

Schlussbericht, 08. Februar 2021

Bericht «LegioSafePlus»

Überprüfung von Massnahmen
zur Reduktion von Legionellen
bei betroffenen Objekten



energie schweiz

Unser Engagement: unsere Zukunft.

Autoren

Florian Ruesch, SPF

Bruno Füchslin, SPF

Dr. Michel Haller, SPF

Begleitgruppe und Eigenleistungen

Linda Thöny, Amt für Verbraucherschutz und Veterinärwesen St.Gallen

Franziska Rölli, Hochschule Luzern HSLU

Björn Biedermann, rqmicro AG

Renate Boss, Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV

Ko-Finanzierung

EnFK-Ost

**Diese Studie wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen. Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern
Infoline 0848 444 444, www.infoline.energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch, twitter.com/energieschweiz

Zusammenfassung

Im Vorgängerprojekt LegioSafeCheck wurden im Jahr 2019 bei 18 von 110 untersuchten Warmwasseranlagen Legionellen $>1'000$ KBE/L im Duschwasser gefunden. In dieser Folgestudie wurden bei 14 dieser Anlagen ein Jahr später nochmals Temperaturen aufgezeichnet und Duschwasserproben genommen, um festzustellen ob, und wenn ja, welche Massnahmen bei der Bekämpfung der Legionellen erfolgreich waren. Gleichzeitig wurde untersucht, ob das Nutzerverhalten einen Einfluss auf das Vorkommen von Legionellen hatte, und ob sich Aussagen über den eventuellen Einfluss von sogenannten VBNC (viable but non-culturable) Legionellen auf das Legionellenrisiko machen lassen. Bei lediglich fünf der 14 untersuchten Anlagen wurde nach der 2019 erfolgten Umsetzung von Massnahmen in 2020 noch Legionellen im Kultivierungsverfahren nachgewiesen. Bei vier dieser fünf Anlagen wurden fehlerhafte Warmhaltesysteme der Verteilungen als mögliche Ursache identifiziert. Das Vorkommen von Legionellen in den 14 Anlagen korrelierte deutlich mit dem Verfehlen der Vorgabe der SIA 385/1, dass Warmwasser an den Zapfstellen mit einer Temperatur von 50 °C zur Verfügung gestellt werden muss. Auf Grund der vorliegenden Resultate scheinen in den meisten Fällen weder Legionellenschaltungen noch höhere Temperaturen notwendig zu sein, um in nach SIA 385/1:2020 fehlerfrei installierten und betriebenen Systemen Legionellen zu verhindern oder auch vorhandene Legionellen wieder los zu werden.

Résumé

Au cours du projet LegioSafeCheck 2019, des légionnelles à $>1'000$ UFC/L ont été décelées dans l'eau des douches de 18 des 110 installations de production d'eau chaude prélevées. Un an plus tard, dans le cadre de cette étude de suivi, les températures et de nouveaux échantillons d'eau de douches ont été testés dans 14 de ces installations positives pour les légionnelles, afin de déterminer si, et le cas échéant, quelles sont les mesures efficaces contre les légionnelles. En parallèle, l'influence du comportement des utilisateurs sur l'apparition des légionnelles a été étudiée et une enquête a été menée sur des déclarations concernant l'impact de légionnelles dites VBNC (viable but not culturable). Suite aux mesures prises en 2019, seulement 5 des 14 installations à nouveau analysées (par méthodes de culture) en 2020 sont restées positives aux légionnelles. Pour 4 de ces 5 installations, une défaillance au niveau du système de maintien en température/de chauffage a été identifié comme la cause. La présence de légionnelles dans ces 14 installations est clairement liée au non-respect de la norme SIA 385/1 selon laquelle l'eau chaude doit être fournie aux points de distribution à une température de 50°C. Sur la base des résultats disponibles, ni les dispositifs de désinfection thermique, ni des températures plus élevées ne semblent nécessaire pour prévenir ou éliminer les légionnelles dans la majorité des systèmes installés et exploités conformément à la norme SIA 385/1:2020.

Konsolidierte Zusammenfassung

Dieser Text enthält eine konsolidierte Zusammenfassung der beiden Projekte LegioSafeCheck und LegioSafePlus, von welchen eines der Gegenstand des darauf folgenden ausführlichen Berichtes ist.

Im Rahmen der Überarbeitung der Normen zu Trinkwarmwasser in Gebäuden wurde die Frage aufgeworfen, wie hoch die Temperaturen in Warmwasserspeichern und in warm gehaltenen Verteilleitungen sein müssen, um einen legionellensicheren Betrieb gewährleisten zu können. Diese Frage konnte aufgrund der Literatur nicht zufriedenstellend geklärt werden. Die vorliegenden Untersuchungen sollen einen Beitrag dazu liefern, die Risikofaktoren, welche zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit von Legionellen im Duschwasser führen, besser zu verstehen.

Untersuchungsobjekte

Im Frühjahr 2019 wurden in 110 Wohngebäuden in den Gemeinden Rapperswil- Jona, Schmerikon und Uznach insgesamt 444 Wasserproben genommen. Die meisten der untersuchten Objekte waren Einfamilienhäuser, es waren jedoch auch 14 Mehrfamilienhäuser und acht Doppel-Einfamilienhäuser in der Stichprobe enthalten. Zudem verfügten 55% der Objekte über eine thermische Solaranlage. Nach den Untersuchungen im Jahr 2019 wurden jene 18 Anlagenbesitzer noch einmal angeschrieben, deren Duschwasserproben in mindestens einem Fall Legionellenwerte über 1000 KBE/L aufwiesen. Von diesen waren 14 bereit, an einer Folgeuntersuchung im Frühjahr 2020 teilzunehmen.

Drei Besonderheiten der Untersuchung

Die Untersuchungen unterschieden sich in drei wesentlichen Punkten von früheren Feldstudien:

- Erstens wurden vor der Probenahme Temperaturlogger angebracht und die Temperaturen von Speicher und Warmwasserverteilung für mindestens eine Woche aufgezeichnet.
- Zweitens wurden im Jahr 2019 auch Proben aus dem unteren Volumen der Warmwasserspeicher gezogen, um feststellen zu können, ob in diesem Speicherbereich aufgrund tieferer Temperaturen als im oberen Bereich vermehrt Legionellen zu finden sind.
- Als dritter Punkt ist anzuführen, dass ein Probenahmeverfahren gewählt wurde, welches auf die tatsächliche Gefährdung während des Duschens abzielte. Legionellosen werden durch das Einatmen von legionellenhaltigen Aerosolen verursacht. Daher wurden Situationen, bei denen sich eine Person direkt unter der Duschbrause befindet, als besonders kritisch erachtet. Für eine erste Probenahme wurde zuerst nur das heisse Wasser aufgedreht, und eine Probe gezogen, sobald eine Temperatur von 37 °C erreicht wurde. Danach wurde eine Mischtemperatur zwischen Heiss- und Kaltwasser eingestellt und eine weitere Probe dieses gemischten Wassers ebenfalls bei 37 °C gezogen. Bei Neben- respektive Gästeduschen wurde jeweils aus Kostengründen nur diese eine Mischprobe gezogen.

Proben bei sehr hohen Temperaturen zu entnehmen, wurde nicht als zielführend erachtet, da aus dem Leitungssystem oder der Brause mitgespülte Legionellen durch hohe Temperaturen im Probebehälter auch erst in diesem abgetötet werden können. Insbesondere negative – also legionellenfreie – Resultate aus Proben mit hoher Temperatur könnten dadurch eine Sicherheit vermitteln, die im realen Alltag nicht gegeben ist.

Resultate aus 110 Objekten im ersten Jahr (2019)

Insgesamt konnten bei 24 von den 110 Gebäuden Legionellen in mindestens einer Duschwasserprobe nachgewiesen werden, in 18 Objekten wurde der Höchstwert für Duschen von 1000 KBE/L (siehe Kasten) überschritten. Einige Ergebnisse der Untersuchungen von 2019 werden hier zusammengefasst. Sowohl Speicher, welche durch Solarwärme unterstützt wurden, als auch Speicher, welche mit Wärmepumpentechnik Trinkwarmwasser bereiteten, wiesen tendenziell weniger häufig Legionellen im Bereich des Speicherbodens auf als andere Anlagen (Abb. A).

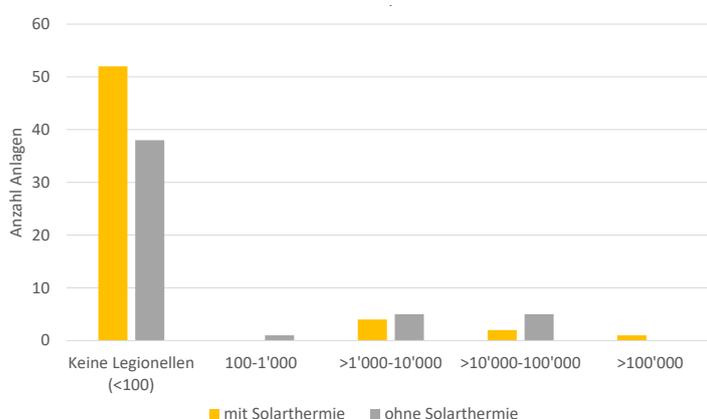


Abbildung A: Übersicht über die Legionellenbefunde in Proben aus dem unteren Bereich des Warmwasserspeichers in der Hauptuntersuchung 2019.

1000 KBE/L

Die Quantifizierung von Legionellen in Wasserproben erfolgte über ein Kulturverfahren nach ISO 11731:2017, in welchem eine definierte Menge Wasser – direkt oder als Filtrat auf einem Filter – auf einen Nährboden gebracht wird und allfällig vorhandene Keime bei wachstumsbegünstigenden Bedingungen kultiviert werden. Nach der Kultivierung wird festgestellt, wie viele Legionellenkolonien sich auf dem Kulturmedium gebildet haben. Diese werden als koloniebildende Einheiten (KBE) ausgewiesen und auf einen Liter Wasserprobe hochgerechnet (KBE/L). Der Höchstwert für Duschen im öffentlichen Raum gemäss TBDV (SR 817.022.11) ist 1000 KBE/L. Für private Duschen gibt es offiziell keinen Höchstwert.

Das Vorkommen von Legionellen in den Duschproben korrelierte mit sechs Ausprägungen signifikant:

- Mit dem Vorhandensein einer zentralen Kaltwasserbeimischung (zentraler Verbrühungsschutz) in Kombination mit einer Warmwasserzirkulation ($p = 0.01$, zur Erklärung der p -Werte siehe Info- Kasten),
- mit dem Vorhandensein einer Thermomischarmatur in der Dusche ($p = 0.046$),
- mit dem Vorhandensein einer Solaranlage (Hauptdusche $p = 0.01$, Nebendusche $p = 0.46$),
- mit der Beanstandung von geruchlichen oder geschmacklichen Eigenschaften des Wassers ($p = 0.04$),
- mit dem Alter des Hauses ($p = 0.02$) und mit dem Alter der sanitären Anlage ($p = 0.03$), wobei jüngere Häuser und Anlagen eher Legionellen aufwiesen als ältere.

Anlagen mit Solaranlagen waren gleichzeitig signifikant jünger und wiesen sowohl im Bereitschaftsvolumen des Speichers als auch an den Entnahmestellen signifikant tiefere Temperaturen auf als andere. Zudem wiesen diese Anlagen tendenziell weniger häufig Legionellen im unteren Speicherbereich auf als Anlagen ohne Solarthermie. Deshalb lässt sich vermuten, dass nicht das eigentliche Anlagenkonzept, sondern mit diesen Anlagen korrelierende andere Faktoren für das vermehrte Auffinden von Legionellen in den Duschproben verantwortlich war.

p-Werte und "statistische Signifikanz"

Die ausgewiesenen p -Werte sind ein statistisches Mass dafür, wie wahrscheinlich es ist, dass allfällig festgestellte Unterschiede zwischen Gruppen rein zufällig sind. Bei einem p -Wert von 0.4 sind die Unterschiede oder allfällige Muster mit 40%iger Wahrscheinlichkeit zufällig. Bei einem p -Wert < 0.05 ist das Resultat mit über 95%iger Wahrscheinlichkeit kein Zufall. In diesen Fällen spricht man in der Regel von einem «signifikanten» Ergebnis. Im vorliegenden Artikel werden Unterschiede, welche nicht signifikant sind, als «Tendenzen» deklariert. Für die im Artikel rapportierten p -Werte kamen Fischer Exakt und Wilcoxon-Rangsummentests zum Einsatz.

Gemäss SIA 385/1:2020 muss bei Neubauten und, soweit möglich, bei Umbauten die Temperatur an der Entnahmestelle nach siebenfacher Ausstosszeit eine Temperatur von mindestens 50 °C erreichen. Diese Temperatur konnte von 30% der Anlagen ohne Solarthermie und von 50% der Anlagen mit Solarthermie nicht erreicht werden. In der SIA-Norm werden auch Mindesttemperaturen für den Vorlauf und Rücklauf von Warmwasserzirkulationssystemen gefordert. Keine der 25 Anlagen mit Zirkulationssystem erreichte jedoch die für den Standardfall geforderten 55 °C im Rücklauf der Zirkulation. Nur drei Anlagen erreichten an dieser Stelle die 52 °C, welche im Falle einer einwandfreien Installation ohne jegliche Problemstelle angewendet werden können. Bei diesen drei Anlagen waren keine Legionellen an den Entnahmestellen zu finden. Da nur wenige Anlagen die Anforderungen der SIA erfüllten, lassen die Untersuchungen von 2019 keine Rückschlüsse darauf zu, was gewesen wäre, wenn die Vorgaben der SIA 385/1:2020 grösstenteils eingehalten worden wären.

Überraschenderweise waren die weniger häufig benutzten Nebenduschen tendenziell auch weniger häufig von Legionellen betroffen als Hauptduschen, und auch die angegebene Häufigkeit der Nutzung der jeweiligen Duschen korrelierte nicht mit dem Vorhandensein von Legionellen in den Proben. Ebenfalls überraschend war, dass Anlagen, welche erst kürzlich gewartet wurden, häufiger Legionellen im unteren Speicherbereich aufwiesen als Anlagen, welche nicht oder erst vor längerer Zeit gewartet oder installiert wurden ($p = 0.02$). Insgesamt blieben nach den Untersuchungen von 2019 weiterhin zentrale Fragen offen, und es wurde deshalb beschlossen, in einem Folgeprojekt "LegioSafePlus" weitere Untersuchungen vorzunehmen.

Im Folgejahr zeigt sich die Wirksamkeit von Massnahmen

Im zweiten Jahr (2020) wurden nur noch 14 derjenigen Objekte weiter untersucht, welche im Vorjahr Legionellen >1000 KBE/L in mindestens einer Duschprobe aufwiesen¹. Wiederum wurde im Frühjahr (Januar bis März) ein erstes Mal beprobt, und wiederum wurden Temperaturen aufgezeichnet und die Proben nach dem gleichen Vorgehen wie im Vorjahr gezogen und analysiert. Von den 14 Objekten waren neun in 2020 auf Anhieb legionellenfrei. Die Besitzer dieser neun Anlagen hatten in der Zwischenzeit unterschiedliche Massnahmen ergriffen. Diese beinhalteten zum Beispiel Erhöhungen der Speichertemperatur sowie der Temperatureinstellung des zentralen Verbrühungsschutzes (Kaltwasserbeimischung nach dem Speicher). In vier Fällen kam eine Legionellenschaltung durch temporäre Erhöhung der Speichertemperatur auf 65 °C zum Einsatz, und in sieben Fällen wurden Duschschauche oder -armaturen ersetzt. Die meisten Besitzer gaben zudem an, die Duscharmaturen nun regelmässig zu spülen. Dies kann auch nur ein kurzes Öffnen des Heisswassers vor dem Duschen sein. Nur eine Person gab an, gar keine Spülung durchzuführen. Für 16 der 26 untersuchten Duschen wurde angegeben, dass diese regelmässig "heiss" vorgespült werden. Manche gaben an, "gemischt" oder "kalt" vor- oder nachzuspülen. Jene zwei Duschen welche "nicht" oder "kalt" vorgespült wurden, wiesen auch 2020 Legionellen >1000 KBE/L auf. Dadurch wird ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen keiner oder kalter Vorspülung und Legionellen >1000 KBE/L erreicht ($p = 0.05$). In Abbildung B (links) werden die Resultate aus den Legionellenanalysen der Untersuchung 2020 und 2019 miteinander verglichen. Dabei zeigt sich für Duschen, in welchen erneut Legionellen gefunden wurden, eine ähnliche Grössenordnung der gemessenen KBE/L wie im Vorjahr. Von denjenigen Dusch-Entnahmestellen, in welchen 50 °C als Heisswassertemperatur erreicht werden konnte, waren nur noch in zweien Legionellen feststellbar. Die einzigen Befunde mit $\geq 10'000$ KBE/L im Jahr 2020 stammen aus Anlagen, welche lediglich 41 bis 43 °C an der Entnahmestelle erreichten (vgl. Abb. B, rechts). In der

¹ Die Resultate der Folgeuntersuchungen sind im Detail in einem zweiten Bericht "LegioSafePlus" zu finden, welcher unter www.spf.ch/legiosafe verfügbar ist.

Nachuntersuchung 2020 korrelierte das Auffinden von Legionellen in den Duschproben mit den folgenden Temperaturfragen der Anlage:

- Wird die Temperatur von 50 °C an der Entnahmestelle nicht erreicht? (p=0.03)
- Ist die Einschalttemperatur der Nachheizung kleiner als 50 °C? (p = 0.01)
- Ist die Temperatureinstellung der zentralen Kaltwasserbeimischung (falls vorhanden) nur 50 °C oder weniger? (p = 0.02)

Diese Zusammenhänge waren bei der grösseren und zufälligen Stichprobe in 2019 nicht ersichtlich, weil diese auch viele Anlagen enthielt, in welchen trotz tiefer Temperaturen keine Legionellen gefunden werden konnten. Bei der Stichprobe von 2020 handelte es sich jedoch ausschliesslich um Anlagen, welche im Jahr davor an mindestens einer Entnahmestelle Legionellen aufwiesen. Diese zweite Untersuchung zeigt entsprechend auf, unter welchen Bedingungen eine bestehende Kontamination mit Legionellen eliminiert werden kann. Dabei kann auch eine Rolle gespielt haben, dass es sich um sensibilisierte Nutzer handelte, welche die Entnahmestellen öfters heiss spülen als die durchschnittlichen Nutzer der grösseren Stichprobe in 2019. Dass in den Untersuchungen von 2020 auch für Anlagen, deren Temperaturen nur geringfügig über 50 °C angehoben wurden, keine Legionellen mehr nachgewiesen werden konnten, mag erstaunen. Zumal in der Literatur berichtet wird, dass in grossen und komplexen Anlagesystemen wie Mehrfamilienhäuser und Spitäler die Legionellen nur mit sehr hohen Temperaturen von 60 bis 70 °C eliminiert werden können. Hier scheint ein deutlicher Unterschied zu bestehen zwischen diesen grösseren und komplexeren Anlagen gegenüber den deutlich kleineren und einfacheren Anlagen dieser Untersuchung. Die Ursachen dafür sollten nach Ansicht der Autoren weiter erforscht werden.

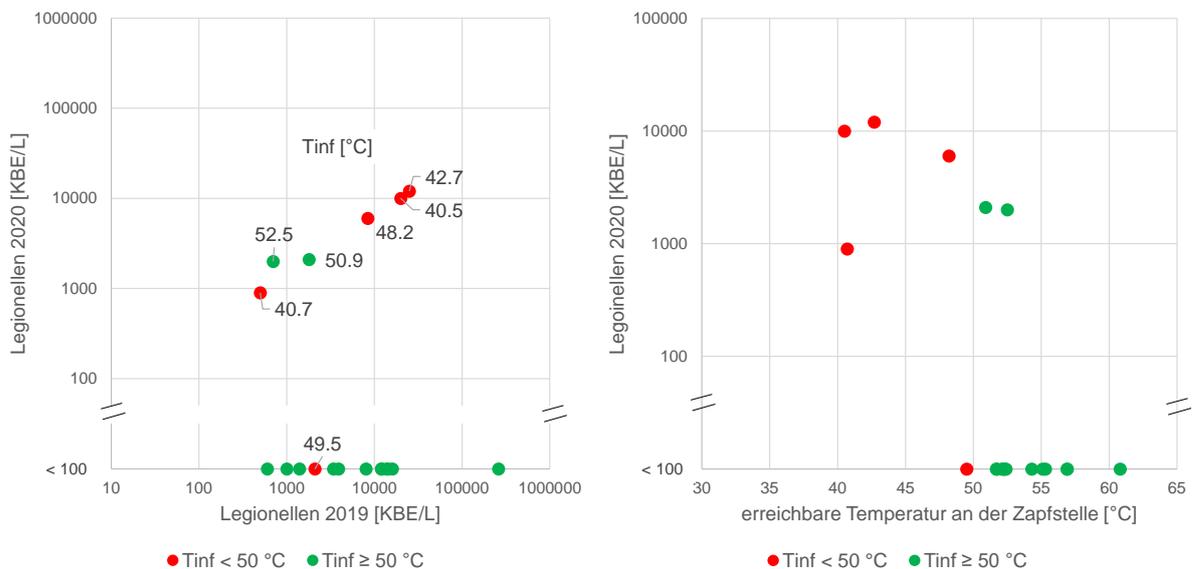


Abbildung B: Vergleich der maximalen Legionellenkonzentration aus den beiden Untersuchungen 2019 und 2020; T_{inf} = Temperatur des Heisswassers nach Erreichen von Temperaturkonstanz an der Entnahmestelle.

Fehler in warmen Verteilungen

Nur bei fünf Anlagen wurden 2020 noch Legionellen festgestellt. Diese Anlagen wurden näher untersucht und weitere Massnahmen umgesetzt. In den folgenden Beprobungen konnten noch bei drei und nach weiteren Massnahmen schlussendlich bei keiner Anlage mehr Legionellen >1000 KBE/L nachgewiesen werden (Abb. C). Auffällig war, dass vier von den fünf Anlagen, und insbesondere alle drei "hartnäckigen Fälle", klare Mängel in der Warmhaltung der Verteilungen aufwiesen. Eines der Objekte verfügte über ein mangelhaftes elektrisches Begleitheizband zwischen Speicher und

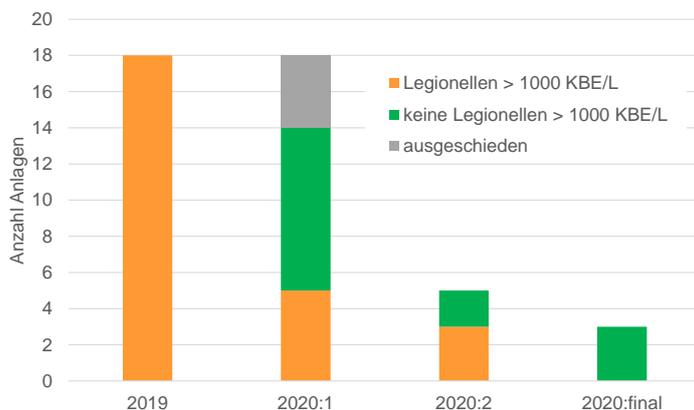


Abbildung C: Entwicklung der Anzahl Anlagen mit Legionellen >1000 KBE/L in Duschwasserproben im zeitlichen Verlauf der Studien.

Wassers und der Schwerkraft einstellt. Die Zirkulation fand jedoch grösstenteils in der nicht beabsichtigten Flussrichtung statt, und die Temperaturvorgaben für Zirkulationssysteme waren bei weitem nicht eingehalten.

Bei zwei Anlagen lag eine fehlerhafte Kombination aus Warmwasserzirkulation und zentraler Kaltwasserbeimischung (Verbrühungsschutz) vor, welche zu ungünstigen Temperaturen in Speicher und Leitungen führte. Aussagen von Experten aus dem Sanitärbereich lassen darauf schliessen, dass fehlerhafte Kombinationen dieser Art im Feld öfters anzutreffen sind. Deshalb wurde beschlossen, ein Merkblatt auszuarbeiten, welches aufzeigt, wie diese Kombination korrekt (Abb. D) ausgeführt wird, und welche Konsequenzen sich aus fehlerhaften Systemen ergeben können.

Fazit

Die Feldstudien haben gezeigt, dass viele der zufällig ausgewählten Bestandsanlagen die Vorgaben der SIA 385/1:2020 für die Installation und den Betrieb von Warmwassersystemen in Gebäuden nicht erfüllen. Dennoch konnten in den meisten der 110 Objekte keine Legionellen an den Dusch-Entnahmestellen festgestellt werden. Dort wo Legionellen gefunden wurden, konnten diese – sofern die Besitzer einwilligten – durch gezielte Massnahmen eliminiert werden. Obwohl hierzu in einzelnen Objekten sehr hohe Temperaturen von 60 °C oder auch 70 °C gefahren wurden, konnten die Legionellen auch in Systemen mit Temperaturen leicht über 50 °C ein Jahr später nicht mehr nachgewiesen werden. Die Studie zeigt aber auch, dass

Unsere Messungen durch Anlegefühler zwischen Wärmedämmung und Rohr ergaben anstatt der geforderten 52 oder 55 °C (SIA 385/1:2020) nur eine Temperatur von 45.5 °C. In der Folge wurde das entsprechende Rohrstück ersetzt durch ein nicht warm gehaltenes und deshalb auch nicht wärmegeädmmtes Rohr, welches gegenüber dem Speicher siphoniert wurde. Die zweite Anlage verfügte über eine Zirkulationsleitung ohne Zirkulationspumpe, in welcher sich der Durchfluss nur aufgrund der Dichteunterschiede des

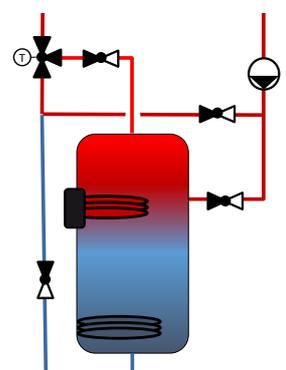


Abbildung D: Korrekte Einbindung der Zirkulation in Kombination mit einem zentralen Verbrühungsschutz. Der Zirkulationsrücklauf muss sowohl zum kalten Eingang des Verbrühungsschutzes als auch direkt mit dem Speicher verbunden werden. An mehreren Stellen sind Rückflussverhinderer erforderlich.

das Risiko einer Legionellenkontamination deutlich steigt, wenn die Warmwassertemperatur an den Entnahmestellen 50 °C nicht erreichen kann, oder wenn aufgrund von Thermomischarmaturen oder Nutzerverhalten diese Temperatur an der Entnahmestelle nie oder nur selten erreicht wird. Ein heisses Ausstossen des Wasserinhalts der Leitungen und Armaturen vor oder nach dem Duschen vermindert wohl das Legionellenrisiko. Es ist jedoch noch nicht restlos geklärt, wie lange und zu welchen Zeitpunkten idealerweise dieser Wasserausstoss stattfinden sollte. Die Untersuchungen haben auch gezeigt, dass Fehler in den warm gehaltenen Verteilleitungen Ursache von hartnäckigen Problemen mit Legionellen sein können. Letztendlich muss jedoch auch darauf hingewiesen werden, dass den Autoren aus keiner der von Legionellen betroffenen Gebäude ein Fall von Legionellose gemeldet worden ist.

Dieser Text erschien in ähnlicher Form in der Ausgabe 1-21 von hk gebäudetechnik, S. 56 – 63.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	13
1.1	Ausgangslage und Hintergrund.....	13
1.2	Vorgängerprojekt LegioSafeCheck.....	13
1.3	Nachfolgeprojekt LegioSafePlus	14
2	Vorgehen und Methode	15
2.1	Ausarbeitung des Vorgehens	15
2.2	Erstbegehung: Aufnahme der Anlagenparameter.....	16
2.3	Zweitbegehung: Probenahmen	16
2.4	Drittbegehung: detaillierte Probenahmen	17
2.5	Zeitpunkt der Begehungen / Beprobungen	17
2.6	Messmittel	17
2.6.1	<i>Temperaturmessung über Temperaturmessknöpfe</i>	<i>17</i>
2.6.2	<i>Temperaturmessung der Wasserproben</i>	<i>18</i>
2.6.3	<i>Messung Duschverhalten</i>	<i>18</i>
2.7	Analytik	19
2.7.1	<i>Versand.....</i>	<i>19</i>
2.7.2	<i>Kultivierung (Kantonales Labor St. Gallen - AVSV).....</i>	<i>19</i>
2.7.3	<i>Immunomagnetischer Separation + Durchflusszytometrie (rqmicro)</i>	<i>20</i>
2.7.4	<i>RT- und qPCR (BLV)</i>	<i>20</i>
2.7.5	<i>Unsicherheit bezüglich Legionellenkonzentration.....</i>	<i>21</i>
2.8	Kommunikation an Teilnehmer / Betroffene.....	21
3	Ergebnisse Nachbeprobungen 2020	21
3.1	Übersicht über die beprobten Objekte.....	21
3.2	Durchgeführte Massnahmen von 2019 auf 2020	22
3.3	Wirksamkeit der Massnahmen von 2019 auf 2020	23
3.3.1	<i>Temperaturen.....</i>	<i>24</i>
3.3.2	<i>Gemessenes Duschverhalten.....</i>	<i>26</i>
3.3.3	<i>Erfragtes Nutzerverhalten</i>	<i>27</i>
3.3.4	<i>Kombination von Nutzerverhalten und Temperaturen</i>	<i>29</i>
3.4	Fünf Objekte mit Legionellen (2020)	30
3.4.1	<i>Ein Objekt mit Temperaturmassnahmen</i>	<i>31</i>
3.4.2	<i>Vier Objekte mit fehlerhafter Warmhaltung von Leitungen.....</i>	<i>31</i>
3.5	Versuch der Messung nicht aktiver Legionellen	35
4	Multivariate Statistik der Ergebnisse von 2019	38
5	Diskussion der Ergebnisse	39

5.1	Temperaturen und Temperatureinstellungen.....	39
5.2	Nutzerverhalten.....	40
5.3	Warme Verteilungen als Risiko für Legionellen.....	41
5.4	Rolle von VBNC und toten Legionellen.....	42
6	Ausblick und Empfehlungen.....	43
7	Literaturverzeichnis.....	45
Annex A	Tabelle der Veränderungen von 2019 auf 2020.....	47
Annex B	Detaillierter Beschrieb der Objekte mit Legionellen 2020.....	48
Annex C	Detaillierter Beschrieb der Objekte ohne Legionellen 2020.....	63
Annex D	Multivariate Statistik der Daten von 2019.....	81

Abkürzungsverzeichnis

AB	Antibiotika
AVSV	Amt für Verbraucherschutz und Veterinärwesen des Kantons St. Gallen
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BCYE	Buffered Charcoal Yeast Extract
BFE	Bundesamt für Energie
BLV	Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasser, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EDI	Eidgenössisches Departement des Innern
EN	Europäische Norm
HD	Hauptdusche
HSLU	Hochschule Luzern
ISO	International Organization for Standardization
KBE	Kolonie bildende Einheiten
KW	Kaltwasser
L.	Legionella
MALDI-TOF	Matrix-assisted Laser-Desorption/Ionisation, Time of Flight (Flugzeitanalyse)
ND	Nebendusche
PCR	Polymerase Chain Reaction
p-Wert	Wahrscheinlichkeitswert; ein Mass für die statistische Signifikanz
qPCR	Quantitative PCR
RegN	Regelmässige Nutzung
RNA	Ribonukleinsäure (ribonucleic acid)
RT-PCR	Reverse Transcription PCR
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SPF	Institut für Solartechnik der OST – Ostschweizer Fachhochschule (ehemals HSR)
SR	Schweizer Recht
Taus	Ausschalttemperatur der Nachheizung
TBDV	Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen, SR 817.022.11
Tein	Einschalttemperatur der Nachheizung
Tinf	Maximale, bei langer Zapfung erreichbare Warmwassertemperatur
Tmix	Eingestellte Temperatur des zentralen Mischers
VBNC	Viable But NonCulturable (lebend, aber nicht kultivierbar)
VspH	Vorspülen heiss
WW	Warmwasser

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Legionärskrankheit (eine Form der Legionellose²) ist eine schwere Form von Lungenentzündung, verursacht durch eingeatmete Bakterien der Gattung Legionellen. Die Zahl der gemeldeten Legionellosen hat in den letzten Jahren stark zugenommen, so dass Legionellosen mittlerweile in Industrieländern die häufigste Erkrankung darstellt, die durch Infektion über Wasser verursacht wird. Die Dunkelziffer wird als relativ hoch eingeschätzt und die Legionärskrankheit ist potentiell fatal, mit einer Letalität von 5-10 % [1] der Betroffenen. Legionellen werden hauptsächlich durch Einatmen von Aerosolen übertragen. Hauptquellen legionellenhaltiger Aerosole sind Nasskühlwerke, Duschen und andere Einrichtungen die Aerosole erzeugen.

Im Zuge der Revision der SIA 385/1 [2] wurden Massnahmen diskutiert und vorgeschlagen, welche darauf abzielen, technische Installationen der Trinkwassererwärmung und Trinkwasserversorgung in Gebäuden Legionellen-sicher zu machen. Hauptmassnahmen sind dabei das Vermeiden von Temperaturen zwischen 25 – 45 °C, sowie genügend hohe Temperaturen für das Abtöten eventuell bereits vorhandener Legionellen aus Vorwärmvolumen oder Speicherbereichen, welche keine hohe Temperatur aufweisen. Diese Massnahmen, insbesondere hohe Temperaturen in Speichern und Warmwasserverteilsystemen, haben signifikante Auswirkungen auf die Effizienz der Anlagen, sowie auf die Möglichkeit, fossile Energie durch erneuerbare Energien zu ersetzen.

Trinkwarmwasser muss auf einem Temperaturniveau bereitgestellt und verteilt werden, welches eine hygienisch einwandfreie Qualität gewährleistet. Um die Ziele der Energiewende erreichen zu können ist es gleichzeitig essentiell, dass die Energieeffizienz dabei hoch bleibt, und dass erneuerbare Energien für die Warmwasserbereitung eingesetzt werden können. Deshalb sind Tempervorgaben zu vermeiden, welche höher als notwendig sind. Auch bezüglich Schutz vor Verbrühungen sind hohe Temperaturen nachteilig und können dem Gesundheitsschutz entgegenlaufen.

Eine Literaturrecherche [3] sowie die Diskussionen in der Kommission der SIA 385 haben gezeigt, dass bezüglich des "richtigen" Temperaturniveaus und der Anforderungen an die Warmwasseraufbereitung und Verteilung im Gebäude selbst Experten und Expertinnen unterschiedlicher Meinung sind. Debattiert wurde dabei sowohl das Temperaturniveau im Allgemeinen, als auch Massnahmen, welche bei Vorwärm- und Mitteltemperaturzonen im Speicher zu treffen sind. Letzteres betrifft insbesondere Wärmerückgewinnungsanlagen, Solarwärmeanlagen und die Warmwassererwärmung über Photovoltaik mit und ohne Wärmepumpe.

1.2 Vorgängerprojekt LegioSafeCheck

Zur Beantwortung offener Fragen im Zusammenhang mit Legionellen in Warmwassersystemen, insbesondere in Bezug auf die erforderlichen Temperaturen zur Reduktion von Legionellen in Speicher und an Duschzapfstellen, hat das SPF 2018 das Projekt LegioSafeCheck³ gestartet. In diesem Projekt wurden 110 Warmwassersysteme (hauptsächlich Ein- und Zweifamilienhäuser) im Raum Rapperswil-Jona, Schmerikon und Uznach im Kanton Sankt Gallen analysiert.

² Zu den Legionellosen zählt auch das weit milder verlaufende Pontiac-Fieber, welches ebenfalls durch Legionellen verursacht wird, jedoch in der Schweiz nicht meldepflichtig ist.

³ Unterstützt durch das BFE, den Kanton Bern, suissetec, sowie das Amt für Verbraucherschutz und Veterinärwesen St. Gallen, in Zusammenarbeit mit der HSLU und der EAWAG.

In jedem Objekt wurden die Temperaturdynamiken der Heizzentrale und der Warmwasserverteilung während mindestens einer Woche vor der Probenahme gemessen. Es besteht dadurch eine ausgezeichnete Datenbasis, welche es in dieser Form in der Schweiz bisher nicht gab. Auch international ist den Autoren nur eine Studie bekannt, in welcher die Temperaturverläufe in mehr als 100 Anlagen vor der Beprobung über die Zeit aufgezeichnet wurden [4].

Insgesamt konnten bei den 110 Objekten in 24 Fällen Legionellen in mindestens einer Duschwasserprobe nachgewiesen werden. In 18 Fällen war der Höchstwert für Duschen⁴ von 1'000 KBE/L überschritten.

Aus den Resultaten konnten interessante Tendenzen und teilweise statistisch signifikante Zusammenhänge herausgelesen werden. Einige Ergebnisse dieser Studie waren:

Sowohl Speicher welche durch Solarwärme unterstützt wurden als auch Speicher welche mit Wärmepumpentechnik Trinkwarmwasser bereiteten, wiesen weniger häufig Legionellen im Bereich des Speicherbodens auf als andere Anlagen. Der Unterschied war jedoch nicht statistisch signifikant.

Das Vorkommen von Legionellen an den Duschzapfstellen korrelierte signifikant mit drei Faktoren:

- mit dem Vorhandensein einer Thermomischarmatur an der Duschzapfstelle,
- mit dem Vorhandensein einer Solaranlage,
- mit der Beanstandung von Geruch oder Geschmack des Wassers.

Anlagen mit Solaranlagen waren gleichzeitig signifikant jünger und wiesen sowohl im Bereitschaftsvolumen als auch an den Zapfstellen signifikant tiefere Temperaturen auf als andere. Dies und der Umstand, dass diese Anlagen weniger Legionellen im Speicherboden aufwiesen, lassen vermuten, dass nicht das Vorhandensein von Solaranlagen, sondern damit korrelierende andere Faktoren für das vermehrte Auffinden von Legionellen in den Zapfstellen verantwortlich war.

Gemäss SIA 385/1:2020 muss die Temperatur an der Zapfstelle (nach 7-facher Ausstosszeit) mindestens eine Temperatur von 50 °C erreichen. Diese Temperatur konnte von 30 % der Anlagen ohne Solarthermie und von 50 % der Anlagen mit Solarthermie nicht erreicht werden. Die geforderten Temperaturen in der Verteilung von mindestens 60/55 °C (Vorlauf/Rücklauf) im Standardfall, respektive 55/52 °C im Fall einer einwandfreien Installation ohne jegliche Problemstellen, wurden von den meisten Anlagen nicht erreicht. Die Untersuchungen, welche im Projekt LegioSafeCheck von 2019 gemacht wurden, lassen deshalb keine Rückschlüsse darauf zu, wie sich die Legionellensituation gezeigt hätte, wenn diese Vorgaben der SIA 385/1:2020 von allen Anlagen eingehalten worden wären.

Überraschenderweise waren die seltener benutzten Nebenduschen tendenziell weniger häufig von Legionellen betroffen als Hauptduschen. Zudem waren erst kürzlich gewartete Anlagen häufiger von Legionellen betroffen als Anlagen, welche nicht oder erst vor längerer Zeit gewartet wurden.

1.3 Nachfolgeprojekt LegioSafePlus

Insgesamt blieben nach den Untersuchungen von 2019 viele Fragen unbeantwortet, weshalb das Nachfolgeprojekt LegioSafePlus gestartet wurde. Dieses hatte zum Ziel, eine möglichst grosse Zahl der Legionellen-kontaminierten Anlagen im 2020 erneut zu beproben. So sollte die Wirksamkeit

⁴ Höchstwert für Duschen im öffentlichen Raum gemäss TBDV (SR 817.022.11). Für private Duschen gibt es offiziell keinen gesetzlichen Höchstwert

verschiedener Massnahmen zur Bekämpfung der Legionellen ermittelt und Hinweise erhalten werden, ob das Nutzerverhalten oder eventuell vorhandene VBNC-Legionellen bei der Besiedlung von peripheren Abschnitten wie den Duschzapfstellen eine Rolle spielen könnten.

2 Vorgehen und Methode

2.1 Ausarbeitung des Vorgehens

Im Projekt LegioSafePlus lag der Fokus auf Anlagen, welche in der Feldstudie von 2019 einen positiven Legionellenbefund ($>1'000$ KBE/L) aufwiesen. Sie sollten im Folgejahr erneut beprobt werden, um zu eruieren, welche Massnahmen und Nutzerverhalten zu einer Elimination oder Reduktion der Legionellen geführt hatten. Von den 18 angefragten Besitzern von Anlagen mit Höchstwertüberschreitung, hatten sich 14 zu einer Nachuntersuchung im 2020 bereit erklärt.

Damit die Resultate der Untersuchungen vergleichbar sind, wurde das Vorgehen der Beprobung 2020 so weit wie möglich gleich durchgeführt wie 2019. Einzig auf eine Beprobung des unteren Speichervolumens wurde verzichtet, weil der Fokus auf Legionellen an den kritischen Stellen (Duschen), gelegt wurde. In 2020 wurden bei allen Anlagen mindestens drei Begehungen eingeplant, so dass nach der ersten Probenahme noch Massnahmen zur Reduktion von Legionellen durchgeführt und diese auch kontrolliert werden konnten.

- Bei der **Erstbegehung** wurden, wie bereits 2019, an verschiedenen Stellen des Systems Temperaturmessknöpfe angebracht, sowie zusätzlich ein amphiro Duschmonitoringgerät eingebaut (siehe auch Abschnitt 2.6.3). Seit 2019 stattgefundenen Veränderungen am System oder dessen Parametrierung wurden erfragt. Neu wurden auch Angaben zum Duschverhalten eruiert.
- **Vor der Zweitbegehung**, d.h. vor der Probenahme, wurden im Team die Erwartungen bezüglich der durchgeführten Massnahmen zur Reduktion von Legionellen und allfällige weitere Massnahmen nach der Beprobung besprochen. Weitere Massnahmen wurden insbesondere dann vorgeschlagen, wenn die Temperatureinstellungen tiefer waren als von der SIA 385/1:2020 empfohlen.
- Bei der **Zweitbegehung** wurden erste Wasserproben gezogen und danach die vorbesprochenen Massnahmen mit den Besitzern umgesetzt.
- Eine **Drittbegehung** fand frühestens zwei Wochen nach der Umsetzung von eventuellen Massnahmen statt, welche während oder nach der Zweitbegehung durchgeführt wurden. Wenn in den Wasserproben der Zweitbegehung Legionellen nachgewiesen werden konnten, wurden während der Drittbegehung weitere Proben des Mischwassers, des Warmwassers und des Kaltwassers gezogen. Bei der Drittbegehung wurden die Temperaturmessknöpfe entfernt.
- Falls immer noch Legionellen gefunden werden konnten, wurde mit den Besitzern ein individuelles Vorgehen mit zusätzlichen Massnahmen und weiteren Beprobungen abgesprochen.

Wie 2019, wurden die Proben zur Kultivierung und Bestimmung der vermehrungsfähigen Legionellen an das Amt für Verbraucherschutz und Veterinärwesen St Gallen (AVSV) geschickt. Für den Vergleich mit den Resultaten von 2019 wurden ausschliesslich diese Resultate verwendet. Für den Nachweis von nicht vermehrungsfähigen Legionellen (VBNC oder tote Bakterien) wurden zusätzliche Proben an die

Firma rqmicro (immunomagnetischer Separation + Durchflusszytometrie) und im späteren Verlauf auch an das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV, RT- und qPCR) geschickt.

2.2 Erstbegehung: Aufnahme der Anlagenparameter

In einer ersten Begehung wurden analog zum Vorgängerprojekt LegioSafeCheck Temperaturmessknöpfe (kabellos) gesetzt, um bereits umgesetzte Massnahmen dokumentieren zu können. Es wurde darauf geachtet, die Temperaturmessknöpfe an denselben Stellen wie im Vorjahr anzubringen, um eine Vergleichbarkeit der Messdaten zu erreichen. Auf Sensoren zur Messung der Raumtemperatur in den Badezimmern wurde verzichtet, weil diese Temperaturen im Vorgängerprojekt keinen statistisch signifikanten Einfluss auf das Vorkommen von Legionellen gezeigt hatten, und hier auch keine Veränderung gegenüber dem Vorjahr zu erwarten war. Zusätzlich zu den Temperaturmessknöpfen wurden amphiro b1⁵ Duschmonitoringgeräte (Abb. 1) montiert, um das Duschverhalten der Nutzer zu erfassen. Diese erfassen durchschnittliche Werte für Dauer, Volumenstrom und Temperatur als Mittelwerte jedes Duschvorgangs. Eine zeitlich hoch aufgelöste Erfassung mit Temperaturverlauf ist dabei jedoch nicht möglich.

Bei der Erstbegehung 2020 wurde nicht mehr ein kompletter Datensatz von Anlagenparametern erfasst, sondern lediglich die durchgeführten Änderungen und Massnahmen seit 2019 dokumentiert. Zusätzlich wurden einige Parameter zum Dusch- und Spülverhalten erfragt.

2.3 Zweitbegehung: Probenahmen

Die zweite Begehung der Objekte fand 7-14 Tage nach dem Platzieren der Temperatursensoren statt. Bei der Zweitbegehung wurden Proben des Duschwassers analog zur Beprobung im Vorjahr gezogen und zur Analyse eingeschickt. Dies beinhaltet für die Hauptdusche eine reine Warmwasserprobe (nach Erreichen von 37 °C) und nach dem Erreichen einer Temperaturkonstanz eine Mischprobe (mit der Armatur auf ca. 37°C gemischt). Bei der Nebendusche wurde auf die reine Warmwasserprobe verzichtet und lediglich eine Mischprobe gezogen. Im Gegensatz zum Vorjahr wurde jedoch zuerst eine Thiosulfat enthaltende 0.5 L-Flasche befüllt, geschüttelt und dann die Hälfte davon in eine zweite 0.5 L-Flasche (ohne Thiosulfat) umgefüllt. Eine Flasche wurde zur Bestimmung der kultivierbaren Legionellen an das Kantonale Labor St. Gallen am AVSV geschickt, die andere zur durchflusszytometrischen Messung an die Firma rqmicro. Für die Probenahme wurde steriles Material (Probeflasche, Metallgefäss, Metalltrichter, Temperaturfühler) verwendet, welches jeweils zwischen den Probenahmen abgeflammt oder mit Ethanol desinfiziert wurde. Der genaue Ablauf der Probenahme ist im Abschlussbericht von LegioSafeCheck beschrieben. Um eine Probenkontamination zu verhindern, wurde die Probetemperatur nicht mehr direkt in der Probe gemessen, sondern in 0.5 L Wasser, welches direkt nach der Probennahme abgefüllt wurde. Somit kann sich allerdings eine leichte Temperaturabweichung zur effektiven Probe ergeben.

Bei der Zweitbegehung wurden zum Teil zusätzliche Massnahmen in Absprache mit den Besitzern durchgeführt. Dazu wurden die Temperaturmessungen des Vorjahres, die damals vorgeschlagenen Massnahmen und die von den Besitzern/Betreibern in der Zwischenzeit ungesetzten Massnahmen im Team diskutiert. Die vorgeschlagenen Massnahmen beschränkten sich auf die Anpassung von Anlageparametern wie Ein- und Ausschalttemperatur der Nachheizung oder Einstellung des zentralen Mischers zur Kaltwasserbeimischung zum Warmwasser (Verbrühungsschutz). Massnahmen, welche

bauliche Eingriffe erfordert hätten, wurden den Besitzern vorgeschlagen, jedoch nur in einem Fall bereits vor der Zweitbeprobung umgesetzt.

2.4 Drittbegehung: detaillierte Probenahmen

Die dritte Begehung der Objekte fand frühestens 14 Tage nach der Zweitbegehung statt. Somit standen die Resultate aus dem Kultivierungsverfahren in jedem Fall zur Verfügung. Wenn diese negativ waren (keine Legionellen nachgewiesen), wurden lediglich die Messfühler eingesammelt. Bei positiven Resultaten oder hohen Resultaten aus der rqmicro Methode wurden zusätzliche Beprobungen durchgeführt, um die Ursachen genauer zu eruieren. Dazu wurde jeweils eine Mischwasserprobe mit Duschschauch und Brause nach Erreichen von 37 °C analog zur Zweitbegehung, sowohl bei der Haupt- als auch bei der Nebendusche (wenn vorhanden) gezogen. Danach wurde der Duschschauch demontiert und es wurde jeweils zusätzlich eine reine Warm- und eine reine Kaltwasserprobe gezogen. Der Vorlauf war bei dieser Probenahme stark abhängig von der jeweiligen Dauer bis zum Erreichen von 37 °C und daher von Anlage zu Anlage unterschiedlich. Da die Proben nun zusätzlich zur Kultivierung durch das AVSV und der Durchflusszytometrie durch rqmicro auch mittels RT- und qPCR durch das BLV analysiert wurden, wich die Probenahmeprozedur dahingehend von der Erstbeprobung ab, dass zuerst ein 1 L in eine sterile Flasche abgefüllt wurde. Diese wurde geschlossen, geschüttelt und die Hälfte in eine sterile ½ L-Flasche mit Thiosulfat überführt. Diese ½ L-Flasche wurde nochmals geschüttelt und dann hälftig auf zwei Flaschen für das Kulturverfahren (AVSV) und die Durchflusszytometrie (rqmicro) aufgeteilt. Der in der 1 L-Flasche verbliebene halbe Liter wurde an das BLV gesendet zwecks Analyse mittels PCR.

2.5 Zeitpunkt der Begehungen / Beprobungen

Die Erstbegehungen fanden alle im Januar 2020 statt. Die Zweitbegehungen (erste Probenahmen) wurden Ende Januar begonnen und am 4. März 2020 abgeschlossen. Die Durchführung der Drittbegehungen mit zweiter Probenahme konnten bis auf eine Ausnahme im März 2020 durchgeführt werden. Auf Grund der Covid-19 Pandemie mussten die Beprobungen danach unterbrochen werden und somit fand eine der Drittbegehungen und einige weiterführende Nachbeprobungen erst im Juni 2020 statt.

2.6 Messmittel

2.6.1 Temperaturmessung über Temperaturmessknöpfe

Während der Erstbegehungen wurden Temperaturmessknöpfe an den Rohrleitungen und an der Speicherwand angebracht. Diese waren vom Typ Thermochron® iButton® (DS1921G) und weisen nach Hersteller eine Genauigkeit von ± 1 K im Bereich von -30 bis 70 °C auf. Eigene Versuche ergaben aber eine bessere Messgenauigkeit von ± 0.5 K. Die integrierte Uhr weist eine maximale Abweichung von ± 2 min/Monat auf. Für die Temperaturmessungen an den Anlagen wurde ein Zeitintervall von 10 min gewählt. Bei der Erfassung der Speichertemperaturen (es wurde immer versucht die Temperatur des Bereitschaftsvolumens und die Temperatur des Speicherbodens zu erfassen) spielt die Platzierung des Fühlers und die thermische Anbindung dieser Stelle an den Speicher eine entscheidende Rolle. Weil die Speicherhülle aufgrund der Wärmedämmung meist nicht direkt zugänglich war, mussten die Fühler an angeschlossenen Leitungen, Stutzen oder anderen Durchführungen oder Aussparungen der Wärmedämmung platziert werden. Wie gut diese Stellen die Temperatur im Innern des Speichers

widergeben, ist oft schwierig zu beurteilen und unterscheidet sich stark von Anlage zu Anlage. Zur Messung der Temperatur des Bereitschaftsvolumens wurde der Temperaturfühler beispielsweise oft am Warmwasseraustritt platziert. Wenn aufgrund mangelnder Siphonierung an dieser Stelle eine rohrinterne Gegenstromzirkulation auftrat, entsprach die gemessene Temperatur an dieser Stelle einer Mischung zwischen Bereitschaftstemperatur und der Temperatur der angeschlossenen Leitung. Bei einer individuellen Betrachtung dieser Daten, kann die reale Bereitschaftstemperatur oft besser aus den erreichten Temperaturspitzen während den Zapfungen abgeschätzt werden. Während der meisten Zeit (Zapfpausen) weist diese Messung dagegen unter Umständen eine grosse Abweichung von der realen Bereitschaftstemperatur auf. Bei den Beschreibungen der Temperaturverläufe der Anlagen mit Legionellenkontamination wird jeweils auf vermutete Abweichungen der Messungen hingewiesen. Statistische Auswertungen der gemessenen Temperatur von Speicherboden und Bereitschaftsvolumen sind, aufgrund der teilweise unklaren Anbindung der Messstellen, nur bedingt aussagekräftig.

2.6.2 Temperaturmessung der Wasserproben

Für die Messung der erreichten maximalen Warmwassertemperaturen und die Temperaturen der Wasserproben wurde ein Testo 176 Datenlogger mit einem Thermoelement Typ K (Genauigkeit ± 0.3 K) verwendet. Um eine Kontamination der Probe über den Messfühler auszuschliessen, wurde die Temperatur der Probe nicht direkt im Probenvolumen gemessen. Stattdessen wurde direkt nach der Probenahme ein weiterer halber Liter Wasser in ein separates Gefäss abgefüllt und die Temperatur darin gemessen. Somit kann sich eine leichte Abweichung zwischen realer und gemessener Temperatur ergeben. Dies war vor allem dann der Fall, wenn Warmwasserproben nach dem Erreichen von 37 °C gezogen wurden und ein weiterer Anstieg der Warmwassertemperatur nicht ausgeschlossen werden konnte. Messungen der Kaltwassertemperatur oder der maximal erreichbaren Warmwassertemperatur wurden durch dieses Vorgehen deutlich weniger beeinträchtigt.

2.6.3 Messung Duschverhalten

Für das Monitoring des Duschverhaltens wurden amphiro b1 Duschmonitoringgeräte (Abb. 1) eingesetzt. Diese messen die Dauer, Temperatur und den Volumenstrom beim Duschen und geben dem Nutzer eine Rückmeldung über dessen Energieverbrauch an. Für jeden Duschvorgang werden Mittelwerte dieser Kenngrössen gespeichert. Mittels Bluetooth-Schnittstelle können diese dann via Smartphone ausgelesen und abgespeichert werden. Aus diesen Daten kann die Häufigkeit der Nutzung einer Dusche abgeleitet werden. Weil pro Parameter nur jeweils ein Wert pro Duschvorgang abgespeichert wird, kann nicht zwischen Vorspülen und dem eigentlichen Duschvorgang unterschieden werden. Die Werte repräsentieren somit einen Mittelwert aus Vorspülen, Duschvorgang und Nachspülen.

Die verwendeten Geräte wurden entwickelt um den Nutzern deren Energieverbrauch aufzuzeigen und dadurch ein bewusstes und energiesparendes Verhalten zu erreichen. Es konnte nicht ermittelt werden, ob das Duschverhalten der Nutzer durch die Installation der Monitoringgeräte selbst beeinflusst wurde.



Abbildung 1: Ein amphiro b1 Duschmonitoringgerät wurde bei jeder Dusche eingebaut.

2.7 Analytik

2.7.1 Versand

Die Proben wurden am Tag der Beprobung per Post an die verschiedenen Labore (AVSV, rqmicro, BLV) versandt. Der Versand erfolgte ungekühlt. Die Proben wurden jeweils am späteren Nachmittag bei der Post aufgegeben und trafen am folgenden Morgen bei den Labors ein, wo am Tag der Annahme mit der Verarbeitung der Proben begonnen wurde. Bei wenigen Proben verzögerte sich der Postversand um einen Tag, weil die Post aufgrund der Covid-19 Pandemie überlastet war. Somit wurde in den allermeisten Fällen innerhalb von 24 h, bei allen Proben innerhalb von 48 h mit der Verarbeitung in den Labors begonnen.

2.7.2 Kultivierung (Kantonales Labor St. Gallen - AVSV)

Die Legionellenanalysen wurden nach ISO 11731:2017 durchgeführt. Bei den nicht filtrierten Proben wurden jeweils 0.5 ml der Probe auf BCYE Agar (bioMérieux) und auf selektiven BCYE+AB Agar (Thermo Fischer Scientific) direkt ausplattiert. Die Antibiotika (AB) waren Polymyxin-B-sulfat, Natrium-Cefazolin und Pimaricin. Zusätzlich wurden jeweils 10 mL der Proben filtriert (EZ-Pak™ Mixed Cellulose Ester Membranfilter, black gridded, 0.45 µm, Millipore) und die Filter einmal ohne Säurebehandlung und einmal mit Säurebehandlung und anschliessendem Waschen mit H₂O auf je eine BCYE und eine BCYE+AB-Agarplatte überführt. Dies ergab sechs Platten pro Probe. Diese Proben wurden ein erstes Mal nach 4-5 Tagen und ein zweites Mal nach 7-8 Tagen Inkubation bei 37 °C ausgezählt. Die Kolonien der Platte mit der höchsten resultierenden Legionellenzahl pro Liter wurden per MALDI-TOF bestätigt, womit in den meisten Fällen auch die vorhandenen Spezies identifiziert werden konnten. Auch wenn einzelne Spezies öfter zu Erkrankungen führen, wird für die Risikobewertung laut BAG keine Unterscheidung zwischen den Spezies gemacht. Daher wurden für die Auswertung die Werte für *Legionella* spp. (also ungeachtet der Spezies) verwendet und diese auch den Besitzern/Bewohnern kommuniziert.

Wenn in einer Probe weniger als zehn Kolonien pro Platte ausgewertet werden, entspricht dies nicht mehr der Vorgabe der EN ISO 8199:2007. Die auf einen Liter hochgerechnete Konzentration wurde dann als "geschätzter Wert" oder bei weniger als fünf Kolonien als "Organismus in der Probe vorhanden" bezeichnet. Für die weiteren Analysen in diesem Projekt wurden diese Werte aber dennoch übernommen und verwendet.

2.7.3 Immunomagnetischer Separation + Durchflusszytometrie (rqmicro)

Die Quantifizierung intakter *L. pneumophila* SG 1-15 wurde folgendermassen durchgeführt: 250 mL der Wasserprobe wurden durch eine 0.2 µm Polycarbonat-Membran filtriert. Der Filter wurde in ein 5 mL Probengefäss überführt, welches 3 mL rqmicro Puffer 1 enthält. Durch vortexen der Filtermembran in rqmicro Puffer 1 für 60 s wurden alle Bakterien vom Filter gewaschen. Anschliessend wurde der Filter entfernt und 30 µl magnetische Beads und 30 µl rqmicro Färbereagenz zugegeben. Die magnetischen Beads sind mit monoklonalen Antikörpern beschichtet, welche spezifisch *L. pneumophila* SG 1-15 binden. Das Färbereagenz besteht aus monoklonalen Antikörpern, die mit einem Fluoreszenzfarbstoff gekoppelt sind. Diese binden ebenfalls spezifisch an *L. pneumophila* SG 1-15, wodurch die Legionellen fluoreszierend markiert werden. Nach Zugabe der Reagenzien wurden die Proben für 60 min unter langsamer Rotation bei Raumtemperatur und Lichtausschluss inkubiert. Im Anschluss wurden *L. pneumophila* SG 1-15 mittels immunomagnetischer Separation aufgereinigt. Während dieser Aufreinigung fanden 2 Waschschrte mit rqmicro Puffer 2 statt und die Legionellen wurden in einem Endvolumen von 1 mL aufgenommen. Zu den Proben wurden dann 10 µl Propidium Iodid pipettiert und für 10 min inkubiert. Propidium wird von Zellen mit intakter Zellmembran nicht aufgenommen, hingegen kann der Farbstoff durch die Membran von toten oder beschädigten Zellen dringen. Durch diese Einfärbung konnte bei der anschliessenden Quantifizierung der Legionellen mittels Durchflusszytometrie Zellen mit intakter Zellmembran von Zellen mit beschädigter Zellmembran unterschieden werden. Dabei wurde die Anzahl der intakten (Intaktzellen) und die gesamte Anzahl (Totalzellen) *L. pneumophila* SG 1-15 bestimmt. Alle Reagenzien sind im rqmicro Kit: L.p. SG 1-15 Kit (96 Tests), Kat. Nr. 31110 enthalten.

2.7.4 RT- und qPCR (BLV)

Der Nachweis von *L. pneumophila* mittels RT- und qPCR wurde folgendermassen durchgeführt:

Die Wasserproben wurden durch eine 0.2 µm Polycarbonat-Membran filtriert und die Membran danach anhand einer Schablone halbiert. Eine Hälfte wurde sofort bei -70 °C eingefroren (= Zeitpunkt 0), die andere Hälfte wurde auf einen auf 37 °C vorgewärmten BCYE-Nährboden gelegt und für 3 – 3.5 h inkubiert. Während dieser Inkubationszeit werden eventuell vorhandene Legionellen durch die Nährstoffe stimuliert, das heisst, ihr Stoffwechsel wird angeregt und RNA wird produziert. Eine Vermehrung der Bakterienzellen findet in dieser Zeit nicht statt. Nach der Inkubationszeit wird diese Membranhälfte ebenfalls eingefroren (= Zeitpunkt "Stim").

Von beiden Membranhälften (0 und Stim) wurde die totale RNA extrahiert und mittels RT-PCR detektiert. Eine Zunahme der RNA zwischen den Zeitpunkten 0 und Stim bedeutet die Existenz lebender (viable) *L. pneumophila* in der untersuchten Wasserprobe (nicht quantitativ).

Zusätzlich wurde aus der ersten Membranhälfte (0) die totale DNA extrahiert und mit einer quantitativen real-time PCR (qPCR) anhand einer Standardkurve quantifiziert. Bei dieser Quantifizierung werden sowohl lebende wie auch tote Legionellen gezählt.

Für die RT-PCR und qPCR wurde das gleiche PCR-Nachweissystem verwendet, welches spezifisch ist für *L. pneumophila*.

2.7.5 Unsicherheit bezüglich Legionellenkonzentration

Es ist allgemein bekannt, dass sich Legionellen hauptsächlich im Biofilm und weniger im freien Wasser aufhalten und vermehren. Dadurch ist die Legionellenkonzentration in einer Probe stark davon abhängig, ob und wieviel eines vorhandenen Biofilms bei einer Beprobung mitgespült wurde. Zudem hat die der Beprobung vorangegangene Stagnation oft auch einen Einfluss darauf, wie viele Legionellen sich in der Wasserphase ansammeln. Wenn also an einer Stelle nur eine Probe gezogen wird, so ist die Unsicherheit grösser, weil zufällig etwas mehr oder weniger Biofilm in die Probe gelangen kann. Wenn ein System genau untersucht werden soll, müssen mehrere Proben gezogen und analysiert werden. Dies war in diesem Projekt wegen der grossen Anzahl Objekte und dem damit verbundenen Aufwand nicht möglich.

2.8 Kommunikation an Teilnehmer / Betroffene

Besitzer/Bewohner von 18 Anlagen mit Legionellenkontamination an einer der Duschzapfstellen wurden für eine Teilnahme am Nachfolgeprojekt angefragt. Davon haben sich 14 für eine erneute Teilnahme zur Verfügung gestellt.

Studienteilnehmer, deren Anlage auch bei der Beprobung 2020 einen positiven Legionellenbefund aufwiesen, wurden nach Eingang der Resultate des kantonalen Labors und nach Besprechung der Anlagen-Charakteristik im Projektteam des SPF, über den Befund informiert (jeweils 7-10 Tage nach Probenahme). Diese Information erfolgte schriftlich und telefonisch. Bei der telefonischen Konsultation wurde das weitere Vorgehen jeweils individuell besprochen und zusätzliche Massnahmen oder Probenahmen diskutiert.

3 Ergebnisse Nachbeprobungen 2020

3.1 Übersicht über die beprobten Objekte

Von den 110 im 2019 untersuchten Anlagen wiesen 18 Anlagen eine Legionellenkontamination $>1'000$ KBE/L an mindestens einer der Duschzapfstellen auf. Von diesen 18 Anlagen konnten 14 im 2020 erneut begangen und beprobt werden. Bei den übrigen vier Anlagen waren entweder die Besitzer nicht für weitere Untersuchungen zu gewinnen, oder das ganze Haus oder die sanitäre Anlage befand sich im Umbau. Bei der ersten Beprobung (Januar 2020) wiesen noch fünf der 14 Anlagen Legionellen an einer der Duschen auf. In Tabelle 1 werden die gemessenen Werte der unterschiedlichen Beprobungsstellen von 2019 und der Erstbeprobung 2020 im Detail gegeben. Wenn im Jahr 2020 erneut eine Kontamination festgestellt wurde, dann waren meist dieselben Zapfstellen betroffen und die Werte lagen in derselben Grössenordnung wie 2019.

Tabelle 1: Vergleich der Resultate von 2019 mit der ersten Beprobung 2020 (kulturell nach ISO 11731:2017).

Anlage ID	2019 KBE/L			2020-A KBE/L		
	HD WW	HD MW	ND MW	HD WW	HD MW	ND MW
4	<100	<100	16'000	<100	<100	<100
8	10'000	12'000	-	<100	<100	-
27	<100	<100	20'000	<100	<100	10'000
29	8'000	14'000	<100	<100	<100	<100
30	6'900	8'400	-	6'000	4'000	-
31	8'000	2'000	<100	<100	<100	<100
34	3'900	1'700	1'400	<100	<100	<100
39	1'000	100	1'800	<100	<100	2'100
47	25'000	4'100	500	12'000	10'000	900
57	14'000	<100	<100	<100	<100	<100
66	3'400	2'800	<100	<100	<100	<100
67	2'100	800	<100	<100	<100	<100
72	700	600	1'100*	2'000	1'000	<100
79	260'000	120'000	12'000	-	<100	<100

> 100'000 KBE/L

> 10'000 KBE/L

>1'000 KBE/L

>= 100 KBE/L

< 100 KBE/L

HD = Hauptdusche, ND = Nebendusche, WW = Legionellenbefund Warmwasser nach Erreichen von 37°C, MW = Legionellenbefund Mischwasser bei 37 °C.

* Nr. 72 verfügte über zwei Nebenduschen, dargestellt ist hier der höchste gemessene Wert der beiden Duschen.

3.2 Durchgeführte Massnahmen von 2019 auf 2020

Viele Besitzer haben zur Bekämpfung der Legionellen relativ einfache Massnahmen wie den Ersatz von Duschschräuchen oder der Brause, durchgeführt. Ebenfalls wurde in sehr vielen Fällen auf ein regelmässiges und heisses Spülen der Armaturen geachtet. Etwa die Hälfte der Anlagenbesitzer haben Ein- oder Ausschalttemperaturen für die Warmwasserbereitstellung erhöht. Dies zum Teil auch dann, wenn diese bereits im Jahr 2019 ausreichend war und von Seiten SPF keine Erhöhung der Temperatur empfohlen wurde. Bei zwei Anlagen waren die Temperatureinstellungen jedoch gegenüber 2019 reduziert, was ebenfalls nicht auf Empfehlung des SPF erfolgte. In einem Fall war kein ersichtlicher Grund für die Reduktion erkennbar. Im anderen Fall wurde der fossile Wärmeerzeuger durch eine Wärmepumpe ersetzt, welche maximal 55 °C erreichen konnte. In einigen Fällen hatte das SPF Veränderungen, respektive Korrekturen der Hydraulik vorgeschlagen. Dies Massnahmen wurden jedoch auf Grund des hohen Aufwands meist nicht umgesetzt. Einige Besitzer haben Massnahmen umgesetzt, welcher über die Empfehlungen von 2019 herausgingen und zum Teil auch nicht im Sinne der SIA 385/1 sind. So wurde z.B. eine nicht warmgehaltene Warmwasserleitung zusätzlich isoliert oder die Ausschalttemperatur des Wärmeerzeugers auf bis 70 °C eingestellt.

Insgesamt wurden in den 14 Anlagen mit Legionellenproblemen:

- In sechs Fällen die Einschalttemperatur und in ebenfalls sechs Fällen die Ausschalttemperatur der Nachheizung erhöht.
- In vier Fällen die Temperatur-Einstellung des zentralen Passivmischers (Verbrühungsschutz) erhöht.
- In einem Fall (Anlage 66) wurde die Ein-/Ausschalttemperatur der Nachheizung von 55/60 °C auf 50/55 °C herabgesetzt. Diese Anlage war in 2020 – im Gegensatz zu 2019 – legionellenfrei.
- In einem Fall (Anlage 72) wurde die Ein-/Ausschalttemperatur der Nachheizung auf Grund eines Wärmeerzeugersatzes von 50/60 °C auf 45/55 °C herabgesetzt. Diese Anlage wies in 2020 einen höheren maximalen Legionellenbefund auf als in 2019.
- In sieben Fällen war die erreichbare Warmwassertemperatur an der Zapfstelle (Tinf) höher als bei der Probenahme im Jahr zuvor, in sieben Fällen war sie geringer. Die Anzahl Objekte, in welchen an mindestens einer Dusche die Temperatur von 50 °C an der Zapfstelle nicht erreicht werden konnte, reduzierte sich von fünf auf vier. Von diesen vier war in 2020 nur eine legionellenfrei (Tinf = 49 °C), während die drei anderen (Tinf = 41 °C, 48 °C, 43 °C) Legionellen aufwiesen. Die einzigen Befunde mit $\geq 10^6$ KBE/L in 2020 stammen aus jenen beiden Anlagen, welche nur 41-43 °C an der Zapfstelle erreichten.
- In vier Fällen wurde eine Legionellenschaltung mit Soll-Temperatur 65 °C entweder eingeführt oder beibehalten, diese waren 2020 legionellenfrei.
- In 8 Fällen wurden Duschschräume und Brausen ersetzt, in zwei Fällen zusätzlich die Duscharmatur
- Mit Ausnahme eines Anlagenbesitzers (Anlage 30) gaben alle an, vor dem Duschen entweder heiss, kalt oder gemischt zu spülen, wovon sieben "heiss vorspülen". Diese sieben Anlagen waren bis auf die Anlage 72 in 2020 legionellenfrei.

Eine tabellarische Aufstellung der umgesetzten Massnahmen sowie der in 2019 und 2020 nachgewiesenen Legionellenhöchstwerte der Duschproben ist in Annex A enthalten. Eine detaillierte Beschreibung jeder einzelnen Anlage, inklusive Empfehlungen und Massnahmen beider Jahre, ist in Annex B (Objekte mit Legionellen in 2020) und Annex C (Anlagen ohne Legionellen in 2020) zu finden.

3.3 Wirksamkeit der Massnahmen von 2019 auf 2020

In diesem Kapitel wird der Einfluss der einzelnen Parameter auf das Auftreten von Legionellen an den Zapfstellen bei der Untersuchung 2020 ausgewertet. Dazu werden die Resultate der Kulturmethode und der ersten Beprobung 2020 statistisch ausgewertet. Die nachfolgenden Massnahmen, welche bei den fünf Anlagen mit Befall in 2020 umgesetzt wurden, waren meist individuell auf das Beheben eines Mangels bei der Installation ausgelegt. Sie werden in den detaillierten Beschrieben der Anlagen erläutert, können aber nicht statistisch ausgewertet werden.

3.3.1 Temperaturen

Anders als bei der Untersuchung 2019⁶ konnten bei der Untersuchung von 2020 unterschiedliche Temperaturen im System als statistisch signifikante Prädiktoren für das Auftreten von Legionellen herangezogen werden. Dies trotz der deutlich kleineren Stichprobe. In Tabelle 2 werden die erreichte Maximaltemperatur (T_{inf}), die Ein- und Ausschalttemperaturen (T_{ein} und T_{aus}) der Nachheizung und die eingestellte Temperatur am zentralen Mischer (T_{mix}) angegeben. Diese Temperaturen hängen zusammen und sind somit nicht unabhängig. Sowohl das Erreichen einer Temperatur von $T_{inf} \geq 50$ °C an der Zapfstelle (nach SIA 385/1) als auch eine Einschalttemperatur der Nachheizung ≥ 50 °C und eine Mischertemperatur ≥ 55 °C weisen einen signifikanten Zusammenhang mit der Elimination von Legionellen an der Dusche auf (Fischer, $p < 0.05$, siehe auch Tabelle 2). Dabei muss aber beachtet werden, dass es sich hier um eine Stichprobe von Anlagen handelt, welche vor einem Jahr Legionellen aufgewiesen haben und bei denen die Benutzer darüber informiert waren. Die Ausschalttemperatur der Nachheizung scheint hingegen auch bei den Beprobungen 2020 keinen statistisch belegbaren Einfluss auf das Auftreten von Legionellen zu haben.

Die bisher ausgewerteten Kriterien orientieren sich an bereits bestehenden Regeln, wie zum Beispiel dem Erreichen einer Temperatur von 50 °C an den Zapfstellen (SIA 385/1:2020). Ohne diese a-priori vorgegebenen Grenztemperaturen kann jedoch auch der Versuch unternommen werden, diese aus den Daten selber zu ermitteln. Abbildung 2 zeigt die erreichten Signifikanzniveaus für unterschiedliche Grenztemperaturen für T_{ein} , T_{aus} , T_{mix} und T_{inf} . Sowohl bei zu tief als auch bei zu hoch angesetzten Grenztemperaturen sinkt die Signifikanz des Ergebnisses. Dies deshalb, weil zu tief angesetzte Werten zu viele falsch negative Prädiktionen führen, bei zu hoch angesetzten jedoch zu vielen falsch positiven. Bei der maximalen Temperatur an der Zapfstelle erreicht man die beste Unterscheidung mit einer Grenztemperatur von 51 °C, es führen aber Grenztemperaturen von 43 °C bis 53 °C zu einem signifikanten Resultat. Bei der Einschalttemperatur der Nachheizung liegt der Bereich zwischen 46 °C und 50 °C. Bezüglich der eingestellten Temperatur am zentralen Mischer führen aufgrund der begrenzten Auslesegenauigkeit in 5 K Schritten Grenztemperaturen zwischen 50 °C und 55 °C zu signifikanten Resultaten.

Die oben dargestellte Vorhersagequalität darf jedoch nicht mit "Legionellensicherheit" verwechselt werden. Es wurden bei höheren Temperaturen nicht plötzlich wieder mehr Legionellen gefunden, entsprechend nimmt die Legionellensicherheit bei höheren Temperaturen auch nicht ab. Die hier ausgerechneten Grenztemperaturen können aber eine Indikation dazu geben, bei welchen Temperaturen der beste Kompromiss zwischen Legionellensicherheit (hohe Temperaturen) und Energieeffizienz (tiefe Temperaturen) sowie Verbrühungsschutz definiert werden kann.

⁶ In den Untersuchung 2019 mit 110 Anlagen (202 auswertbaren Duschen) ohne Vorgeschichte oder entsprechender Sensibilisierung der Benutzer. Angewendet auf die Ergebnisse von 2019 erhält man für $T_{inf} < 50$ °C als Prädiktor für Legionellen bei 107 Duschen eine korrekt negative und bei 10 eine korrekt positive Vorhersage. Dem gegenüber stehen 74 falsch positive und 10 falsch negative Vorhersagen (Fischer, $p=0.5$). Dieses Resultat ist weit von einer statistischen Signifikanz entfernt.

Tabelle 2: Verschiedene Temperaturen im System als Prädiktor-Variablen für das Auftreten von Legionellen. (positiv: Legionellen erwartet, negativ: keine Legionellen erwartet)

Vorhersage-Werte	Tinf <50 [°C]	Tein<50 [°C]	Taus<60 [°C]	Tmix<55 [°C]		
falsch positiv	3	8	6	3		
falsch negativ	2	0	0	0		
korrekt	21	18	20	13		
P (Fischer)	0.03	0.01	1	0.02		
ID: Anlage & Dusche	Tinf <50 [°C]	Tein<50 [°C]	Taus<60 [°C]	Tmix<55 [°C]	L. WW [KBE/L]	L. MW [KBE/L]
4 HD	50.7	60	65	50	<100	<100
8 HD	55.3	45	55	55	<100	<100
27 HD	40.8	40	55	50	<100	<100
29 HD	54.3	45	55	60	<100	<100
30 HD	48.2	45	60	50	6000	4000
31 HD	60.8	60	70	60	<100	<100
34 HD	52.4	45	55	n.a.	<100	<100
39 HD	51.7	46	63	n.a.	<100	<100
47 HD	42.7	45	55	50	12000	10000
57 HD	55.1	50	55	n.a.	<100	<100
66 HD	52.3	50	55	55	<100	<100
67 HD	49.5	50	60	55	<100	<100
72 HD	52.5	45	55	n.a.	2000	1000
79 HD	56.9	60	70	n.a.	n.a.	<100
4 ND	51.7	60	65	50	n.a.	<100
8 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
27 ND	40.5	40	55	50	n.a.	10000
29 ND	55.8	45	55	60	n.a.	<100
30 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
31 ND	60.3	60	70	60	n.a.	<100
34 ND	52.2	45	55	n.a.	n.a.	<100
39 ND	50.9	46	63	n.a.	n.a.	2100
47 ND	40.7	45	55	50	n.a.	900
57 ND	55.0	50	55	n.a.	n.a.	<100
66 ND	53.1	50	55	55	n.a.	<100
67 ND	48.9	50	60	55	n.a.	<100
72 ND	52.1	45	55	n.a.	n.a.	<100
79 ND	56.9	60	70	n.a.	n.a.	<100

HD = Hauptdusche, ND = Nebendusche, Tinf = Temperatur WW nach Erreichen der Temperaturkonstanz am Hahn, Tein = Einschalttemperatur Nachheizung, Taus = Ausschalttemperatur Nachheizung, L. WW = Legionellenbefund Warmwasser, L. MW = Legionellenbefund Mischwasser, n.a. = not available (kein Wert verfügbar).

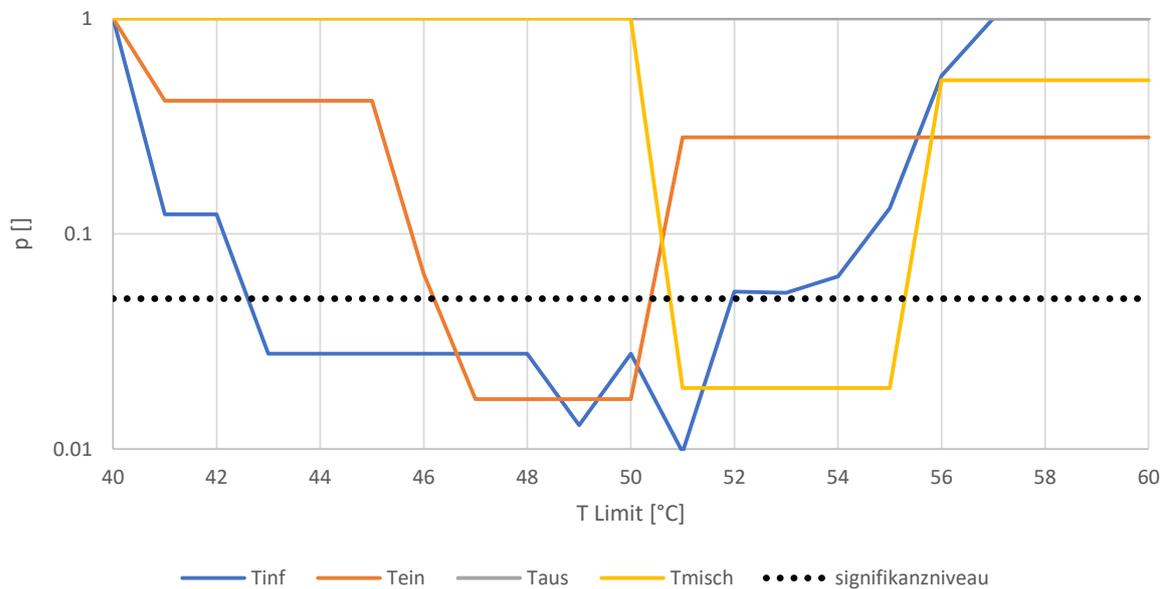


Abbildung 2: Variation der Prädiktor-Grenztemperaturen und Einfluss auf die Signifikanz der Vorhersagen.

3.3.2 Gemessenes Duschverhalten

Mit den oben beschriebenen Duschmonitoringgeräten können für jeden Duschprozess die durchschnittliche Temperatur, der Volumenstrom und der Energieverbrauch, resp. die Dauer der Duschaktivität aufgenommen werden. Die Mittelwerte dieser Parameter werden in Abbildung 3 für alle Anlagen mit den dazugehörigen Legionellenanalysen (Kultur) dargestellt. Zusätzlich wurde auch die Häufigkeit der Nutzung der Dusche ausgewertet und dargestellt. Bei den Anlagen 34 und 47 waren die Daten unvollständig und wurden deshalb hier nicht ausgewertet. Aufgrund der wenigen positiven Befunde ist es schwierig, klare Aussagen aus diesen Messungen abzuleiten. Es zeichnen sich keine eindeutigen Trends resp. Einflüsse dieser Parameter ab. Bezüglich Häufigkeit der Nutzung sind zwei selten benützte Nebenduschen von Legionellen betroffen, wobei bei beiden Anlagen (27 und 39) ungünstig warm gehaltenen Leitungen als Ursachen ausgemacht werden konnten (siehe Kapitel 3.4). Sowohl für die Dauer des Duschvorgangs als auch für die Häufigkeit der Nutzung scheint eine leichte Tendenz erkennbar, dass bei kürzeren Duschvorgängen sowie bei weniger häufiger Nutzung eher höhere Kontaminationswerte gefunden wurden. Für keinen der aufgenommenen Nutzungsparameter, also auch nicht für die Dauer des Duschvorgangs und die Häufigkeit der Nutzung, sind die Ergebnisse jedoch statistisch signifikant.

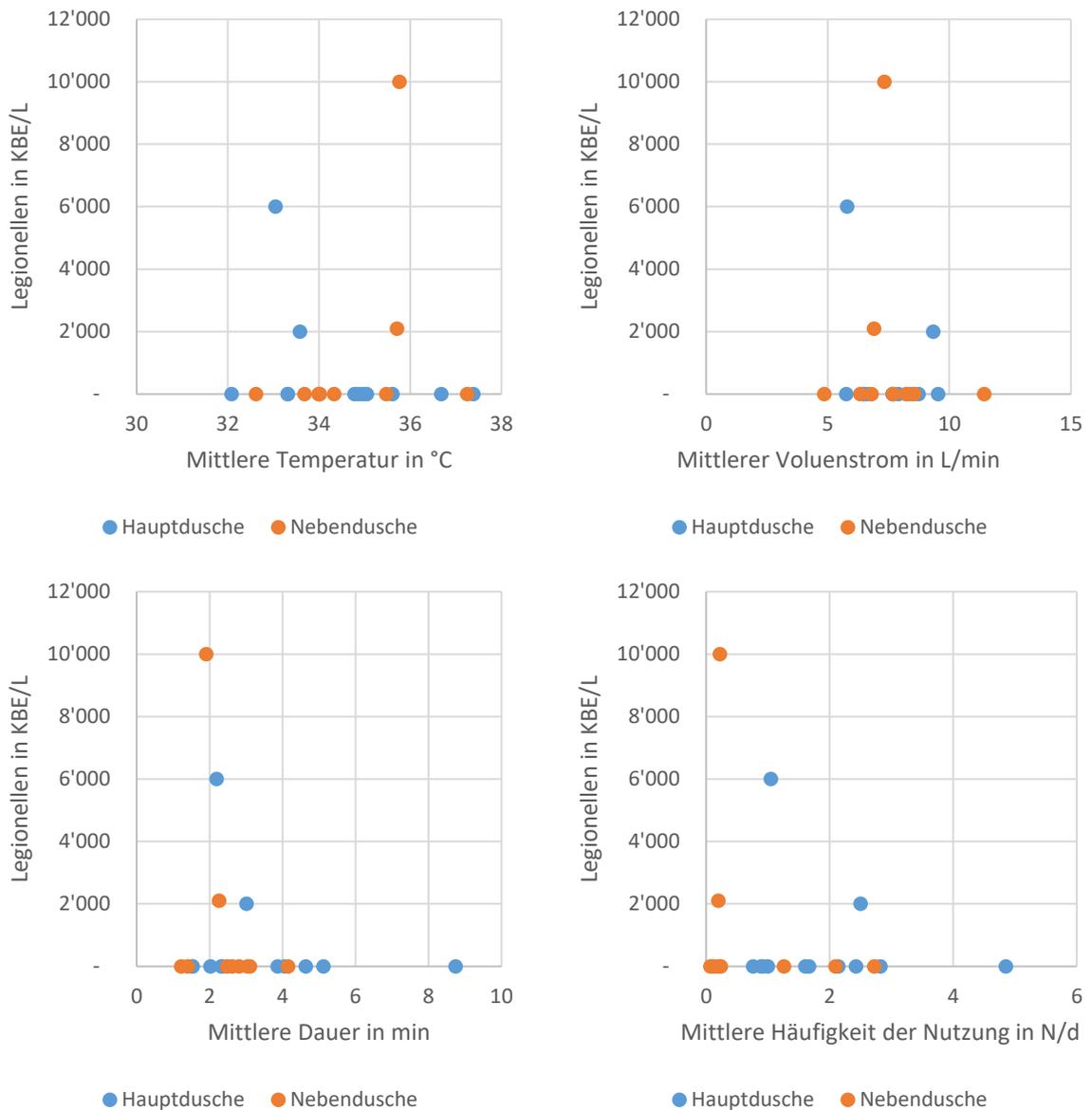


Abbildung 3: Verteilung der gemittelten Duschparameter und der jeweils gemessenen Legionellenkonzentrationen für Haupt- und Nebenduschen.

3.3.3 Erfragtes Nutzerverhalten

In Tabelle 3 werden die erfragten Parameter zur Nutzung der einzelnen Duschen dargestellt. Die Häufigkeit der Nutzung wurde, falls erfasst, mit der gemessenen Nutzung (Anzahl Duschen pro Tag) ersetzt, da dies als der zuverlässigere Parameter erachtet wurde. Wie schon bei der Untersuchung 2019 kann hier kein Zusammenhang zwischen einer seltenen Nutzung und mehr Legionellen an der Zapfstelle aufgezeigt werden.

Tabelle 3: Aufgenommene, resp. gemessene Parameter zur Nutzung der Duschen als Prädiktor-Variablen für das Auftreten von Legionellen (positiv=Legionellen erwartet, negativ=keine Legionellen erwartet)..

Vorhersage-Werte	RegN<0.5	Nicht oder kalt Vorspülen	Nicht Nachspülen		
falsch positiv	6	0	2		
falsch negativ	4	4	2		
korrekt	16	22	22		
P (Fischer)	1	0.05	0.2		
ID: Anlage & Dusche	RegN<0.5 [-]	Nicht oder kalt Vorspülen	Nicht Nachspülen	L. WW [KBE/L]	L. MW [KBE/L]
4 HD	1.0	Heiss	Unterschiedlich	<100	<100
8 HD	1.7	Heiss	Unterschiedlich	<100	<100
27 HD	0.9	Gemischt	Unterschiedlich	<100	<100
29 HD	2.1	Gemischt	Unterschiedlich	<100	<100
30 HD	1.0	Nicht	Nicht	6'000	4'000
31 HD	1.6	Heiss	Unterschiedlich	<100	<100
34 HD	täglich	Gemischt	Unterschiedlich	<100	<100
39 HD	0.9	Unterschiedlich	Unterschiedlich	<100	<100
47 HD	täglich	Kalt	Unterschiedlich	12'000	10'000
57 HD	0.8	Heiss	Unterschiedlich	<100	<100
66 HD	4.9	Gemischt	Gemischt	<100	<100
67 HD	2.4	Heiss	Unterschiedlich	<100	<100
72 HD	2.5	Heiss	Nicht	2'000	1'000
79 HD	2.8	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	<100
4 ND	0.1	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	<100
8 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
27 ND	0.2	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	10'000
29 ND	0.1	Gemischt	Unterschiedlich	n.a.	<100
30 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
31 ND	2.7	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	<100
34 ND	wöchentlich	Gemischt	Unterschiedlich	n.a.	<100
39 ND	0.2	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	2'100
47 ND	täglich	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	900
57 ND	0.1	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	<100
66 ND	2.1	Gemischt	Gemischt	n.a.	<100
67 ND	0.2	Heiss	Unterschiedlich	n.a.	<100
72 ND	0.2	Heiss	Nicht	n.a.	<100
79 ND	1.3	Heiss	Nicht	n.a.	<100

HD = Hauptdusche, ND = Nebendusche, RegN: regelmässige Nutzung (1 = 1x pro Tag), L. WW = Legionellenbefund Warmwasser, L. MW = Legionellenbefund Mischwasser, n.a. = not available (Kein Wert verfügbar).

Bei den Angaben zum Vor- und Nachspülen zeigt sich, dass sehr viele Benutzer nach dem Befund 2019 auf ein Vorspülen geachtet haben. Bis auf zwei Hauptduschen wurde immer angegeben, dass entweder heiss oder gemischt vorgespült wurde. In den verbleibenden zwei Fällen wurde einmal angegeben, dass kalt vorgespült wird, und einmal gar nicht vorgespült wird. Da diese beiden Duschen auch 2020 Legionellen aufwiesen, ergibt dies einen knapp signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen an der Duschzapfstelle (Fischer: "heiss oder gemischt", p=0.05, siehe Tabelle 3 unten). Wenn "heiss vorgespülte" Duschen denjenigen gegenübergestellt werden welche gemischt oder gar

nicht vorgespült werden, so kann kein statistisch signifikanter Unterschied dieser beiden Gruppen festgestellt werden. Das Nachspülen wurde weniger bewusst durchgeführt als das Vorspülen. So haben die meisten Nutzer angegeben "unterschiedlich" nachzuspülen, zwei "gemischt" und vier "nicht". Es ist zu beachten, dass wohl oft "unterschiedlich" angegeben wurde, wenn sich die Nutzer unsicher waren und meist nicht bewusst nachgespült haben. Eine Auswertung mit dem Fischer Test ergibt eine nicht signifikante Tendenz ($p=0.2$) zu einem grösseren Legionellenrisiko, wenn nicht nachgespült wurde (im Vergleich zu "unterschiedlich" oder "gemischt").

3.3.4 Kombination von Nutzerverhalten und Temperaturen

Es wurden auch Kombinationen von temperatur- und verhaltensspezifischen Prädiktoren untersucht. Dabei schien z. B. die Kombination einer ausreichend hohen Temperatur an der Zapfstelle mit einer regelmässigen Nutzung oder einem regelmässig heissen Spülen als sinnvoll. Dies unter dem Gesichtspunkt, dass eine periphere Kontamination nur mit dem regelmässigen Erreichen von genügend heissen Temperaturen eliminiert werden kann. Diese Kombinationen führen aber bei einer statistischen Auswertung zu mehr falsch positiven Vorhersagen und somit zu einer schlechteren Vorhersage als die reinen Temperaturkriterien. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass alle Nutzer über den Legionellenbefall 2019 informiert waren, und dies mit ein Grund gewesen sein kann für späteres regelmässiges Spülen. Es könnte sehr wohl sein, dass bei einer Stichprobe mit einem höheren Anteil Nutzern welche kein Vor- oder Nachspülen vornimmt, das Ergebnis differenzierter ausgefallen wäre.

Bei Kombination verschiedener Parameter wird die beste Vorhersage für das Vorhandensein von Legionellen erzielt, wenn sowohl 50 °C an der Zapfstelle zum Zeitpunkt der Begehung und Beprobung nicht erreicht wurde als auch die Einschalttemperatur der Nachheizung tiefer als 50 °C eingestellt war. Setzt man als Prädiktor diese UND-Verbindung ein, so wird die Vorhersage mit nur noch einem falsch negativen und zwei falsch positiven Ergebnissen hoch signifikant (Fischer, $p=0.005$).

Tabelle 4: Kombination von Nutzerverhalten und Temperaturen als Prädiktor-Variablen für das Auftreten von Legionellen (positiv=Legionellen erwartet, negativ=keine Legionellen erwartet).

Vorhersage-Werte	Tinf <50 OR RegN<0.5	Tinf <50 OR NOT(VspH)	Tinf <50 AND Tein <50		
falsch positiv	8	10	1		
falsch negativ	1	2	2		
korrekt	17	16	23		
P (Fischer)	0.16	0.6	0.005		
ID Anlage & Dusche	Tinf <50 OR RegN <0.5	Tinf <50 OR NOT(VspH)	Tinf <50 AND Tein <50	L. WW [KBE/L]	L. MW [KBE/L]
4 HD				<100	<100
8 HD				<100	<100
27 HD				<100	<100
29 HD				<100	<100
30 HD				6000	4000
31 HD				<100	<100
34 HD				<100	<100
39 HD				<100	<100
47 HD				12000	10000
57 HD				<100	<100
66 HD				<100	<100

67 HD				<100	<100
72 HD				2000	1000
79 HD				n.a.	<100
4 ND				n.a.	<100
8 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
27 ND				n.a.	10000
29 ND				n.a.	<100
30 ND	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
31 ND				n.a.	<100
34 ND				n.a.	<100
39 ND				n.a.	2100
47 ND				n.a.	900
57 ND				n.a.	<100
66 ND				n.a.	<100
67 ND				n.a.	<100
72 ND				n.a.	<100
79 ND				n.a.	<100

HD = Hauptdusche, ND = Nebendusche, RegN: regelmässige Nutzung (1 = 1x pro Tag), Tinf = Temperatur Warmwasser nach Erreichen der Temperaturkonstanz, VspH = heiss Vorspülen vor dem Duschen, Tein = Einschalttemperatur Nachheizung, L. WW = Legionellenbefund Warmwasser, L. MW = Legionellenbefund Mischwasser, n.a. = not available (nicht verfügbar).

3.4 Fünf Objekte mit Legionellen (2020)

Nur bei fünf von 14 Anlagen wurden 2020 noch Legionellen festgestellt. Diese wenigen Anlagen mit jeweils spezifischen Mängeln konnten nicht mehr weiter statistisch ausgewertet werden. Diese Anlagen wurden jedoch näher untersucht und individuelle Massnahmen zur Legionellenbekämpfung festgelegt.

Nach Umsetzung erster Massnahmen in 2020 konnten bei der darauffolgenden Beprobung noch bei drei und nach weiteren Massnahmen schlussendlich bei keiner Anlage mehr Legionellen >1'000 KBE/L nachgewiesen werden (siehe Abbildung 4). Bei einer Anlage fanden sich zuletzt noch geringe Konzentrationen von 300 KBE/L.

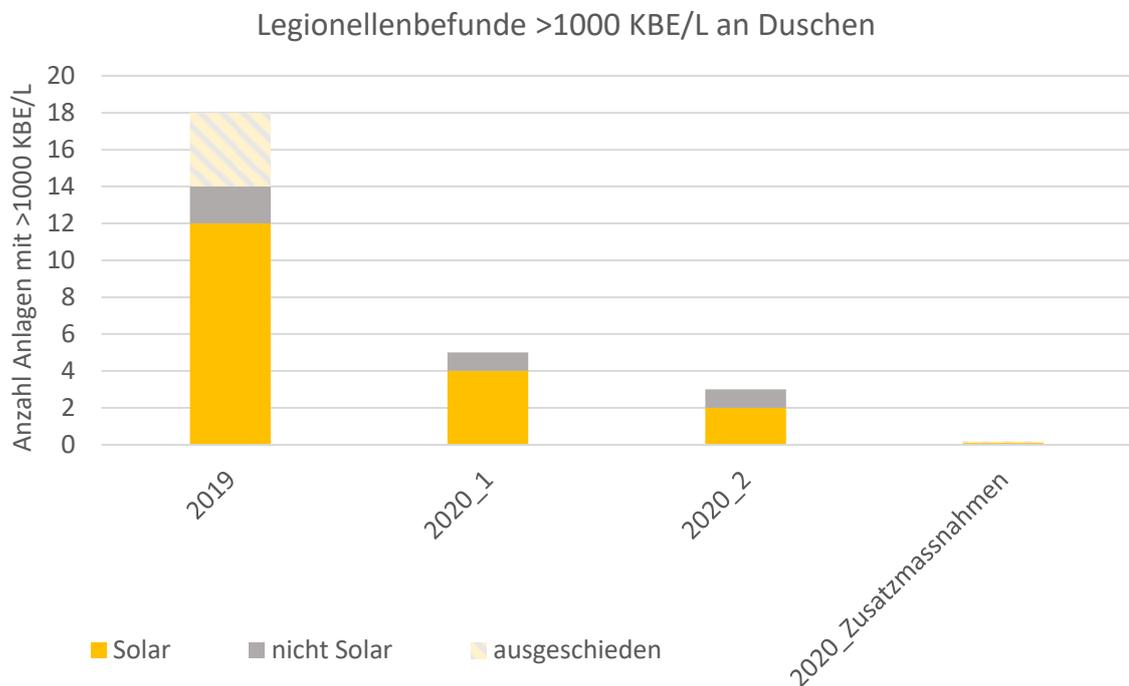


Abbildung 4: Anzahl Anlagen mit Legionellen über 1'000 KBE/L an einer der beprobten Duschzapfstellen. 2020_1 bezeichnet die erste Probenahme 2020. 2020_2 bezeichnet die zweite Probenahme 2020 nach ersten durchgeführten Massnahmen.

Eine detaillierte Beschreibung jener fünf Anlagen welche in 2020 noch Legionellen aufwiesen, befindet sich in Annex B. Eine kurze Zusammenfassung geben die folgenden Unterkapitel.

3.4.1 Ein Objekt mit Temperaturmassnahmen

Objekt 72

In diesem Objekt wurde im Jahr 2019 der Ölkessel durch eine Wärmepumpe ersetzt, welche dann auch für die Warmwasserbereitung eingesetzt wurde. Diese erwärmte den Speicher mit einer Einschalttemperatur von 45 °C (im Speicher gemessen) und einer Ausschalttemperatur von 55 °C (im Rücklauf gemessen). Dies führte zwar an den Zapfstellen regelmässig zu Temperaturen über 50 °C, jedoch sank die Temperatur am Warmwasseraustritt nachts teilweise auf ca. 45 °C. In 2020 wurden Legionellen im Bereich von 1'000 – 2'200 KBE/L nachgewiesen. Daraufhin wurde nachts eine Nachheizung durch den Elektroeinsatz freigegeben, welche das Bereitschaftsvolumen des Speichers auf 55 °C erwärmt. Zudem wurde der Warmwasseranschluss siphoniert. Bei der nachfolgenden Beprobung konnten keine Legionellen mehr festgestellt werden.

3.4.2 Vier Objekte mit fehlerhafter Warmhaltung von Leitungen

Um die Fehler bei den folgenden Anlagen besser einordnen zu können, werden vorab die wichtigsten Regeln der SIA 385/1 zur Vermeidung von Temperaturen zwischen 25 °C und 45 °C zusammengefasst und die korrekte Kombination von Zirkulation und zentralem Temperaturmischer erörtert.

- Warmgehaltene Leitungen müssen mit einer ausreichenden Wärmedämmung versehen werden.

- Nicht warm gehaltenen Leitungen sollen nicht gedämmt werden und müssen gegen warme Anlagenbestandteile mit einem Wärmesiphon versehen werden.
- Elektrische Begleitheizungen müssen eine Temperatur von 55 °C erreichen und halten. In gewissen Fällen ist eine Reduktion auf 52 °C möglich.
- In Warmwasserzirkulationssystemen müssen 60 °C im Vorlauf und 55 °C im Rücklauf erreicht werden. Mit der SIA 385/1:2020 wird bei idealen Voraussetzungen eine Reduktion auf 55 °C /52 °C gestattet.

Bei Zirkulationssystemen muss auf eine korrekte hydraulische Einbindung geachtet werden, um ungewollte Fehlströme im System zu verhindern. In der Kombination mit einem zentralen Verbrühungsschutz, wie er bei Solaranlagen eingesetzt wird, ist eine spezielle Hydraulik mit Rückflussverhinderern nötig. Dabei muss sowohl eine Verbindung des Zirkulationsrücklaufes zur kalten Seite des Mischers (zentraler Verbrühungsschutz) als auch direkt zum Speicher installiert werden.

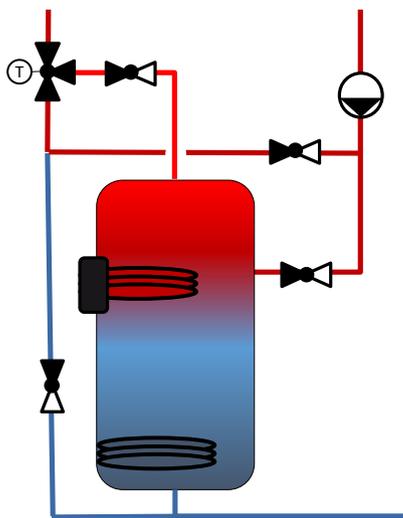


Abbildung 5: Korrekte Einbindung der Zirkulation in Kombination mit einem zentralen Verbrühungsschutz. Es sind zusätzliche Rückflussverhinderer erforderlich und der Zirkulationsrücklauf muss sowohl zum kalten Eingang des Verbrühungsschutzes als auch direkt mit dem Speicher verbunden werden.

Objekt 39

Objekt 39 verfügte über ein elektrisches Begleitheizband zwischen Speicher und Warmwasser-Verteilung und wies auch in 2020 trotz hoher Temperaturen im Speicher (Ausschalttemperatur auf 60 °C erhöht) wieder Legionellen (2'100 KBE/L MW Nebendusche) auf. Eine Überprüfung des Begleitheizbandes ergab, dass dieses lediglich auf eine Temperatur von 45.5 °C heizte. Der entsprechende Rohrabschnitt wurde durch ein Rohr ohne Begleitheizung und ohne Wärmedämmung ersetzt, welches gegenüber dem Speicher zusätzlich siphoniert wurde. Danach konnten keine Legionellen mehr kultiviert werden.

Objekt 27

Dieses Objekt wies in 2019 sowohl im Speicherboden (4'000 KBE/L) als auch in Proben der Nebendusche (20'000 KBE/L) Legionellen auf. Nachdem die Warmwasserzirkulation, welche 2019 nur zweimal am Tag kurz einschaltete, auf durchgängigen Betrieb von 6 – 22 Uhr umgestellt worden war, wies die Anlage in 2020 immer noch Legionellen an einer der beiden Duschzapfstellen auf. Eine genauere Überprüfung der Anlage zeigte, dass der Zirkulationsrücklauf hydraulisch nur über den

Speicher zurückgeführt wurde und nicht wie üblich gleichzeitig auf die kalte Seite des zentralen Mischventils (Verbrühungsschutz bei hohen Temperaturen im Speicher) geführt war. Dieser Installationsfehler führte dazu, dass im Zirkulationsbetrieb auf der kalten Seite des Mischventils das Wasser nur über den Kaltwasseranschluss des Speichers angesogen werden konnte. Dies führte zu einer kontinuierlichen Strömung vom Zirkulationsrücklauf über das untere Speichervolumen und den Kaltwasserzulauf zum Mischer (siehe Abbildung 6, links). Dadurch wurde das ganze System, also auch das untere Speichervolumen und der Kaltwasserzulauf des Mixers, auf über 50 °C erwärmt. Infolgedessen blieb während des Zirkulationsbetriebs der zu tief (ca. 45 °C) eingestellte Mischer unentdeckt. Nur während längerer Zapfungen zeigte sich diese falsche Einstellung, weil dann ins System einströmendes Kaltwasser beigemischt wurde (siehe Abbildung 6, rechts). Somit waren das Zirkulationssystem und die daran angeschlossene Hauptdusche (legionellenfrei) regelmässig auf über 50 °C erwärmt. Die nicht am Zirkulationssystem angeschlossenen Nebendusche wurde aber mit höchstens 45 °C gespiesen und wies Legionellen (10'000 KBE/L) auf. Die Einstellung des Mixers wurde erhöht und als Sofortmassnahme wurde das System temporär auf 70 °C erhitzt und die Leitungen wurden gespült. Dadurch wurden in den letzten Proben keine Legionellen mehr nachgewiesen. Es wurde eine Nachbeprobung nach Korrektur der Zirkulationshydraulik empfohlen. Diese konnte aber innerhalb des Untersuchungszeitraums nicht mehr durchgeführt werden.

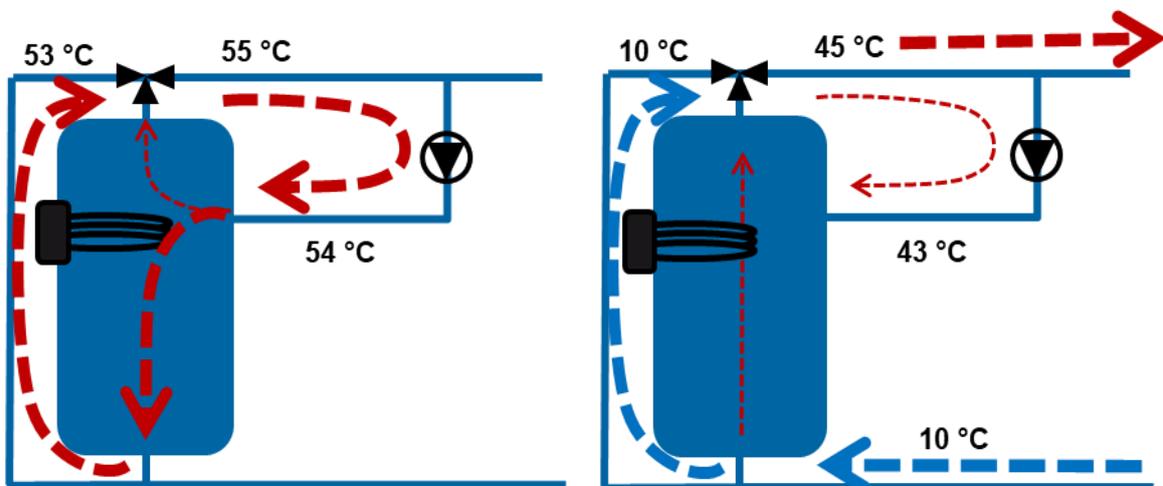


Abbildung 6: Strömungen bei einer Einbindung ohne Verbindung des Zirkulationsrücklaufes zur kalten Seite des Mixers. Zirkulationsbetrieb (links): Das gesamte untere Speichervolumen wird erwärmt. Während der Zapfung (rechts) wurden wegen einer tiefen Einstellung des Mixers nur ungenügende Temperaturen an den Duschzapfstellen erreicht.

Objekt 30

Dieses Objekt verfügte über eine Zirkulationsleitung, in welcher der Umlauf über die Schwerkraft angetrieben werden sollte. Im Normalfall steigt dabei warmes Wasser aus dem Warmwasseranschluss in der Zirkulationsleitung nach oben, während das kältere Wasser des Rücklaufs nach unten strömt. In diesem Objekt zirkulierte das Wasser jedoch meistens in umgekehrter Richtung. Zudem wiesen die Temperaturen in der Zirkulation teilweise über längere Zeit ca. 37 °C auf, was dem Optimum für das Legionellenwachstum entspricht. Leider zeigten sich die Besitzer nicht bereit, die Schwerkraftzirkulation durch eine Zwangsumwälzung zu ersetzen. Nach einer Temperaturerhöhung im System wies die Zirkulation grösstenteils Temperaturen von 55/45 °C (Vorlauf/Rücklauf) auf, welche aber immer noch

deutlich unter den geforderten 60/55 °C oder 55/52 °C nach SIA 385/1:2020 liegen. Bei den Erstbeprobungen im 2020 wurden nach wie vor Legionellen nachgewiesen (WW 6'000 KBE/L, MW 4'000 KBE/L). Nach einer Reinigung des Duschschlauches und dem Ersetzen der Brause konnten zwar keine Legionellen mehr nachgewiesen werden, jedoch ist auf Grund der ungünstigen Hydraulik eine Wiederbesiedlung mit Legionellen nicht auszuschliessen. Eine erneute Beprobung zu einem späteren Zeitpunkt wird empfohlen.

Objekt 47

Bei Objekt 47 wurden in 2019 sowohl im Kaltwasser als auch im Warmwasser Legionellen festgestellt. Das Objekt verfügt über lange Wege zu den drei Duschzapfstellen und eine Warmwasserzirkulation, welche im Zirkulationsrücklauf 50 °C erreicht. Die Besitzer klagten jedoch über unzureichende Temperaturen beim Duschen. Eine Überprüfung der Zirkulationsleitungen ergab, dass in dieser einerseits ein Rückschlagventil fehlte und andererseits zwar der Rücklauf auf die kalte Seite des Mischventils geführt war, jedoch nicht wie üblich gleichzeitig mit einer Verzweigung in den Mittelbereich des Speichers. Abbildung 7 zeigt die dadurch auftretenden ungünstigen Strömungen und Temperaturen, welche einerseits dazu führen, dass der gesamte Speicher durch die Zirkulation erwärmt wird und andererseits auch dazu, dass an den Zapfstellen, insbesondere bei voll geöffnetem Hahn, kaltes Wasser in entgegengesetzter Richtung durch den Zirkulationsrücklauf fliesst. Dadurch können während der Zapfung keine ausreichenden Temperaturen erreicht werden. Auf Grund des Speicherdesigns, welches nicht für eine Warmwasserzirkulation vorgesehen war, war eine Anbindung des Rücklaufs in den Mittelbereich des Speichers nicht möglich. Es wurde jedoch vor der Nachbeprobung ein Rückschläger im Rücklauf der Zirkulationsleitung installiert. Bei der Nachbeprobung konnten mit der Kulturmethode nur noch minimale Konzentrationen ≤ 300 KBE/L festgestellt werden. Auf Grund der Covid-19 Pandemie wurde diese Beprobung erst im Juni 2020 durchgeführt. Daher ist unklar, ob die Dezimierung unter die Grenze von 1'000 KBE/L, auf die ergriffenen Massnahmen zurückzuführen war, oder auf generell hohe Temperaturen im ganzen System auf Grund von Solarwärme.

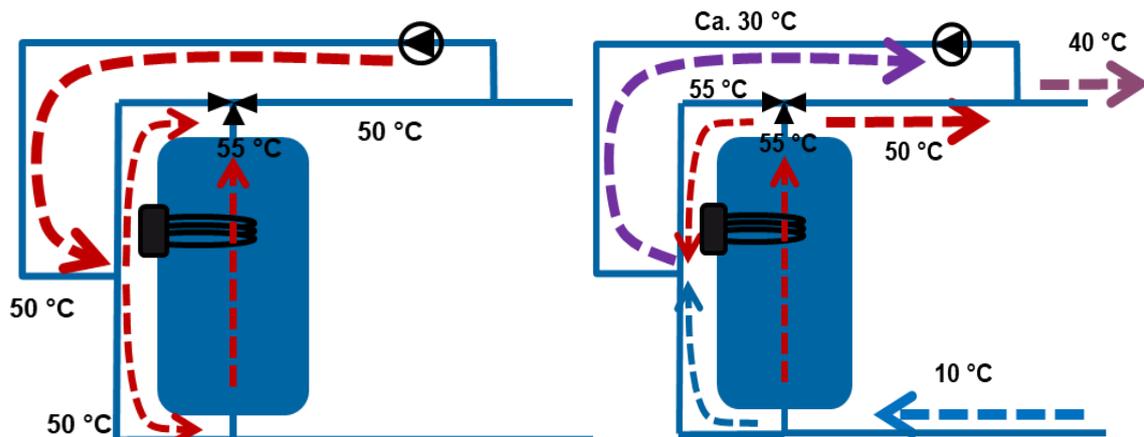


Abbildung 7: Darstellung der Flussrichtungen und Temperaturen bei Anlage 47 im Zirkulationsbetrieb (links) und mit Durchfluss entgegen der Zirkulationsrichtung bei einer Zapfung (rechts).

3.5 Versuch der Messung nicht aktiver Legionellen

Aus dem Vergleich von Befunden aus unterschiedlichen Nachweismethoden wurden Erkenntnisse über das mögliche Vorhandensein von toten oder VBNC-Legionellen erwartet. In Abbildung 8 und Abbildung 9 wird die *L. pneumophila* Intakt- und die Totalzellzahl nach rqmicro Methode den Befunden der Kultivierungsmethode gegenübergestellt. Im Vergleich scheinen diese nur wenig Zusammenhang aufzuweisen. Um die grosse Spannweite der Werte darstellen zu können, wurde eine logarithmische Darstellung verwendet. Proben, bei welchen in der Kultur Legionellen der Spezies *L. anisa* gefunden wurden, sind als Kreuz dargestellt. Bei der Quantifizierung mittels der rqmicro-Methode werden *L. pneumophila* spezifische Marker verwendet, wodurch *L. anisa* nicht identifiziert werden sollten. Die rqmicro Messungen dieser Proben sind auch tendenziell tiefer, es gibt aber auch einen Wert über 10'000 Intaktzellen/L. Die Grössenordnung von Intakt- als auch Totalzellzahl der Legionellen nach rqmicro scheint von Anlage zu Anlage zu variieren, aber wenig Zusammenhang mit der Legionellenkonzentration nach Kulturmethode zu haben. Bei der Anlage Nr. 39 wurden sehr hohe *L. pneumophila* Intakt- und Totalzellzahlen gemessen, auch in Proben, welche in der Kulturmethode kein Wachstum aufwiesen. Die Anlagen Nr. 27 und 30 wiesen die durchschnittlich tiefsten *L. pneumophila* Intakt- und Totalzellzahlen auf, aber unerwartet hohe Legionellenkonzentrationen in den Kulturen einiger Proben.

Proben mit positiver Legionellenkultur wiesen bei der Analyse nach rqmicro im Durchschnitt mit 25'000 Intaktzellen/L höhere Werte auf (als in Proben ohne Legionellennachweis durch Kultur mit 14'000 Intaktzellen/L. Weil die Werte aber stark streuen, sind die Standardabweichungen grösser als die Werte selbst und es kann daraus keine belastbare Aussage abgeleitet werden.

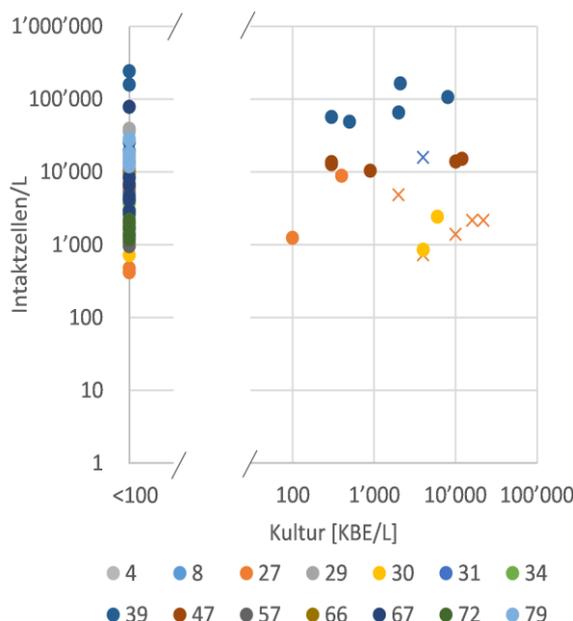


Abbildung 8: Gegenüberstellung der *L. pneumophila* Intaktzellzahl nach rqmicro mit den Resultaten der Kultivierung. Kreuze stellen einen kulturellen Nachweis von *L. anisa* dar.

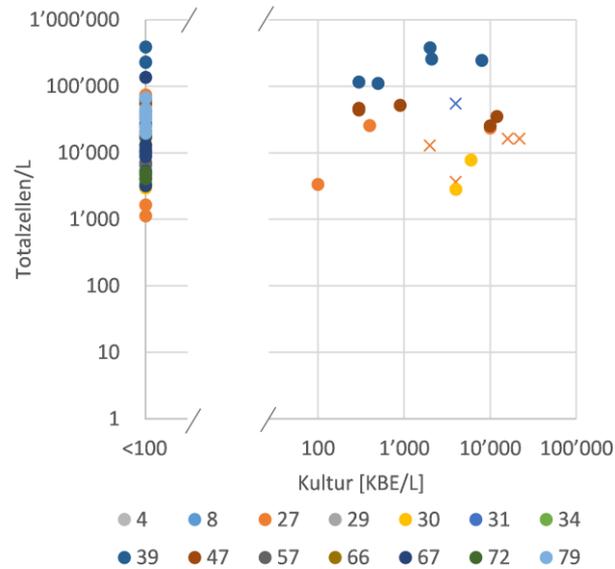


Abbildung 9: Gegenüberstellung der *L. pneumophila* Totalzellzahl nach *rqmicro* mit den Resultaten der Kultur. Kreuze stellen einen kulturellen Nachweis von *L. anisa* dar.

In Abbildung 10 sind die *L. pneumophila* Totalzellzahlen gegenüber den Intaktzellzahlen der *rqmicro* Methode aufgetragen. Dabei zeigt sich eine Korrelation dieser beiden Messgrößen. Über alle Daten ergibt sich ein Anteil an Intaktzellen von 27 %. Aus dem Anteil an *L. pneumophila* Intaktzellen wurden Erkenntnisse über das Vorhandensein von toten Legionellen und ev. auch mögliche Rückschlüsse auf die Anwesenheit von VBNC Legionellen erwartet. Ein Vergleich der Kultivierungsmethode mit der PCR-Analyse kann ebenfalls ein Hinweis auf viele tote oder inaktive Legionellen geben. Proben, welche aufgrund dieser Messungen auf tote (oder inaktive) Legionellen im System hindeuten, weisen aber erstaunlicherweise ein tendenziell einen höheren Anteil an *L. pneumophila* Intaktzellen auf (30 %). Bei den Proben mit der Spezies *L. anisa* (nach Kultivierung) ist der *L. pneumophila* Intaktzellenanteil geringe Da bei der *rqmicro*-Methode ein *L. pneumophila*-spezifischer Marker verwendet wurde, sollte *L. anisa* nicht detektiert werden. Die dennoch gemessenen Werte werden entsprechend als Hintergrundrauschen bzw. nicht vollständige Spezifität der Marker interpretiert.

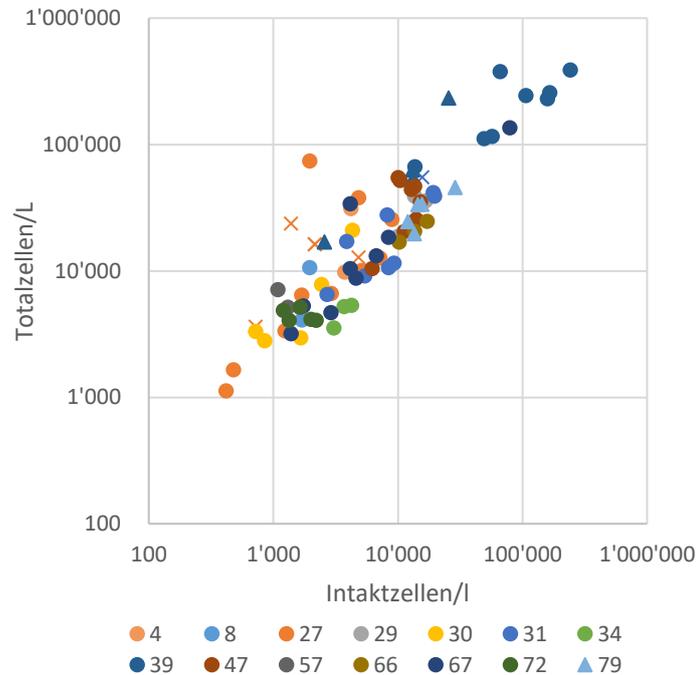


Abbildung 10: *L. pneumophila* Totalzellmessung in Abhängigkeit der *L. pneumophila* Intaktzellmessung aller Proben nach qmicro. Bei Messpunkten mit Kreuzen handelt es sich um Proben bei welchen in der Kultivierung *L. anisa* nachgewiesen wurden, Dreiecke deuten auf tote Legionellen im System nach RT und pPCR.

Alle Wasserproben der Nachbeprobung wurden ebenfalls mit RT- und qPCR auf *L. pneumophila* analysiert (*L. anisa* werden nicht nachgewiesen). Die qPCR quantifiziert alle *L. pneumophila* (lebende und tote), die RT-PCR macht eine Aussage über die "viability" (ob lebende *L. pneumophila* vorhanden sind). Die Resultate der RT und q-PCR Methode werden in Abbildung 11 mit den Resultaten der Kultivierung verglichen. Die Werte der beiden Methoden fallen überwiegend in derselben Größenordnung aus. Es gab aber Proben, welche bei einer Methode ohne Nachweis blieben, bei der anderen Methode aber Konzentrationen <1'000 U/L resp. KBE/L ergaben. Kulturell negative Proben mit Konzentrationen <1000 U/L nach qPCR, wurden bis auf eine Ausnahme als "not viable" (nach RT-PCR) klassifiziert. Diese Ausnahme stammt von Anlage 39, bei der einige andere Proben hohe qPCR Werte aufwiesen, welche aber als "non viable" eingestuft wurden. Es ist also davon auszugehen, dass bei dieser Anlage grundsätzlich viele tote oder inaktive Legionellen vorhanden sind. Dabei können sehr wenige aktive Legionellen (unter der Nachweisgrenze der Kultivierung) dennoch zur Klassifizierung als "viable" führen.

5 Diskussion der Ergebnisse

5.1 Temperaturen und Temperatureinstellungen

Anders als bei der Untersuchung 2019 war in der Nachuntersuchung 2020 die Temperatur des Warmwassers ein entscheidender Faktor bezüglich Legionellenvorkommen. Sowohl die maximal an der Zapfstelle erreichte Temperatur als auch die Einschalttemperatur der Nachheizung und die Temperatureinstellung beim zentralen Mischer zeigten einen signifikanten Zusammenhang mit dem Vorhandensein von Legionellen an den Duschzapfstellen. Dabei wiesen Anlagen mit hohen Temperaturen weniger Legionellen auf. Die Grenztemperatur oder Schwelle, ab welcher signifikant weniger Legionellen auftraten, war jeweils um die 50 °C. Bei der Untersuchung 2019 konnten, trotz deutlich grösserer Stichprobe, kein signifikanter Einfluss dieser Temperaturen festgestellt werden. Bei dieser Stichprobe waren auch viele Anlagen mit tiefen Temperaturen enthalten, welche dennoch keine Legionellen aufwiesen. bei der Untersuchung von 2020 handelte es sich um Anlagen, welche im Jahr 2019 an mindestens einer Zapfstelle Legionellen > 1000KBE/L aufwiesen. Da die Nutzer darüber informiert, also sensibilisiert waren, verhielten sie sich nun wohl bewusster als während der ersten Stichprobe. Diese zweite Untersuchung zeigt also, wie eine bestehende Legionellenkontamination eliminiert werden kann. Die Resultate geben einen Hinweis darauf, dass zumindest in Ein- und Mehrfamilienhäusern in der Regel keine sehr hohen Temperaturen nötig sind, um vorhandene Legionellen wieder loszuwerden. Bei sensibilisierten Nutzern führte eine Einschalttemperatur der Nachheizung von 50 °C (gemessen im Bereitschaftsvolumen des Speichers) und das Einhalten von 50 °C an der Zapfstelle in dieser Studie klar signifikant ($p=0.01$ resp. $P=0.03$) zu legionellenfreiem Duschwasser.

Das Einhalten der in der SIA 385/1:2020 definierten Temperatur von 50 °C an der Zapfstelle scheint in der vorliegenden Studie ein sehr guter Indikator für ein erfolgreiches Eliminieren einer bestehenden Legionellenkontamination zu sein. Dies steht auch im Einklang mit einschlägigen Empfehlungen der WHO [5] und der Literaturstudie LegioSafe von 2019 [3] (S. 16-17, 25), sowie weiteren Studien [6]⁷. Es gibt jedoch auch Beispiele, vor allem basierend auf grösseren Objekten wie Spitälern oder Altersheimen, in welchen sehr viel höhere Temperaturen notwendig waren um Legionellen vorzubeugen oder vorhandene Legionellenkontaminationen wieder los zu werden [7,8]. In Abbildung 12 werden die Resultate der Kulturmethode aus der Untersuchung 2019 und 2020 miteinander verglichen. Dabei zeigt sich, dass die Legionellen entweder eliminiert wurden, oder aber ein Jahr später wieder sehr ähnliche Konzentrationen nachgewiesen wurden. Bei zwei Zapfstellen waren trotz Erreichen von 50 °C an der Zapfstelle noch Legionellen feststellbar. Von den Zapfstellen an welchen bei der ersten Probenahme in 2020 50 °C nicht erreicht wurden, war nur eine legionellenfrei. Bei dieser Anlage ist aber aufgrund der gemessenen Temperaturverläufe im Speicher davon auszugehen, dass die 50 °C zeitweise auch deutlich überschritten werden können, und dies nur zum Zeitpunkt der Probenahme zufällig gerade nicht der Fall war.

Das Einhalten dieser schon in früheren Versionen der SIA385/1 hauptsächlich aus Komfortgründen definierten Regel scheint also, zumindest im Zusammenhang mit einem bewussten Nutzerverhalten, eine gute Massnahme gegen Legionellen zu bieten.

⁷ Siehe auch Marinelli et al. "At 40°, *L. pneumophila* cells are most abundant, at 50°, the number of Legionella cells is similar to that found at 20°...".

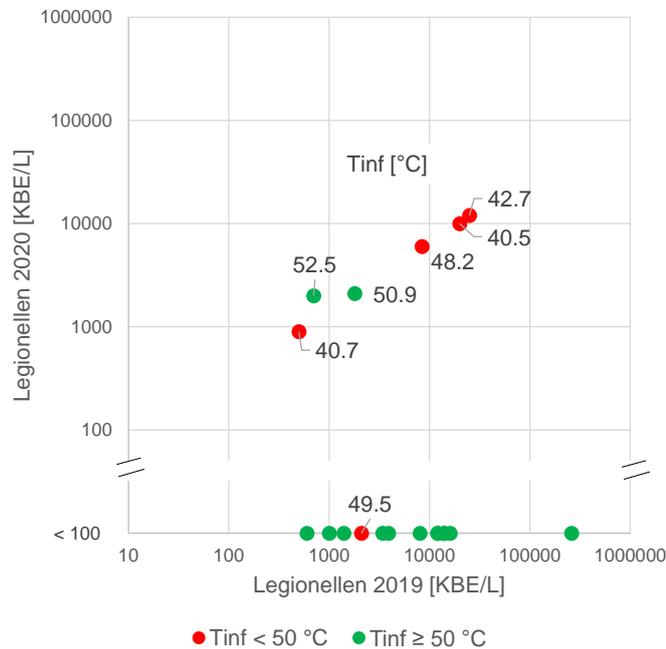


Abbildung 12: Vergleich der maximalen Legionellenkonzentration aus den Erstbeprobungen der Jahre 2019 und 2020 für alle Duschzapfstellen, unterteilt nach Zapfstellen an welchen 50 °C erreicht wurden (grün) und Zapfstellen an welchen diese Temperatur nicht erreicht wurde (rot).

5.2 Nutzerverhalten

Das Nutzerverhalten wurde durch eine Befragung der Nutzer und durch das Erfassen des Duschverhaltens mit Duschmonitoring-Geräten aufgenommen.

So konnte für die durchschnittliche Duschtemperatur, die durchschnittliche Dauer, der durchschnittliche Volumenstrom oder die Häufigkeit der Nutzung kein signifikanter Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen festgestellt werden.

Die direkte Befragung der Benutzer ergab, dass sehr viele ihre Armaturen bewusst vor oder auch nach dem Duschen spülen. So gab nur ein Benutzer an, gar keine Spülung durchzuführen und 16 der 26 untersuchten Duschen wurden regelmässig "heiss" vorgespült. Andere gaben an "gemischt" oder "kalt" vor- oder nachzuspülen. Nicht oder kalt vorgespülte Duschen wiesen auch 2020 Legionellen >1'000 KBE/L auf. Dadurch wird ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen nicht oder kalter Vorspülung und Legionellen >1'000 KBE/L erreicht (Fischer, p=0.05).

Weil das Nutzerverhalten in der Untersuchung 2019 nicht abgefragt wurde, kann kein Vergleich mit einer zufälligen Stichprobe von Anlagen ohne Vorgeschichte, d.h. ohne vorheriger positiver Legionellenprobe, durchgeführt werden. Es ist aber anzunehmen, dass sich Benutzer welche im Jahr zuvor einen positiven Legionellenbefund erhalten hatten, bewusster verhielten und ihre Armaturen häufiger spülten als zufällig ausgewählte Nutzer. Dieses bewusste Verhalten kann ein Teil der Erklärung dafür sein, weshalb die Temperaturen in der Nachfolgeuntersuchung – im Gegensatz zur Erstuntersuchung 2019 – signifikant mit dem Auftreten von Legionellen korrelierten. Periphere Kontaminationen (Armatur oder Duschschlauch) können durch genügend hohe Temperaturen nur dezimiert oder eliminiert werden, wenn diese Temperaturen am Ort der Kontamination auch regelmässig erreicht werden. Während des

Duschens werden Heiss- und Kaltwasser in der Duscharmatur auf typischerweise knapp unter 40 °C gemischt, auch wenn das System in der Lage wäre, deutlich höhere Temperaturen im Warmwasser zu liefern. Das signifikante Ergebnis für "heiss Vorspülen" in dieser Studie, sowie des Vorhandenseins einer Thermomischarmatur in den Untersuchungen von 2019, deuten darauf hin, dass auch in Duschzapfstellen, welche angeschlossen sind an Systeme welche durchaus die erforderlichen Temperaturen einhalten, eine Kontamination in der Peripherie erfolgen kann. Dies vor allem dann, wenn dort Bedingungen vorliegen die das Legionellenwachstum zeitweise begünstigen, und Temperaturen ≥ 50 °C nach der Mischarmatur nie erreicht werden.

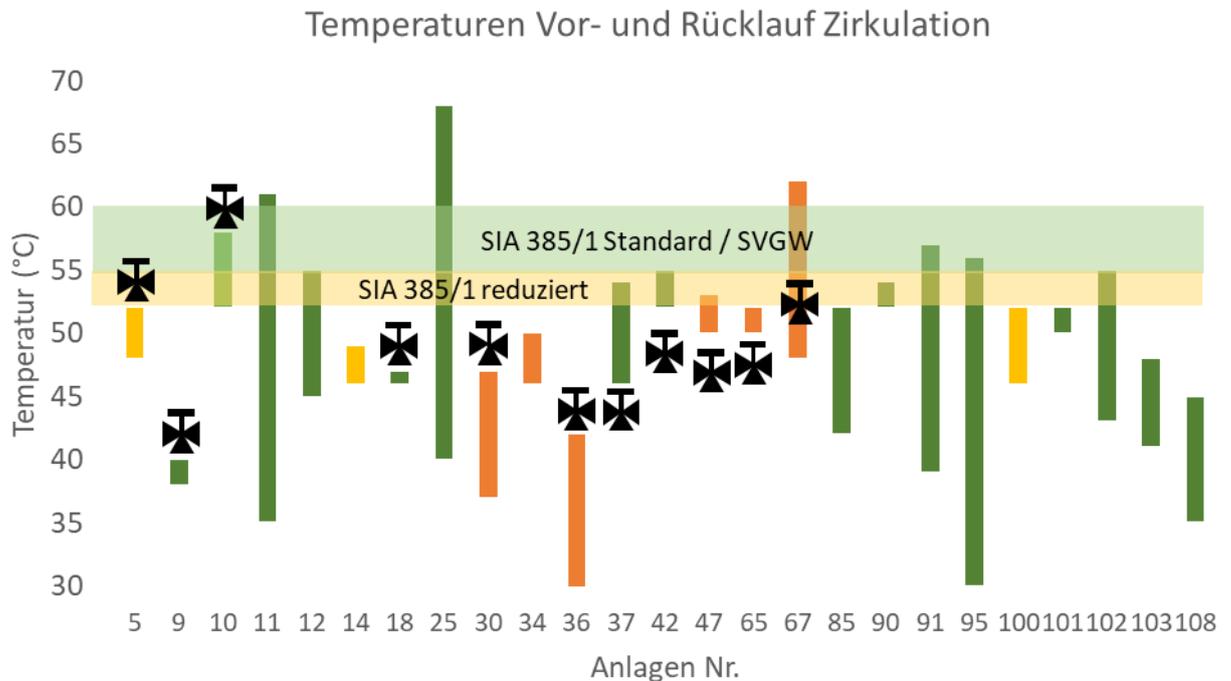
Des Weiteren gab es in der Untersuchung 2019 auch zahlreiche Anlagen, welche trotz sehr tiefen Temperaturen keine Legionellen aufwiesen. Vor allem auch weil diese Anlagen bei der Verwendung der Temperatur als Prädiktorvariable ein falsch positives Ergebnis liefern, konnte in der Untersuchung von 2019 kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Temperaturen und dem Auftreten von Legionellen gefunden werden. Durch den Fokus auf Anlagen mit Legionellenkontaminationen wurden solche Anlagen von der Untersuchung 2020 ausgeschlossen und die Resultate wurden signifikant bis hochsignifikant.

5.3 Warme Verteilungen als Risiko für Legionellen

Jene drei Anlagen mit persistierenden Legionellen wiesen alle eine fehlerhafte Warmhaltung von Verteilungen auf. In einer Anlage erreichte das installierte elektrische Begleitheizband die nach SIA 385/1:2020⁸ erforderliche Temperatur von mindestens 55 (52) °C bei weitem nicht. In den anderen beiden Fällen war die Kombination von Warmwasserzirkulation und zentraler Temperaturbegrenzung durch Beimischung von Kaltwasser fehlerhaft. Bei dieser Kombination kann es zu ungewolltem Strömungsverhalten kommen, wenn nicht alle Verbindungen und Rückflussverhinderer korrekt installiert sind. Um ungewollte Strömung zu verhindern werden mehrere Rückflussverhinderer benötigt.

Leoni u.a. [9] schlussfolgerten aus ihren Untersuchungen bereits im Jahr 2005, dass Warmwasser-Zirkulationssysteme das Vorkommen von Legionellen im Verteilnetz begünstigen. Auch Untersuchungen von Stanke [10] an Ein- und Zweifamilienhäusern deuten darauf hin, dass das Risiko für Legionellen in Häusern mit warmgehaltenen Verteilungen höher ist als in Häusern ohne warmgehaltene Verteilung. In den Untersuchungen von LegioSafeCheck in 2019 zeigte sich diese Tendenz ebenfalls für das Vorkommen von Legionellen an der Hauptdusche. Das Ergebnis war jedoch nicht statistisch signifikant (OddsRatio = 2.4, $p=0.17$). In Abbildung 13 werden die Temperaturen und die Legionellenbefunde der Anlagen mit Zirkulation aus der Untersuchung 2019 zusammengefasst und angegeben, ob ein zentraler Mischer vorhanden war oder nicht. Dabei kann kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den Temperaturen der Warmhaltung und dem Auftreten von Legionellen an einer Zapfstelle ausgemacht werden. Statistisch signifikant häufiger waren jedoch Legionellen $>1'000$ KBE/L an der Zapfstelle bei jenen Anlagen, welche sowohl eine warme Zirkulation als auch eine zentrale Temperaturbegrenzung aufwiesen (Fischer, $p=0.01$). Mit den fehlerhaften Kombinationen von Temperaturbegrenzung und warmer Zirkulation (siehe Abschnitt 3.4.2) der Anlagen 27, 30 und 47 wurde hier wohl auch eine Ursache für diesen Befund gefunden.

⁸ Bei optimalen Voraussetzung auf Grund der Planung und Installation erlaubt die SIA 385/1:2020 eine Temperaturreduktion der warm gehaltenen Verteilung von 55 °C auf 52 °C im Rücklauf, respektive als Temperatur welche ein Begleitheizband gewährleisten muss.



Zentraler Temperaturbegrenzer (Kaltwasserbeimischung nach Speicher)

- Keine Legionellen an Zapfstellen
- Legionellen <1'000 KBE/L an Zapfstellen
- Legionellen >1'000 KBE/L an Zapfstellen

10, 25 Zirkulation nur kurz aktiv

11, 36, 95 Zirkulationsbetrieb unklar, angegeben sind die gemessenen Temperaturen der WW-Leitungen

Abbildung 13: Zusammenfassung der Temperaturen der Zirkulation (Vor- und Rücklauf, teilweise zeitlich variabel), der Legionellenbefunde und der zentralen Temperaturbegrenzung bei Anlagen mit Zirkulation aus der Untersuchung 2019. Die Balkenlänge zeigt die Temperaturspannweite zwischen Vorlauf und Rücklauf. Objekt Nr. 27 ist in der oben aufgeführten Aufstellung nicht enthalten, weil in 2019 die Zirkulation nur jeweils für eine Stunde am Morgen und am Abend aktiv war

Interessant ist auch die Tatsache, dass in der Untersuchung von 2019 keine der 25 Anlagen mit warmer Zirkulation die in der SIA 385/1 geforderten 55 °C im Rücklauf eingehalten hat. Drei Anlagen (10, 42 und 90) halten die 52 °C im Rücklauf ein, welche unter idealen Voraussetzungen als erleichterte Bedingungen zulässig sind. Diese drei Anlagen waren alle frei von Legionellen an den Zapfstellen.

5.4 Rolle von VBNC und toten Legionellen

Aus dem Vergleich der unterschiedlichen Messmethoden und dem Verhältnis zwischen *L. pneumophila* Total- und Intaktzellen nach rqmicro Methode wurden Erkenntnisse über das Vorhandensein von toten oder VBNC Legionellen im System erwartet. Weil jedoch kein klarer Zusammenhang zwischen Intaktzellmessung nach rqmicro und Kulturmethode auftrat, ist die Interpretation dieser Resultate schwierig. Die beiden Anlagen mit den tiefsten Intaktzellzahlen wiesen beispielsweise in der Kulturmethode in einigen Proben einen erheblichen Befall an *L. pneumophila* auf. Weil bei den tiefen Intaktzellzahlen keine Übereinstimmung mit der Kulturmethode gefunden wurde, scheint es auch nicht

gerechtfertigt, aus Proben mit hohen Intaktzellzahlen und geringen Werten bei der Kulturmethode Schlüsse über das Vorhandensein von VBNC Legionellen zu ziehen. Es gab eine Anlage (Nr. 39) mit auffällig hohen Total- und Intaktzellzahlen nach rQmicro, jedoch keine Legionellen in der Kultur. Bei dieser Anlage wurden auch bei der Nachbeprobung mit der RT- und qPCR Methode Legionellen ohne Aktivität nachgewiesen. Daraus kann geschlossen werden, dass es in dieser Anlage wohl Legionellen gab, welche durch genügend hohe Temperaturen abgetötet oder inaktiviert wurden. Weil die Befunde nach der Kulturmethode alle negativ waren, kann von einem verminderten Gesundheitsrisiko ausgegangen werden. Ob diese inaktiven Legionellen trotz der negativen Resultate bei der Kulturmethode eine gewisse Gefahr für die Gesundheit darstellen, kann nicht abschliessend beurteilt werden. Hier wären Weiterentwicklungen bei der Detektion und Beurteilung von inaktiven Legionellen nötig.

6 Ausblick und Empfehlungen

Insgesamt bestätigen die Resultate dieser Studie, dass Anlagen mit oder ohne Solarwärmeeinbindung auch dann sicher betrieben werden können, wenn weder eine Legionellenschaltung programmiert ist noch der Wärmespeicher und die Verteilung auf 60 °C oder mehr eingestellt sind⁹. Insgesamt ergeben sich aus dieser Studie, sowie aus den im Jahr davor untersuchten 110 Objekten, die folgenden Parameter als wichtigste Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb der Anlagen bezüglich Legionellen:

- **An den Zapfstellen muss eine Temperatur von mindestens 50 °C regelmässig erreicht werden.** Dies entspricht auch den Vorgaben der SIA 385/1:2020. Eine Erhöhung dieser Temperatur scheint nicht nötig zu sein. Die Frage, ob ein **"zu viel" an Energiesparmassnahmen** das Legionellenrisiko erhöht, muss aus Sicht der Autoren ganz klar mit JA beantwortet werden. Wenn die Temperaturen im System so tief eingestellt werden, dass 50 °C an den Zapfstellen nicht oder nur selten erreicht werden können, so steigt die Gefahr einer Legionellenvermehrung.
- **Das Überprüfen, ob eine Temperatur von 50 °C an den Zapfstellen erreicht werden kann, ist relativ einfach** und kann von jedem Nutzer selber und ohne grossen Aufwand vorgenommen werden. Systeme, welche an den Zapfstellen die Temperatur von 50 °C häufig nicht erreichen, stellen ein Sicherheitsrisiko dar in Bezug auf das Vorkommen von Legionellen und es sollte in diesen Fällen zum eigenen Schutz Nachbesserungen am System veranlasst werden.
- **Wir empfehlen auf Grund von unseren Untersuchungen ein Vorspülen der Armaturen, Duschschläuche und Brausen vor der Nutzung.** In der Untersuchung 2020 waren Duschen, welche nicht oder lediglich kalt vorgespült wurden, signifikant häufiger von einer Kontamination mit Legionellen betroffen.
- Insgesamt ist, wie schon frühere Studien gezeigt haben, die **Wahrscheinlichkeit für Legionellen an den Zapfstellen höher in Systemen mit warmgehaltener Verteilung**, also in Systemen mit Warmwasserzirkulation oder Begleitheizbänder. Die Autoren dieses Berichts empfehlen deshalb, **bei kleinen Objekten und bei dezentralen Warmwassersystemen auf**

⁹ Siehe Annex C.

warmgehaltene Verteilungen zu verzichten¹⁰. Damit wird nicht nur das Legionellenrisiko vermindert, sondern auch in erheblichem Mass Energie gespart.

- Duschen mit Thermomischarmaturen scheinen häufiger von Legionellen betroffen zu sein als andere. Vermutlich verhindert der bei diesen Armaturen vorhandene Temperaturanschlag bei Duschtemperatur die Erhöhung der Temperatur in Armatur, Schlauch und Brause auf über 50 °C. Es ist zu empfehlen, **Thermomischarmaturen zumindest vor dem Duschvorgang mit über 50 °C heissem Wasser zu spülen**, und das Duschwasser während diesem Spülen unter Vermeidung von Aerosolbildung möglichst direkt dem Abfluss zuzuführen¹¹.
- **Im Bodenbereich** konventioneller Warmwasserspeicher wurden in den Untersuchungen von 2019 **häufig Legionellen gefunden**. Daher sind **knapp dimensionierte Warmwasser-Bereitschaftsvolumen**, welche regelmässig leergeduscht werden, **ebenfalls kritisch**¹².
- Durch die Resultate und Feststellungen dieser Untersuchung wurden aber auch Fragen aufgeworfen oder Punkte identifiziert, welche nicht abschliessend geklärt werden konnten.
- Überraschenderweise wurden im **Bodenbereich von Wärmespeichern**, welche nicht mit einer Solaranlage verbunden sind, häufiger Legionellen detektiert als in Speichern, welche über eine Solarwärmeeinbindung verfügen. Dies kann damit zu tun haben, dass die Beprobung der Speicher in den Wintermonaten stattfand und zu diesem Zeitpunkt der untere Speicherbereich der Solarspeicher zu kalt (<25 °C) für ein Legionellenwachstum war. Gleichzeitig lässt es ein generelles **Problem der häufig auch in gewöhnlichen Anlagen eingesetzten Speicher** erkennen: der unterste Speicherbereich erreicht über die internen Rohrwendel am Ende einer Speicherladung bei weitem nicht die Temperatur des oberen Speicherbereichs¹³. Hier stellt sich die Frage, ob das **Design von Wärmespeichern für die Trinkwassererzeugung nicht prinzipiell überdacht werden sollte**.
- In Systemen mit warmgehaltener Verteilung sind an allererster Stelle fehlerhafte warmgehaltene Leitungen als Legionellenrisiko zu nennen. In unseren Untersuchungen waren dies in zwei Fällen eine **fehlerhafte Kombination von zentraler Kaltwasserbeimischung¹⁴ mit dem Zirkulationsrücklauf**, in einem Fall ein **Heizband welches nicht die gewünschte Soll-Temperatur¹⁵ erreichte**, sowie in einem weiteren Fall eine **Schwerkraftzirkulation** mit unkontrollierbaren Zuständen und in der Folge zu tiefen Temperaturen. Auch ungenügend hoch eingestellte Temperaturen der warmgehaltenen Verteilung sowie Zirkulationssysteme, welche nur kurze Zeit am Tag betrieben werden, müssen als kritisch betrachtet werden. Es ist derzeit noch unklar, ob die in Feldstudien mehrfach festgestellte erhöhte Häufigkeit von Legionellen in

¹⁰ Es ist den Autoren bewusst, dass in grossen Objekten, zum Beispiel in Mehrfamilienhäusern mit mehreren Wohnungen oder in gemischten Liegenschaften, oft aus Komfortgründen nicht auf warm gehaltene Verteilung verzichtet werden kann.

¹¹ Zum Beispiel durch geringen Durchfluss und Duschkopf gegen die Wand oder die offene Hand gerichtet.

¹² Das System mit Elektroboiler, welches in den Untersuchungen von 2019 mit 260'000 KBE/L den höchsten Legionellenbefund in einer Duschwasserprobe erreichte, steht im Einklang mit früheren Befunden von Groothuis [11], Burger [12] und Tiefenbrunner [13], sowie der Auswertung der Daten von Harmuth [14] in der Literaturstudie LegioSafe [3] (S. 24).

¹³ zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch eine bereits ältere Studie von Alary und Joly [15].

¹⁴ zentraler Verbrühungsschutz, der vor allem dann installiert wird wenn die Speichertemperaturen höher als 65 °C sein können.

¹⁵ nach SIA 385/1:2020 mindestens 55 °C als Standard, 52 °C bei optimalen Voraussetzungen.

Systemen mit warmgehaltener Verteilung grösstenteils durch solche fehlerhaften Ausführungen oder Betriebsweisen erklärt werden kann.

- Die präsentierten Untersuchungen liefern starke Indizien, dass **ein bewusstes heisses Spülen von Armatur, Schlauch und Brause** vor dem Duschen ein wesentlicher Faktor für das Auftreten von Legionellen an den Duschentnahmestellen darstellt, insbesondere bei Anlagen mit ausreichenden Temperaturen in Speicher und Warmwasser-Verteilung. Eine genaue Empfehlung wie und wie oft gespült werden soll, kann jedoch aus den Untersuchungen nicht abgeleitet werden. Es stellt sich zum Beispiel die Frage, ob besser vor oder nach dem Duschen gespült werden soll, oder sowohl vor als auch nach dem Duschen. Auch die Frage, ob zusätzlich zu ganz heissem Spülen auch ein ganz kaltes Spülen empfohlen werden soll, bleibt unklar. Solange diese Fragen nicht geklärt sind, empfehlen die Autoren ein heisses Spülen jeweils VOR dem Duschvorgang. Diese Spülung sollte wohl etwas länger vorgenommen werden, wenn eine Dusche davor länger nicht benützt wurde. Die Tatsache, dass in selten benutzten Nebenduschen tendenziell weniger häufig Legionellen gefunden wurden als in Hauptduschen, wirft jedoch die Frage auf, ob ein regelmässiges Spülen auch *während* längeren Phasen der Nichtbenützung – was teilweise empfohlen wird – sinnvoll ist. Zur Klärung dieser Fragen wären nach Ansicht der Autoren weitere Untersuchungen notwendig¹⁶.
- Die Identifikation von VBNC-Legionellen im System hat sich als schwierig herausgestellt. Insbesondere wurden aus dem Vergleich der Messung von Intaktzellen mittels Durchflusszytometrie nach der Methode von rQmicro und der Kulturmethode Erkenntnisse über das Vorhandensein von VBNC-Legionellen erwartet. Weil diese beiden Methoden keine eindeutige Übereinstimmung aufwiesen (auch nicht für Proben, bei welchen aufgrund von verglichen Zwischen qPCR und Kultivierung keine Differenzen aufgrund von VBNC-Legionellen erwartet werden) wurde darauf verzichtet, Schlussfolgerungen zu ziehen. Es bleibt also weiterhin unklar, ob VBNC-Legionellen im System einen Einfluss auf eine Legionellenkontamination an der Zapfstelle haben. Weitere Untersuchungen und verbesserte Methoden wären nötig, um dieser Frage nachzugehen.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Legionellose (Legionärskrankheit) 2020.
- [2] SIA SN 385/1. Warmwasserversorgung für Trinkwasser in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen. Schweizerischer Ingenieur- Und Architektenverein 2011.
- [3] Haller M, Ruesch F. LegioSafe - Legionellensicherheit in thermischen Solaranlagen. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2019.
- [4] Rühling K, Rothmann R, Haupt L, Hoppe S, Löser J, Schreiber C, et al. EnEff: Wärme – Verbundvorhaben Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation - Koordinierter Schlussbericht des BMWi-Verbundvorhabens FKZ 03ET1234A-D. Dresden, Bonn, Mülheim, Kassel,; 2018.
- [5] Cunliffe D, Bartram J, Briand E, Chartier Y, Colbourne J, Drury D, et al. Water safety in buildings. WHO; 2011.
- [6] Blanc DS, Carrara Ph, Zanetti G, Francioli P. Water disinfection with ozone, copper and silver ions, and temperature increase to control Legionella: seven years of experience in a university

¹⁶ Siehe dazu auch die erst kürzlich in diesem Zusammenhang durch Rhoads und Hammes aufgeworfenen Fragen [16].

- teaching hospital. *Journal of Hospital Infection* 2005;60:69–72.
<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2004.10.016>.
- [7] Barna Z, Kádár M, Kálmán E, Scheirich Szax A, Vargha M. Prevalence of Legionella in premise plumbing in Hungary. *Water Research* 2016;90:71–8.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.004>.
- [8] Gavaldà L, Garcia-Nuñez M, Quero S, Gutierrez-Milla C, Sabrià M. Role of hot water temperature and water system use on Legionella control in a tertiary hospital: An 8-year longitudinal study. *Water Research* 2019;149:460–6. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.032>.
- [9] Leoni E, De Luca G, Legnani PP, Sacchetti R, Stampi S, Zanetti F. Legionella waterline colonization: detection of Legionella species in domestic, hotel and hospital hot water systems. *Journal of Applied Microbiology* 2005;98:373–9.
- [10] Stanke J. Untersuchung zur Besiedlung der Warmwassersysteme von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Legionellen. Dissertation. Westfälischen Wilhelms-Universität, 2005.
- [11] Groothuis DG. Niederlaendische Erfahrungen mit Legionellose-Ausbrüchen. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg* 1993;91-Legionellen II:59–68.
- [12] Burger H. Gerätetechnische Voraussetzungen für hygienische Trinkwassererwärmung. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg* 1993;91-Legionellen II:99–104.
- [13] Tiefenbrunner F. Zum Vorkommen von Legionellen in Trinkwasserversorgungsanlagen von Ein- und Zweifamilienhaeusern. *Schriftenr Ver Wasser Boden Lufthyg* 1993;91-Legionellen II:131–48.
- [14] Harmuth M. Untersuchungen über das Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen von Ein-und Zweifamilienhäusern. PhD Thesis. Westfälische Wilhelms-Universität, 2006.
- [15] Alary M, Joly JR. Risk factors for contamination of domestic hot water systems by legionellae. *Appl Environ Microbiol* 1991;57:2360–7.
- [16] Rhoads WJ, Hammes F. Growth of Legionella during COVID-19 lockdown stagnation. *Environmental Science: Water Research & Technology* 2021;7:10–5.
<https://doi.org/10.1039/D0EW00819B>.
- [17] matlab - statistics and machine learning toolbox. Mathworks; n.d.

Annex A Tabelle der Veränderungen von 2019 auf 2020

Tabelle 5 zeigt neben dem Vergleich der Höchstwerte der Legionellen in Duschproben der verschiedenen Objekte in 2019 und 2020 auch die Massnahmen, welche durch die Nutzer nach Erhalt der Analyseresultate durchgeführt wurden¹⁷. Die Farben geben die Grössenordnung der an der Dusche nachgewiesenen Legionellenkonzentration an.

Tabelle 5 Übersicht über die maximalen Legionellenkonzentrationen 2019 und der Erstbeprobung 2020 sowie von den Nutzern durchgeführte Massnahmen.

Nr. / ID	2019	2020_1	Massnahmen 2019						
			Tsp	LegSch	ZThM	TinfH	Vert	Dusche	Vorsp.
4	16'000		60/65		50	51→ 50		E DS ***	H,H
8	12'000		45/55		50→ 55	44→ 55		E DS	H
27	20'000	10'000	35/55→ 40/55		55→ 50**	49→ 40	Z 6-22		G,H
29	14'000		45/55		60	51→ 54		E DS ****	G,G
30	8'400	6'000	45/55→ 45/60		55→ 50	43→ 48	Z	R DS	-
31	8'000		55/65→ 60/70	w65	45→ 60	37→ 60		E A, DS	H,H
34	3'900		45/52→ 45/55	w65	-	49→ 52	Z		G,G
39	1'800	2'100	40/60→ 46/63		-	55→ 50	H	*	U,H
47	25'000	12'000	45/55		55→ 50	50→ 40	Z		K,H
57	14'000		45/50→ 50/55	w65	-	56→ 55			H,H
66	3'400		55/60→ 50/55		50→ 55	54→ 52		E A, DS	G,G
67	2'100		50/60	w65	50→ 55	52→ 48	Z	E DS	H,H
72	1'100	2'000	50/60→ 45/55*		50→ nix	51→ 52			H,H
79	260'000		55/60→ 60/70		-	54→ 56	H 0-24	E DS	H,H

Tsp	Temperatureinstellung Nachheizung Speicher 45/55 = 45 °C Ein, 55 °C Aus, -> = Änderung von 2019 auf 2020 * Neue Wärmepumpe und Warmwasserspeicher
LegSch	Legionellenschaltung w65 = wöchentlich auf 65 °C
ZThM	Zentraler Thermomischer, Einstellung in °C abgeschätzt, 2019 ->2020 ** Ersatz Mischer und Rückflussverhinderer
TinfH	Erreichbare Maximaltemperatur an der Hauptdusche, 2019->2020
Vert	Verteilung Z Zirkulation, neue Startzeit-Stopzeit H Begleitheizband, neue Startzeit-Stopzeit E Ersatz
Dusche	Duschen E Ersatz R Reinigung DS Duschschauch (2DS = zwei Duschschräuche) DB Duschbrause A Armatur *** Duschschauch Gästedusche bei Nichtgebrauch abgehängt und entleert **** Entfernung dezentrales Entkalkungsgerät
Vorsp.	Vorspülen (Hauptdusche, Gästedusche) H heiss K kalt G gemischt G, H gemischt in Hauptdusche, heiss in Gästedusche U unterschiedlich

¹⁷ Weitere durch das SPF durchgeführte Massnahmen zur individuellen Legionellenbekämpfung nach der Erstbeprobung im 2020 werden für alle Anlagen mit Legionellen in Annex B im Detail beschrieben.

Annex B Detaillierter Beschrieb der Objekte mit Legionellen 2020

Nur bei fünf Anlagen wurden 2020 noch Legionellen festgestellt. Diese Anlagen wurden näher untersucht und individuelle Massnahmen zur Legionellenbekämpfung festgelegt, eine statistische Auswertung war aber nicht möglich. Aus diesem Grund werden in diesem Abschnitt die einzelnen Objekte, deren Mängel und die Legionellenbefunde zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Detail beschrieben. Für jede Anlage wird der Zustand 2019 nochmals zusammengefasst, die neuen Massnahmen erläutert und die Resultate der Nachuntersuchung beschrieben. Eine detaillierte Beschreibung der Anlagen ohne Legionellen in der Nachuntersuchung 2020 findet sich im Anhang.

B.1 Objekt 27 (Gas & Solar)

2019: Bei Objekt 27 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1948 mit Warmwasseranlagen aus dem Jahr 2005 mit solarthermischer Unterstützung und Nachheizung über einen Gasbrenner. Die Anlage besitzt ein Zirkulationssystem, welches nur zweimal am Tag kurz betrieben wurde. Sowohl die Nebendusche als auch eine weitere Zapfstelle in einem Gewerberaum werden mit einer nicht warmgehaltenen Stichleitung bedient. Bei diesem Objekt wurden bei der Beprobung 2019 20'000 KBE/L (*L. anisa*) an der Nebendusche und 4'000 KBE/L im Speicherboden nachgewiesen. An der Hauptdusche konnten keine Legionellen nachgewiesen werden. Die Temperaturmessungen haben gezeigt, dass im Bereitschaftsvolumen regelmässig Temperaturen von 58 °C erreicht wurden. Während des Betriebs der Zirkulationspumpe wurde im Zirkulationssystem eine Temperatur von fast 55 °C erreicht. Während der Zirkulationspausen kühlte die Zirkulationsleitung regelmässig auf ca. 40 °C aus. Diese Temperatur wurde dann aber gehalten, so dass eine passive Zirkulation oder ein defektes Rückschlagventil vermutet wurde. Es wurde empfohlen, die Nebendusche regelmässig heiss zu spülen, die aktive Zirkulation durchgehend zu betreiben und die Rückflusssperre in der Zirkulationsleitung zu prüfen. Die Besitzer haben darauffolgend den Thermomischer mit integriertem Rückflussverhinderer ersetzt zu haben und die Zirkulation durchgängig von 6-22 Uhr zu betreiben.

2020: Wie schon 2019 wurden auch 2020 bei der Nebendusche kritische Legionellenkonzentrationen über 10'000 KBE/L (*L. anisa*) nachgewiesen. Dies bei der Erstbeprobung und nach einer leichten Erhöhung der Temperatur des zentralen Mischer¹⁸ auch bei der Zweitbeprobung.

Wie in Abbildung 14 gezeigt wird, wurde bei dieser Anlage im Jahr 2020 am Austritt Warmwasser Temperaturen von mehr als 60 °C während des Zirkulationsbetriebes erreicht. Die Temperaturen nach dem Thermomischer, im Rücklauf der Zirkulation, aber ebenfalls im Speicherboden und im kalten Zulauf zum Mischer stiegen im Zirkulationsbetrieb auf ca. 55 °C. Weil die Hauptdusche nicht betroffen war und die Temperaturen in Zirkulationssystem meist ausreichend hoch waren, wurde eine Kontamination der nicht warmgehaltenen Stichleitung zur Nebendusche vermutet. Daher wurde vereinbart, die Nebendusche täglich heiss zu spülen. Da die Nachbeprobung im Warmwasser immer noch Legionellen (2'000 KBE/L) ergab, wurde die hydraulische Einbindung der Zirkulation genauer analysiert. Dabei wurde festgestellt, dass:

1. eine Verbindung von Zirkulationsrücklauf zum kalten Eintritt des Thermomischer fehlte,
2. der Thermomischer trotz der hohen Temperaturen am Austritt während der Zirkulation eine sehr tiefe Einstellung aufwies.

¹⁸ Die Temperatureinstellung kann bei diesem Mischer zwar verstellt, ein Wert für die Temperatureinstellung aber nicht abgelesen werden.

Auf Grund der fehlerhaften Hydraulik der Einbindung des Zirkulationsrücklaufs wurde dieser über das ganze untere Speichervolumen und über den Kaltwasseranschluss zum Thermomischer geführt. Auf diese Weise wurde einerseits der gesamte Speicher und das Zirkulationssystem auf 55 °C erwärmt (siehe Abbildung 15, links), andererseits konnte am Austritt des Thermomischer keine Temperatur unter 55 °C erreicht werden, da diese Temperatur auch am Kaltwassereintritt nicht unterschritten wurde. Nur während der Zapfungen wurde Kaltwasser zum Thermomischer geführt und durch die zu tiefe Einstellung eine Temperatur von lediglich ca. 45 °C erreicht. Während der Projektlaufzeit konnte eine korrekte Einbindung der Zirkulation nicht mehr realisiert werden. Der Besitzer hat aber eine thermische Desinfektion der Leitungen (Spülung der Leitungen mit ca. 70 °C) durchgeführt. Die darauffolgenden zwei Warmwasserproben waren beide negativ. Während der Projektdauer konnte aber nicht geprüft werden, ob die Legionellen auch nachhaltig eliminiert worden sind. In Anbetracht der nach wie vor fehlerhaften Installation darf dies bezweifelt werden.

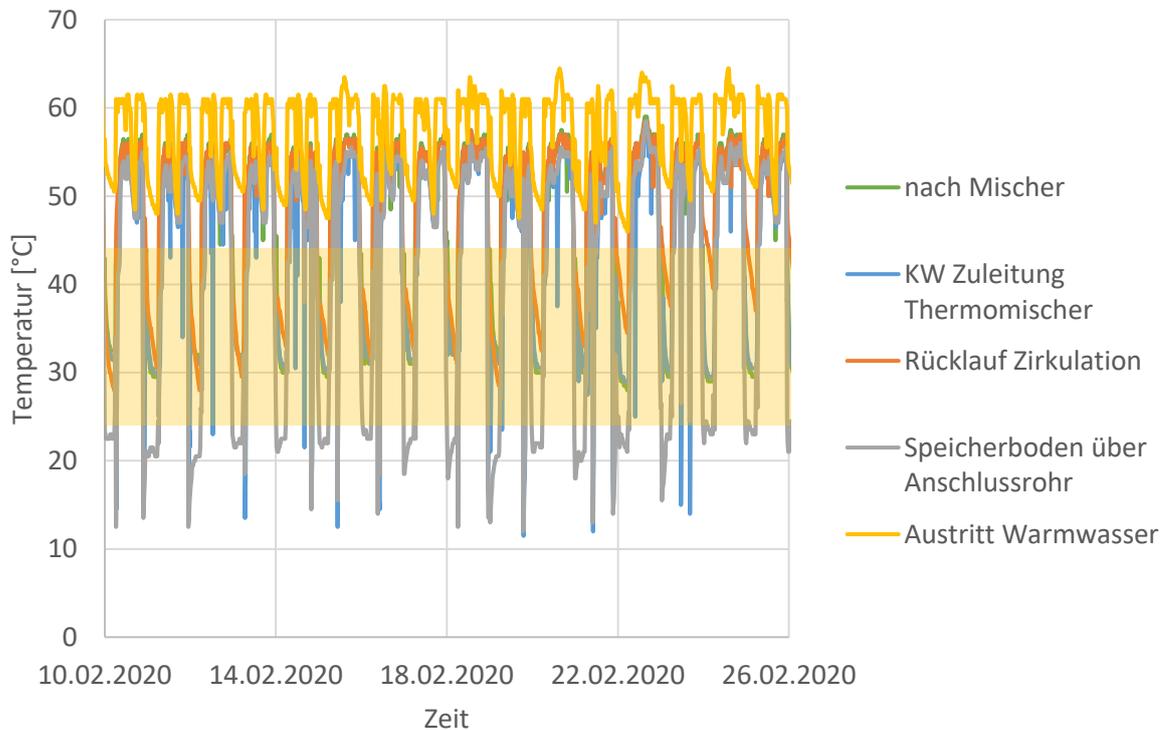


Abbildung 14: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 27 im 2020.

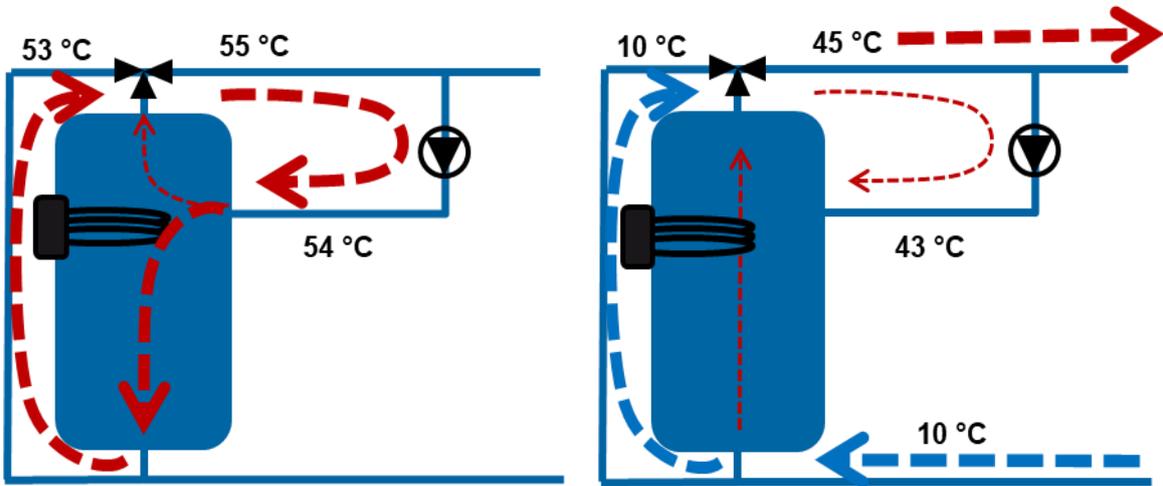


Abbildung 15: Fehlströmungen bei einer Einbindung ohne Verbindung des Zirkulationsrücklaufes zum Mischer (links: Zirkulationsbetrieb): Das gesamte untere Speichervolumen wird erwärmt. Während der Zapfung (rechts) wurden, wegen einer tiefen Einstellung des Mischers, nur tiefe Temperaturen erreicht.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Befunde, gefundenen Probleme und umgesetzten Massnahmen aus den Beprobungen 2019 und 2020.

Befunde 2019					
Hauptdusche WW		Hauptdusche MW		Nebendusche MW	
<100 KBE/L		<100 KBE/L		20'000 KBE/L	
Speicherboden					
4'000 KBE/L					
Probleme 2019					
<ul style="list-style-type: none"> Nur sehr selten benutzte Nebendusche Lange Pausen des Zirkulationssystems, bei denen die Temperatur auf kritische 40°C absinkt Funktionalität des Mischers/Rückschlägers unklar. Eine passive Zirkulation während des Stillstandes der Zirkulationspumpe wurde vermutet. 					
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:					
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz von Thermomischer und Rückschlagventil Zirkulation von 6-22 Uhr durchgehend betrieben 					
Befunde 2020					
Hauptdusche WW		Hauptdusche MW		Nebendusche MW	
<100 KBE/L		<100 KBE/L		10'000 KBE/L	
Vom SPF umgesetzte Massnahmen während der Erstbeprobung/Zweitbegehung:					
<ul style="list-style-type: none"> Weil die Temperatur im Zirkulationsrücklauf beinahe 55 °C erreichte, wurde die Mischereinstellung lediglich leicht erhöht. Die Funktionsweise des Mischers während der Zapfung wurde nicht kontrolliert. 					
Befunde 2020 - Erstbeprobung					
Hauptdusche			Nebendusche		
MW	WW	KW	MW	WW	KW
100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	16'000 KBE/L	22'000 KBE/L	4'000 KBE/L

Vom Besitzer umgesetzte Massnahme:			
<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Mischertemperatur (genauer Wert konnte nicht ermittelt werden) • Tägliches Spülen der Nebendusche mit Warmwasser 			
Befunde 2020: Zweitbeprobung			
Hauptdusche		Nebendusche	
MW	MW	WW	KW
400 KBE/L	<100 KBE/L	2'000 KBE/L	<100 KBE/L
Vom Besitzer umgesetzte Massnahme:			
<ul style="list-style-type: none"> • Thermische Desinfektion mit ca. 70 °C • Tägliches Spülen der Nebendusche mit Warmwasser 			
Befunde 2020: Drittbeprobung			
Hauptdusche		Nebendusche	
MW	MW	WW	KW
<100 KBE/L	-	<100 KBE/L	-

B.2 Objekt 30 (Solar & Heizöl)

2019: Bei Objekt 30 handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit einer Warmwasserbereitstellung mit Solarthermie und Heizöl (500 L Boiler, 4 m² Solarkollektoren). Die Leitungen werden über eine Schwerkraftzirkulation warmgehalten. Obwohl die Ausschaltung der Nachheizung auf 55 °C eingestellt war, wurden in der Verteilung nur sehr tiefe Temperaturen erreicht. Die maximal erreichte Zapftemperatur lag lediglich bei 43.5 °C. Die mangelhaft funktionierende Schwerkraftzirkulation führte zu ständigen Temperaturen im gesamten Zirkulationssystem unter 50 °C (selbst bei einer Zapfung). Zwischen den Zapfungen lagen die Temperaturen bei ca. 36 °C, also nahe am Optimum des Legionellenwachstums. Die Hauptdusche war im 2019 mit 6'900 KBE/L und 8'400 KBE/L (Warm- und Mischwasser) betroffen, der Speicherboden mit 3'600 KBE/L. Die Spezies war *L. pneumophila*. Eine Nebendusche ist nicht vorhanden.

Die tiefen Temperaturen und das fehlerhafte Zirkulationssystem wurden als mögliche Ursachen für die Kontamination identifiziert. Es wurde empfohlen, die Speichertemperaturen zu erhöhen und eine Zwangszirkulation mit der Pumpe einzurichten, oder diese zu entfernen.

2020: Seit 2019 wurde die Temperatureinstellungen geprüft und die elektrische Nachheizung des Speichers auf 55 °C Dauerbetrieb gestellt. Zusätzlich wurden Duschbrause und Duschschlauch gereinigt. In Abbildung 16 werden die Temperaturmessungen aus der Untersuchung von 2020 gezeigt. Dabei haben sich, gegenüber der Messung von 2019, alle Temperaturen um ca. 7 °C erhöht. Auch hier war die Temperatur am Anschluss für den Zirkulationsrücklauf meist höher als beim Speicheraustritt, was auf eine Schwerkraftzirkulation in umgekehrter Richtung hindeutet. Am Anfang der gezeigten Messperiode lag die Speicheraustrittstemperatur zeitweise aber über der Temperatur am Zirkulationsrücklauf. Dies deutet auf eine sich periodisch ändernde Flussrichtung in der Schwerkraftzirkulation. Bei beiden Flussrichtungen wurden Temperaturen von lediglich ca. 55/45 °C erreicht. Auch nach der Temperaturerhöhung wurden im Jahr 2020 wieder Legionellen festgestellt (WW

37 °C: 6'000 KBE/L, MW: 4'000 KBE/L, *L. pneumophila*). Weil die Besitzer keine Änderungen der Hydraulik wünschten, konnte bei der Zweitbegehung/Erstbeprobung durch das SPF keine Massnahmen durchgeführt werden. Die Besitzer haben aber angegeben, den Duschschauch ersetzt und die Duschbrause gereinigt zu haben. Danach konnten bei der Zweitbeprobung/Drittbegehung weder im Misch-, Warm- oder Kaltwasser Legionellen festgestellt werden (<100 KBE/L). Daher wurde eine periphere Kontamination vermutet und angenommen, dass das zentrale System (Speicheraustritt und Zirkulation) im Jahr 2020 nicht oder nicht mehr befallen war.

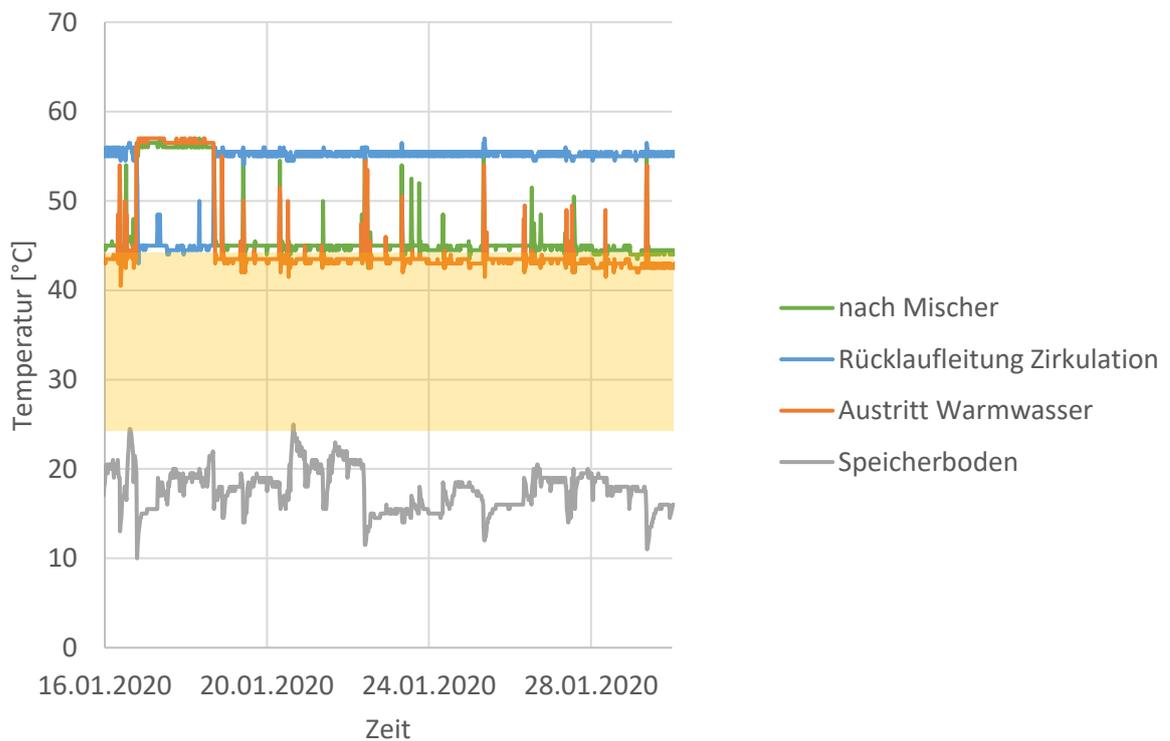


Abbildung 16: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 30 im 2020.

Tabelle 11 Zusammenfassung der Befunde, gefundenen Probleme und umgesetzten Massnahmen aus den Beprobungen 2019 und 2020.

Befunde 2019		
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Speicherboden
6'900 KBE/L	8'400 KBE/L	3'600 KBE/L
Probleme 2019		
<ul style="list-style-type: none"> • Tiefe Temperaturen im Speicher, Funktionsweise der Nachheizung fraglich • Fehlerhafte Schwerkraftzirkulation • Die Temperatur im WW-Verteilnetz meist bei ca. 36°C. 		

Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • Duschschauch und Brause gründlich gereinigt • Die elektrische Nachheizung geprüft und auf 55° C Dauerbetrieb gestellt 		
Befunde 2020: Erstbeprobung		
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	
6'000 KBE/L	4'000 KBE/L	
Vom SPF umgesetzte Massnahmen während der Erstbeprobung/Zweitbegehung:		
<ul style="list-style-type: none"> • Vom SPF wurden keine Massnahmen durchgeführt, weil der Besitzer die Temperaturen nicht erhöhen und die Schwerkraftzirkulation beibehalten möchte. 		
Vom Besitzer weitere umgesetzte Massnahmen:		
<ul style="list-style-type: none"> • Duschschauch ersetzt • Duschbrause gereinigt 		
Befunde 2020: Zweitbeprobung		
Hauptdusche MW	Hauptdusche WW	Hauptdusche KW
<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L

B.3 Objekt 39 (Gas & Solar)

2019: Bei Objekt 39 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1989, wobei im Jahr 2006 einige Änderungen am Warmwassersystem vorgenommen wurden. Das Warmwasser wurde mit Solarthermie und Erdgas in einem 500 L Boiler erzeugt. Unabhängig vom Warmwasser wurde Raumwärme auch mit Holz erzeugt. Bei diesem Objekt wurde die Leitung vom Boiler zum Warmwasserverteilerbalken durch ein Elektroheizband warmgehalten. Die warmgehaltene Leitung war wärmeisoliert, der Verteilerbalken und die nachfolgenden Stichleitungen jedoch nicht mehr. So konnte letztere nach einer Zapfung schnell auf weniger als 20 °C abkühlen, weil gegenüber der warmgehaltenen Leitung ein Thermosiphon besteht. Am Verteilerbalken wurden nur selten und kurz Temperaturen von mehr als 50 °C erreicht.

Bei dieser Anlage wurden 2019 an der Hauptdusche 1'000 resp. 100 KBE/L bestimmt, an der Nebendusche 1'800 KBE/L und im Speicherboden 3'600 KBE/L (*L. pneumophila*).

Bei dieser Anlage wurde empfohlen, die Temperaturen und im Speziellen die Einschalttemperatur für die Nachheizung zu erhöhen. Zudem wurde empfohlen, die Funktion des Heizbandes zu überprüfen.

2020: Die Besitzer haben angegeben, die Ausschalttemperatur um 5 K auf 60 °C erhöht und die Funktionalität der elektrischen Begleitheizung/Warmhaltung geprüft zu haben. In Abbildung 17 wird gezeigt, dass dadurch die Temperatur am Warmwasseraustritt regelmässig über 60 °C lag und nur in Ausnahmefällen unter 50 °C fiel. Am Verteiler wurden aber, ähnlich wie im Jahr 2019, lediglich sehr selten Temperaturen über 50 °C gemessen. Zusätzlich wurde die Nebendusche jeweils vor Gebrauch heiss gespült und die Duschschräuche bei längerem Nichtgebrauch abgehängt und entleert.

Trotz hoher Temperaturen wurden 2020 bei diesen Anlagen wieder Legionellen (*L. pneumophila*) detektiert. Dies sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Beprobung. Aufgrund der hohen Temperatureinstellungen und der angekündigte Massnahmen durch den Besitzer wurden nach der Erstbeprobung vom SPF keine Massnahmen durchgeführt. Bei einer zusätzlichen Begehung und Überprüfung der Anlagewurde festgestellt, dass das elektrische Begleitheizband zwar grundsätzlich funktionierte, jedoch lediglich eine Temperatur von 45.5 °C erreichte. Die Besitzer haben den warmgehaltenen Rohrabschnitt daraufhin entfernt und stattdessen eine thermische Siphonierung des Warmwasserabgangs am Speicher installiert. Danach konnten keine Legionellen mehr festgestellt werden. Bei dieser Anlage deuten hohe Werte der Durchflusszytometrie und der PCR Methode (wobei bis auf eine Ausnahme keine Vermehrung festgestellt wurde) auf tote oder inaktivierte Legionellen im System hin.



Abbildung 17: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 39 im 2020.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Befunde, gefundenen Probleme und umgesetzten Massnahmen aus den Beprobungen 2019 und 2020.

Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden		
1'000 KBE/L	<100 KBE/L	1'800 KBE/L	3'600 KBE/L		
Probleme 2019					
<ul style="list-style-type: none"> Die Warmwassertemperatur im Boiler liegt teilweise unter 50 °C Die Temperatur im WW-Verteilbalken steigt selten auf über 50 °C 					
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:					
<ul style="list-style-type: none"> Die Nachheizung des Boilers wurde um 5 °C erhöht auf 60 °C Die Funktionalität des elektrischen Haltebands der WW-Leitung wurde elektrisch überprüft Die Nebendusche wird jeweils vor Gebrauch mit Warmwasser gespült Der Duschschauch wird bei Nichtgebrauch entleert und abgehängt 					
Befunde 2020 - Erstbeprobung:					
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden		
<100 KBE/L	<100 KBE/L	2'100 KBE/L	Nicht beprobt		
Vom SPF umgesetzte Massnahmen während der Erstbeprobung/Zweitbegehung:					
<ul style="list-style-type: none"> Weil die Temperatur gemäss Besitzerangaben bereits erhöht wurde, wurden vom SPF während der Zweitbegehung/Erstbeprobung keine Massnahmen durchgeführt. Somit dienen die Beprobungen der Zweitbeprobung/Drittbegehung lediglich der Identifikation der Ursache/Quelle der Kontamination. 					
Befunde 2020 - Zweitbeprobung					
Hauptdusche			Nebendusche		
MW	WW	KW	MW	WW	KW
500 KBE/L	2'000 KBE/L	<100 KBE/L	300 KBE/L	8'000 KBE/L	<100 KBE/L
Vom Besitzer umzusetzenden Massnahmen: (ab 04.06.2020)					
<ul style="list-style-type: none"> Ersatz der warmgehaltenen Leitung Siphonierung Warmwasserabgang zu Speicher 					
Befunde 2020 - Drittbeprobung					
Hauptdusche MW	Hauptdusche WW	Nebendusche MW	Nebendusche WW		
<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L		

B.4 Objekt 47 (Gas und Solar)

2019: Bei Objekt 47 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1978 mit einer thermischen Solaranlage aus dem Jahr 2005. Zur Unterstützung der Solaranlage wurde Gas eingesetzt. Das Objekt verfügte über ein für ein Einfamilienhaus weit verzweigtes Zirkulationssystem mit drei Duschen (zwei Badezimmer und ein Schwimmbad).

An der am häufigsten benutzten Dusche (Schwimmbaddusche) wurden 2019 in der ersten Probe (nur Warmwasser) 500 KBE/L bestimmt. Später konnte bei einer Mischprobe an dieser Stelle keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Bei den weniger oft benutzten Badezimmerduschen wurden hingegen 25'000 KBE/L (*L. pneumophila* + *L. anisa*) und 4'100 KBE/L (*L. pneumophila*) nachgewiesen (beides Mischproben). Im Speicherboden konnten keine Legionellen nachgewiesen werden. Bei dieser Anlage wurde bereits im Jahr 2019 eine zweite Beprobung durchgeführt, um die Kontamination genauer lokalisieren zu können. Dabei wurde sowohl im Warmwasser, aber vor allem auch im Kaltwasser Legionellen gefunden, so dass mehrere Ursachen oder Herde vermutet wurden. Weil die höchste Kontamination im Kaltwasser gefunden wurde, und die Erneuerung dieser Leitungen einen beträchtlichen baulichen Aufwand bedeutet hätte, wurden von den Besitzern keine Massnahmen durchgeführt.

2020: Diese Anlage wies auch bei der Beprobung 2020 Legionellen auf (siehe Tabelle 8). Die Temperaturen im Zirkulationsrücklauf erreichten knapp 50 °C (siehe Abbildung 19). Die Bewohner meldeten auch nur knapp ausreichende Warmwassertemperaturen und zu warme Kaltwassertemperaturen. Daher wurde vor der Zweitbeprobung eine zusätzliche Begehung der Anlagen und Analyse der hydraulischen Einbindung durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass in der Zirkulationsleitung Rückschlagventile fehlen oder nicht funktionieren. Dadurch wurde während der Zapfung ein Teil des Warmwassers über den Zirkulationsrücklauf in verkehrter Richtung angesogen und mit Kaltwasser vermischt. Somit wurde während längerer Zapfungen Warmwassertemperaturen von lediglich knapp 40 °C an den Zapfstellen erreicht, obschon die Temperaturen an Speicheraustritt und im reinen Zirkulationsbetrieb höher lagen (Darstellung in Abbildung 18).

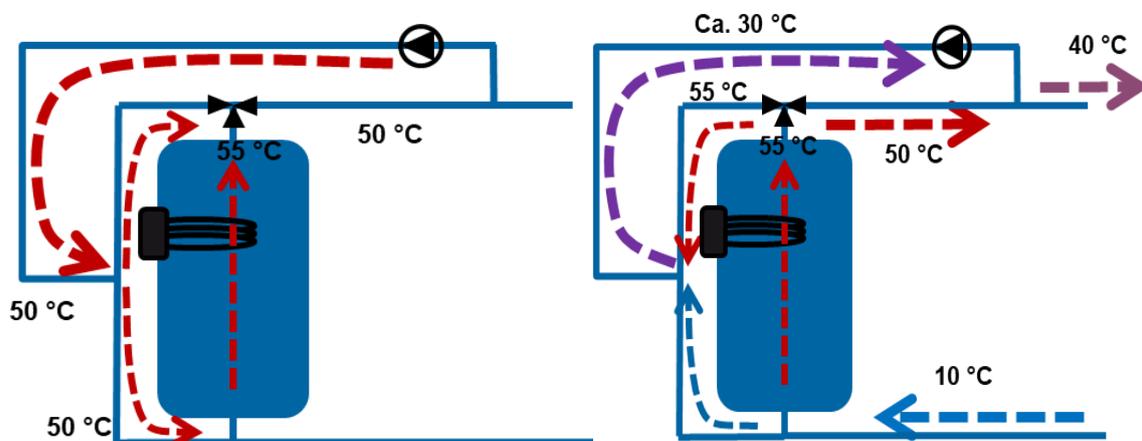


Abbildung 18: Darstellung der Flussrichtungen und Temperaturen bei Anlage 47 im Zirkulationsbetrieb (links) und mit Durchfluss entgegen der Zirkulationsrichtung bei einer Zapfung (rechts).

Weil der Einbau zusätzlicher Rückschläger im Zirkulationssystem vor der Zweitbeprobung abgewartet wurden und die Covid-19 Pandemie zu weiteren Verzögerungen führte, konnte die Zweitbeprobung dieser Anlage erst im Juni 2020 durchgeführt werden. Diese ergab nur noch geringe Konzentrationen von 300 KBE/L oder Befunde unter der Nachweisgrenze. Es kann aber nicht beurteilt werden, ob die umgesetzten Massnahmen zu dieser Reduktion geführt haben, oder, ob diese durch die Solarerträge im Juni und die dadurch bedingten hohen Temperaturen im System herbeigeführt wurde (siehe Abbildung 20). Bei der Installation der zusätzlichen Rückflussverhinderer am 4. Juni wurden die meisten Temperaturmessknöpfe verschoben und entfernt, so dass danach lediglich die Messung der Bereitschaftstemperatur ("Speicher Oben") aussagekräftig blieb. Erstaunlicherweise waren auch die Befunde im Kaltwasser im Gegensatz zur Untersuchung von 2019 negativ, obwohl an den Kaltwasserleitungen keine Änderungen oder andere Massnahmen durchgeführt wurden.

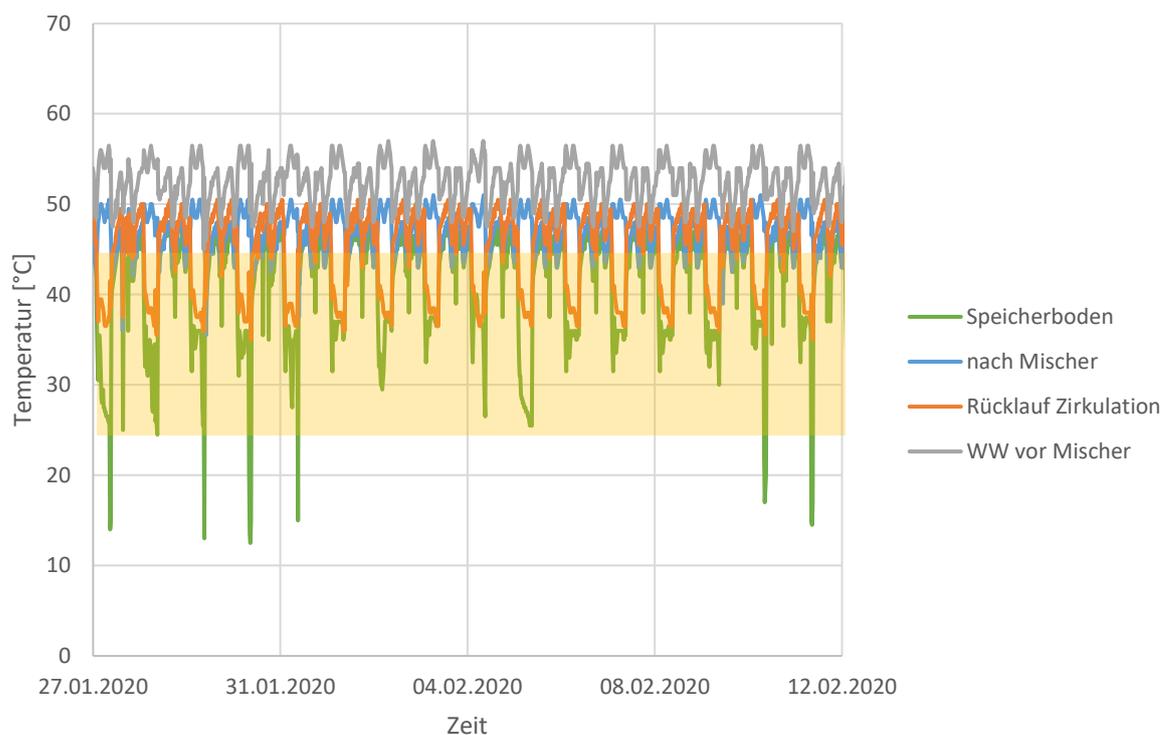


Abbildung 19: Gemessene Temperaturverläufe beim Objekt 47 in 2020 vor durchgeführten Massnahmen.

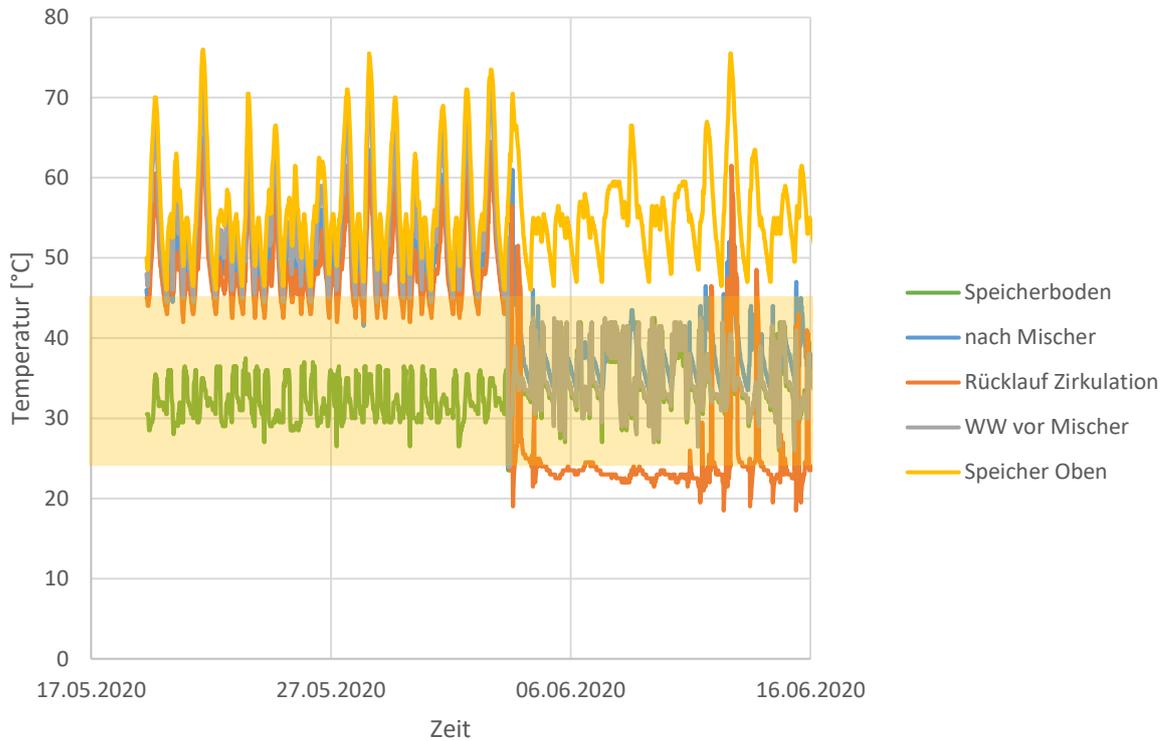


Abbildung 20: Gemessene Temperaturverläufe beim Objekt 47 vor der Zweitbeprobung. Der Installateur hat die Temperaturknöpfe (bis auf den zusätzlichen Knopf Speicher Oben) bei der Installation der zusätzlichen Rückschläger Anfang Juni entfernt

Tabelle 8: Zusammenfassung der Befunde, gefundenen Probleme und umgesetzten Massnahmen aus den Beprobungen 2019 und 2020.

Befunde 2019				
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche 1	Nebendusche 2	Speicherboden
500 KBE/L	<100 KBE/L	25'000 KBE/L	4'100 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019				
<ul style="list-style-type: none"> • Kaltwasser zu warm und Kaltwasserleitung betroffen. • Weit verzweigtes Zirkulationssystem. Rücklauftemperaturen von 55 °C konnten im Betrieb nicht erreicht werden. • Nur Schwimmbaddusche wird täglich verwendet 				
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:				
<ul style="list-style-type: none"> • keine 				
Befunde 2020 - Erstbeprobung				
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW		Nebendusche 2 MW	
12'000 KBE/L	10'000 KBE/L		900 KBE/L	

Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:					
<ul style="list-style-type: none"> • Einbau zusätzlicher Rückschläger in der Zirkulationsleitung • Häufig Temperaturen von mehr als 60 °C im ganzen System bedingt durch Solareintrag 					
Befunde 2020 - Zweitbeprobung (nach Umsetzung von hydraulischen Massnahmen und nach Covid-Lockdown erst im Juni)					
Hauptdusche			Nebendusche		
MW	WW	KW	MW	WW	KW
300 KBE/L	300 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L

B.5 Objekt 72 (Heizöl, ersetzt durch Wärmepumpe)

2019: Bei Objekt 72 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1971 mit ursprünglichem Warmwasserverteilsystem. Das Warmwasser wurde mit Heizöl nachgeheizt, wobei das Alter und auch das Volumen des Boilers nicht bekannt war. Es handelte sich aber um einen eher kleinen, liegenden Boiler, welcher mit dem Ölkessel eine Einheit bildete. Das Gebäude hatte drei Duschen.

2019 erreichte das Bereitschaftsvolumen regelmässig Temperaturen von knapp über 50 °C, fiel aber auch manchmal auf unter 40 °C. Die maximale Temperatur an der Zapfstelle betrug damals 51.5 °C.

Bei diesem Objekt wurde an allen Zapfstellen Legionellen festgestellt, wobei die Konzentrationen nur einmal knapp über dem Grenzwert bei 1'100 KBE/L (*L.pneumophila*) lagen. Bei einer Zweitbeprobung 2019 wurden ähnliche Resultate erhoben, weil trotz Empfehlungen keine Massnahmen ausgeführt wurden. Mit den Zweitproben konnte aber gezeigt werden, dass die Legionellen aus den Warmwasserleitungen und nicht aus den Kaltwasserleitungen stammen.

Es wurde eine Erhöhung der Bereitschaftstemperatur und ein regelmässiges Spülen der Leitungen, Armaturen und Duschschräuche empfohlen.

2020: Im Juni 2019 wurde die Ölheizung durch eine Luft-/Wasser-Wärmepumpe ersetzt. In diesem Zusammenhang wurde auch der Warmwasserspeicher ersetzt. Die Nachheizung des Warmwassers wurde seit Juni 2019 via WP von 45 °C auf 55 °C betreiben, wobei die Wärmepumpenrücklauf-temperatur und nicht die gemessenen Warmwassertemperatur im Speicher als Ausschaltkriterium diente. Der eingebaute Elektroersatz wurde bewusst noch nicht aktiviert. Wie die Messung am Warmwasseraustritt (siehe Abbildung 21) zeigt, wurde bei Zapfungen regelmässig Temperaturen von knapp über 50 °C erreicht. Dies wird auch durch die gemessene Maximaltemperatur an der Zapfstelle von 52 °C bestätigt. Die Temperatur am Warmwasseraustritt fällt aber in der Nacht auch auf ca. 45 °C. Bei der Erstbeprobung wurden Kontaminationen von bis zu 1'000 KBE/L festgestellt, aber keine Massnahmen durch das SPF durchgeführt, weil zu diesem Zeitpunkt noch keine neuen Temperaturmessdaten vorlagen und wegen des Heizungersatzes nicht von den Messungen 2019 und den rapportierten Massnahmen auf den Betrieb geschlossen werden konnte. Somit diente die Zweitbeprobung/Drittbegehung der genaueren Lokalisierung der Kontaminationsherde und nicht der Überprüfung von umgesetzten Massnahmen, es wurden einmal 2'200 KBE/L festgestellt. Daraufhin wurde die elektrische Nachheizung in der Nacht auf 55 °C eingeschaltet und der Warmwasserabgang am Speicher siphoniert. Dadurch haben sich die Temperaturen am Warmwasserabgang (vor dem

Thermosiphon) erhöht (siehe Abbildung 22). Bei einer Nachbeprobung konnten keine Legionellen mehr festgestellt werden.

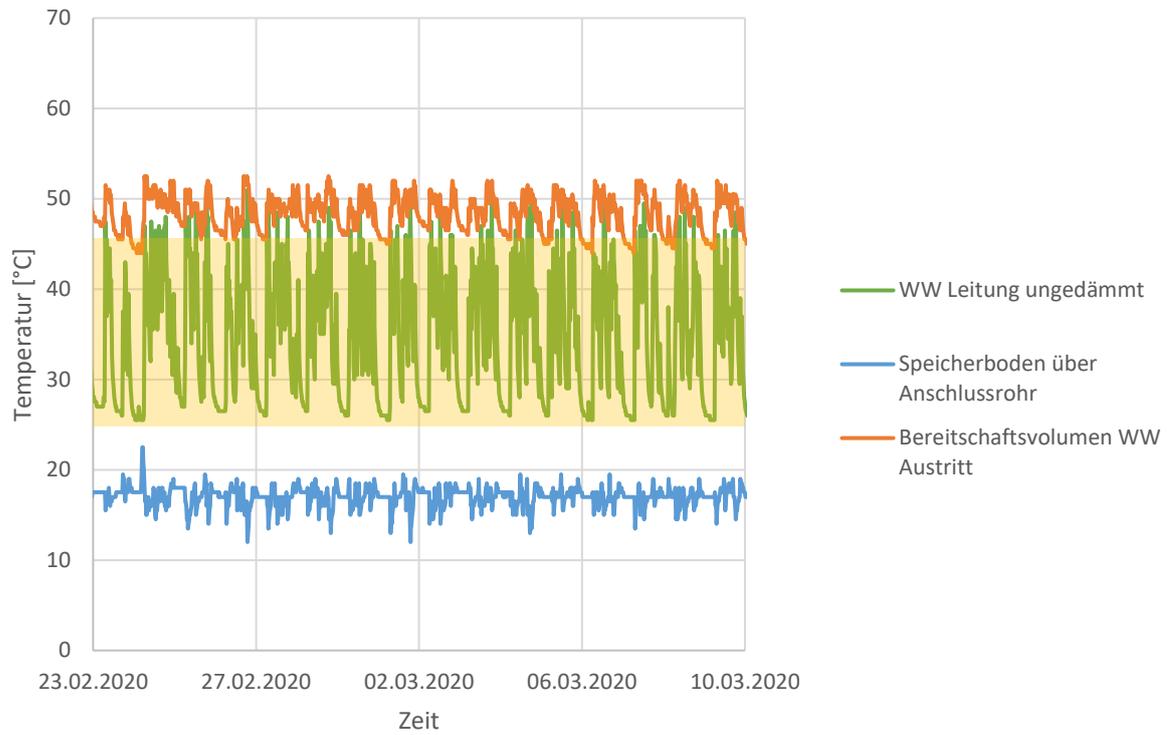


Abbildung 21: Messung der Temperaturverläufe bei Objekt 72 ohne Massnahmen.

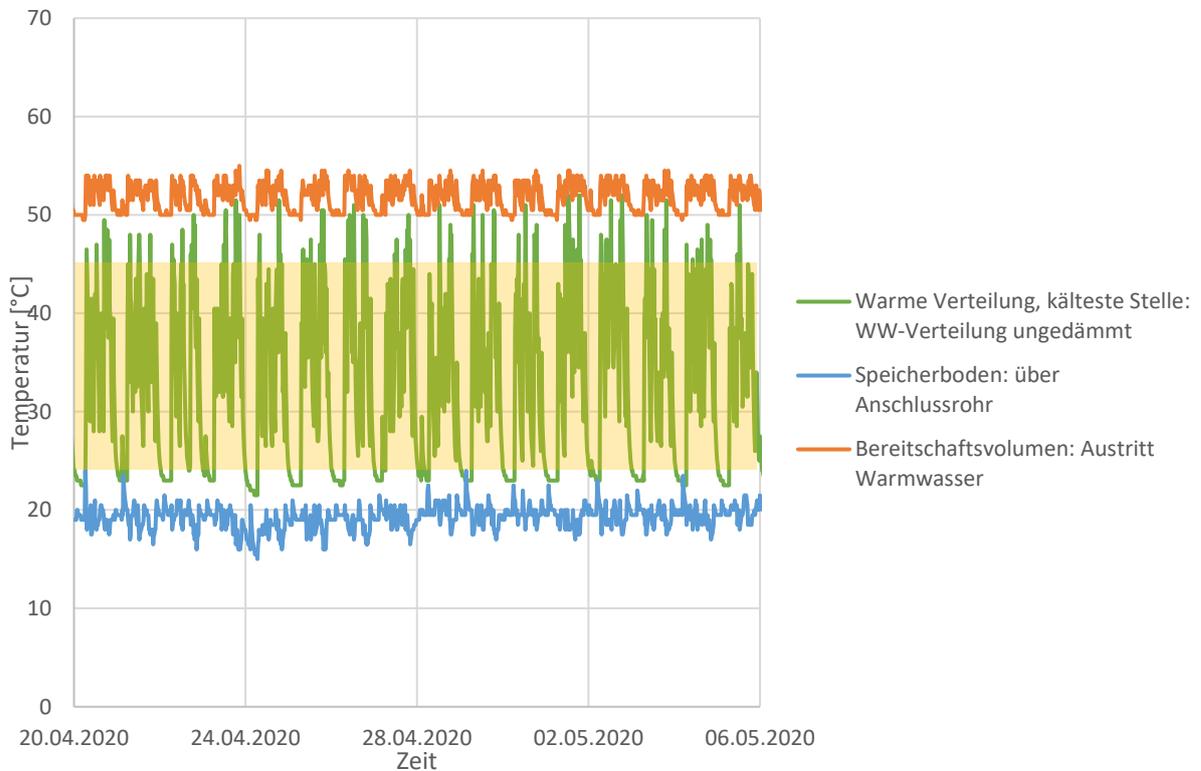


Abbildung 22: Messung der Temperaturverläufe bei Objekt 72 nach einschalten der elektrischen Zusatzheizung.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Befunde, gefundenen Probleme und umgesetzten Massnahmen aus den Beprobungen 2019 und 2020.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
700 KBE/L	600 KBE/L	1'100 KBE/L	<100 KBE/L
Hauptdusche WW	Hauptdusche KW	Nebendusche WW	Nebendusche KW
1'000 KBE/L	<100 KBE/L	600 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatur im Speicher nur manchmal knapp über 50 °C und fällt regelmässig auf ca. 40 °C. • Ein regelmässiges Spülen der Leitungen, Armaturen und Duschschräuche wurde empfohlen. • Die Legionellen stammen aus den Warmwasser (Kaltwasser wurde ausgeschlossen) 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz des Boilers wie auch der Heizung im Juni 2019 • Regelmässige Reinigung und Spülung der Duschbrausen und Schläuchen mit WW • Schlauch der Nebendusche wird bei Nichtgebrauch jeweils abgehängt und entleert 			

Befunde 2020 - Erstbeprobung					
Hauptdusche WW		Hauptdusche MW		Nebendusche MW	
1'000 KBE/L		600 KBE/L		<100 KBE/L	
Vom SPF umgesetzte Massnahmen während der Erstbeprobung/Zweitbegehung:					
<ul style="list-style-type: none"> Durch den Heizungsersatz konnten keine Massnahmen aus den Messdaten 2019 und den erfolgten Anpassungen abgeleitet werden. Weil auch die Ausschalttemperatur der Nachheizung bei 55 °C lag wurden keine Massnahmen durch das SPF durchgeführt. Die Zweitbeprobung/Drittbegehung diente daher ausschliesslich der genaueren Identifikation der Kontaminationsorte. 					
Befunde 2020 - Zweitbeprobung					
Hauptdusche			Nebendusche		
MW	WW	KW	MW	WW	KW
2'000 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	2'200 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen					
<ul style="list-style-type: none"> Siphonierung des Warmwasserabgangs am Speicher Einschalten der elektrischen Zusatzheizung auf 55 °C in der Nacht 					
Befunde 2020 Nachbeprobung					
Hauptdusche			Nebendusche		
MW	WW	KW	MW	WW	KW
<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L

Annex C Detaillierter Beschrieb der Objekte ohne Legionellen 2020

In diesem Abschnitt werden die Massnahmen der Objekte beschrieben, bei denen 2020 mit dem Kulturverfahren (nach ISO 11731:2017) keine Legionellen mehr nachgewiesen werden konnten. Der Anlagenbeschrieb und die Resultate von 2019 werden hier nochmals zusammengefasst, ein ausführlicher Beschrieb der Anlagen mitsamt den Temperaturverläufen welche im Jahr 2019 erhoben wurden, kann im Schlussbericht des Projekts LegioSafeCheck nachgelesen werden.

C.1 Objekt 4 (Gas & Solar)

Bei dieser Anlage handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1982 mit einer solarthermischen Warmwasseranlage, welche durch einen Gasbrenner unterstützt wird. Die WW-Leitungen werden nicht warmgehalten, d.h. es ist weder ein elektrisches Halteband noch eine WW-Zirkulation verbaut. In diesem Objekt konnten 2019 zwar im Speicher immer wieder Temperaturen über 60 °C festgestellt werden, nach dem zentralen Mischer überstieg die Temperatur aber 50 °C fast nie und sank aber wegen einer fehlenden Siphonierung auch nicht unter 25 °C. Die Temperatur war fast ständig in einem kritischen Bereich. Zudem wurde die Nebendusche nur sehr selten benutzt.

Nach dem positiven Befund haben die Besitzer die Speichereinschalttemperatur erhöht und die Duschschräuche ersetzt. Des Weiteren wird der Duschräuch der Gästedusche bei nichtgebrauch abgehängt und entleert. Weitere vorgeschlagene Massnahmen wie die Erhöhung der Mischertemperatur, die Siphonierung der Anschlüsse und die Entfernung der Wärmedämmung der nicht warmgehaltenen Leitungen wurden nicht umgesetzt.

Die Temperaturen am Speicheraustritt und nach dem Mischen lagen 2020 etwas höher als vor einem Jahr, so dass auch nach dem Mischer zeitweise Temperaturen über 55 °C auftraten. Die Temperaturen im Leitungssystem schwanken aber stark und liegen auch sehr oft unter 50 °C und nur selten unter 25 °C. Somit befindet sich das Wasser in den Leitungen immer noch sehr oft in einem kritischen Temperaturbereich (siehe Abbildung 23). Dennoch wurden 2020 keine Legionellen mehr festgestellt. Im 2020 wurde die Gästedusche 48 Stunden vor der Beprobung benutzt (2019 lag die letzte Nutzung ca. drei Monate zurück).

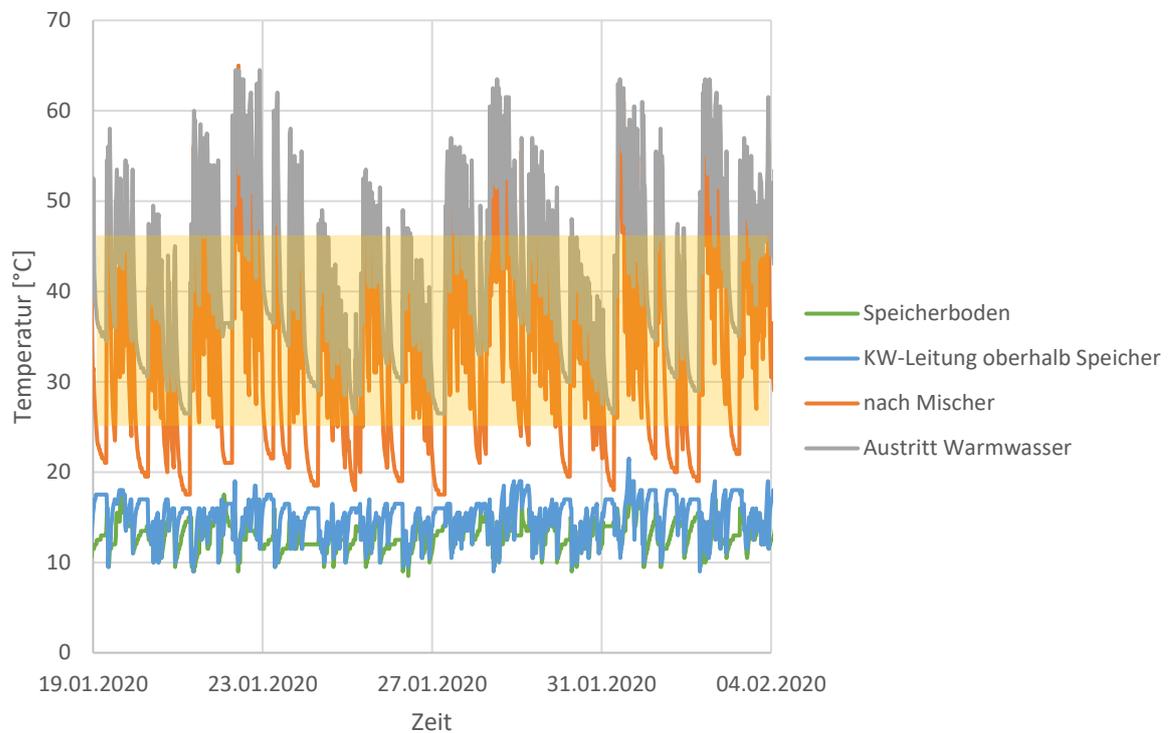


Abbildung 23 Temperaturverlauf der Anlage 4 im 2020.

Tabelle 10 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
<100 KBE/L	<100 KBE/L	16'000 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> Leitung/Warmwasser nur selten über 50 °C nach zentralem Mischer Warmwasserleitungen kühlen schlecht aus, da nicht siphoniert aber gedämmt Nebendusche wird nur selten benutzt 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> Die beiden Duschschräuche wurden ersetzt Bei der Gästedusche wird der Schlauch bei Nichtgebrauch stets abgehängt und entleert Die Temperatur im Boiler wurde auf 60 °C erhöht Die Temperatur am zentralen Mischer wurde auf 55 °C erhöht 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.2 Objekt 8 (Solar & Öl)

Bei dieser Anlage handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1947 mit einer solarthermischen Warmwasseranlage (aus dem Jahr 2000) welche durch einen Ölbrenner unterstützt wird. Im Jahr 2019 wurde die Beprobung nach einer zweiwöchigen Abwesenheit der Bewohner durchgeführt, wobei 10 Stunden vor der Beprobung noch eine einzelne Entnahme stattgefunden hat. Die Temperaturen im Bereitschaftsvolumen lagen bei dieser Anlage 2019 bei 50 – 55 °C und nach dem Mischer dauerhaft ca. 5 K tiefer. Dieses System weist keine thermische Trennung (Siphonierung) zwischen Speicher aber auch keine aktive Warmhaltung der Leitungen auf. Somit wurden die Leitungen auch während der Ferienabwesenheit passiv auf einer unkontrollierten Temperatur warmgehalten. Das Haus hat nur eine Dusche, bei welcher im 2019 einmal 10'000KBE/L (Warmwasser) und einmal 12'000 KBE/L (Mischwasser) nachgewiesen wurden (*L. anisa*). Wegen der Ferienabwesenheit wurde die Anlage im 2019 nach regelmässigem Gebrauch nochmals beprobt. Die Besitzer hatten vor dieser Zweitbeprobung noch keine Temperaturerhöhung oder andere Massnahme zur Legionellensicherheit umgesetzt. In der ersten Probe des zweiten Probenahmezeitpunktes konnten zwar noch Legionellen nachgewiesen werden, diese konnten aber, auch aufgrund von Begleitflora, nicht quantifiziert werden. In der zweiten Probe, welche als Mischprobe gezogen wurde, konnten keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Die hohen Befunde der Erstbeprobung im 2019 wurden hauptsächlich auf die vorgängige Ferienabwesenheit zurückgeführt.

Dennoch wurde den Besitzern empfohlen, die Temperatur im Speicher zu erhöhen, eine thermische Trennung (Siphonierung) zwischen Speicher und nicht aktiv warm gehaltenen Leitungen zu installieren und die Leitungen und Armaturen nach Ferienabwesenheit jeweils heiss zu spülen.

Die durchgeführte Erhöhung der Bereitschaftstemperatur und der Erhöhung des zentralen Mixers um 5 °C hat dazu geführt, dass das Leitungssystem regelmässig (bei Zapfungen) auf ca. 55 °C erwärmt wurde. Dies zeigte sich auch bei der erreichten Maximaltemperatur an der Zapfstelle, welche sich von 47.5 °C auf 55.3 °C erhöht hat. Ebenfalls haben die Besitzer angegeben den Duschschauch ersetzt zu haben. Eine Siphonierung des Speicheranschlusses wurde aber nicht durchgeführt, so dass sich die Leitung auch 2020 nie auf unter 25 °C auskühlten (siehe Abbildung 24). 2020 wurden auch bei dieser Anlage keine Legionellen mehr festgestellt.

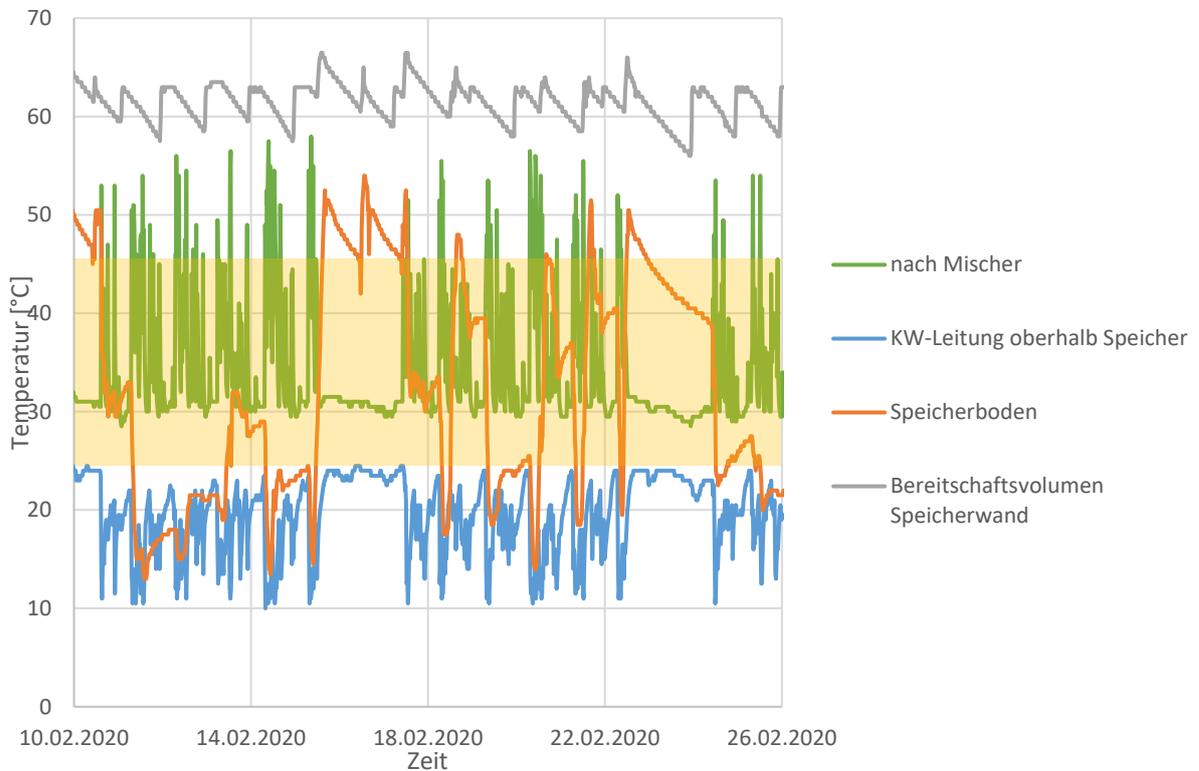


Abbildung 24: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 8 im 2020.

Tabelle 3 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
10'000 KBE/L	12'000 KBE/L	keine vorhanden	<100 KBE/L
Nachbeprobung 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
<100 KBE/L	<100 KBE/L	keine vorhanden	nicht beprobt
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> Leitung/Warmwasser nur selten über 50 °C nach zentralem Mischer Warmwasserleitungen kühlen schlecht aus, da nicht siphoniert aber gedämmt 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> Der Duschschauch wurde ersetzt Die Temperatur des Boilers auf 65 °C erhöht Die Temperatur des zentralen Thermomischers auf 55 °C erhöht 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.3 Objekt 29 (Gas & Solar)

Bei Objekt 29 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2001 mit solarthermischer Warmwasseranlage und Unterstützung durch einen Gasbrenner. Bei der Hauptdusche war 2019 bei diesem Objekt als Besonderheit eine dezentrale Entkalkungsanlage der Armatur nachgeschaltet. Es war weder ein elektrisches Halteband noch eine WW-Zirkulation verbaut.

Die gemessenen Temperaturen erreichten im Bereitschaftsvolumen im 2019 regelmässig mehr als 60 °C und sanken nie unter 55 °C. Auch die thermische Trennung der Leitungen funktionierte gut und die Temperaturen sanken in Zapfpausen auf deutlich unter 20 °C. Weil die Temperatureinstellungen nicht geändert wurden, war das Temperaturregime 2020 sehr ähnlich (siehe Abbildung 25).

An der Hauptdusche wurde im 2019 eine Kontamination mit *L. anisa* von 8'000 (Warmwasser) und 14'000 KBE/L (Mischwasser) nachgewiesen, bei der Nebendusche (Badewanne) und im Speicherboden konnten keine Legionellen nachgewiesen werden. Weil bei diesem Objekt die Hauptdusche stark betroffen war, wurden die Besitzer telefonisch informiert und angewiesen die Armaturen heiss zu spülen und nur noch die Nebendusche zu verwenden. Eine Nachuntersuchung im Jahr 2019 hat ergeben, dass bei dieser Anlage die Kaltwasserleitung betroffen war (8'000 KBE/L, *L. anisa*). In den reinen Warmwasserproben (mit und ohne Duschschauch und Entkalkungsgerät) konnten hingegen keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Weil bei der ersten Beprobung auch die reine Warmwasserprobe betroffen war, wurde zusätzlich zur Kontamination der Kaltwasserleitung eine temporäre Kontamination der Armatur, des Duschschauches oder der dezentralen Entkalkungseinheit vermutet, welche durch das heisse Spülen eliminiert wurde.

Es wurde empfohlen, weitere Abklärungen über den Verlauf und potenzielle Erwärmungsquellen der Kaltwasserleitung vorzunehmen und die Ursache einer möglichen Erwärmung der Kaltwasserleitung zu eliminieren. Die Besitzer haben daraufhin den Duschschauch ersetzt und das Entkalkungsgerät entfernt. An der Kaltwasserleitung wurden keine Änderungen vorgenommen. Dennoch wurden 2020 keine Legionellen mehr detektiert. Es war unklar, warum in der Mischprobe keine Legionellen mehr auftrugen. Mit der Untersuchung einer einzigen Mischprobe kann ein Legionellenbefall eines Abschnitts der Kaltwasserleitung nicht abschliessend ausgeschlossen werden. Aufgrund des vollständig negativen Befundes bei der Erstbeprobung/Zweitbegehung im Jahr 2020 wurde diese Anlage nicht mehr weiter untersucht.

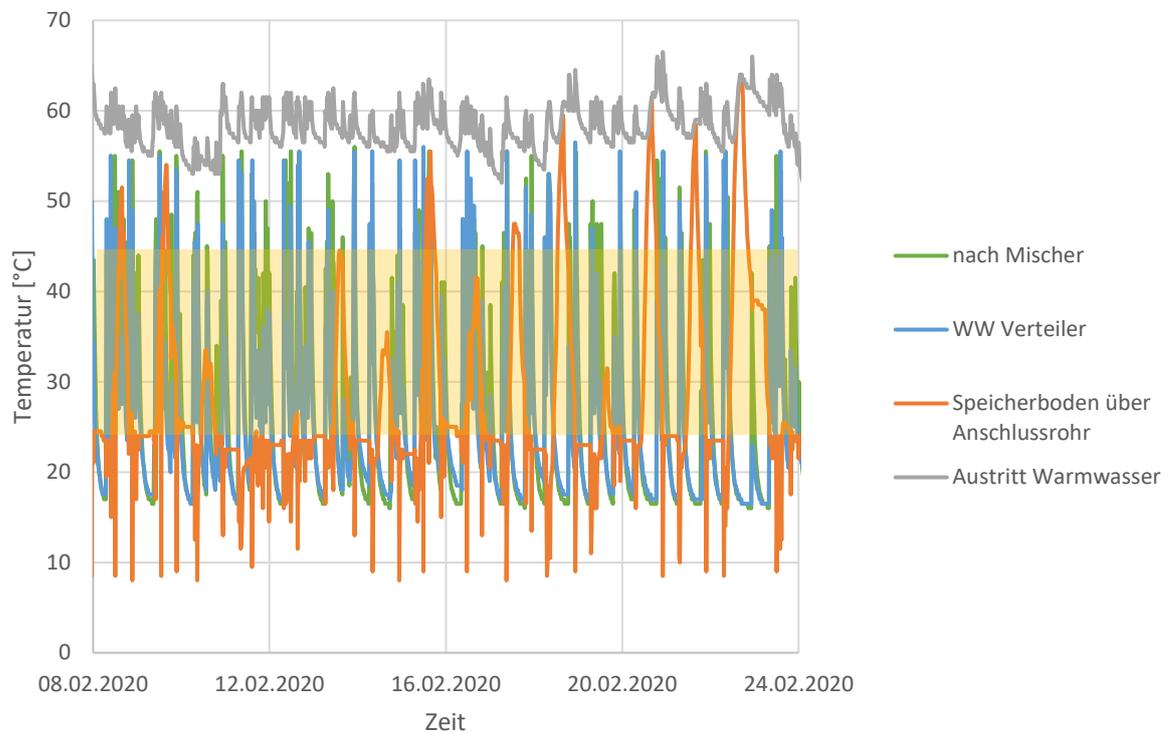


Abbildung 25: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 29 im 2020

Tabelle 4 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
8'000 KBE/L	14'000 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L
Nachbeprobung 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche KW	HD WW o. Entkalkung	HD KW o. Entkalkung
<100 KBE/L	2'000 KBE/L	<100 KBE/L	8'000 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> Kontamination der Kaltwasserleitung der Hauptdusche 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> Der Duschschauch wurde ersetzt Demontage des BWT-Armaturentkalkers bei der Hauptdusche An den Einstellungen wurde nichts verändert 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.4 Objekt 31 (Gas & Solar)

Bei Objekt 31 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1981 welches im Jahr 2014 mit einer solarthermischen Anlage mit neuem Boiler ergänzt wurde. Die Bewohner waren in der Woche vor der Beprobung für einige Tage abwesend, sind aber zwei Tage vor der Beprobung zurückgekehrt und haben die Warmwasseranlage danach regelmässig benützt. Bei diesem Objekt war die Nachheizung so eingestellt, dass im Bereitschaftsvolumen regelmässig Temperaturen über 70 °C auftraten. Auch der zentrale Mischer schien die Temperatur nicht zu beschränken (auch nach dem Mischer traten Temperaturen über 70 °C auf). In den Duschen waren Thermomischarmaturen und im Fall der Hauptdusche eine grosse "Regendusche" installiert. Das Haus verfügt über kein Warmwasserzirkulationssystem.

Bei dieser Anlage wurden 2019 an der Hauptdusche 8'000 und 2'000 KBE/L nachgewiesen, an der Nebendusche konnten keine Legionellen nachgewiesen werden und im Speicherboden wurden 12'000 KBE/L nachgewiesen. Die Spezies war *L. anisa*.

Bei diesem Objekt wird von einer peripheren Kontamination der Leitungen oder Armaturen der Hauptdusche ausgegangen, weil in der Nebendusche keine Legionellen nachgewiesen werden konnten. Sowohl die Abwesenheit der Bewohner vor der Beprobung, als auch die Legionellen im Speicherboden und die Thermomischarmatur mit Regendusche könnten begünstigende Faktoren sein. Es wurde empfohlen, die Leitungen und Armaturen regelmässig heiss zu spülen und dabei die Temperaturbegrenzung der Thermomischarmaturen aufzuheben.

Nach dem positiven Befund haben die Benutzer einige Massnahmen durchgeführt. Wie empfohlen wurden die Anlagen regelmässig (wöchentlich) heiss gespült. Zusätzlich wurde bei der Hauptdusche die Temperaturbegrenzung der Armatur aufgehoben und der Duschschauch ersetzt. Obwohl auch schon 2019 Temperaturen von über 70 °C auftraten, wurde angegeben, dass die Bereitschafts-temperatur erhöht und eine Legionellenschaltung bei 70 °C eingeführt wurde. 2020 wurden zwar wieder sehr hohe Temperaturen gemessen (siehe Abbildung 26), eine klare Zunahme gegenüber 2019 konnte aber nicht festgestellt werden. Als zusätzliche Massnahme wurde eine nicht warmgehaltene Warmwasserleitung gedämmt. Dies entspricht nicht den Empfehlungen der SIA, welche besagt, dass nicht aktiv warmgehaltene Leitungen nicht gedämmt werden und rasch auskühlen sollen. Nach diesen Massnahmen wurden 2020 keine Legionellen mehr nachgewiesen.

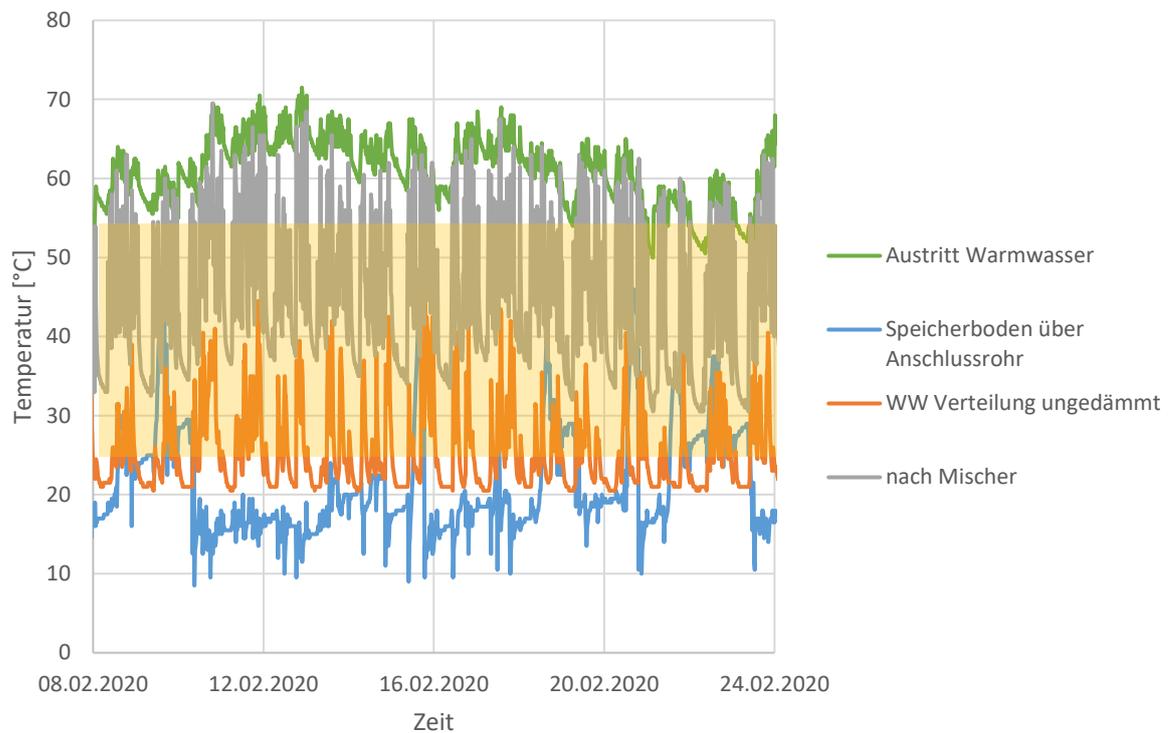


Abbildung 26: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 31 im 2020

Tabelle 5 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
8'000 KBE/L	2'000 KBE/L	<100 KBE/L	12'000 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> • Thermomischarmatur mit Temperaturbegrenzung in Kombination mit Regendusche • Legionellen im Speicherboden • Abwesenheit der Bewohner vor Beprobung 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Der Duschschauch und der Temperaturbegrenzer der Hauptdusche wurden ersetzt • Wöchentliche Legionellenschaltung auf 70 °C • Am WW-Abgang wurden zusätzliche Leitungsabschnitte gedämmt • Die WW-Leitungen werden regelmässig, wöchentlich gespült 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.5 Objekt 34 (Solar & Wärmepumpe)

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 19 Wohneinheiten und einer zentralen Warmwasserbereitstellung mit Solarthermie und Wärmepumpe (50 m² Solarkollektoren und zwei Warmwasserspeicher à 2'500 L). Das Haus verfügt über ein Warmwasserzirkulationssystem. Beprobt wurde eine Wohnung und der zentrale Speicher. An der Hauptzapfstelle dieser Wohnung konnte 2019 eine Temperatur von 49.8 °C erreicht werden, die Rücklauftemperatur der Zirkulation lag um einige K darunter und schwankte zwischen ca. 45 °C und 47 °C. Die Nachheizung durch die Wärmepumpe schaltete bei 45 °C ein und bei 52 °C aus. Beprobt wurde 2019 die Hauptdusche einer Wohnung (3'900 und 1'700 KBE/L) und die Badewannendusche derselben Wohnung als Nebendusche (1'400 KBE/L). Die Spezies war *L. pneumophila*. In den Speicherböden konnten keine Legionellen festgestellt werden.

Die Temperaturen, welche in einigen Teilen des Zirkulationssystems 50 °C nie überschritten, wurden bei dieser Anlage als Hauptrisikofaktor eingestuft. Es wurde empfohlen, die Temperaturen zu erhöhen.

Diese Anlage wurde mit einer elektrischen Durchlauf-Beladeeinheit ergänzt, welche eine tägliche Erwärmung des Boilerwassers auf 60 °C und des Zirkulationsrücklaufes auf 55 °C bewirken soll. Wie in Abbildung 27 gezeigt wird, konnten die Zirkulationstemperaturen gegenüber 2019 erhöht werden, so dass die Zirkulationsrücklauftemperatur fast immer bei 50-52 °C lag. Auch ein täglicher, kurzer Anstieg kann beobachtet werden, wobei die gewünschten 60/55 °C nicht vollumfänglich erreicht wurden (eine Differenz zur realen Wassertemperatur aufgrund des Messintervalls oder einer nicht idealen Anbindung der Fühler ist hier möglich). Die Drittbegehung und das Einsammeln der Fühler konnte erst nach dem Corona Lockdown durchgeführt werden. Die Temperaturerhöhungen Ende Mai sind solarbedingt und repräsentieren nicht den Temperaturverlauf vor der Erstbeprobung/Zweitbegehung, bei der keine Legionellen festgestellt wurden. Der Verlauf zwischen 11. und 16. Mai 2020 wird aber als typisch für die Winterperiode ohne deutliche Temperaturerhöhung durch Solarerträge angesehen. Aufgrund der negativen Befunde der Erstbeprobung/Zweitbegehung wurden bei der Drittbegehung keine Proben mehr analysiert.

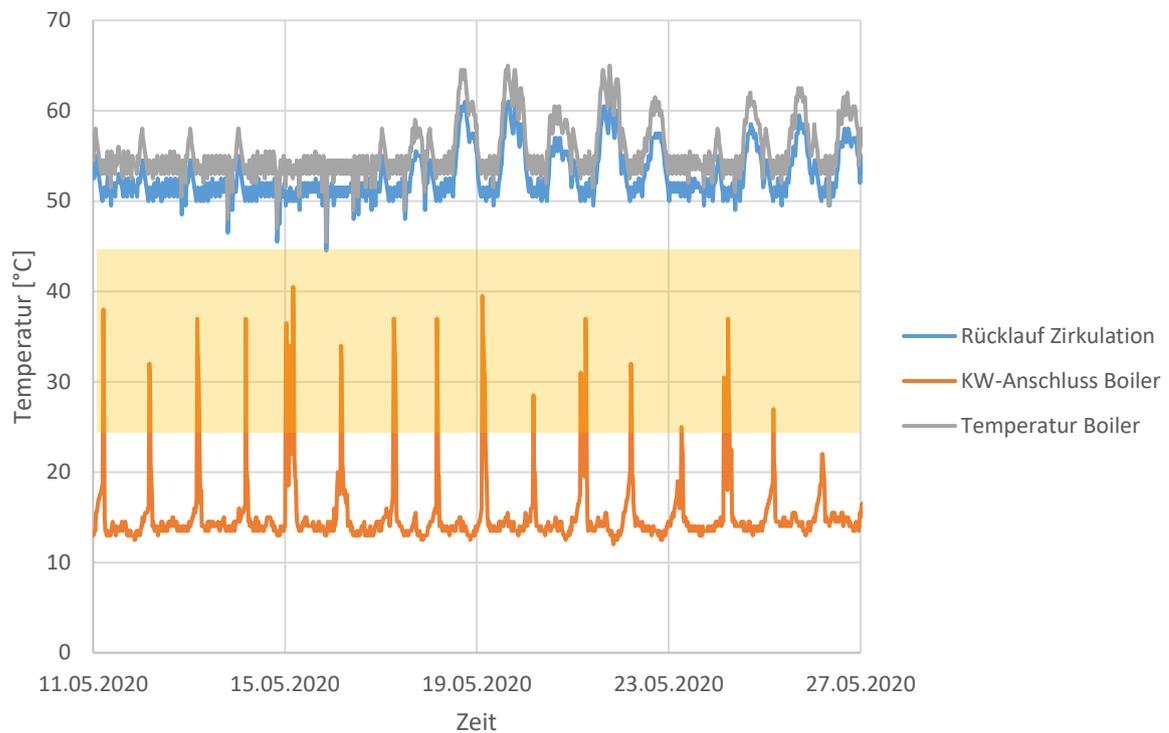


Abbildung 27: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 34 im 2020

Tabelle 6 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
3'900 KBE/L	1'700 KBE/L	1'400 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> Zu tiefe Temperaturen im Zirkulationsnetz 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> Der BWW-Speicher wurde durch eine externe Elektroheizungs-Ladung ergänzt. Tägliche Erhöhung des Boilerwassers auf 60°C bzw. der WW-Zirkulation auf 55 °C 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.6 Objekt 57 (Öl & Solarthermie)

Bei Objekt 57 handelt es sich um ein Doppel Einfamilienhaus mit Warmwassererzeugung durch Solarthermie und Heizöl. Das Haus verfügte weder über ein Warmwasserzirkulationssystem noch einen Verbrühungsschutz. Die Temperatur im Bereitschaftsvolumen und am Verteilbalken schwankten 2019 stark zwischen deutlich $<50\text{ °C}$ und $>60\text{ °C}$. Als Grund für diese Schwankungen wurden unterschiedliche Solarerträge angenommen. Es ist aber auch möglich, dass eine schlechte thermische Anbindung des Nachheizfühlers und somit eine unregelmässige Nachheizung Grund für die variablen Temperaturen war. Der Temperaturfühler des SPF war an derselben Stelle angebracht, hat aber zum Teil deutlich tiefere Temperaturen als am Verteilbalken (während einer Zapfung) angezeigt. Sowohl die variablen Temperaturen als auch die schlechte Anbindung des Bereitschaftsfühlers konnte auch 2020 mit erhöhten Temperatureinstellungen wieder beobachtet werden (siehe Abbildung 28).

Bei diesem Objekt wurden 2019 an der Hauptdusche einmal $14'000\text{ KBE/L}$ (*L. anisa*) nachgewiesen (Warmwasserprobe), bei der gleich anschliessenden Mischprobe konnten keine Legionellen mehr identifiziert werden. Auch in der Nebendusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen gefunden werden.

Aus diesem Grund wurde eine periphere Kontamination der Sticheitung, Armatur oder des Duschschlauches vermutet und es wurde empfohlen, die Temperatureinstellungen zu erhöhen und die betroffene Dusche regelmässig mit heissem Wasser zu spülen. Die Benutzer haben daraufhin eine wöchentliche Legionellenschaltung (65 °C) aktiviert die Temperatureinstellungen von $45/50\text{ °C}$ auf $50/55\text{ °C}$ erhöht. Zudem wurden die Leitungen schönen Tagen (Solarertrag) heiss und ansonsten wöchentlich kalt gespült. Daraufhin wurden 2020 bei dieser Anlage keine Legionellen mehr nachgewiesen.

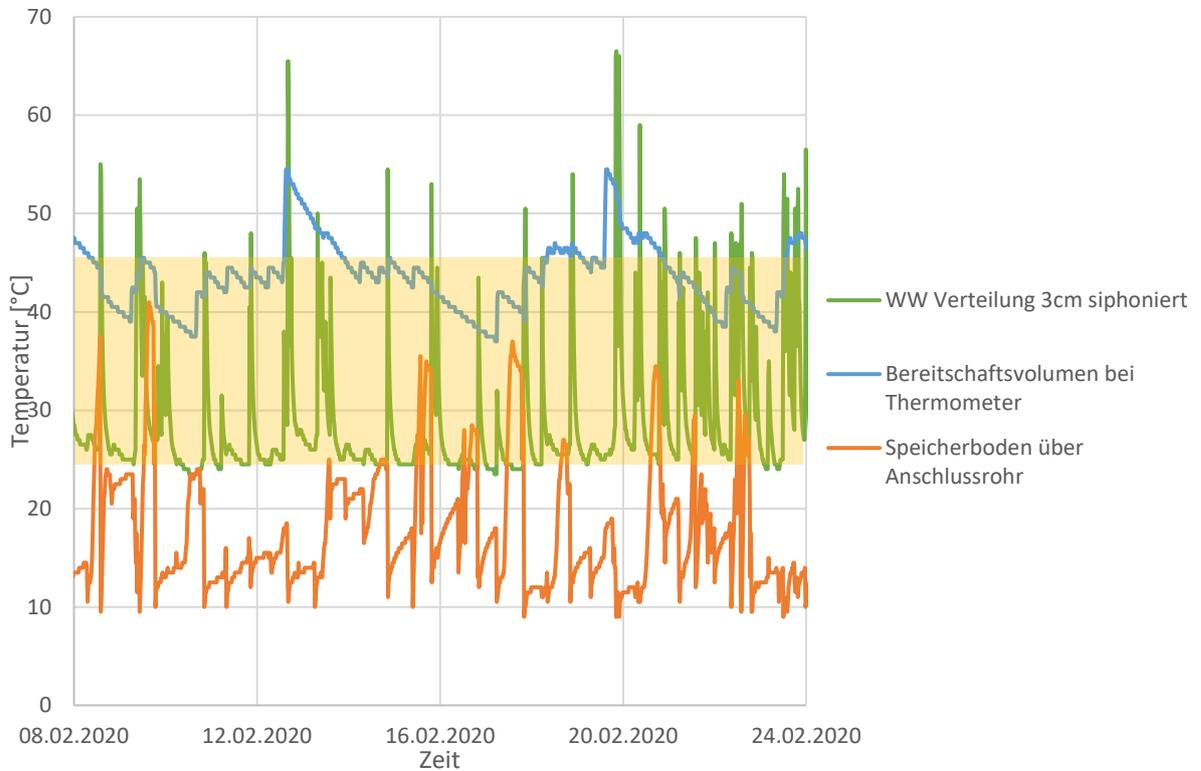


Abbildung 28: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 57 im 2020.

Tabelle 7 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
14'000 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> • Periphere Kontamination der Sticheitung, Armatur oder des Duschschauches 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> • BWW-Nachheiztemperatur erhöht auf 55 °C • Spülen der Leitungen mit Warmwasser jeweils bei den wöchentlichen Reinigungsarbeiten • Wöchentliche Legionellenschaltung bei 65 °C 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.7 Objekt 66 (Solar & Wärmepumpe)

Bei Objekt 66 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2015, bei welchem das Warmwasser mit einer Solarthermieanlage und einer Wärmepumpe erzeugt wird. Das Haus verfügt über eine Enthärtungsanlage und kein Warmwasserzirkulationssystem. Es wird eine Thermomischarmatur mit Regendusche bei der Hauptdusche eingesetzt. Das Bereitschaftsvolumen wurde 2019 auf einer Temperatur von 60 °C gehalten. Die Verteilleitungen erreichen ca. 55 °C, an heissen Tagen im Speicher (Solarertrag) fast 60 °C. Die Leitungen kühlten in der Nacht, wenn keine Zapfungen stattfand, auf ca. 25 °C aus.

Bei dieser Anlage wurden 2019 an der Hauptzapfstelle Legionellen mit 3'400 KBE/L und 2'800 KBE/L festgestellt. An der Nebendusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen gefunden werden. Aus diesem Grund wurde von einer dezentralen Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschauch, respektive der Regendusche ausgegangen. Es wurde empfohlen, die Zapfstelle regelmässig mit heissem Wasser zu spülen und dabei die Temperaturbegrenzung der Thermomischarmatur zu übersteuern. Die Bewohner dieser Anlage wünschten schon 2019 eine Nachkontrolle, bei der keine Werte >1'000 KBE/L mehr auftraten. Weil aber sowohl in Warm-, Misch- und Kaltwasserproben Legionellen unter dieser Grenze gefunden wurden, konnte kein klarer Kontaminationsherd identifiziert werden. 2020 haben die Bewohner angegeben sowohl die Duschschräuche als auch die Armaturen inkl. Regenbrausen ausgetauscht zu haben, die Leitungen zwei Mal wöchentlich heiss zu spülen und die Nachheizung der Wärmepumpe auf das Maximum von 55 °C erhöht zu haben (Einschalttemperatur: 50 °C). Dies im Gegensatz zur Datenaufnahme von 2019, bei der höhere Ein-/Ausschalttemperaturen von 55/60 °C aufgenommen und auch um wenige °C höhere Temperaturen am Speicheraustritt gemessen wurden. Trotz tendenziell tieferen Temperaturen am Speicheraustritt, wurden bei diesem Objekt 2020 keine Legionellen mehr festgestellt.

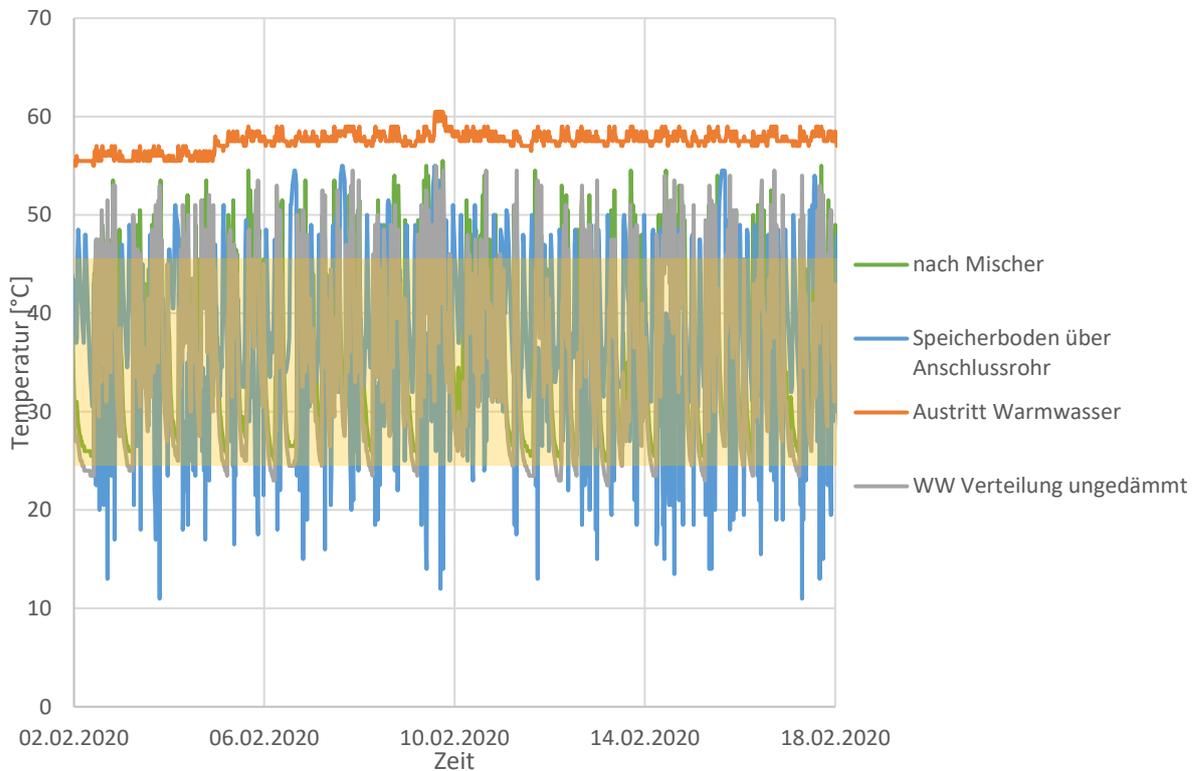


Abbildung 29: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 66 im 2020.

Tabelle 8 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
3'400 KBE/L	2'800 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> • Periphere Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschauches 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Spülen der Leitungen mit Warmwasser 2x wöchentlich • Ersatz der beiden Duschschräuche inkl. Duscharmaturen, insbesondere der Regenduschen • Möglichst wöchentlicher Gebrauch der beiden Regenbrausen 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.8 Objekt 67 (Solar & Gas)

Bei Objekt 67 handelt es sich um ein Doppelfamilienhaus aus dem Jahr 1968, bei welchem das Warmwassersystem 2003 installiert und im Jahr 2015 mit einer thermischen Solaranlage ergänzt wurde. Das Haus verfügt über eine Enthärtungsanlage und ein Warmwasserzirkulationssystem. Bei dieser Anlage wurden 2029 Bereitschaftstemperaturen von meist ca. 60 °C gemessen, die Temperatur sank aber auch regelmässig für kurze Zeit auf knapp unter 50 °C ab. Die Temperaturen im Verteilsystem (Zirkulationsrücklauf) nur unwesentlich unter den Temperaturen im Bereitschaftsvolumen.

Bei dieser Anlage wurde an der Hauptzapfstelle Legionellen mit 2'100 KBE/L (*L. pneumophila*) und 800 KBE/L festgestellt. An der Nebendusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen gefunden werden. Die zweite Wohnung, die an diesem System angeschlossen ist, wurde nicht beprobt. Weil nur eine Dusche betroffen war, wurde hier von einer dezentralen Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschlauchs ausgegangen. Daher wurde empfohlen, die Zapfstelle regelmässig mit heissem Wasser zu spülen und die Einschalttemperatur zu erhöhen, so dass im Zirkulationssystem ständig Temperaturen >52 °C gehalten werden können.

Die Bewohner haben angegeben die Duschschläuche ersetzt zu haben und die Duschen regelmässig heiss zu spülen. Zudem liessen sie vom Sanitärfachmann eine Legionellenschaltung aktivieren. Weil die Einschalttemperatur von den Bewohnern nicht erhöht wurde, wurde dies vom SPF bei der Zweitbegehung (22.1.2020) vorgenommen (siehe Abbildung 30). Im Gegensatz zu 2019 wurde 2020 eine deutliche Temperaturdifferenz zwischen Zirkulationsvor- und rücklauf gemessen, so dass die gemessene Rücklauftemperatur meist deutlich unter den empfohlenen 52 °C lag. Ob dies durch eine reale Änderung des Zirkulationsvolumenstromes oder durch eine mangelhafte Anbindung des Fühlers zustande kam, kann nicht beurteilt werden. Weil alle Proben der Erstbeprobung 2020 negativ ausfielen, wurde diese Anlage nicht mehr beprobt und es wurde auch keine Nachkontrolle der Zirkulationsrücklauftemperatur durchgeführt.

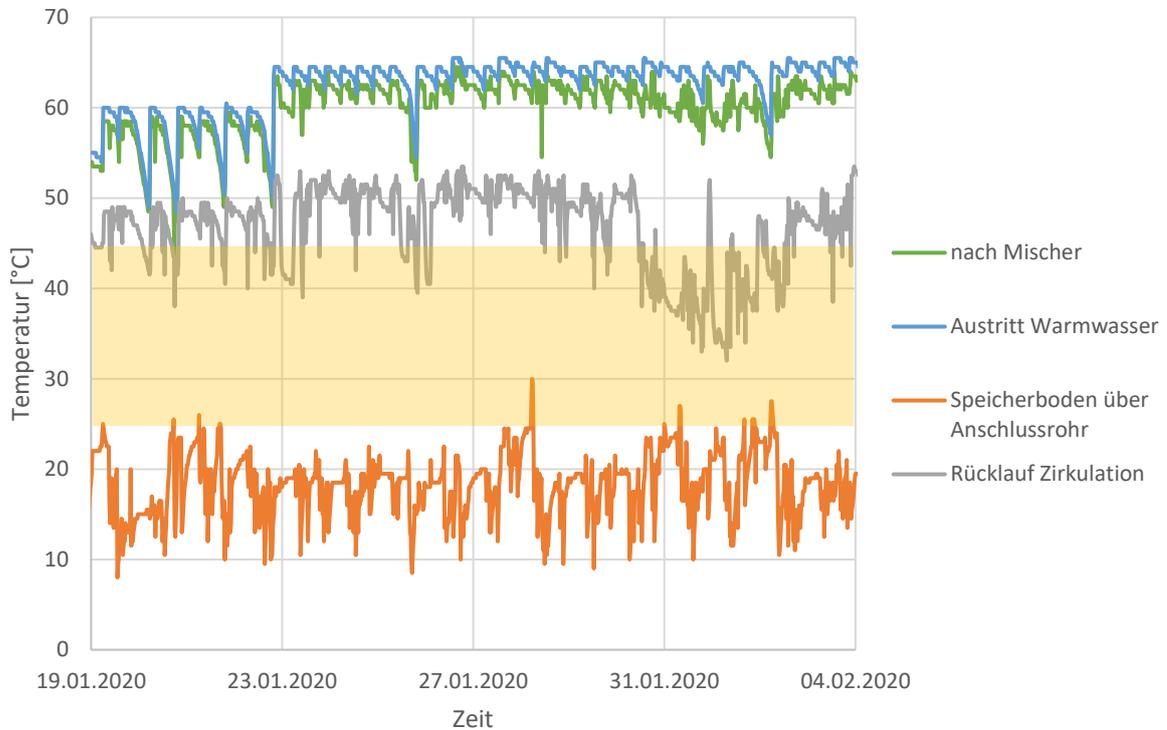


Abbildung 30: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 67 im 2020.

Tabelle 9 Zusammenfassung der Befunde und gefundenen Probleme aus der Beprobung 2019 und der bis 2020 umgesetzten Massnahmen.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
2'100 KBE/L	800 KBE/L	<100 KBE/L	<100 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> Dezentralen Kontamination der Sticheitung, Armatur oder des Duschschlauchs 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> Spülen der Leitungen mit Warmwasser jeweils bei den wöchentlichen Reinigungsarbeiten Ersatz der beiden Duschschläuche Aktivierung der Legionellenschaltung jeweils freitags (genaue Uhrzeit nicht bekannt) 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

C.9 Objekt 79 (Elektroboiler)

Bei Objekt 79 handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit Einliegerwohnung aus dem Jahr 2006. Das Warmwasser wurde mit einem Elektroboiler von 460 L Inhalt (keine Solarthermieanlage) bereitgestellt.

Diese war das Objekt mit den höchsten Kontamination in der Untersuchung von 2019, nämlich 260'000 KBE/L und 120'000 KBE/L an der Hauptdusche (*L. pneumophila*). Im Speicherboden fanden sich 12'000 KBE/L. Die Einliegerwohnung wurde nicht beprobt. Die sehr hohen Kontaminationen erforderten ein unverzügliches Handeln.

Während der Beprobung konnte 2019 eine Maximaltemperatur von 54.9 °C gemessen werden. Auch kontinuierliche Temperaturmessungen zeigen täglich Temperaturen über 55 °C im Speicher. Die Temperatur des Warmwasseraustritts aus dem Speicher fiel aber fast jeden Tag unter 45 °C, manchmal bis fast 30 °C. Die Besitzer haben die Vermutung bestätigt, dass die Warmwasserbezüge die Kapazität des Speichers überstiegen und der Speicher deshalb fast täglich "leergeduscht" wurde. Somit gelangte häufig lauwarmes Wasser aus dem Speicherbodenbereich in die Verteilleitungen und Armaturen, ohne dass es im oberen Speicherbereich einer thermischen Desinfektion ausgesetzt worden war. Im unteren Speicherbereich stieg die Temperatur bei der Speicherladung nur bis auf ca. 40 °C und befand sich somit während mehreren Stunden in einem Temperaturbereich der Legionellenwachstum begünstigt hatte. Auf eine Temperatur, welche zum Abtöten der Legionellen ausreicht, wurde der Speicherboden nie angehoben. Zudem war das elektrische Begleitheizband, welches hohe Temperaturen in der Verteilung sicherstellen soll, vermutlich defekt¹⁹. Wegen der kompakten Ausführung der Rohrdämmung konnte die Temperatur im warmgehaltenen Bereich jedoch nicht direkt gemessen werden.

Bei dieser Anlage wurden die folgenden Punkte als Risikofaktoren angesehen:

- die kritischen Temperaturen im Speicherboden, in Kombination mit regelmässigem Leeren des Speichers,
- Beschränkung der Nachheizung auf die Nacht,
- das vermutlich defekte Elektrobegleitheizband.

Den Besitzern wurde 2019 empfohlen, das System sofort einer thermischen Desinfektion zu unterziehen, den Speicher auf 70 °C zu erwärmen, und alle Leitungen und Zapfstellen heiss zu spülen. Bei einer Nachbeprobung an zwei Duschen, Warmwasser (Maximaltemperatur 65 °C) und Kaltwasser beprobt, waren keine Legionellen mehr nachweisbar. Des Weiteren wurde empfohlen, die Nachheizung den ganzen Tag freizugeben und auf eine höhere Temperatur einzustellen, sowie das elektrische Begleitheizband zu überprüfen und gegebenenfalls zu ersetzen. Die Besitzer haben 2019 eine thermische Desinfektion und einen Ersatz der Duschbrause und des Duschschlauches durchgeführt und die Nachheizung des Boilers von Nacht auf Dauerbetrieb umgestellt. Am Begleitheizband wurden keine Änderungen durchgeführt. Nach diesen Massnahmen wurde 2020 keine Legionellen mehr nachgewiesen.

¹⁹ Bei der Begehung konnte nicht festgestellt werden, dass die Leitung, welche durch das Heizband gewärmt werden sollte, auch wirklich warm war.

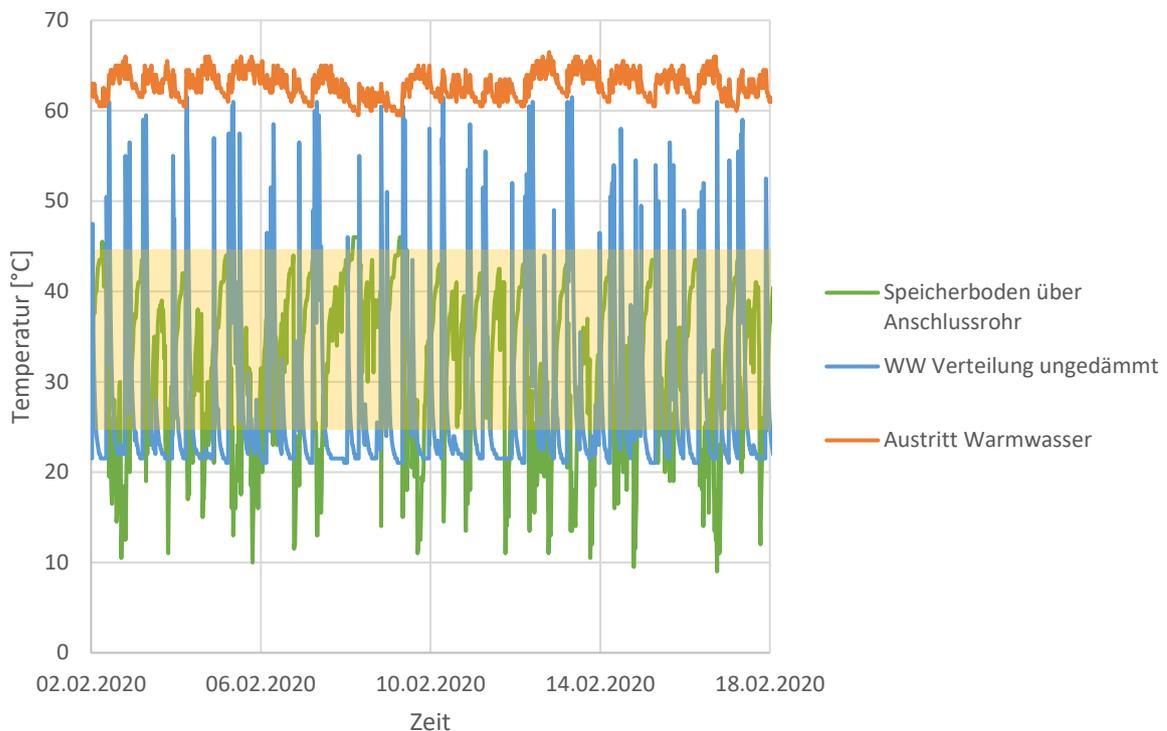


Abbildung 31: Messung der Temperaturverläufe von Objekt 79 im 2020.

Tabelle 10 Zusammenfassung der Befunde und Massnahmen aus den Legionellenuntersuchungen von 2019 und 2020.

Befunde 2019			
Hauptdusche WW	Hauptdusche MW	Nebendusche MW	Speicherboden
260'000 KBE/L	120'000 KBE/L	keine beprobt	<12'000 KBE/L
Probleme 2019			
<ul style="list-style-type: none"> • Warmwasserbezug ist höher als der Speicher decken kann, dieser wird deshalb fast täglich "leergeduscht" • Die Nachheizung war auf wenige Stunden in der Nacht begrenzt • Temperatur des Warmwasseraustritts aus dem Speicher fällt fast jeden Tag unter 45 °C, und zum Teil auch bis auf fast 30 °C 			
Vom Besitzer umgesetzte Massnahmen:			
<ul style="list-style-type: none"> • Spülen der WW-Leitungen bei 65 °C ca. 7-10 Min. mit geringem Durchfluss (2019) • Die elektrische Nachheizung wurde von Nacht- auf Dauerbetrieb umgestellt • Die elektrische Warmhaltung der Leitung wurde ebenfalls auf Dauerbetrieb umgestellt • Der Duschschauch wie auch die Brause wurden ersetzt 			
Befunde 2020: < 100 KBE/L für alle Proben			

Annex D Multivariate Statistik der Daten von 2019

Mit der Software Matlab [17] wurden unterschiedliche multivariate Modelle erstellt um einzelne Variablen oder Kombinationen von Variablen zu finden, welche das Vorhandensein von Legionellen begünstigen. Dazu wurden alle aufgenommenen Parameter als Predictor Variablen und die Legionellenkonzentrationen an verschiedenen Stellen als Antwortvariablen eingelesen. In Abbildung 32 werden die Vorhersagen für die Legionellenkonzentration an der Hauptdusche eines gefitteten linearen Modells mit den realen Werte verglichen. Dabei zeigt sich eine sehr schlechte Übereinstimmung von Vorhersage durch das Modell und Messwert. Das Bestimmtheitsmass R^2 liegt dabei bei 1%, was eine sehr tiefe Korrelation bedeutet (erst ab 30% spricht man von einer leichten Korrelation). Die Legionellenkonzentration kann also mit den aufgenommenen Parametern und einem linearen Modell nicht vorhergesagt werden.

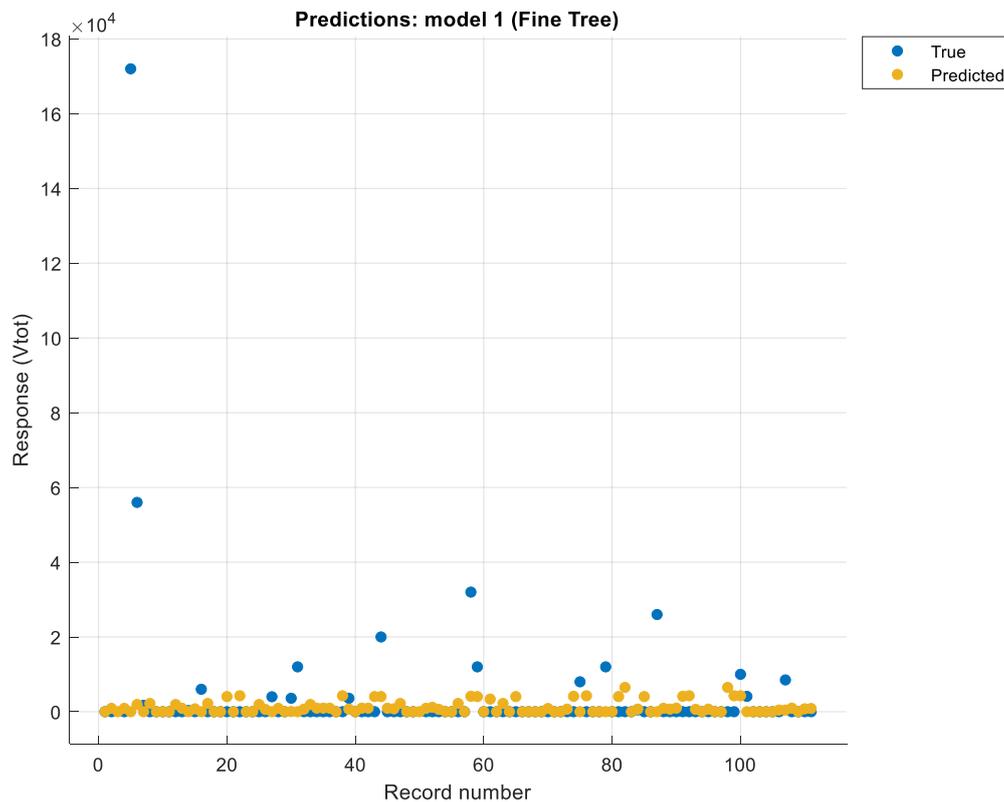


Abbildung 32: Vorhersagen des linearen Modells und Legionellenmessungen für alle Anlagen.

D.1 Transformation der Variablen

Weil die Legionellenkonzentrationen über mehrere Zehnerpotenzen variieren, wurde eine Transformation dieser Variabel vorgenommen. Werte unter der Nachweisgrenze (< 100 KBE/L) wurden als 0 gewertet. Für Werte über der Nachweisgrenze wurde folgende Formel verwendet:

$$K_{trans} = \log_{10}(K) - 1$$

K_{trans} = Transformierte Konzentration
 K = Konzentration in KBE/L

Auch wenn diese transformierten Variablen für das Erstellen eines linearen Modells verwendet werden, weichen die Vorhersagen deutlich von den gemessenen Werten ab. Es wird aber eine Bestimmtheitsmass von $R^2=28\%$ erreicht. Dabei kann man fast von einer schwachen Korrelation von Vorhersage und tatsächlichen Daten sprechen. Wie in Abbildung 33 gezeigt wird, ist diese Korrelation aber für den Betrachter nicht deutlich erkennbar.

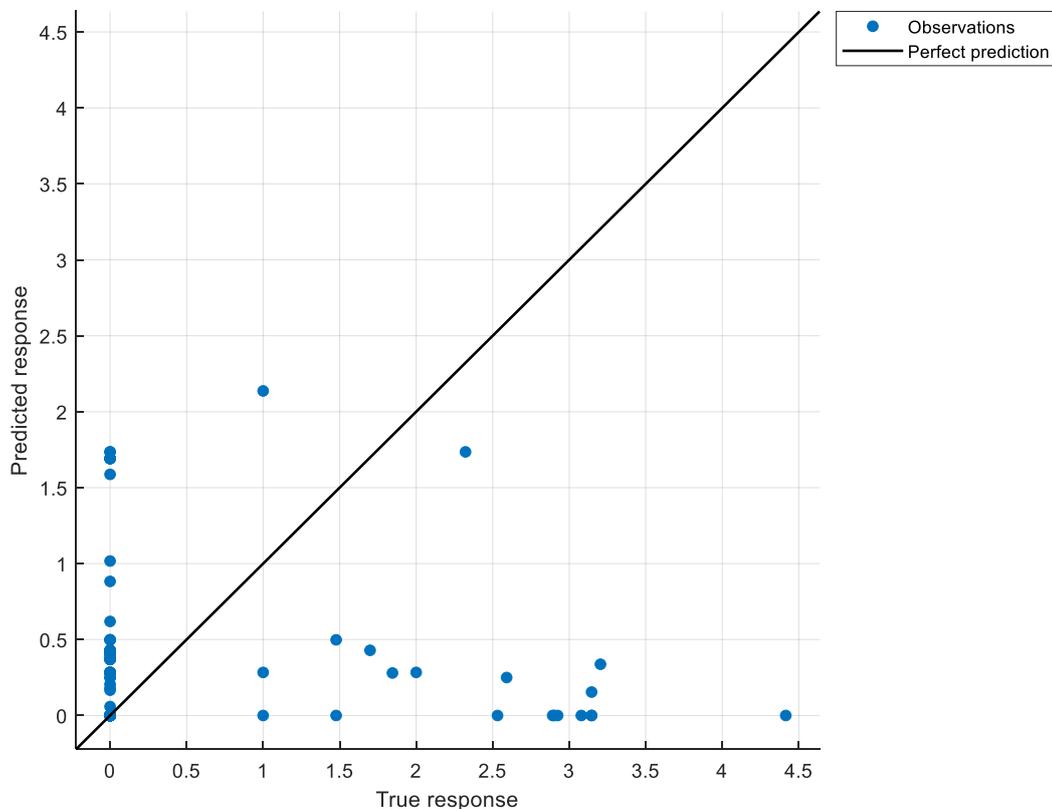


Abbildung 33: Gegenüberstellung von vorhersagen und Modell nach der Variablentransformation.

Es wurden alle in der matlab machine learning toolbox vorhandenen Modelle auf die vorhandenen Daten angewendet. Auch komplexere Modelle (z.B. quadratisch, kubisch oder gaussbasierte) führten nicht zu einer besseren Vorhersage. Komplexere Modelle haben eher dazu geführt, dass die in Matlab integrierten Solver keine Lösungen fanden.

D.2 Kategorisierung

Weil multivariate kontinuierliche Modelle mit den bestehenden Daten keine gute Voraussage erreichen konnten, wurden unterschiedliche Kategorisierungen eingeführt.

Zwei Kategorien

- 0: $\leq 1'000$ KBE/L
- 1: $> 1'000$ KBE/L

Vier Kategorien

- 0: unter Nachweisgrenze
- 1: $\leq 1'000$ KBE/L
- 2: $\leq 10'000$ KBE/L
- 3: $\leq 100'000$ KBE/L
- 4: $> 100'000$ KBE/L

Auch bezüglich Klassifizierung wurden unterschiedliche Modelle der matlab machine learning toolbox angewendet. In einem ersten Schritt wurde die Einteilung in zwei Kategorien untersucht. Aufgrund der tiefen Kontaminationsraten wurden die beste Vorhersage mit einem logistischen Modell erreicht, das immer einen Wert von 0 (kein Befall über dem Grenzwert von 1'000 KBE/L) vorhersagt. Dabei sind 87% der Vorhersagen korrekt. Da eine Vorhersage nur dann von Nutzen ist, wenn falsch negative Vorhersagen weitgehend ausgeschlossen werden können, wurden weitere Fit's mit erhöhten "Kosten" für falsch negative Vorhersagen durchgeführt. Bei doppelten Kosten verringert sich die Anzahl falsch negativer Vorhersagen von 12 auf 8 und es sind noch 74% der Vorhersagen korrekt. Auch bei 100-fachen Kosten für falsch negative Vorhersagen gibt immer noch 5 falsch negative Vorhersagen und es sind gar weniger als die Hälfte der Vorhersagen korrekt. Die in der matlab machine learning toolbox vorhandenen Klassifizierungsmodelle erreichen also mit den vorhandenen Daten keine befriedigende Vorhersage darüber ob eine Zapfstelle von Legionellen > 1000 KBE/L betroffen ist oder nicht.

Anzahl Fälle		Messung	
		0	1
Vorhersage	0	98	0
	1	12	0

Anzahl Fälle		Messung	
		0	1
Vorhersage	0	79	19
	1	8	4

Anzahl Fälle		Messung	
		0	1
Vorhersage	0	39	59
	1	5	7

Abbildung 34: Vorhersagen mit unterschiedlichen Modellparametern: links oben: logistische Regression (89% richtig), rechts oben: Doppelte "Kosten" für falsch negative Vorhersagen (74% richtig), unten: 100-Fach erhöhte "Kosten" für falsch negative Vorhersagen (42% richtig)

Wie in Abbildung 35 gezeigt wird, wurde auch bei vier Klassen die höchste Übereinstimmung mit Modellen gefunden, welche keinen der positiven Werte vorhersagen konnten.

Anzahl Fälle		Messung				
		0	1	2	3	4
Vorhersage	0	79	5		6	
	1	7				
	2	7				
	3	5				
		1				

Abbildung 35: Klassifizierung anhand eines linearen Modells. Kein positiver Befund kann vorhergesagt werden.