaftlicher Nachweis steht jedoch aus. Ein Nachteil besteht im Wasser- und Energieverbrauch. Dieser kann jedoch sehr gering gehalten werden, wenn nur dann gespült wird, wenn die normale Nutzung für den Wasseraustausch nicht ausreicht. Automatisierte Lösungen halten den operativen Aufwand gering und erlauben eine einfache Dokumentation. Umstritten ist, ob und inwieweit die Vermehrung von Legionellen im Biofilm durch Spülen vermieden werden kann.</p>
<p>Warmwasser <b>zirkulieren</b> bis zur Entnahmestelle</p> <p>Kann mit bestehender Technik leicht realisiert werden, ist aber nicht üblich.</p>	<p>Warmwasser wird auch z.B. innerhalb von Wohnungen zirkuliert. Dadurch wird auch in Wohnungen die Warmwassertemperatur jederzeit so hochgehalten, dass Legionellen sich nicht vermehren können.</p>	<p>Warmwasser-Wohnungszuleitungen kühlen nach Benutzung wieder auf Raumtemperatur ab. Während der Abkühlung liegt die Temperatur vorübergehend im kritischen Bereich, in dem Legionellen sich vermehren. Dies wird durch die Zirkulation bis zur Entnahmestelle vermieden. Ob die Zeit des Abkühlens für eine signifikante Vermehrung ausreicht ist jedoch umstritten. Die Verlängerung der Zirkulationsleitung erhöht den Energieverbrauch und den Wärmeeintrag in die Wohnung.</p>
<p>Kaltwasser zirkulieren und <b>kühlen</b></p> <p>Die Zirkulation kann mit bestehender Technik leicht realisiert werden. Kaltwasser-Kühler werden seit 2019 auf dem Markt angeboten. Nicht üblich.</p>	<p>Kaltwasser wird zirkuliert und falls erforderlich auf eine Temperatur unterhalb des kritischen Bereichs gekühlt. Dies geschieht analog zur heute üblichen Zirkulation des Warmwassers.</p>	<p>Kaltwasserleitungen können sich durch hohe Ausstemperaturen und durch die Nähe zu Warmwasserleitungen (z.B. im Schacht und in dem Vorwand) bis in den kritischen Bereich erwärmen. Durch Kühlung wird das vermieden. Wie sehr die Erwärmung von Kaltwasserleitungen zum Legionellen-Wachstum beiträgt ist jedoch umstritten. Die Kühlung erhöht den Energieverbrauch.</p>
<p>Warmwasser regelmässig <b>aufheizen</b> („Legionellenschaltung“).</p> <p>Kaum beworben, da bei Verwendung eines Warmwasserspeichers nicht normenkonform. Gerade in EFH aber vermutlich vereinzelt genutzt.</p>	<p>Die Warmwassertemperatur wird abgesenkt (z.B. auf 40 bis 50°C), um Energie zu sparen (gerade z.B. im Zusammenhang mit Wärmepumpen). Alle paar Tage wird die Warmwasserspeichertemperatur dann vorübergehend angehoben (z.B. auf 70°C), um der Verkeimung entgegen zu wirken.</p>	<p>Die Wirksamkeit der Legionellenschaltung ist umstritten. Dass die Absenkung der Warmwassertemperatur Energie einspart wird weithin anerkannt. Ob die nur periodisch erhöhten Temperaturen Legionellen überhaupt und falls ja in ausreichendem Masse abtöten ist umstritten. Gemäss einer deutschen Studie wurden die Empfehlungen bezüglich der Warmwassertemperatur nicht verändert und nur einzelne Pilotanlagen genehmigt (Rühling et al, „EnEff: Wärme – Verbundvorhaben Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation“, Schlussbericht, 2018, <a href="https://cloudstore.zih.tu-dresden.de/index.php/s/69OCQfqAej5AFNn#pdfviewer">https://cloudstore.zih.tu-dresden.de/index.php/s/69OCQfqAej5AFNn#pdfviewer</a>).</p>
<p>Warmwasser <b>filtrern</b></p> <p>Erste Gebäude wurden damit ausgestattet. Seit 2019 werden Serienprodukte am Markt angeboten. Nicht üblich.</p>	<p>Warmwasser wird in der Zirkulation gefiltert. So sollen Legionellen und Nährstoffe aus dem Warmwasser entfernt werden. Gleichzeitig wird</p>	<p>Die aus Komfortsicht unnötig hohen Temperaturen des Warmwassers sollen reduziert werden und somit kann Abschätzungen gemäss signifikant Energie eingespart werden. Die Wirksamkeit der Filter ist Gegenstand laufender Untersuchungen (z.B. TU Dresden). Das Handling von Ultrafiltration könnte in der</p>

Lösungsansatz/Reifegrad	Herangehensweise	Beurteilung
	die Temperatur im Wassererwärmer und der Zirkulation gesenkt.	Praxis herausfordernd werden (Wartung, Reinigung, Austausch).
<p><b>Wasser dezentral erwärmen</b></p> <p>Trinkwasserstationen ohne Warmwasserspeicher werden seit vielen Jahren von mehreren Herstellern angeboten und haben einen gewissen Marktanteil erreicht. In der Schweiz bisher aber nicht fest etabliert.</p>	<p>Warmwasser wird nicht zentral erwärmt, sondern dezentral z.B. am Wohnungseintritt. Durch Vermeidung von Warmwasserspeichern und Zuleitungen wird das Volumen des warmen Trinkwassers drastisch reduziert und somit der potentielle Lebensraum von Legionellen reduziert.</p>	<p>Die Erwärmung geschieht direkt (z.B. durch elektrische Durchlauferhitzer) oder durch Wärmetauscher zu einer zentral erwärmten Zirkulationsleitung. Die Wirksamkeit ist umstritten. Einerseits ist der Nutzen der Warmwasser-Volumenreduktion einleuchtend. Andererseits sollten sich in einem mit korrekter Zirkulation permanent heiss gehaltenen herkömmlichen System auch keine Legionellen vermehren. Der Energieverbrauch hängt von der konkreten Umsetzung ab. Die Reduktion der Warmwassertemperatur in der Wohnung kann aber Vorteile bringen. In der Praxis haben sich manche der relativ komplexen Anlagen als wartungsintensiv erwiesen.</p>
<p><b>Wasser chemisch desinfizieren</b></p> <p>In vielen Ländern Standard. In der Schweiz in der Daueranwendung nicht zulässig.</p>	<p>Dem Wasser werden Chemikalien zur Abtötung von Bakterien beige-setzt.</p>	<p>Die in vielen Ländern übliche Chlorung des Wassers gilt als wirksam. Für die Bekämpfung akuter Verkeimung werden auch in der Schweiz Desinfektionsmittel eingesetzt. Längere Stagnation reduziert jedoch auch die Wirkung von Desinfektionsmitteln, da die Konzentration mit der Zeit abnimmt. Desinfektionsmittel können auch die Lebensdauer von Rohrleitungen senken.</p>
<p><b>Weitere</b></p> <p>Frühe Entwicklungsphase</p>	<p>Startups arbeiten an diversen weiteren Ansätzen, z.B. der Entleerung von Leitungen während diese nicht genutzt werden, o.ä.</p>	<p>Neben der technischen Machbarkeit und der Wirksamkeit ist jeweils auch die Realisierbarkeit in der Praxis zu beurteilen. Eine völlige Abkehr von über Jahrzehnten entwickelten Installationsgewohnheiten stellt eine erhebliche Hürde dar.</p>

Tabelle 12. Lösungsansätze für die Legionellen-Problematik in Trinkwasseranlagen.

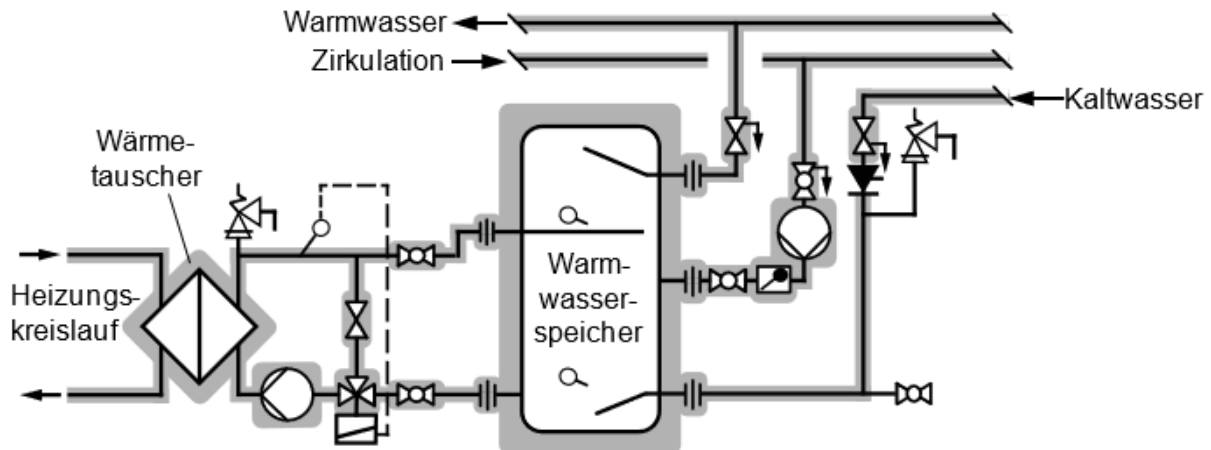
## 6.3 Analyse der unterschiedlichen Wassererwärmer

Bei Wassererwärmer wird im Wesentlichen unterschieden zwischen:

- 1) Speicherwassererwärmer (oder auch Warmwasserbereiter) → Erwärmung direkt im Speicher
- 2) Warmwasserspeicher → Erwärmung indirekt, respektive ausserhalb des Speichers
- 3) Durchflusswassererwärmer → Erwärmung zum Zeitpunkt des Bezugs (ohne Speicherung)

Speicherwassererwärmer (1) sind in kleineren Anlagen wie Einfamilienhäuser anzutreffen. Warmwasserspeicher (2) sind am häufigsten im Einsatz, z. B. in MFH, Hotel, Spital, Altersheim oder Sportanlagen. Durchflusswassererwärmer (3), auch Frischwasserstationen genannt, benötigen keine Warmwasserspeicherung, da das Wasser in einem Durchgang auf die gewünschte Temperatur (45°C resp. 60°C) zum Zeitpunkt des Bezugs erwärmt wird.

Die Warmwasserladung erfolgt bei allen drei Systemen über einen Wärmetauscher. Dieser trennt die Trinkwasserinstallation hydraulisch vom Heizungskreislauf. Die häufigste Warmwasserladung ist die Schichtladung (**Abb. 10**). Hierbei wird das Warmwasser von oben nach unten im Speicher geladen. Die Vorteile sind eine durchgehende und konstante Warmwasserschichtung bei einer minimalen Mischzone (kalt/warm) im Speicher.



**Abb. 10. Warmwasserspeicherung.** Beispiel einer Warmwasserspeicherung mit Schichtladung und Ladekreislauf mit Dreiwegeventil für die Temperaturhochhaltung (*Bildquelle: SVGW Richtlinie W3/E3, Vernehmlassung 2020*).

### Hygienische Beurteilung

**Grundsätzlich:** Bei Anlagen mit Warmwasserspeicherung, werden die Speichervolumen nach SIA 385/1 und SIA 385/2 ausgelegt. Damit ist sichergestellt, dass die Speichervolumina nicht überdimensioniert werden und maximal auf den täglichen Warmwasserbedarf begrenzt werden. Ein Hygienierisiko infolge Stagnation im Speicher – Voraussetzung ist der bestimmungsgemässe Betrieb – ist daher als eher gering einzuschätzen.

**Temperatur:** Die Warmwasserversorgung soll nach der bisherigen Regelung nach SIA-Norm 385/1 (Ausgabe 2011), Abschnitt 3.2.4 so ausgelegt werden, dass 60°C am Austritt des Wassererwärmer erreicht werden können. Abschnitt 3.2.3 regelt, dass Wasser, welches mehr als 24 Stunden eine Temperatur von 25°C bis 50°C hatte, während einer Stunde auf 60°C erwärmt werden soll. Mit der Neufassung SIA-Norm 385/1 (in Kraftsetzung voraussichtlich im Jahr 2020) kann die Temperatur am Speicheraustritt auf 55°C gesenkt werden. Die Auswirkungen auf die Trinkwasserhygiene sind aber bisher nur wenig untersucht und eine nachhaltige Beurteilung ist daher schwierig.



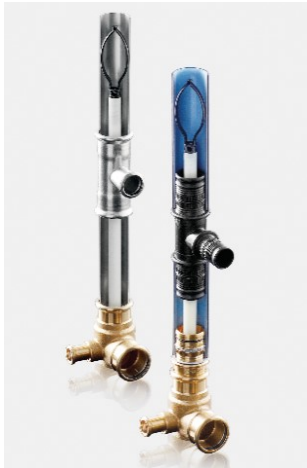
Durchflusswassererwärmer sind aus hygienischer Sicht insofern sinnvoll, dass diese keine Speicherung des Warmwassers benötigen. Allerdings werden die Anlagen oft mit einer Temperatur unterhalb von 55°C betrieben. In solchen Fällen wird eine tägliche Erwärmung auf 60°C während einer Stunde im gesamten System verlangt, also eine sogenannte Legionellenschaltung (siehe Kapitel 3.5.1). Die Anhebung auf 60°C während einer Stunde wird zwar in der Praxis angewendet, wissenschaftlich ist jedoch nicht belegt, dass dieses Temperaturniveau ausreichend und nachhaltig vor Legionellen-Problemen schützt.

**Werkstoffe:** Wassererwärmer und Wärmetauscher bestehen aus Edelstahl oder emailliertem Stahl. Diese Materialien entsprechen den gesetzlichen Vorgaben und stellen kein Problem dar. Weitere Komponente wie Flansch-Dichtungen oder Schutzanoden müssen ebenfalls den hygienischen Auflagen entsprechen. Allenfalls könnte die Verkalkung von Oberflächen einen hygienischen Einfluss haben.

## 6.4 Analyse der verschiedenen Warmhaltesysteme in Trinkwasseranlagen

Ein Warmhaltesystem stellt sicher, dass das Warmwasser in kurzer Zeit bei jeder Entnahmestelle zur Verfügung steht. Somit werden die Ausstossverluste möglichst geringgehalten und gleichzeitig wird der Komfort gesteigert. Die maximalen Warmwasser-Ausstosszeiten richten sich nach der SIA-Norm 385/1 und SIA 385/2. Nachfolgend ein Vergleich der zwei häufigsten Warmhaltesysteme in der Schweiz (**Tabelle 13**).

Ein weiteres Warmhaltesysteme, welches ausserhalb der Schweiz angewendet wird, ist das innenliegende Zirkulationssystem (Rohr in Rohr). Die Funktionsweise ist wie beim beschriebenen Rohr an Rohr System, jedoch mit dem Unterschied, dass die Zirkulationsleitung direkt in der Warmwasserleitung geführt wird (**Abb. 11**).



**Vorteile:** Die Wärmeverluste der Zirkulationsleitung werden deutlich reduziert und der Installationsaufwand verringert.

**Nachteile:** Reduzierung des Warmwasser-Rohrquerschnitts. Begrenzter Einsatzbereich bezüglich Rohrweiten.

**Abb. 11. Innenliegendes Zirkulationssystem.** Bildquelle: Geberit International AG, Jona.

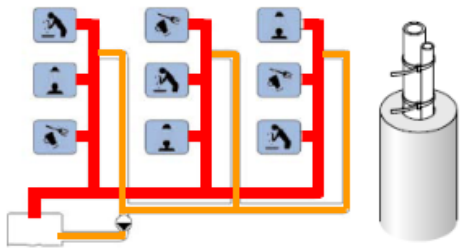
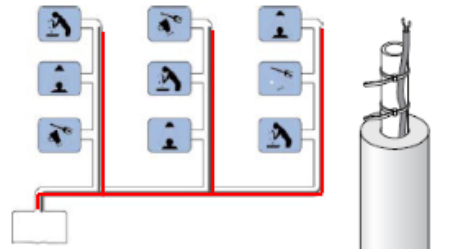
	Zirkulationssystem Rohr an Rohr	Begleitheizband
<b>Schematische Darstellung</b>		
<b>Beschreibung</b>	Das Warmwasser im Leitungsnetz wird mittels Zirkulationspumpe permanent umgewälzt. Die Temperatur wird so aufrecht gehalten ( $\geq 55^{\circ}\text{C}$ ). Die Zirkulationsleitung wird i.d.R. direkt an der Warmwasserleitung verlegt (Rohr an Rohr). Die Wärmedämmung umhüllt beide Leitungen.	Das Warmwasser im Leitungsnetz wird durch ein selbstregulierendes Begleitheizband auf gewünschter Temperatur (bis $65^{\circ}\text{C}$ ) gehalten. Durch die Selbstregulierung wird z.B. bei Warmwasserbezug die Energieabgabe des Begleitheizbandes reduziert. Die Befestigung erfolgt direkt an die Warmwasserleitung.
<b>Einsatzbereiche</b>	Wohnungsbau (MFH), Hotel, Spital, Altersheim	Wohnungsbau (MFH/EFH), Hotel
<b>Anwendung</b>	80%	20%
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zuverlässige Funktion, wenn einreguliert</li> <li>• Energieaufwand geringer</li> <li>• Deckung der Leitungswärmeverluste mit verschiedenen Energiearten möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine zusätzlichen Rohrleitungen</li> <li>• Geringeres Wasservolumen</li> <li>• Geringe Investitionskosten</li> <li>• Einfache Planung/Berechnung</li> <li>• Einfache und platzsparende Montage</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zusätzliche Rohrleitungen</li> <li>• Grösseres Wasservolumen</li> <li>• Investitionskosten</li> <li>• Speicherauskuhlung durch Wärmeverluste</li> <li>• Eingriff in Speicherschichtung</li> <li>• Montageaufwand und Platzbedarf</li> <li>• Pro Strang jeweils ein Regulierorgan notwendig</li> <li>• Aufwand bei Planung/Berechnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Energieaufwand (9 W/m bei <math>55^{\circ}\text{C}</math>), Betriebskosten</li> <li>• Deckung der Leitungswärmeverluste erfolgt mittels Elektroenergie</li> <li>• ab ca. 65 m Heizbandlänge ist ein zusätzlicher Leistungssteller notwendig</li> <li>• Benötigt eine Steuerung für diverse Einstellungen</li> <li>• Kürzere Lebensdauer</li> <li>• Störungsanfälliger</li> </ul>
<b>Betriebszeit</b>	Üblicherweise 24 Stunden	24 Stunden (Energieabgabe ist selbstregulierend)
<b>Beurteilung bezüglich Trinkwasserhygiene</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ein hydraulischer Abgleich aller Stränge ist substanziell. Erfolgt dieser nicht korrekt, zirkuliert das Warmwasser nicht in allen Strängen, was einer Stagnation gleichkommt.</li> <li>• Im Weiteren ist unklar, was bezüglich Wasseraustausch innerhalb der 72 Stunden geschieht. Das Wasser im Zirkulationsnetz wird durch die permanente Umwälzung eher nur verdünnt, nicht aber ausgetauscht.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Beim Begleitheizband wird das Wasser nicht umgewälzt/ ausgetauscht; Stagnation ist möglich.</li> <li>• Problematisch kann die einwandfreie Funktion eines Heizbands über die gesamte Lebensdauer der Warmwasseranlage sein. Dies kann ein gewisses Hygienrisiko darstellen, wenn das Heizband die Warmwasserleitungen nicht mehr auf <math>55^{\circ}\text{C}</math> erwärmt.</li> </ul>

Tabelle 13. Vergleich der zwei häufigsten Warmhaltesysteme in der Schweiz.

## 6.5 Analyse der Wirksamkeit der Legionellenschaltung

### 6.5.1 Die Legionellenschaltung

Die Legionellenschaltung ist eine (periodische) thermische Desinfektion. Für eine korrekte thermische Desinfektion muss der Wassererwärmer sowie das gesamte Warmwasserverteilsystem inklusive aller Entnahmestellen während mindestens 3 Minuten auf über 70°C erwärmt werden.

Der Begriff der „Legionellenschaltung“ wird auch im Zusammenhang mit Durchflusswassererwärmer (Frischwasserstationen), Solaranlagen oder Wärmepumpen verwendet, da bei diesen Anlagen fallweise nicht immer sichergestellt ist, dass eine Temperatur von 60°C im System erreicht wird. Hersteller solcher Anlagen bieten daher eine Steuerung mit der sogenannten Legionellenschaltung an. Dabei wird der Wassererwärmer periodisch (z.B. einmal im Tag) während einer Stunde auf 60°C erwärmt. Dies erfolgt mittels Elektroeinsatz oder anderen zusätzlichen Energiequellen, im Falle einer Wärmepumpe seltener auch mit der Wärmepumpe selber. Das gesamte Leitungsnetz und die Entnahmestellen werden jedoch i.d.R. nicht mitberücksichtigt, da dies in der Praxis während dem laufenden Betrieb kaum umsetzbar ist, respektive dies nicht automatisch erfolgen kann und somit manuelles Öffnen an jeder Entnahmestelle erfordert. Die korrekte Durchführung - bis und mit Entnahmestellen - wäre für den Erfolg massgebend.

**Fazit:** Die Wirksamkeit der Legionellenschaltung ist in Fachkreisen eher umstritten. Einerseits ist es gängige Praxis, und Probleme sind nicht direkt bekannt, andererseits kann die nicht korrekte Durchführung auch eine falsche Sicherheit vermitteln.

### 6.5.2 Alternative Installationsarten

Alternative Installationsarten sind im Kapitel 3.3.2 miterfasst und beschrieben.

## 6.6 Fragen der Qualitätssicherung unterschiedlicher Anforderungen

### 6.6.1 Anforderungen an die Selbstkontrolle von öffentlichen Duschanlagen

Betreiber von öffentlichen Duschanlagen sind zur Selbstkontrolle verpflichtet (Art. 26 LMG). Sie müssen die Qualität des Duschwassers überprüfen und sicherstellen, dass das Duschwasser den gesetzlichen Anforderungen entspricht.

Es ist aktuell nicht klar geregelt, welche Kontrollen in welchem Intervall und in welchen Massnahmen vom Betreiber einer öffentlichen Duschanlage durchgeführt werden müssen. Die Betreiber haben aufgrund ihrer eigenen Risikobeurteilung die nötigen Massnahmen zu definieren, um jederzeit die Einhaltung der Höchstwerte sicher zu stellen. Verschiedene nationale und internationale Richtlinien geben Empfehlungen für Legionellen-Präventionsmassnahmen. Diese sind nicht immer gleich. Die **Tabelle 14** gibt einen Überblick über die Bandbreite der Richtwerte Legionellen, Kontrollintervalle und Soll-Werte für die Betriebstemperaturen.

Die SVGW-Richtlinie W3 E4 "Risikobasierte Selbstkontrolle in Gebäude-Trinkwasser-installationen" gibt Anweisung, wie die Selbstkontrolle nach den Regeln der Technik auszuführen ist. Die Richtlinie ist noch nicht in Kraft getreten. Sie ist aktuell in der Vernehmlassung und wird voraussichtlich 2021 in Kraft treten.

Parameter	Bandbreite der Empfehlungen im internationalen Vergleich
Höchstwert für Legionellen Normalgebäude	CH: Höchstwert 1'000 KBE/L D: >100 KBE/100 ml Massnahmenwert F: <1'000 KBE/L GB: Normalrisiko:10 KBE - 100 KBE USA: <1'000 KBE/L, und kein Wachstum auf Tupfer

Höchstwert für Legionellen Risikogebäude	CH: <100 KBE/L oder nicht nachweisbar WHO: High Risk Bereiche 0 KBE/L F: Dusche Normal-Patient: <100 KBE/L Dusche Hoch-Risiko 0 KBE/L GB: <10 KBE/L D: Zielwert 0 KBE/100 ml
Soll-Temperatur Speicher	CH: mindestens 55 oder 60°C Mehrheitlich 60°C Bandbreite 55 bis 70°C
Soll-Temperatur Warmgehaltenes Verteilnetz	Mehrheitlich 55°C CH: 55°C 50 bis 60°C
Soll-Temperatur Dusche, Entnahmestelle	Mehrheitlich 50°C 50 bis 60°C
Soll-Temperatur Kaltwasser	CH: 25°C 20 bis 25°C
Maximale Stagnation des Trinkwassers in den Gebäudeinstallationen	3 Tage bis 14 Tage
Kontrollintervall für Legionellen	Keine Kontrolle bis vierteljährlich
Kontrollintervall für Temperatur	Täglich bis alle 3 Monate

**Tabelle 14. Überblick über die Bandbreite der Richtwerte Legionellen, Kontrollintervalle und Soll-Werte für die Betriebstemperaturen. [235].**

## 6.7 Lüftungs-, Klima- und Kältetechnik

### 6.7.1 Rückkühlanlagen

Eine Checkliste zur Inbetriebnahme, Wartung und Überwachung von Rückkühlssystemen ist im **Anhang 3** aufgeführt. Die betroffenen Parameter umfassen die Wasserqualität (Roh-, Kühl und Speisewasser, Abwasser, Entleerung), Luftqualität (Ansaugluft), Funktionalität (Mess- und Regelorgane, Abschlämmen, Pumpen, Filter), Bauteile, Komponenten und Werkstoffe (Gehäuse, Füllkörper, Sprühdüsen, Tropfenabscheider, Rohrleitungen, Kühlwasser-Sammelwanne), sowie Ablagerungen und Korrosion von allen Komponenten.

### 6.7.2 Raumluftechnik-Anlagen

Gemäss **Tabelle 4** sind Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser bezüglich Legionellenrisiko die kritischsten Komponenten in RLT-Anlagen. Bei der Versprühung des Umlaufwassers im Zuluftstrom werden systematisch Aerosole gebildet. Diese Bauart, die auch als Luftwäscher bezeichnet wird, kommt vorwiegend bei alten (> 20 Jahre) RLT-Anlagen vor, oft in Klimaanlageanlagen, und ist am Verschwinden. Das Umlaufwasser wird in einem Behälter gespeichert, in den auch das Speisewasser fliesst. Das Speisewasser ist meistens behandelt (Enthärtung). Oft werden für das Umlaufwasser Entkeimungsanlagen eingesetzt. Eine gängige Lösung ist die Bestrahlung des Wassers mit UV-C.

In der Hygiene-Richtlinie SWKI VA 104-01 "*Raumluftechnik - Luftqualität - Teil 1: Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte*" wird dem Umlaufwasser sehr viel Beachtung geschenkt. Bei

der Erstellung wird gemäss Ziff. 6.3.7 gefordert (Zitat): „*Es muss gewährleistet werden, dass in Stillstandsphasen der Anlage oder in Zeiträumen ohne Befeuchtungsanforderung, die länger als 48 Stunden andauern, die Wanne und die Leitungen vollständig entleert werden können.*“ (Ende Zitat).

Bei der Instandhaltung werden gemäss SWKI VA 104-01, Ziff. 7.6, Tabelle 8 neben Reinigungsarbeiten und visuellen Kontrollen eine halbmonatliche Ermittlung der Gesamtkoloniezahl gefordert. Bei der Hygieneinspektion, die mindestens alle zwei Jahre durchzuführen ist, wird eine Probenahme zur Bestimmung der Legionellen-Konzentration durchgeführt. Ein kritischer Befund liegt vor, wenn die Legionellen-Konzentration 100 KBE/100 ml übersteigt. Neben Anforderungen an das Umlaufwasser stellt die SWKI VA104-1 auch Anforderungen an konstruktive Massnahmen, wie eine ausreichende Befeuchtungsstrecke und Tropfenabscheider.

Die ausführlichen Beschreibungen der hygienisch sensiblen Komponenten und Prozesse finden sich im **Anhang 4**. Dort sind auch Hinweise auf die Anforderungen an die Instandhaltung (Kontrolle, Wartung, Hygieneinspektion) aufgeführt.

## 7 Risikoanalyse

### 7.1 Generelle Risikofaktoren

Es gibt generell vier Faktoren, die das Risiko an Legionellose zu erkranken beeinflussen:

- a) Vermehrung und Verbreitung des Erregers *Legionella*
- b) Exposition
- c) Virulenz der Legionellen
- d) Anfälligkeit der exponierten Individuen

Eine ganzheitliche Risikoanalyse sollte alle 4 Faktoren berücksichtigen und sich nicht nur auf a) und b) beschränken.

#### 7.1.1 Unterscheidung epidemische Ausbrüche versus sporadische Fälle

Bei der Risikoanalyse ist wichtig zwischen zwei verschiedenen Arten von Legionellose-Fällen zu unterscheiden: epidemische Ausbrüche und sporadische Ausbrüche. Bei den epidemischen Ausbrüchen ist der Auslöser von Erkrankungen eine Infektionsquelle mit hoher Konzentration von virulenten Legionellen. Währenddessen sporadische Fälle mehrheitlich durch das Verhalten und den Immunstatus der Einzelperson beeinflusst wird.

##### *Epidemische Ausbrüche*

Definitionsgemäss handelt es sich um mindesten 2 Fälle, welche auf eine einzelne Infektionsquelle zurückzuführen sind. Das Auftreten von Krankheitsfällen, die über das hinausgehen, was normalerweise in einer bestimmten Gemeinde, einem geographischen Gebiet oder einer Jahreszeit erwartet werden (WHO-Definition).

Die Infektionsquellen für epidemische Ausbrüche können Duschen, Kühltürme, Klimaanlage, Autowaschanlagen, Dentaleinheiten beim Zahnarzt etc. sein. Kennzeichnend für diese Fälle ist, dass die Konzentration und Virulenz der Legionellen so hoch sind, dass mehrere Personen gleichzeitig an Legionellose erkranken. Die Legionellose ist meldepflichtig. Der Kantonsärztliche Dienst sollte bei seinen Abklärungen mit Hilfe des Fragebogens [236], gemeinsame Infektionsquellen erkennen. Erstaunlich wenige sogenannte epidemische Ausbrüche sind für die Schweiz dokumentiert [237-239]. Die Frage ist offen, ob aus Mangel an Wissen und Ressourcen für Abklärungen diverse Infektionsquellen unerkannt bleiben und zu weiteren, vermeidbaren Erkrankungen führen (siehe Kapitel 4.2). Um das Risiko von epidemischen Ausbrüchen abschätzen zu können, sind vor allem die Legionellen-Konzentration und Virulenz sowie Exposition entscheidend.

##### *Sporadische Fälle*

Sporadische Fälle sind Krankheitsfälle, die selten und unregelmässig auftreten. In Bezug auf Legionellen sind es die Fälle, die nicht mit einem Ausbruch verbunden sind. Es können weder zeitliche noch örtliche Muster erkannt werden. Entsprechend sind die Infektionsquellen ungleich schwerer nachzuweisen. **Tabelle 15** listet Legionellen-Infektionsquellen (mit absteigendem Risiko).

Das Risiko von sporadischen Ausbrüchen ist personenbezogen und weniger abhängig von der Infektionsquelle. Es muss im Einzelfall untersucht werden, warum gewisse Personen an Legionellose erkranken und andere nicht. Im Fokus steht der Immunstatus einer Person. Insbesondere sind immunsupprimierte Personen gefährdet, welche sich mit relativ tiefen Legionellen-Konzentrationen sporadisch infizieren können. Eine offene Frage ist, ob immungeschwächte Personen sich mit Legionellen-Konzentrationen unter den gesetzlichen Höchstwerten anstecken können. Wäre dies der Fall, so wären die Risikogruppen nicht genügend mit den geltenden Höchstwerten geschützt. Diese Personen müssten besonders informiert werden und sich mit zusätzlichen Massnahmen schützen.

Aufgrund der Datenlage ergeben sich eine Reihe von kritischen Fragen:

- a. Würden die Kantonsärztlichen Dienste einen Ausbruch oder spezielle Infektionsquellen erkennen?
- b. Wer könnte die Beprobungen und Analysen durchführen (z.B. Kühltürme, Klimaanlage) – Kantonale Laboratorien, Bund, noch zu bestimmende Speziallabore?
- c. Nach welchen Kriterien würde beurteilt werden, welche gesetzlichen Vorschriften gelten (TBDV, Branchenleitlinien)?
- d. Lückenhaftes Gesetz wurde eingeführt, aber Ressourcen fehlen für Kontrollen.
- e. Wer schliesst die Gesetzeslücken (Kühltürme, Klimaanlage, Autowaschanlagen, Dentaleinheiten, etc.)? Eine Möglichkeit wäre, dass die jeweiligen Branchenverbände in sogenannten Branchenleitlinien die Legionellen-Präventionsmassnahmen für Ihre Branche definieren.

## 7.2 Fehlende Informationen in der Schweiz

Die ersten Publikationen zur Legionellose aus der Schweiz stammen aus den späten 70er Jahren. Eine Meldepflicht gibt es aber erst seit 1988. Erste gesamtschweizerische Daten wurden 1989 publiziert. Bei einem Legionellose-Fall muss das Meldeformular vom behandelten Arzt ausgefüllt werden [236]. Es werden die Angaben bezüglich den möglichen Ansteckungsorten auf der Meldung zum klinischen Befund kategorisiert. War die Person in den zwei bis vierzehn Tagen vor Manifestationsbeginn stationär hospitalisiert, wird der Fall als „nosokomial“ klassiert. Lebt die Person in einem Altersheim, wird der Fall als „Altersheim-assoziiert“ eingestuft. Hat die Person in einem Hotel oder sonstigem Ort auswärts übernachtet, wird der Fall als „Reise-assoziiert“ angesehen. Könnte die Infektion in Ausübung des Berufes erworben sein, gilt der Fall als „Beruf-assoziiert“. Alle anderen Fälle werden als „im Alltag-erworben“ bezeichnet. Damit beinhaltet die Klassifikation „im Alltag erworben“ verschiedene Gruppen von Ansteckungsmöglichkeiten: Fälle, bei denen vermutet oder nachgewiesen wurde, dass sich die Person im Alltag angesteckt hat, beispielsweise bei sich zu Hause unter der Dusche oder beim Hantieren mit Gartenerde. Diese Kategorie beinhaltet aber auch Fälle, in denen kein Anhaltspunkt für eine mögliche Infektionsquelle besteht.

Trotz dieser Kategorisierung ist über die eigentliche Infektionsquellen der Legionellose-Erkrankten relativ wenig bekannt [240,241]. Der Anteil der Alltags-assoziierten Legionellose-Erkrankungen ist mit 60 bis 70% hoch. Somit hat man in der Mehrheit der Fälle höchstens Vermutungen aber keine klaren Beweise, welches die Infektionsquellen waren.

Dies hat mehrere Gründe:

- a. Fehlender genotypischer Vergleich von klinischen und Umweltproben
- b. Nur in wenigen Fällen waren weitergehende Abklärungen möglich
- c. Vorhandene Gesetzeslücken

In der Schweiz werden in den wenigsten Fällen klinische Proben genommen [242]. Somit ist ein genetischer Vergleich zwischen Proben aus der Klinik und der Umwelt nicht möglich, und der letztendliche Beweis zur Identifizierung der Infektionsquelle kann nicht erbracht werden.

Auch fehlen bei den Kantonalen Laboratorien wie auch bei den kantonsärztlichen Diensten die Ressourcen für umfangreiche Abklärungen. Nur stellenweise wurden weitergehende epidemiologische Abklärungen durchgeführt. Im Kanton Baselstadt wurde aufgrund von epidemiologischen Abklärungen vermutet, dass ca. 40% der Legionellosen durch Kühltürme verursacht wurden [238]. Im Kanton Zürich haben Abklärungen ergeben, dass mit grosser Wahrscheinlichkeit im Jahre 2018 drei Legionellose-Fälle auf eine Legionellen-kontaminierte Autowaschanlage zurückzuführen waren [237].

Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

Gefährdung (potentielle Legionellen-Quelle)	Wahrscheinlichkeit 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Ausmass 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Exposition	Vorkommen Legionellen	Risikofaktoren	Vulnerabilität	Akzeptanz (Emotionalität Schrecklichkeit)	Informiertheit Schweiz	Informiertheit Ausland	Bemerkungen
Lauwarme Gebäude-Trinkwasseranlage	1	2 Sporadische Fälle bis lokale Ausbrüche	Dusche, Lavabo	Kontamination Gebäude-Trinkwasserinstallation, aufgrund Temperatur sehr wahrscheinlich	Temperatursenkung wegen Energieoptimierung oder unsachgemässer Ausführung	Durchschnitt	Nicht akzeptabel, entspricht nicht Regeln der Technik, kann zu Haftungsklagen führen	Soll-Temperaturen in nationalen Richtlinien definiert SVGW W3 und SIA 385/1	Ähnliche Soll-Temperaturen in Regelwerken	Herausforderung für die Zukunft: Duschwasserhygiene und Energieoptimierung vereinbaren
Wohnung mit Bewohner älter (>65 Jahre) oder mit Vorerkrankung	1	2 Sporadische Fälle	Dusche, Lavabo	Legionellenkontaminationen in ca. 10 bis 30% der Proben	Geschwächtes Immunsystem der Bewohner führt zu Infektionen unterhalb des Höchstwertes	Überdurchschnittlich, immunsupprimiert	Die Einstellung was lange gut ging wird auch im Alter gut gehen, führt zu unnötigem Risiko	Problem bei Ärzten bekannt, Bewusstsein bei älteren Personen zu wenig vorhanden	Ähnlich wie CH: Risikogruppen müssen sich selber schützen	Eventuell kein genügender Schutz durch Höchstwerte oder Regel der Technik
Öffentliche Duschen (sensibel) Spitäler Altersheime Pflegeheime	1	1-2 Sporadische Fälle bis Ausbruch	Dusche, Gebärdwannen	Legionellenkontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Gebäude-Trinkwasserinstallation	Komplexe Gebäude, immunsupprimierte Personen, wechselnde Belegung	Überdurchschnittlich, immunsupprimiert	Speziell hoher Standard in öffentlichen Anlagen mit immunsupprimierten Personen gefordert	Erhöhte Anforderungen definiert in Empfehlungen (BAG/BLV-Module)	Spezielle Anforderungen in diversen Richtlinien definiert	In Zukunft wird der Trinkwasserhygiene vermehrt Beachtung geschenkt werden
Kühltürme	2 Nur wenige Fälle in CH dokumentiert	1 Grosse Ausbrüche mit mehreren hundert Infizierten möglich	Bewohner im Umkreis von mehr als 10 km, Arbeiter bei Revision, Besucher	Legionellenkontamination je nach Betrieb und Unterhalt des Kühlturmes	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt	Durchschnittlich	Bislang geschah kein Ausbruch mit mehreren hundert Legionellose-Erkrankten, deshalb wird das Risiko in CH zu wenig beachtet	“Nur” Verbandsrichtlinien Keine gesetzlichen Höchstwerte Werkeigentümerhaftung	a) Gesetzliche Höchstwerte und Pflicht zur Selbstkontrolle b) Meldepflicht für grosse Kühltürme	<b>Grosse Lücken:</b> a) Offene Fragen wie Relevanz, Anzahl Anlagen, Standard von Unterhalt und Betrieb



Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

Gefährdung (potentielle Legionellen-Quelle)	Wahrscheinlichkeit 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Ausmass 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Exposition	Vorkommen Legionellen	Risikofaktoren	Vulnerabilität	Akzeptanz (Emotionalität Schrecklichkeit)	Informiertheit Schweiz	Informiertheit Ausland	Bemerkungen
<b>Benetzte Wärmeüberträger</b>	2	2	Bewohner im näheren Umkreis	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Anlage	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt					b) Keine gesetzliche Regulation nur Richtlinien c) Keine amtlichen Kontrollen d) Keine Meldepflicht für Anlage somit kein Betriebsregister
<b>Klimaanlage</b>	2	1-2 Grosse Ausbrüche dokumentiert	Bewohner und Nutzer	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Anlage	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt	Durchschnittlich	Gefahr besteht nur wenn Luft befeuchtet wird, selten der Fall in der Schweiz	“Nur” Verbandsrichtlinien Keine gesetzlichen Höchstwerte	a) Gesetzliche Höchstwerte und Pflicht zur Selbstkontrolle	Gesetzliche Lücken und fehlende Kompetenzen bei Behörden
<b>Whirlpool</b>	2	2 Einzelfälle	Badebenutzer öffentlich und privat	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Anlage	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt; Unterhalt der privaten Whirlpools wird zum Teil stark vernachlässigt	Durchschnittlich	Bei privater Nutzung fehlt Fachwissen für einwandfreien Betrieb	Öffentliche Whirlpools geregelt Bei privaten Whirlpools wird beim Verkauf zu wenig auf Problem hingewiesen	Ausland ähnlich	Öffentliche Badeanlagen: Gesetzliche Grundlage für Kontrollen und Höchstwerte gegeben durch TBDV  Problem der privaten Whirlpools wegen mangelhafter Wartung
<b>Autowaschanlage</b>	2	2 Vermehrte Einzelfälle	Benutzer und Mitarbeiter	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt	Durchschnittlich	Gefahr besteht, wenn aus Umweltschutzgründen Wasser recycelt wird	Einzelne Messungen Keine gesetzlichen Höchstwerte	Einzelne Messungen durchgeführt	In Zukunft sollte zumindest eine Branchenleitlinie erarbeitet werden

Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

Gefährdung (potentielle Legionellen-Quelle)	Wahrscheinlichkeit 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Ausmass 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Exposition	Vorkommen Legionellen	Risikofaktoren	Vulnerabilität	Akzeptanz (Emotionalität Schrecklichkeit)	Informiertheit Schweiz	Informiertheit Ausland	Bemerkungen
				und Unterhalt der Anlage				Keine Branchenrichtlinie	Einzelne Studien erarbeitet	
<b>Dentaleinheit</b>	2	2 Vermehrte Einzelfälle	Patient und Mitarbeiter	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Anlage	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt Ältere Patienten	Durchschnittlich	Nichtnutzung über das Wochenende	Messkampagnen durchgeführt, Zahnärzte der Problematik bewusst	Ähnlich zu CH	Eine Branchenleitlinie wird erarbeitet
<b>Mietwohnung</b>	1-3 Je nach Betriebsart	2-3 Einzelfälle bis lokale Ausbrüche	Bewohner der Mietwohnung	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Gebäude-Trinkwasserinstallation	Mangelhafter Betrieb und Unterhalt Immunsupprimierte Personen	Gemischt, das heisst einzelne immunsupprimierte Mieter sind zu erwarten	Mangelhafter Betrieb	Die Verantwortung der Gebäudeverantwortlichen als kleiner Wasserversorger muss vermehrt bewusst gemacht werden	In Deutschland sind mindestens alle 3 Jahre Legionellenkontrollen in Mietwohnungen vorgesehen	a) Streben in den eigenen 4 Wänden alt zu werden b) keine Standard-Höchstwerte für Mietwohnungen c) Allgemein anerkannte Regeln der Technik genügen eventuell nicht für Mieter mit geschwächtem Immunsystem
<b>Öffentliche Duschen, Hotels, Schulen, Sportanlagen, Personalduschen etc.</b>	2-3	1-3 Sporadische Fälle bis Ausbruch	Duschen	Legionellen-Kontamination je nach Betrieb und Unterhalt der Gebäude-Trinkwasserinstallation	Komplexe Gebäude, wechselnde Belegung oder periodische Nichtnutzung	Durchschnittlich	Hoher Standard in öffentlichen Anlagen gefordert	Höchstwerte und Selbstkontrolle gemäss TBDV	Anforderungen in diversen Gesetzen und Richtlinien definiert	Noch nicht immer klar geregelt, was eine öffentliche Mietwohnung ist und was nicht

Situations- und Risikoanalyse von Legionellen in Gebäuden

Gefährdung (potentielle Legionellen-Quelle)	Wahrscheinlichkeit 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Ausmass 1 Hoch 2 Mittel 3 Klein	Exposition	Vorkommen Legionellen	Risikofaktoren	Vulnerabilität	Akzeptanz (Emotionalität Schrecklichkeit)	Informiertheit Schweiz	Informiertheit Ausland	Bemerkungen
<p><b>Diverse in ihrer Bedeutung unbekannte Infektionsquellen</b></p> <p>a) ARA b) Regenpfützen c) Gartenschläuche d) Kompost/Erde e) Wasserspiele etc.</p>	<p>2-3</p> <p>Bis jetzt nur wenige Fälle dokumentiert, werden von den aktuellen Kontrollsystemen nicht erkannt</p>	<p>1-3</p> <p>Bis jetzt keine oder nur Einzelfälle, sehr schwierig zukünftige Fälle abzuschätzen</p>	<p>Viele Informationen fehlen wie Zuordnung Infektionsquelle zu infizierter Person etc.</p>	<p>Vermutet aber selten bis nicht gemessen</p>	<p>Ausmass unbekannt, viele Informationen fehlen</p>	<p>Durchschnittlich bis überdurchschnittlich</p>	<p>Restrisiko ist wegen Unwissenheit unbekannt</p>	<p>Ressourcen fehlen bei Legionellosefällen für weitergehende Abklärungen. In der grossen Mehrheit der Legionellosefälle bleibt die Ursache unbekannt</p>	<p>In einzelnen Ländern wie D, F, GB oder USA wurden Studien durchgeführt</p>	<p>Steigende Fallzahlen in praktisch allen Ländern. Über den Beitrag von unbekanntem Quellen können nur Vermutungen angestellt werden</p>

Tabelle 15. Legionellen-Infektionsquellen mit absteigendem Risiko.



Nur gerade öffentliche Duschanlagen, Whirlpools und Dampfbäder sind gesetzlich reguliert. Für die anderen Bereiche wie Kühltürme, Klimaanlage oder Autowaschanlagen, Dentaleinheiten etc. fehlen gesetzliche Höchstwerte. Auch fehlt die gesetzliche Grundlage, um amtliche Kontrolle durchzuführen. Deshalb fehlen in praktisch allen Kantonen Messdaten wie auch Listen von möglichen Infektionsquellen wie Kühltürmen.

Die genannten fehlenden Informationen verunmöglichen eine klassische Risikoanalyse. Es können lediglich Risiken gemäss aktueller vorherrschender Expertenmeinung abgeschätzt werden wie auch Vergleiche mit dem Ausland gezogen werden.

## 7.3 Gefahrenquellen

In der Literatur sind viele Legionellose-Quellen beschrieben worden, bei denen wir die Ausbreitung von Legionellen kontrollieren können (Wasserverteilungssysteme und andere Systeme mit Wasser im Kreislauf), während es andere gibt, bei denen wir leider nicht eingreifen können (wie Flüsse, Böden und andere Umweltquellen). Angesichts des Mangels an veröffentlichten Daten über diese Umweltquellen ist es derzeit schwierig, das tatsächliche Risiko einer Exposition gegenüber der Krankheit aus gemeinschaftlichen Quellen abzuschätzen.

Das Auftreten von epidemischen versus sporadischen Fällen und der Einfluss von Wetter sind Parameter, die nur schlecht verstanden werden. Ausserdem unterscheiden sich Bakterienstämme, die bei Patienten gefunden werden, oft von denen, die in Wassersystemen vorkommen. Vielleicht, weil wir an der falschen Stelle suchen?

## 7.4 Gebäudetypen

### 7.4.1 Trinkwasseranlagen

Wie in Kapitel 6.1 dargelegt, unterscheiden sich Gebäude hinsichtlich des Risikos durch ihre Bewohner und die Art der Installation. Die Bewohner eines Altersheims und die Patienten eines Spitals sind aufgrund von Alter und Vorerkrankungen stärker gefährdet an Legionellose zu erkranken, als der Durchschnitt der Bevölkerung. Dies ist aber keine (technische) Eigenschaft des Gebäudes, sondern lediglich eine Folge der Nutzung.

Die Art der Rohrinstallation bestimmt, ob es zu Stagnation kommen kann, welche den Legionellen Zeit zur Vermehrung gibt. Das Risiko ist jedoch wiederum durch die Nutzung beeinflusst. Die in der Schweiz üblichen Einzelzuleitungen zu den Sanitärapparaten stellen kein Problem dar, solange *alle* Sanitärapparate regelmässig genutzt werden. Sobald ein Gebäude oder Teile davon aber längere Zeit ungenutzt bleiben, ergeben sich Unterschiede. Die meisten Gebäude verfügen über keine Vorkehrungen, um eine Stagnation des Wassers zu verhindern. Dann muss entweder manuell gespült werden, oder das Risiko für eine Vermehrung von Bakterien steigt. Wird die Stagnationsproblematik bei Nutzungsunterbrüchen schon bei der Planung berücksichtigt, so können technische Vorsichtsmassnahmen ergriffen werden. Diese können in einer die Stagnation möglichst verhindernden Rohrführung bestehen oder z.B. automatische Spülvorrichtungen beinhalten. Im Bestand sind derlei Massnahmen rückwirkend oft nur mit grossem Aufwand umzusetzen. Immer problematisch sind „Totleitungen“ zu nicht genutzten Anschlüssen, da hier das Wasser unabhängig von der sonstigen Nutzung des Gebäudes stagniert.

Das Risiko in der Trinkwasseranlage hängt also nicht eigentlich vom „Gebäudetyp“ ab, sondern von der Nutzung des Gebäudes und den Details der Trinkwasserinstallation.

## 7.5 Gebäudetechnikanlagen

### 7.5.1 Rückkühlungsanlagen

Allgemeine Angaben zu Rückkühlungsanlagen sind im **Anhang 3** aufgeführt. Risiken entstehen durch die Qualität der Luft auf der Ansaugseite (Luft-Kurzschluss, Aerosol aus der Nachbarschaft), der Zufuhr von Mineralstoffen und organischen Substanzen (Algen), Ablagerungen (Schlamm), verändertem Oberflächenzustand (Korrosion, Kalk). Insbesondere entstehen Risiken, wenn Unterhalt und Wartung nicht durchgeführt werden oder bei schlechter Planung der Anlage.

### 7.5.2 Raumluftechnik-Anlagen

In RLT-Anlagen können nasse Oberflächen (Tropfen, Wasserfilme) und stehendes Wasser durch verschiedene Prozesse und Phänomene verursacht werden. Auf Sprühbefeuchter wird wegen der systematischen und prozessbedingten Aerosolbildung noch separat eingegangen. Abgesehen von Sprühbefeuchtern kann flüssiges Wasser bei Dampfbefeuchtern, Kühlern, Tropfenabscheidern und Auffangwannen vorkommen. Weiter können mangelhafte Aussenluftfassung oder Fehler im Bauprozess zu stehendem Wasser in Luftleitungen führen.

Da feuchte und nasse Stellen allgemein hohe mikrobielle Risiken darstellen, werden in den Normen und RLT-Hygienerichtlinien gebührend behandelt. Präventionsmassnahmen sind beispielsweise:

- Tropfenabscheider
- Ausreichendes Gefälle in Wannen
- Ausreichende Befeuchtungsstrecken nach Luftbefeuchtern
- Minimaler Lamellenabstand bei Kühlern
- Trockenfahren vor dem Ausschalten von RLT-Anlagen
- Kontrollen und Hygieneinspektion

In RLT-Anlagen sind die Luftgeschwindigkeiten in der Regel zu tief um Tropfen von stehendem Wasser oder von feuchten Stellen abzureissen.

Bei Dampfbefeuchtern und Kühlern entsteht Wasser (zuerst als Tropfen, später evtl. als Rinnsal) durch Kondensation. Beim Abtropfen können sich allenfalls Aerosole bilden. Mindestens im Moment der Kondensation ist dieses Wasser keimfrei. Das Risiko, dass diese isolierten Wasseransammlungen mit Legionellen kontaminiert werden, wird als sehr gering beurteilt. Bei Kühlern kommt dazu, dass die Wassertemperatur typischerweise unter 20°C liegt.

Wie in 3.7.2 dargelegt ist, bilden Sprühbefeuchter mit Umlaufwasser systematisch Aerosole. Selbst hier wird das Legionellenrisiko bei einem einwandfreien Betrieb als sehr gering beurteilt. Bei üblichen Rahmendbedingungen (Wassertemperatur, Filter) dürfte auch bei hygienisch mittelmässigen RLT-Anlagen nur ein geringes Risiko bestehen. Es ist aber gut möglich, dass es (eine unbekannte Anzahl von) Anlagen gibt, bei den die Betreiber das Risiko nicht kennen und die Anlage nicht mit entsprechender Sorgfalt (Wartung, Reinigung) betreiben.

Die aktuellen Normen und Richtlinien, insbesondere die SWKI VA-104-01, definieren konstruktive und betriebliche Massnahmen, um das Risiko von Legionellen zu minimieren. In der Wegleitung zu Art. 17 des Arbeitsgesetzes wird auf die Richtlinien und Normen Bezug genommen, wenn auch nicht immer auf die aktuellsten Versionen. Trotz diesem Bezug ist die Einhaltung der Anforderungen der Normen und Richtlinien insofern nicht sichergestellt, als die Umsetzung und Kontrolle in der Verantwortung der Anlagenbetreiber und Besitzer liegt. Wie die Praxis zeigt, sind sich längst nicht alle Anlagenbetreiber und Besitzer diese Verantwortung respektive die hygienischen Risiken bei Vernachlässigung dieser Aufgaben bewusst. Das grösste Problem stellt daher die fehlende Sensibilisierung von Anlagebetreibern und Betriebspersonal dar.

## 7.6 Potenzielle Zunahme von Erkrankungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel

Umweltquellen und die globalen Auswirkungen der Legionellose sollten neu bewertet werden. Legionellen sind zwar ubiquitär vorhanden, aber es ist unklar, was die wichtigsten Quellen für die Gefährdung der menschlichen Gesundheit sind. Der Klimawandel kann die Inzidenz von Legionellose durch komplexe Effekte im Zusammenhang mit der Ökologie der Bakterien oder mit Aerosolexpositionswegen erhöhen [142].

## 8 Bestehende Lösungen auf dem europäischen Markt

Im Kapitel 3.2.2 sind die Vor- und Nachteile von bestehenden technischen Lösungsansätzen wie Spülsysteme, Warm- u. Kalthaltung, endständige Filtration, Ultrafiltration, Desinfektion (thermisch, chemisch), usw. aufgelistet und bewertet.

In Deutschland setzen sich Reihenleitungen und automatische Spülungen bereits seit längerem verstärkt durch gegen die traditionellen T-Stück-Installationen. Insgesamt scheint dort dem Thema in der Sanitär-Fachwelt schon länger mehr Aufmerksamkeit zuzukommen als in der Schweiz. Ähnlich verhält es sich in Österreich. Auch in den Niederlanden wird das Thema schon länger intensiv diskutiert. In den meisten anderen europäischen Ländern scheint die Aufmerksamkeit hingegen geringer zu sein als in der Schweiz.

Betreffend Rückkühlsystemen sind automatisierte Erfassung und Auswertung von Wasserqualität und Wasseraufbereitung (Leitfähigkeit, Desinfektion usw.), sowie Temperatursteuerung dringend empfohlen. Wasserprobenentnahmen und Untersuchung, respektive Auswertung sollten durch ein zertifiziertes Unternehmen (SN EN ISO/IEC 17025) erfolgen.

Im **Anhang 4** sind die üblichen technischen Lösungen für RLT-Anlagen beschrieben und beurteilt. Bezüglich Legionellen sind Sprühbefeuchter die heikelste Komponente. Die technischen Lösungen sind mindestens im deutschsprachigen Raum gleichermassen verbreitet und bekannt wie in der Schweiz. In Deutschland und in skandinavischen Ländern ist die Sensibilität bezüglich der Hygiene bei RLT-Anlagen höher als in der Schweiz, und vermutlich auch höher als in den übrigen europäischen Ländern. Die Schweizer Hygienerichtlinien sind weitgehend auf die deutschen VDI-Richtlinien abgestimmt, respektive zu einem erheblichen Teil textgleich übernommen. In Deutschland besteht eine Hygiene-Zertifizierung von Produkten nach VDI 6022. In der Schweiz besteht kein analoges Label. Auch die VDI-Zertifizierung wird hier kaum beworben. Inwieweit die VDI-Zertifizierung zu hygienisch besseren Anlagen führt, ist unklar, da gemäss den Ausführungen in Kapitel 4.5.2 der Betrieb und die Instandhaltung entscheidend sind. Mindestens bei der Hygienekontrolle und Inspektion dürfte aber Deutschland gegenüber der Schweiz auch einen Schritt voraus sein. Quantitative Erhebungen und Vergleiche sind jedoch nicht bekannt.

Der europäische Marktleader für Befeuchter bietet seit rund fünf Jahren ein fest installiertes System für eine direkte Raumluftbefeuchtung an. Das aufbereitete Wasser wird über ein separates Verteilsystem den in den Räumen (meist Decken) installierten Düsen zugeführt und dort versprüht. In der Dokumentation des Anbieters haben hygienische Aspekte, wie vorbeugenden Massnahmen gegen Legionellen, einen grossen Stellenwert. Da das System vorwiegend für Neubauten infrage kommt, ist es in der Praxis noch wenig verbreitet. Es dürfte auch eher für ein höheres Preissegment von Gebäuden infrage kommen.

## 9 Empfehlungen

- a) Lücken in der aktuellen Gesetzgebung (Kühltürme, Klimaanlage, Mietwohnungen) müssen mit entsprechenden Gesetzen und Branchenleitlinien geschlossen werden.
- b) Risikogruppen (ältere/immunsupprimierte Personen) in der Bevölkerung müssen durch Infokampagnen über die Legionellen-Problematik besser informiert werden. Es muss aufgezeigt werden, wie sich diese Gruppe vor Legionellose schützen können. Eventuell wird diese Gruppe von Personen durch die bestehenden Höchstwerte gar nicht geschützt.
- c) Grundlegende mikrobiologische, molekular- und zellbiologische Forschung auf hohem Niveau ist unerlässlich in den Bereichen Detektion und Virulenzanalyse von (VBNC) Legionellen, Biofilmbildung, Beweglichkeit und Besiedelung von Wassersystemen und biologische Kontrolle von Legionellen.
- d) Forschung zur Vermehrungskinetik von Legionellen in Abhängigkeit von Parametern wie der Temperatur, Nährstoffen oder Amöben soll gefördert werden, um technische Grenzwerte für zulässige Temperaturen und Stagnationszeiten wissenschaftlich untermauern zu können.
- e) Vergleich von Legionellen-Stämmen aus Umweltproben und klinischen Proben ist zentral für die effiziente Ursachenfindung und sollte zum Standard in der Schweiz werden. Es müssen Verfahren für klinische Probenahmen etabliert werden, welche risikofrei für den Legionellose-Patienten sind.
- f) Die Ursache der Saisonalität der Legionellosefallzahlen muss verstärkt untersucht werden, damit die Legionellen-Infektionsquellen gefunden werden können.
- g) Abklärungen sollten vorgenommen werden, ob durch die Klimaerwärmung die Gefahr besteht, dass sich Legionellen während den Sommermonaten in bekannten oder vermuteten Aerosol-Quellen übermässig vermehren können.
- h) Möglichkeiten sollen aufgezeigt werden, wie Energiesparen und Hygieneanforderungen vereinbart werden können, um eine effiziente Prävention zu gewährleisten. Dies sollte als Chance für die Sanitärbranche in der Schweiz verstanden werden.
- i) Kontrollen von Trinkwasserhausinstallation könnten durchgeführt werden (z.B. Intervall 10 Jahre), analog zur periodischen Kontrolle von elektrischen Anlagen mit Fokus Hygiene, Energiesparen, Sicherheit des öffentlichen Netzes.
- j) Verbandszertifikate oder Konformitätszeichen könnten ausgestellt werden für möglichst „legionellensichere“ Duscharmaturen mit Mischern von hoher Qualität, Duschwasserkontaktmaterialien von hoher Qualität, reduzierte Bildung von lungengängigen Wassertröpfchen, keine Toträume und Reduktion auf das Wesentliche.
- k) Rückkühlanlagen: Grundsätze der Prävention und Gefahrenvorbeugung (**Anhang 3**), Beispiel: Entscheidungsbaum Ablauf-Massnahmen für neue und bestehende Anlagen, ideales Rückkühl-system (**Anhang 5**).
- l) Raumlufttechnik-Anlagen: In den Normen und Richtlinien sollen einige Begriffe und Anforderungen geklärt werden. Dies betrifft die Bezeichnung und Klassierung der Befeuchtertypen (z. B. Hybrid-Befeuchter), der Wasserarten und die Probenahme. Ausserdem sollen für den hygienisch einwandfreien Anfahrtrieb von Luftbefeuchtern Regeln erarbeitet werden, die in Normen und Richtlinien einfließen.

Bei Eigentümern und Betreibern von mittleren bis grösseren Verwaltungsgebäuden und Verkaufsgebäuden mit Baujahr zwischen 1950 und 1990 soll eine Umfrage durchgeführt werden, um Informationen über die Art und Anzahl der vorhandenen Luftbefeuchter in RLT-Anlagen zu gewinnen.



Dabei soll auch Informationen über die Instandhaltung eingeholt werden. Gleichzeitig oder danach könnten Informationen zu Legionellen-Problematik abgegeben werden. Diese Massnahme sollte mit einer analogen Aktion zu Kühltürmen koordiniert werden.

Es soll ein Projekt gestartet werden um Grundlagen zu Art und Anzahl der mobilen Raumluftbefeuchter zu erarbeiten. Dabei interessiert, wie viele Apparate regelmässig betrieben werden und wie diese instandgehalten werden. Die Erhebung könnte sich auf mobile Luftbefeuchter in sensiblen Bereichen, wie Alterswohnungen sowie Alters- und Pflegeheimen konzentrieren. Gleichzeitig oder danach könnten Informationen zu Legionellen-Problematik abgegeben werden. Ein Ziel wäre es hygienisch kritische Befeuchtertypen aus dem Betrieb zu ziehen.

## 10 Referenzen/Literatur

1. Newton HJ, Ang DK, van Driel IR, Hartland EL: Molecular pathogenesis of infections caused by *Legionella pneumophila*. *Clin Microbiol Rev* 2010, 23:274-298.
2. Whitley H, Bentham R: *Legionella longbeachae* and legionellosis. *Emerg Infect Dis* 2011, 17:579-583.
3. Hilbi H, Hoffmann C, Harrison CF: *Legionella* spp. outdoors: colonization, communication and persistence. *Environ Microbiol Rep* 2011, 3:286-296.
4. Mondino S, Schmidt S, Rolando M, Escoll P, Gomez-Valero L, Buchrieser C: Legionnaires' disease: State of the art knowledge of pathogenesis mechanisms of *Legionella*. *Annu Rev Pathol* 2020, 15:439-466.
5. Swart AL, Harrison CF, Eichinger L, Steinert M, Hilbi H: *Acanthamoeba* and *Dictyostelium* as cellular models for *Legionella* infection. *Front Cell Infect Microbiol* 2018, 8:61.
6. Correia AM, Ferreira JS, Borges V, Nunes A, Gomes B, Capucho R, Goncalves J, Antunes DM, Almeida S, Mendes A, et al.: Probable person-to-person transmission of Legionnaires' disease. *N Engl J Med* 2016, 374:497-498.
7. van Heijnsbergen E, Schalk JA, Euser SM, Brandsema PS, den Boer JW, de Roda Husman AM: Confirmed and potential sources of *Legionella* reviewed. *Environ Sci Technol* 2015, 49:4797-4815.
8. Pine L, George JR, Reeves MW, Harrell WK: Development of a chemically defined liquid medium for growth of *Legionella pneumophila*. *J Clin Microbiol* 1979, 9:615-626.
9. Tesh MJ, Miller RD: Amino acid requirements for *Legionella pneumophila* growth. *J Clin Microbiol* 1981, 13:865-869.
10. Tesh MJ, Morse SA, Miller RD: Intermediary metabolism in *Legionella pneumophila*: utilization of amino acids and other compounds as energy sources. *J Bacteriol* 1983, 154:1104-1109.
11. Ristroph JD, Hedlund KW, Gowda S: Chemically defined medium for *Legionella pneumophila* growth. *J Clin Microbiol* 1981, 13:115-119.
12. Manske C, Hilbi H: Metabolism of the vacuolar pathogen *Legionella* and implications for virulence. *Front Cell Infect Microbiol* 2014, 4:125.
13. Brüggemann H, Hagman A, Jules M, Sismeiro O, Dillies MA, Gouyette C, Kunst F, Steinert M, Heuner K, Coppee JY, et al.: Virulence strategies for infecting phagocytes deduced from the in vivo transcriptional program of *Legionella pneumophila*. *Cell Microbiol* 2006, 8:1228-1240.
14. Faucher SP, Mueller CA, Shuman HA: *Legionella pneumophila* transcriptome during intracellular multiplication in human macrophages. *Front Microbiol* 2011, 2:60.
15. Manske C, Finsel I, Hoffmann C, Hilbi H: Analysis of *Legionella* metabolism by pathogen vacuole proteomics. *Methods Mol Biol* 2018, 1841:59-76.
16. Eisenreich W, Heuner K: The life stage-specific pathometabolism of *Legionella pneumophila*. *FEBS Lett* 2016, 590:3868-3886.
17. Eylert E, Herrmann V, Jules M, Gillmaier N, Lautner M, Buchrieser C, Eisenreich W, Heuner K: Isotopologue profiling of *Legionella pneumophila*: role of serine and glucose as carbon substrates. *J Biol Chem* 2010, 285:22232-22243.
18. Schunder E, Gillmaier N, Kutzner E, Eisenreich W, Herrmann V, Lautner M, Heuner K: Amino acid uptake and metabolism of *Legionella pneumophila* hosted by *Acanthamoeba castellanii*. *J Biol Chem* 2014, 289:21040-21054.
19. Manske C, Schell U, Hilbi H: Metabolism of myo-inositol by *Legionella pneumophila* promotes infection of amoebae and macrophages. *Appl Environ Microbiol* 2016, 82:5000-5014.
20. Häuslein I, Manske C, Goebel W, Eisenreich W, Hilbi H: Pathway analysis using <sup>13</sup>C-glycerol and other carbon tracers reveals a bipartite metabolism of *Legionella pneumophila*. *Mol Microbiol* 2016, 100:229-246.
21. Häuslein I, Sahr T, Escoll P, Klausner N, Eisenreich W, Buchrieser C: *Legionella pneumophila* CsrA regulates a metabolic switch from amino acid to glycerolipid metabolism. *Open Biol* 2017, 7:e170149.
22. Herrmann V, Eidner A, Rydzewski K, Bladel I, Jules M, Buchrieser C, Eisenreich W, Heuner K: GamA is a eukaryotic-like glucoamylase responsible for glycogen- and starch-degrading activity of *Legionella pneumophila*. *Int J Med Microbiol* 2011, 301:133-139.
23. Cianciotto NP: An update on iron acquisition by *Legionella pneumophila*: new pathways for siderophore uptake and ferric iron reduction. *Future Microbiol* 2015, 10:841-851.
24. Isaac DT, Laguna RK, Valtz N, Isberg RR: MavN is a *Legionella pneumophila* vacuole-associated protein required for efficient iron acquisition during intracellular growth. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2015, 112:E5208-5217.
25. Christenson ET, Isaac DT, Yoshida K, Lipo E, Kim JS, Ghirlando R, Isberg RR, Banerjee A: The iron-regulated vacuolar *Legionella pneumophila* MavN protein is a transition-metal transporter. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2019, 116:17775-17785.
26. Hindré T, Brüggemann H, Buchrieser C, Hechard Y: Transcriptional profiling of *Legionella pneumophila* biofilm cells and the influence of iron on biofilm formation. *Microbiology* 2008, 154:30-41.
27. Weber S, Stimimann CU, Wieser M, Frey D, Meier R, Engelhardt S, Li X, Capitani G, Kammerer RA, Hilbi H: A type IV translocated *Legionella* cysteine phytase counteracts intracellular growth restriction by phytate. *J Biol Chem* 2014, 289:34175-34188.
28. Schell U, Simon S, Hilbi H: Inflammasome recognition and regulation of the *Legionella* flagellum. *Curr Top Microbiol Immunol* 2016, 397:161-181.
29. Alleron L, Khemiri A, Koubar M, Lacombe C, Coquet L, Cosette P, Jouenne T, Frere J: VBNC *Legionella pneumophila* cells are still able to produce virulence proteins. *Water Res* 2013, 47:6606-6617.
30. Steinert M, Emody L, Amann R, Hacker J: Resuscitation of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* Philadelphia JR32 by *Acanthamoeba castellanii*. *Appl Environ Microbiol* 1997, 63:2047-2053.
31. Garcia MT, Jones S, Pelaz C, Millar RD, Abu Kwaik Y: *Acanthamoeba polyphaga* resuscitates viable non-culturable *Legionella pneumophila* after disinfection. *Environ Microbiol* 2007, 9:1267-1277.
32. Al-Bana BH, Haddad MT, Garduno RA: Stationary phase and mature infectious forms of *Legionella pneumophila* produce distinct viable but non-culturable cells. *Environ Microbiol* 2014, 16:382-395.
33. Epalle T, Girardot F, Allegra S, Maurice-Blanc C, Garraud O, Riffard S: Viable but not culturable forms of *Legionella pneumophila* generated after heat shock treatment are infectious for macrophage-like and alveolar epithelial cells after resuscitation on *Acanthamoeba polyphaga*. *Microb Ecol* 2015, 69:215-224.

34. Dietersdorfer E, Kirschner A, Schrammel B, Ohradanova-Repic A, Stockinger H, Sommer R, Walochnik J, Cervero-Arago S: Starved viable but non-culturable (VBNC) *Legionella* strains can infect and replicate in amoebae and human macrophages. *Water Res* 2018, 141:428-438.
35. Appelt S, Heuner K: The flagellar regulon of *Legionella* - A review. *Front Cell Infect Microbiol* 2017, 7:454.
36. Heuner K, Brand BC, Hacker J: The expression of the flagellum of *Legionella pneumophila* is modulated by different environmental factors. *FEMS Microbiol Lett* 1999, 175:69-77.
37. Albert-Weissenberger C, Sahr T, Sismeiro O, Hacker J, Heuner K, Buchrieser C: Control of flagellar gene regulation in *Legionella pneumophila* and its relation to growth phase. *J Bacteriol* 2010, 192:446-455.
38. Schell U, Simon S, Sahr T, Hager D, Albers MF, Kessler A, Fahrnbauer F, Trauner D, Hedberg C, Buchrieser C, et al., Hilbi H: The  $\alpha$ -hydroxyketone LAI-1 regulates motility, Lqs-dependent phosphorylation signalling and gene expression of *Legionella pneumophila*. *Mol Microbiol* 2016, 99:778-793.
39. Molofsky AB, Swanson MS: Differentiate to thrive: lessons from the *Legionella pneumophila* life cycle. *Mol Microbiol* 2004, 53:29-40.
40. Tiaden A, Spirig T, Hilbi H: Bacterial gene regulation by  $\alpha$ -hydroxyketone signaling. *Trends Microbiol* 2010, 18:288-297.
41. Tiaden A, Hilbi H:  $\alpha$ -Hydroxyketone synthesis and sensing by *Legionella* and *Vibrio*. *Sensors* 2012, 12:2899-2919.
42. Spirig T, Tiaden A, Kiefer P, Buchrieser C, Vorholt JA, Hilbi H: The *Legionella* autoinducer synthase LqsA produces an  $\alpha$ -hydroxyketone signaling molecule. *J Biol Chem* 2008, 283:18113-18123.
43. Tiaden A, Spirig T, Sahr T, Wälti MA, Boucke K, Buchrieser C, Hilbi H: The autoinducer synthase LqsA and putative sensor kinase LqsS regulate phagocyte interactions, extracellular filaments and a genomic island of *Legionella pneumophila*. *Environ Microbiol* 2010, 12:1243-1259.
44. Kessler A, Schell U, Sahr T, Tiaden A, Harrison C, Buchrieser C, Hilbi H: The *Legionella pneumophila* orphan sensor kinase LqsT regulates competence and pathogen-host interactions as a component of the LAI-1 circuit. *Environ Microbiol* 2013, 15:646-662.
45. Schell U, Kessler A, Hilbi H: Phosphorylation signalling through the *Legionella* quorum sensing histidine kinases LqsS and LqsT converges on the response regulator LqsR. *Mol Microbiol* 2014, 92:1039-1055.
46. Tiaden A, Spirig T, Weber SS, Brüggemann H, Bosshard R, Buchrieser C, Hilbi H: The *Legionella pneumophila* response regulator LqsR promotes host cell interactions as an element of the virulence regulatory network controlled by RpoS and LetA. *Cell Microbiol* 2007, 9:2903-2920.
47. Tiaden A, Spirig T, Carranza P, Brüggemann H, Riedel K, Eberl L, Buchrieser C, Hilbi H: Synergistic contribution of the *Legionella pneumophila* lqs genes to pathogen-host interactions. *J Bacteriol* 2008, 190:7532-7547.
48. Hochstrasser R, Hutter CAJ, Arnold FM, Bärlocher K, Seeger MA, Hilbi H: The structure of the *Legionella* response regulator LqsR reveals amino acids critical for phosphorylation and dimerization. *Mol Microbiol* 2020, Epub ahead of print.
49. Personnic N, Striednig B, Hilbi H: *Legionella* quorum sensing and its role in pathogen-host interactions. *Curr Opin Microbiol* 2018, 41:29-35.
50. Simon S, Schell U, Heuer N, Hager D, Albers MF, Matthias J, Fahrnbauer F, Trauner D, Eichinger L, Hedberg C, et al., Hilbi H: Inter-kingdom signaling by the *Legionella* quorum sensing molecule LAI-1 modulates cell migration through an IQGAP1-Cdc42-ARHGEF9-dependent pathway. *PLoS Pathog* 2015, 11:e1005307.
51. Hochstrasser R, Hilbi H: Intra-species and inter-kingdom signaling of *Legionella pneumophila*. *Front Microbiol* 2017, 8:79.
52. Personnic N, Striednig B, Lezan E, Manske C, Welin A, Schmidt A, Hilbi H: Quorum sensing modulates the formation of virulent *Legionella* persists within infected cells. *Nat Commun* 2019, 10:5216.
53. Hochstrasser R, Kessler A, Sahr T, Simon S, Schell U, Gomez-Valero L, Buchrieser C, Hilbi H: The pleiotropic *Legionella* transcription factor LvbR links the Lqs and c-di-GMP regulatory networks to control biofilm architecture and virulence. *Environ Microbiol* 2019, 21:1035-1053.
54. Hochstrasser R, Hilbi H: *Legionella* quorum sensing meets cyclic-di-GMP signaling. *Curr Opin Microbiol* 2020, 55:9-16.
55. Hochstrasser R, Hilbi H: Migration of *Acanthamoeba castellanii* through *Legionella* biofilms. *Methods Mol Biol* 2019, 1921:79-89.
56. Declerck P: Biofilms: the environmental playground of *Legionella pneumophila*. *Environ Microbiol* 2010, 12:557-566.
57. Murga R, Forster TS, Brown E, Pruckler JM, Fields BS, Donlan RM: Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology* 2001, 147:3121-3126.
58. Kuiper MW, Wullings BA, Akkermans AD, Beumer RR, van der Kooij D: Intracellular proliferation of *Legionella pneumophila* in *Hartmannella vermiformis* in aquatic biofilms grown on plasticized polyvinyl chloride. *Appl Environ Microbiol* 2004, 70:6826-6833.
59. Declerck P, Behets J, van Hoef V, Ollevier F: Replication of *Legionella pneumophila* in floating biofilms. *Curr Microbiol* 2007, 55:435-440.
60. Declerck P, Behets J, Margineanu A, van Hoef V, De Keersmaecker B, Ollevier F: Replication of *Legionella pneumophila* in biofilms of water distribution pipes. *Microbiol Res* 2009, 164:593-603.
61. Temmerman R, Vervaeren H, Noseda B, Boon N, Verstraete W: Necrotrophic growth of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol* 2006, 72:4323-4328.
62. Mampel J, Spirig T, Weber SS, Haagensen JAJ, Molin S, Hilbi H: Planktonic replication is essential for biofilm formation by *Legionella pneumophila* in a complex medium under static and dynamic flow conditions. *Appl Environ Microbiol* 2006, 72:2885-2895.
63. Piao Z, Sze CC, Barysheva O, Iida K, Yoshida S: Temperature-regulated formation of mycelial mat-like biofilms by *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol* 2006, 72:1613-1622.
64. Pécastaing S, Berge M, Dubourg KM, Roques C: Sessile *Legionella pneumophila* is able to grow on surfaces and generate structured monospecies biofilms. *Biofouling* 2010, 26:809-819.
65. Shevchuk O, Jäger J, Steinert M: Virulence properties of the *Legionella pneumophila* cell envelope. *Front Microbiol* 2011, 2:74.
66. Moll H, Sonesson A, Jantzen E, Marre R, Zähringer U: Identification of 27-oxo-octacosanoic acid and heptacosane-1,27-dioic acid in *Legionella pneumophila*. *FEMS Microbiol Lett* 1992, 76:1-6.

67. Neumeister B, Faigle M, Sommer M, Zähringer U, Stelter F, Menzel R, Schutt C, Northoff H: Low endotoxic potential of *Legionella pneumophila* lipopolysaccharide due to failure of interaction with the monocyte lipopolysaccharide receptor CD14. *Infect Immun* 1998, 66:4151-4157.
68. Knirel YA, Rietschel ET, Marre R, Zähringer U: The structure of the O-specific chain of *Legionella pneumophila* serogroup 1 lipopolysaccharide. *Eur J Biochem* 1994, 221:239-245.
69. Zähringer U, Knirel YA, Lindner B, Helbig JH, Sonesson A, Marre R, Rietschel ET: The lipopolysaccharide of *Legionella pneumophila* serogroup 1 (strain Philadelphia 1): chemical structure and biological significance. *Prog Clin Biol Res* 1995, 392:113-139.
70. Kooistra O, Luneberg E, Knirel YA, Frosch M, Zähringer U: N-Methylation in polylegionaminic acid is associated with the phase-variable epitope of *Legionella pneumophila* serogroup 1 lipopolysaccharide. Identification of 5-(N,N-dimethylacetimidoyl)amino and 5-acetimidoyl(N-methyl)amino-7-acetamido-3,5,7,9-tetradecoxynon-2-ulosonic acid in the O-chain polysaccharide. *Eur J Biochem* 2002, 269:560-572.
71. Van Belkum A, Maas H, Verbrugh H, Van Leeuwen N: Serotyping, ribotyping, PCR-mediated ribosomal 16S-23S spacer analysis and arbitrarily primed PCR for epidemiological studies on *Legionella pneumophila*. *Res Microbiol* 1996, 147:405-413.
72. Petzold M, Thurmer A, Menzel S, Mouton JW, Heuner K, Luck C: A structural comparison of lipopolysaccharide biosynthesis loci of *Legionella pneumophila* serogroup 1 strains. *BMC Microbiol* 2013, 13:198.
73. Yu VL, Plouffe JF, Pastoris MC, Stout JE, Schousboe M, Widmer A, Summersgill J, File T, Heath CM, Paterson DL, et al.: Distribution of *Legionella* species and serogroups isolated by culture in patients with sporadic community-acquired legionellosis: an international collaborative survey. *J Infect Dis* 2002, 186:127-128.
74. Doleans A, Aurell H, Reyrolle M, Lina G, Freney J, Vandenesch F, Etienne J, Jarraud S: Clinical and environmental distributions of *Legionella* strains in France are different. *J Clin Microbiol* 2004, 42:458-460.
75. Burstein D, Amaro F, Zusman T, Lifshitz Z, Cohen O, Gilbert JA, Pupko T, Shuman HA, Segal G: Genomic analysis of 38 *Legionella* species identifies large and diverse effector repertoires. *Nat Genet* 2016, 48:167-175.
76. Gomez-Valero L, Rusniok C, Carson D, Mondino S, Perez-Cobas AE, Rolando M, Pasricha S, Reuter S, Demirtas J, Crumbach J, et al.: More than 18,000 effectors in the *Legionella* genus genome provide multiple, independent combinations for replication in human cells. *Proc Natl Acad Sci U S A* 2019, 116:2265-2273.
77. Segal G, Purcell M, Shuman HA: Host cell killing and bacterial conjugation require overlapping sets of genes within a 22-kb region of the *Legionella pneumophila* genome. *Proc Natl Acad Sci USA* 1998, 95:1669-1674.
78. Vogel JP, Andrews HL, Wong SK, Isberg RR: Conjugative transfer by the virulence system of *Legionella pneumophila*. *Science* 1998, 279:873-876.
79. Kubori T, Nagai H: The type IVB secretion system: an enigmatic chimera. *Curr Opin Microbiol* 2016, 29:22-29.
80. Qiu J, Luo ZQ: *Legionella* and *Coxiella* effectors: strength in diversity and activity. *Nat Rev Microbiol* 2017, 15:591-605.
81. Isberg RR, O'Connor TJ, Heidtman M: The *Legionella pneumophila* replication vacuole: making a cosy niche inside host cells. *Nat Rev Microbiol* 2009, 7:13-24.
82. Hubber A, Roy CR: Modulation of host cell function by *Legionella pneumophila* type IV effectors. *Annu Rev Cell Dev Biol* 2010, 26:261-283.
83. Hilbi H, Haas A: Secretive bacterial pathogens and the secretory pathway. *Traffic* 2012, 13:1187-1197.
84. Asrat S, de Jesus DA, Hempstead AD, Ramabhadran V, Isberg RR: Bacterial pathogen manipulation of host membrane trafficking. *Annu Rev Cell Dev Biol* 2014, 30:79-109.
85. Finsel I, Hilbi H: Formation of a pathogen vacuole according to *Legionella pneumophila*: how to kill one bird with many stones. *Cell Microbiol* 2015, 17:935-950.
86. Personnic N, Bärlocher K, Finsel I, Hilbi H: Subversion of retrograde trafficking by translocated pathogen effectors. *Trends Microbiol* 2016, 24:450-462.
87. Bärlocher K, Welin A, Hilbi H: Formation of the *Legionella* replicative compartment at the crossroads of retrograde trafficking. *Front Cell Infect Microbiol* 2017, 7:482.
88. Steiner B, Weber S, Hilbi H: Formation of the *Legionella*-containing vacuole: phosphoinositide conversion, GTPase modulation and ER dynamics. *Int J Med Microbiol* 2018, 308:49-57.
89. Swart AL, Hilbi H: Phosphoinositides and the fate of *Legionella* in phagocytes. *Front Immunol* 2020, 11:25.
90. Goody RS, Itzen A: Modulation of small GTPases by *Legionella*. *Curr Top Microbiol Immunol* 2013, 376:117-133.
91. Sherwood RK, Roy CR: A Rab-centric perspective of bacterial pathogen-occupied vacuoles. *Cell Host Microbe* 2013, 14:256-268.
92. Rothmeier E, Pfaffinger G, Hoffmann C, Harrison CF, Grabmayr H, Repnik U, Hannemann M, Wölke S, Bausch A, Griffiths G, et al., Hilbi H: Activation of Ran GTPase by a *Legionella* effector promotes microtubule polymerization, pathogen vacuole motility and infection. *PLoS Pathog* 2013, 9:e1003598.
93. Urwyler S, Nyfeler Y, Ragaz C, Lee H, Mueller LN, Aebersold R, Hilbi H: Proteome analysis of *Legionella* vacuoles purified by magnetic immunoseparation reveals secretory and endosomal GTPases. *Traffic* 2009, 10:76-87.
94. Hoffmann C, Finsel I, Otto A, Pfaffinger G, Rothmeier E, Hecker M, Becher D, Hilbi H: Functional analysis of novel Rab GTPases identified in the proteome of purified *Legionella*-containing vacuoles from macrophages. *Cell Microbiol* 2014, 16:1034-1052.
95. Schmolders J, Manske C, Otto A, Hoffmann C, Steiner B, Welin A, Becher D, Hilbi H: Comparative proteomics of purified pathogen vacuoles correlates intracellular replication of *Legionella pneumophila* with the small GTPase Ras-related protein 1 (Rap1). *Mol Cell Proteomics* 2017, 16:622-641.
96. Steiner B, Swart AL, Welin A, Weber S, Personnic N, Kaech A, Freyre C, Ziegler U, Klemm RW, Hilbi H: ER remodeling by the large GTPase atlastin promotes vacuolar growth of *Legionella pneumophila*. *EMBO Rep* 2017, 18:1817-1836.
97. Swart AL, Steiner B, Gomez-Valero L, Schütz S, Hannemann M, Janning P, Irminger M, Rothmeier E, Buchrieser C, Itzen A, et al., Hilbi H: Divergent evolution of *Legionella* RCC1 repeat effectors defines the range of Ran GTPase cycle targets. *mBio* 2020, 11:e00405-20.
98. Weber SS, Ragaz C, Reus K, Nyfeler Y, Hilbi H: *Legionella pneumophila* exploits PI(4)P to anchor secreted effector proteins to the replicative vacuole. *PLoS Pathog* 2006, 2:e46.

99. Brombacher E, Urwyler S, Ragaz C, Weber SS, Kami K, Overduin M, Hilbi H: Rab1 guanine nucleotide exchange factor SidM is a major phosphatidylinositol 4-phosphate-binding effector protein of *Legionella pneumophila*. *J Biol Chem* 2009, 284:4846-4856.
100. Weber SS, Ragaz C, Hilbi H: The inositol polyphosphate 5-phosphatase OCRL1 restricts intracellular growth of *Legionella*, localizes to the replicative vacuole and binds to the bacterial effector LpnE. *Cell Microbiol* 2009, 11:442-460.
101. Weber S, Wagner M, Hilbi H: Live-cell imaging of phosphoinositide dynamics and membrane architecture during *Legionella* infection. *mBio* 2014, 5:e00839-13.
102. Weber S, Steiner B, Welin A, Hilbi H: *Legionella*-containing vacuoles capture PtdIns(4)P-rich vesicles derived from the Golgi apparatus. *mBio* 2018, 9:e02420-18.
103. Finsel I, Ragaz C, Hoffmann C, Harrison CF, Weber S, van Rahden VA, Johannes L, Hilbi H: The *Legionella* effector RidL inhibits retrograde trafficking to promote intracellular replication. *Cell Host Microbe* 2013, 14:38-50.
104. Bärlocher K, Hutter CAJ, Swart AL, Steiner B, Welin A, Hohl M, Letourneur F, Seeger MA, Hilbi H: Structural insights into *Legionella* RidL-Vps29 retromer subunit interaction reveal displacement of the regulator TBC1D5. *Nat Commun* 2017, 8:1543.
105. Greub G, Raoult D: Microorganisms resistant to free-living amoebae. *Clin Microbiol Rev* 2004, 17:413-433.
106. Molmeret M, Horn M, Wagner M, Santic M, Abu Kwaik Y: Amoebae as training grounds for intracellular bacterial pathogens. *Appl Environ Microbiol* 2005, 71:20-28.
107. Gomez-Valero L, Buchrieser C: Genome dynamics in *Legionella*: the basis of versatility and adaptation to intracellular replication. *Cold Spring Harb Perspect Med* 2013, 3:a009993.
108. Fields BS: The molecular ecology of *Legionellae*. *Trends Microbiol* 1996, 4:286-290.
109. Boamah DK, Zhou G, Ensminger AW, O'Connor TJ: From many hosts, one accidental pathogen: The diverse protozoan hosts of *Legionella*. *Front Cell Infect Microbiol* 2017, 7:477.
110. Park JM, Ghosh S, O'Connor TJ: Combinatorial selection in amoebal hosts drives the evolution of the human pathogen *Legionella pneumophila*. *Nat Microbiol* 2020, 5:599-609.
111. Gomez-Valero L, Rusniok C, Cazalet C, Buchrieser C: Comparative and functional genomics of *Legionella* identified eukaryotic like proteins as key players in host-pathogen interactions. *Front Microbiol* 2011, 2:208.
112. Al-Quadani T, Price CT, Abu Kwaik Y: Exploitation of evolutionarily conserved amoeba and mammalian processes by *Legionella*. *Trends Microbiol* 2012, 20:299-306.
113. Harrison CF, Kicka S, Trofimov V, Berschl K, Ouertatani-Sakouhi H, Ackermann N, Hedberg C, Cosson P, Soldati T, Hilbi H: Exploring anti-bacterial compounds against intracellular *Legionella*. *PLoS One* 2013, 8:e74813.
114. Harrison CF, Chiriano G, Finsel I, Manske C, Hoffmann C, Steiner B, Kranjc A, Patthey-Vuadens O, Kicka S, Trofimov V, et al., Hilbi H: Amoebae-based screening reveals a novel family of compounds restricting intracellular *Legionella pneumophila*. *ACS Inf Dis* 2015, 1:327-338.
115. Hanna N, Kicka S, Chiriano G, Harrison C, Sakouhi HO, Trofimov V, Kranjc A, Nitschke J, Pagni M, Cosson P, Hilbi H, et al.: Identification of anti-*Mycobacterium* and anti-*Legionella* compounds with potential distinctive structural scaffolds from an HD-PBL using phenotypic screens in amoebae host models. *Front Microbiol* 2020, 11:266.
116. Bundesamt für Gesundheit (BAG): Die Legionärskrankheit in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein, 2008 bis 2017. *BAG Bulletin* 2018, 21:7-11.
117. Beauté J, The European Legionnaires' disease surveillance network: Legionnaires' disease in Europe, 2011 to 2015. *Euro Surveill* 2017, 22.
118. Dooling KL, Toews KA, Hicks LA, Garrison LE, Bachaus B, Zansky S, Carpenter LR, Schaffner B, Parker E, Petit S, et al.: Active bacterial core surveillance for legionellosis - United States, 2011-2013. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2015, 64:1190-1193.
119. ECDC: Legionnaires' disease - Annual epidemiological report for 2017. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/legionnaires-disease-annual-epidemiological-report-2017>; 2019.
120. Bays D, Bennett E, Finnie T: Applying probability-weighted incubation period distributions to traditional wind rose methodology to improve public health investigations of Legionnaires' disease outbreaks. *Epidemiol Infect* 2020, 148:e33.
121. Beauté J, Sandin S, Uldum SA, Rota MC, Brandsema P, Giesecke J, Sparen P: Short-term effects of atmospheric pressure, temperature, and rainfall on notification rate of community-acquired Legionnaires' disease in four European countries. *Epidemiol Infect* 2016, 144:3483-3493.
122. Beauté J, Sandin S, Uldum SA, Rota MC, Brandsema P, Giesecke J, Sparen P: Short-term effects of atmospheric pressure, temperature, and rainfall on notification rate of community-acquired Legionnaires' disease in four European countries - CORRIGENDUM. *Epidemiol Infect* 2017, 145:3319.
123. Berendt RF: Survival of *Legionella pneumophila* in aerosols: effect of relative humidity. *J Infect Dis* 1980, 141:689.
124. Braeye T, Echahidi F, Meghraoui A, Laisnez V, Hens N: Short-term associations between Legionnaires' disease incidence and meteorological variables in Belgium, 2011-2019. *Epidemiol Infect* 2020:1-21.
125. Brandsema PS, Euser SM, Karagiannis I, Den Boer JW, van der Hook W: Summer increase of Legionnaires' disease 2010 in The Netherlands associated with weather conditions and implications for source finding. *Epidemiol Infect* 2014:1-12.
126. Buchholz U, Altmann D, Brodhun B: Differential seasonality of Legionnaires' disease by exposure category. *Int J Environ Res Public Health* 2020, 17.
127. Chen NT, Chen MJ, Guo CY, Chen KT, Su HJ: Precipitation increases the occurrence of sporadic Legionnaires' disease in Taiwan. *PLoS One* 2014, 9:e114337.
128. Conza L, Casati S, Limoni C, Gaia V: Meteorological factors and risk of community-acquired Legionnaires' disease in Switzerland: an epidemiological study. *BMJ Open* 2013, 3.
129. Conza L, Casati Pagani S, Gaia V: Influence of climate and geography on the occurrence of *Legionella* and amoebae in composting facilities. *BMC Res Notes* 2014, 7:831.
130. de Man H, Bouwknecht M, van Heijnsbergen E, Leenen EJ, van Knapen F, de Roda Husman AM: Health risk assessment for splash parks that use rainwater as source water. *Water Res* 2014, 54:254-261.
131. Dunn CE, Rowlingson B, Bhopal RS, Diggle P: Meteorological conditions and incidence of Legionnaires' disease in Glasgow, Scotland: application of statistical modelling. *Epidemiol Infect* 2013, 141:687-696.

132. du Prel JB, Puppe W, Grondahl B, Knuf M, Weigl JA, Schaaff F, Schmitt HJ: Are meteorological parameters associated with acute respiratory tract infections? *Clin Infect Dis* 2009, 49:861-868.
133. Fisman DN, Lim S, Wellenius GA, Johnson C, Britz P, Gaskins M, Maher J, Mittleman MA, Spain CV, Haas CN, et al.: It's not the heat, it's the humidity: wet weather increases legionellosis risk in the greater Philadelphia metropolitan area. *J Infect Dis* 2005, 192:2066-2073.
134. Garcia-Vidal C, Labori M, Viasus D, Simonetti A, Garcia-Somoza D, Dorca J, Gudiol F, Carratala J: Rainfall is a risk factor for sporadic cases of *Legionella pneumophila* pneumonia. *PLoS One* 2013, 8:e61036.
135. Gleason JA, Kratz NR, Greeley RD, Fagliano JA: Under the weather: Legionellosis and meteorological factors. *Ecohealth* 2016, 13:293-302.
136. Hambleton P, Broster MG, Dennis PJ, Henstridge R, Fitzgeorge R, Conlan JW: Survival of virulent *Legionella pneumophila* in aerosols. *J Hyg* 1983, 90:451-460.
137. Herrera-Lara S, Fernandez-Fabrellas E, Cervera-Juan A, Blanquer-Olivas R: Do seasonal changes and climate influence the etiology of community acquired pneumonia? *Arch Bronconeumol* 2013, 49:140-145.
138. Hicks LA, Rose CE, Fields BS, Drees ML, Engel JP, Jenkins PR, Rouse BS, Blythe D, Khalifah AP, Feikin DR, et al.: Increased rainfall is associated with increased risk for legionellosis. *Epidemiol Infect* 2006:1-7.
139. Jones AM, Harrison RM: The effects of meteorological factors on atmospheric bioaerosol concentrations--a review. *Sci Total Environ* 2004, 326:151-180.
140. Kobayashi M, Oana K, Kawakami Y: Incidence of *Legionella* and heterotrophic bacteria in household rainwater tanks in Azumino, Nagano prefecture, Japan. *Microbiol Immunol* 2014, 58:15-21.
141. Russo A, Gouveia CM, Soares PMM, Cardoso RM, Mendes MT, Trigo RM: The unprecedented 2014 Legionnaires' disease outbreak in Portugal: Atmospheric driving mechanisms. *Int J Biometeorol* 2018.
142. Sakamoto R, Ohno A, Nakahara T, Satomura K, Iwanaga S, Kouyama Y, Kura F, Kato N, Matsubayashi K, Okumiya K, et al.: *Legionella pneumophila* in rainwater on roads. *Emerg Infect Dis* 2009, 15:1295-1297.
143. Sales-Ortells H, Medema G: Microbial health risks associated with exposure to stormwater in a water plaza. *Water Res* 2015, 74:34-46.
144. Schalk JA, Docters van Leeuwen AE, Lodder WJ, de Man H, Euser S, den Boer JW, de Roda Husman AM: Isolation of *Legionella pneumophila* from pluvial floods by amoebal coculture. *Appl Environ Microbiol* 2012, 78:4519-4521.
145. Ulleryd P, Hugosson A, Allestam G, Bernander S, Claesson BE, Eilertz I, Hagaeus AC, Hjorth M, Johansson A, de Jong B, et al.: 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* 2012, 12:313.
146. van Heijnsbergen E, de Roda Husman AM, Lodder WJ, Bouwknegt M, Docters van Leeuwen AE, Bruin JP, Euser SM, den Boer JW, Schalk JA: Viable *Legionella pneumophila* bacteria in natural soil and rainwater puddles. *J Appl Microbiol* 2014.
147. Walker JT: The influence of climate change on waterborne disease and *Legionella*: A review. *Perspect Public Health* 2018, 138:282-286.
148. Bundesgesetz CH: Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen. 2017; vol SR 817.022.11.
149. ISO-11731: DIN EN ISO 11731:2019-03. In *Wasserbeschaffenheit - Zählung von Legionellen*. Beuth Verlag (Berlin-Wien-Zürich); 2018.
150. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV): Erläuterungen zur TBDV. BLV; 2017.
151. Standardization IOF: DIN EN ISO 19458:2006-12. In *Wasserbeschaffenheit - Probenahme für mikrobiologische Untersuchungen (ISO 19458:2006)*. Deutsche Fassung EN ISO 19458:2006; 2006.
152. ISO-12869: Wasserbeschaffenheit - Nachweis und Quantifizierung von *Legionella* spp. und/oder *Legionella pneumophila* durch Konzentration und genische Verstärkung mittels quantitativer Polymerase-Kettenreaktion (qPCR) International Standard Organisation (ISO); 2019.
153. Bundesamt für Gesundheit (BAG) / Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV): Legionellen und Legionellose BAG-/BLV-Empfehlungen Isolierung und quantitativer Nachweis von Legionellen in Umweltproben - Modul 10 Risikoerschätzung, Selbstkontrolle, Probenahme, Interpretation der Resultate; 2018.
154. Bürschgens A: *Legionellen in Trinkwasser-Installationen - Gefährdungsanalyse und Sanierung*. Beuth Verlag (Berlin-Wien-Zürich); 2018.
155. Sartory DP, Spies K, Lange B, Schneider S, Langer B: Evaluation of a most probable number method for the enumeration of *Legionella pneumophila* from potable and related water samples. *Lett Appl Microbiol* 2017, 64:271-275.
156. Baume M, Cariou A, Leveau A, Fessy N, Pastori F, Jarraud S, Pierre S: Quantification of *Legionella* DNA certified reference material by digital droplet PCR. *J Microbiol Methods* 2019, 157:50-53.
157. Boss R, Baumgartner A, Kroos S, Blattner M, Fretz R, Moor D: Rapid detection of viable *Legionella pneumophila* in tap water by a qPCR and RT-PCR-based method. *J Appl Microbiol* 2018, 125:1216-1225.
158. Jorgensen CS, Uldum SA, Elverdal PL: Application of a lateral flow test as an additional serological tool for diagnosis of *Legionella* infections. *J Microbiol Methods* 2014, 96:12-15.
159. Baudart J, Guillaume C, Mercier A, Lebaron P, Binet M: Rapid quantification of viable *Legionella* in nuclear cooling tower waters using filter cultivation, fluorescent in situ hybridization and solid-phase cytometry. *J Appl Microbiol* 2015, 118:1238-1249.
160. Barrette I: Comparison of Legiolert and a conventional culture method for detection of *Legionella pneumophila* from cooling towers in Quebec. *J AOAC Int* 2019, 102:1235-1240.
161. Rech MM, Swalla BM, Dobranic JK: Evaluation of Legiolert for quantification of *Legionella pneumophila* from non-potable water. *Curr Microbiol* 2018, 75:1282-1289.
162. Spies K, Pleischl S, Lange B, Langer B, Hubner I, Jurzik L, Luden K, Exner M: Comparison of the Legiolert/Quanti-Tray((R)) MPN test for the enumeration of *Legionella pneumophila* from potable water samples with the German regulatory requirements methods ISO 11731-2 and ISO 11731. *Int J Hyg Environ Health* 2018, 221:1047-1053.
163. Dai D, Rhoads WJ, Edwards MA, Pruden A: Shotgun metagenomics reveals taxonomic and functional shifts in hot water microbiome due to temperature setting and stagnation. *Front Microbiol* 2018, 9:2695.
164. Delafont V, Brouke A, Bouchon D, Moulin L, Hécharde Y: Microbiome of free-living amoebae isolated from drinking water. *Water Res* 2013, 47:6958-6965.

165. Ji P, Parks J, Edwards MA, Pruden A: Impact of water chemistry, pipe material and stagnation on the building plumbing microbiome. *PLoS One* 2015, 10:e0141087.
166. Ji P, Rhoads WJ, Edwards MA, Pruden A: Impact of water heater temperature setting and water use frequency on the building plumbing microbiome. *ISME J* 2017, 11:1318-1330.
167. Pereira RP, Peplies J, Brettar I, Hofle MG: Development of a genus-specific next generation sequencing approach for sensitive and quantitative determination of the *Legionella* microbiome in freshwater systems. *BMC Microbiol* 2017, 17:79.
168. Mizrahi H, Peretz A, Lesnik R, Aizenberg-Gershtein Y, Rodriguez-Martinez S, Sharaby Y, Pastukh N, Brettar I, Hofle MG, Halpern M: Comparison of sputum microbiome of legionellosis-associated patients and other pneumonia patients: indications for polybacterial infections. *Sci Rep* 2017, 7:40114.
169. Perez-Cobas AE, Buchrieser C: Analysis of the pulmonary microbiome composition of *Legionella pneumophila*-infected patients. *Methods Mol Biol* 2019, 1921:429-443.
170. Perez-Cobas AE, Ginevra C, Rusniok C, Jarraud S, Buchrieser C: Persistent Legionnaires' disease and associated antibiotic treatment engender a highly disturbed pulmonary microbiome enriched in opportunistic microorganisms. *mBio* 2020, 11:e00889-20.
171. Fliermans CB, et al.: Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol* 1981, 41:9-16.
172. Patterson WJ, et al.: Colonization of transplant unit water supplies with *Legionella* and protozoa: precautions required to reduce the risk of legionellosis. *J Hosp Infect* 1997, 37:7-17.
173. Wadowsky RM, et al.: Effect of temperature, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring *Legionella pneumophila* in potable water. *Appl Environ Microbiol* 1985, 49:1197-1205.
174. Yee RB, Wadowsky RM: Multiplication of *Legionella pneumophila* in unsterilized tap water. *Appl Environ Microbiol* 1982, 43:1330-1334.
175. Lesnik R, Brettar I, Hofle MG: *Legionella* species diversity and dynamics from surface reservoir to tap water: from cold adaptation to thermophily. *ISME J* 2016, 10:1064-1080.
176. Rhoads WJ, et al.: Water heater temperature set point and water use patterns influence *Legionella pneumophila* and associated microorganisms at the tap. *Microbiome* 2015, 3:67.
177. Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW: Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora. *Appl Environ Microbiol* 1994, 60:1585-1592.
178. Schulze-Robbecke R, Rodder M, Exner M.: Multiplication and killing temperatures of naturally occurring legionellas. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg* 1987, 184:495-500.
179. Tison DL, Pope DH, Cherry WB, Fliermans CB: Growth of *Legionella pneumophila* in association with blue-green algae (cyanobacteria). *Appl Environ Microbiol* 1980, 39:456-459.
180. Dennis PJ, Green D, Jones BP: A note on the temperature tolerance of *Legionella*. *J Appl Bacteriol* 1984, 56:349-350.
181. Lin YS, Stout JE, Yu VL, Vodic RD: Disinfection of water distribution systems for *Legionella*. *Semin Respir Infect* 1998, 13:147-159.
182. Stout JE, Best MG, Yu VL: Susceptibility of members of the family *Legionellaceae* to thermal stress: implications for heat eradication methods in water distribution systems. *Appl Environ Microbiol* 1986, 52:396-399.
183. Serrano-Suarez A, Dellunde J, Salvado H, Cervero-Arago S, Mendez J, Canals O, Blanco S, Arcas A, Araujo R: Microbial and physicochemical parameters associated with *Legionella* contamination in hot water recirculation systems. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013, 20:5534-5544.
184. Kruse E-B, Wehner A, Wisplinghoff H: Prevalence and distribution of *Legionella* spp. in potable water systems in Germany, risk factors associated with contamination, and effectiveness of thermal disinfection. *Am J Infect Control* 2017, 44:470-474.
185. Proctor CR, Dai D, Edwards MA, Pruden A: Interactive effects of temperature, organic carbon, and pipe material on microbiota composition and *Legionella pneumophila* in hot water plumbing systems. *Microbiome* 2017, 5:130.
186. Darelid J, Löfgren S, Malmvall BE: Control of nosocomial Legionnaires' disease by keeping the circulating hot water temperature above 55°C: experience from a 10-year surveillance programme in a district general hospital. *J Hosp Infect* 2002, 50:213-219.
187. Kool JL, Bergmire-Sweat D, Butler JC, Brown EW, Peabody DJ, Massi DS, Carpenter JC, Pruckler JM, Benson RF, Fields BS: Hospital characteristics associated with colonization of water systems by *Legionella* and risk of nosocomial Legionnaires' disease: a cohort study of 15 hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol* 1999, 20:798-805.
188. Mathys W, et al.: Occurrence of *Legionella* in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating. *Int J Hyg Environ Health* 2008, 211:179-185.
189. Plouffe JF, Webster LR, Hackman B: Relationship between colonization of hospital building with *Legionella pneumophila* and hot water temperatures. *Appl Environ Microbiol* 1983, 46:769-770.
190. Barna Z, et al.: Prevalence of *Legionella* in premise plumbing in Hungary. *Water Research* 2016, 90:71-78.
191. Bedard E, Boppe I, Kouame S, Martin P, Pinsonneault L, Valiquette L, Racine J, Prevost M: Combination of heat shock and enhanced thermal regime to control the growth of a persistent *Legionella pneumophila* strain. *Pathogens* 2016, 5:35.
192. Flannery B, et al.: Reducing *Legionella* colonization of water systems with monochloramine. *Emerg Infect Dis* 2006, 12:588-596.
193. Martinelli F, et al.: A comparison of *Legionella pneumophila* occurrence in hot water tanks and instantaneous devices in domestic, nosocomial, and community environments. *Curr Microbiol* 2000, 41:374-376.
194. Rakić A, Štambuk-Giljanović N: Physical and chemical parameter correlations with technical and technological characteristics of heating systems and the presence of *Legionella* spp. in the hot water supply. *Environ Monit Assess* 2016, 188.
195. Stout JE, Yu VL, Yee YC, Vaccarello S, Diven W, Lee TC: *Legionella pneumophila* in residential water supplies: environmental surveillance with clinical assessment for Legionnaires' disease. *Epidemiol Infect* 1992, 109:49-57.
196. Völker S, C. Schreiber, and T. Kistemann: Drinking water quality in household supply infrastructure - A survey of the current situation in Germany. *Int J Hyg Environ Health* 2010, 213:204-209.
197. Arvand M, Jungkind K, Hack A: Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by *Legionella pneumophila*: do we know the true dimension? *Euro Surveill* 2011, 16.
198. Borella P, Montagna MT, Stampi S, Stancanelli G, Romano-Spica V, Triassi M, Marchesi I, Bargellini A, Tato D, Napoli C, et al.: *Legionella* contamination in hot water of Italian hotels. *Appl Environ Microbiol* 2005, 71:5805-5813.

199. Zacheus OM, Martikainen PJ: Occurrence of *Legionellae* in hot water distribution systems of Finnish apartment buildings. *Can J Microbiol* 1994, 40:993-999.
200. Arnow PM, D. Weil, and M.F. Para: Prevalence and significance of *Legionella pneumophila* contamination of residential hot-tap water systems. *J Infect Dis* 1985, 152:145-151.
201. Bedard E, et al.: Temperature diagnostic to identify high risk areas and optimize *Legionella pneumophila* surveillance in hot water distribution systems. *Water Res* 2015, 71:244-256.
202. Blanc DS, et al.: Water disinfection with ozone, copper and silver ions, and temperature increase to control *Legionella*: seven years of experience in a university teaching hospital. *J Hosp Infect* 2005, 60:69-72.
203. Groothuis DG, Veenendaal HR, Dijkstra HL: Influence of temperature on the number of *Legionella pneumophila* in hot water systems. *J Appl Bacteriol* 1985, 59:529-536.
204. Mouchtouri V, Velonakis E, Tsakalof A, Kapoula C, Goutziana G, Vatopoulos A, Kremastinou J, Hadjichristodoulou C: Risk factors for contamination of hotel water distribution systems by *Legionella* species. *Appl Environ Microbiol* 2007, 73:1489-1492.
205. Buse HY, Schoen ME, Ashbolt NJ: *Legionellae* in engineered systems and use of quantitative microbial risk assessment to predict exposure. *Water Res* 2012, 46:921-933.
206. Leoni E, et al.: *Legionella* waterline colonization: detection of *Legionella* species in domestic, hotel and hospital hot water systems. *J Appl Bacteriol Microbiol* 2005, 98:373-379.
207. Stout JE, Yu VL, Best MG: Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution systems. *Appl Environ Microbiol* 1985, 49:221-228.
208. Völker S, Schreiber C, Kistemann T: Modelling characteristics to predict *Legionella* contamination risk - Surveillance of drinking water plumbing systems and identification of risk areas. *Int J Hyg Environ Health* 2016, 219:101-109.
209. Fuchslin HP, Nguyen CP, Krebs W, Lüscher M: Quantifizierung von Biofilmen in Kunststofftrinkwasserrohren. *Aqua und Gas* 2013, 3:54-59.
210. George JR, Pine L, Reeves MW, Harrell WK: Amino acid requirements of *Legionella pneumophila*. *J Clin Microbiol* 1980, 11:286-291.
211. Van der Kooij D: Microbial growth in drinking water supplies problems, causes, prevention and research needs. *IWA Publishing* (London); 2014.
212. Rowbotham TJ: Preliminary report on the pathogenicity of *Legionella pneumophila* for freshwater and soil amoebae. *J Clin Pathol* 1980, 33:1179-1183.
213. Van der Kooij D, Bakker GL, Italiaander R, Veenendaal HR, Wullings BA: Biofilm composition and threshold concentration for growth of *Legionella pneumophila* on surfaces exposed to flowing warm tap water without disinfectant. *Appl Environ Microbiol* 2017, 83.
214. Volk CJ, LeChevallier MW: Assessing biodegradable organic matter. *J Am Water Works Assoc* 2000, 92:64-76.
215. Reeves MW, Pine L, Hutner SH, George JR, Harrell WK: Metal requirements of *Legionella pneumophila*. *J Clin Microbiol* 1981, 13:688-695.
216. States SJ, Conley LF, Ceraso M, Stephenson TE, Wolford RS, Wadowsky RM, McNamara AM, Yee RB: Effects of metals on *Legionella pneumophila* growth in drinking water plumbing systems. *Appl Environ Microbiol* 1985, 50:1149-1154.
217. Warren WJ, Miller RD: Growth of Legionnaires' disease bacterium (*Legionella pneumophila*) in chemically defined medium. *J Clin Microbiol* 1979, 10:50-55.
218. Goldoni P, Sinibaldi L, Valenti P, Orsi N: Metal complexes of lactoferrin and their effect on the intracellular multiplication of *Legionella pneumophila*. *Biometals* 2000, 13:15-22.
219. Allard KA, Dao J, Sanjeevaiah P, McCoy-Simandle K, Chatfield CH, Crumrine DS, Castignetti D, Cianciotto NP: Purification of legiobactin and importance of this siderophore in lung infection by *Legionella pneumophila*. *Infect Immun* 2009, 77:2887-2895.
220. Buracco S, Peracino B, Andreini C, Bracco E, Bozzaro S: Differential effects of iron, zinc, and copper on *Dictyostelium discoideum* cell growth and resistance to *Legionella pneumophila*. *Front Cell Infect Microbiol* 2017, 7:536.
221. James BW, Mauchline WS, Dennis PJ, Keevil CW, Wait R: Poly-3-hydroxybutyrate in *Legionella pneumophila*, an energy source for survival in low-nutrient environments. *Appl Environ Microbiol* 1999, 65:822-827.
222. Van der Lugt W, Euser SM, Bruin JP, den Boer JW, Walker JT, Crespi S: Growth of *Legionella anisa* in a model drinking water system to evaluate different shower outlets and the impact of cast iron rust. *Int J Hyg Environ Health* 2017, 220:1295-1308.
223. Pringler N, Brydov P, Uldum SA: Occurrence of *Legionella* in Danish hot water systems. In *Legionella*. Cianciotto N, Kwaik Y, Edelstein P, Fields B, Geary D, Harrison T, Joseph C, Ratcliff R, Stout J, Swanson M (eds). ASM Press. American Society of Microbiology; 2002.
224. Vickers RM, Yu VL, Hanna SS, Muraca P, Diven W, Carmen N, Taylor FB: Determinants of *Legionella pneumophila* contamination of water distribution systems: 15-hospital prospective study. *Infect Control* 1987, 8:357-363.
225. Kyritsi MA, Mouchtouri VA, Katsioulis A, Kostara E, Nakoulas V, Hatzinikou M, Hadjichristodoulou C: *Legionella* colonization of hotel water systems in touristic places of Greece: Association with system characteristics and physicochemical parameters. *Int J Environ Res Public Health* 2018, 15.
226. Faccini M, Russo AG, Bonini M, Tunesi S, Murtas R, Sandrini M, Senatore S, Lamberti A, Ciconali G, Cammarata S, et al.: Large community-acquired Legionnaires' disease outbreak caused by *Legionella pneumophila* serogroup 1, Italy, July to August 2018. *Euro Surveill* 2020, 25.
227. Cervero-Arago S, Schrammel B, Dietersdorfer E, Sommer R, Lück C, Walochnik J, Kirschner A: Viability and infectivity of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* strains induced at high temperatures. *Water Res* 2019, 158:268-279.
228. Collins S, Stevenson D, Walker J, Bennett A: Evaluation of *Legionella* real-time PCR against traditional culture for routine and public health testing of water samples. *J Appl Microbiol* 2017, 122:1692-1703.
229. Europäische Gemeinschaft (EU): EU Trinkwasser-Richtlinie 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Europäische Gemeinschaft; 1998.
230. Europäische Gemeinschaft (EU): Proposal for a directive of the European parliament and of the council on the quality of water intended for human consumption; 2020.



231. Bundesamt für Gesundheit (BAG): Zahlen zur Legionellen-Infektionskrankheit. <https://www.bag.admin.ch/bag/de/home/zahlen-und-statistiken/zahlen-zu-infektionskrankheiten.exturl.html/aHR0cHM6Ly9tZWxkZXN5c3RlbnWUuYmFnYXBwcy5jaC9pbmZyZX/BvcnRpbmVZGF0ZW5kZXRhaWxzL2QvbGVnaW9uZWxsYS5odG1s/P3dlYmdyYWI9aWdub3Jl.html>; 2019.
232. Cossali G, Routledge EJ, Karayiannis TG, Fielder J: The cost of Legionellosis and technical ways forward. In *CIBSE Technical Symposium 11-12 April 2013*. Liverpool John Moores University; 2013.
233. Center for Disease Control and Prevention (CDC) USA: Most healthcare-acquired Legionnaires' cases could be prevented; 2017.
234. Robert Koch Institut (RKI): Legionärskrankheit in Deutschland (2001 bis 2013). *Epidemiologisches Bulletin* 2015.
235. Mathys W: Kompetenzbroschüre *Legionella, Pseudomonas* und Co. - fakultative opportunistische Krankheitserreger in Trinkwasser-Installationssystemen von Gebäuden. Gebr. Kemper GmbH + Co. und Geberit AG; 2019. <https://assets.geberit.de/local-media/02-downloadcenter/kompetenzbroschueren/201909-kb-kemper-mathys.pdf>
236. Bundesamt für Gesundheit (BAG): Meldung zum klinischen Befund von Legionellose; 2020. file:///C:/Users/b192fuh/Downloads/legionellose\_d.pdf
237. Aellig N, Bally B: Legionärskrankheit nach dem Besuch einer Autowaschanlage – drei Fälle im Kanton Zürich. *BAG Bulletin* 2019, 50:10-12.
238. Wüthrich D, Gautsch S, Spieler-Denz R, Dubuis O, Gaia V, Moran-Gilad J, Hinic V, Seth-Smith HM, Nickel CH, Tschudin-Sutter S, Bassetti S, Haenggi M, Brodmann P, Fuchs S, Egli A: Air-conditioner cooling towers as complex reservoirs and continuous source of *Legionella pneumophila* infection evidenced by a genomic analysis study in 2017, Switzerland. *Euro Surveill* 2019, 24.
239. Zanella MC, Yerly S, Cherkaoui A, Renzi G, Mamin A, Lourenco Cordes L, Delaporte E, Baranczuk-Turska Z, Keiser O, Schrenzel J, et al.: A community outbreak of Legionnaires' disease in Geneva, Switzerland, June to September 2017. *Swiss Med Wkly* 2018, 148:w14687.
240. Bundesamt für Gesundheit (BAG): Legionellose in der Schweiz: Meldejahre 2004 bis 2008. *BAG Bulletin* 2008, 651-655.
241. Bundesamt für Gesundheit (BAG): Die Legionärskrankheit in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein, 2008 bis 2017. *BAG Bulletin* 2018, 7-11.
242. Gysin N, Mäusezahl D: Legionnaires' disease in Switzerland: Analysis of Swiss surveillance data, 2000 to 2016, with emphasis on spatial and seasonal determinants. *Swiss Tropical and Public Health Institute*; 2018.