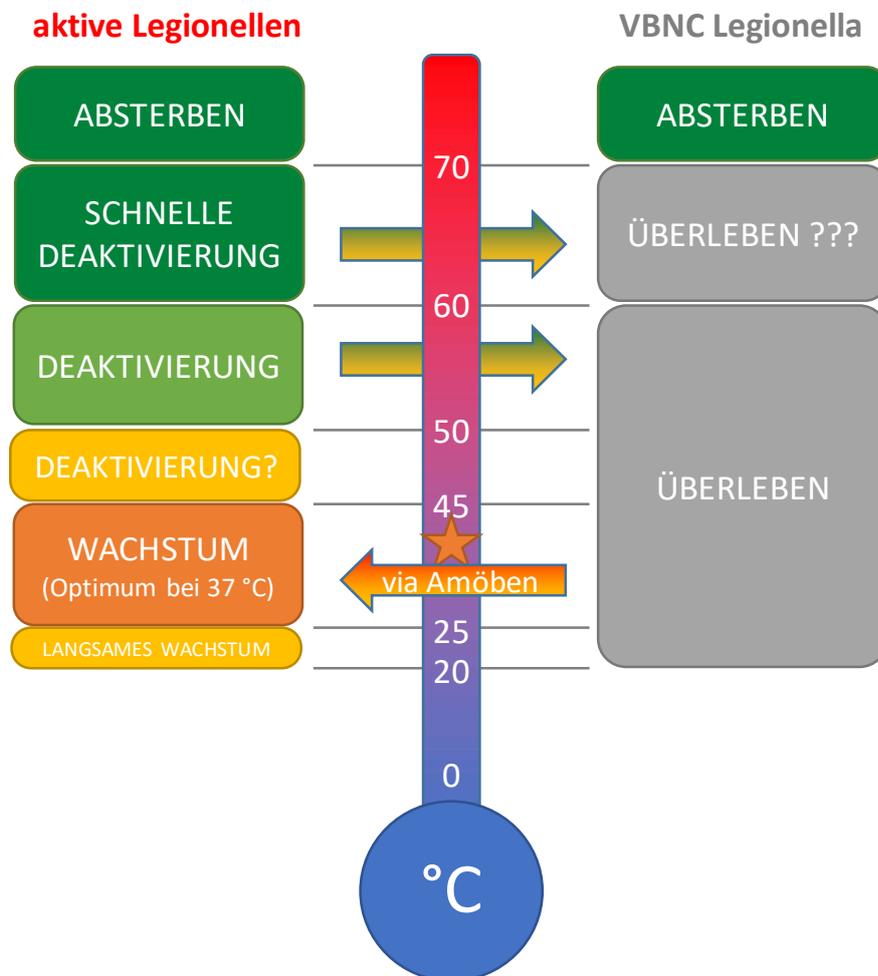




Schlussbericht 15. Juli 2019

Applied Research Projekt

LegioSafe - Legionellensicherheit in thermischen Solaranlagen





INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK



Datum: 15. Juli 2019

Ort: Rapperswil

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Solarthermie und Wärmespeicherung
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer:

SPF Institut für Solartechnik
Hochschule für Technik HSR
Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil
www.spf.ch

Autor:

Michel Haller, michel.haller@spf.ch
Florian Ruesch, florian.ruesch@spf.ch

Danksagung:

Stephan Mathez, Solar Campus GmbH
Jean-Marc Suter, Suter Consulting
Franziska Rölli, Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE, HSLU
Irina Nüesch, Amt für Verbraucherschutz Kanton Aargau

BFE-Bereichsleitung: Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Programmleitung: Elimar Frank, elimar.frank@frank-energy.com

BFE-Vertragsnummer: SI/500315-03

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



Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Im Projekt LegioSafe wurde der Stand des Wissens zusammengetragen bezüglich Vorkommen von Legionellen in häuslichen Trinkwassersystemen im Allgemeinen, und bezüglich solarwärme-unterstützten Systemen und Wärmespeichern im Speziellen. Bisherige Studien zeigen, dass Systeme, welche Solarwärme zur Erwärmung des Trinkwassers einsetzen, deutlich weniger von Legionellen befallen sind als konventionelle Systeme. Weiter zeigte sich überraschenderweise, dass einige Forderungen, die in aktuellen Normen oder Normenentwürfen (Sommer 2018) gemacht werden, mit Ergebnissen von Felduntersuchungen nicht gestützt werden können oder diesen sogar widersprechen. Weitere Arbeiten und insbesondere auch weitere Felduntersuchungen werden nötig sein, um Klarheit zu schaffen bezüglich den Anforderungen an Temperaturen und Betriebsweisen von Trinkwassersystemen. Weitgehend unbekannt ist zum heutigen Zeitpunkt die Bedeutung von Legionellen, welche "lebensfähig, aber nicht kultivierbar" sind. Diese werden, abgeleitet vom Englischen auch "viable, but not culturable", oder VBNC Legionellen genannt. Es ist zum heutigen Zeitpunkt unklar, ab welcher Temperatur diese mit Sicherheit aus einem System eliminiert werden, und ob diese auch direkt, d.h. ohne die Reaktivierung über Amöben oder andere Phagen, Infektionen verursachen können. Auch hier werden weitere Forschungsanstrengungen unternommen werden müssen, um die Rolle dieser lange wenig beachteten Form der Legionellen zu klären.

Résumé

Dans le cadre du projet LegioSafe, la littérature concernant la présence de Legionella dans les systèmes d'eau potable domestiques en général et dans les systèmes solaires et les systèmes de stockage de chaleur en particulier a été compilé. La littérature disponible montre que les systèmes qui utilisent la chaleur solaire pour chauffer l'eau potable sont nettement moins affectés par la légionellose que les systèmes conventionnels. En outre, il s'est avéré surprenant que certaines exigences des normes actuelles ou des projets de normes (été 2018) ne puissent être appuyées ou sont même contredites par les résultats des enquêtes sur le terrain. D'autres travaux et, en particulier, d'autres études sur le terrain seront nécessaires afin de clarifier les exigences relatives aux températures et aux modes de fonctionnement des systèmes d'eau potable. La signification de Legionella, qui est "viable mais non cultivable" (VBNC), est aujourd'hui largement inconnue. On ne sait pas encore avec certitude à quelle température ils peuvent être éliminés d'un système et s'ils peuvent également provoquer directement des infections, c'est-à-dire sans réactivation par amibes ou autres phages. Ici aussi, des efforts de recherche supplémentaires devront être faits pour clarifier le rôle de cette forme longtemps négligée de Legionella.

Summary

In the project LegioSafe the state of knowledge concerning the occurrence of Legionella in domestic drinking water systems in general, and in solar heat supported systems and heat storages in particular, was compiled. Available literature shows that systems that use solar collectors to heat drinking water are significantly less affected by Legionella than conventional systems. Surprisingly, it was also found that some requirements made in current standards or draft standards (summer 2018) cannot be supported or are even contradicted by the results of field studies. Further work and, in particular, further field investigations, will be necessary in order to clarify the requirements for temperatures and operating modes of drinking water systems. The significance of Legionella that are "viable but not cultivable" (VBNC) is largely unknown today. At present it is unclear at which temperature these are definitely eliminated from a system and whether they can also cause infections directly, i.e. without reactivation via amoebae or other phages. Here, too, further research efforts will have to be made to clarify the role of this long-neglected form of Legionella.



Inhalt

Zusammenfassung	4
Résumé	4
Summary	4
Abkürzungsverzeichnis und Definitionen	7
1 Motivation	8
2 Ziele und Methoden	9
3 Allgemeines zu Legionellen	10
3.1 Grundlagen	10
3.2 Legionellosen in Europa und in der Schweiz.....	11
4 Legionellen und Temperaturen	14
4.1 Vermehrung in Abhängigkeit der Temperatur	15
4.2 Überleben Legionellen bei Temperaturen über 50 °C?	16
4.2.1 Vermeintliche Beweise für Überleben oder Vermehrung über 50 °C.....	16
4.2.2 VBNC Legionellen	17
5 Legionellen in Feldstudien	19
5.1 Vorkommen in Solarwärme- und anderen Anlagen	19
5.2 Wärmespeicher und warme Zirkulation als Einflussparameter	20
5.3 Einzelfälle mit Bezug zu Solaranlagen.....	28
5.3.1 System mit vier MFH im Kanton Aargau	28
5.3.2 Spital in Brasilien und Hotel in Antigua	30
5.4 Zusammenfassung der Resultate aus Feldstudien	30
6 Solarwärmesysteme am Schweizer Markt	33
6.1 Vorwärm-, Mitteltemperatur und Bereitschaftsvolumen	34
6.2 Typische Anlagenkonzepte	34
6.2.1 Warmwasser im Ein- und Zweifamilienhaus	34
6.2.2 Kombi-Systeme für Ein- und Zweifamilienhäuser	35
6.2.3 Warmwasser im Mehrfamilienhaus	37
6.2.4 Kombi-Systeme in Mehrfamilienhäusern.....	37
6.3 Kennwerte der in der Schweiz verbreiteten Systeme	38
6.3.1 Speichervolumen.....	38
6.3.2 Oberflächen im Kontakt mit Trinkwasser.....	40
7 Diskussion	43
7.1 Epidemiologische Entwicklung.....	43
7.2 Legionellen und Temperaturen	43
7.3 Resultate aus Feldstudien	44
7.4 Solare Wärmeerzeugung	46
7.5 Probenahmen bei 60 °C an den Zapfstellen	46
7.6 Mögliche Verbrühungen durch Warmwasser.....	47
8 Schlussfolgerungen und Ausblick	49



8.1	Epidemiologische Entwicklung.....	49
8.2	Legionellen und Temperaturen	49
8.3	Feldstudien.....	49
8.4	Legionellen und Solaranlagen	50
8.5	Analyse der marktüblichen Solarspeicher	50
8.6	Ausblick	51
9	Bibliographie	52
Anhang A: Zeitlicher Verlauf eines Legionellenbefalls in einem Mehrfamilienhaus im Kanton Aargau		57



Abkürzungsverzeichnis und Definitionen

- BAG Bundesamt für Gesundheit
- CEN Comité européen de normalisation / European Committee for Standardization
- DDR Deutsche Demokratische Republik
- DFH Doppelfamilienhaus
- EFH Einfamilienhaus
- EN Europäische Norm
- Grenzwert In Bezug auf die Begrenzung der Konzentration von Legionellen in Trink-, respektive in Duschwasser werden länderspezifisch unterschiedliche Begriffe verwendet. In Deutschland ist durch die DVGW Richtlinie W 551 ein "Technischen Massnahmenwert" definiert, der ab 100 KBE/100 ml überschritten ist. In der Schweiz gilt laut SR 817.022.11 (abgekürzt TBDV) Anhang 5 ein "Höchstwert für Legionella spp." von 1000 KBE/Liter für öffentlich zugängliche Bäder und Duschanlagen. In dieser Arbeit nehmen wir Bezug auf diese Massnahmen-, respektive Höchstwerte mit der Bezeichnung "Grenzwert für Legionellen"
- KBE Kolonie Bildende Einheiten – Nachweisverfahren, zählt nur lebende und vermehrungsfähige Organismen
- KW Trinkwasser (kalt), das für den menschlichen Gebrauch inkl. Duschen verwendet werden kann, vereinfachend als "Kaltwasser" bezeichnet
- MFH Mehrfamilienhaus
- n Anzahl Proben oder Objekte
- PCR Polymerase Chain Reaction – Nachweisverfahren, zählt mitunter auch tote Organismen
- SIA Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband
- TC Technical Committee
- VBNC Viable, But Not Culturable – Zustand von Mikroorganismen in welchem diese lebensfähig, jedoch nicht vermehrungsfähig sind und somit durch kulturellen Nachweis nicht detektiert werden können. Aus diesem Zustand können Mikroorganismen unter bestimmten Bedingungen wieder reaktiviert werden und in den kultivierbaren und vermehrungsfähigen Zustand zurückkehren.
- WW (Trink)-Warmwasser, das für den menschlichen Gebrauch inkl. Duschen verwendet werden kann, vereinfachend als "Warmwasser" bezeichnet



1 Motivation

Die Publikation der revidierten Warmwassernorm SIA 385/1 ist im Juni 2018 von der Zentralkommission der SIA zurückgestellt worden. Die Kommission möchte offene Fragen, insbesondere im Zusammenhang mit Legionellensicherheit von Solarwärmeanlagen und sinnvollen Massnahmen bezüglich des solaren Vorwärmvolumens, beantwortet haben. Es soll eine Norm erlassen werden, welche die Legionellensicherheit der Anlagen gewährleistet, gleichzeitig jedoch die bestehenden solaren Warmwasserkonzepte nur so weit tangiert oder Änderungen fordert, wie dies auch tatsächlich notwendig ist.

Manchmal wird gefordert, dass eine wöchentliche oder sogar tägliche Aufheizung des solaren Vorwärmvolumens auf 60 °C gemacht werden soll, wenn dieses Trinkwasser enthält. Manchmal ist diese Forderung verbunden mit Kennzahlen der entsprechenden Wärmespeicher. Beispiele für solche Kennzahlen sind:

- Das Bereitschafts- und Verteilvolumen (nur Trinkwasserinhalt)
- Das Vorwärm-Volumen (nur Trinkwasserinhalt)

Generell stellt sich die Frage, ob Solarwärmeanlagen mit oder ohne Vorwärmvolumen welches Trinkwasser enthält unsicherer sind als gewöhnliche Anlagen zur Warmwassererzeugung, wenn das Vorwärmvolumen nicht täglich oder wöchentlich auf eine hohe Temperatur gebracht wird. Zudem stellt sich die Frage, ob es Kennwerte gibt wie zum Beispiel die Menge Trinkwasser in Vorwärm- oder Bereitschaftsvolumen oder die Oberflächen welche in diesen Volumen in Kontakt sind mit Trinkwasser, welche zur Beurteilung der Legionellensicherheit der Anlagen herangezogen werden können. Aus solchen Grössen könnten dann eventuell auf Grund empirisch in Felduntersuchungen ermittelter Werte oder durch im Labor validierte Simulationen Grenzen und Betriebsanforderungen definiert werden, um die Legionellensicherheit in jedem Falle gewährleisten zu können. Aus Sicht der Branche sind theoretische Überlegungen ohne empirische Beweise kein genügendes Argument um funktionierende Systeme, welche bisher nicht nachweislich zu Problemen mit Legionellen geführt haben, aus dem Markt zu nehmen. Hier gilt es

- a) den Wissensstand sauber aufzuarbeiten und
- b) aufzuzeigen, welche Systeme von Grenzwerten in welcher Weise betroffen wären.

Die hier zusammen getragenen Informationen dienen als Grundlage zur Konsensfindung zwischen der Industrie und den Vertretern der Kommission der SIA 385/1, respektive den Bundeämtern BAG und BLV welche strenge Normen fordern.

Gleichzeitig soll die Gelegenheit benützt werden, um offene Fragen, deren Beantwortung zur Ausarbeitung einer zielgerichteten Norm wichtig wäre, aufzuzeigen.



2 Ziele und Methoden

Die Ziele dieses Projektes können wie folgt zusammengefasst werden.

1. Aufarbeitung der Grundlagen und Zusammenhänge zwischen Legionellen und Solarwärmesystemen.
2. Ermittlung der relevanten Kennzahlen heutiger Solarwärmesysteme auf dem Markt, welche Legionellenvorkommen beeinflussen können.
3. Vorschläge für Kennzahlen und Grenzwerte, welche für die Ausarbeitung der Norm herangezogen werden können, so dass gleichzeitig eine hohe Legionellensicherheit gewährleistet wird und bestehende Konzepte nur dann grundlegend überarbeitet oder vom Markt genommen werden müssen, wenn deren Inkompatibilität mit Legionellensicherheit erwiesen oder sehr wahrscheinlich ist.
4. Ausarbeitung einer entsprechenden Zusammenfassung zuhanden des BFE, Swissolar, und der SIA-Kommission 385/1.

Zu Beginn dieser Studie wurde damit gerechnet, dass auf Grund von Literatur und bereits vorhandenen Datenbanken zum Vorkommen von Legionellen in Sanitärinstallationen auch Kennzahlen von Solarwärmeanlagen erhoben werden können, welche das Vorkommen von Legionellen begünstigen. Es musste jedoch im Verlauf der Studien erkannt werden, dass die vorhandene Datenlage für die Ermittlung solcher Kennzahlen nicht ausreicht.

Es wurde deshalb auf Grund der heute am Markt vorhandenen Systeme aufgezeigt, in welchem Bereich sich die Kennzahlen "Trinkwasser enthaltendes Vorwärm- und Mitteltemperaturvolumen" und "Oberflächen im Kontakt mit Trinkwasser in Vorwärm- und Mitteltemperaturbereich" der Speicher bewegen, ohne dass Erkenntnisse vorliegen würden, ob und wenn ja wie diese Kennzahlen das Vorkommen von Legionellen im Speicher und an den Zapfstellen beeinflussen.



3 Allgemeines zu Legionellen

3.1 Grundlagen

Es soll an dieser Stelle keine allgemeine Übersicht über das Thema Legionellen und Infektionsgefahren durch Legionellen gegeben werden. Vielmehr wird auf einschlägige Literatur zu diesem Thema verwiesen, insbesondere auf die Publikationen des Bundesamtes für Gesundheit (BAG) zum Thema Legionellen und Legionellose allgemein [1] sowie zu Legionellosen in der Schweiz und im Fürstentum Lichtenstein [2]. Einige wichtige Eckdaten und -fakten seien hier jedoch erwähnt:

- Der Infektionsweg erfolgt über in der Luft suspendierte Tröpfchen (Aerosole) welche eingeatmet werden. Das Trinken von legionellenhaltigem Wasser gilt als unbedenklich.
- Die Vermehrung erfolgt insbesondere im Temperaturbereich von 25 – 45 °C, mit einem Maximum um 37 °C. Oberhalb von 50 °C wird nicht mehr mit einer Vermehrung gerechnet, sondern eher mit einem langsamen Absterben, respektive einer Inaktivierung. Oberhalb von 60 °C erfolgt eine Reduktion der kultivierbaren Legionellen um Faktor 10 in der Regel innerhalb ca. 3 Minuten.
- Die Vermehrung erfolgt hauptsächlich an Oberflächen, insbesondere in Biofilmen an diesen Oberflächen. In den Biofilmen erfolgt die Vermehrung hauptsächlich innerhalb von Amöben (parasitär) und in diesen überleben die Legionellen auch Desinfektionsmassnahmen länger.
- Es gibt verschiedene Arten von Legionellen, und es gibt für die einzelnen Arten verschiedene Zustände (Formen), welche Legionellen annehmen können. In den letzten Jahren ist dabei insbesondere der Zustand der nicht kultivierbaren, jedoch noch lebensfähigen Zellen (VBNC: Viable, But Not Culturable) in den Fokus der Forschung gelangt. Diese Form von Legionellen wird vor allem bei Stress (Nährstoffmangel, toxische Umgebung, hohe Temperaturen) gebildet und in diesem Zustand überleben Legionellen auch Desinfektionsmassnahmen wie Chlorierung und hohe Temperaturen über längere Zeiträume. Wann und wie die Legionellen aus diesem Zustand wiedererwachen können, ist Gegenstand der Forschung. Fest steht jedoch, dass sie daraus wieder zurückkehren und wieder wachsen können, und dass sie zumindest nach dieser Rückkehr wieder Infektionen hervorrufen können.

Auf Grund der Möglichkeit, dass Legionellen in einem Temperaturbereich von 50 – 60 °C anstatt zu sterben in einen VBNC-Status übergehen können, müssen viele der gängigen grafischen Darstellungen der Temperaturabhängigkeit von Vermehrung und Absterben von Legionellen überdacht, respektive angepasst werden. Eine Übersicht über den Stand des Wissens zum Thema Legionellen und Temperaturen gibt Kapitel 4.



3.2 Legionellosen in Europa und in der Schweiz

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass der grösste Teil der Legionellosen als „im Alltag erworben“ gilt [2] und keiner spezifischen Infektionsquelle zugeordnet werden kann. Ausser zu kalten Warmwassersystemen und zu warmen Kaltwassersystemen kommen einige weitere Infektionsquellen in Betracht. Welche Quellen als bestätigt und welche nur als potentielle Quellen angesehen werden können wurde von van Heijnsbergen u.a. im Jahr 2015 auf Grund einer umfangreichen Literaturrecherche analysiert [3]. Unter den bestätigten Quellen für Infektionen finden sich, in ungefährender Reihenfolge der Nennungen und Evidenz:

- Nasskühlsysteme [4–6]
- Trink-, respektive Duschwassersysteme allgemein
- Whirlpools
- Blumen- und Komposterde
- Bäder
- Brunnen / Zierbrunnen
- Abwasserreinigungsanlagen / Kläranlagen [7–11]
- Luftbefeuchter
- andere Arten von aerosolbildenden Geräten und Anlagen

etc.

Die in Abbildung 1 gezeigten Legionellose-Inzidenzen auf Grund der rapportierten Fälle in der Schweiz zeigen zwei Dinge:

1. Eine Zunahme über die Jahre, insbesondere aber seit 1996 (Abbildung 2). Es ist unklar, ob diese Zunahme der rapportierten Fälle pro 100'000 Personen ein Resultat vermehrter Sensibilisierung und häufigerer Abklärung auf Legionellose beruht, oder ob tatsächlich heute mehr Personen infiziert werden als früher. Generell geht man von einer sehr hohen Dunkelziffer aus. Legionellosen werden häufig als gewöhnliche Lungenentzündungen wahrgenommen und gar nicht als Legionellose erkannt.
2. Eine ausgeprägte jahreszeitliche Abhängigkeit. Am wenigsten Legionellosen werden von Januar bis April registriert, die meisten Fällen in den heissen Monaten von Juli bis September (Abbildung 2). In Spitzenmonaten im Sommer ist die Inzidenz drei Mal so hoch wie im Winter, mehr als 70% aller Fälle treten in den Monaten Mai bis Oktober auf.

Die Melderate ist in den einzelnen Kantonen der Schweiz recht unterschiedlich. Die mittlere Melderate aller Kantone lag zwischen 2008 und 2017 bei 3.5 Fällen / 100'000. Die höchsten Melderaten verzeichneten die Kantone Tessin mit 10 Fällen und Genf mit 4.6 Fällen, gefolgt von den Kantonen BS, SO, SH, NE und VD.

Eine kürzlich erschienene Studie geht davon aus, dass es in Deutschland jedes Jahr zu 15'000 – 30'000 sporadischen Legionellosepneumonien kommt [12]. Dies würde einer Inzidenz von ca. 18 – 36 pro 100'000 Einwohner entsprechen. Auf die Schweiz übertragen würde dies bedeuten, dass lediglich ca. jeder zehnte Fall von Legionellose gemeldet wird.



Legionellose

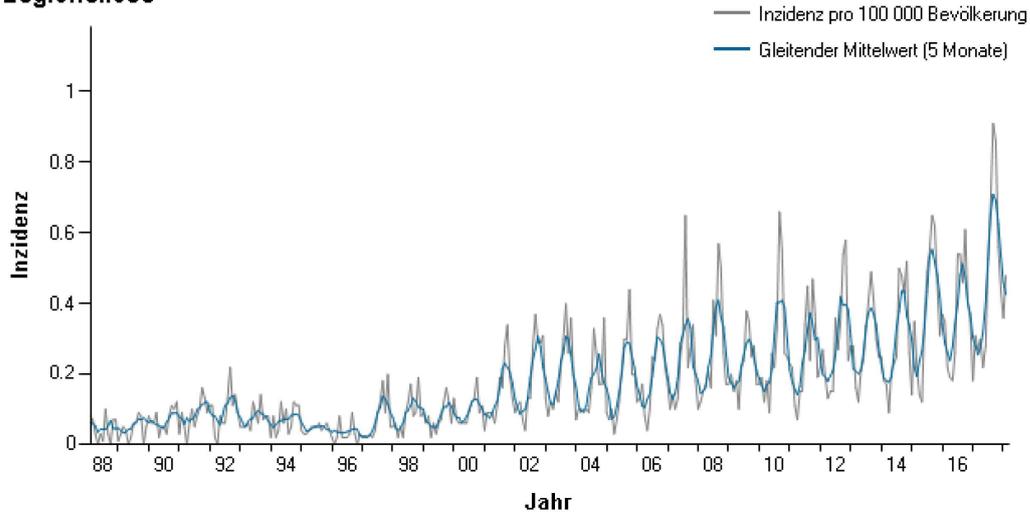


Abbildung 1: Legionellose-Inzidenz pro 100'000 Personen auf Grund der rapportierten Fälle, 1988 – 2017, gemäss BAG, präsentiert in [13].

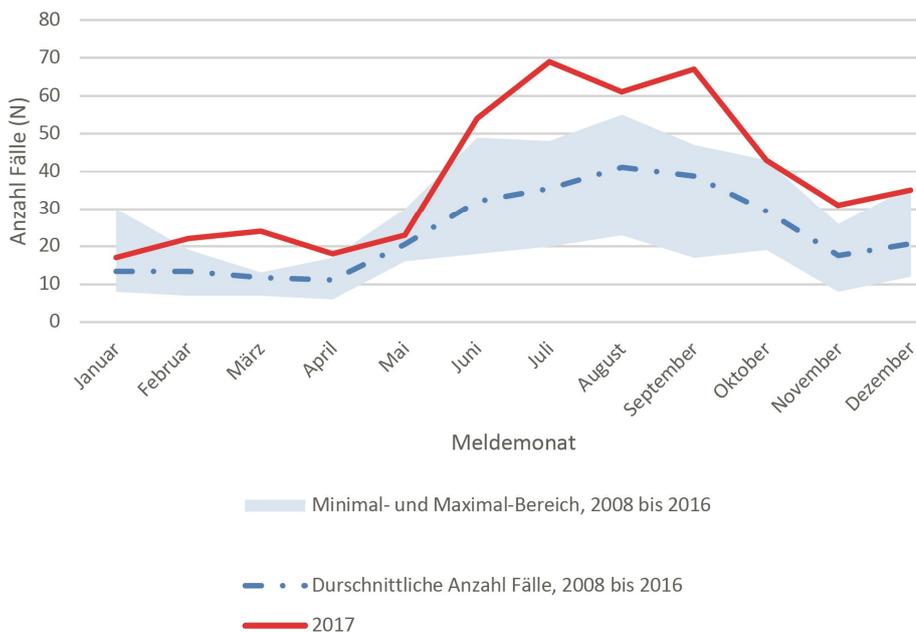


Abbildung 2: Jahreszeitlicher Verlauf der Registrierung von Legionellosen in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein [2].

Verschiedene Quellen geben an, dass in über 90% der Legionellosefällen die kontaminierte Quelle nicht gefunden werden kann¹. Dies obwohl die Trinkwasserinstallation am Wohnort immer in die Untersuchungen mit einbezogen wird. Im Falle, dass nicht bereits anderswo die Quelle identifiziert wurde, kann davon ausgegangen werden, dass Trinkwasserproben entnommen und analysiert

¹ z. Bsp. pers. Mitteilung Frau Dr. Irina Nüesch, Leiterin Sektion Trink- und Badewasser, Amt für Verbraucherschutz, Lebensmittelkontrolle, Departement Gesundheit und Soziales, Kanton Aargau, am 20.06.2018. Bei zusammenhängenden Erkrankungen mehrerer Personen (Ausbrüche / Gruppenerkrankungen) kann die Infektionsquelle in der Regel durch die Abklärungen gefunden werden. Diese machen jedoch nur einen geringen Teil der insgesamt erfassten Legionellosen aus.



wurden. Daraus lässt sich schliessen, dass entweder weniger als 10% der Legionellosen auf verunreinigte Warm- oder Kaltwasserinstallationen am Wohnort zurückzuführen sind, oder die Verunreinigung ausschliesslich eine wenig durchspülte Stichleitung betroffen hat, welche bei der Gelegenheit ihren kontaminierten Inhalt ausgestossen oder pasteurisiert hat. Ein systematischer Befall eines zentralen Wärmespeichers wäre mit hoher Wahrscheinlichkeit auch zum Zeitpunkt der Probeentnahme noch vorhanden und als solcher erkannt worden.

Legionellenwachstum im Wärmespeicher kann deshalb wohl in über 90% der registrierten Legionellosen als Ursache als sehr unwahrscheinlich angesehen werden².

Lück und Helbig [14] stellten 1993 fest, dass in der Region des damaligen Dresden (ehemalige DDR) keine Sommerspitzen bei den Legionelloseinzidenzen zu beobachten waren. Sie führen dies darauf zurück, dass in der ehemaligen DDR kaum Nasskühltürme vorhanden und die Reisemöglichkeiten der Bevölkerung arg eingeschränkt waren.

² Unklar ist diesbezüglich die Rolle von Legionellen im VBNC-Stadium. Sollte sich zeigen, dass dem Wärmespeicher im Zusammenhang mit dieser Form von Legionellen, die von heute üblichen Detektionsmethoden nicht nachgewiesen werden können, eine besondere Rolle zukommt, und dass von dieser Form der Legionellen ein hohes Risiko ausgeht, dann müssten diese Aussagen revidiert werden. Selbst wenn sich jedoch zeigen sollte, dass die Gefahr von VBNC-Legionellen hoch ist, bleibt immer noch die Tatsache, dass die meisten Legionellosen im Sommer auftreten, und viel höhere Raten in warmen und sonnigen Kantonen. Dieses Muster entspricht nicht dem was man erwarten würde bei einem dominierenden Einfluss von Wasser-Wärmespeichern.

4 Legionellen und Temperaturen

Es besteht ein breiter Konsens, dass Legionellen in Trinkwassersystemen vor allem über geeignete Temperaturregimes sowie häufigen Durchsatz des Trinkwassers in den Griff zu bekommen sind. Andere Varianten wie chemische Desinfektion führen einer chemischen Veränderung des Trinkwassers, welche im Widerspruch steht zu den Ansprüchen die für Trinkwasser als Lebensmittel gesetzt werden, und wiederum andere Varianten wie die Behandlung mit UV-Licht oder die Filtration gelten als eher aufwändig oder deren Wirksamkeit und Sicherheit ist wenig erprobt und deshalb nicht gesichert.

Ein korrektes Bild der Vermehrung und des Überlebens verschiedener Formen von Legionellen in Abhängigkeit der Temperatur ist deshalb unerlässlich. In vielen Fachbüchern und Artikeln findet man leider Abbildungen und Angaben welche inkorrekt oder inkomplett sind. Inkorrekt deshalb, weil Vermehrung angedeutet wird in einem Temperaturbereich für welchen bisher keine wissenschaftlichen Belege für eine Vermehrung vorliegen. Inkomplett vor allem deshalb, weil das Überleben von VBNC-Stadien bei höheren Temperaturen selten zur Sprache kommt. In diesem Kapitel wird eine Übersicht gegeben über den Stand des Wissens, so weit wir ihn auf Grund der verfügbaren Primärliteratur ermitteln konnten. Die Resultate der folgenden Unterkapitel sind in Abbildung 3 zusammengefasst. Wie aus der Abbildung ersichtlich, ist der Einfluss von Temperaturen auf aktive Legionellen bereits weitgehend bekannt. Leider fehlen jedoch wissenschaftliche Belege für das Überleben oder Absterben von VBNC-Legionellen in Abhängigkeit der Temperatur weitgehend.

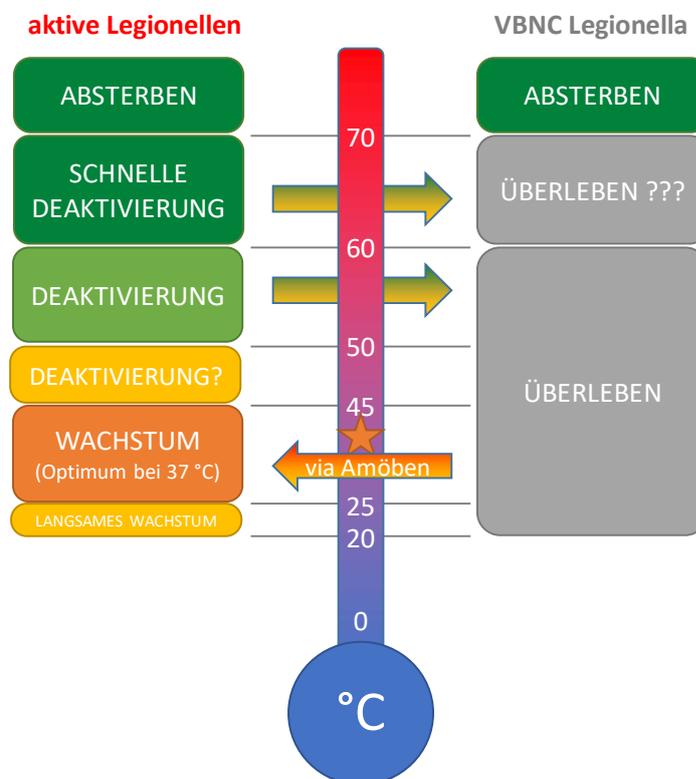
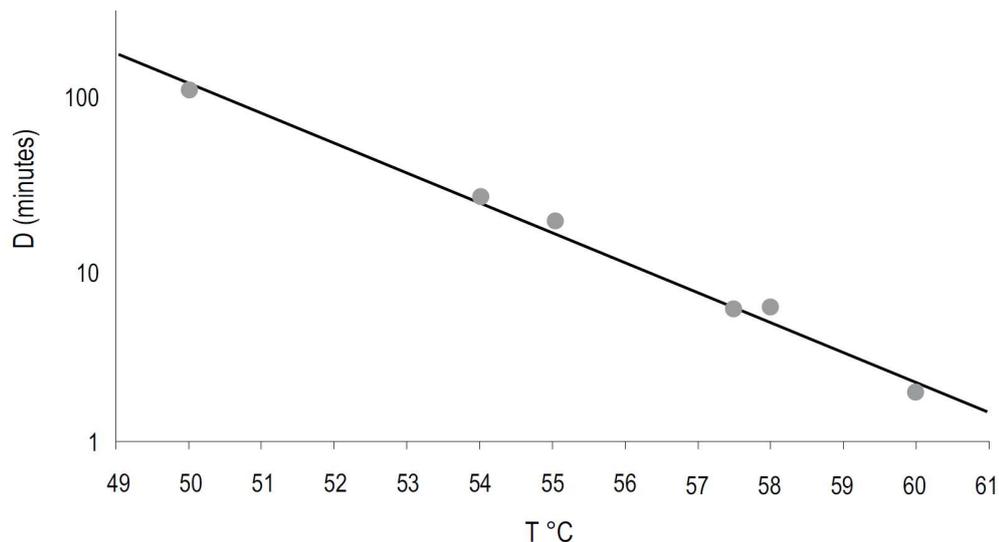


Abbildung 3: Vermehrung, Deaktivierung und Absterben von Legionellen.

4.1 Vermehrung in Abhängigkeit der Temperatur

Dass Legionellen in einem Temperaturbereich zwischen 25 °C und 45 °C nicht nur vorkommen, sondern sich auch vermehren können, ist gut belegt [15–18]. Yee & Wadowski [15] zum Beispiel konnten für Legionellen aus Warmwassersystemen ein Wachstum bis 42 °C nachweisen. Konishi u.a. stellen ab 44.2 °C kein Wachstum mehr fest [18].

Bei einigen Untersuchungen wurden die Legionellen bereits bei Temperaturen von 45 °C innerhalb von 9 – 21 Tagen [15,19] deaktiviert³. Bei Untersuchungen von Wadowski u.a. [19] wurden die Legionellen bereits bei 42 °C innert 26 Tagen deaktiviert. Die meisten Autoren [17,20–22] berichten jedoch von einem signifikanten und sicheren Absterben oder einer Deaktivierung erst ab 50 °C. Schulze-Röbbecke [23] stellt eine Dezimierung der Legionellen bei 50 °C innert 100 min (D-Wert = 100 min) fest. Weitere D-Werte wurden für 54 °C (27 min) und 58 °C (6 min) ermittelt. Auch die WHO geht in ihrer Publikation von 2007 [24] von einer Dezimierung vermehrungsfähiger Legionellen oberhalb von 50 °C aus.



Decimal reduction time (D) = time in minutes to kill 90% of the population of *Legionella*

Abbildung 4: D-Werte für die „Abtötung“ von Legionellen in Abhängigkeit der Temperatur gemäss WHO 2007 [24]. Der verwendete Begriff „kill“ ist wohl auf Grund der möglichen VBNC-Stadien zu hinterfragen und müsste den neuen Erkenntnissen angepasst und durch „deactivate“ ersetzt werden.

Cervero-Aragó u.a. berichten von einer Reduktion der aktiven Legionellen um Faktor 10^4 in 40 – 120 Minuten bei 50 °C (je nach Typ der Legionellen), und in wenigen Minuten bei 60 °C, für den Fall dass die Legionellen ohne die Präsenz anderer Mikroorganismen (axenisch) gehalten werden. Wurden die Legionellen zuvor jedoch gemeinsam mit Amöben (*Acanthamoebae*) kultiviert, dann stiegen die Zeiten welche notwendig waren für eine Reduktion um Faktor 10^4 bei 50 °C

³ Der Begriff Deaktivierung soll zum Ausdruck bringen, dass keine koloniebildenden Einheiten (KBE) mehr nachweisbar sind. Eventuell zuvor vorhandene kultivierbare Legionellen sind also entweder tot oder in einen VBNC-Status übergegangen.



auf 800 min (Faktor 14-18), bei 55 °C auf 50 min. (Faktor 5-6) und bei 60 °C auf 4-5 min. (Faktor 1.5). Die Autoren folgern daraus, dass Acanthamoebae unterhalb von 60 °C eine Schutzwirkung ausübt für Legionellen und eine Verlangsamung der Inaktivierung bewirkt.

Die Zeit, welche notwendig ist für eine Vermehrung von Legionellen, wird mit einer Verdoppelungsrate angegeben. In der Literatur findet man für diese Verdoppelungsraten unter optimalen Bedingungen (ca. 37 °C) Werte zwischen 1.5 h und 6 h [25–29].

4.2 Überleben Legionellen bei Temperaturen über 50 °C?

Teilweise wird behauptet, Legionellen könnten auch bei Temperaturen über 50 °C vermehren oder zumindest über längere Zeit überleben. Für eine Vermehrung bei Temperaturen über 50 °C konnten wir bisher keine wissenschaftlichen Belege finden.

Man muss heute davon ausgehen, dass sich Legionellen oberhalb einer Temperatur von 45 °C nicht mehr vermehren.

Das Überleben im eigentlichen Sinne über 50 °C ist umstritten. Auf Grund der heutigen Erkenntnisse sind Legionellen, welche über längere Zeit einer Temperatur von über 50 °C ausgesetzt waren, nicht mehr kultivierbar. D.h. sie können mit den heute üblichen Nachweismethoden der Kultivierung nicht mehr nachgewiesen werden. In der Lebensmittelbranche basieren die meisten Standardverfahren zum Nachweis von schädlichen Mikroorganismen auf diesen Verfahren.

4.2.1 Vermeintliche Beweise für Überleben oder Vermehrung über 50 °C

Fliermans u.a. [9] wiesen zwar Legionellen in 66 °C heißen Proben aus Abwasser- oder Abwärmewasser der Industrie nach. Der Nachweis wurde jedoch über ein Immunofluoreszenzverfahren erbracht. Die Autoren selber schreiben, dass dieses Verfahren keine Aussage darüber zulässt, ob diese Legionellen lebensfähig und damit noch vermehrungsfähig seien oder nicht. Auf Grund der Studien zur Vermehrung und zum Absterben anderer Autoren ist die Wahrscheinlichkeit sehr gross, dass die gefundenen Legionellen entweder tot oder im VBNC Status waren.

Lesnik u.a. [30] behaupten, sie hätten nachgewiesen, dass Legionellen auch oberhalb von 50 °C wachsen und bis 60 °C überleben können. Sie stützen sich dabei jedoch ebenfalls nicht auf Isolation und kontrollierte Vermehrung (KBE), sondern auf eine Quantifizierung der genetischen Informationen mit PCR⁴. In der Regel ist es jedoch auch mit PCR ohne vorgängigen Kultivierungsschritt nicht möglich zwischen toten und lebenden Zellen zu unterscheiden [31,32]⁵. Die Resultate zeigen eine positive Korrelation zwischen den über genetische Information identifizierten Legionellen-Zellen und Temperatur zwischen 50 und 60 °C. Ob die entsprechenden Zellen noch vermehrungsfähig waren wurde nicht überprüft. Die positive Korrelation, in einem Temperaturbereich, in welchem alle

⁴ Polymerase Chain Reaction.

⁵ Zitat aus Baumgart u.a. (2015) [31]: „Der direkte Nachweis lebender, pathogener Stämme in Lebensmitteln ist zumindest derzeit ohne Kultivierungsschritt nicht möglich.“



auf Isolation (KBE) basierenden Methoden eine eindeutig negative Korrelation nachweisen, lässt die entsprechende Interpretation der Autoren äusserst fragwürdig erscheinen. Auch hier steht jedoch die Frage im Raum, ob die Zunahme des Signals, welches der Autor registriert hat, nicht das Resultat einer Zunahme von Legionellen im VBNC Status war.

Rogers u.a. [33] studierten das Wachstum von Legionellen in Biofilmen auf Rohroberflächen. In ihrem Versuchsaufbau wurden aus einem Inkubator, der auf 30 °C betrieben wurde, laufend Legionellen in das eigentliche Versuchsgefäss gespült. Aus dem Wasser und aus dem Biofilm dieses zweiten Gefässes konnten Legionellen bis zu Temperaturen von 50 °C isoliert werden. Allerdings waren die Konzentrationen bei 50 °C etwa gleich hoch wie bei 20 °C, und viel tiefer als bei 40 °C. Die Autoren selbst halten es für unwahrscheinlich, dass sich die Legionellen bei 50 °C im Versuchsreaktor noch vermehrt haben. Vielmehr gehen sie davon aus, dass die aus dem Inkubator eingeschwemmten Legionellen bei 50 °C noch genügend lange überlebt haben, so dass sie nachgewiesen werden konnten. Sie vermuten, dass der Biofilm dabei eine gewisse schützende Wirkung ausgeübt haben könnte.

Es wird mitunter angeführt, dass Legionellen auch aus Proben, welche eine Temperatur von 60 °C bei Entnahme aus dem Wasserhahn aufweisen, noch isoliert werden konnten [34]. Es ist jedoch gut möglich, dass bei einer solchen Probenahme die Legionellen aus einem Bereich mitgespült worden sind, der vor der Probenahme eine deutlich geringere Temperatur aufwies. Es ist somit nicht klar, wie lange diese Legionellen einer Temperatur von 60°C ausgesetzt waren.

4.2.2 VBNC Legionellen

Bestimmte Mikroorganismen, und zu diesen gehören auch Legionellen, können bei ungünstigen Umgebungsbedingungen in sogenannte Dauerstadien übergehen, in welchen sie den Stoffwechsel auf ein Minimum reduzieren, nicht mehr wachsen oder sich vermehren, aber dennoch nicht tot sind. Aus dem Englischen hat sich dafür der Ausdruck VBNC-Status (Viable, But Not Culturable) eingebürgert. Aus diesen Dauerstadien können Mikroorganismen später wieder zurückkehren und erneut wachsen. Für Legionellen ist zwar bekannt, dass sie solche Dauerstadien bilden können. Es ist jedoch nicht klar, wie und wann sie aus diesen Dauerstadien zurückkehren, und ob sie evtl. auch im VBNC-Status virulent sind, d.h. zu Ansteckungen führen können.

Marinelli u.a. [35] überwachten 42 Wasserproben aus der Wasserverteilung (kalt und warm) mehrerer Spitalversorgungssysteme welche alle negativ waren in Bezug auf Legionellen welche nach der Probenahme durch Kultivierung bestimmt wurden. In sieben der 42 Proben konnten nach verschiedenen Zeitpunkten (15 Tage bis 9 Monate) der Lagerung Legionellen durch Kultivierung bestimmt werden. Die Autoren gehen davon aus, dass diese Legionellen aus einem VBNC-Status zurückgekehrt sind und sich dann vermehrt haben. Alle sieben Proben stammten aus dem Kaltwasser (16 – 23 °C). Die häufigsten Legionellentypen die so nachgewiesen wurden waren *Legionella anisa* und *Legionella ssp.*, *L. pneumophila srg. 1*⁶ konnte in einer der Proben nachgewiesen werden. Proben welche aus dem

⁶ dieser Typ ist für die meisten Erkrankungen verantwortlich.



Warmwasser entnommen wurden (42 – 60 °C) blieben über den ganzen Zeitraum Legionellen-negativ.

Steinert u.a. [36] zeigten, dass Legionellen welche durch aushungern unkultivierbar geworden sind, jedoch im VBNC Status noch nachgewiesen werden konnten, durch Acanthamoeben wieder in den kultivierbaren Zustand zurückgeholt werden konnten. Diese Legionellen konnten wiederum Makrophagen befallen und waren virulent, eine direkte Virulenz der im VBNC-Status befindlichen Legionellen konnten sie nicht nachweisen.

Casini u.a. [37] berichten ebenfalls über den Nachweis von VBNC Legionellen nach Monochloramin-Desinfektion von Spitalwasser. Ob es sich dabei um Warmwasser oder um Kaltwasserproben gehandelt hat ist nicht deklariert.

Epalle u.a. [38] konnten selbst nach Behandlung bei 70°C für 30 min. noch VBNC Legionellen nachweisen, und diese konnten durch Amöben wieder aktiviert und in der Folge kultiviert werden. In keinem Versuch waren VBNC Legionellen nach 60 min. bei 70 °C in der Lage, Acanthamoebae oder Makrophagen zu befallen und dadurch wieder in den kultivierbaren Zustand zurückzukehren.

Dietersdorfer u.a. [39] untersuchten die Virulenz und die Rückgewinnung der Kultivierbarkeit von Legionellen, welche durch Nährstoffentzug (destilliertes Wasser als Medium bei 45 °C) in den VBNC-Status gezwungen wurden. Dabei stellten sie fest, dass die Legionellen auch nach über einem Jahr im VBNC-Status Amöben und auch Makrophagen befallen konnten, und durch die Vermehrung in diesen teilweise auch ihre Kultivierbarkeit zurückerhielten. Die Virulenz der Legionellen im VBNC-Status war jedoch deutlich geringer als die Virulenz kultivierbarer Legionellen, und es bleibt die Frage offen, ob Legionellen aus dem VBNC-Status direkt, d.h. ohne zwischenzeitliche Vermehrung in Amöben oder anderen Zellen, Makrophagen im Menschen befallen und damit eine Krankheit auslösen können.

Robertson u.a. [40] weisen darauf hin, dass es mindestens 14 verschiedene Erscheinungsformen (innerhalb einer Arten) von Legionellen geben kann, von denen die VBNC Stadien ein Teil sind. Sie weisen darauf hin, dass die heutigen Nachweismethoden über den Schritt der Kultivierbarkeit in Abwesenheit anderer Mikroorganismen nicht in der Lage sind, alle Erscheinungsformen zu detektieren, und dass dies die Einschätzung der Sicherheit von Anlagen erschwert. Bei vielen Erscheinungsformen ist unklar, welches Risiko von diesen direkt ausgeht. Klar ist jedoch, dass aus einer Erscheinungsform wieder andere Formen hervorgehen können und zumindest nach Vorfinden von Bedingungen die dies begünstigen wieder eine Gefahr ausgeht.

Allegra u.a. [41] zeigen, dass bei einer Behandlung mit Temperaturen von 70 °C verschiedene Arten von Legionellen zuerst zu einem grossen Teil in den VBNC Status übergehen, so dass bereits nach wenigen Minuten keine kultivierbaren Legionellen mehr nachgewiesen werden können. Die Legionellen im VBNC Status können jedoch durch Amöben wieder kultivierbar gemacht werden. Offensichtlich starben die Legionellen jedoch auch im VBNC Status mit der Zeit ab, so dass nach 60 Minuten die meisten Legionellen tot waren. *L. pneumophila* sg. 1 war am resistentesten, mit einer Überlebensrate der VBNC-Legionellen von 15% nach 60 Minuten bei 70 °C.



5 Legionellen in Feldstudien

Spezifische Untersuchungen zu Legionellen in Solarwärmeanlagen im Feld sind den Autoren mit Ausnahme einer Dissertation [42] keine bekannt. Jedoch wurden in einigen Studien Anlagen mit Solarwärme separat ausgewiesen, durchwegs jedoch ohne weitere Details zur Hydraulik, zur Auslegung oder zum Betrieb dieser Anlagen.

Im Folgenden wird auf Feldstudien eingegangen welche

- a) Anlagen mit Solarwärmeunterstützung einzeln erfassen oder
- b) einen Bezug zwischen Legionellen und Speicher oder Systemparameter allgemein ausweisen.

Generell werden Legionellen selten in Systemen mit Durchlauferhitzern, respektive in zeitlich und örtlich beim Verbraucher direkt erzeugtem Warmwasser festgestellt [43].

5.1 Vorkommen in Solarwärme- und anderen Anlagen

Harmuth untersuchte 200 Zapfproben aus Badezimmern von Ein- und Zweifamilienhäuser mit zentraler Warmwasseraufbereitung auf das Vorkommen von Legionellen [42]. Diese Arbeit befasste sich explizit auch mit Häusern, deren Warmwasseraufbereitung mit Hilfe von Solaranlagen oder Fern- bzw. Nahwärme erfolgte. In 19% der Fälle wurden Legionellen gefunden. Von den 42 Objekten mit Solarwärmeanlagen waren zwei kontaminiert (5%). Beide verfügten über eine warme Zirkulation in Kombination mit Speicher-Solltemperaturen unter 50 °C.

Mathys u.a. [43] analysierten 451 zufällig ausgewählte Einfamilienhäuser zwischen April 2000 und Februar 2003. Die Daten von Harmuth [42] sind in diesem etwa doppelt so grossen Datensatz enthalten. Systeme mit Solarwärmenutzung waren deutlich weniger befallen 4.2% (n= 2/48) als Systeme ohne Solarwärmenutzung 13% (n= 46/352). Dies obwohl die mittlere Temperatur der Zapfungen bei den Solarwärmesystemen im Schnitt um 3.3 K tiefer lagen (47.4 °C vs. 50.7 °C).

Mouchtouri u.a. [44] stellten in einer Studie von Heiss- und Kaltwasserverteilsystemen von 385 Hotels in Griechenland fest, dass Legionellenbefall weniger häufig bei solarer Warmwasseraufbereitung anzutreffen war (10%, n = 8/80) als im Allgemeinen (21%, n=80/385).

Uzel u.a. [45] analysierten 168 Wasserproben von 24 Hotels in der Türkei. Nur zwei der 24 Hotels waren legionellenfrei. Die Legionellenfreiheit dieser zwei Hotels wurde damit erklärt, dass das eine Hotel relativ neu war und entsprechend eine Kolonisierung durch Legionellen noch nicht stattgefunden haben konnte, und das andere Hotel über eine solare Wassererwärmung verfügt, welche zumindest während einem Teil des Jahres Temperaturen über 70 °C erreicht.

In einer Untersuchung von Totaro [46] in Italien waren Anlagen mit zentralen Speichersystemen ohne Solarwärme in 38% (24/64) der Fälle befallen (Temperaturen der Zapfproben 35 – 55 °C), jene mit Solarwärmeunterstützung in 35% (12/35) der Fälle (Temperaturen der Zapfproben < 45 °C).

Auf Grund eines Befalls einer Solaranlage in einem Mehrfamilienhaus, der in Abschnitt 5.3.1 detailliert beschrieben ist, hat das Lebensmittelinspektorat des Kantons Aargau gezielt 10 Anlagen mit Solarwärmeunterstützung beprobt [47]. Von den acht Anlagen mit Vorwärm Speicher und zwei Anlagen mit Kombispeicher waren alle Speicherproben negativ. In einer der Anlagen konnte ein punktueller Befall einer wenig gebrauchten Duscharmatur nachgewiesen werden.

5.2 Wärmespeicher und warme Zirkulation als Einflussparameter

Rühling & Rothmann [48] berichten über den Aufbau einer Datenbank mit über 75'000 Legionellenanalysen. In dieser Datenbank sind auch die ebenfalls zitierten Daten von Harmuth, Mathys und Pleischl [42,43,49] enthalten. Abbildung 5 zeigt auf Basis dieser Daten, dass der in Deutschland gültige technische Massnahmenwert von 100 KBE/100 ml am häufigsten (30%) in Mischwasserproben überschritten wird, die an endständigen Entnahmestellen, überwiegend nach Ablauf von 5 Litern, genommen werden. , gefolgt von Trinkwasser kalt (21%) und Zirkulationsproben einzelner Stränge (14%). Erst danach folgen die dezentral entnommenen Warmwasserproben sowie der Kaltwasser-Zulauf zum Trinkwassererwärmer mit je ca. 9%. Mit Abstand am wenigsten häufig überschritten werden die 100 KBE/100 ml am Austritt des Wassererwärmers (4.2%).

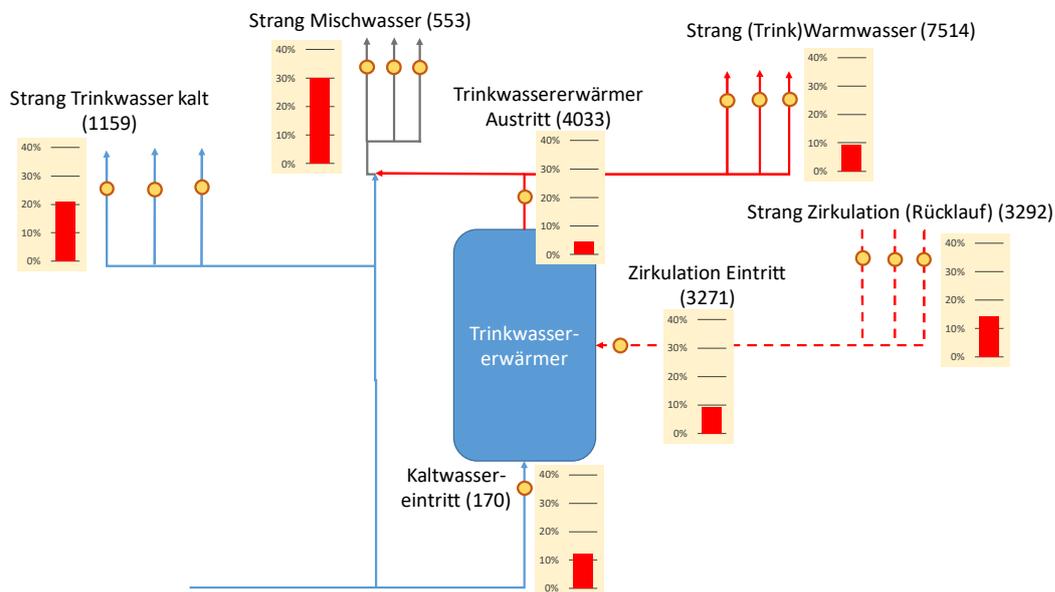


Abbildung 5: Anzahl Proben (in Klammern) und Anteil Proben in welchen 100 KBE/100 ml überschritten wurden (roter Balken) an verschiedenen Stellen der Probenahme, nachgezeichnet nach Abb. 8-1 aus Rühling & Rothmann [48].

Interessant ist auch der Befund von Rühling & Rothmann [48], dass die Häufigkeit positiver Legionellenbefunde bei Einfamilienhäuser bei Zapftemperaturen von 50-55 °C gleich hoch ist wie bei Mehrfamilienhäuser bei Zapftemperaturen von 60 – 65 °C (Abbildung 6).

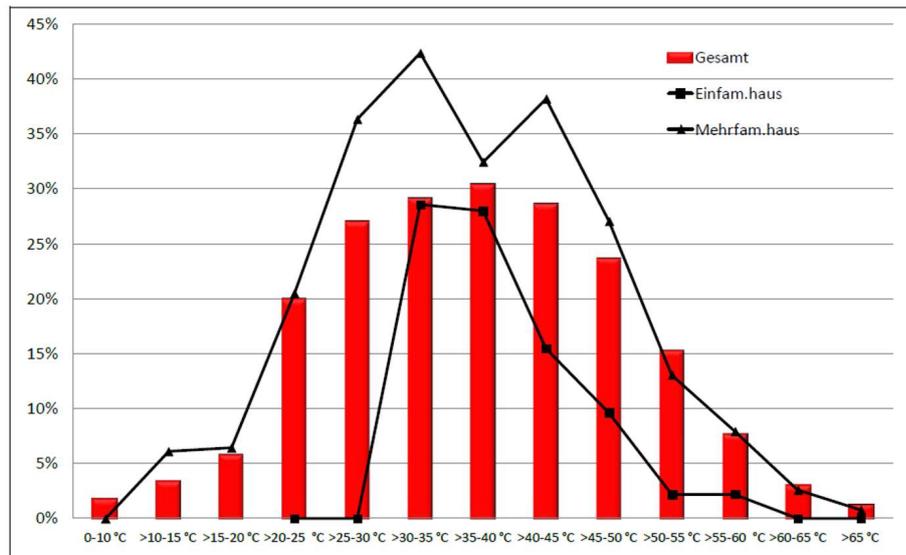
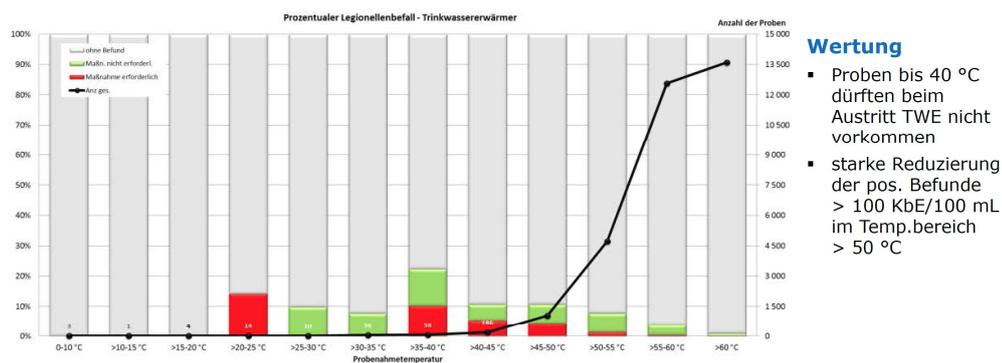


Abbildung 6: Prozentualer Legionellenbefall ≥ 100 KBE/100 ml in 5-K-Temperaturbereichen – Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus im Vergleich zur Gesamtstatistik aus [48].

Dieselben Autoren zeigen, dass eine aktive Überwachung der Systemtemperaturen über die Gebäudeleittechnik zu einer erheblichen Reduktion des Befallsrisikos führt.

Rothmann und Rühling [50,51] haben im Rahmen einer anderen Untersuchung ca. 319.000 Datensätze aus Routinebeprobungen der Jahre 2014 bis 2016 ausgewertet und schlussfolgern aus den Proben am Austritt des Trinkwassererwärmers, dass dieser seine Funktion zur Reduktion positiver Legionellenbefunde bereits ab 50 °C wahrnimmt. Dies zeigt illustrativ auch die Abbildung 7.

Temperaturcluster der MFH-figawa-Daten – Austritt Trinkwassererwärmer



Wertung

- Proben bis 40 °C dürften beim Austritt TWE nicht vorkommen
- starke Reduzierung der pos. Befunde > 100 KbE/100 mL im Temp.bereich > 50 °C

Fazit

- TWE erfüllt seine Funktion zur Reduktion der positiven Legionellenbefunde, bereits ab 50 °C

Abbildung 7: Prozentuale Aufteilung der Proben auf "ohne Befund" (grau), "keine Massnahmen erforderlich" (0-100 KBE/100 ml, grün) sowie "Massnahmen erforderlich" (> 100 KBE/100 mL, rot) am Austritt des Trinkwassererwärmers in Abhängigkeit der Temperatur, aus [50].



Totaro [46] führt als erklärende Parameter für positive Legionellenbefunde im Feld Wassertemperaturen im Bereich von 44-48 °C an, sowie zentrale Systeme mit warm gehaltenen Leitungen.

Kruse u.a. [52] berichten über Messungen in 712 Gebäuden in der Region Köln. 33 % der Gebäude wiesen positive Legionellenbefunde auf. Bei 64% der befallenen Gebäude liessen sich die Legionellen nur an Zapfstellen und in Verteilleitungen feststellen, nicht jedoch im zentralen Speicher. Bei 19 Fällen, in welchen die thermische Desinfektion nicht erfolgreich war, wurde festgestellt, dass meist technische Probleme bei der Wasserverteilung vorhanden waren, so dass die aus dem zentralen Speicher austretenden Temperaturen gewisse Teilstränge oder Zapfstellen nicht erreicht haben.

Arvand [53] u.a. berichten von Probenahmen von vier „Healthcare facilities“ in Hessen (DE) von März 2009 bis Februar 2010. Die Autoren sprechen von Kontamination bereits ab 1 KBE / 100 ml, was eine extrem niedrige Detektionsschwelle ist. Bei den Proben welche an dezentralen Stellen genommen wurden waren bei Kaltwasser 36% (112/316) und beim Warmwasser 17% (54/309) über 100 KBE/100 ml. Für die 59 an zentralen Stellen der Verteilung genommenen Proben weisen die Autoren nur aus, ob Legionellen gefunden wurden, jedoch keine Konzentrationen. Diese Angaben sind deshalb kaum brauchbar für die Einschätzung eines davon ausgehenden Risikos.

Stout u.a. [54] analysierten Proben aus 218 Einfamilienhäusern⁷ in Pittsburg (USA). In 17% der Häuser konnten Legionellen festgestellt werden. Die Detektionslimite wurde leider nicht publiziert. An zentraler Stelle wurden die Speicher über das Ablassventil beprobt, d.h. an der kältesten und wohl am ehesten kontaminierten Stelle. der Durchschnittswert der Temperaturen der negativen Proben welche zentral genommen wurden war 47.4 °C, der Durchschnittswert der positiven Proben 41.0 °C. An den peripheren Stellen waren diese Werte bei 54 °C für die negativen Proben und bei 48 °C für die positiven Proben. In keinem der Häuser traten Legionellen auf. Die Autoren schliessen, dass das Risiko einer Infektion über Trinkwasser in Einfamilienhäusern gering ist.

Völker u.a. [55] korrelierten das Legionellenvorkommen anhand von 807 gemessenen Wasserproben. Sie identifizierten die folgenden Faktoren als erklärende Parameter:

- Temperatur (nach spülen bis keine Temperaturerhöhung mehr stattfindet)
- Leitungslängen
- Stagnierendes Wasser

Barna u.a. [56] berichten von 168 Gebäuden (Spitäler, Schulen, Bürogebäude, Industriegebäude, Einfamilienhäuser) welche in Ungarn zwischen 2006 und 2013 beprobt wurden. In 49% der Gebäude wurde der Wert von 100 KBE/100 ml überschritten. Der Anteil positiver Proben war am höchsten im Temperaturbereich 30 – 35 °C, und nahm schnell ab oberhalb von 50 °C. Wasserproben im Temperaturbereich 20-25 °C wiesen etwa gleich häufig Befunde > 100 KBE/100 ml auf wie Wasserproben im Temperaturbereich 50 – 55 °C. Bei Privathäusern mit zentraler Wasseraufbereitung waren 100 KBE / 100 ml überschritten bei 31%

⁷ „residential homes“



(8/26), bei den Privathäusern mit individueller Wasseraufbereitung bei 4% (1/26). Die 4% entsprechen einem einzigen Fall, wobei dieser eine Fall eine Speichertemperatur von 41 °C aufwies.

Borella u.a. [57] berichten über eine Studie in Italien, in welcher 146 Proben bei Badezimmern (Lavabo und Dusche) genommen wurden von Mai bis Juni 2002. Das Auftreten von Legionellen korrelierte mit einer zentralen Warmwasseraufbereitung, mit der Distanz des Zapfortes von der Warmwasseraufbereitung, sowie mit dem Alter der Systeme (> 10 Jahre). Dezentrale Systeme welche mit Gas beheizt wurden zeigten einen Befall von 10%, wenn ein Speicher vorhanden war, und von 16.4% wenn kein Speicher vorhanden war.

Mathys u.a. [43] berichten über 452 Proben die in zufällig ausgewählten Ein- und Zweifamilienhäusern zwischen April 2000 und Februar 2003 genommen wurden. Der Datensatz basiert auf den Dissertationen von Stanke [58] und Harmuth [42]. Instantane „point of use“ Warmwasseraufbereitungen waren legionellenfrei, 12% der zentralen Systeme mit Warmwasserzirkulation wiesen Legionellen auf. Anlagen mit einem Alter unter 2 Jahren wiesen keine Legionellen auf. Interessant sind dabei die folgenden Feststellungen:

- Das Unterbrechen der Warmwasserzirkulation für mehr als 6 Stunden in der Nacht hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl positiver Legionellenproben: mit Unterbrechung: 12% Befall (n = 246), ohne Unterbrechung: 14% Befall (n = 126).
- Das periodische Erhöhen der Temperatur im Speicher auf 60 °C (meist wöchentlich) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der befallenen Proben (mit Erhöhung, n=55: 16% Befall, ohne Erhöhung, n=284: 13% Befall). Es hatte jedoch sehr wohl eine Auswirkung auf die Anzahl der KBE/100 ml in den positiven Proben. Diese war im Schnitt deutlich höher für Anlagen mit Legionellenschaltung (1946 ± 13475 bei periodischer Erhöhung der Temperatur, im Gegensatz zu 166 ± 790 bei Anlagen ohne periodische Erhöhung, $p = 0.03$). Bei den grossen Standardabweichungen der KBE kann die Differenz jedoch auch nur auf ein paar wenige Kontaminationen mit sehr hohem Befall zurück zu führen sein.
- Bei Wassertemperaturen (in der Probe) unter 46 °C wurden die höchsten Legionellenwerte detektiert, oberhalb von 60 °C (Dauertemperatur) überhaupt keine.

Stanke sammelte Proben von Zapfstellen in zufällig ausgewählten Ein- und Zweifamilienhäusern, und stellte in 10 von 203 Proben (5%) Legionellen fest. Alle zehn positiven Befunde stammen aus Systemen mit Warmwasser-Zirkulation⁸, welche in der Nacht nicht unterbrochen wurde (n= 169, Befall 6%). Von den 13 Proben aus Objekten ohne Zirkulation waren alle legionellenfrei. Ein Zusammenhang zwischen positiven Legionellenbefunden und der Speichergrosse konnte nicht festgestellt werden.

⁸ Zitat „Alle zehn Häuser, in denen Legionellen nachgewiesen werden konnten, verfügten über eine zentrale Warmwasserversorgung mit Zirkulation. Es wird deutlich, dass Probleme mit einer Besiedlung von Legionellen nur bei Warmwassersystemen auftreten, die ein Zirkulationssystem aufweisen und somit die gleiche Technik verwenden, wie sie in Großgebäuden verwandt wird.“

Peripherie (Duschen etc.) nachgewiesen werden konnte. In Grossgebäuden lag der Anteil der Anlagen mit Handlungsbedarf (> 100 KBE / 100 ml) mit Abstand am höchsten (66% bei Krankenhäusern, 64% bei Schwimmbädern und 50% bei Altersheimen). Zwei von sieben Hotelanlagen (29%) und 34 - 40% der öffentlichen Gebäude und Schulen wiesen einen Handlungsbedarf auf. Es bestand jedoch kaum Handlungsbedarf bei Ein- und Zweifamilienhäusern (2%, 1 Haus von 47). Die höchsten Legionellenkonzentrationen (Mittelwerte) aller Anlagen konnten in den Temperaturbereichen 30 – 45 °C nachgewiesen werden. Zitat: „Unterhalb von 20 °C und oberhalb von 55 °C wurden Legionellen nur in Konzentrationen deutlich unter 1000 KBE / 100 ml gefunden“ (Abbildung 9). Es wird jedoch in dieser Studie nicht ganz klar, ob mit „Wassertemperatur“ die Temperatur der entnommenen Wasserprobe gemeint war oder die Temperatur in Speicher und/oder Zirkulation.

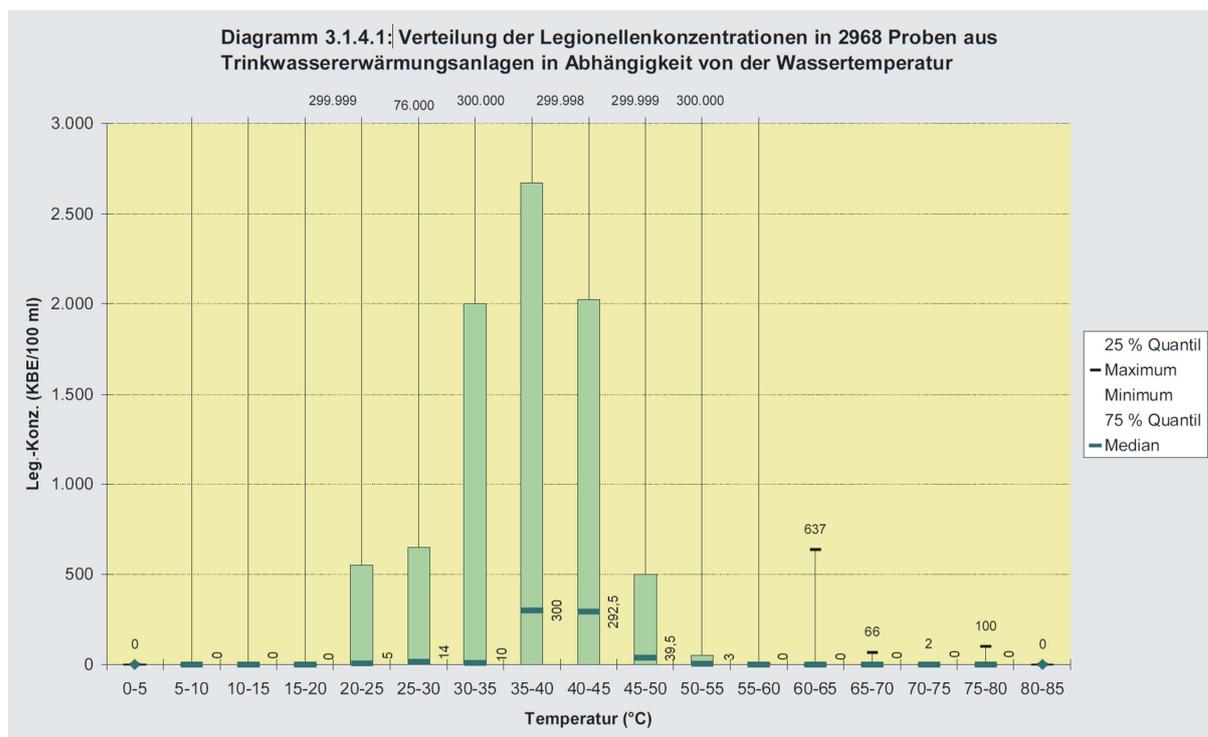


Abbildung 9: Legionellenkonzentration in Abhängigkeit der Wassertemperatur [49].

Tiefenbrunner [60] konstatierte bereits 1993, dass Erfahrungen aus grossen Gebäuden nicht ohne weiteres auf Ein- und Zweifamilienhäuser übertragen werden können. Seine Untersuchungsobjekte umfassten 63 Ein- und Zweifamilienhäuser in BRD, West-Berlin, Holland und Österreich. Von den acht (13%) positiven (3-500 KBE / 100 ml) Anlagen konnten sieben Anlagen genauer untersucht werden. Am Speicheraustritt waren drei der sieben Anlagen positiv, und von diesen nur eine über 100 KBE / 100 ml. Die drei positiven Anlagen hatten Speicheraustrittstemperaturen von 50, 51 und 55 °C. Die Speichervolumen dieser Anlagen waren jedoch mit 50 I/P deutlich geringer als diejenigen der negativen Anlagen (86 I/P). Anlagen mit Zirkulation und Dauerbetrieb der Zirkulationspumpe oder mit einer Zeitschaltuhr und Betrieb über längere Zeiträume, waren frei von Legionellen. Andere Anlagen betrieben die Zirkulationspumpe nur einmal täglich für eine halbe Stunde, wiederum andere waren Naturumlaufsysteme. Tiefenbrunner identifiziert



das Leitungssystem als die Haupt-Wachstumszone, und weist auf die mögliche Rolle von Speicher-Bodensatz hin⁹. Hingegen führen nach Ansicht des Autors „Forderungen nach einer generellen Erhöhung der Betriebstemperatur über den Wert der Heizungsanlagenverordnung hinaus“ nicht zum Ziel. Der Autor empfiehlt für die Warmwasserversorgung den Einbau von Zirkulationsleitungen, welche mindestens über mehrere Stunden am Tag betrieben werden.

Schulze-Röbbecke u.a. [23] publizierten 1993 Untersuchungen zum Wachstum und zur Dezimierung von Legionellen bei verschiedenen Temperaturen. Sie stellen fest, dass in der Praxis Temperaturen von 55 – 60 °C oft nicht genügen um ein kontaminiertes Wassersystem von Legionellen nachhaltig zu befreien. Dies führt der Autor jedoch nicht auf eine erhöhte Temperaturresistenz zurück, sondern darauf, dass es vermutlich in der Praxis nicht möglich sei, alle Abschnitte eines Warmwassernetzes auf die gewünschte Solltemperatur zu erwärmen.¹⁰ Er nennt die folgenden Faktoren, welche die Vermehrung von Legionellen begünstigen:

- Schlupfwinkel im System
- Sedimentablagerungen im Wasserspeicher
- Wandinkrustationen alter Leitungen, vor allem, wenn diese schlecht isoliert sind
- blind endende Abschnitte

Groothuis & Seidel (1993) berichten von einem Holländischen Hotel, in welchem es zu mehreren Legionellosen gekommen war [61]. Die Warmwassererwärmung erfolgte in zwei seriellen Speichern, einem 4000 l Speicher mit Wärmepumpen-Erhitzer (30 °C) und zwei nachgeschalteten Speichern a je 200 l mit Gaserhitzer (80 °C). Bei gleichzeitiger Ankunft vieler Gäste reichte das Bereitschaftsvolumen jedoch nicht aus, um die Duschen mit warmem Wasser zu versorgen, worauf lauwarmes Wasser aus dem Vorwärmespeicher ohne substanzielle weitere Erhitzung in die Verteilung gelangte. Sie vermuten Speicherbodensatz als Legionellenherd, und plädieren für ein periodisches Erhitzen bis zum Speicherboden. Nach ihren Erfahrungen traten einfache Haussysteme ohne warme Verteilung nie als Verursacher von Legionellosen auf.

Burger [62] stellte in seinen Untersuchungen 1993 fest, dass bei Wärmespeichern bis 500 Liter der Nachweis von Legionellen bereits bei 55 °C am Speicherausgang nicht mehr möglich war. Gemäss seinen Beobachtungen sind „Speicherwassertemperaturen von 48 - 60 °C in Ein- und Zweifamilienhäusern unkritisch“, und grösser dimensionierte Speicher sind eher geeignet Legionellenwachstum zu verhindern als unterdimensionierte. Als besonders

⁹ Zitat: "Das Vermehrungspotential für Legionellen in Trinkwasserleitungssystemen von Ein- und Zweifamilienhäusern ist gering im Vergleich zu Großgebäuden wie z.B. Krankenhäusern oder Hotels. Dies erklärt sich aus den kürzeren Leitungen bzw. kleineren Rohrdurchmessern und den daraus resultierenden geringen besiedelbaren Oberflächen."

¹⁰ Zitat: "Die Temperaturerhöhung aller wasserführenden Bereiche auf 55 und 60 °C ist somit theoretisch eine wirksame Maßnahme, Legionellen innerhalb von einigen Minuten bis wenigen Stunden aus einem kontaminierten Warmwassersystem zu eliminieren. Die Beobachtung, daß die Wirksamkeit solcher Maßnahmen in praxi meist nicht vollständig und von kurzer Dauer ist, beruht vermutlich auf der Unmöglichkeit, alle Abschnitte eines Warmwassernetzes auf die Solltemperatur zu erwärmen."



kritisch müssen Rohrleitungen angesehen werden, besonders bei Rost- oder Kalkablagerungen¹¹.

Bechem [63] führte Be- und Entladeversuche mit einem 140 l Speicher mit und ohne Bodenbeheizung durch, und erfasste die Temperatur jeweils in 20 Schichten. Während den Zapfungen stellt der Autor eine Durchmischungszone von ca. 12 Liter fest. Die Autoren stellen kein Durchschlagen des Kaltwassers fest (gute Schichtung, immer genügend warmer Bereich oberhalb der Sprungschicht). Die schichtende Entladung führt dazu, dass nach den ersten Zapfungen der unterste Speicherbereich bereits zu kalt ist für ein Wachstum von Legionellen. Bei gutem Heizkonzept ist dieser Bereich nach dem Aufheizen dann zu warm. Die Absterbezone sei viel höher als die geringe Schicht der Wachstumszone, und die Wachstumsrate viel langsamer als die Sterberate bei 55 °C. Selbst bei zweimal 90 Liter Zapfung kurz hintereinander und Kaltwasser-Legionellenkonzentration von 10⁷ pro Liter sei kein Durchschlagen zu erwarten. Der Autor folgert daraus, dass Serienspeicher in Ein- und Zweifamilienhäusern unkritisch sind.

Collins u.a. (2017) [64] beprobten Duschbrausen von 82 Haushalten (79 EFH und drei Wohnungen in MFH). Legionellen konnten aus 8 % der Wasserproben kultiviert werden. Von den Duschen welche weniger als einmal pro Tag benutzt wurden waren mehr als die Hälfte positiv (15/28, 54%).

Straus u.a. [65] verglichen 146 erwachsene Personen welche mit im Alltag erworbener Legionellose hospitalisiert waren mit jeweils 2 ebenfalls hospitalisierten Patienten gleichen Alters und Geschlechts, und identifizierten Risikofaktoren für eine Ansteckung mit Legionellen. Signifikant war neben Rauchen zum Beispiel das Wohnen in einem Haus in welchem kurz vorher Installationsarbeiten am Wassersystem vorgenommen wurden.

Rühling u.a. [66] publizierten 2018 eine umfangreiche Studie zu Energieeffizienz und Trinkwasserhygiene. Unter anderem wurden für 80 Mehrfamilienhäuser und Gemeinschaftsunterkünfte die 14-tägigen Mittelwerte der Temperaturen am Austritt des Wassererwärmers verglichen mit den Legionellenbefunden (Abbildung 10). Zitat (S. 355): „Eine Grenztemperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers, unterhalb welcher es zur Kontamination kommt, bzw. oberhalb derer eine Kontamination ausgeschlossen werden kann, lässt sich für Bestandsobjekte nicht ableiten.“ Für neue Anlagen die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik (explizit wird auf den hydraulischen Abgleich und die Temperaturüberwachung in der Zirkulation verwiesen) installiert und betrieben werden "sollte die Temperatur am Austritt des Trinkwassererwärmers bei ≥ 55 °C liegen, um durch einen ausreichenden Temperatur-Sicherheitsabstand einen Schutz vor Legionellen (Einhaltung des technischen Maßnahmewertes) zu gewährleisten."

Als eine wichtige Schlussfolgerung der Studie führen die Autoren an, dass vermehrt ein Augenmerk auf die Kaltwasserleitungen gelegt werden sollte und insbesondere ein übermässiger Wärmetransport von warmen Speichern oder Rohrleitungen auf die Kaltwasserleitungen vermieden werden muss. Dies bedingt

¹¹ Zitat: "Wie eingangs erwähnt, ist ein Gefährdungspotenzial in den umfangreichen Rohrsystemen mit ihrem hohen Oberflächenangebot in Grossbauten zu sehen, und zwar sowohl in warm- als auch vermutlich in kaltgehaltenen Leitungen."



eine konsequente thermische Trennung und eine Verlegung des Kaltwassers in gesonderten oder mittels Wärmedämmung thermisch gut getrennten Steigzonen.

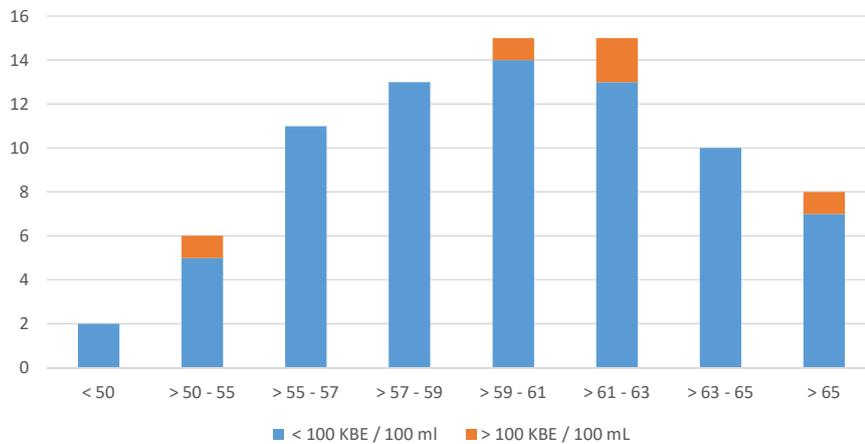


Abbildung 10: Anzahl Objekte, unterteilt nach Temperaturbereichen am Ausgang des Trinkwassererwärmers inkl. Anzahl Proben > 100 KBE / 100 ml. Grafik basierend auf Daten aus [66].

5.3 Einzelfälle mit Bezug zu Solaranlagen

Einzelne uns bekannte Fälle in welchen Legionellenbefall in Anlagen mit Solarwärmenutzung nachgewiesen wurden sind hier beschrieben.

5.3.1 System mit vier MFH im Kanton Aargau

Dieser Fall wurde von Arnold [47] beschrieben. Weitere Abklärungen wurden vor Ort bei Frau Irina Nüesch, Amt für Verbraucherschutz des Kantons Aargau, am 20. Juni 2018 vorgenommen.

Das betroffene System ist eine zentrale Warmwasseraufbereitung an welche vier Mehrfamilienhäuser mit je vier Wohneinheiten über eine Zirkulationsleitung (2" verzinkte Stahlleitung mit starkem Rostbefall) angehängt sind. Auf Grund der Luftbildaufnahmen muss von > 200 m Warmwasser-Verteilleitung (Total Vor- und Rücklauf) ausgegangen werden. Vermutlich teilt sich diese Leitung auf vier Teilstränge auf, welche die vier Häuser versorgen. Genaueres (Leitungsverlauf, hydraulischer Abgleich, Vor- und Rücklauftemperaturen der einzelnen Stränge) ist über die Zirkulation zum Zeitpunkt des Befalls nicht bekannt.

Im Jahr 2010 erkrankten zwei Personen an Legionellose. Die Legionellenkonzentration betrug zu diesem Zeitpunkt an vier beprobten Netzstellen (1 pro Liegenschaft) sowie im Speicher zwischen 60'000 und 65'000 KBE/ 100 ml. Zu diesem Zeitpunkt war noch keine Solarwärmanlage installiert. Ein Hydraulikschema von diesem Zeitpunkt liegt nicht vor. Es wurden verschiedene Massnahmen durchgeführt und danach Proben genommen und analysiert. Die Massnahmen (thermische Schockdesinfektion Speicher und Leitungen 70 °C, tägliche thermische Desinfektion Speicher 60 °C) zeigten eine gute Wirkung, und der Befall konnte nahezu vollständig eliminiert werden. Eine verbleibende befallene

Zapfstelle konnte durch den Ausbau eines kontaminierten Fittings einer horizontal unsiphoniert abzweigender Stichleitung ebenfalls saniert werden. Da sich die Wohneigentümergeinschaft zu diesem Zeitpunkt entschieden hatte, die Warmwasserversorgungsanlage zu erneuern und die Leitungen zu sanieren, wurde eine weitere Legionellenkontrolle des gesamten Systems zur Überprüfung des längerfristigen Sanierungserfolges zeitlich aufgeschoben. Im Jahr 2011 wurde eine thermische Solaranlage eingebaut. Diese verfügt über einen 1'000 l Vorwärm Speicher, der von ca. 24 m² Sonnenkollektoren über einen internen Rohrwendel beheizt wird, und einen 1'000 l Bereitschaftsspeicher, der von der Nachheizung aufgewärmt werden kann (Abbildung 11). Beide enthalten ausschliesslich Trinkwasser. Der Zirkulationsrücklauf kann wahlweise in den Vorwärm Speicher oder in den Bereitschaftsspeicher geleitet werden.

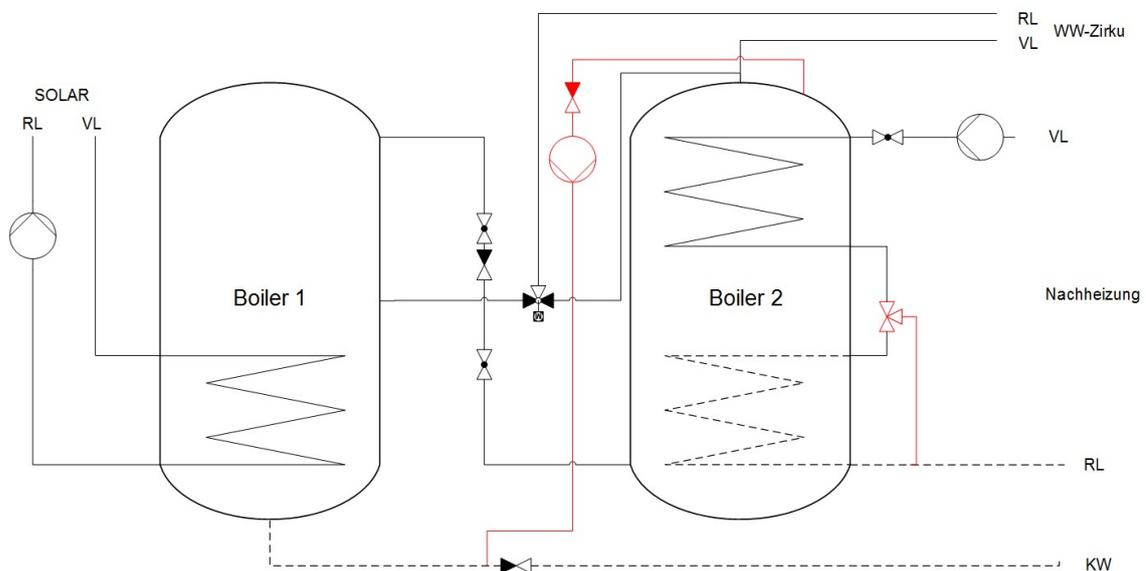


Abbildung 11: Vereinfachtes Hydraulikschema der Anlage, von Hand nachträglich eingezeichnete Komponenten in rot.

Zusätzlich ist eine Umschichtungspumpe im Schema von Hand eingezeichnet. Diese wurde vermutlich nachträglich zur Pasteurisierung des Vorwärm Speichers eingebaut. Nach Einbau der Solaranlage wurden wiederum zwischen 4'000 und 15'000 KBE / 100 mL an Zapfstellen gemessen, bei ca. 2'000 KBE / 100 mL in den beiden Solarspeichern. Die Temperaturen der entsprechenden Speicherproben zeigen 46 °C. Danach wurden die Temperaturen höher gestellt, und eine neue Zirkulationspumpe installiert. Die darauffolgende Beprobung zeigte bis zu 26'000 KBE / 100 ml an einzelnen Zapfstellen (Probentemperaturen 43 – 46 °C), 800 KBE/ 100 ml im Hauptspeicher (52.9 °C) und 1'700 im Vorwärm Speicher (52 °C). Erst die darauffolgende Aufheizung beider Speicher auf 60 °C während mehrerer Tage mit nachfolgendem permanenten Betrieb des Bereitschaftsspeichers bei 60 °C in Kombination mit wöchentlicher Aufheizung des Vorwärm Speichers auf 60 °C reduzierte alle Befunde ausser einer vermutlich selten benutzten Zapfstelle (Spielzimmer) unter die Nachweisgrenze von 100 KBE/100 ml. An besagter Stelle wurden hohe Konzentrationen vor allem in den ersten Dezilitern der Entnahme festgestellt. Mit Dauer der Zapfung und dem Erreichen von höheren Temperaturen

nahm die Konzentration stark ab (siehe Abbildung 12). Daher wurde der Befall einem Kontaminationsherd in der Stichleitung zur Zapfstelle zugeordnet.

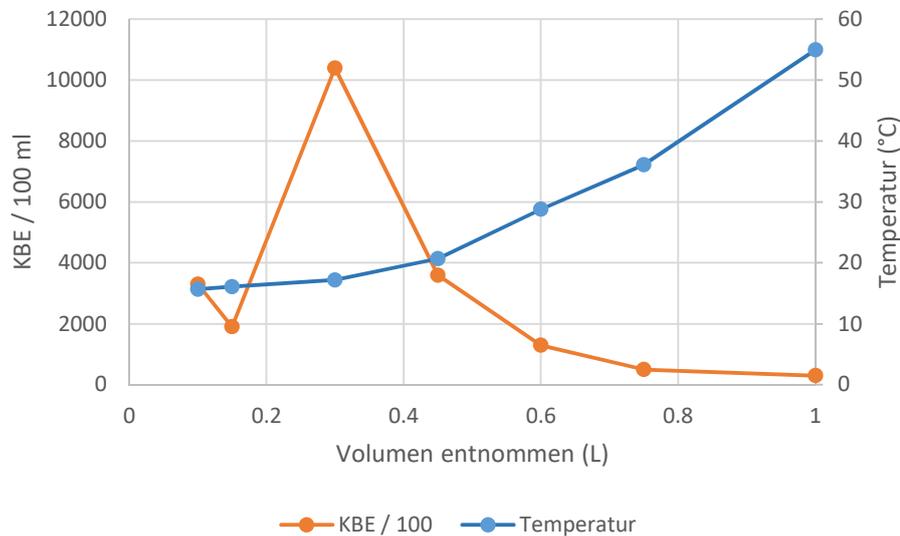


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der Legionellenkonzentrationen im Ausfluss einer kontaminierten Stichleitung, gemäss Analysenprotokoll des Amtes für Verbraucherschutz des Kantons Aargau.

5.3.2 Spital in Brasilien und Hotel in Antigua

van Amerongen u.a. [67] zitieren den Fall eines Spitals in Brasilien, bei welchem Legionellenbefall auf eine Kältebatterie zurückgeführt wurde. Später fokussierte man sich auf eine ebenfalls vorhandene Solarwärmeinstallation. Details liegen keine vor, und es kann nicht beurteilt werden, ob die Solarwärmeinstallation etwas mit dem Befall zu tun hatte. Die gleichen Autoren zitieren drei Legionellosen, welche 1996 in einem Hotel in Antigua aufgetreten sind. Eine Solarwärmeanlage war im Begriff installiert zu werden. Da die Solarwärmeanlage noch nicht in Betrieb war, kann sie als Ursache des Vorkommens von Legionellen praktisch nicht in Frage kommen.

5.4 Zusammenfassung der Resultate aus Feldstudien

Auf Grund der vorliegenden Resultate aus Feldstudien kann festgehalten werden:

- Solaranlagen sind deutlich weniger betroffen von positiven Legionellenbefunden als gewöhnliche Anlagen [42–45,48]. Als Grund dafür können die temporär sehr hohen Temperaturen, die in diesen Anlagen mindestens im Sommer erreicht werden, vermutet werden. Eine nicht zu knapp dimensionierte Solaranlage erreicht während des Sommerhalbjahres mehrmals eine vollständige Pasteurisierung des Speicherinhaltes.



- Es deutet einiges darauf hin, dass kleine Systeme (EFH und DFH) OHNE Zirkulationsleitungen mit Speichertemperaturen über 50 °C in der Regel legionellenfrei sind [42,48,51].
- Trinkwasser-Wärmespeicher sind in der Regel viel weniger (weniger oft, und mit geringeren Konzentrationen) von Legionellen befallen als die Proben, welche an den Zapfstellen entnommen werden. Auch der Rücklauf der Zirkulation ist in der Regel eher und mit höheren Konzentrationen befallen als der Speicher [48,52,68] (siehe auch Abschnitt 5.3.1).
- Das Speichervolumen ist für sich alleine kein Parameter, der den Legionellenbefall begünstigt oder behindert. Erst in Verbindung mit der Temperatur kann der Einfluss des Speichers beurteilt werden. Die vorliegenden Daten aus [42] stützen die Hypothese, dass bei ungenügender Temperatur (< 50 °C) grosse Speichervolumen zur Vermehrung der Legionellen beitragen. Bei ausreichender Temperatur (> 50 °C) jedoch ist es eher umgekehrt: grosse Speichervolumen auf hoher Temperatur vermindern die Legionellengefahr eher als kleine Volumen. Es deutet vieles darauf hin, dass bei Speichertemperaturen über 50 °C eine Vermehrung von Legionellen vor allem in Verteilleitungen und Ausstossleitungen stattfindet, welche diese Temperatur nicht oder nur kurzfristig erreichen. In der Folge kann auch der Speicher über den Rücklauf der Zirkulation kontaminiert werden [42,48,51,55,69].
- Überraschenderweise zeigen Feldmessungen, dass das Unterbrechen der Zirkulation in der Nacht zumindest bei Ein- und Zweifamilienhäusern das Legionellenwachstum nicht begünstigt [42,43]. Für grössere Datensätze, welche auch Mehrfamilienhäuser einschliessen, scheint der on/off Betrieb der Zirkulation jedoch tatsächlich zu mehr Legionellenbefall zu führen [48].
- Wöchentliches oder tägliches aufheizen der Speicher auf 60 °C (Legionellenschaltung) führt nicht zu weniger Legionellen in den Zapfproben [43], eine Überwachung des Systems inklusive Rücklauftemperaturen der Zirkulation jedoch schon [48].
- Parameter welche deutlichen Einfluss auf positive Legionellenbefunde zeigen sind:
 - Zu geringe Speichertemperaturen (< 50 °C)
 - warm gehaltene Verteilleitungen, insbesondere:
 - lange und unübersichtliche Verteilleitungen
 - ältere und bereits korrodierende Verteilleitungen, insbesondere solche aus verzinktem Stahl
 - ungenügende Temperaturen in den Verteilleitungen
 - Verteilleitungen mit möglicherweise mehreren Teilsträngen, deren hydraulischer Abgleich unbekannt ist, d.h. die unterschiedlich durchflossen werden können
 - länger nicht gebrauchte Zapfstellen in Systemen mit warm gehaltenen Verteilleitungen



- Hypothese: Ausstossleitungen, die horizontal oder aufwärts geführt werden, vermutlich nicht siphoniert sind, und zudem selten in Gebrauch sind.
- etc.

Fragen, auf welche die Studien keine Antwort geben, sind:

- ob das Vorwärmvolumen von Solarwärmespeichern ein Risiko darstellt, wenn es länger in einem Temperaturbereich verweilt in welchem Legionellenwachstum möglich ist.
- ob Systemen mit Warmwasserzirkulation und Systemen mit Elektro-Begleitheizung gleichermaßen von Legionellenbefall betroffen sind.
- ob die Siphonierung der Ausstossleitungen gegenüber dem Speicher, respektive der Zirkulation, ein wesentlicher Parameter ist, der bei genügend hohen Zirkulationstemperaturen das Legionellenwachstum in den Ausstossleitungen weitgehend verhindern kann.



6 Solarwärmesysteme am Schweizer Markt

In diesem Abschnitt wird eine Übersicht gegeben über heute gängige Systeme zur solaren Unterstützung der Warmwasseraufbereitung in der Schweiz. Auf Grund einer Analyse typischer Designs und Anwendungen wird abgeschätzt, welche Parameter das Legionellenwachstum beeinflussen können, und worauf bei Design und Auslegung von Speichern besonders geachtet werden sollte.

Solarwärmeanlagen weisen typische Eigenschaften auf, welche grundlegend anders sind als bei konventionellen Systemen:

- Sie verfügen immer über einen Wärmespeicher. Dieser ist meist etwas grösser als bei konventionellen Systemen, damit Solarwärme auch über einen Tag hinaus gespeichert werden kann.
- Da die Effizienz von Solarwärmeanlagen mit steigenden Temperaturen abnimmt, wird die Nachheizung des Bereitschaftsvolumens nur gerade auf die für Hygiene und Komfort erforderliche Temperatur eingestellt. Höhere Temperaturen vermindern die für Solarwärme verfügbare Speicherkapazität und den Solarertrag und damit die Effizienz des Systems.
- Im unteren Speicherbereich, oder in einem seriell vorgeschalteten Speicher, kann Trinkwasser vorhanden sein, welches nicht durch die Nachheizung aufgeheizt wird. Dies ist notwendig, damit die Solaranlage hier bei möglichst geringen Temperaturen Wärme einbringen kann. Bei Kombisystemen und Warmwassersystemen mit hohem Deckungsgrad wird dieser Teil des Speichers über die Sommermonate auf Temperaturen von 70 – 90 °C aufgeheizt und somit komplett pasteurisiert. In den Wintermonaten kann es jedoch sein, dass in diesem Teil des Speichers die Temperaturen länger in einem Bereich liegen, in welchem sich Legionellen vermehren könnten. Bei Vorwärmanlagen mit geringem Deckungsgrad kann es sein, dass das Wasser im Vorwärmbereich überhaupt nie auf Temperaturen über 50 °C steigt.

Da der Speicher ein inhärenter Bestandteil von Solarwärmeanlagen ist, gilt das Augenmerk bei der Beurteilung der Legionellensicherheit insbesondere auch dem Einfluss von Speichergrösse, Speicherdesign und Speicherbewirtschaftung.

Prinzipiell unterscheiden wir zwischen Solarwärme nur für Warmwasser (Warmwassersysteme) und Solarwärme sowohl für Warmwasser als auch zur Unterstützung der Raumheizung (Kombi-Systeme). Bei Warmwassersystemen wird meist das Trinkwasser selbst gespeichert, bei Kombisystemen enthält der Speicher meist Pufferwasser und Einbauten, welche Trinkwasser enthalten. Einige Warmwasser- und Kombisysteme speichern lediglich Pufferwasser und erzeugen das Warmwasser mittels externem Frischwassermodul.



6.1 Vorwärm-, Mitteltemperatur und Bereitschaftsvolumen

Im Trinkwasser enthaltenden Teil von Wärmespeichern können bei Solarwärmenutzung die folgenden Zonen unterschieden werden:

1. Vorwärmezone: Hier wird das kalte Trinkwasser das mit ca. 10 – 20 °C einströmt vorgewärmt. In der kalten Jahreszeit auf ca. 20 – 30 °C, in der warmen Jahreszeit herrschen auch hier Temperaturen von ca. 60 – 70 °C oder noch höher.
2. Mitteltemperaturzone: Hier wird Wärme für die Raumheizung eingelagert und zur Verfügung gestellt. Das Temperaturniveau entspricht dem Temperaturniveau der Raumwärmeverteilung plus eine temporäre zyklisch Überhöhung von ca. 10 K an sonnenarmen Wintertagen, und je nach Auslegung plus 20 – 30 K an sonnigen Wintertagen. Im Sommer wird dieser Bereich ebenfalls durch Solarwärme auf 60 – 70 °C oder noch höher geheizt
3. Bereitschaftsvolumen: Dieser Bereich wird bei Bedarf ganzjährig durch eine Zusatzheizung nachgeheizt, so dass immer genügend Warmwasser zur Verfügung steht. Stand der Technik ist eine Temperatur von über 50 °C jederzeit am Ausgang.

Diese Zonen oder Temperaturbereiche sind bei Einfamilienhäusern meist in einem einzigen Speicher untergebracht, sie können jedoch vor allem bei Mehrfamilienhäusern auch auf mehrere Speicher verteilt sein.

Ein Warmwasser-Boiler verfügt in der Regel nur über ein Bereitschaftsvolumen und eine Vorwärmezone. Die Mitteltemperaturzone für Raumheizung entfällt.

Ein Kombispeicher verfügt über eine Mitteltemperaturzone mit meist sehr geringem Trinkwasserinhalt und wenig Oberfläche desjenigen Teils der Trinkwasser enthält.

6.2 Typische Anlagenkonzepte

6.2.1 Warmwasser im Ein- und Zweifamilienhaus

In Ein- und Zweifamilienhäusern kommen meist Speicher zum Einsatz welche Trinkwarmwasser enthalten (Abbildung 13). Diese sind aus Gründen des Korrosionsschutzes entweder aus Edelstahl oder innen emailliert. Solarwärme wird in der Regel über einen innen liegenden Wärmetauscher in die untere Hälfte, manchmal optional zusätzlich in die obere Hälfte eingebracht. Die Nachheizung sollte sich aus Effizienzgründen auf die obere Hälfte beschränken.

Alternativ dazu kann auch ein Pufferspeicher aus Schwarzstahl eingesetzt werden, welcher direkt von Pufferwasser der Nachheizung beladen und über ein Frischwassermodul entladen wird (Abbildung 14).

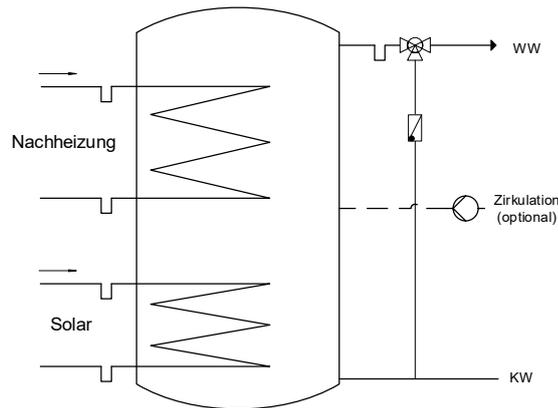


Abbildung 13: Klassischer solarer Warmwasserspeicher mit integrierten Wärmetauschern für Solarwärme und Nachheizung.

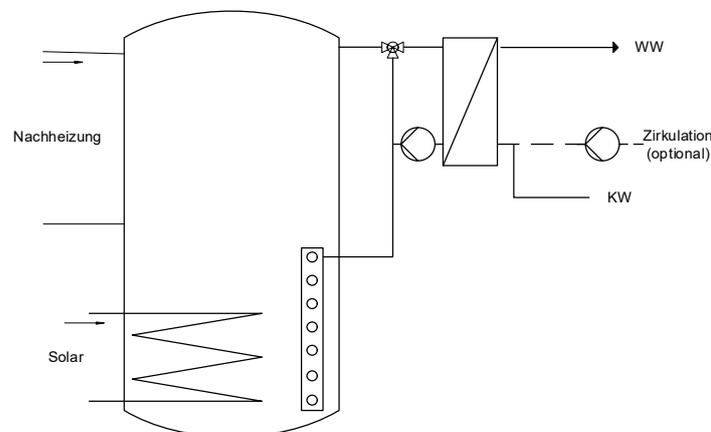


Abbildung 14: Solare Warmwasseraufbereitung über einen Pufferspeicher mit integriertem Wärmetauscher und Trinkwassererwärmung über ein Frischwassermodul (externer Wärmetauscher).

6.2.2 Kombi-Systeme für Ein- und Zweifamilienhäuser

In der Schweiz werden häufig sogenannte Tank-in-Tank Kombispeicher für solare Warmwasseraufbereitung und Unterstützung der Gebäudeheizung eingesetzt (Abbildung 15). Im Innenliegenden Edelstahltank befindet sich Trinkwasser, im aussenliegenden Speichervolumen Pufferwasser. Im Bereitschaftsteil befindet sich eine grosse Trinkwasserblase, in den Vorwärm- und Mitteltemperaturzonen entweder ein schlanker Zylinder oder Rohrwendel-Wärmetauscher, in denen das kalte Trinkwasser vorgewärmt wird.

Alternativ dazu sind sogenannte Spirarohr-Kombispeicher auf dem Markt, in welchen vorwiegend Pufferwasser gespeichert und das Trinkwasser nur über interne Spiralrohrwärmetauscher erwärmt wird (Abbildung 16).

Eine weitere Variante stellen Pufferspeicher dar, welche das Warmwasser über ein externes Frischwassermodul erwärmen (Abbildung 17).

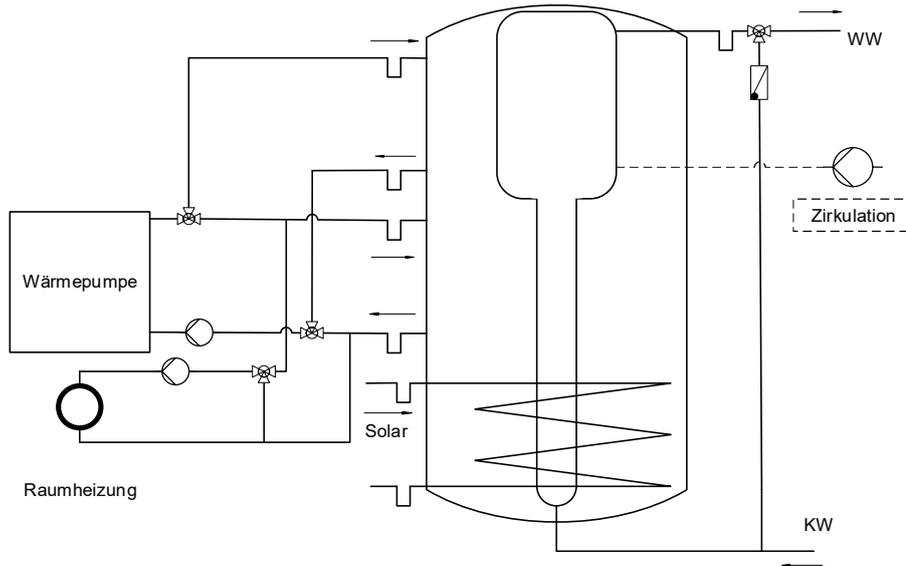


Abbildung 15: Tank-in-Tank Kombispeicher zur kombinierten Speicherung von Wärme für Warmwasser und für Raumheizung.

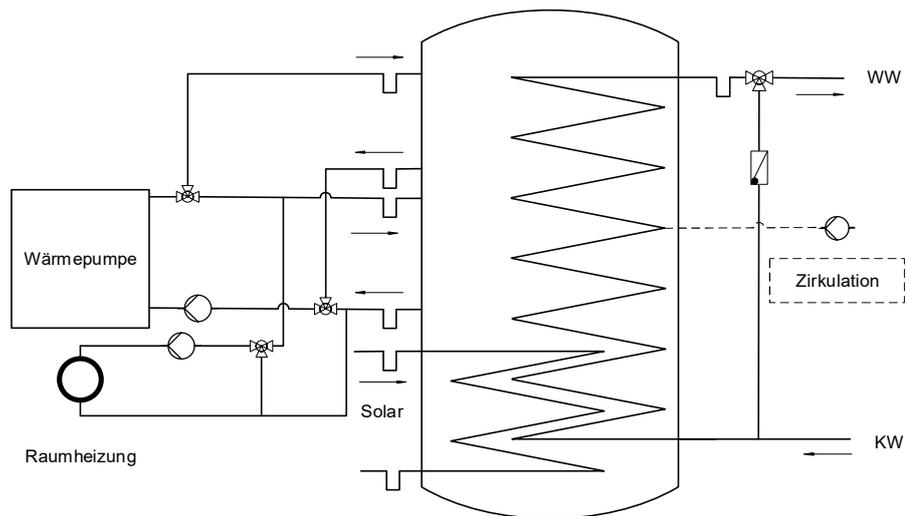


Abbildung 16: Spiralrohr-Wassererwärmer zur kombinierten Speicherung von Wärme für Warmwasser und für Raumheizung.

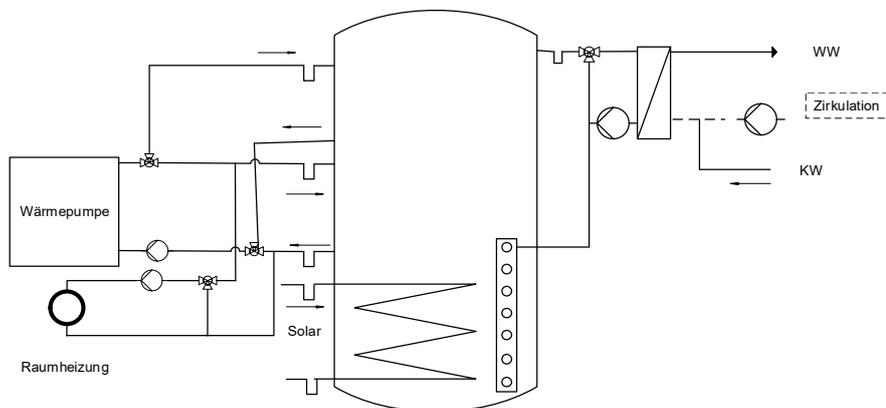


Abbildung 17: Pufferspeicher zur kombinierten Speicherung von Wärme für Warmwasser und für Raumheizung, Wassererwärmung über externes Frischwassermodul.

6.2.3 Warmwasser im Mehrfamilienhaus

Prinzipiell können vor allem bei kleinen Mehrfamilienhäusern dieselben Systemkonzepte zur Anwendung kommen wie bei den Einfamilienhäusern. Zusätzlich wird vor allem bei grösseren Anlagen oft ein Konzept mit mehreren Speichern umgesetzt: Ein Vorwärmespeicher in welchem die solare Vorwärmung umgesetzt wird, und ein Bereitschaftsspeicher der über die Zusatzheizung nachgewärmt wird (Abbildung 18).

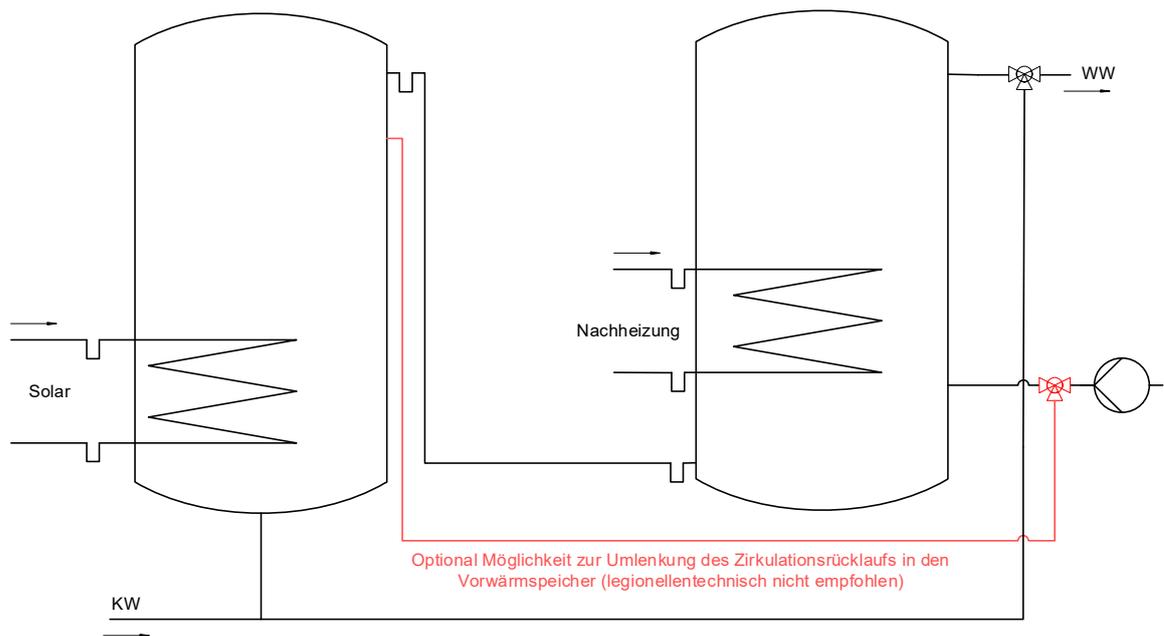


Abbildung 18: Vorwärm- und Bereitschaftsvolumen in zwei verschiedenen Speichern.

6.2.4 Kombi-Systeme in Mehrfamilienhäusern

Prinzipiell können auch in Mehrfamilienhäusern bis zu einer gewissen Grösse die gleichen Speicher-Konzepte verwendet werden wie in Einfamilienhäuser. Bei mittelgrossen Anlagen kann das Speichervolumen auf mehrere Speicher aufgeteilt werden (Abbildung 19).

Für hohe solare Deckungsgrade (im Extremfall bis zu 100% solar) sind vor allem die Systeme der Firma Jenni Energietechnik bekannt, welche mit einem sehr grossen Kombispeicher arbeiten, in welchem mehrere Warmwasserspeicher auf verschiedenen Höhen untergebracht sind.

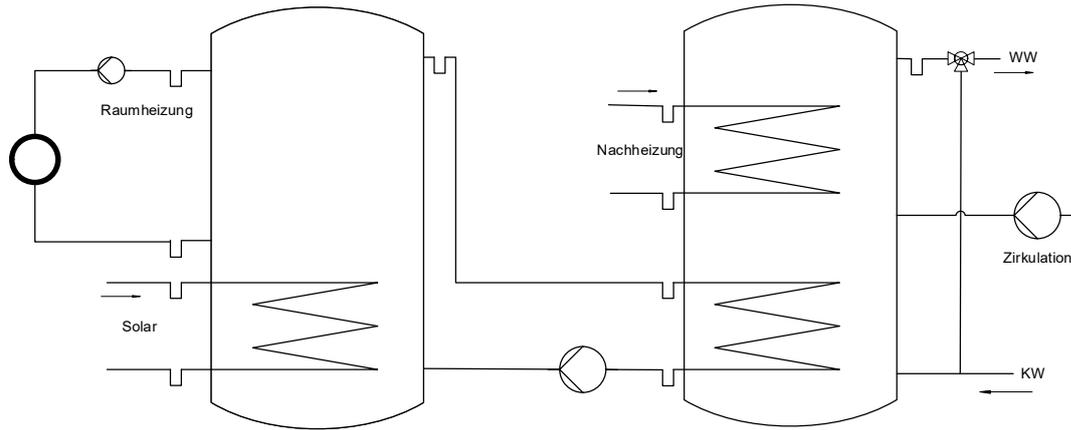


Abbildung 19: Solare Kombiheizung für Mehrfamilienhäuser mit zwei Speicher.

6.3 Kennwerte der in der Schweiz verbreiteten Systeme

Verschiedene Hersteller und Zwischenhändler / Systemanbieter in der Schweiz wurden angefragt, Daten zur Verfügung zu stellen, welche Auskunft geben über Volumen und Oberflächen der Trinkwasser enthaltenden Teile ihrer Speicher in den jeweiligen Temperaturzonen. Daraus wurden die folgenden Werte ermittelt:

Volumen

- in Vorwärmzone
- in Mitteltemperaturzone
- in Bereitschaftszone

Oberfläche im Kontakt mit Trinkwasser

- in Vorwärmzone
- in Mitteltemperaturzone
- in Bereitschaftszone

Zudem für WW-Speicher das Verhältnis des Trinkwasservolumens in der Vorwärmzone im Vergleich zum Trinkwasservolumen in der Bereitschaftszone.

Nicht mit eingeschlossen in diese Untersuchungen wurden Pufferspeicher mit Frischwassermodulen. Dies deshalb, weil die Pufferspeicher kein Trinkwasser enthalten. Entsprechend ist der Speicher selber und dessen Design für das Vorkommen von Legionellen in diesen Systemen irrelevant. Relevant sind jedoch sehr wohl die Temperaturen, welche in den angeschlossenen Frischwassermodulen im Betrieb und im Stillstand herrschen.

6.3.1 Speichervolumen

Abbildung 20 zeigt Box-Plot Diagramme mit Maximal-, Minimal und Quartilwerten für die Speichervolumen welche von typischen Solarwärmespeichern (Warmwasser



und Kombi) in der Schweiz ermittelt wurden. Bei Kombispeichern ist das Trinkwasservolumen in der Vorwärm- und Mitteltemperaturzone im Vergleich zum Bereitschaftsvolumen äusserst gering, so dass in keinem Fall von längeren Verweilzeiten in ungünstigen Temperaturbereichen ausgegangen werden kann. Bei Warmwasserspeichern ist das Vorwärmvolumen jedoch meist grösser als das Bereitschaftsvolumen. Der Median dieses Verhältnisses (Abbildung 21) liegt bei 1.4, der Maximalwert bei 2.3. Daraus kann jedoch noch nicht auf eine längere Verweildauer von Trinkwasser in einem legionellenkritischen Bereich geschlossen werden. Während bei Kombispeicher eine Mitteltemperaturzone vorhanden ist, deren Temperatur im Winter in der Regel auf dem Niveau der Raumheizung +10 K, an sonnigen Tagen +20 K schwankt, gibt es bei reinen Warmwasserspeichern diese Zone nicht. Weist der Warmwasserspeicher bei der Entladung eine ausgeprägte Temperaturschichtung auf, so gibt es einen unteren Speicherbereich < 20 °C, und einen oberen Speicherbereich > 50 °C, und dazwischen nur eine sehr schmale Temperatursprungschicht in welcher ein geringer Bereich mit möglichem Legionellenwachstum sein könnte. Da diese Temperaturschicht jedoch örtlich nicht fest ist, sondern im Verlauf der Warmwasserentnahmen nach oben wandert, gibt es keine langen Zeiträume in welchen an einem örtlich auf einer Oberfläche fixierten Biofilm Legionellenwachstum auftreten könnte.

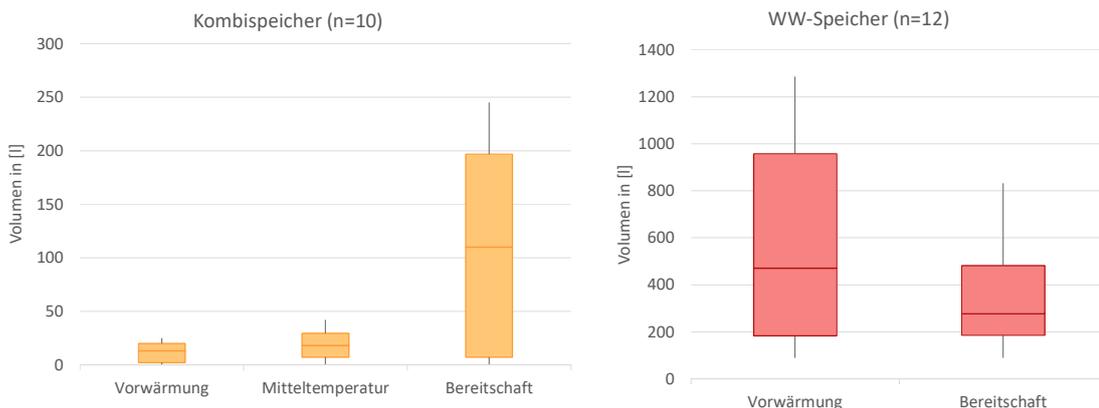


Abbildung 20: Box-Plot mit Min, Max und Quartilen für Trinkwasservolumen in der Vorwärm-, Mitteltemperatur- und Bereitschaftszone typischer Kombi (n=10) und Warmwasserspeicher (n=12) die in der Schweiz angeboten werden.

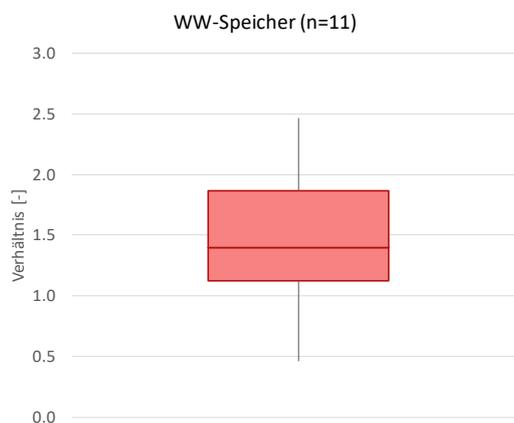


Abbildung 21: Box-Plot mit Min, Max und Quartilen für das Verhältnis des Vorwärmvolumens im Vergleich zum Bereitschaftsvolumen bei WW-Speicher (n=11).



Aus den Daten der angebotenen Speicher kann nicht automatisch auf die Auslegung, die Betriebsweise und die Verweilzeiten des Trinkwassers in den jeweiligen Zonen geschlossen werden. Dies kann je nach Planer und Installateur variieren, und kann deshalb auch nur über Felddaten oder über Daten von Planungs- und Installationsbüros erhoben werden. Ein Anhaltspunkt über Verweilzeiten liefert jedoch das Verhältnis der Volumen im Vorwärm- und Mitteltemperaturbereich im Vergleich zum Volumen im Bereitschaftsteil. Unter der Annahme einer korrekten Auslegung entspricht das Bereitschaftsvolumen bei einem Ladefenster pro Tag in etwa dem täglichen Umsatz des Trinkwarmwassers. Bei zwei Ladefenster pro Tag entspricht es der Hälfte des täglichen Umsatzes. Bei Mehrfamilienhäusern kann das Bereitschaftsvolumen jedoch im Verhältnis zum täglichen Umsatz auch viel geringer sein, was dort eine Abschätzung der Verweilzeiten wiederum erschwert. In allen Fällen ist es jedoch so, dass bei im Vergleich zur Auslegung geringerem Umsatz nicht nur die Verweilzeit im Vorwärm- und Mitteltemperaturbereich zunimmt, sondern auch die Verweilzeit im Bereitschaftsvolumen, womit höher belastetes Wasser aus dem Vorwärmbereich auch wieder länger im Desinfektionsbereich verweilt.

6.3.2 Oberflächen im Kontakt mit Trinkwasser

Abbildung 22 zeigt die Oberflächen welche in Kombispeichern (links) und Warmwasserspeichern (rechts) in den jeweiligen Bereichen vorhanden sind. Auch hier sind die Oberflächen im Kombispeicher im unkritischen Bereitschaftsvolumen am höchsten, und die Oberflächen welche im Kontakt mit Trinkwasser stehen sind in Warmwasserspeichern deutlich höher als in den Kombispeichern

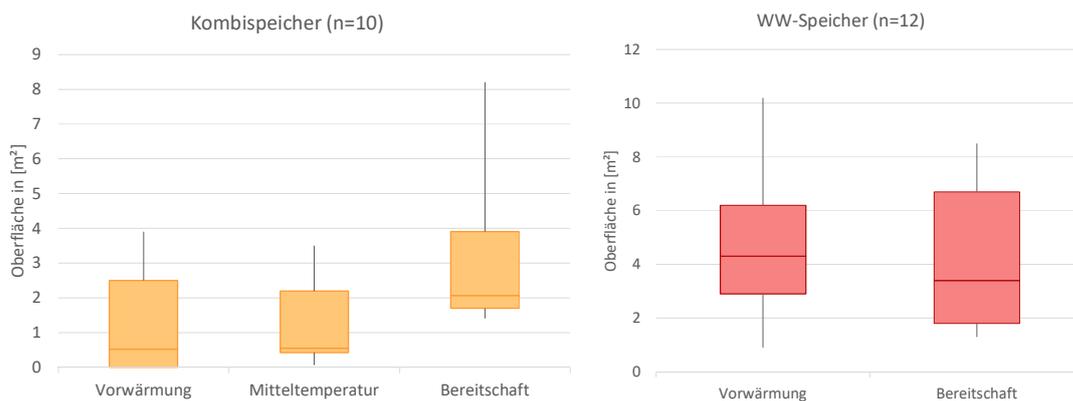


Abbildung 22: Box-Plot mit Min, Max und Quartilen für Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser in der Vorwärm-, Mitteltemperatur- und Bereitschaftszone typischer Kombi (n=10) und Warmwasserspeicher (n=12) die in der Schweiz angeboten werden.

Abbildung 23 zeigt die Trinkwasservolumen und Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser für 10 typische Kombispeicher welche mit Spiralrohrwärmetauschern (4 Speicher, links) und mit dem Tank-in-Tank Prinzip (6 Speicher rechts) das Trinkwasser erwärmen. Die Unterschiede zwischen den beiden Speicherbauformen sind beträchtlich. Während bei der Trinkwassererwärmung mit



Spiralrohrwärmetauschern die Volumen des gespeicherten Trinkwassers vor allem im Bereitschaftsteil viel geringer sind, sind die Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser in allen Zonen deutlich grösser. Es gibt keine Literatur zu Unterschieden bezüglich der Legionellensicherheit der beiden Systeme. Für eine hohe Legionellensicherheit der Spiralrohr-Erwärmung sprechen die geringen Trinkwasservolumen und höheren Fließgeschwindigkeiten, nachteilig könnten jedoch die grösseren Oberflächen und die geringeren Verweilzeiten des Trinkwassers im Bereitschaftsvolumen sein.

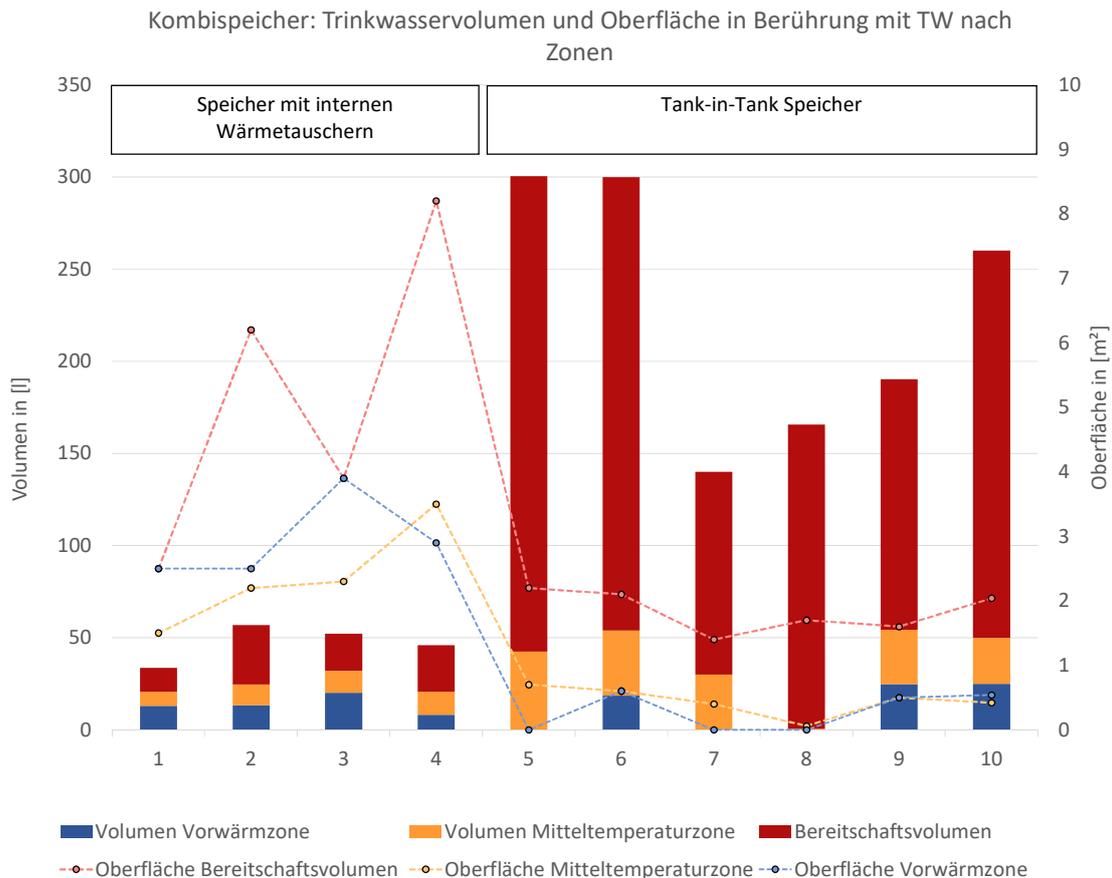


Abbildung 23: Trinkwasser-Volumen und Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser in den verschiedenen Temperaturzonen für 10 typische Kombispeicher.

Abbildung 24 zeigt die Trinkwasser-Volumen und Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser für 12 typische Warmwasser-Boiler. Es ist ersichtlich, dass das Vorwärmvolumen praktisch immer etwas grösser ist als das Bereitschaftsvolumen, und dass ein klarer Zusammenhang besteht zwischen Oberflächen und Volumen.

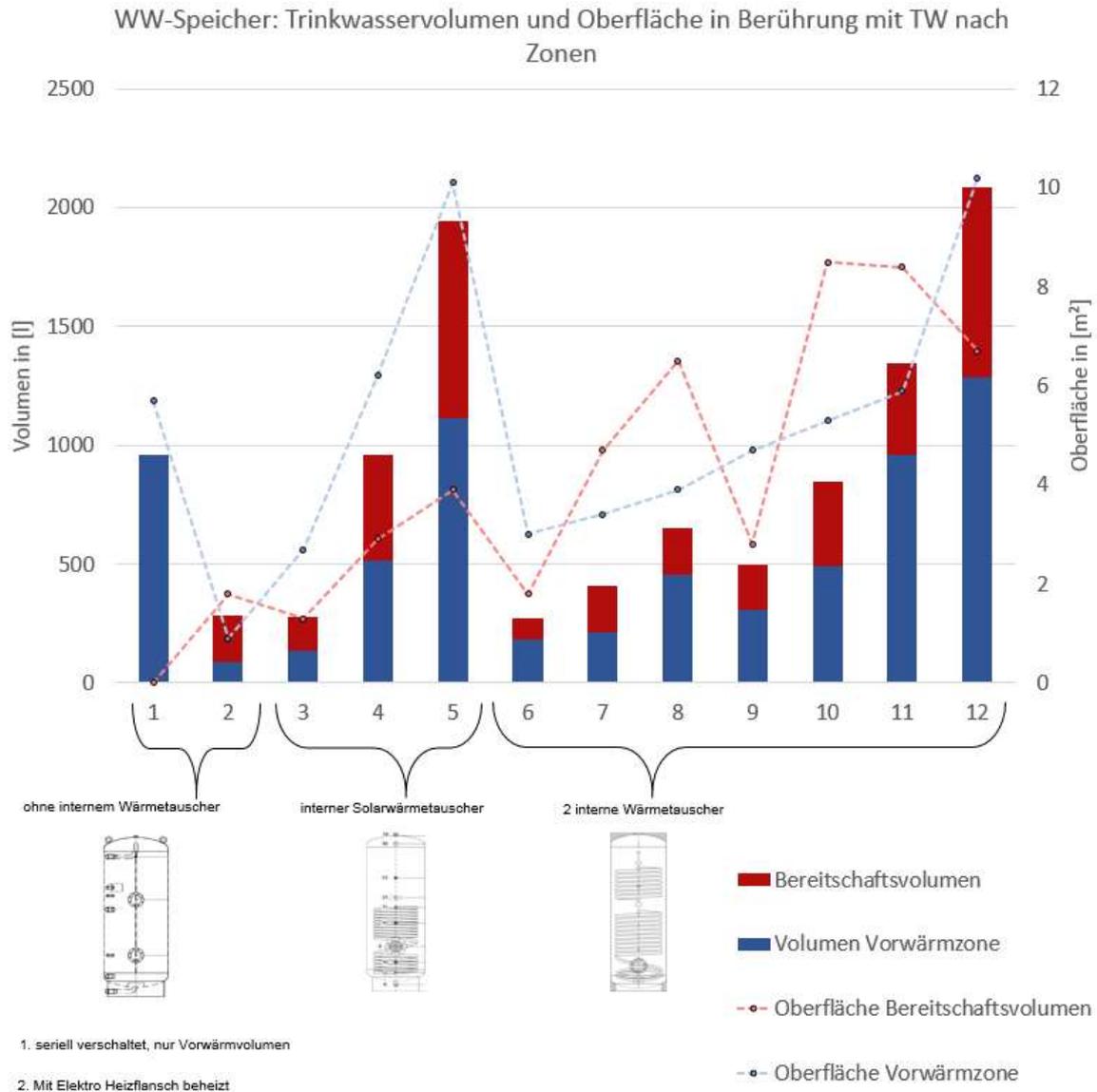


Abbildung 24: Trinkwasser-Volumen und Oberflächen in Kontakt mit Trinkwasser in den Verschiedenen Temperaturzonen für 12 typische Warmwasserboiler.



7 Diskussion

7.1 Epidemiologische Entwicklung

Die Zahl der registrierten Legionellose ist in der Schweiz und im Fürstentum Lichtenstein, wie auch in den meisten anderen Europäischen Ländern, in den letzten Jahren stark angestiegen. Es ist jedoch unklar, ob dieser Anstieg auf eine vermehrte Exposition der Menschen mit Legionellen zurückzuführen ist. Es besteht die Möglichkeit, dass der Anstieg, oder zumindest ein Teil davon, auf eine erhöhte Sensibilisierung und dadurch ein vermehrtes Testen von Patienten mit Lungenentzündung auf Legionellose erklärt werden kann.

Als Ursache für Legionellose stehen Warmwassersysteme nicht an erster Stelle der identifizierten Quellen. Sowohl die jährlich ausgeprägten Sommerspitzen als auch die Tatsache, dass bei den meisten bekannten Fällen von Legionellose die Ursache im Trinkwasser nicht gefunden werden kann, deuten darauf hin, dass Nasskühlwerke und andere, vor allem im Sommer aerosolbildende, Einrichtungen sowie eventuell auch zu warme Kaltwasserleitungen die Hauptinfektionsquellen sind. Auch das deutlich häufigere Auftreten von Legionellose in eher wärmeren Kantonen deutet in diese Richtung. Bei Solaranlagen treten potenziell kritische Temperaturen in den Speichern meist im Winter auf, also entgegengesetzt zur Häufung der Krankheitsfälle im Sommer. Bereits der Jahresverlauf der registrierten Legionellose kann einen Hinweis darauf geben, dass solare Warmwasseranlagen keine häufigen Infektionsquellen darstellen.

Untersuchungen aus Ländern mit höheren Temperaturen (Griechenland oder Türkei) zeigen hohe Infektionsraten der Kaltwassersysteme. Diese liegen gar höher als die Infektionsraten von Warmwasseranlagen in Mitteleuropa. Bei realen Anlagen kann nicht immer von einer sauberen thermischen Trennung zwischen Warm- und Kaltwasserleitungen ausgegangen werden. Eine Erhöhung der Temperatur in Warmwasserzirkulationssystemen wird in vielen Fällen zu höheren Temperaturen in den Kaltwasserleitungen führen und das Legionellenrisiko aus dem Kaltwassersystem erhöhen. Es gibt bisher keine Untersuchungen, welche eine Quantifizierung dieses Effektes zulassen.

7.2 Legionellen und Temperaturen

Ein übermässiges Wachstum in Trinkwassersystemen kann ohne Zugabe von nicht für Trinkwasser geeigneten Mengen an Chemikalien praktisch nur über ein geeignetes Temperaturregime sowie den Ausschluss von legionellenfördernden Eigenschaften erreicht werden. Legionellen vermehren sich vor allem dann übermässig, wenn:

- Temperaturen zwischen 25 und 45 °C herrschen.
- tot endende oder wenig durchspülte Leitungen vorhanden sind.
- intensive Kalk- und Rostbildung vorhanden sind,
- die Ausbildung von Biofilmen möglich ist

Installation und Betrieb der Anlagen nach dem Stand der Technik beinhaltet deshalb auch die Wartung von Anlagen, zum Beispiel durch Entkalkung von



Warmwasserspeichern und Reinigung oder gegebenenfalls Ersatz von Duschschräuchen und -brausen zur Vermeidung oder Entfernung allfälliger Substrate auf denen Biofilme aufwachsen können.

Legionellen können sich in einem Temperaturbereich von 25 – 45 °C (übermässig) vermehren, mit einem Optimum bei ca. 37 °C. Ein Wachstum von Legionellen bei Temperaturen über 45 °C konnte bisher nicht wissenschaftlich belegt werden und muss somit als äusserst unwahrscheinlich angesehen werden.

Die Ansicht, dass Legionellen ab einer Temperatur von 50 °C abgetötet werden, muss unter Berücksichtigung der sogenannten VBNC-Stadien revidiert werden. Ab einer Temperatur von 45 - 50 °C werden Legionellen nicht getötet, sondern deaktiviert. Dies bedeutet, dass sie den Stoffwechsel herunterfahren, sich nicht mehr vermehren können, und in ein sogenanntes VBNC-Stadium übergehen. Dieser Vorgang dauert bei 50 °C Stunden, bei 60 °C nur wenige Minuten. Vieles spricht dafür, dass die Legionellen aus dem VBNC-Stadium nicht selbständig in ein vermehrungsfähiges Stadium zurückkehren können. Vielmehr scheint neben günstigen Bedingungen (d.h. Temperaturen unter 45 °C) die Aufnahme in Amöben oder anderen Phagen notwendig zu sein, um aus dem VBNC-Stadium zurückzukehren. Das Abtöten von Legionellen im VBNC Stadium findet erst bei höheren Temperatur und wesentlich langsamer statt als die Deaktivierung. So braucht es für eine Dezimierung der VBNC-Legionellen bei 70 °C immer noch über eine Stunde. Dies könnte eine Erklärung dafür sein, dass verschiedene Experten berichten, dass in kontaminierten Trinkwassersystemen nach einer Temperaturerhöhung auf 60 °C zwar kurzzeitig keine Legionellen mehr mit Kultivierungsmethoden nachgewiesen werden können, dann aber nach Absenken der Temperatur innert kurzer Zeit wieder ein hochgradig kontaminiertes System vorliegt.

Bisher konnte eine direkte Infektion durch Legionellen im VBNC Stadium beim Menschen nicht nachgewiesen werden. Nach Reaktivierung, welche nachgewiesenermassen nach Aufnahme durch Amöben erfolgen kann, können diese Legionellen jedoch wieder virulent, d.h. ansteckend (und auch kultivierbar) werden. Sollte es sich zeigen, dass von diesem Stadium eine konkrete Gefahr ausgeht für den Menschen, so müssten die Anlagenkonzepte überarbeitet werden.

Auf Grund der vorliegenden Zahlen kann angenommen werden, dass ca. 0.5 Legionellosen pro 100'000 Einwohner auf Trinkwasserinstallationen im Alltag zurückzuführen sind. Im Vergleich dazu verbrühen sich auf Grund älterer Zahlen die nicht aus der Schweiz stammen jedes Jahr 14 Kleinkinder pro 100'000 (0.7 von 100'000 bezogen auf die Gesamtbevölkerung, siehe auch Abschnitt 7.6). Es gilt sowohl ältere und geschwächte Personen vor Legionellen zu schützen, als auch zuverlässig zu verhindern, dass kleine Kinder Verbrühungen durch zu heisses Wasser erleiden.

7.3 Resultate aus Feldstudien

Bisherige Feldstudien weisen darauf hin, dass das Wachstum der Legionellen in Warmwassersystemen hauptsächlich in warm gehaltenen Zirkulationsleitungen sowie in den daran angeschlossenen Ausstossleitungen stattfindet, und eher selten im Speicher. Legionellenpopulationen in Wärmespeichern stehen oft in



Zusammenhang mit kontaminiertem Zirkulationsrücklauf oder mit viel zu geringen Temperaturen.

In kleinen Systemen (Ein- und Zweifamilienhäusern) ohne warm gehaltene Verteilungen (ohne Zirkulation oder Begleitheizung) scheint ein Legionellenbefall äusserst unwahrscheinlich, so lange die Speichertemperatur über 50 °C ist, die Warmwasserverteilung gegenüber dem Speicher siphoniert ist, und die Temperatur in den Räumen und am Ort der Warm- und Kaltwasserverteilung nie oder kaum über 25 °C steigt.

Bei zu klein dimensionierten Bereitschaftsvolumen kann die Temperatur > 50 °C bei längeren Zapfungen trotz entsprechender Einstellung des Thermostaten oder der Regler nicht mehr gewährleistet werden. Es kann zum Durchschlagen von Legionellen aus dem Rücklauf einer Zirkulation oder aus dem Bodensatz des Speichers kommen. Zu geringe Bereitschaftsvolumen erscheinen vor allem dann riskant, wenn Legionellen über eine Zirkulationsleitung in den Speicher gelangen können, oder wenn ein Vorwärmvolumen oder Bodenbereich über längere Zeit in einem Temperaturbereich verweilt, in welchem Legionellen wachsen können.

Es deutet einiges darauf hin, dass warm gehaltene Verteilungen in Ein- und Zweifamilienhäusern das Vorkommen von Legionellen begünstigen. Die Unterbrechung einer Zirkulation in der Nacht hat jedoch in bisherigen Feldstudien nicht zu einer Zunahme der Legionellen geführt, sondern eher zu einer Verringerung.

Prinzipiell sollten Systeme mit Zirkulation oder Begleitheizband so gestaltet sein, dass an allen warm gehaltenen Stellen eine Temperatur von über 50 °C eingehalten wird. Die exakte Höhe der geforderten Temperatur ist Gegenstand der laufenden Revision der SIA 385/1.

Die Legionellengefahr steigt mit zunehmender Komplexität und Grösse des Warmwasser-Verteilsystems, insbesondere mit zunehmender Anzahl Zirkulations- oder Verteilstränge, und natürlich mit dem Vorhandensein von Systembereichen, welche weder richtig heiss noch richtig kalt sind und/oder womöglich nicht häufig durchspült werden.

In den allermeisten Fällen ist es unbekannt, ob in den untersuchten Anlagen die Ausstossleitungen, die im Stillstand abkühlen auf Umgebungstemperatur, von den warmen Leitungen oder vom Speicher siphoniert verlegt worden sind oder nicht. Führen diese Leitungen unsiphoniert nach oben oder in die horizontale, so führt Einrohrzirkulation [70–72] in diesen Leitungen mit hoher Sicherheit zu einer Temperatur die irgendwo zwischen Umgebungstemperatur und der Temperatur der warmen Leitungen liegt.

Dass, wie zu Beginn dieses Abschnittes erwähnt, die Ursachen für eine Legionellenkontamination wohl eher selten auf einen Wärmespeicher zurückgeführt werden kann, bedeutet jedoch nicht, dass diesem nicht ebenfalls die notwendige Beachtung geschenkt werden muss.



7.4 Solare Wärmeerzeugung

Die vorliegenden Studien zeigen, dass Legionellen in solar unterstützten Warmwassersystemen weit weniger häufig vorkommen als in konventionellen Anlagen. Dies selbst dann, wenn die Anlagen im Frühjahr beprobt werden, und die Speichertemperaturen signifikant tiefer sind als in den konventionellen Vergleichsanlagen.

Als Erklärung im Sinne einer Hypothese könnte man anführen, dass Systeme mit Solarwärmeunterstützung prinzipiell im Sommer einen Wärmeüberschuss haben und den Wärmespeicher auf sehr hohe Temperaturen (meist über 70 °C) fahren. Zudem sind die meisten Solarwärmespeicher so konzipiert, dass auch die Erwärmung der untersten Bereiche im Klöpperboden des Speichers möglich ist. Somit erfahren diese Speicher mindestens über das Sommerhalbjahr eine lange andauernde Totalsterilisation, welche auch den Boden mit allfälligen Kalkablagerungen erfasst. Der Aufbau eines Biofilms über längere Zeit wird damit verhindert.

Dennoch gibt es Einzelfälle, in welchen Legionellen auch in solar unterstützten Systemen in Konzentrationen gefunden wurden die über dem Grenzwert von 100 KBE / 100 mL liegen. Gemäss den uns vorliegenden Berichten waren diese Systeme in Bezug auf einen der folgenden Punkte fehlerhaft konzipiert oder betrieben worden:

- Die Temperatur im Bereitschaftsvolumen lag unter 50 °C
- Es lag eine Kontamination der Peripherie in einer weit verzweigten und unübersichtlichen Zirkulation vor, welche durch Einleitung der Zirkulation in einen solaren Vorwärmespeicher auch zu einem Aufbau einer Legionellenpopulation in diesem Speicher geführt hat.

Insgesamt muss jedoch angeführt werden, dass es nur wenige Untersuchungen zu Legionellen in Systemen mit Solarwärmeunterstützung gibt, und dass der Einfluss von Speicher- und Systemdesign auf das Vorkommen von Legionellen bisher kaum untersucht wurden. Aus diesem Grund erachten wir es für unerlässlich, dass weitere Felduntersuchungen mit Erfassung des Speicher- und Systemdesigns sowie der Betriebstemperaturen durchgeführt werden.

7.5 Probenahmen bei 60 °C an den Zapfstellen

Beim Nachweis von Legionellen an den Zapfstellen wird oft der Inhalt der Ausstossleitung verworfen und der dritte oder der fünfte Liter verwendet. Dies beruht auf der Annahme, dass die Zirkulation oder der Speicherinhalt beprobt werden soll, und nicht die Ausstossleitung. Da die Vermehrung der Legionellen bei ausreichend hohen Temperaturen (> 50 °C) nicht in der Zirkulation stattfindet, sondern in selten benutzten Ausstossleitungen, ist folgendes Szenario wahrscheinlich:

1. Bei der Beprobung wird die Hauptfracht der Legionellen bereits weggespült, bevor die Probe genommen wird (vgl. Abbildung 12).



2. Wenn der dritte oder fünfte Liter genommen wird, strömt heisses Wasser am Biofilm der Stichleitung vorbei und löst dort Legionellen oder auch Teile des Biofilms und spült diese aus dem Hahn.
3. Die darin enthaltenen Legionellen sind der hohen Temperatur, welche im Probebehälter gemessen wird, wenige Sekunden ausgesetzt, bevor sie in den Behälter gelangen. Je nach Volumen, Temperatur und Wärmeaustausch mit der Umgebung klingt die Temperatur im Behälter dann schneller oder weniger schnell ab.
4. Dass mit zunehmender Probertemperatur weniger Legionellen aus den Wasserproben isoliert werden können, und erst ab 60 °C keine Legionellen mehr nachgewiesen werden, ist sehr wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass das Sterben oder Deaktivieren der Legionellen im Probebehälter noch weitergeht. Wenige Minuten bei 50 °C reichen nicht für eine Reduktion der vermehrungsfähigen Legionellen um mehrere Zehnerpotenzen, wenige Minuten bei 60 °C jedoch schon.

Daraus kann die Hypothese abgeleitet werden, dass weniger Legionellen in Proben bei 60 °C im Vergleich zu Proben bei 50 °C kein Beweis dafür sind, dass in den Stichleitungen tatsächlich weniger Legionellen vorhanden waren.

Wenn jemand an der betreffenden Zapfstelle geduscht hätte, dann wären die Legionellen aus dem Biofilm der Ausstossleitung nur wenige Sekunden einer Temperatur von 60 °C ausgesetzt gewesen: Die Umgebungstemperatur der herausgelösten Legionellen wäre im Mischer der Duscharmatur wieder auf angenehme 37 °C gemischt und das Wasser über der duschenden Person versprüht worden. Wenige Sekunden bei 60 °C reichen jedoch nicht, um die Legionellen abzutöten oder zu deaktivieren. Es macht wohl auch keinen grossen Unterschied, ob in den wenigen Sekunden die Temperatur 50 °C oder 60 °C betrug.

Aus diesem Grunde ist nach Ansicht der Autoren die Wahrscheinlichkeit hoch, dass die Durchsetzung von 60 °C in der Warmwasser-Verteilung vor allem zu weniger positiven Befunden in den Heisswasserproben führt, nicht aber unbedingt auch zu einer wesentlichen Reduktion des Risikos. Die Beurteilung des Risikos kann nur durch Mischwasserproben erfolgen welche bei ca. 37 °C gezogen werden.

7.6 Mögliche Verbrühungen durch Warmwasser

Bei einer Verbrühung entstehen Schädigungen des Gewebes durch Hitzeeinwirkung von mehr als 45 °C. Ab 52 °C resultieren ernste Folgen, welche bei längerer Einwirkung eine Hospitalisation nach sich ziehen.

Lowell u.a. [73] identifizierten von 137 Verbrühungen¹², welche Kleinkinder unter 5 Jahre erlitten, dass 14 (10%) auf Warmwasser aus dem Hahn zurückzuführen waren. Feldman u.a. [74] assoziieren 7 – 17 % der Kinderverbrühungen, die eine Hospitalisierung nach sich zogen, Warmwasser aus dem Wasserhahn als Verbrühungsgrund. Sie konstatieren, dass in 80% der Haushalte die getestet wurden das Warmwasser für die Badewanne 54 °C oder höher war, was sie als

¹² University of Chicago Burn Center Database / USA.



„unsicher“ einstufen¹³. Katcher [75] berichtet von 5 Todesfällen (drei davon Kinder unter 2 Jahren)¹⁴, dass diese alle hätten verhindert werden können, wenn die Temperatur des Wassererwärmers unter 54 °C gewesen wäre. Die Autoren empfehlen Temperaturen zwischen 49 und 52 °C. Yeoh u.a. [76] identifizieren eine Rate von 14.7 pro 100'000 Kinder unter 5 Jahren¹⁵, welche Verbrühungen von zu heissem Badewasser erleiden. Die Autoren schliessen, dass zur effektiven Prävention die Reduktion der Temperaturen in Heisswasserspeichern gehört¹⁶. Han u.a. [77] berichten von 182 Kindern (14 von 100'000)¹⁷ welche jährlich mit Verbrühungen durch heisses Wasser aus dem Hahn hospitalisiert werden. Sie empfehlen Sicherheitsthermostat-Einstellungen von maximal 49 °C. Übertragen auf die Schweiz und bezogen auf die gesamte Bevölkerung (etwa 5% der Schweizer Bevölkerung sind Kleinkinder unter 5 Jahren), muss man von 0.7 Fällen pro 100'000 ausgehen.

Als Vergleich: die Rate der gemeldeten Legionellosen in der Schweiz lag im Jahr 2017 bei ca. 5 pro 100'000 Einwohner. Davon können ca. 10% auf Warmwasserinstallationen zurückgeführt werden, was 0.5 pro 100'000 entspricht.

¹³ Zitat: „Eighty percent of the homes tested had unsafe bathtub water temperatures of 54 °C (130 F) or greater, exposing the occupants to the risk of full-thickness scalds with 30-second exposure to hot water.“

¹⁴ Dane County, Wisconsin / USA.

¹⁵ Wales / UK.

¹⁶ Zitat: „Bath scalds are a significant problem in children under 5 years. Their prevention should be part of an injury control programme on a local and national level. The best way to achieve this would be by reducing the temperature in domestic hot water tanks.“

¹⁷ Ontario / CA.



8 Schlussfolgerungen und Ausblick

8.1 Epidemiologische Entwicklung

Es ist derzeit unklar, ob die massive Zunahme der gemeldeten Legionellosen auf eine Zunahme der Erkrankungen und damit vermehrte Exposition der Bevölkerung mit Legionellen zurückzuführen ist, oder auf eine Reduktion der Dunkelziffer.

An erster Stelle stehen als Infektionsquelle Nasskühlsysteme und andere aerosolbildende Anlagen (zum Beispiel Kläranlagen, Autowaschanlagen, etc.) im Verdacht, welche auch die überaus deutliche Zunahme der Fälle im Sommerhalbjahr erklären können.

Bei den Trinkwassersystemen stehen neben zu kalten Warmwassersystemen zunehmend auch zu warmen Kaltwassersysteme als mögliche Quellen von Legionellen unter Beobachtung.

8.2 Legionellen und Temperaturen

Nach heutigem Kenntnisstand vermehren sich Legionellen oberhalb einer Temperatur von 45 °C nicht. Oberhalb von 50 °C gehen sie in ein Dauerstadium (VBNC) über oder werden abgetötet. Legionellen im Dauerstadium überleben auch höhere Temperaturen und werden selbst bei Temperaturen von 70 °C erst nach Stunden eliminiert. Sie können wieder in ein aktives und vermehrungsfähiges Stadium zurückkehren, wenn die Bedingungen dafür günstig sind. Bis heute konnte ein Rückkehr aus diesem Stadium nur über die Aufnahme in Amöben oder andere Phagen nachgewiesen werden. Weitere Grundlagenarbeiten werden jedoch notwendig sein, um die Rolle dieser Dauerstadien, eine eventuelle Virulenz, sowie die Effektivität von Temperatur und Zeit für deren Abtötung zu klären.

Aus Sicht der Autoren ist eine Erhöhung der Temperatur über das für die Legionellensicherheit notwendige Niveau nicht nur aus Sicht der Energieeffizienz, sondern auch aus hygienischen Überlegungen zu vermeiden. Denn **mit zunehmender Temperatur der Warmwasserverteilung steigt auch die Übertragung von Wärme auf nahe installierte Abschnitte der Kaltwasserverteilung**. Dies kann dazu führen, dass das Problem verlagert wird in die Kaltwasserverteilung und somit die Legionellensicherheit abnimmt, wenn die Temperatur im Warmwassersystem zu hoch ist.

8.3 Feldstudien

Prinzipiell treten Legionellenkontaminationen in Ein- und Zweifamilienhäusern OHNE warm gehaltene Warmwasserverteilung, d.h. ohne Zirkulation oder Begleitheizband, äusserst selten auf. Voraussetzung ist hier jedoch, dass das Bereitschaftsvolumen des Speichers auf einer Temperatur über 50 °C gehalten wird.

Ist die Temperatur des Wärmespeichers über 50 °C, so kommt diesem eine Schutzwirkung zu, da er zur Reduktion der aktiven Legionellen beiträgt. Klein oder zu knapp dimensionierte Bereitschaftsvolumen erscheinen deshalb nicht sinnvoll.



Die Legionellengefahr steigt mit zunehmender Komplexität und Grösse des Warmwasser-Verteilsystems, insbesondere mit zunehmender Anzahl Zirkulations- oder Verteilstränge, und natürlich mit dem Vorhandensein von Systembereichen welche weder richtig heiss noch richtig kalt sind und/oder womöglich nicht häufig durchspült werden.

Die Temperaturen in Speichern und warm gehaltenen Verteilungen sollten so hoch wie nötig, jedoch nicht höher sein. Denn mit jedem zusätzlichen Grad Temperatur in der Wärmeverteilung steigt auch die Wärmeübertragung auf nahe verlegte Kaltwasserleitungen und damit die Gefahr einer Verlagerung des Problems in die Kaltwasserleitung. Zudem stehen hohe Temperaturen im Widerspruch zur Energieeffizienz, der zur Bekämpfung des Klimawandels ein hoher Stellenwert zukommt.

Der Siphonierung kalter Ausstossleitungen von warm gehaltenen Leitungen oder Speicher sollte in Zukunft mehr Beachtung geschenkt werden, und die Auswirkung davon auf eine Verhinderung der Vermehrung von Legionellen sollten untersucht werden.

8.4 Legionellen und Solaranlagen

Solarwärmeanlagen erscheinen auf Grund der bisher vorliegenden Untersuchungen als sicherer als andere Wärmeerzeugungsanlagen. Möglicherweise führen die zeitweise sehr hohen Temperaturen im Speicher, welche in der Regel auch den untersten Speicherbereich miteinschliessen, periodisch zu einer kompletten Sterilisation, welche auch Legionellen im VBNC-Stadium eliminiert. Womöglich verläuft der erneute Aufbau eines Biofilms, in welchem sich die Legionellen vermehren könnten bis zur nächsten Sterilisation, nicht genügend schnell, um zu einer ernsthaften Gefahr zu werden.

Offene Fragen bestehen bei solarer Wassererwärmung vor allem bezüglich des solaren Vorwärmvolumens. Hier muss man unterscheiden zwischen Anlagen welche:

1. im Sommer durchgehend und im Winter immer wieder Sterilisation im Vorwärmvolumen erreichen (Solare Warmwasseranlagen mit über 50% Jahresdeckung),
2. mindestens über das Sommerhalbjahr eine Pasteurisierung garantieren (Solaranlagen mit hohem Deckungsgrad, Kombianlagen, Sonnenhäuser), oder
3. gar nie im Vorwärmvolumen 60 °C erreichen (solare Vorwärmanlagen für Mehrfamilienhäuser mit geringem Deckungsgrad).

8.5 Analyse der marktüblichen Solarspeicher

Es ist ersichtlich, dass erhebliche Unterschiede im Design (z. Bsp. Spiralrohr-, Pufferspeicher oder Tank-in-Tank-Trinkwassererwärmung) der solaren Warmwasserbereitung bestehen. Es gibt jedoch bisher keine Feldstudien, in



welchen auf diese Unterschiede im Zusammenhang mit Legionellen eingegangen wurde. Es ist deshalb auch unklar:

- ob bei einem bestimmten Typ oder einem bestimmten Design von Speicher und Auslegung ein erhöhtes Risiko in Bezug auf Legionellen zu erwarten ist.
- ob irgendwelche Grenzwerte eingeführt werden sollten um Volumen oder Oberflächen zu begrenzen
- ob Vorwärm- und Mitteltemperaturzonen von Solarwärmespeichern von Zeit zu Zeit über Zusatzheizungen erwärmt werden sollten, um einen hygienisch einwandfreien Betrieb zu gewährleisten.

In Anbetracht der fehlenden Datengrundlage können im Moment nur Parameter ermittelt werden, die einen Einfluss haben könnten auf die Legionellensicherheit, aber es können keine Grenzwerte bestimmt werden.

Es sollte wissenschaftlich untersucht werden, inwiefern insbesondere Vorwärmvolumen welche selten oder nie auf hohe Temperatur geheizt werden ein Problem darstellen können. In der Folge kann auf wissenschaftlich fundierter Basis entschieden werden, ob allenfalls auch hier Massnahmen notwendig sind, und welche Massnahmen hier zielführend sind.

8.6 Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie wurden der Kommission der SIA 385/1 vorgestellt, und wurden kommuniziert an das CEN/TC 164 – "water supply", welches die ISO Norm 306-2 überarbeitet.

Weiter ist geplant, in einem Folgeprojekt eine Felduntersuchung mit 50 Objekten mit Solarwärmeunterstützung sowie 50 Objekten ohne Solarwärmeunterstützung durchzuführen, um den Einfluss verschiedener Anlagendesigns und Betriebsweisen auf das Vorkommen von Legionellen zu untersuchen.



9 Bibliographie

- [1] Bundesamt für Gesundheit BfG, Legionellen und Legionellose, 2009.
<http://www.bag.admin.ch/themen/medizin/00682/00684/01084/index.html?lang=de>.
- [2] BAG - Bundesamt für Gesundheit, Die Legionärskrankheit in der Schweiz und im Fürstentum Lichtensteig, 2008 bis 2017, BAG Bulletin. 21 (2017) 7–11.
- [3] E. van Heijnsbergen, J.A.C. Schalk, S.M. Euser, P.S. Brandsema, J.W. den Boer, A.M. de Roda Husman, Confirmed and Potential Sources of Legionella Reviewed, Environ. Sci. Technol. 49 (2015) 4797–4815. doi:10.1021/acs.est.5b00142.
- [4] N. Nguyen, T. Minh, D. Ilef, S. Jarraud, L. Rouil, C. Campese, D. Che, S. Haeghebaert, F. Ganiayre, F. Marcel, J. Etienne, J.-C. Desenclos, A Community-Wide Outbreak of Legionnaires Disease Linked to Industrial Cooling Towers—How Far Can Contaminated Aerosols Spread?, J Infect Dis. 193 (2006) 102–111. doi:10.1086/498575.
- [5] Französische AKWs spucken Legionellen, Die Tageszeitung. (2006).
<http://www.taz.de/1/archiv/archiv/?dig=2006/07/31/a0125> (accessed August 23, 2011).
- [6] ee-news, Kernkraftwerk Leibstadt: Legionellen-Bekämpfung verlängert, (2013).
http://www.ee-news.ch/de/article/26500/kernkraftwerk-leibstadt-legionellen-bekaempfung-verlaengert?utm_source=newsletter173&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter173 (accessed May 22, 2013).
- [7] J. Kusnetsov, L.-K. Neuvonen, T. Korpio, S.A. Uldum, S. Mentula, T. Putus, N.N. Tran Minh, K.-P. Martimo, Two Legionnaires' disease cases associated with industrial waste water treatment plants: a case report, BMC Infect Dis. 10 (2010) 343. doi:10.1186/1471-2334-10-343.
- [8] D.L. Tison, D.H. Pope, W.B. Cherry, C.B. Fliermans, Growth of Legionella pneumophila in association with blue-green algae (cyanobacteria)., Appl Environ Microbiol. 39 (1980) 456–459.
- [9] C.B. Fliermans, W.B. Cherry, L.H. Orrison, S.J. Smith, D.L. Tison, D.H. Pope, Ecological distribution of Legionella pneumophila., Appl. Environ. Microbiol. 41 (1981) 9–16.
- [10] G. Medema, B. Wullings, P. Roeleveld, D. van der Kooij, Risk assessment of Legionella and enteric pathogens in sewage treatment works, Water Science and Technology: Water Supply. 4 (2004) 125–132.
- [11] J.S. Olsen, T. Aarskaug, I. Thrane, C. Pourcel, E. Ask, G. Johansen, V. Waagen, J.M. Blatny, Alternative Routes for Dissemination of Legionella pneumophila Causing Three Outbreaks in Norway, Environ. Sci. Technol. 44 (2010) 8712–8717. doi:10.1021/es1007774.
- [12] H. von Baum, S. Ewig, R. Marre, N. Suttorp, S. Gonschior, T. Welte, C. Lück, Community-Acquired Legionella Pneumonia: New Insights from the German Competence Network for Community Acquired Pneumonia, Clin Infect Dis. 46 (2008) 1356–1364. doi:10.1086/586741.
- [13] J. Nipkow, Aktuelles zu Warmwasser-Normen und -Richtlinien, (2018).
- [14] P.Ch. Lück, J.H. Helbig, Zur Epidemiologie der Legionellosen, Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II (1993) 41–47.
- [15] R.B. Yee, R.M. Wadowsky, Multiplication of Legionella pneumophila in unsterilized tap water., Appl. Environ. Microbiol. 43 (1982) 1330–1334.
- [16] R.M. Wadowsky, R.B. Yee, L. Mezmar, E.J. Wing, J.N. Dowling, Hot water systems as sources of Legionella pneumophila in hospital and nonhospital plumbing fixtures., Appl Environ Microbiol. 43 (1982) 1104–1110.



- [17] R. Schulze-Röbbecke, M. Rödder, M. Exner, Multiplication and killing temperatures of naturally occurring legionellas, *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B.* 184 (1987) 495–500.
- [18] T. Konishi, T. Yamashiro, M. Koide, A. Nishizono, Influence of temperature on growth of *Legionella pneumophila* biofilm determined by precise temperature gradient incubator, *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 101 (2006) 478–484. doi:10.1263/jbb.101.478.
- [19] R.M. Wadowsky, R. Wolford, A.M. McNamara, R.B. Yee, Effect of temperature, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring *Legionella pneumophila* in potable water., *Appl. Environ. Microbiol.* 49 (1985) 1197–1205.
- [20] P.J. Dennis, D. Green, B.P.C. Jones, A note on the temperature tolerance of *Legionella*, *Journal of Applied Bacteriology.* 56 (1984) 349–350. doi:10.1111/j.1365-2672.1984.tb01359.x.
- [21] G. De Luca, S. Stampi, L. Lezzi, F. Zanetti, Effect of heat and acid decontamination treatments on the recovery of *Legionella pneumophila* from drinking water using two selective media, *New Microbiol.* 22 (1999) 203–208.
- [22] S. Cervero-Aragó, S. Rodríguez-Martínez, A. Puertas-Bennasar, R.M. Araujo, Effect of Common Drinking Water Disinfectants, Chlorine and Heat, on Free *Legionella* and Amoebae-Associated *Legionella*, *PLOS ONE.* 10 (2015) e0134726. doi:10.1371/journal.pone.0134726.
- [23] R. Schulze-Röbbecke, M. Rödder, M. Exner, Comments on the multiplication and eradication temperatures of *Legionella*, *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II* (1993) 169–175.
- [24] W.H.O. WHO, *Legionella and the prevention of legionellosis*, Geneva, Switzerland, 2007.
- [25] W.J. Warren, R.D. Miller, Growth of Legionnaires disease bacterium (*Legionella pneumophila*) in chemically defined medium., *J Clin Microbiol.* 10 (1979) 50–55.
- [26] J.D. Ristroph, K.W. Hedlund, R.G. Allen, Liquid medium for growth of *Legionella pneumophila*., *J Clin Microbiol.* 11 (1980) 19–21.
- [27] T.J. O'Connor, Y. Adepoju, D. Boyd, R.R. Isberg, Minimization of the *Legionella pneumophila* genome reveals chromosomal regions involved in host range expansion, *PNAS.* 108 (2011) 14733–14740. doi:10.1073/pnas.1111678108.
- [28] M.A. Horwitz, S.C. Silverstein, Legionnaires' Disease Bacterium (*Legionella pneumophila*) Multiplies Intracellularly in Human Monocytes, *J Clin Invest.* 66 (1980) 441–450. doi:10.1172/JCI109874.
- [29] E. Pearlman, A.H. Jiwa, N.C. Engleberg, B.I. Eisenstein, Growth of *Legionella pneumophila* in a human macrophage-like (U937) cell line, *Microbial Pathogenesis.* 5 (1988) 87–95. doi:10.1016/0882-4010(88)90011-3.
- [30] R. Lesnik, I. Brettar, M.G. Höfle, *Legionella* species diversity and dynamics from surface reservoir to tap water: from cold adaptation to thermophily, *The ISME Journal.* 10 (2016) 1064–1080. doi:10.1038/ismej.2015.199.
- [31] P.D.J. Baumgart, P.D.B. Becker, P.D.R. Stephan, *Mikrobiologische Untersuchung von Lebensmitteln: Ein Leitfaden für das Studium*, Behr's Verlag DE, 2015.
- [32] P.D.H. Weber, *Mikrobiologie der Lebensmittel: Band 1: Grundlagen*, Behr's Verlag DE, 2010.
- [33] J. Rogers, A.B. Dowsett, P.J. Dennis, J.V. Lee, C.W. Keevil, 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.* 60 (1994) 1585–1592.



- [34] W.J. Patterson, J. Hay, D.V. Seal, J.C. McLuckie, Colonization of transplant unit water supplies with *Legionella* and protozoa: precautions required to reduce the risk of legionellosis, *Journal of Hospital Infection*. 37 (1997) 7–17. doi:10.1016/S0195-6701(97)90068-2.
- [35] L. Marinelli, A. Cottarelli, A.G. Solimini, A. Del Cimmuto, M. De Giusti, Evaluation of timing of re-appearance of VBNC *Legionella* for risk assessment in hospital water distribution systems, *Ann Ig*. 29 (2017) 431–439.
- [36] M. Steinert, L. Emödy, R. Amann, J. Hacker, Resuscitation of viable but nonculturable *Legionella pneumophila* Philadelphia JR32 by *Acanthamoeba castellanii*., *Appl. Environ. Microbiol*. 63 (1997) 2047–2053.
- [37] B. Casini, A. Baggiani, M. Totaro, A. Mansi, A.L. Costa, F. Aquino, M. Miccoli, P. Valentini, F. Bruschi, P.L. Lopalco, G. Privitera, Detection of viable but non-culturable legionella in hospital water network following monochloramine disinfection, *Journal of Hospital Infection*. 98 (2018) 46–52. doi:10.1016/j.jhin.2017.09.006.
- [38] T. Epalle, F. Girardot, S. Allegra, C. Maurice-Blanc, O. Garraud, S. Riffard, 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*. 69 (2015) 215–224. doi:10.1007/s00248-014-0470-x.
- [39] E. Dietersdorfer, A. Kirschner, B. Schrammel, A. Ohradanova-Repic, H. Stockinger, R. Sommer, J. Walochnik, S. Cervero-Aragó, Starved viable but non-culturable (VBNC) *Legionella* strains can infect and replicate in amoebae and human macrophages, *Water Research*. 141 (2018) 428–438. doi:10.1016/j.watres.2018.01.058.
- [40] P. Robertson, H. Abdelhady, R.A. Garduño, The many forms of a pleomorphic bacterial pathogen—the developmental network of *Legionella pneumophila*, *Front. Microbiol*. 5 (2014). doi:10.3389/fmicb.2014.00670.
- [41] S. Allegra, F. Berger, P. Berthelot, F. Grattard, B. Pozzetto, S. Riffard, Use of Flow Cytometry To Monitor *Legionella* Viability, *Appl. Environ. Microbiol*. 74 (2008) 7813–7816. doi:10.1128/AEM.01364-08.
- [42] M. Harmuth, Untersuchungen über das Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen von Ein-und Zweifamilienhäusern, PhD Thesis, Westfälische Wilhelms-Universität, 2006.
- [43] W. Mathys, J. Stanke, M. Harmuth, E. Junge-Mathys, 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, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 211 (2008) 179–185. doi:10.1016/j.ijheh.2007.02.004.
- [44] V. Mouchtouri, E. Velonakis, A. Tsakalof, C. Kapoula, G. Goutziana, A. Vatopoulos, J. Kremastinou, C. Hadjichristodoulou, Risk Factors for Contamination of Hotel Water Distribution Systems by *Legionella* Species, *Appl. Environ. Microbiol*. 73 (2007) 1489–1492. doi:10.1128/AEM.02191-06.
- [45] A. Uzel, F. Uçar, E. Esin Hameş-Kocabaş, Prevalence of *Legionella pneumophila* serogroup 1 in water distribution systems in İzmir province of Turkey, *APMIS*. 113 (2005) 664–669. doi:10.1111/j.1600-0463.2005.apm_118.x.
- [46] M. Totaro, P. Valentini, A.L. Costa, L. Frendo, A. Cappello, B. Casini, M. Miccoli, G. Privitera, A. Baggiani, Presence of *Legionella* spp. in Hot Water Networks of Different Italian Residential Buildings: A Three-Year Survey, *Int J Environ Res Public Health*. 14 (2017). doi:10.3390/ijerph14111296.
- [47] F. Arnold, Legionellen bei der Warmwasser-Aufbereitung, *Umwelt Aargau*. Nr. 69 (2015) 35–38.



- [48] K. Rühling, R. Rothmann, Untersuchungen zur Verifizierung von Sicherheitsabständen zur Zone des Legionellenwachstums in der Trinkwassererwärmung, TU Dresden - Fakultät Maschinenwesen - Institut für Energietechnik, Dresden, Germany, 2012.
- [49] S. Pleischl, Zum Vorkommen von Legionellen in wasserführenden, technischen Systemen und der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen unter Praxisbedingungen, PhD Thesis, Mathematisch Naturwissenschaftliche Fakultät der Rheinischen Friedrich-Willhelms-Universität, 2004.
- [50] R. Rothmann, Deskriptive Statistik der Untersuchungen nach TrinkwV erhoben von figawa-Mitgliedern, Vortrag auf dem Kongress “Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation”, 19./20.03.2018, Berlin, (2018).
- [51] R. Rothmann, K. Rühling, Felduntersuchungen: Überblick Untersuchungsergebnisse – deskriptive Statistik, Vortrag auf dem Kongress “Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation”, 19./20.03.2018, Berlin, (2018).
- [52] E.-B. Kruse, A. Wehner, H. Wisplinghoff, Prevalence and distribution of Legionella spp in potable water systems in Germany, risk factors associated with contamination, and effectiveness of thermal disinfection, *American Journal of Infection Control*. 44 (2016) 470–474. doi:10.1016/j.ajic.2015.10.025.
- [53] M. Arvand, K. Jungkind, A. Hack, Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by Legionella pneumophila: Do we know the true dimension?, *Eurosurveillance*. 16 (2011) 19844. doi:10.2807/ese.16.16.19844-en.
- [54] J.E. Stout, V.L. Yu, Y.C. Yee, S. Vaccarello, W. Diven, T.C. Lee, Legionella pneumophila in residential water supplies: environmental surveillance with clinical assessment for Legionnaires’ disease., *Epidemiol Infect*. 109 (1992) 49–57.
- [55] S. Völker, C. Schreiber, T. Kistemann, Modelling characteristics to predict Legionella contamination risk – Surveillance of drinking water plumbing systems and identification of risk areas, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 219 (2016) 101–109. doi:10.1016/j.ijheh.2015.09.007.
- [56] Z. Barna, M. Kádár, E. Kálmán, A. Scheirich Szax, M. Vargha, Prevalence of Legionella in premise plumbing in Hungary, *Water Research*. 90 (2016) 71–78. doi:10.1016/j.watres.2015.12.004.
- [57] P. Borella, M.T. Montagna, V. Romano-Spica, S. Stampi, G. Stancanelli, M. Triassi, R. Neglia, I. Marchesi, G. Fantuzzi, D. Tatò, C. Napoli, G. Quaranta, P. Laurenti, E. Leoni, G. De Luca, C. Ossi, M. Moro, G.R. D’Alcalà, Legionella Infection Risk from Domestic Hot Water, *Emerg Infect Dis*. 10 (2004) 457–464. doi:10.3201/eid1003.020707.
- [58] J. Stanke, Untersuchung zur Besiedlung der Warmwassersysteme von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Legionellen, Dissertation, Westfälischen Wilhelms-Universität, 2005.
- [59] M. Alary, J.R. Joly, Risk factors for contamination of domestic hot water systems by legionellae., *Appl. Environ. Microbiol*. 57 (1991) 2360–2367.
- [60] F. Tiefenbrunner, Zum Vorkommen von Legionellen in Trinkwasserversorgungsanlagen von Ein- und Zweifamilienhäusern, *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II* (1993) 131–148.
- [61] D.G. Groothuis, Niederlaendische Erfahrungen mit Legionellose-Ausbrüchen, *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II* (1993) 59–68.
- [62] H. Burger, Gerätetechnische Voraussetzungen für hygienische Trinkwassererwärmung, *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II* (1993) 99–104.
- [63] H. Bechem, Temperaturschichtungen und ihre Auswirkungen in Serienspeichern, *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg. 91-Legionellen II* (1993) 83–89.



- [64] S. Collins, D. Stevenson, A. Bennett, J. Walker, Occurrence of Legionella in UK household showers, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 220 (2017) 401–406. doi:10.1016/j.ijheh.2016.12.001.
- [65] W.L. Straus, J.F. Plouffe, T.M. File Jr, H.B. Lipman, B.H. Hackman, S.J. Salstrom, R.F. Benson, R.F. Breiman, Risk factors for domestic acquisition of legionnaires disease, *Archives of Internal Medicine*. 156 (1996) 1685.
- [66] K. Rühling, R. Rothmann, L. Haupt, S. Hoppe, J. Löser, C. Schreiber, F. Wasser, N. Zacharias, T. Kistemann, C. Lück, T. Koshkolda, M. Petzold, G. Schaule, A. Nocker, J. Wingender, A. Kallert, D. Schmidt, R. Egelkamp, EnEff: Wärme – Verbundvorhaben Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation - Koordinierter Schlussbericht des BMWi-Verbundvorhabens FKZ 03ET1234A-D, Dresden, Bonn, Mülheim, Kassel, 2018.
- [67] G. van Amerongen, J. Lee V., J.-M. Suter, Code of practice - The CEN/TR 16355 technical report of CEN/TC 164/WG 2 on Legionella applied to solar water systems, 2012.
- [68] Q.A. Al-Matawah, S.F. Al-Zenki, J.A. Qasem, T.E. Al-Waalan, A.H. Ben Heji, Detection and Quantification of Legionella pneumophila from Water Systems in Kuwait Residential Facilities, *J Pathog*. 2012 (2012). doi:10.1155/2012/138389.
- [69] K. Rühling, et al., Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasserinstallation, *EuroHeat&Power*. 46 (2017) 26–31.
- [70] A. Lauber, Wärmeverluste durch rohrinterne Gegenstromzirkulation in Speicheranschlussleitungen, und deren Verminderung mittels Konvektionsbremsen, Konvektionssperren und Wärmesiphons - Quantifizierung der Effekte mittels Messung, SPF Solartechnik Prüfung Forschung - Hochschule für Technik HSR, Rapperswil, 2007.
- [71] F. Kliem, J. Steinweg, G. Rockendorf, Wärmeverluste durch Einrohrzirkulation - Bewerten und Vermindern, Institut für Solarenergieforschung GmbH, Hemeln / Emmerthal, 2014.
- [72] M. Haller, M. Battaglia, Korrekt siphonierte Wärmespeicher, Institut für Solartechnik SPF, Rapperswil, Switzerland, 2017.
- [73] G. Lowell, K. Quinlan, L.J. Gottlieb, Preventing Unintentional Scald Burns: Moving Beyond Tap Water, *Pediatrics*. 122 (2008) 799–804. doi:10.1542/peds.2007-2979.
- [74] K.W. Feldman, R.T. Schaller, J.A. Feldman, M. McMillon, Tap Water Scald Burns in Children, *Pediatrics*. 62 (1978) 1–7.
- [75] M.L. Katcher, Scald Burns From Hot Tap Water, *JAMA*. 246 (1981) 1219–1222. doi:10.1001/jama.1981.03320110031022.
- [76] C. Yeoh, J.W. Nixon, W. Dickson, A. Kemp, J.R. Sibert, Patterns of scald injuries., *Archives of Disease in Childhood*. 71 (1994) 156–158. doi:10.1136/adc.71.2.156.
- [77] R.K. Han, W.J. Ungar, C. Macarthur, Cost-effectiveness analysis of a proposed public health legislative/educational strategy to reduce tap water scald injuries in children, *Injury Prevention*. 13 (2007) 248–253. doi:10.1136/ip.2006.014480.



Anhang A: Zeitlicher Verlauf eines Legionellenbefalls in einem Mehrfamilienhaus im Kanton Aargau

Probenahme	nach Massnahme	Resultat
17.05.2010	thermische Desinfektion 60 °C	Einzelne Zapfstellen (Waschküche, nicht jedoch der Boiler) nur noch gering kontaminiert
19.11.2010		Waschküche in Abhängigkeit des Zapfvolumens stark kontaminiert
21.01.2011	Ausbau kontaminiertes Übergangsstück (Fitting) in Leitung zur Waschküche	hohe Werte in Fitting mit Totvolumen
25.10.2011	nach Einbau Solarwärmeanlage mit Vorwärm Speicher	Zapfstellen stark kontaminiert, 10 x mehr als Speicher
09.01.2012	Einbau neue Zirkulationspumpe, Legionellenschaltung täglich 65 °C 2 h, Temp. Haupttank zw. 52-58 °C, Rücklauf 50 °C	Wasser aus Vorwärm tank: 3'000 KBE / 100 ml, Wasser aus Haupttank: 800 KBE / 100 ml, Zapfstellen > 20'000 KBE / 100 ml
7.2.2012	WW Haupttank 60-63 °C; Temperaturen Vortank: 23/45/47 °C; Rücklauf Zirkulation 51 °C	Vorwärm tank: 200 KBE / 100 ml, Haupttank: 1'300 KBE / 100 ml, zwei Zapfstellen: > 15'000 KBE / 100 ml
10.3.2012	Einbezug Vorwärm tank in die Massnahmen: 60 °C auch im Vorwärm tank	Vorwärm tank 46 °C 200 KBE / 100 ml, Haupttank nicht nachweisbar, eine Zapfstelle (Spielraum) 300 KBE / 100 ml, sonst nicht nachweisbar.