



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung und Cleantech

Öffentlicher Schlussbericht vom 30.01.2021, korrigiert/ergänzt am 18.06.2021

LegioSafeCheck

Felduntersuchung zur Legionellensicherheit von Warmwassersystemen mit Schwerpunkt Einfamilienhäuser und Solarenergie



Quelle: © Michel Haller



Datum: 18.06.2021

Ort: Rapperswil

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

suissetec - Schweizerisch-Liechtensteinischer
Gebäudetechnikverband
Auf der Mauer 11, Postfach, 8021 Zürich
www.suissetec.ch



Amt für Umweltkoordination und Energie
des Kantons Bern
Reiterstrasse 11, 3011 Bern
www.be.ch/aue



Kanton Bern
Canton de Berne

Subventionsempfänger/innen:

SPF Institut für Solartechnik
Hochschule für Technik HSR
8640-Rapperswil
www.spf.ch

Autor/in:

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

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, BFE-Forschungsbereichsleiter, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Dr. Elimar Frank, BFE-Forschungsprogrammleiter, elimar.frank@frank-energy.com)

BFE-Vertragsnummer: SI/501827-01

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



Zusammenfassung

Im Jahr 2019 wurden aus 110 Trinkwassersystemen – vorwiegend in Ein- und Doppel Einfamilienhäusern – Wasserproben entnommen und mit Kultivierungsmethoden auf Legionellen analysiert. 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. Das Vorkommen von Legionellen in den Duschzapfstellen korrelierte mit drei Ausprägungen: Mit dem Vorhandensein einer Thermomischarmatur, mit dem Vorhandensein einer Solaranlage, und mit der Angabe von geruchlichen oder geschmacklichen Problemen. Anlagen mit Solaranlagen waren gleichzeitig signifikant jünger und wiesen sowohl im Bereitschaftsvolumen als auch an den Zapfstellen signifikant tiefere Temperaturen auf. Systeme mit Legionellenbefunden wurden im Jahr 2020 in einem Folgeprojekt erneut untersucht und es konnten durch gezielte Massnahmen in all diesen Systemen ein Zustand erreicht werden, in welchem im Duschwasser keine Legionellen mehr nachgewiesen werden konnten.

Résumé

En 2019, des échantillons d'eau ont été prélevés dans 110 systèmes d'eau potable - principalement dans des maisons individuelles et doubles - et analysés pour détecter des légionelles à l'aide de méthodes de culture. Les réservoirs qui étaient alimentés par la chaleur solaire et les réservoirs qui préparaient de l'eau chaude avec une pompe à chaleur avaient moins fréquemment des légionelles dans la zone au fond du réservoir que les autres systèmes. La présence de légionelles dans les échantillons des douches corrélait à trois caractéristiques: Avec la présence d'une soupape thermostatique, avec la présence d'une installation solaire, et avec l'indication de problèmes d'odeur ou de goût. Les installations avec des systèmes solaires étaient en même temps nettement plus jeunes et avaient des températures nettement plus basses tant dans le volume de réserve qu'aux robinets. Des systèmes dans lesquels des légionelles ont été détectées ont été examinés à nouveau en 2020 dans le cadre d'un projet de suivi et, grâce à des mesures ciblées, une condition a été atteinte dans laquelle des légionelles n'était plus détectable dans l'eau de douche.

Summary

In 2019, water samples were taken from 110 drinking water systems - mainly in single and double family homes - and analysed for legionella using cultivation methods. Water storage tanks which were supported by solar heat and tanks which prepared hot water with heat from pumps tended to show less frequent occurrence of legionella in the bottom of the tank than other systems. The occurrence of legionella in the shower taps correlated with three characteristics: With the presence of a thermostatic mixing valve in the shower, with the presence of a solar thermal system, and with the indication of odour or taste problems. Systems with solar were at the same time significantly younger and had significantly lower temperatures both in the stand-by volume and at the taps. Systems with legionella findings were examined again in 2020 in a follow-up project and, through targeted measures, a condition was achieved in all these systems in which no more legionella could be detected in the shower water.



Take-home messages

- Die Untersuchungen zeigten im unteren Bereich der Speicher in Anlagen mit Solarwärme tendenziell weniger häufig Legionellen über 1000 KBE/L als in Anlagen ohne Solarwärme. Dagegen traten an der Haupt-Duschzapfstelle in Anlagen mit Solarwärme signifikant häufiger Legionellen über 1000 KBE/L auf als in Anlagen ohne Solarwärme.
- Anlagen mit Solarwärme waren statistisch signifikant jünger und wiesen tiefere Temperaturen im Bereitschaftsvolumen und an den Zapfstellen auf als Anlagen ohne Solarwärme.
- Anlagen mit Thermomischarmaturen wiesen signifikant häufiger Legionellen an den entsprechenden Zapfstellen auf als Anlagen mit zwei Hahn Mischung oder Einhand-Mischer.
- Nachfolgeuntersuchungen in einem Folgeprojekt zeigten, dass die Ursache für die Häufung von Legionellen in Anlagen mit Solarwärme mit hoher Wahrscheinlichkeit zurückzuführen waren auf generell geringere Temperatureinstellungen für die Nachheizung und den zentralen Verbrühungsschutz (passive Kaltwasser-Beimischung), Fehlerhafte Kombinationen von zentralem Verbrühungsschutz mit Warmwasser-Zirkulation, und andere Fehler der warmen Verteilung.



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).

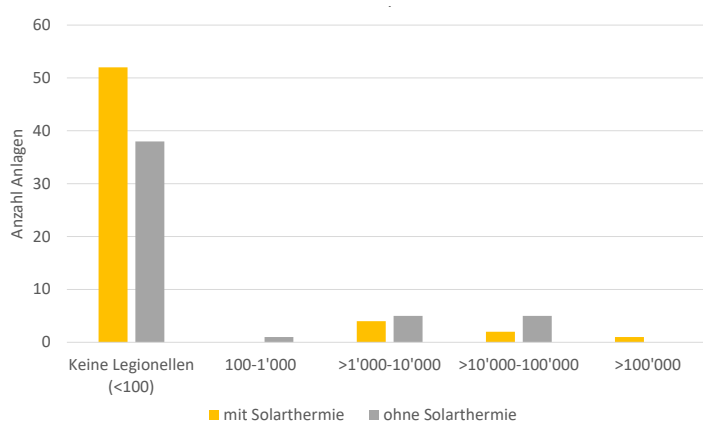


Abbildung A: Übersicht über die Legionellenbefunde in Proben aus dem unteren Bereich des Warmwasserspeichers in der Hauptuntersuchung 2019.

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 Fisher 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 Duschschlauche 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 heruntergeladen werden kann.



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.

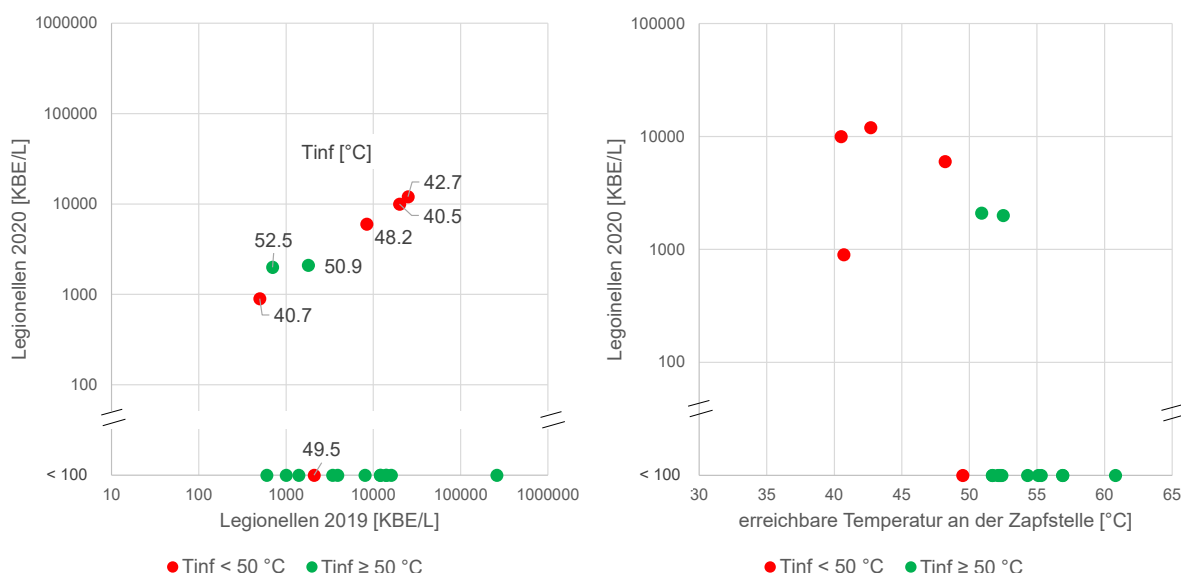


Abbildung B: Vergleich der maximalen Legionellenkonzentration aus den beiden Untersuchungen 2019 und 2020; Tinf = Temperatur des Heisswassers nach Erreichen von Temperaturkonstanz an der Entnahmestelle.



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

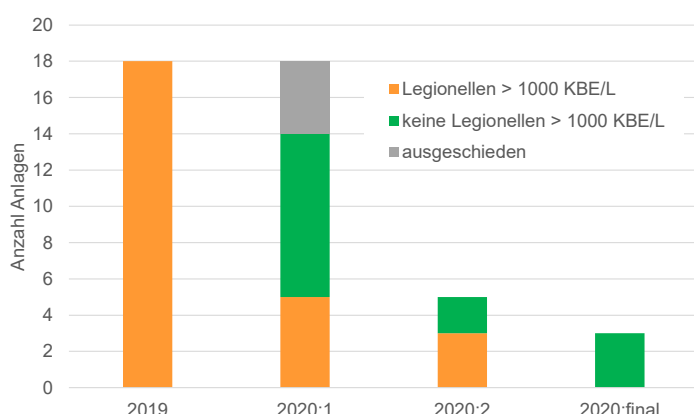


Abbildung C: Entwicklung der Anzahl Anlagen mit Legionellen >1000 KBE/L in Duschwasserproben im zeitlichen Verlauf der Studien.

Warmwasserverteiler. 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 wärmedämmtes 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

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

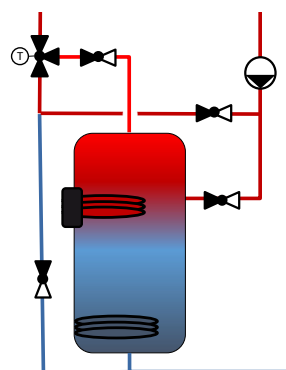


Abbildung D: Korrekte Einbindung der Zirkulation in Kombination mit einem zentralen Verbrühungsschutz. Der Zirkulationsrücklauf muss sowohl zum kalten Eingang des Verbrühungsschutzes als auch direkt mit dem Speicher verbunden werden. An mehreren Stellen sind Rückflussverhinderer erforderlich.



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.....	15
1.1	Ausgangslage und Hintergrund.....	15
1.2	Motivation des Projektes.....	16
1.3	Projektziele	16
2	Vorgehen und Methode	17
2.1	Ausarbeitung des Vorgehens.....	17
2.2	Identifizierung der Feldobjekte und Planung der Begehungen	17
2.3	Erstbegehung: Aufnahme der Anlagen-Parameter	18
2.4	Zweitbegehung: Probenahmen	19
2.5	Vorgehen bei der Probenahme.....	21
2.5.1	<i>Hauptdusche</i>	<i>21</i>
2.5.2	<i>Zweite Duscharmatur (1 Probe).....</i>	<i>22</i>
2.5.3	<i>Speicherboden</i>	<i>22</i>
2.5.4	<i>Nach Probenahme</i>	<i>23</i>
2.6	Messunsicherheit.....	23
2.6.1	<i>Legionellenkonzentration</i>	<i>23</i>
2.6.2	<i>Temperaturmessung über Temperaturmessknöpfe</i>	<i>24</i>
2.7	Analytik	24
2.8	Kommunikation an Teilnehmer / Betroffene	25
2.9	Einzelauswertungen.....	25
2.10	Statistische Auswertungen	26
3	Ergebnisse und Diskussion.....	27
3.1	Übersicht über die beprobten Objekte.....	27
3.1.1	<i>Geografische Verteilung</i>	<i>27</i>
3.1.2	<i>Haustyp</i>	<i>28</i>
3.1.3	<i>Alter des Hauses und letzte Sanierung der sanitären Anlage</i>	<i>29</i>
3.1.4	<i>Dokumentation und Pläne.....</i>	<i>29</i>
3.1.5	<i>Wärmeerzeugung</i>	<i>30</i>
3.1.6	<i>Speicher</i>	<i>31</i>
3.1.7	<i>Temperatureinstellungen</i>	<i>31</i>
3.1.8	<i>Kollektorfeld</i>	<i>33</i>
3.1.9	<i>Maximaltemperaturen an den Duscharmaturen</i>	<i>34</i>
3.2	Anlagen mit vermutlich systemischer Kontamination.....	35
3.3	Statistische Analyse der Legionellenbefunde	43
3.3.1	<i>Übersicht.....</i>	<i>43</i>
3.3.2	<i>Geografische Verteilung</i>	<i>45</i>
3.3.3	<i>Beprobungszeitraum.....</i>	<i>46</i>



3.3.4	Alter der Anlage	47
3.3.5	Wärmeerzeugung	49
3.3.6	Speicher	50
3.3.7	Ein- und Ausschalttemperaturen der Nachheizung	51
3.3.8	Legionellenschaltung	51
3.3.9	Zentraler Mischer	52
3.3.10	Verteilung und Warmhaltung	52
3.3.11	Enthärtungsanlage	53
3.3.12	Kollektorfeld	53
3.3.13	Probleme mit der hausinternen Warmwasserversorgung	54
3.3.14	Wartung	54
3.3.15	Armaturen	55
3.3.16	Häufigkeit der Nutzung	55
3.3.17	Stillstandszeit	56
3.3.18	Wasserverbrauch	56
3.3.19	Temperatur an der Zapfstelle	57
3.3.20	Auswertung der Temperaturverläufe	58
3.3.21	Statistische Analysen ohne Aussagekraft	59
3.3.22	Legionellen-Spezies	60
4	Diskussion	62
4.1	Aufzeichnen von Temperaturverläufen vor Ort	62
4.2	Allgemeine Feststellungen zu erreichten Temperaturen am Hahn	62
4.3	Kontaminationsraten und Probenahmestrategie	63
4.4	Statistisch signifikante Resultate	63
4.5	Anlagen mit und ohne Solarthermie und Alter der Anlagen	64
4.6	Wärmepumpen	65
4.7	Legionellen-Spezies	65
4.8	Legionellenschaltung	65
4.9	Totleitungen und selten benutzte Zapfstellen	66
4.10	Temperatur	66
4.11	Zirkulationsleitungen	66
4.12	Legionellen im Speicherboden	67
5	Ausblick und Empfehlungen	67
6	Nationale und internationale Zusammenarbeit	68
7	Kommunikation und Publikation	68
8	Literaturverzeichnis	69
Annex A	Anschreiben Studienteilnehmer	70
Annex B	Fragebogen Erstbegehung	74
Annex C	Fragebogen Zweitbegehung und Probenahmen	79
Annex D	Anleitung für die Feldarbeiten	81



Annex E	Massnahmen zur Wahrung der Datensicherheit.....	85
Annex F	Anlagen mit Legionellen nur peripher oder nur im Speicherboden	86
Annex G	Errata und Änderungen am Bericht.....	111



Abkürzungsverzeichnis

AB	Antibiotika
AROC	Area under the ROC (Fläche unter der ROC-Kurve)
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BCYE	Buffered Charcoal Yeast Extract
BFE	Bundesamt für Energie
BLV	Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen
DFH	Doppelfamilienhaus
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasser, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EDI	Eidgenössisches Departement des Innern
EFH	Einfamilienhaus
EN	Europäische Norm
FWM	Frischwassermodule
HSLU	Hochschule Luzern
ISO	International Organization for Standardization
KBE	Kolonie bildende Einheiten
KW	Kaltwasser
L.	Legionella
MALDI	Matrix-unterstützte Laser-Desorption/Ionisation
MFH	Mehrfamilienhaus
PET	Polyethylenterephthalat
prSIA	Vornorm zu SIA-Norm (Vorläufige Version vor der Verabschiedung)
PV	Photovoltaik
p-Wert	Wahrscheinlichkeitswert, der hinzugezogen wird um eine Aussage darüber zu treffen, ob ein Ergebnis statistisch signifikant ist oder nicht
ROC	Receiver Operating Characteristic
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband
SPF	Institut für Solartechnik der HSR Hochschule für Technik Rapperswil
SR	Schweizer Recht
TBDV	Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen, SR 817.022.11.
TC	Technical Committee
TOF	Time of Flight (Flugzeitanalyse)
WW	Warmwasser



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Legionellen sind humanpathogene Einzeller, welche beim Menschen sowohl Pontiac-Fieber als auch die weit gravierendere Legionärskrankheit hervorrufen können. Die Infektion erfolgt durch das Einatmen von Aerosolen, welche versprüht werden von Nasskühltürmen, Autowaschanlagen, Duschen, etc. Voraussetzung für das Wachstum von Legionellen sind Temperaturen zwischen 25 – 45 °C. Oberhalb von 50 °C werden die Keime deaktiviert oder sterben ab. Dabei gilt, dass die Abtötung der Keime umso effizienter und schneller erfolgt, je höher die Temperatur über 50 °C ist. Eine Zusammenfassung zum Stand des Wissens bezüglich Legionellen in Warmwassersystemen, mit einem speziellen Fokus auf Wärmespeicher und Solaranlagen, wurde im Bericht LegioSafe [1] gegeben.

Die Effizienz der Warmwasserversorgung wird immer wichtiger. Mit zunehmend besseren Gebäudehüllen sinkt der Wärmebedarf für Raumheizung, die Ansprüche an die Warmwasserverfügbarkeit steigen jedoch mit den Ansprüchen der heranwachsenden jüngeren Generationen. Der Wärmebedarf für Warmwasser übersteigt bereits in vielen Objekten den Bedarf für Raumheizung. Wegen des auch im Sommer hohen Energiebedarfs stellt die Warmwasseraufbereitung das wichtigste Anwendungsgebiet der Solarthermie in der Schweiz dar, mit über Jahrzehnte erprobten und funktionierenden Systemen.

Die Publikation einer Revision der SIA 385/1 wurde im Juni 2018 auf Grund fehlender wissenschaftlicher Grundlagen und erheblicher Unklarheiten bezüglich der verlangten Anforderungen für Wärmespeicher und Warmhaltesysteme zurückgestellt und nochmals überarbeitet. Insbesondere die in der ersten Überarbeitung der Norm verlangten Temperaturen des Bereitschaftsvolumens von 60 °C und die periodische Nachheizung allfälliger Vor- und Mitteltemperaturzonen auf dieses Temperaturniveau sind Massnahmen, welche sehr umstritten waren und immer noch sind. Unbestritten ist, dass Trinkwasser in Gebäuden hygienisch einwandfrei sein muss, und dass die Gefahr einer Infektion mit Legionellen beim Duschen so weit wie möglich reduziert werden muss. Umstritten ist jedoch die Wirksamkeit verschiedener Massnahmen, zu denen keine schlüssigen und eindeutigen Ergebnisse aus Feldstudien vorliegen.

Die Bekämpfung des Klimawandels erfordert den vermehrten Ersatz von fossilen durch erneuerbare Energieträger, und ein möglichst effizienter Einsatz der Energie. Unter anderem müssen vermehrt Systeme eingesetzt werden, welche Warmwasser mit Hilfe von Solar- und Umweltwärme aufbereiten. Die Effizienz dieser Systeme ist sehr stark abhängig von der Temperatur mit welcher diese Systeme Wärme bereitstellen müssen. Je niedriger die Temperatur, desto effizienter. Im Extremfall kann eine hohe Temperaturanforderung dazu führen, dass eine Wärmepumpe das geforderte Temperaturniveau nicht erreichen kann, und stattdessen mit einer direkt elektrischen Heizung nachgeholfen werden muss.

Unter Berücksichtigung der angestrebten Legionellensicherheit einerseits und der Anstrengungen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen andererseits muss nach Ansicht der Autoren der Grundsatz gelten, dass die Temperaturen in Warmwassersystemen so hoch wie nötig angesetzt werden müssen um den Schutz vor Legionellen und anderen pathogenen Keimen zu gewährleisten, jedoch nicht höher. Denn jede Erhöhung der Temperatur über das notwendige Niveau hinaus führt zu weniger Energieeffizienz und weniger Solar- und Umweltwärme. Für eine Begrenzung der Temperaturen auf das notwendige Niveau spricht zudem eine weitere Erkenntnis: Insbesondere in Systemen mit warm gehaltener Verteilung kann eine unerwünschte Wärmeübertragung von der Warmwasserverteilung auf



die Kaltwasserverteilung dazu führen, dass auf Grund zu hoher Temperaturen im Kaltwasser das Problem des Legionellenwachstums von der Warmwasserseite auf die Kaltwasserseite verlagert wird.

1.2 Motivation des Projektes

Die Forderungen nach sehr hohen Temperaturen in Warmwassersystemen werden umstritten bleiben, sofern nicht neue wissenschaftliche Erkenntnisse über das Vorkommen von Legionellen in Systemen mit verschiedenen Temperaturregimes und mit verschiedenen Speicherkonzepten vorgelegt werden können. Strenge und eventuell unnötige Vorschriften diesbezüglich hätten Konsequenzen für die Anbieter heutiger Warmwasserspeicher und Warmwassererwärmer, und könnten zur Unverkäuflichkeit vieler Produkte auf dem Markt führen. Sollte ein Teil der heute verkauften Lösungen tatsächlich anfällig sein für Legionellenwachstum und für das Vorkommen von Legionellen insbesondere an den Duschzapfstellen, so wären dies wichtige Informationen für die Hersteller und Planer, welche in diesem Falle ihre angebotenen Systeme neu konzipieren müssten, um die Legionellensicherheit zu gewährleisten.

Hier liefert dieses Projekt einen Beitrag, indem anhand einer Feldstudie aufgezeigt wird, wie häufig Legionellen in Duschzapfstellen kleiner Objekte in welcher Konzentration anzutreffen sind, und ob dabei ein Zusammenhang mit Parametern der Installation und Betriebsweise (Temperaturregimes) der Anlagen besteht. Insbesondere stand dabei auch die Frage im Raum, ob das Vorhandensein einer solarthermische Wassererwärmung die Wahrscheinlichkeit für das Vorkommen von Legionellen reduziert oder erhöht.

1.3 Projektziele

Es sollen mit einer Felduntersuchung Grundlagen geschaffen werden für die Beantwortung der Frage, welches Design und welche Betriebsweise von Speicher und System eine hohe Legionellensicherheit garantiert, respektive welches Design und welche Betriebsweise anfällig für Legionellen ist.

Es werden die folgenden Teilziele erreicht:

1. Es werden Felddaten zum Vorkommen von Legionellen erhoben von mindestens 80 (Ziel 100) Ein- und Mehrfamilienhäuser mit bekannter Hydraulik und Betriebsweise des Warmwassersystems, davon mindestens die Hälfte mit solarer Unterstützung der Warmwasseraufbereitung.
2. Auf Grund der Untersuchungen wird ermittelt, welche Design- und Betriebsparameter einen Einfluss auf das Vorkommen der Legionellen haben.
3. Die Resultate werden aufgearbeitet und den Arbeitsgruppen welche sich mit der Revision der Schweizer Norm SIA 385/1 und der Europäischen Norm EN 806-2 (Kommission SIA-385-1 und ISO TC165) zur Verfügung gestellt.

Die Resultate werden in einem öffentlichen Schlussbericht zu Handen des BFE verfasst, und in Fachzeitschriften veröffentlicht.



2 Vorgehen und Methode

2.1 Ausarbeitung des Vorgehens

Das Vorgehen zum Erfassen von Design und Betriebsweise der Anlagen sowie zur Probenahme und Analytik wurde mit Fachexperten der HSLU (Franziska Rölli), der EAWAG (Frederik Hammes) und des Kantonalen Labors St. Gallen (Linda Thöny) besprochen. Abgestützt wurde auch auf Fragebogen, welche aus Untersuchungen in Deutschland publiziert wurden [2].

Auf Grund der vorliegenden Informationen, der Fragebogen aus anderen Projekten, sowie der Rückmeldungen der Experten wurden die folgenden Dokumente für die Feldstudien ausgearbeitet:

- Anschreiben an die Studienteilnehmer (Annex A)
- Fragebogen für die Erstbegehung (Annex B)
- Fragebogen für die Zweitbegehung (Annex C)
- Anleitung für die Probenahme (Annex D)
- Massnahmen zur Wahrung der Datensicherheit (Annex E)

2.2 Identifizierung der Feldobjekte und Planung der Begehungen

Um den Einfluss unterschiedlicher kommunaler Wasserversorgungen ausschliessen zu können, wurde das Untersuchungsgebiet auf die Regionen Rapperswil-Jona sowie Uznach/Schmerikon begrenzt. Frühere Studien haben gezeigt, dass die Zusammensetzung des Wassers das Vorkommen von Legionellen beeinflussen kann. Deshalb wurde darauf geachtet, dass die Anlagen ohne Solarwärmeeinbindung eine möglichst ähnliche geografische Verteilung aufweisen wie die Anlagen mit Solarwärmeeinbindung. Dies wurde dadurch erreicht, dass als erstes die Anlagen mit Solarwärme festgelegt wurden, und dann in der Nähe der jeweiligen Objekte mit Solarwärme nach einer Liegenschaft ohne Solarwärmenutzung gesucht wurde, deren Eigner bereit waren an der Studie mitzuwirken.

Als erstes wurden anhand von Satellitendaten² und durch persönliche Kontakte Objekte im Raum Rapperswil-Jona und später in Schmerikon und Uznach identifiziert, welche über eine Solarwärmanlage verfügen. Die Besitzer dieser Liegenschaften wurden per Brief (Anhang Annex A) über die Studie informiert und darum gebeten an der Studie teilzunehmen. Die Absicht der Teilnahme konnte über Rückmeldung per Mail oder per Telefon bekundet werden. Bei fehlender Rückmeldung wurde telefonisch nachgehakt.

Im Anschluss wurden Vergleichsobjekte ohne Solarwärmeunterstützung identifiziert, deren räumliche Verteilung dem Muster der Objekte mit Solarwärmeunterstützung folgen. Bei der Auswahl der Objekte mussten jedoch immer wieder Kompromisse in Kauf genommen werden, weil die Bereitschaft der angeschriebenen Bewohner/Besitzer zur Mitwirkung sehr unterschiedlich ausfiel und beispielsweise auch auf einen ausgeglichenen Anteil von Ein- und Mehrfamilienhäusern geachtet wurde.

² <https://map.search.ch/>



2.3 Erstbegehung: Aufnahme der Anlagen-Parameter

In einer ersten Begehung wurden Hydraulik und Charakteristik der Anlage aufgenommen, sowie Temperaturmessknöpfe (kabellos) gesetzt, jedoch noch keine Proben gezogen.

Die Bewohner, Besitzer oder Verwalter wurden vor der Begehung angefragt, allfällige Pläne und Dokumentationen der Sanitäranlagen bereit zu stellen und Zugang zu den Anlagen zu gewährleisten. Ebenfalls sollte eine Person zur Hilfe beim Ausfüllen der Fragebogen anwesend sein. Die Erstbegehungen wurden alle von derselben Person mit Erfahrung im Bereich der Installation von Sanitär- und Solaranlagen durchgeführt. Diese füllte den ersten Fragebogen (Annex B) mit Hilfe der anwesenden Person und wenn vorhanden, der Pläne oder Dokumentationen der Anlage aus. Oft mussten Werte aber auch von Typenschildern abgelesen, aus Steuerungen ausgelesen oder geschätzt werden. Dabei wurde nach bestem Wissen und Gewissen vorgegangen. Bei den Angaben der anwesenden Personen oder auch bei Werten, welche aus den Dokumentationen ausgelesen wurden, kann nicht garantiert werden, dass diese auch den aktuellen Gegebenheiten der Anlage entsprachen. So hat zum Beispiel eine nachträgliche individuelle Durchsicht der Temperaturverläufe gezeigt, dass die Aussagen bezüglich Legionellenschaltung oft nicht mit dem realen Nachheizverhalten der Anlagen übereinstimmten (siehe auch Abschnitt Legionellenschaltung auf Seite 51). Die Fragebögen wurden von Hand auf Papier ausgefüllt und danach digitalisiert. Die ausgefüllten Fragebögen wurden archiviert und die digitalisierten Daten wurden stichprobenartig geprüft.

Mit den Temperaturmessknöpfen wurden Temperaturen an verschiedenen Stellen der Anlage erfasst (siehe Tabelle 1). Dabei wurde auf einen guten thermischen Kontakt der Messknöpfe zur Leitung oder dem Speicher geachtet, und die Messstelle wurde gegen Aussenluft zusätzlich wärmedämmend (Beispiel in Abbildung 1). Messknopf und Messstelle wurden immer fotografisch dokumentiert und notiert.

Tabelle 1: Beschreibung der Temperaturmessstellen.

Nr	Ort	Beschreibung	wann?
1	Zimmertemperatur Hauptdusche	frei zugänglich im Badezimmer	immer
2	Zimmertemperatur Nebendusche	frei zugänglich im Badezimmer	wenn vorhanden
3	Bereitschaftsvolumen	direkt auf Leitung, vor Siphon; unter Wärmedämmung im oberen Speicherbereich; zugänglicher Anschluss im oberen Speicherbereich	immer
4	Speicherboden	unter Wärmedämmung am Speicherboden; zugänglicher Anschluss im untersten Speicherbereich	immer
5	Zusatzspeicher	unter Wärmedämmung zugänglicher Anschluss;	wenn mehrere Speicher vorhanden



		je nach Verschaltung im unteren oder oberen Bereich	
6	Zirkulationsrücklauf	zugängliche Stelle im Zirkulationsrücklauf	wenn Zirkulation vorhanden
7	Nach Mischer	Warmwasserleitung nach zentralem Mischer (zugängliche Stelle)	wenn zentralen Mischer vorhanden
8	Schwachstelle in Warmwasserverteilung	passiv erwärmte Leitung, wenn keine aktive Warmhaltung vorhanden Kalte Stelle in Zirkulationssystemen	wenn vorhanden
9	Schwachstelle Kaltwasserverteilung	erwärmte Kaltwasserleitungen (durch Heizung, Warmwasserverteilung usw.)	wenn vorhanden



Abbildung 1: Fixierung und Wärmedämmung eines Temperaturfühlers an einem Leitungsabschnitt.

2.4 Zweitbegehung: Probenahmen

Die zweite Begehung der Feldobjekte fand 7-14 Tage nach dem Platzieren der Sensoren statt. Es wurden die Temperatursensoren eingesammelt, und es wurden Trinkwasserproben entnommen. Alle Probenahmen fanden im Frühjahr 2019 statt, was für Solaranlagen aufgrund der tiefen Einstrahlung und somit tiefen Temperaturen in den Vorwärmvolumen die kritischste Zeit darstellt.

Für die Probenahme wurden sterile Gerätschaften (Probeflasche, Metallgefäß, Metalltrichter, Temperaturfühler) verwendet, welche jeweils wieder sterilisiert (abgeflammt oder mit Ethanol desinfiziert) wurden. Bei jeder Probe wurde die Temperatur gemessen und notiert. Der genaue Ablauf der Probenahme wird im Annex D beschrieben.

Das Vorgehen bei der Probenahme erfolgte einerseits in Anlehnung an eine orientierende Untersuchung (Legionellen-Modul 10 des BLV/BAG, 2018), welche die Möglichkeit einer aktuellen Gefährdung am Hahn ermitteln soll, andererseits sollte jedoch auch die Hypothese geprüft werden, ob ein eventuelles Wachstum von Legionellen im Speicher-Bodensatz eine Rolle spielen könnte bei der



Einnistung von Legionellen im System nach dem Speicher. Auf Grund fehlender Probenahmemöglichkeiten am Speicheraustritt und beim Rücklauf eventuell vorhandener Zirkulationssysteme musste auf Probenahmen an diesen Stellen verzichtet werden.

Entsprechend wurden Proben an der Hauptdusche entnommen, wenn vorhanden an einer oder mehrerer Nebenduschen, so wie wenn möglich aus dem unteren Bereich des Warmwasserspeichers, sofern dieser Brauchwasser, respektive Trinkwasser, enthielt.

Die Probenahmen erfolgten nach dem Prinzip der Ermittlung einer Gefährdung und das Vorgehen weicht daher von einer systemischen Beprobung nach BLV/BAG ab. Im Gegensatz zu einer "systemischen Beprobung" wurden in diesem Projekt die Duschschläuche und Armaturen nicht abgeschraubt und es wurde nicht abgeflammt. Somit kann auch bei einer dezentralen Kontamination des Duschschlauches ein positiver Befund entstehen. Es wurde aber auch nicht der erste Liter beprobt, was ausschliesslich der Feststellung einer peripheren Kontamination der Zapfstellen dient.

Die Beprobung von Heisswasser ohne Beimischung nach Erreichen einer Temperatur von 37 °C wurde dabei möglichst nahe an das reale Duschverhalten angelehnt, bei dem die ersten (kalten) Liter verworfen werden und erst nach dem Erreichen einer komfortablen Temperatur geduscht wird. Das gewählte Vorgehen beruht auf der Annahme, dass die Aerosol-Exposition direkt unter der Dusche deutlich höher ist, sobald diese Temperatur erreicht wird. Weitere Proben wurden bei einer Mischtemperatur von ca. 37 °C entnommen nachdem der Heisswasser-Ausfluss seine Maximaltemperatur erreicht hat. Diese Proben stellen den Dauerbezug während des Duschens dar und zeigen auch eine eventuelle Kontamination des Kaltwassers. Alle Proben an den Duschstellen wurden bei einer Temperatur von ca. 37 °C gezogen um ein Absterben von Legionellen im (heissen) Probebehälter zu verhindern. Würden die Proben bei Maximaltemperatur gezogen, so könnte man unter Umständen nicht mehr feststellen, ob mit dem heissen Wasser Legionellen aus dem Biofilm der Leitungen ausgespült wurden oder nicht. Dies deshalb, weil diese Legionellen bei hohen Temperaturen auch mit hoher Sicherheit im Probebehälter absterben würden. Eine duschende Person wäre jedoch diesen Legionellen ausgesetzt, da beim Duschen das heisse Wasser im Mischer mit kaltem Wasser gemischt und versprüht worden wäre. Die Dauer während der die Legionellen den hohen Temperaturen des Heisswassers ausgesetzt sind wäre in diesem Falle viel zu kurz für eine effektive Desinfektion. Dies stellt wohl den deutlichsten Unterschied zu anderen Untersuchungen dar.

Tabelle 2: Beschreibung der Probenahmen.

Nr	Beschreibung	wann
1	Hauptdusche (Dusche 1), Warmwasser (ungemischt) nach Erreichen 37 °C	immer
2	Hauptdusche (Dusche 1), Warmwasser (gemischt), nach Erreichen einer konstanten Maximaltemperatur und einer Beimischung von Kaltwasser auf eine Temperatur zwischen 35 und 45 °C	immer
3	Nebendusche / Gästedusche (Dusche 2), Warm und Kaltwasser gemischt, nach Erreichen einer Temperatur von 37 °C.	wenn vorhanden
4	Speicherboden, Probenahme über Entleerhahn oder Kaltwasserzulauf (siehe Annex D)	wenn möglich



In Objekten mit mehreren Speichern in Serie (Mehrfamilienhäuser mit Solarwärme) wurde, wenn möglich, von jedem Speicher eine Bodenprobe gezogen. In einem Einfamilienhausobjekt existierten zwei parallele Warmwasseraufbereitungen mit je eigenem Speicher. In diesem Fall war der Hauptspeicher ein Solarwärmespeicher, der Nebenspeicher für die Versorgung der Gästedusche ein Elektroboiler. In der Statistik wurden für dieses Gebäude zwei Anlagen mit je eigenen Identifikationsnummern (Obj 16 & 6) erfasst. Sie erscheinen also sozusagen als unabhängig voneinander in der Statistik. Bei der Beschreibung der Einzelfälle wird das Gebäude mit beiden Anlagen jedoch gemeinsam beschrieben.

In Mehrfamilienhäusern oder auch in Anlagen mit mehreren Nebenduschen ist es zudem möglich, dass mehr als zwei Duschen beprobt wurden.

2.5 Vorgehen bei der Probenahme

Die Probenahmebehälter wurden über das kantonale Labor St. Gallen bezogen. Die 0.5 L Flaschen waren aus klarem Kunststoff (PET), gamma-sterilisiert, und wurden nur zum Zwecke der eigentlichen Probeneinfüllung geöffnet und wieder verschlossen. Sie enthielten zur Neutralisierung eventueller Chlor-Desinfektionsmittel eine kleine Menge Natrium-Thiosulfat.

Die Probenahme erfolgte bei der zweiten Begehung. In der ersten Begehung wurden nur Anlagen-Parameter aufgenommen und die Temperaturlogger gesetzt. Die Zweitbegehung fand ein- bis zwei Wochen nach der Erstbegehung statt. Der Temperatursensor, der bei den Probenahmen verwendet wurde um die Temperatur der Probe zu messen, wurde vor jeder Probenahme mit Alkohol (70%) sterilisiert.

Die Probenahme erfolgte immer in der Reihenfolge:

1. Hauptdusche
2. Nebendusche
3. Speicherboden

Somit wurde die Hauptdusche in einem dem realen Gebrauch entsprechenden Zustand beprobt. Es ist nicht auszuschliessen, dass die Beprobung der Hauptdusche durch die Erwärmung des Leitungssystems, durch den Eintritt von frischem Kaltwasser im Speicherboden oder durch andere Effekte die weiteren Beprobungen beeinflusst hat. Eine gegenseitige Beeinflussung von Probenahmen ist aber bei jeder Reihenfolge unvermeidbar. Die Wahl der Hauptdusche als möglichst unbeeinflusste Erstbeprobungsstelle entspricht somit dem Ansatz einer risikobezogenen Analyse, welche in diesem Projekt auch an anderen Stellen angewendet wurde.

2.5.1 Hauptdusche

Die Probenahme erfolgte möglichst "realitätsnah", d.h. so, dass es einem realen Gebrauch der Dusche entspricht. Entsprechend wurden weder der Duschschlauch noch die Brause abgeschraubt, und es fand auch keine Sterilisation der Duschköpfe statt. Die Einleitung der Wasserproben in die Flasche erfolgte über einen Edelstahl-Trichter, der nach jeder Probenahmestelle abgeflammt und in einem so weit wie möglich sterilen Stahlbehälter gelagert wurde. Der Stahlbehälter wurde jeweils am Ende des Tages ebenfalls ausgeflammt. Die einzelnen Teilschritte bei der Probeentnahme waren:



1. Der Mischer wurde auf den Anschlag "heiss" gestellt, wobei mögliche Sicherheitsbegrenzungen (zum Beispiel bei Balkenmischer mit Temperaturstop durch Drücken der entsprechenden Arretierung am Drehknopf) manuell übersteuert wurden.
2. Der Hahn wurde voll aufgedreht und Wasser laufen gelassen, wobei die Temperatur gemessen und aufgezeichnet wurde. Sobald die gemessene Temperatur 37°C erreichte, wurden 0.5 Liter über einen Trichter in die Probeflasche abgefüllt. Im Probenvolumen wurde die Temperatur gemessen und aufgezeichnet.
3. Der Hahn wurde danach geschlossen, um die erste Probenahme zu dokumentieren und eine zweite Probenahme am gleichen Hahn vorzubereiten.
4. Die Armatur wurde noch einmal voll geöffnet (heiss, Temperaturbegrenzung übersteuert) und es wurde die Temperatur weiter gemessen, bis Temperaturkonstanz erreicht wurde. Diese Maximaltemperatur wurde notiert und der Hahn danach geschlossen.
5. Nach der Entnahme der ersten Probe wurde das Thermometer sterilisiert.
6. Wenn ein Verbrühungsschutz (Temperaturbegrenzung) an der Armatur vorhanden war,
 - dann wurde diese wieder aktiviert (in der Regel durch Zurückdrehen des Temperaturdrehknopfes oder –hebels). Anschliessend wurde das Wasser laufen gelassen, und die Temperatur gemessen bis die Temperatur konstant blieb. Diese Temperatur wurde aufgezeichnet, und es wurde bei dieser Temperatur eine weitere Probe gezogen.
4. Wenn kein Verbrühungsschutz vorhanden war,
 - wurde manuell eine Mischtemperatur von ca. 37 °C eingestellt, und bei dieser Temperatur eine weitere Probe gezogen.

2.5.2 Zweite Duscharmatur (1 Probe)

Wenn eine zweite Duscharmatur vorhanden war, dann wurde bei dieser jeweils nur eine Probe gezogen. Vor der Beprobung der zweiten oder evtl. weiterer Duscharmaturen wurden Trichter und Temperatursensor erneut sterilisiert. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

1. Der Mischer wurde auf eine typische Mischposition (ca. 37 °C) gestellt.
2. Der Hahn wurde voll aufgedreht und Wasser laufen gelassen, wobei die Temperatur gemessen und aufgezeichnet wurde. Sobald die gemessene Temperatur 37°C erreichte, wurden 0.5 Liter über den sterilen Trichter in die Probeflasche abgefüllt. Im Probenvolumen wurde die Temperatur gemessen und aufgezeichnet.

2.5.3 Speicherboden

Die Entnahme von Proben des Speicherbodens erfolgte immer NACH der Entnahme an den Duschen. Bei der Entnahme von Proben aus dem unteren Speicherbereich (Speicher-Boden) wurde, wenn möglich, der Speicher-Entleerhahn verwendet. Bei einigen Anlagen war jedoch der Speicher-Entleerhahn in der Kaltwasserzuleitung positioniert. Hier musste sichergestellt werden, dass anstatt



Wasser aus dem Speicher nicht einfach Wasser aus der Kaltwasserzuleitung beprobt wurde. Die einzelnen Teilschritte waren:

1. Die Kaltwasserzufuhr wurde geschlossen, und der Hahn einer beliebigen Warmwasserentnahmestelle (meist Waschküche) geöffnet, um einen Druckausgleich mit der Umgebung herzustellen. Somit konnte über den Entleerhahn Wasser aus dem Speicherboden entnommen werden.
2. Am Entleerhahn des Speichers (Entleerung Trinkwasservolumen) angebrachte Schläuche oder Endkappen sowie eventuell vorhandene Dichtungen wurden entfernt.
3. Der Entleerhahn wurde abgeflammt.
4. Nach dem Abflammen wurde der Hahn sorgfältig geöffnet, und es wurde eine Menge Wasser abgelassen, welche ca. dem Doppelten des Rohrinhalts der Zuleitung (vom Entleerhahn bis zu Speicher) entsprach. Danach wurden ca. 0.5 Liter in die Probeflasche abgefüllt.
5. Im Probevolumen wurde die Temperatur gemessen und aufgezeichnet.
6. Der Hahn wurde wieder verschlossen und evtl. vorher angebrachte Schläuche oder Endkappen wieder montiert.
7. Allenfalls zuvor geöffnete Warmwasser-Entnahmestellen wurden wieder geschlossen und die Kaltwasserzufuhr wieder geöffnet.

2.5.4 Nach Probenahme

Nach erfolgter Probenahme wurden die Behälter eindeutig mit Zeit und Ort der Probenahme gekennzeichnet. Diese Angaben wurden im Formular für die Zweitbegehung (Annex C) notiert und die Entnahmestelle fotografisch dokumentiert. Die Proben wurden bei Umgebungstemperatur (Innenraum/Fahrzeug) gelagert bis zum Versand an das Kantonale Labor am gleichen Tag.

2.6 Messunsicherheit

2.6.1 Legionellenkonzentration

Wenn in einer Probe weniger als zehn Kolonien pro Platte ausgewertet werden entspricht dies nicht mehr der Vorgabe der EN ISO 8199:2007. Die gemessene 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.

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 von einem vorhandenen Biofilm bei einer Beprobung mitgespült wurde. Wenn also an einer Stelle nur eine Probe gezogen wird, so ist dieser Wert auch mit einer entsprechend hohen Unsicherheit belastet, 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 aber wegen der grossen Anzahl Objekte und dem damit verbundenen Aufwand nicht möglich.



2.6.2 Temperaturmessung über Temperaturmessknöpfe

Die Temperaturmessknöpfe, welche an den Rohrleitungen und an der Speicherwand angebracht wurden, waren vom Typ Thermochron® iButton® (DS1921G), wobei eine Genauigkeit von ± 1 K im Bereich von -30 - 70 °C angegeben wird. Versuche des SPF haben aber eine erhöhte Messgenauigkeit von ± 0.5 K ergeben. Die integrierte Uhr weist eine maximale Abweichung von ± 2 min/Monat auf. Für die Temperaturmessungen an den Anlagen wurde ein Zeitschritt 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 wiedergeben, 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 auftritt, entspricht die gemessenen Temperatur an dieser Stelle einer undefinierten Mischung zwischen Bereitschaftstemperatur und der Temperatur der angeschlossenen Leitung. Bei einer individuellen Betrachtung der Temperaturverläufe 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 Temperaturen von Speicherboden und Bereitschaftsvolumen sind aufgrund der teilweise unklaren Anbindung der Messstellen nur bedingt aussagekräftig.

Für die Messung der erreichten maximalen Warmwassertemperaturen und die Temperaturen der Proben wurde ein Testo 176 Datenlogger mit einem Thermoelement Typ K (Genauigkeit ± 0.3 K) verwendet.

2.7 Analytik

Die Proben wurden am gleichen Tag per Post an das Amt für Verbraucherschutz und Veterinärwesen (Kantonale Labor St. Gallen) übermittelt. Der Versand erfolgte ungekühlt. Die Proben wurden jeweils am späteren Nachmittag bei der Post aufgegeben und trafen am folgenden Morgen beim Kantonalen Labor ein, wo am gleichen Tag, in wenigen Ausnahmen welche durch logistische Probleme verursacht wurden am Tag danach, mit der Verarbeitung der Proben begonnen wurde. Somit wurde bei allen Proben innert 48 h mit der Verarbeitung im Labor begonnen. 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 waren Polymyxin-B-sulfat, Natrium-Cefazolin und Pimaricin. Zusätzlich wurden jeweils 10 ml der Proben filtriert (EZ-PakTM Mixed Cellulose Ester Membranfilter, black gridded, $0.45 \mu\text{m}$, Millipore) und die Filter einmal ohne Säurebehandlung und einmal mit Säurebehandlung und anschliessendem Waschen mit H_2O auf je eine BCYE und eine BCYE+AB-Agarplatte überführt. Dies ergab 6 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 Keime der Platte mit der höchsten resultierenden Legionellenzahl



pro Liter wurden per MALDI-TOF bestätigt, womit in den meisten Fällen auch ein Hinweis auf die vorhandene Spezies vorhanden war. Auch wenn bekannt ist, dass einzelne Spezies zu mehr Erkrankungen führen, wird für die Beurteilung der Gefahr laut BAG keine Unterscheidung zwischen unterschiedlichen Spezies gemacht. Daher wurden für die Auswertung auch die Werte für *Legionella* spp. (also ungeachtet der Spezies) verwendet und diese auch den Besitzern/Bewohnern kommuniziert.

2.8 Kommunikation an Teilnehmer / Betroffene

Studienteilnehmer mit positivem Legionellenbefund in ihrer Anlage wurden sogleich nach Eingang der Resultate (jeweils 7-10 Tage nach Probenahme) des Kantonalen Labors und Besprechung der Anlagen-Charakteristik im Projektteam des SPF über den Befund informiert, und Empfehlungen für Massnahmen zur Dekontaminierung abgegeben. Bei Befunden über 1000 KBE/L wurde jeweils auch das Modul 11 des BAG und BLV (Version 2018) beigelegt, und es wurde angeboten, die Resultate und Massnahmen zu besprechen. In einzelnen Fällen wurden zur Eingrenzung des Problems weitere Messungen veranlasst, oder es wurden nach getroffenen Massnahmen eine Nachmessung durchgeführt.

Teilnehmer mit einer sehr hohen Konzentration an Legionellen ($> 10'000$ KBE/L) bei einer häufig benutzten Dusche wurden umgehend telefonisch kontaktiert und auf die Gefahr hingewiesen. Dabei wurden auch erste Massnahmen und gegebenenfalls eine Nachbeprobung besprochen.

Studienteilnehmer mit negativem Befund wurden jeweils nach Ablauf des Monats, in welchem die Resultate des Kantonalen Labors eintrafen, informiert.

2.9 Einzelauswertungen

Anlagen mit positivem Legionellenbefund wurden in Kombination mit den erhobenen Daten des Anlagendesigns und der Betriebsweise analysiert. Dies beinhaltete insbesondere die Auswertung der Temperaturmessungen vor Ort, welche es erlaubten die „Temperaturgeschichte“ der Anlage über mindestens eine Woche vor der Probenahme zu ermitteln. Die Betriebsweise wurde mit den Richtlinien der SIA 385/1 (alte Fassung von 2011 sowie Entwurf prSIA 385/1 2019) verglichen, und gravierende Abweichungen den Eignern im Sinne von möglichen Ursachen und Massnahmen mitgeteilt.

Unter anderem wurden neben der Funktionstüchtigkeit der Komponenten folgende Forderungen des Entwurfs der prSIA 385/1 (2019) überprüft und entsprechende Abweichungen den Besitzern mitgeteilt. Einige Beispiele für solche Abklärungen sind:

- Wird an der Zapfstelle die geforderte Temperatur des Heisswassers von > 50 °C erreicht?
- Wird in evtl. installierten Zirkulationssystemen oder in Systemen mit Heizbändern in der warmen Verteilung die Forderung nach 60 °C im Vorlauf und 55 °C im Rücklauf (bei einwandfrei installierten Systemen $55/52$ °C) eingehalten?
- Ist die Temperatur allenfalls vorhandener Warmwasserspeicher stets über 50 °C, in der Regel zwischen 55 °C und 60 °C?
- Sind Speicheranschlüsse siphoniert?
- Sind dauernd warm gehaltene Teile der Anlagen (Speicher, Leitungen) wärmegeklämt und gegenüber den kalten oder in Bezugspausen auskühlenden Leitungen siphoniert?
- Ist die Forderung, dass Warmwasserverteilungen welche nur bei Bezug erwärmt werden und danach möglichst schnell auskühlen sollen NICHT wärmegeklämt werden dürfen, erfüllt?
- etc.



2.10 Statistische Auswertungen

Die im Feld handschriftlich erhobenen Daten wurden elektronisch erfasst und anhand von Stichproben validiert. Die Daten wurden statistisch in Matlab ausgewertet. Zur Anwendung kamen dabei die folgenden Verfahren und Kennwerte:

Der **Wilcoxon Rangsummentest** wurde verwendet um zu testen, ob sich die Verteilung zweier Gruppen (z.B. Anlagen mit und ohne Solarthermie) signifikant unterscheiden. Dieser Test kann für kontinuierliche Variablen wie Temperatur oder Alter der Anlage angewendet werden. Dabei handelt es sich um einen exakten Test, der auch für kleine Stichproben angewendet werden kann. Weil bei den meisten untersuchten Variablen ein positiver oder negativer Einfluss auf das Auftreten von Legionellen möglich ist, wurde der zweiseitige Test angewendet. Ausgewertet wird meist der Unterschied des Mittelwertes beider Stichproben. Der p-Wert gibt die Wahrscheinlichkeit an, dass die Unterschiede der Verteilung zweier Stichproben bei vorhandener Stichprobengrösse zufällig zustande kamen. Liegt der p-Wert unter 0.05, so wird von einem statistisch signifikanten Unterschied gesprochen, bei < 0.01 von hoch signifikant. Liegt der p-Wert über 0.05, so kann allenfalls noch von einer Tendenz gesprochen werden.

Bei binären (Ja/Nein) Variablen wurde der **Fisher-Test** angewendet, welcher ebenfalls für kleine und ungleich verteilte Stichproben angewendet werden kann. Kontinuierliche Variablen können anhand eines Grenzwertes ebenfalls in binäre Variablen umgewandelt und anhand des Fisher-Test analysiert werden. Die Odds Ratio³ gibt dabei an, wie viel Mal häufiger oder seltener Legionellen in einer Anlage mit einer spezifischen Ausprägung gefunden wurden als bei den Anlagen ohne diese Ausprägung. Der p-Wert gibt auch hier die Wahrscheinlichkeit an, dass der gefundene Unterschied bei der entsprechenden Stichprobengrösse und Verteilung zufällig zustande kam. Auch hier wurde standardmässig der zweiseitige Test durchgeführt. Liegt der p-Wert unter 0.05, so wird von einem statistisch signifikanten Unterschied gesprochen, bei < 0.01 von hoch signifikant. Liegt der p-Wert über 0.05, so kann allenfalls noch von einer Tendenz gesprochen werden.

Des Weiteren wurden einige Verfahren angewendet, welche bei dem hier verwendeten Datensatz zu keinen verwertbaren Aussagen führten. Bei multivariaten linearen Regressionen lagen die Unsicherheiten um ein vielfaches höher als die Korrelationskoeffizienten selber. Wie auch bei anderen Autoren [3], welche teilweise deutlich grössere Datensätze analysiert haben, lieferten diese Verfahren also keine brauchbaren Resultate. Auch Rangkorrelationen wie *Kendall's Tau* konnten bei dem hier verwendeten Datensatz keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Temperaturen und Legionellenkonzentrationen aufzeigen, und auch die ROC Analyse (receiver operating characteristic) konnte keine Erkenntnisse liefern.



3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Übersicht über die beprobten Objekte

Insgesamt wurden 110 Hausbegehungen durchgeführt. Da in einem der Gebäude zwei parallele Wärmespeicher und Warmwassersysteme (eines mit Solarthermie und ein reiner Elektroboiler) vorhanden waren, führte dies zu 111 Datensätzen. Weil bei einer Anlage ohne Solarwärme bereits vorgängig bekannt war, dass ein Fall von Legionellose aufgetreten ist, und die Anlage aus diesem Grunde (also nicht zufällig) ausgewählt wurde, wurde diese nicht als unabhängig eingestuft und für die weitere Auswertung nicht verwendet. In der betreffenden Anlage konnten keine Legionellen nachgewiesen werden. Somit bleiben 110 Datensätze (60 mit Solarthermieanlage und 50 ohne).

3.1.1 Geografische Verteilung

Die geografische Verteilung der Objekte mit und ohne Solarwärmeunterstützung in den Gemeinden Rapperswil-Jona, Schmerikon und Uznach ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Objekte mit Solaranlage wurden zuerst ausgewählt. Danach wurde versucht, Objekte ohne Solarthermieanlage in der Nachbarschaft der beprobten Objekte zu finden. Weil die Bereitschaft der angefragten Bewohner/Besitzer zur Mitwirkung sehr unterschiedlich ausfiel, konnte eine direkte Nachbarschaft von jeweils einer Anlage mit und einer ohne Solarthermie nicht immer erreicht werden. Erschwerend war auch die Tatsache, dass zusätzlich eine ähnliche Verteilung zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern angestrebt wurde. So sind die Anlagen ohne Solarthermie in Schmerikon und Uznach mit jeweils nur vier und sechs Anlagen gegenüber den Anlagen mit Solarthermie mit jeweils neun Anlagen untervertreten.

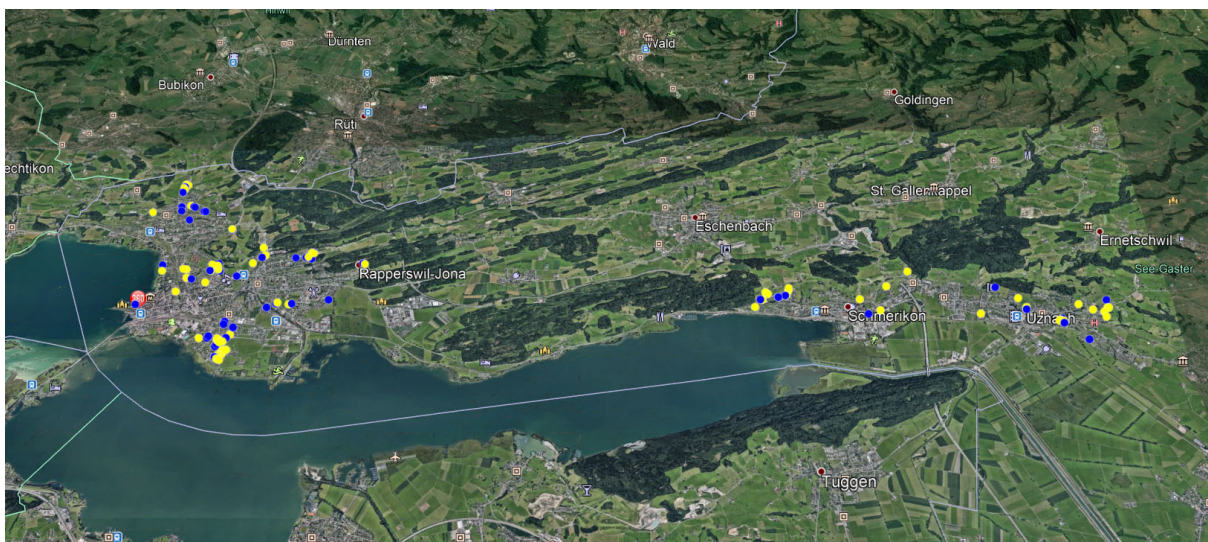


Abbildung 2: Verteilung der untersuchten Anlagen, gelb: mit Solarthermie; blau: ohne Solarthermie. Hintergrundkarte: © Google Earth.

Sowohl die Gemeinden Schmerikon und Uznach, als auch die meisten Gebiete der Stadt Rapperswil-Jona werden mit Wasser aus Quell- und Grundwasserfassungen versorgt. Einzig die "Obere Druckstufe West" (siehe Abbildung 3) der Stadt Rapperswil Jona wird hauptsächlich aus Seewasser der



Gruppenwasserversorgung Zürcher Oberland versorgt. Darin liegen 11 beprobte Objekte mit Solaranlage und 14 ohne.



Abbildung 3: Versorgungszonen der Stadt Rapperswil-Jona. Quelle: www.wvrj.ch.

3.1.2 Haustyp

In Abbildung 4 wird die Aufteilung der beprobten Anlagen in Einfamilienhaus (EFH), Doppel-einfamilienhaus (DFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) für die Gruppe mit Solaranlage und für die Gruppe ohne Solaranlage gezeigt. Es zeigt sich, dass auf eine ähnliche Aufteilung geachtet wurde, wobei in der Gruppe ohne Solaranlage etwas weniger DFH für die Studie gewonnen werden konnten.

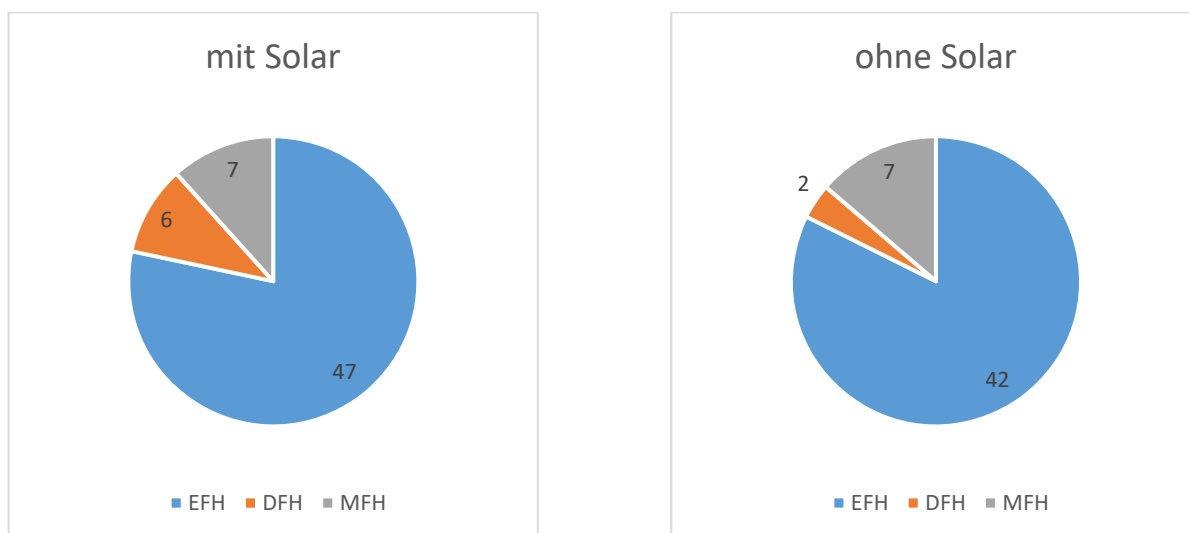


Abbildung 4: Verteilung der Hausgrößen.



3.1.3 Alter des Hauses und letzte Sanierung der sanitären Anlage

Aufgenommen wurden das Alter des Hauses, das Alter der sanitären Anlage und der Zeitpunkt der letzten Sanierung. Wenn die Anlage noch nicht saniert wurde, wurde bei diesem Parameter das Datum der Erstellung der Sanitäranlage für die Auswertung eingesetzt. Die beiden Gruppen (mit und ohne Solarthermieanlage) unterschieden sich in Bezug auf das Alter stark. In der Gruppe mit Solaranlagen sind die Gebäude im Schnitt 17 Jahre jünger ($p=0.04$), Die sanitäre Anlage ist im Mittel 11 Jahre jünger ($p=0.002$), und seit der Erstellung oder letzten Sanierung der sanitären Anlage sind im Mittel 7 Jahre weniger verstrichen ($p=0.01$). Die geringen p-Werte zeigen, dass diese Unterschiede durchaus statistisch signifikant sind. Dies kann damit zu tun haben, dass Solarwärmeanlagen vor allem in den letzten 10-20 Jahren installiert worden sind, und bei älteren Objekten, bei denen an der Sanitäranlage nichts geändert wurde, somit naturgemäss fehlen.

Bezogen auf die Zeit seit der letzten Wartung können keine deutlichen Unterschiede mehr zwischen den Gruppen ausgemacht werden (Wilcoxon Rangsummentest: $p=0.67$).

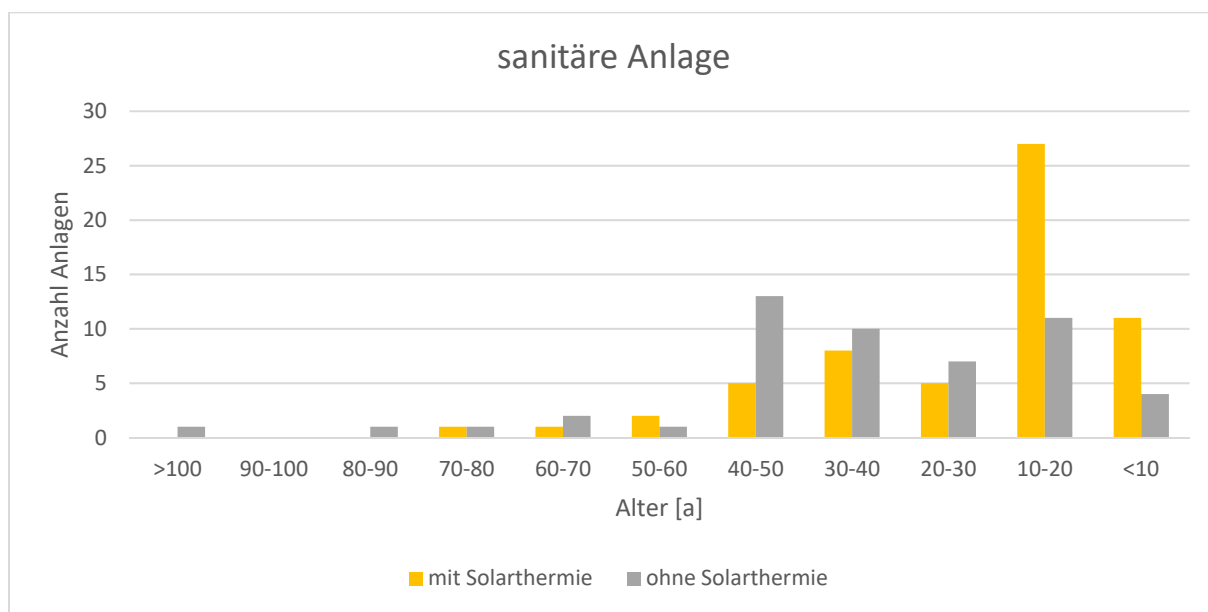


Abbildung 5: Altersverteilung der getesteten Sanitäranlagen mit und ohne solare Warmwassererzeugung.

3.1.4 Dokumentation und Pläne

Die erfassten Anlagen waren unterschiedlich gut dokumentiert, und es war nur bei knapp der Hälfte der Anlagen ein Plan der Wärmeerzeugung und bei nur ca. einem Viertel ein Plan für die Warmwasserverteilung vorhanden. Für die Erhebung mussten also bei vielen Objekten Daten von den Gerätschaften abgelesen oder geschätzt werden.



Tabelle 3: Verfügbarkeit von Dokumentationen und Plänen.

	vorhanden	Nicht vorhanden	Keine Angabe
Plan Wärmeerzeugung	50	59	2
Plan Warmwasserverteilung	27	83	1
Plan Speicher/Boiler	50	57	4
Betriebs-Logbuch	14	95	2
Anweisung Filterwechsel/Filterreinigung	29	74	8

3.1.5 Wärmeerzeugung

Es waren Anlagen mit Gas, Heizöl, Wärmepumpe, elektrischer Widerstandheizung und Holz als Wärmeträger oder Haupt-Wärmeerzeuger für Warmwasser in den Untersuchungsobjekten vorhanden. Neben der Kombination mit Solarthermie wurden auch eine Kombination von elektrischer Zusatz- oder Notheizung mit einer anderen Wärmeerzeugung genannt. Zweimal trat die Kombination von Holz und Gas auf. In Abbildung 6 wird die Häufigkeit der Wärmeerzeugungsart für die beiden Gruppen mit und ohne Solarthermie gezeigt, wobei nur die Haupterzeugungsart (bei der ersten Gruppe neben der Solarthermie) aufgezeigt wird. Eine eventuelle Zusatz- oder Notheizung erscheint deshalb hier nicht. Interessanterweise sind elektrische Widerstandheizungen in der Gruppe ohne Solarthermie deutlich häufiger vertreten als in der Gruppe mit Solarthermie, wodurch die anderen Erzeugungsarten in der Gruppe ohne Solarthermie etwas weniger häufig vorkommen.

Bei vier Anlagen wurde angegeben, dass sie "PV-gesteuert" sind. Weil die Stichprobe sehr klein ist und nicht genau erhoben wurde, welchen Wärmeerzeuger (Heizstab oder Wärmepumpe) dies betrifft, wurde dieser Parameter nicht weiter ausgewertet.

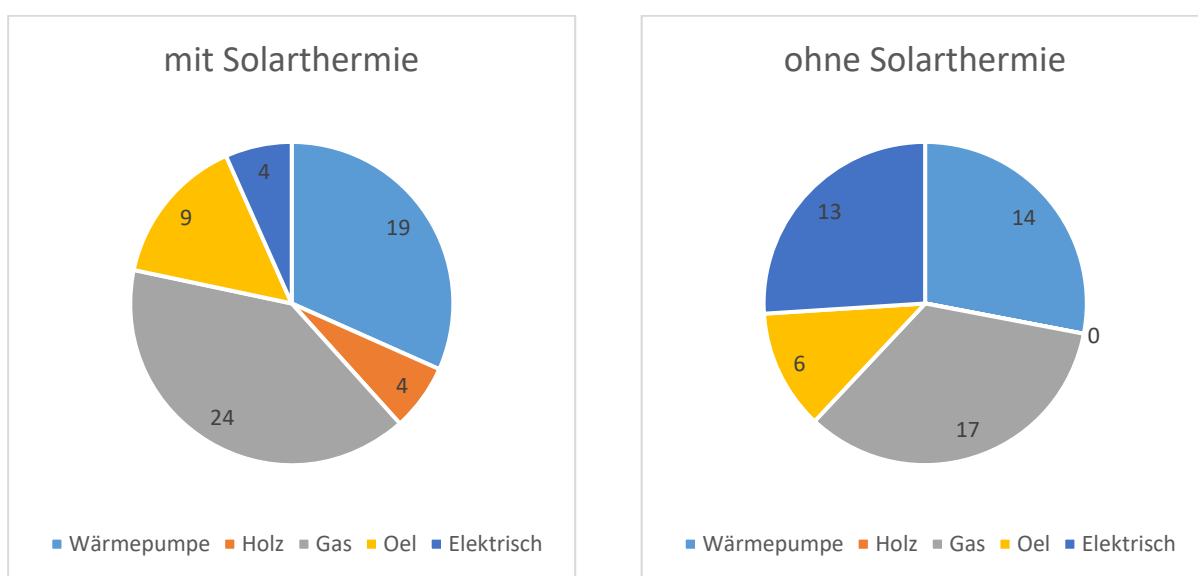


Abbildung 6: Aufteilung der Hauptwärmeerzeuger für die Gruppen mit und ohne Solarthermie.



3.1.6 Speicher

Bei Solarthermieranlagen kommen grundsätzlich grössere und andere Typen von Speichern zum Einsatz. In Abbildung 7 wird die Verteilung der Speichertypen in den beiden Gruppen mit und ohne Solarthermie gezeigt, in Abbildung 8 die Verteilung der Speichergrössen.

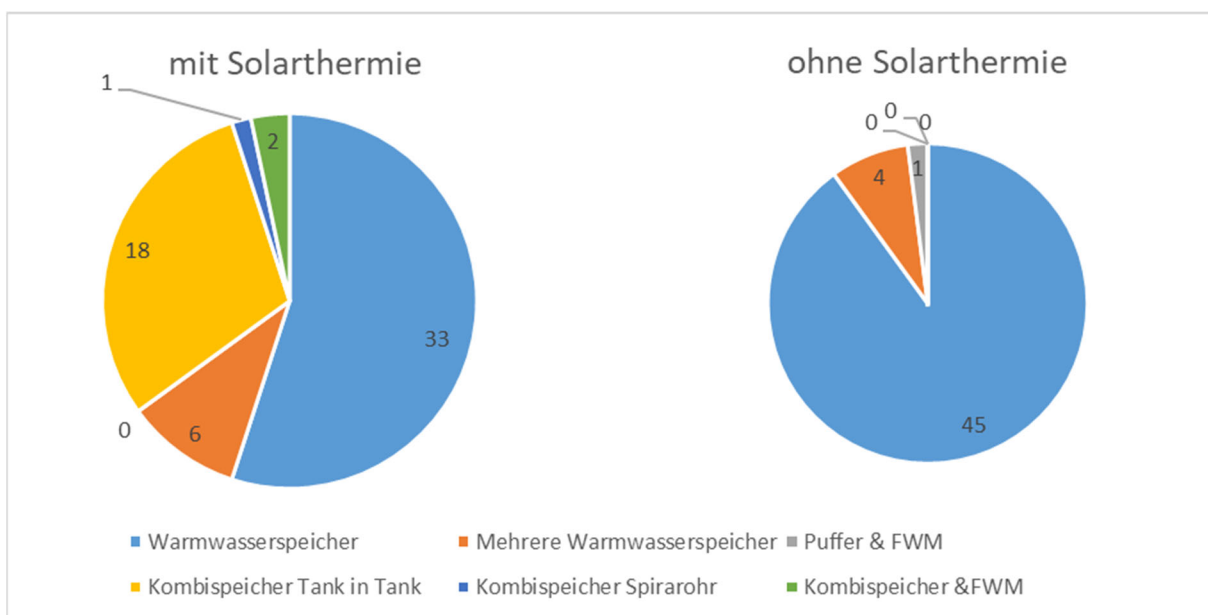


Abbildung 7: Häufigkeit von unterschiedlichen Speichertypen.

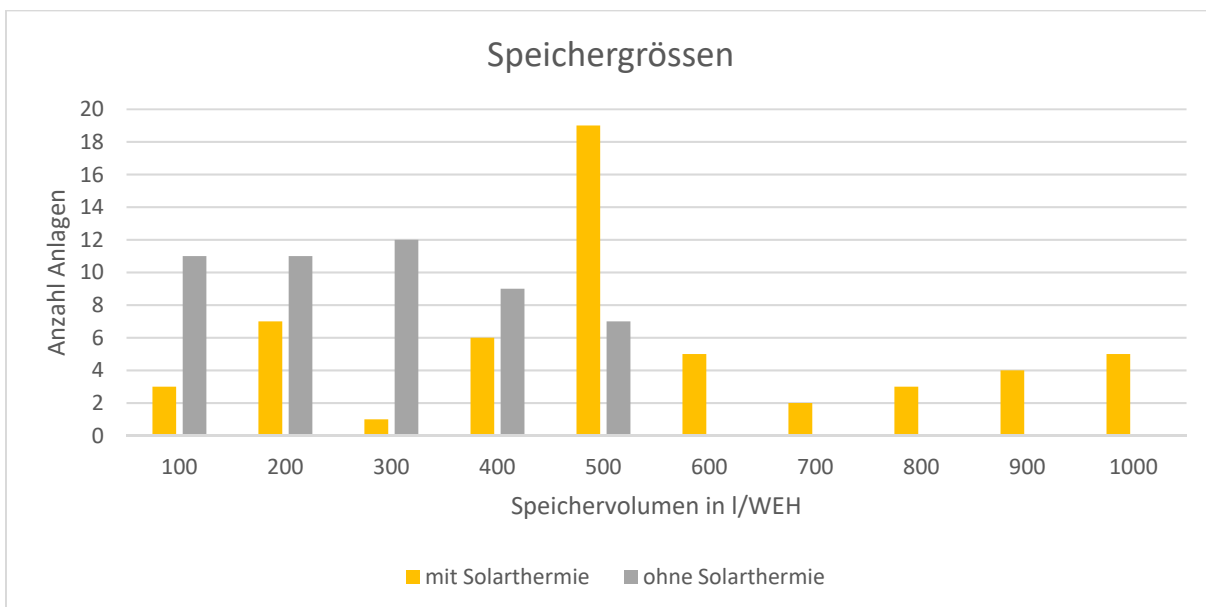


Abbildung 8: Verteilung der Speichergrössen der untersuchten Anlagen.

3.1.7 Temperatureinstellungen

In Abbildung 9 wird die Verteilung der Ein- und Ausschalttemperaturen für die Erwärmung des Bereitschaftsvolumens dargestellt. Als Grundlage dienen die angegebenen oder aus den



Dokumentationen oder Steuerungen entnommenen Temperatureinstellungen, welche nicht immer den bei den Messungen erreichten Temperaturen entsprachen. Die untersuchten Anlagen mit Solarthermie weisen dabei tiefere Temperatureinstellungen auf als die Anlagen ohne. Vor allem die Ausschalttemperaturen weichen mit einem um 1.8 K tieferen Mittelwert ($p=0.02$) signifikant ab von der Ausschalttemperatur der übrigen Anlagen (auch Einschalttemperatur im Schnitt 1.8 K tiefer, $p = 0.06$).

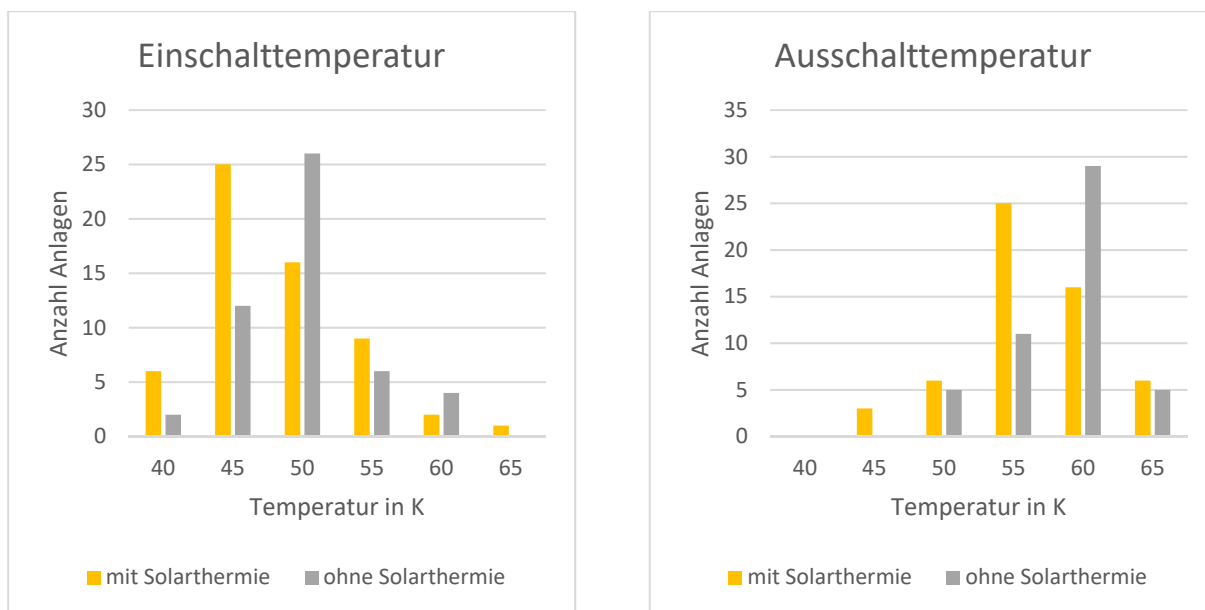


Abbildung 9: Ein- und Ausschalttemperatur für die Nachheizung des Bereitschaftsvolumens.

Auch bei Wärmepumpen ($N=33$) waren die Ein- und Ausschalttemperaturen generell tiefer eingestellt als bei anderen Nachheizsystemen. Die Ausschalttemperaturen lagen bei Wärmepumpen durchschnittlich um 1.8 K ($p=0.02$) und die Einschalttemperaturen um 1.0 K ($p=0.09$) tiefer als bei anderen Nachheizsystemen.

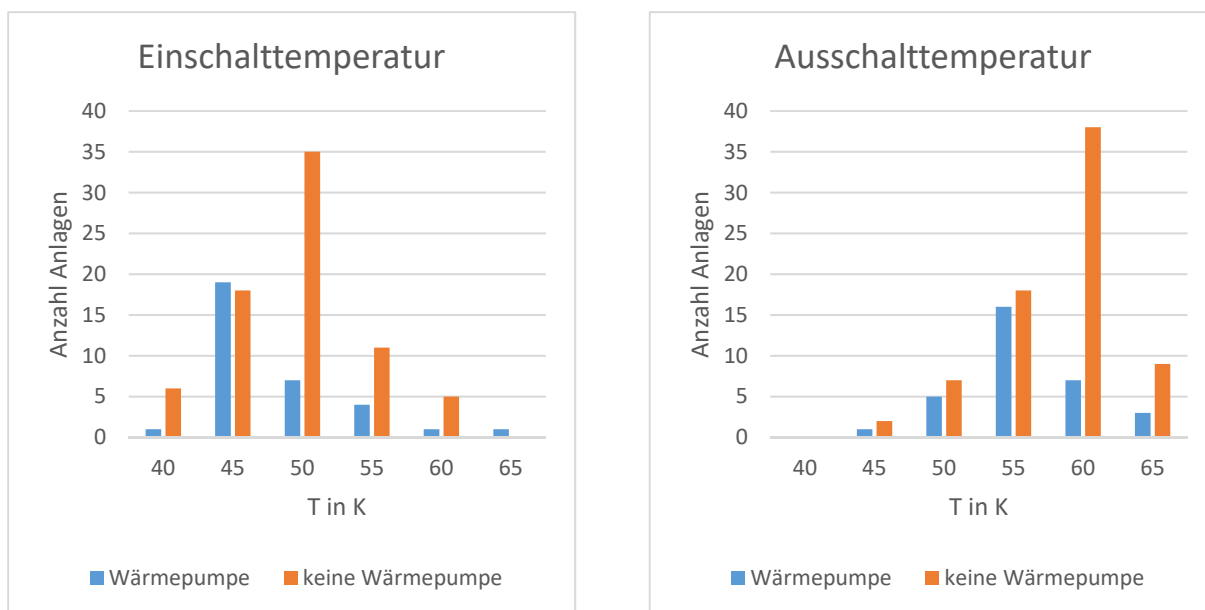


Abbildung 10: Ein- und Ausschalttemperatur für die Nachheizung des Bereitschaftsvolumens bei Anlagen mit und ohne Wärmepumpe.

3.1.8 Kollektorfeld

Es wurden hauptsächlich Anlagen mit Flachkollektoren und einige Anlagen mit Röhrenkollektoren untersucht. Dabei wurden sowohl Anlagen zur Warmwasseraufbereitung als auch zur Heizungsunterstützung untersucht. In Abbildung 11 ist ersichtlich, dass kleinere Kollektorfeldgrößen von 2-6 m²/Wohneinheit am häufigsten vertreten waren. Es waren aber auch Anlagen mit mehr als 20 m² Kollektorfläche in der Stichprobe vorhanden.

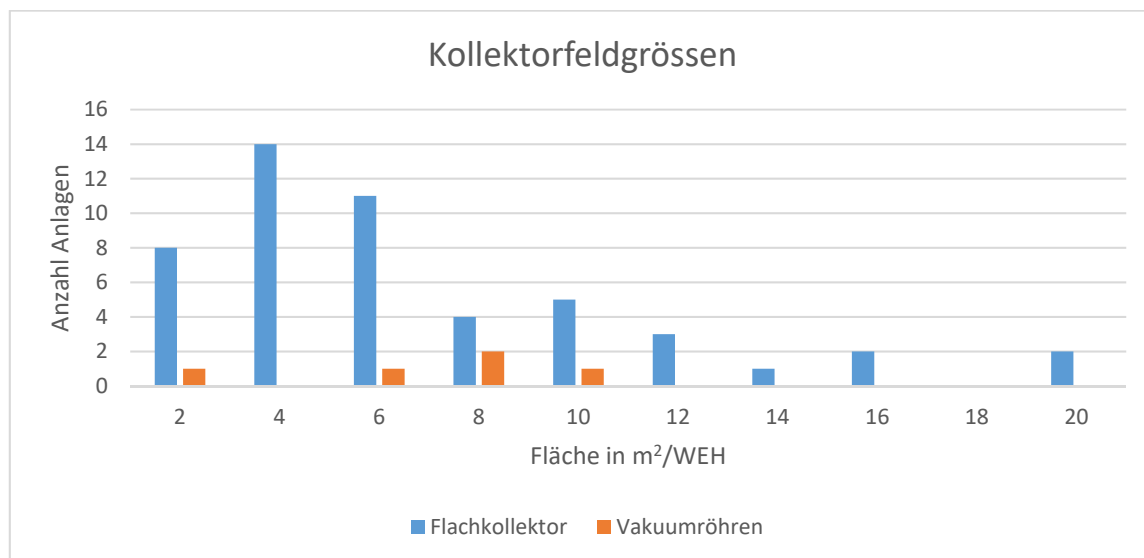


Abbildung 11: Grösse der untersuchten Kollektorfelder (pro Wohneinheit) nach Kollektortyp.



3.1.9 Maximaltemperaturen an den Duscharmaturen

Die Verteilung der bei der Beprobung an der Zapfstelle erreichten Maximaltemperaturen (bei manueller Übersteuerung evtl. vorhandener Temperaturbegrenzer am Hebel oder Drehknopf) zeigt, dass viele Anlagen die von der SIA 385-1 geforderte Temperatur von 50°C an der Zapfstelle nicht erreichen. Dies trifft auf ca. 30% der Anlagen ohne Solarthermie und auf ca. 50% der Anlagen mit Solarthermie zu (Abbildung 12). Der Mittelwert der erreichten Maximaltemperaturen liegt bei den Anlagen mit Solarthermie um 3.8 K tiefer als bei den Anlagen ohne Solarthermie, was bei der vorliegenden Stichprobenverteilung klar signifikant ist (Wilcoxon Rangsummentest: $p=0.001$). Der Unterschied ist deutlich grösser als der Unterschied bei den Einstellungen für das Ein- und Ausschalten der Warmwassererwärmung über die Hauptheizung. Eine mögliche Ursache dafür kann sein, dass bei Anlagen mit Solarthermie häufiger ein Passivmischventil nach dem Speicher Kaltwasser beimischt, um im Sommer vor Verbrühungen durch zu heisses Wasser aus dem solar erwärmten Speicher zu schützen.

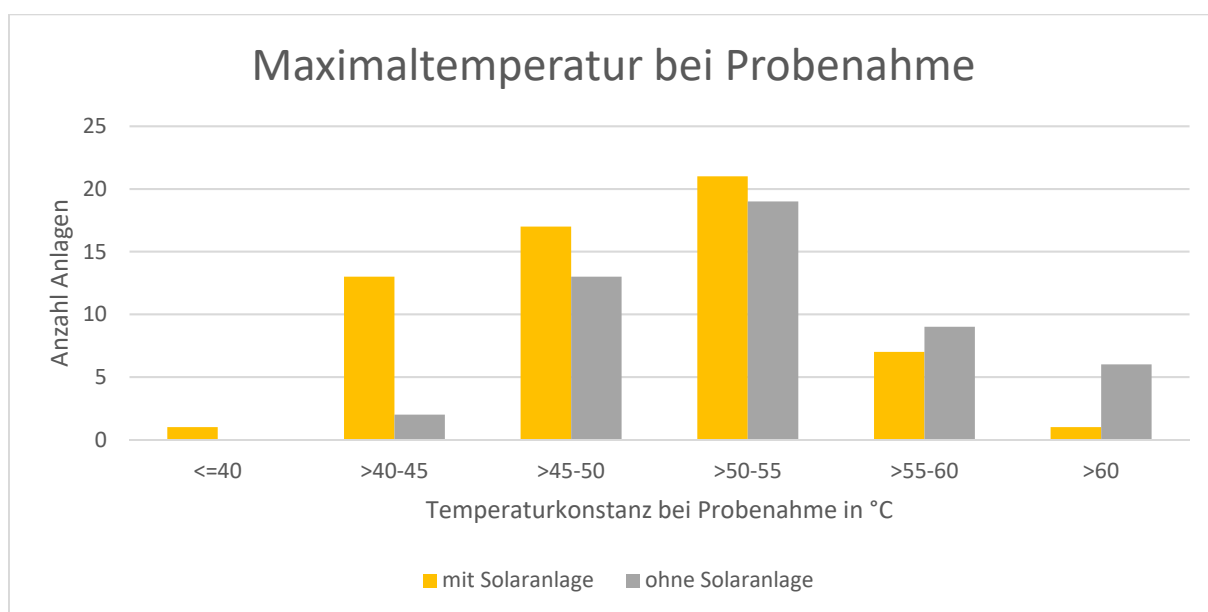


Abbildung 12: Verteilung der erreichten Maximaltemperatur an der Hauptdusche, aufgeteilt in Systeme mit und ohne Solaranlage.

Auch bei Wärmepumpen sind die erreichten Maximaltemperaturen signifikant tiefer als bei Systemen mit anderem Nachheizsystem (Abweichung Mittelwert 2.1 K, $p=0.02$). Diese Abweichung ist vergleichbar mit der Abweichung der Ausschalttemperatur und somit weniger ausgeprägt als bei der Analyse der Solaranlagen.

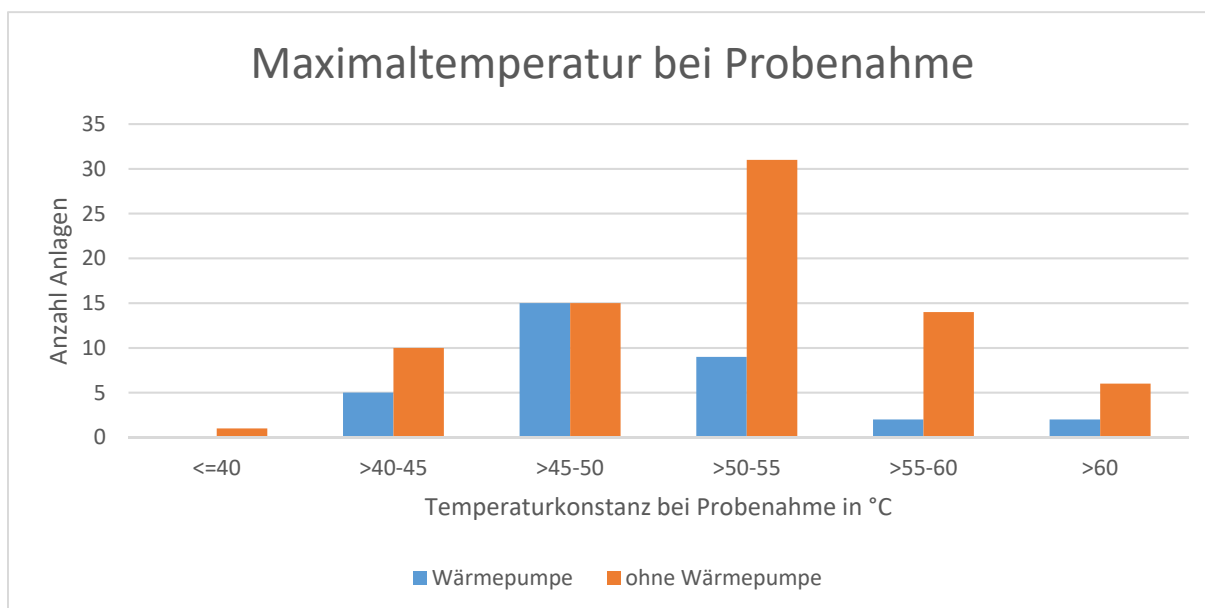


Abbildung 13: Verteilung der erreichten Maximaltemperatur an der Hauptdusche, aufgeteilt in Systeme mit Wärmepumpe und mit anderem Nachheizungssystem.

3.2 Anlagen mit vermutlich systemischer Kontamination

Von einer systemischen Kontamination spricht man, wenn zentrale Teile der Anlage, zum Beispiel der Warmwasserspeicher am Austritt, oder Zirkulations- und Verteilungen, welche mehrere Warmwasser-Zapfstellen bedienen, eine Legionellenkontamination aufweisen. Im Gegensatz dazu spricht man von einer peripheren Kontamination, wenn an Zapfstellen Legionellen gefunden werden, in Speicher und Zirkulation, respektive zentraler Verteilung, jedoch nicht. Um eine systemische Kontamination einwandfrei feststellen zu können, müssten Proben von diesen zentralen Stellen, also zum Beispiel am Warmwasseraustritt aus dem Speicher oder aus dem Zirkulationsrücklauf, genommen werden. An diesen Stellen sind jedoch gerade bei kleinen Einfamilienhausanlagen selten Ventile eingebaut über welche eine Probe gezogen werden könnte⁴.

Aus diesem Grund wurde von einer möglicherweise systemischen Kontamination dann ausgegangen, wenn alle Proben aller Duschen, welche an das Warmwasserverteilsystem angeschlossen sind, einen positiven Befund aufwiesen, und bei mindestens einer davon der Höchstwert von 1000 KBE/L überschritten wurde. Wenn in mindestens einer Probe (Haupt- oder Nebendusche) keine Legionellen gefunden werden konnten, dann wurde davon ausgegangen, dass keine Kontamination des zentralen Systems (Speicher oder gemeinsame Leitung und Verteiler) vorliegt. Wenn zwar überall Legionellen gefunden wurden, der Höchstwert von 1000 KBE/L aber nirgends überschritten wurde, dann wurde die Anlage nicht als systemisch kontaminiert klassifiziert.

Nach diesen Kriterien wurden sieben Anlagen identifiziert, welche nach bestmöglicher Einschätzung eine systemische Kontamination aufweisen. Diese sieben Anlagen sind im Folgenden beschrieben.

⁴ Der im Sommer 2019 zur Vernehmlassung publizierte Entwurf der überarbeiteten Norm prSIA 385/1 sieht vor, dass an den relevanten Stellen bei Neuanlagen in Zukunft solche Probenahmeventile zur Überprüfung des hygienischen Zustandes eingebaut werden.



Objekt 30 (Solar & Heizöl)

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. Die Hauptdusche war mit 6900 KBE/L und 8400 KBE/L (Erst- und Zweitprobe) betroffen, eine Nebendusche ist nicht vorhanden und im Speicherboden wurden 3600 KBE/L gemessen. Die Spezies war *L. pneumophila*.

Obwohl die Ausschaltung der Nachheizung auf 55°C eingestellt war, wurden in dieser Anlage nur sehr tiefe Temperaturen in der Verteilung erreicht. Die maximal erreichte Zapftemperatur lag lediglich bei 43.5 °C. Abbildung 14 zeigt die gemessenen Temperaturen im System, welche an allen Messstellen deutlich unter 50 °C liegen. Weil die Temperatur in der Leitung, welche üblicherweise dem Zirkulationsrücklauf entspricht wärmer ist als der Warmwasseraustritt aus dem Speicher, muss angenommen werden, dass die Schwerkraftzirkulation entgegen der gewünschten Strömungsrichtung läuft, so dass das zirkulierende Wasser aus dem unteren Bereich des Bereitschaftsvolumens entnommen wird und in den obersten Bereich zurückgeführt wird. Dies führt in den Zirkulationsleitungen zu problematischen Temperaturen von ca. 36 °C, also nahe am Optimum des Legionellenwachstums. Während der Zapfung werden am Austritt und auch nach dem zentralen Mischer Temperaturen von lediglich ca. 48 °C erreicht.

Die tiefen Temperaturen und das fehlerhafte Zirkulationssystem sind vermutlich die Ursache der Kontamination. Den Besitzern der Anlage wurde entsprechend empfohlen, die Speichertemperaturen zu erhöhen und eine Zwangszirkulation mit Pumpe einzurichten.

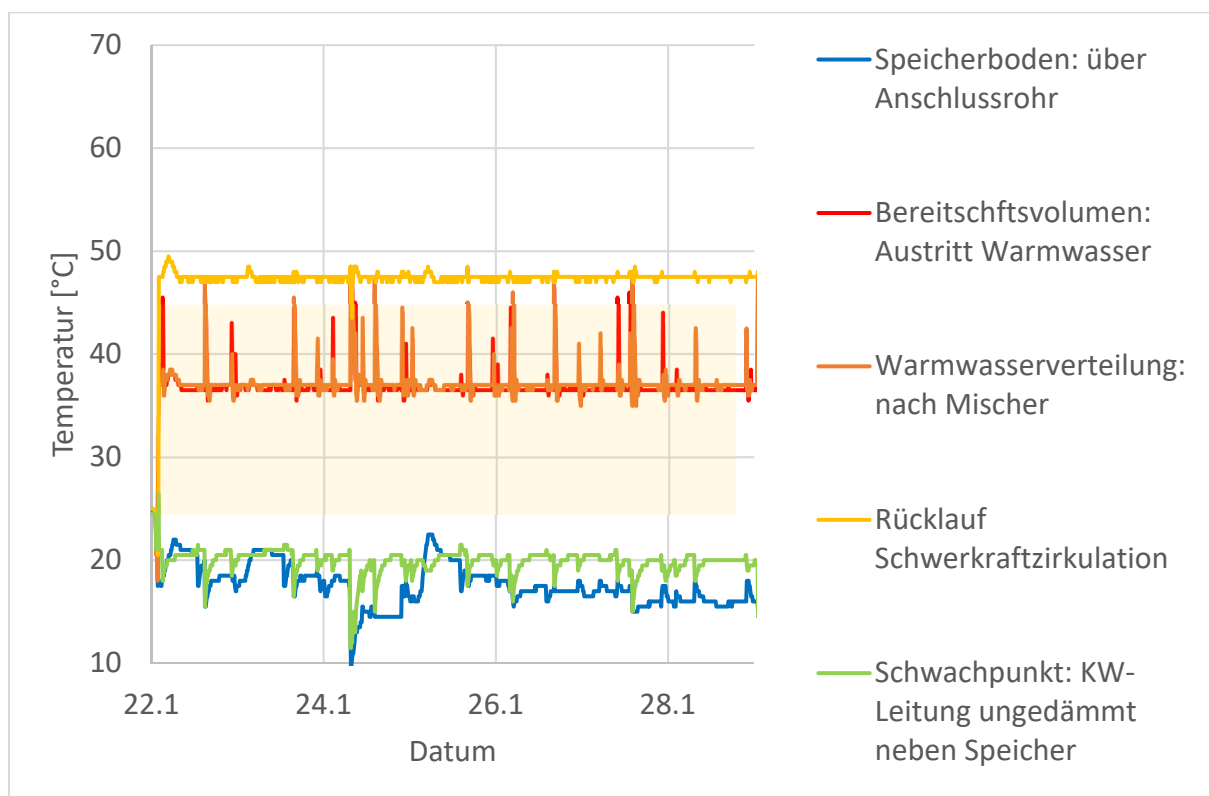


Abbildung 14: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 30.



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).

Beprobt wurde die Hauptdusche einer Wohnung (3'900 und 1'700 KBE/L) und die Badewannendusche derselben Wohnung als Nebendusche (1'400 KBE/L). In den Speicherböden konnten keine Legionellen festgestellt werden. Die Spezies war *L. pneumophila*.

An der Hauptzapfstelle konnte eine Temperatur von 49.8°C erreicht werden, die Rücklauftemperatur der Zirkulation liegt aber um einige K darunter und schwankt zwischen ca. 45 °C und 47 °C. Die Nachheizung durch die Wärmepumpe schaltet bei 45 °C ein und bei 52°C aus.

Die Temperaturen, welche in einigen Teilen des Zirkulationssystems 50 °C nie überschreiten, wurden bei dieser Anlage als Hauptrisikofaktor eingestuft, und den Besitzern entsprechend empfohlen, die Temperaturen zu erhöhen.

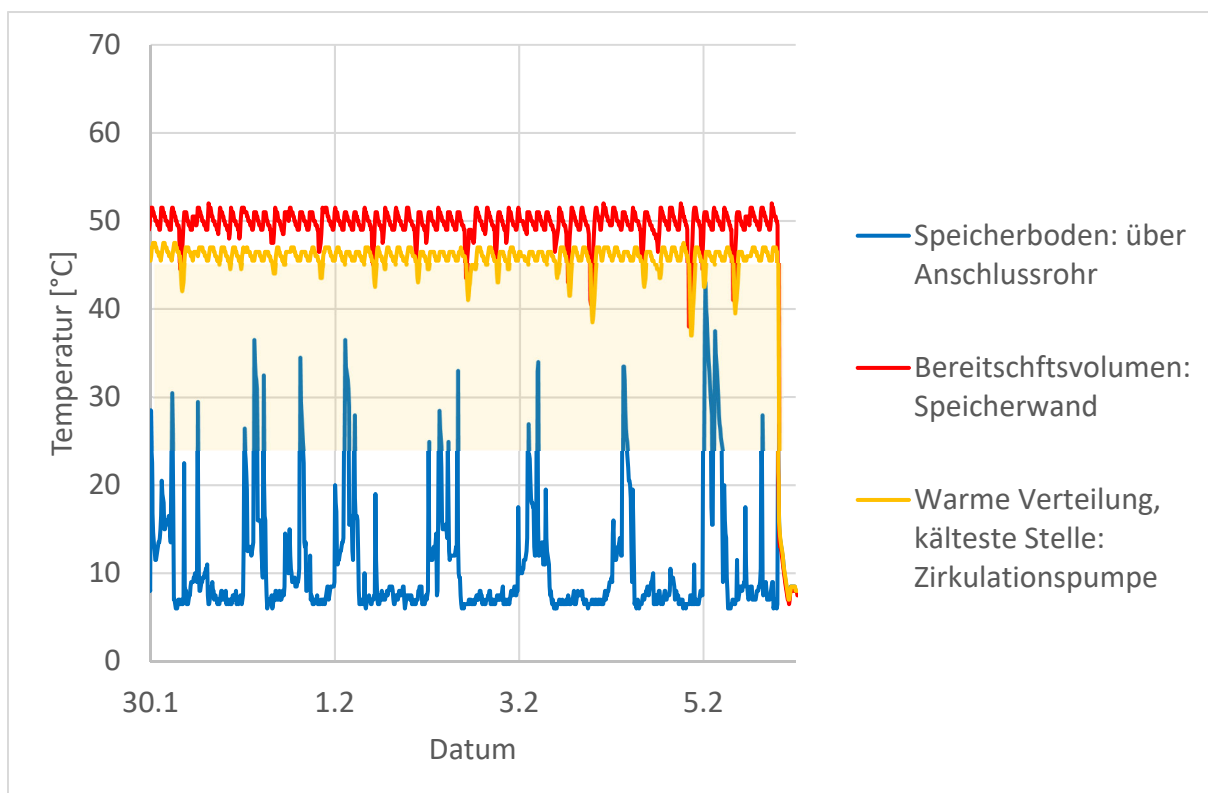


Abbildung 15: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 34.

Objekt 36 (Solar & Heizöl)

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit einer Warmwasseranlage aus dem Jahr 1998 und einem im Jahr vor der Probenahme erneuerten 600 L Warmwasserboiler. Das Warmwasser wird mit einer Solaranlage (5.6 m²) und einem Ölbrenner erzeugt. Die Solaranlage kann über einen Plattenwärmetauscher zusätzlich zur Erwärmung eines Schwimmbades eingesetzt werden.



Bei dieser Anlage wurden in der Hauptdusche einmal 7'600 KBE/L und einmal 2'300 BKE/L, bei der Nebendusche (Badewanne) lediglich 700 KBE/L gefunden. Im Speicherboden konnten keine Legionellen identifiziert werden. In den Proben der Hauptdusche wurde die Spezies als *L. pneumophila* identifiziert.

Die Maximaltemperatur welche an der Hauptdusche erreicht werden konnte betrug lediglich 43.7 °C. Die Temperaturmessungen in Abbildung 16 zeigen, dass zwar am Warmwasseraustritt Temperaturen von über 55 °C immer wieder erreicht werden, jedoch die Temperatur nach dem zentralen Mischer maximal 44 °C erreicht. Zentrale Mischer werden in Kombination mit solarthermischen Anlagen oft eingesetzt um zu verhindern, dass im Sommer bis zu 80 °C heisses Wasser die Zapfstellen erreicht. In diesen Mischern wird dem heissen Wasser aus dem Speicher Kaltwasser beigemischt. Die Funktionsweise ist meist thermostatisch (passiv) und die Temperatur, die erreicht werden soll nach dem Mischer, kann in der Regel durch einen Drehknopf am Mischer eingestellt werden.

Bei dieser Anlage wurde empfohlen, nicht nur die Temperatur im Speicher zu erhöhen, sondern auch den zentralen Mischer auf einen möglichen Defekt zu überprüfen und gegebenenfalls zu ersetzen. Die am zentralen Mischer eingestellte Temperatur sollte auf jeden Fall deutlich höher sein als 50 °C. Übliche Empfehlungen lauten 60 °C in Systemen mit Zirkulation, und 55 °C in Systemen ohne Zirkulation.

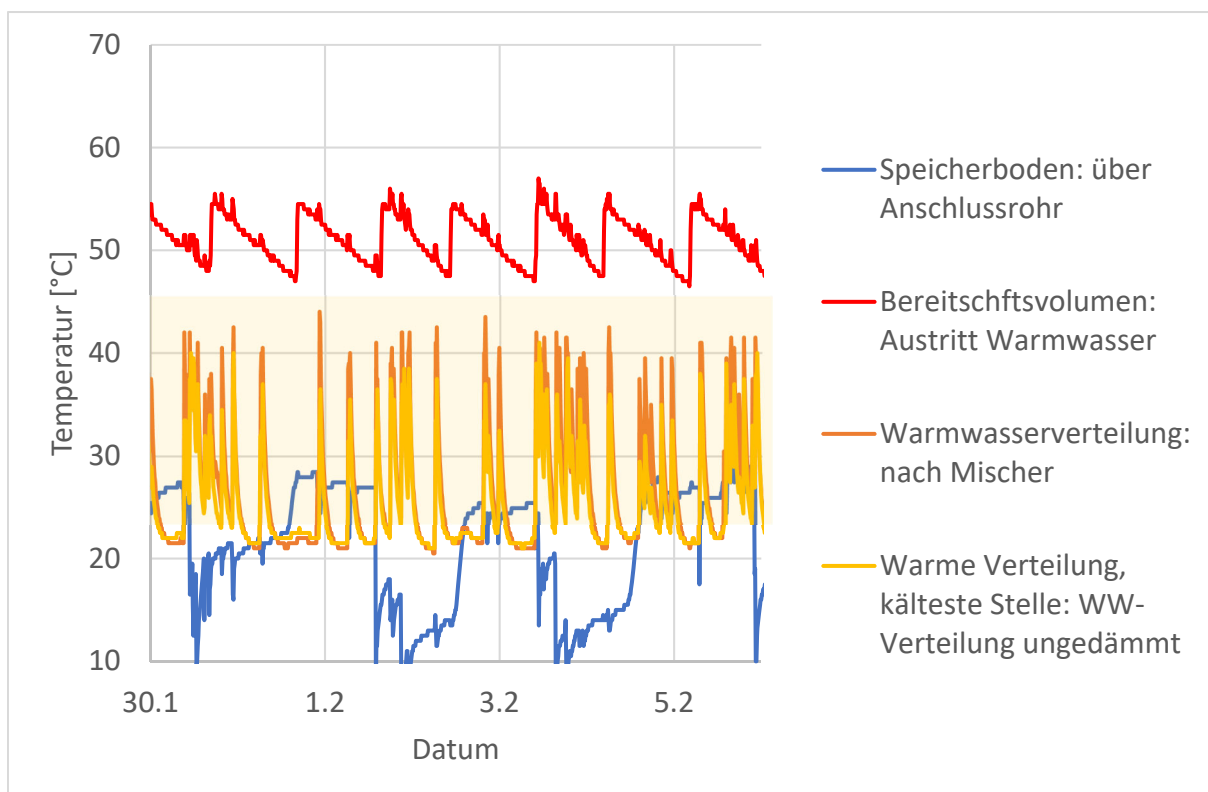


Abbildung 16: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 36.



Objekt 39 (Gas & Solar)

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 wird mit Solarthermie und Erdgas in einem 500 L Boiler erzeugt. Unabhängig vom Warmwasser wird Raumwärme auch mit Holz erzeugt. Bei diesem Objekt wird die Leitung vom Boiler zum Warmwasserverteilerbalken durch ein Elektroheizband warmgehalten (dies wurde nicht mit einem Temperatursensor überprüft). Die warmgehaltene Leitung ist wärmegeklämt, der Verteilerbalken und die nachfolgenden Stichleitungen jedoch nicht mehr, so dass letztere nach einer Zapfung schnell auskühlen können, weil gegenüber der warmgehaltenen Leitung ein Thermosiphon besteht.

Bei dieser Anlage wurden an der Hauptdusche 1'000 resp. 100 KBE/L bestimmt, an der Nebendusche 1'800 KBE/L (*L. pneumophila*) und im Speicherboden 3'600 KBE/L (*L. pneumophila*). Die Tatsache, dass die zweite Probe an der Hauptdusche weniger stark belastet war als die erste, stellt die Annahme eines systemischen Befundes in Frage. Möglicherweise sind die Befunde an den beiden Duschen unabhängig voneinander. An der Hauptdusche erreichte die Temperatur maximal 59 °C.

Im Bereitschaftsvolumen werden Temperaturen von annähernd 60 °C erreicht und der Verteilerbalken und die Leitungen kühlen nach Gebrauch auf unter 20 °C. Auffällig ist aber, dass die Warmwassertemperaturen am Verteilerbalken nur sehr selten und nur ganz kurz über 50 °C steigen.

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.

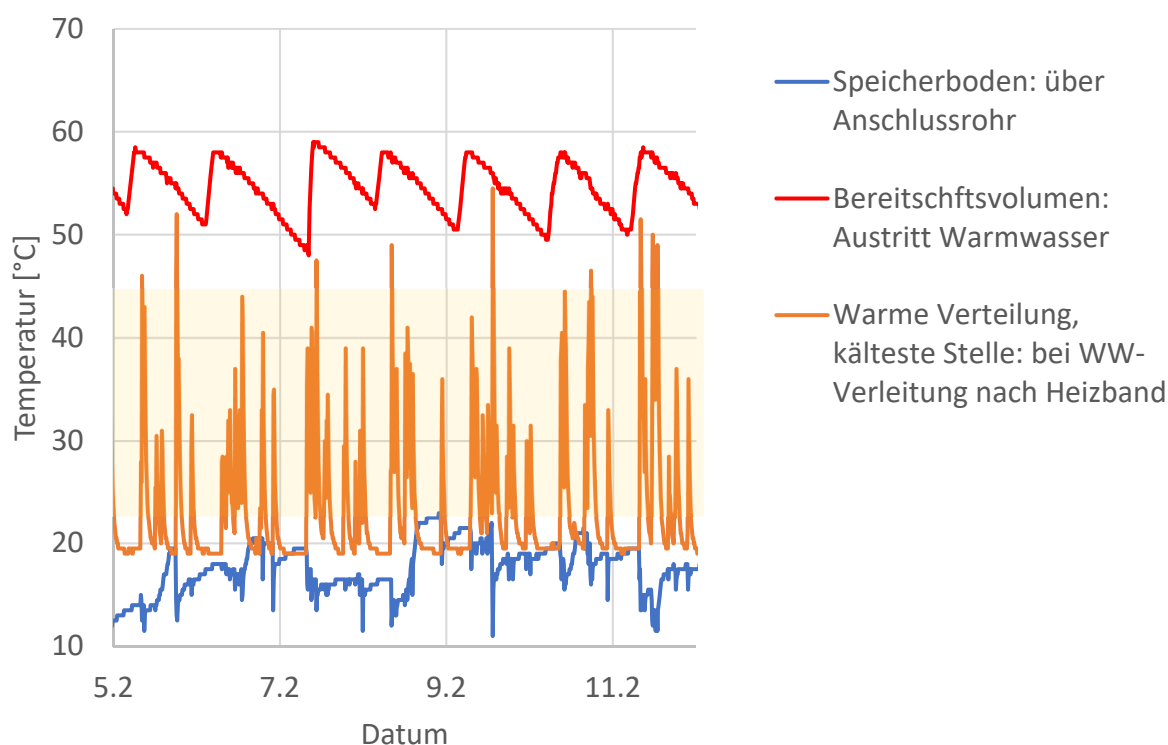


Abbildung 17: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 39.



Objekt 59 (Solar & WP)

Bei dieser Anlage handelt es sich um ein neueres Einfamilienhaus mit einer Warmwasseranlage aus dem Jahr 2007 (200 L Boiler, solarthermische Anlage 8 m², Hauptheizung Wärmepumpe, direkt elektrische Zusatzheizung).

Auch bei dieser Anlage waren die Temperaturen generell sehr niedrig. An der Hauptdusche wurde eine Maximaltemperatur von 48.1 °C gemessen. Die gemessenen Temperaturverläufe zeigen aber, dass die Warmwassertemperaturen meist nur knapp über 45 °C liegen (Abbildung 18), obwohl eine Einschalttemperatur von 50 °C und eine Ausschalttemperatur von 60 °C für die Nachheizung angegeben wurde. Bei dieser Anlage sind aber nicht nur die zu tiefen Temperaturen am Warmwasseraustritt aus dem Speicher problematisch, sondern auch, dass die Leitungen beim Stillstand nicht wirklich auskühlen. So bleibt die Temperatur nach dem Mischer ständig über 32 °C und liegt somit dauerhaft im kritischen Bereich eines möglichen Legionellenwachstums.

Bei dieser Anlage wurden an der Hauptdusche 14'000 KBE/L und 10'000 KBE/L, an der Nebendusche 10'000 KBE/L und im Speicherboden 12'000 KBE/L gemessen. Die Werte lagen also über 10'000 KBE/L und erforderten daher ein unverzügliches Handeln. Die Spezies war in allen Fällen *L. anisa*.

Es wurde empfohlen, die Temperaturen deutlich zu erhöhen, resp. die Funktionalität der Nachheizung zu prüfen und die Zapfstellen mit heissem Wasser zu spülen. Eine Nachbeprobung wurde angeboten, jedoch von den Benutzern abgelehnt.

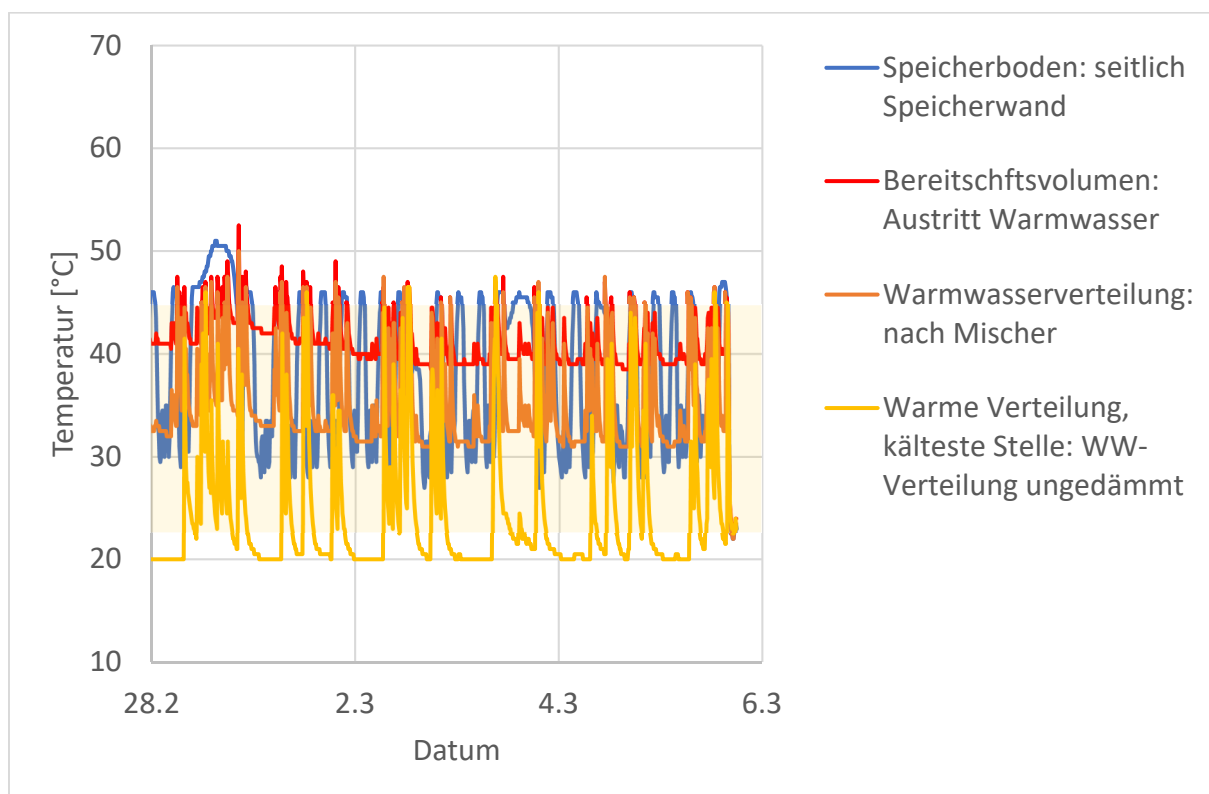


Abbildung 18: Messung der Temperaturverläufe bei Objekt 59.



Objekt 72 (Heizöl)

Bei Objekt 72 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1971 mit ursprünglichem Warmwasserverteilsystem. Das Warmwasser wird mit Heizöl erwärmt, wobei das Alter und auch das Volumen des Boilers nicht bekannt ist. Es handelt sich aber um einen eher kleinen liegenden Boiler, welcher mit dem Ölkessel eine Einheit bildet. Das Gebäude beinhaltet drei Duschen.

Das Bereitschaftsvolumen erreicht regelmässig Temperaturen von knapp über 50 °C, fällt aber auch manchmal auf unter 40 °C. Die maximale Temperatur an der Zapfstelle betrug 51.5 °C.

Bei diesem Objekt wurden folgende Konzentrationen gemessen:

- Hauptdusche Probe 1 (Warmwasser): 700 KBE/L
- Hauptdusche Probe 2 (Mischwasser): 600 KBE
- Nebendusche 1: 600 KBE/L
- Nebendusche 2: 1'100 KBE/L (*L. pneumophila*)
- Speicherboden: <100 KBE/L

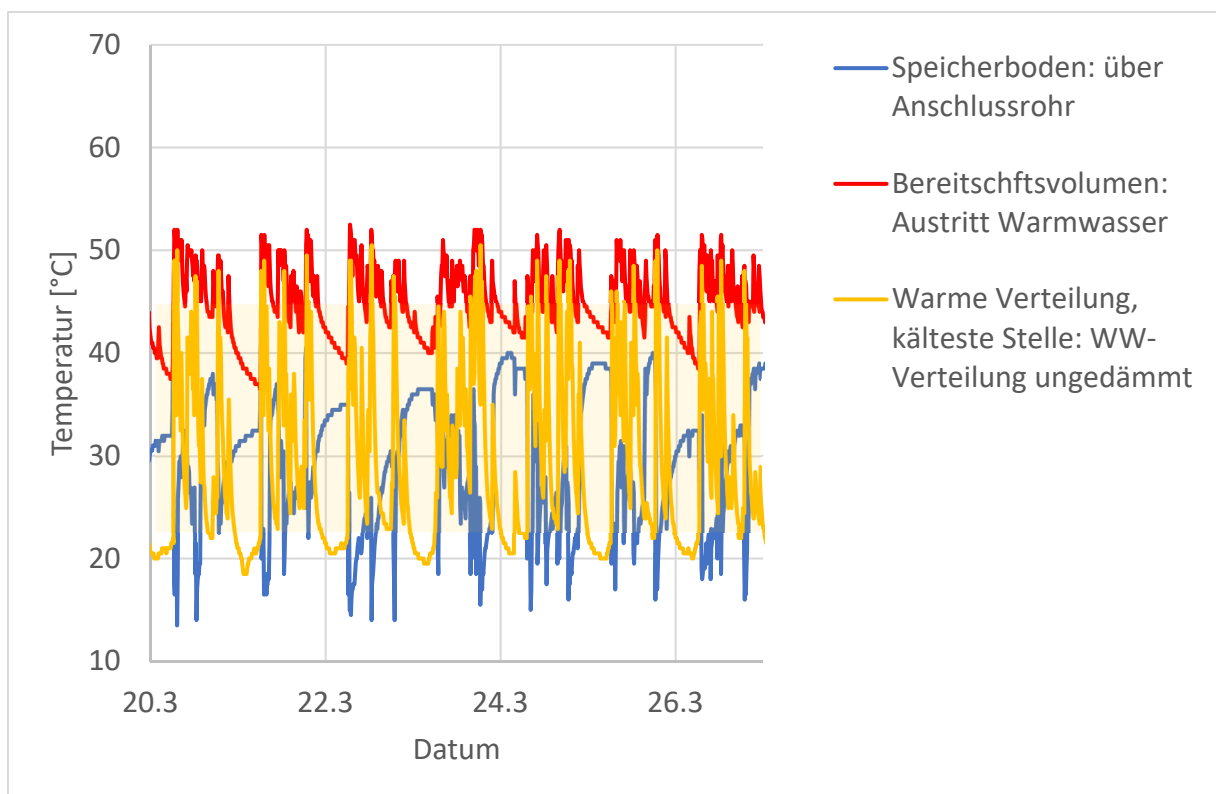


Abbildung 19: Messung der Temperaturverläufe bei Objekt 72.

Bei diesem Objekt wurde eine Nachmessung durchgeführt. Vor der Nachmessung wurde, entgegen den Erwartungen keine Massnahmen zur Verminderung von Legionellen seitens der Besitzer durchgeführt. Bei der Nachmessung wurde das Kalt- und Warmwasser separat beprobt:

- Hauptdusche Warmwasser: 1000 KBE/L



- Hauptdusche Kaltwasser: <100 KBE/L
- Nebendusche 2 Warmwasser: 600 KBE/L
- Nebendusche 2 Kaltwasser: <100 KBE/L

Die Konzentrationen lagen also meist unter dem für öffentliche Anlagen geltenden Höchstwert, erreichen oder überschreiten diesen aber manchmal auch knapp. Mit den Zweitproben konnte 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 Duschschläuche empfohlen.

Objekt 79 (Elektroboiler)

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

Bei diesem Objekt wurde die höchste Kontamination der Zapfstellen in dieser Untersuchung gemessen. Diese betrug an der Hauptdusche 260'000 KBE/L und 120'000 KBE/L. Im Speicherboden fanden sich 12'000 KBE/L. Die Einliegerwohnung wurde nicht beprobt. Die sehr hohen Kontaminationsraten erforderten ein unverzügliches Handeln. Die Spezies war *L. pneumophila*.

Während der Durchführung der Beprobung konnte eine Maximaltemperatur von 54.9 °C erreicht werden, und auch die kontinuierlichen Temperaturmessungen zeigen, dass täglich Temperaturen über 55 °C im Speicher erreicht werden (siehe Abbildung 20). Die Temperatur des Warmwasseraustritts aus dem Speicher fällt aber fast jeden Tag unter 45 °C, und zum Teil auch bis auf fast 30 °C. Die Besitzer haben die Vermutung bestätigt, dass der Warmwasserbezug höher ist als der Speicher decken kann, und dass der Speicher deshalb fast täglich "leergeduscht" wird. Die Nachheizung war auf wenige Stunden in der Nacht begrenzt. Somit besteht hier grundsätzlich die Möglichkeit, dass täglich lauwarmes Wasser aus dem Speicherbodenbereich in die Verteilleitungen und Armaturen gelangt, ohne dass es im oberen Speicherbereich einer thermischen Desinfektion ausgesetzt worden wäre. Das elektrische Begleitheizband, welches hohe Temperaturen in der Verteilung sicherstellen soll, war vermutlich defekt⁵. Wegen der kompakten Ausführung der Rohrdämmung konnte die Temperatur im warmgehaltenen Bereich jedoch nicht direkt gemessen werden.

Im unteren Speicherbereich steigt die Temperatur bei der Speicherladung nur bis auf ca. 40 °C und befindet sich somit während mehreren Stunden in einem Temperaturbereich, der Legionellenwachstum begünstigt. Auf eine Temperatur, welche zum Abtöten der Legionellen ausreicht, wird der Speicherboden nie angehoben.

Bei dieser Anlage werden die folgenden Punkte als Risikofaktoren angesehen:

- die kritischen Temperaturen im Speicherboden, in Kombination mit dem sehr hohen Warmwasserverbrauch und der Beschränkung der Nachheizung auf die Nacht,
- sowie das vermutlich defekte Elektrobegleitheizband.

⁵ Bei der Begehung konnte nicht festgestellt werden, dass die Leitung, welche durch das Heizband gewärmt werden sollte, auch wirklich warm war.



Den Besitzern wurde 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 wurden zwei Duschen, Warmwasser (Maximaltemperatur 65 °C) und Kaltwasser beprobt, und es 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.

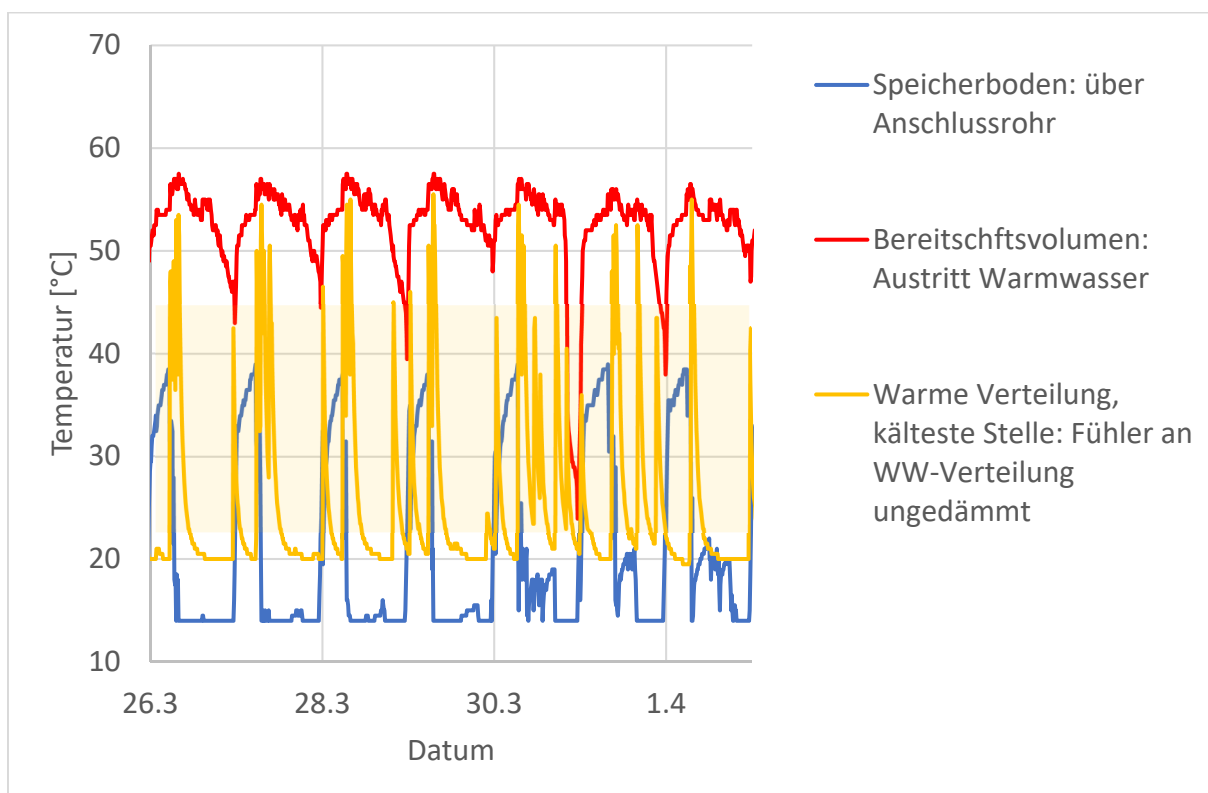


Abbildung 20: Messung der Temperaturverläufe von Objekt 79.

3.3 Statistische Analyse der Legionellenbefunde

3.3.1 Übersicht

Bei 32 der 110 Anlagen wurden Legionellen an mindestens einer der Beprobungsstellen detektiert, wobei bei 29 dieser Anlagen mindestens eine Probe auch über dem für öffentlich zugängliche Anlagen geltenden Höchstwert von 1'000 KBE/L lag. Eine Übersicht über die Häufigkeit und Konzentration der Legionellenbefunde wird in Abbildung 21 gegeben, wobei in diesem Falle für jede Anlage der Maximalwert aller Beprobungen (Erstdusche, Zweitudsche, Speicherboden) ausgewertet wurde. Die auf diese Weise ermittelte Rate an Höchstwertüberschreitungen lag bei Anlagen mit Solarthermie bei 28% und bei Anlagen ohne Solarthermie bei 24%. Dieser Unterschied ist statistisch nicht aussagekräftig ($p=0.67$). Erstaunlicherweise zeigt sich aber, dass Anlagen mit Solarthermie eher an der Hauptdusche (siehe Abbildung 22) betroffen sind und Anlagen ohne Solarthermie eher im Speicherboden (siehe Abbildung 24). Gesamthaft wurden bei den 110 Anlagen 416 Proben bei der Zweitbegehung (erste



Probenahme) gezogen wovon 45, also 10.8% der Proben eine Überschreitung des Höchstwertes von 1000 KBE/L aufwiesen.

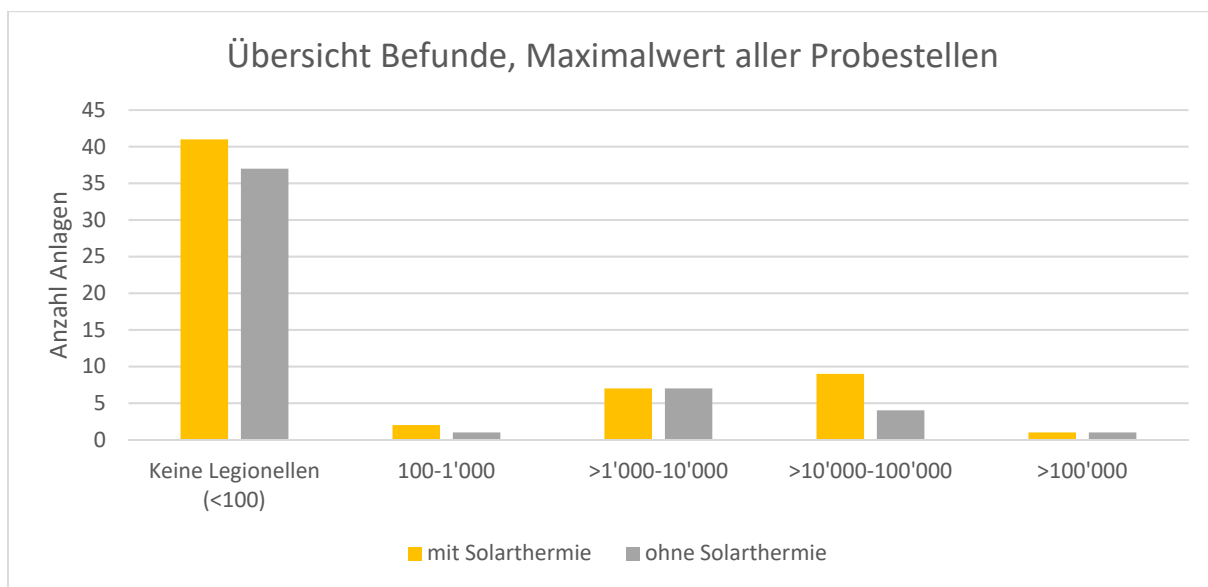


Abbildung 21: Verteilung der gemessenen Legionellenkonzentrationen (Höchstwert aller Beprobungen einer Anlage).

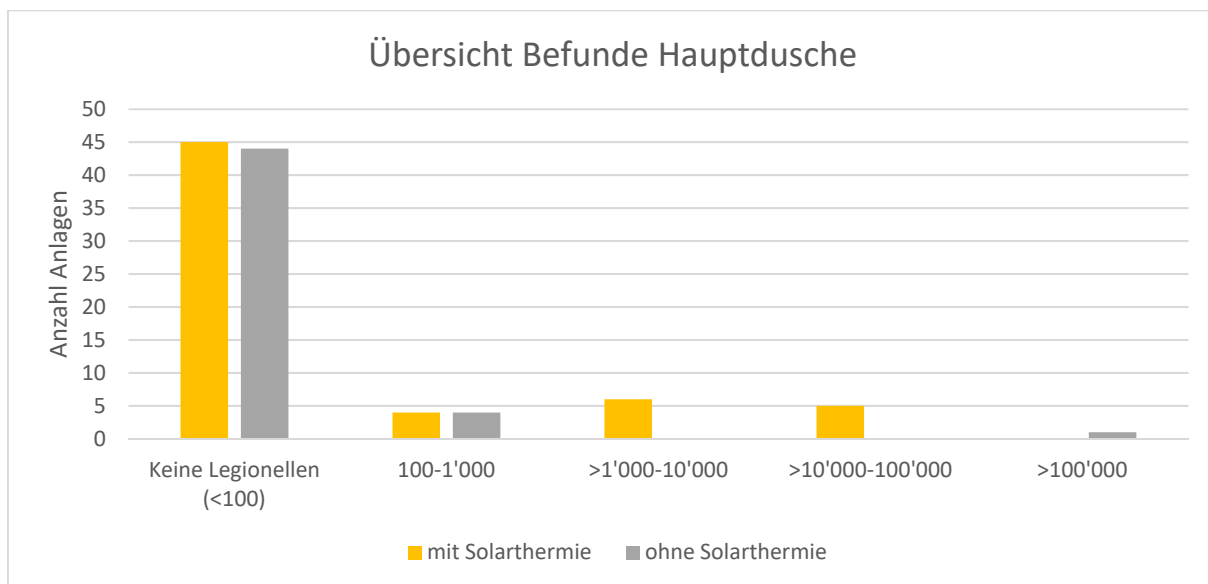


Abbildung 22: Verteilung der gemessenen Legionellenkonzentrationen an den Hauptduschen (Höchstwert der beiden Probenahmen).

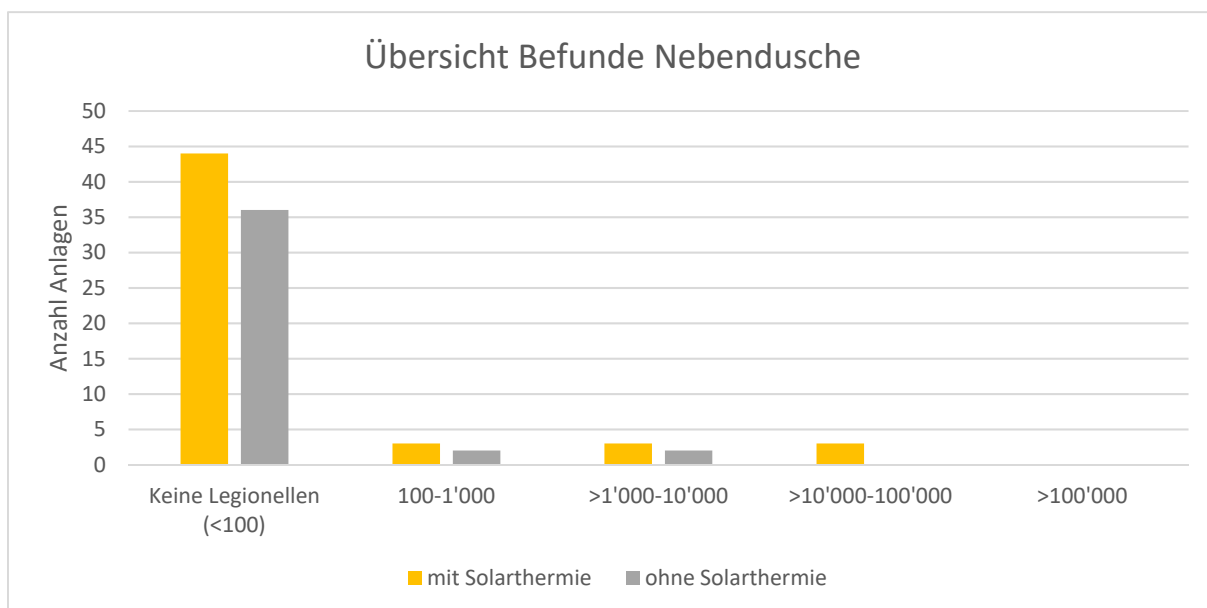


Abbildung 23 Verteilung der gemessenen Legionellenkonzentrationen an der Nebendusche.

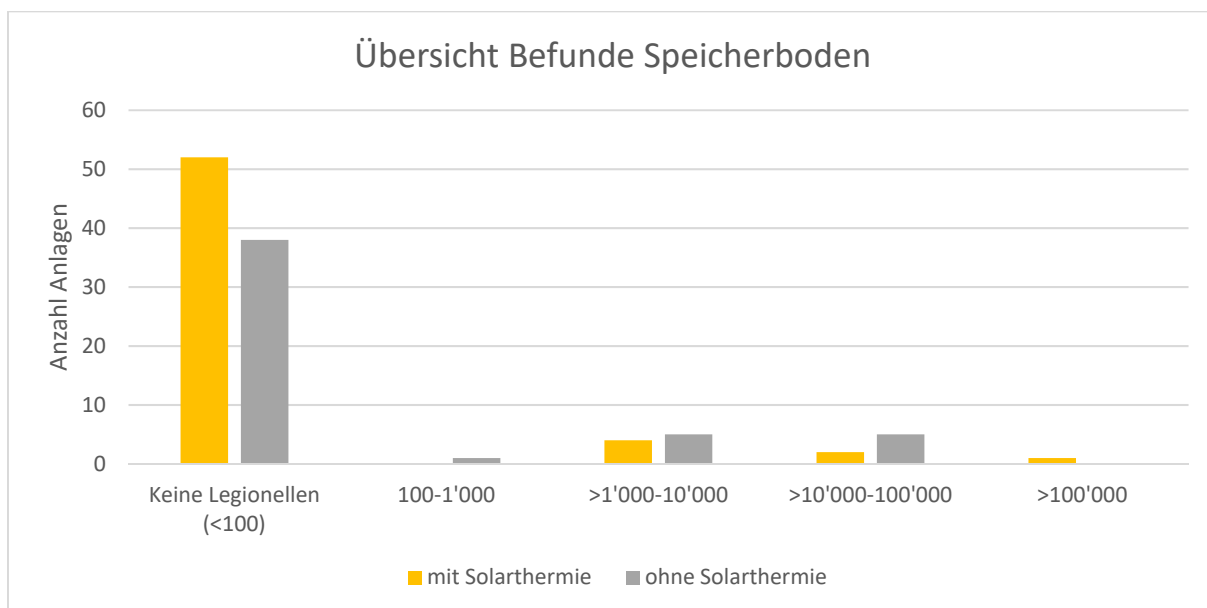


Abbildung 24: Verteilung der gemessenen Legionellenkonzentrationen im Speicherboden.

3.3.2 Geografische Verteilung

Abbildung 25 zeigt die Verteilung der Höchstwertüberschreitungen, wobei die Grösse der Punkte eine Indikation für die gefundene Konzentration darstellen. Grundsätzlich kann zwischen Wasser aus Quell- und Grundwasserfassungen und Wasser aus Oberflächengewässern (hier aufbereitetes Seewasser) unterschieden werden. Die Art der Wasserversorgung hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Legionellen im entsprechenden Versorgungsgebiet.

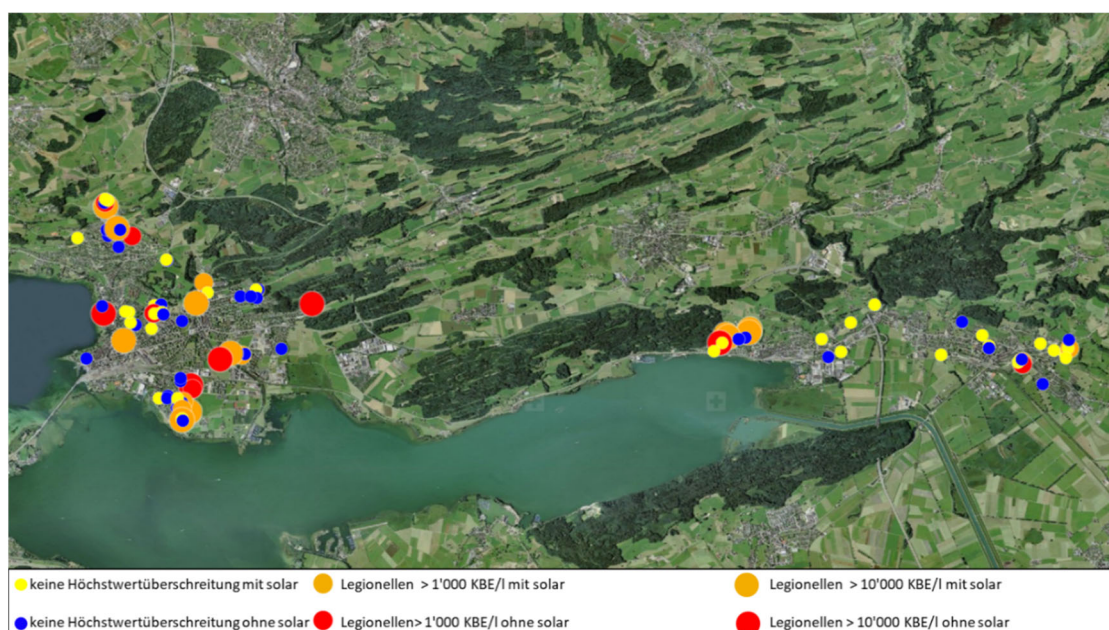


Abbildung 25: Verteilung der beprobten Anlagen und der Legionellenbefunde. Quelle der Karte: Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

3.3.3 Beprobungszeitraum

In Abbildung 26 wird gezeigt, wie sich das Auftreten von Legionellen in Anlagen mit und ohne Solarthermie auf den Beprobungszeitraum aufteilen. Weil es ein Ziel der Studie war, Solaranlagen in der kritischen Zeit im Winter zu beproben, wurden am Anfang fast ausschliesslich Solaranlagen beprobt. Im Winter reicht die verfügbare Solarenergie nicht aus, um den unteren Speicherbereich, der durch den Haupt-Wärmeerzeuger nicht erwärmt wird, auf Temperaturen zu bringen, welche ein Legionellenwachstum sicher verhindern können. Bei herkömmlichen Anlagen ohne Solarthermie wird angenommen, dass der Zeitpunkt im Jahr keinen Einfluss auf das Vorkommen von Legionellen im System hat. Solaranlagen wurden also deutlich früher im Jahr beprobt als Anlagen ohne Solarthermie (im Durchschnitt 41 Tage). Sowohl auf die Gruppe der Anlagen mit Solarthermie, als auch auf die Gruppe ohne Solarthermie einzeln ausgewertet, hat der Zeitpunkt der Beprobung keinen Einfluss ($p>0.8$) auf das Auftreten von Legionellen an der Hauptdusche. Bei Solaranlagen weisen später beprobte Objekte weniger Legionellen im Speicherboden auf ($p=0.06$). Die Kontaminationsrate der Proben aus dem Bodenbereich der Solarwärmespeicher lag in den Monaten Januar und Februar bei ca. 18% und somit gleich hoch wie bei Speichern ohne Solarthermie über den ganzen Beprobungszeitraum. Ab März (es gab eine sonnige Periode Ende Februar) waren dann nur noch ca. 6% der Speicherböden von Anlagen mit Solarthermie befallen, also deutlich weniger als bei Anlagen ohne Solarwärme.

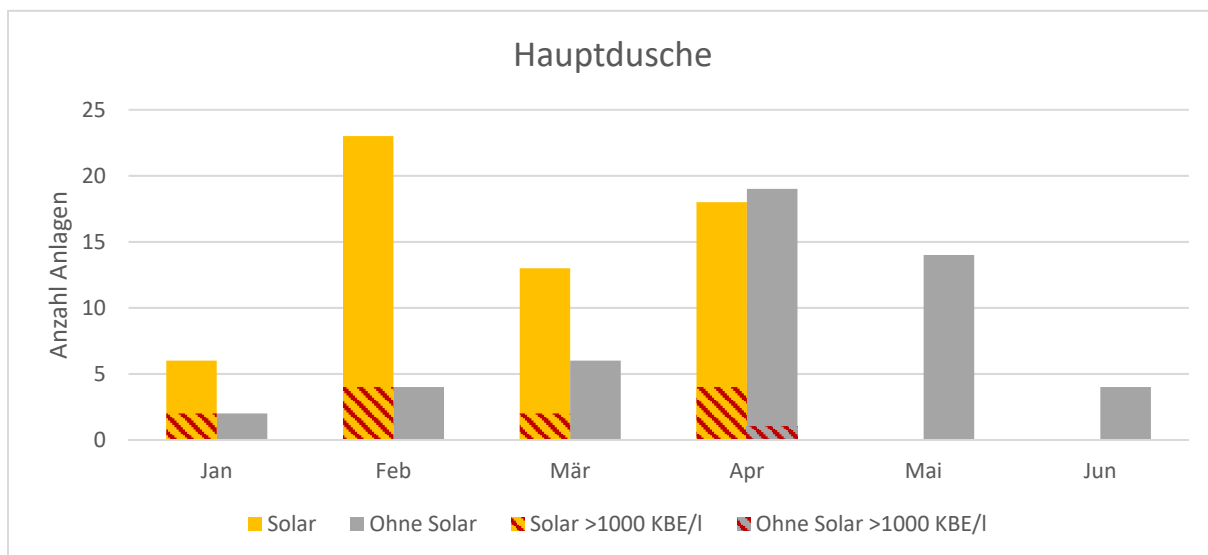


Abbildung 26: Zeitpunkt der Beprobung und Auftreten von Legionellen an der Hauptdusche.

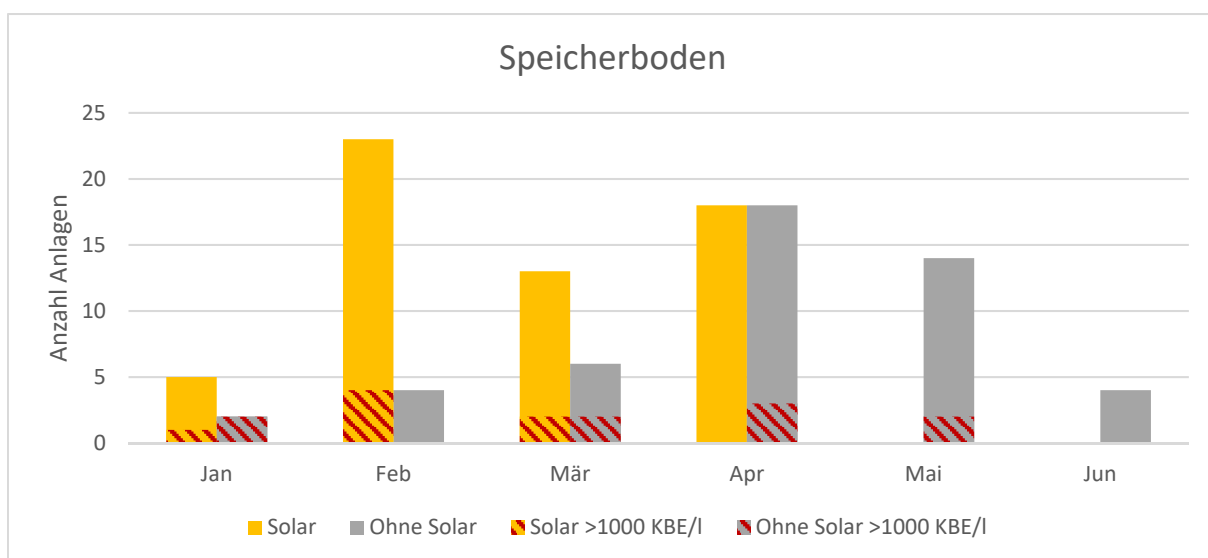


Abbildung 27: Zeitpunkt der Beprobung und Auftreten von Legionellen im Speicherboden.

3.3.4 Alter der Anlage

Die Altersverteilung der getesteten Anlagen zeigt Abbildung 30, wobei zwischen Anlagen mit Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche (> 1000 KBE/L) und Anlagen ohne Höchstwertüberschreitung unterschieden wird. Erstaunlicherweise zeigt sich, dass neue Anlagen häufiger von einer Höchstwertüberschreitung betroffen sind als ältere. Sowohl beim Alter des Hauses (Differenz: 19 a, $p=0.02$) als auch beim Alter der sanitären Anlage (Differenz: 12 a, $p=0.03$) sind Anlagen mit Legionellen >1000 KBE/L signifikant jünger als Anlagen ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche. Die Unterschiede bei der Zeit nach der letzten Sanierung sind statistisch nicht mehr signifikant (Differenz: 3 a, $p=0.17$). Dabei werden aber eine Vielzahl unterschiedlicher Massnahmen, von der Badsanierung bis zum Ersatz von Boiler und Wärmeerzeuger zusammengefasst, welche wohl auch ganz



unterschiedliche Auswirkungen haben. Bezogen auf die Kontamination anderer Probestellen (Nebendusche und Speicherboden) kann keine deutliche Tendenz des Alters von Haus oder Anlage mehr ausgemacht werden. Auch wenn nur die untersuchten Solaranlagen ausgewertet werden, sind die Häuser mit Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche tendenziell jüngeren Datums. Die Unterschiede sind aber nicht mehr signifikant (Haus: $p=0.14$; Sanitäranlage: $p=0.47$).

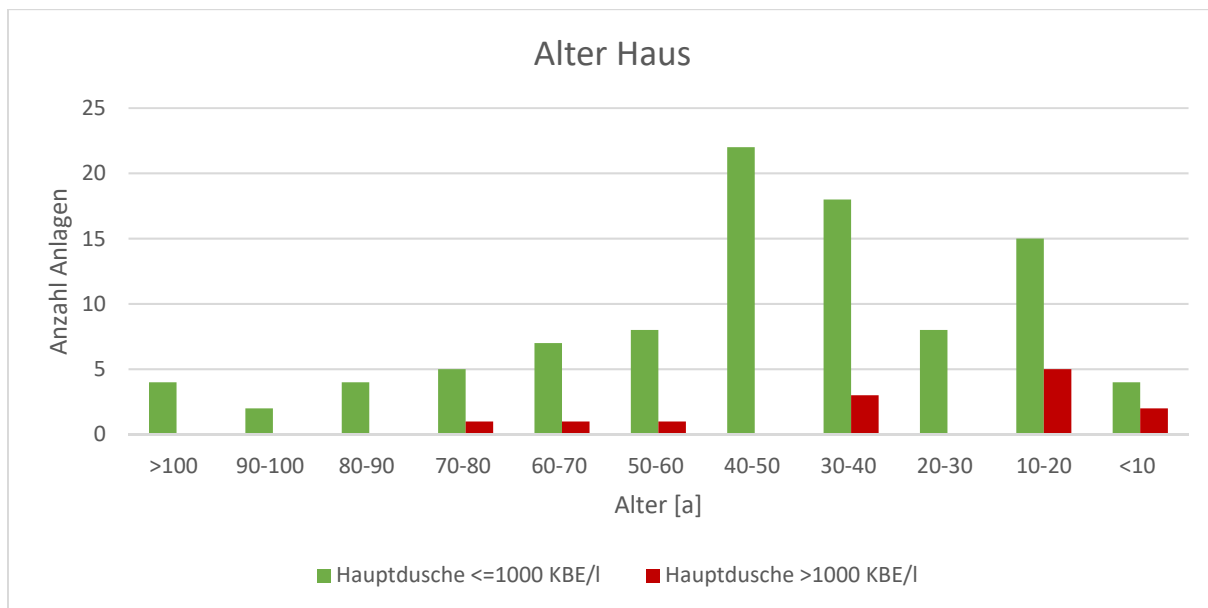


Abbildung 28: Alter des Hauses bei Anlagen mit und ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche.

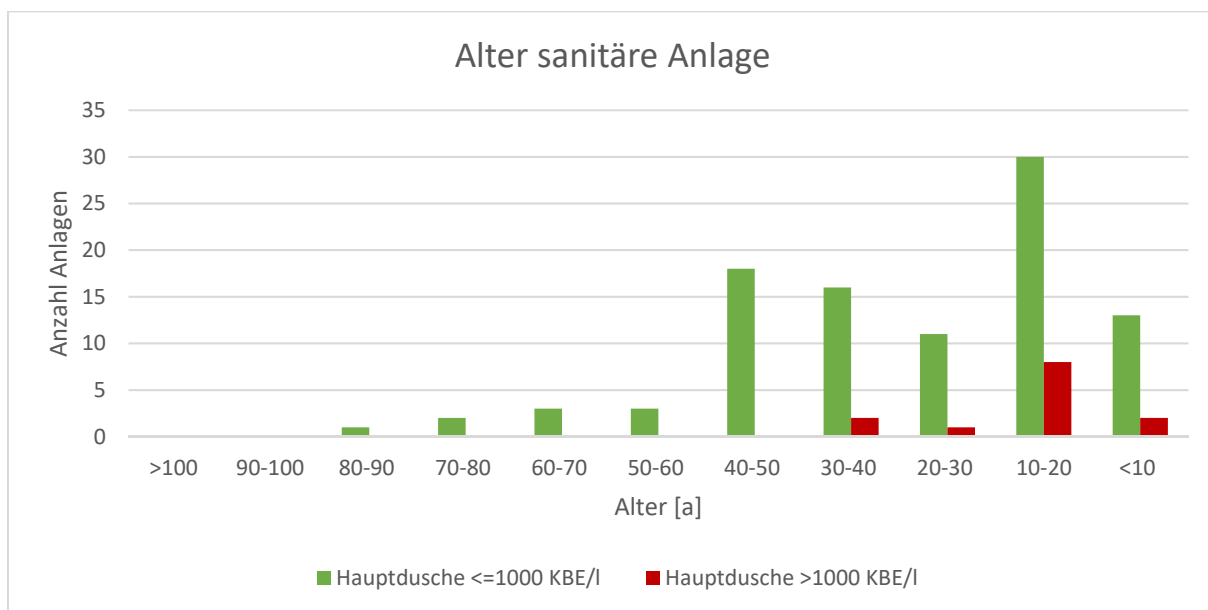


Abbildung 29: Alter der sanitären Anlage mit und ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche.

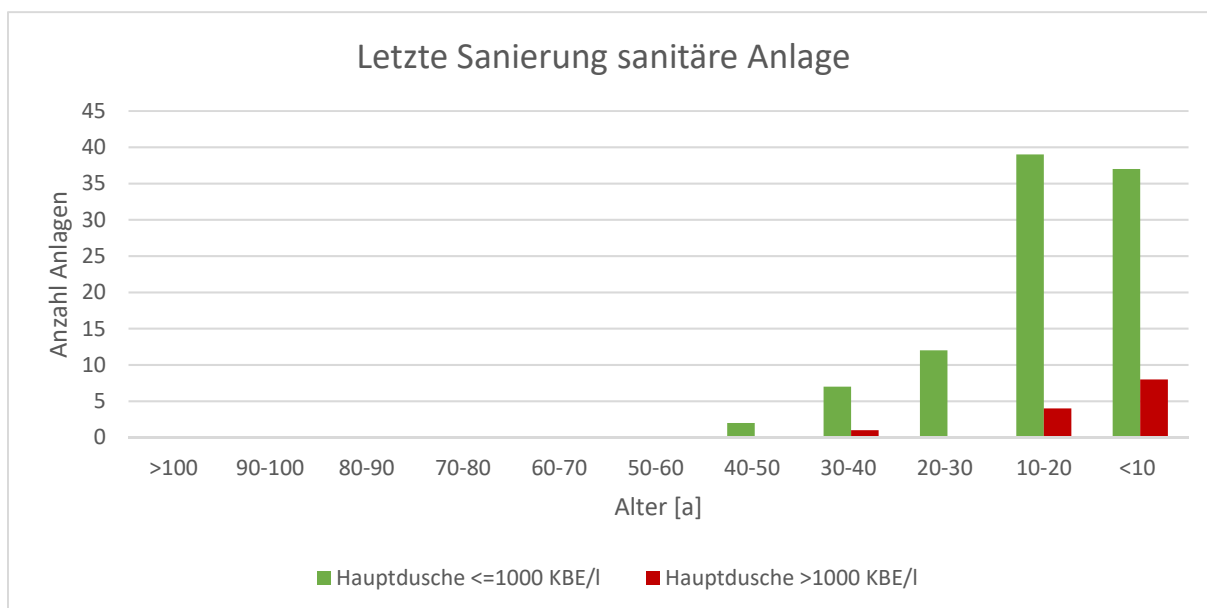


Abbildung 30: Zeit seit der letzten Sanierung der sanitären Anlage, aufgeteilt in Anlagen mit und ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche.

3.3.5 Wärmeerzeugung

Anhand des Fisher-Tests wurde analysiert, ob eine Wärmeerzeugungsart besonders häufig oder besonders selten mit einer Legionellenkontamination (>1000 KBE/L) in Verbindung gebracht werden kann. In Tabelle 4 werden die Resultate für die vorhandenen Wärmeerzeugungsarten und die drei Beprobungsorte Hauptdusche, Nebendusche, und Speicherboden dargestellt. Der einzige statistisch signifikante Wert ($p < 0.05$) ist dabei, dass Anlagen mit Solarthermie deutlich häufiger Legionellen an der Hauptzapfstelle aufweisen als Anlagen ohne Solarthermie. Im Gegenzug weisen sowohl Anlagen mit Wärmepumpen oder Solarthermie tendenziell weniger häufig Legionellen im Speicherboden auf als Anlagen welche das Warmwasser mit Holz, Öl oder Gas erwärmen. Aufgrund der p-Werte von 0.26 – 0.28 besteht aber immer noch eine Wahrscheinlichkeit von über 25%, dass diese Tendenzen zufällig zustande kamen.

Tabelle 4: Resultate des Fisher-Test für Legionellen > 1000 KBE/L, bezogen auf die Art der Wärmeerzeugung.

	Anzahl	Hauptdusche		Zweitdusche		Speicherboden	
		Odds Ratio	p	Odds Ratio	p	Odds Ratio	p
Wärmepumpe	33	1.2	0.75	0.64	0.71	0.44	0.26
Holz	4	-	1.00	3.9	0.30	1.8	0.50
Gas	41	0.74	0.76	1.6	0.71	1.2	0.79
Öl	15	1.3	0.67	0.9	1.00	0.8	1.00
Solarthermie	60	10.8	0.01	2.4	0.46	0.5	0.29
Elektrisch	17	0.4	0.22	0.7	0.71	0.7	0.59

Einige der getesteten Anlagen ohne Solarthermie wiesen einen Legionellenbefund an der Hauptdusche unter dem Höchstwert von 1000 KBE/L auf. In Tabelle 5 wird die Auswertung für unterschiedliche



Kontaminationsgrenzen wiederholt. Bei der Wahl einer anderen Grenze sind Solaranlagen immer noch häufiger von Legionellen an der Hauptzapfstelle betroffen, eine statistische Signifikanz besteht in diesen Fällen aber nicht mehr.

Tabelle 5: Statistische Zahlen des Fisher-Tests zu Legionellen mit und ohne Solarthermieanlagen bei unterschiedlichen Konzentrationsgrenzen.

	Hauptdusche		Zweitdusche		Speicherboden	
	Odds Ratio	p	Odds Ratio	p	Odds Ratio	p
>100 KBE/L	3.1	0.07	2.2	0.34	0.54	0.31
>1'000 KBE/L	10.8	0.01	2.30	0.46	0.46	0.29
>10'000KBE/L	4.4	0.22	inf	0.26	0.47	0.46
>100'000 KBE/L	0	0.45	0	1.00	inf	1.00

3.3.6 Speicher

Es wurden sowohl die Anzahl, als auch der Speichertyp und die Art der Verschaltung und Beladung aufgenommen. Diese Parameter haben keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen gezeigt (Fisher: $p > 0.5$). Einzig zwischen dem Auftreten von Legionellen im Speicherboden und dem Vorhandensein von mehreren Speichern könnte womöglich ein Zusammenhang bestehen (Odds Ratio: 2.6), welcher aber aufgrund der kleinen Stichprobe statistisch nicht signifikant ($p = 0.2$) ist.

In Abbildung 31 wird die Verteilung der Speichergrossen mit und ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche dargestellt. Dabei zeigt sich keine Tendenz, dass bei spezifischen Speichervolumina eine Kontamination der Hauptdusche häufiger auftreten würde. Auch bezogen auf die Probestellen Nebendusche und Speicherboden und bezüglich der Grössen von Bereitschafts- Mittel-, oder Vorwärmvolumen konnten keine eindeutigen Tendenzen zu einer stärkeren Kontamination von spezifischen Speichergrossen ausgemacht werden. Die p-Werte des Wilcoxon Rangsummentest lagen bei allen Kombinationen über 0.5.

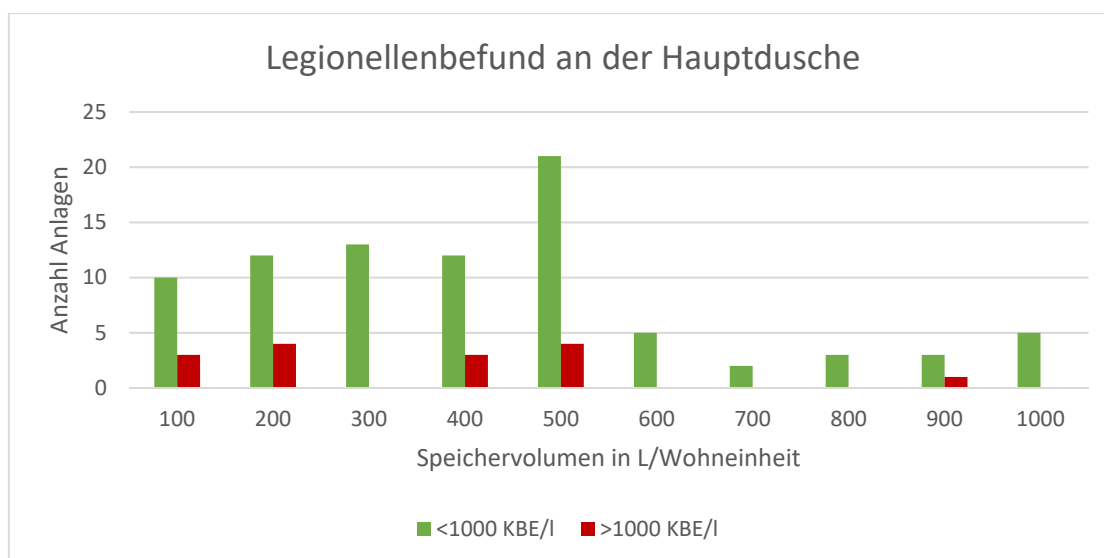


Abbildung 31: Verteilung der Speichergrossen mit und ohne Legionellenbefund an der Hauptdusche.



3.3.7 Ein- und Ausschaltemperaturen der Nachheizung

Erstaunlicherweise weisen Anlagen mit Höchstwertüberschreitung ähnliche Ein- und Ausschaltemperaturen der Nachheizung aus wie Anlagen ohne Höchstwertüberschreitung. Dies wird in Abbildung 32 anhand der Einschalttemperatur gezeigt. Für alle Kombinationen von Probestellen mit Ein- und Ausschaltemperaturen ergibt der Wilcoxon Rangsummentest p-Werte über 0.4. Dies bedeutet, dass eventuell vorhandene Unterschiede mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit zufällig zustande kamen.

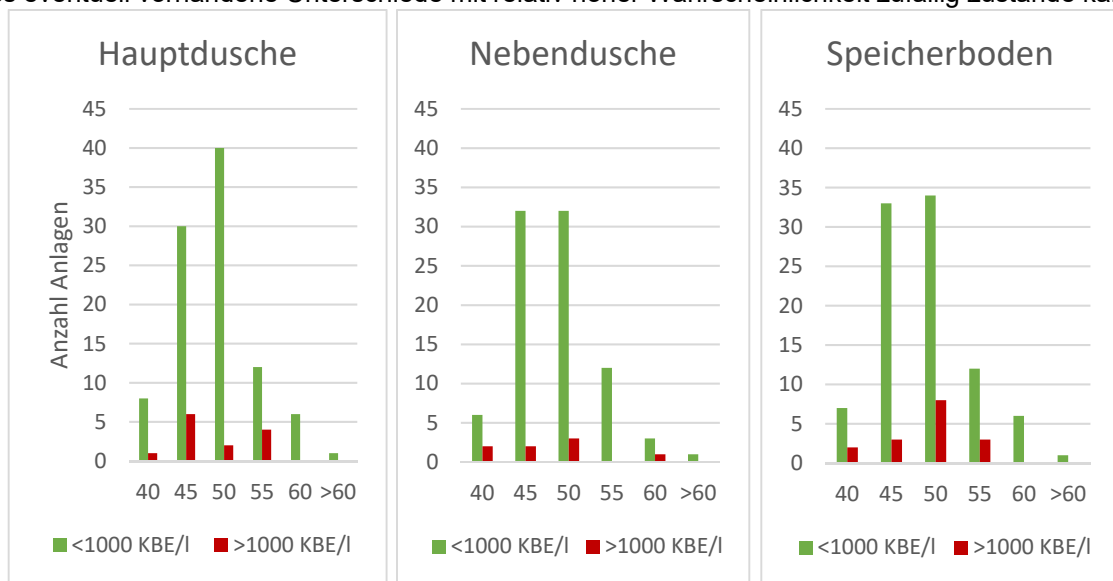


Abbildung 32: Verteilung der Einschalttemperaturen bei Anlagen mit und ohne Höchstwertüberschreitung an den Beprobungsstellen Hauptdusche, Nebendusche und Speicherboden.

3.3.8 Legionellenschaltung

Von den getesteten Anlagen wurde bei 20 Anlagen angegeben, dass eine Legionellenschaltung vorhanden war. Eine Prüfung der gemessenen Temperaturprofile hat aber ergeben, dass diese bei vielen Anlagen nicht durch entsprechende Temperaturmesswerte belegt werden konnten. Die Temperaurprofile wurden analysiert und wie folgt klassifiziert:

5 Anlagen: Es wird eine Legionellenschaltung deklariert und in der Woche vor Probenahme werden eine oder mehrere Temperaturerhöhungen um mehr als 5 K über die regelmässige Nachheiztemperatur erkannt.

3 Anlagen: Es wird eine Legionellenschaltung deklariert und die Temperatur steigt täglich über 60 °C, so dass eine allfällige Legionellenschaltung nicht vom regulären Betrieb unterschieden werden kann.

6 Anlagen: Es wird keine Legionellenschaltung deklariert und in der Woche vor Probenahme werden eine oder mehrere charakteristische Temperaturerhöhungen um mehr als 5 K über die regelmässige Nachheiztemperatur erkannt.

Diese 14 Anlagen wurden zusammengefasst und als "Anlagen mit Legionellenschaltung" ausgewertet. Dabei konnte bei keiner dieser Anlagen ein Legionellenbefall an der Hauptdusche, bei einer eine Höchstwertüberschreitung an einer Nebendusche, und bei dreien eine Höchstwertüberschreitung im Speicherboden festgestellt werden. Daraus ergeben sich statistisch nicht signifikante Tendenzen zu



weniger Legionellen an der Hauptdusche ($p=0.21$) und zu mehr Legionellen im Speicherboden ($p=0.42$) wenn eine Legionellenschaltung aktiv ist.

Bei 12 Anlagen wurde eine Legionellenschaltung deklariert, in der Woche vor Probenahme konnte aber kein charakteristischer Temperaturanstieg ($> 5\text{ K}$) identifiziert werden. Speziell bei Anlagen mit Solarthermie, aber auch zum Teil bei anderen Anlagen, kommen Variationen bei der erreichten Höchsttemperatur in Bereitschaftsvolumen vor (z.B. durch unregelmässige Verbraucherprofile oder durch Solareintrag). Somit ist die Identifikation einer Legionellenschaltung aus Messdaten von einer bis zwei Wochen nicht immer eindeutig.

3.3.9 Zentraler Mischer

Von den 60 Objekten mit Solarthermieanlagen sind 49 mit einem zentralen Mischer ausgestattet. Von den Anlagen ohne Solarthermie trifft dies nur auf eine zu. Anlagen mit zentralem Mischer waren an der Hauptdusche häufiger kontaminiert ($> 1000\text{ KBE/L}$) als Anlagen ohne (OddsRatio = 3.9, $p= 0.06$). Betrachtet man hingegen nur die Anlagen mit Solarthermie, so sind Grenzwertüberschreitungen an der Hauptdusche für Anlagen mit zentralem Mischer nicht signifikant häufiger als für Anlagen ohne (OddsRatio = 1.1, $p=1$). Die Unterschiede für die anderen Probestellen (Nebendusche und Speicherboden) sind statistisch ebenfalls nicht signifikant. Aufgrund der Daten ist also nicht anzunehmen, dass der zentrale Mischer einen Einfluss auf das Auftreten von Legionellen hat. Aufgrund der kleinen Anzahl von Solaranlagen ohne Mischer kann ein Einfluss aber auch nicht ausgeschlossen werden.

3.3.10 Verteilung und Warmhaltung

Bei 25 Anlagen wurde ein Zirkulationssystem identifiziert. Bei diesen Anlagen ist die Kontaminationsrate der Hauptdusche höher als bei Anlagen ohne Zirkulationssystem (siehe Tabelle 6), wobei die Unterschiede nicht signifikant ($p=0.17$) sind. Bezogen auf die Kontamination der anderen Probestellen oder auch bezüglich Warmhaltung mit einem Heizband können keine deutlichen Unterschiede ausgemacht werden. Von den sieben Anlagen bei denen eine Totleitung identifiziert werden konnte, war keine von Legionellen betroffen (weder an der Haupt- noch an der Nebendusche). Auf Grund der geringen Anzahl kann hier keine sinnvolle Auswertung durchgeführt werden.

Überraschenderweise war die Anzahl kontaminierter Duschen sowohl bei den Hauptduschen als auch bei den Nebenduschen höher, wenn der Warmwasserspeicher siphoniert war. Auch dieser Befund ist jedoch statistisch nicht signifikant ($p = 0.22$, $p = 0.27$).

Tabelle 6: Resultate des Fisher-Test, bezogen auf den Zusammenhang zwischen Warmhaltung / Totleitung und Legionellen $> 1000\text{ KBE/L}$ an unterschiedlichen Probestellen.

	Anzahl	Hauptdusche		Nebendusche		Speicherboden	
		Odds Ratio	p	Odds Ratio	p	Odds Ratio	p
Zirkulation	25	2.4	0.17	1.0	1.00	1.0	1.00
Heizband	15	1.3	0.67	0.8	1.00	2.2	0.25
Totleitung	7	0	1.00	0	1.00	0.3	0.24
Siphonierung	38	2.1	0.33	2.8	0.26	1.4	0.58



3.3.11 Enthärtungsanlage

Bei 18 der beprobten Anlagen war eine Enthärtungsanlage installiert, wobei bei zwei Anlagen mit Enthärtungsanlage eine Höchstwertüberschreitung in der Hauptdusche, bei einer Anlage in der Nebendusche und bei zwei Anlagen im Speicherboden gemessen wurde. Dies entspricht den Erwartungswerten der Gesamtstichprobe. Es kann also keine Tendenz zu mehr oder weniger Legionellen bei Vorhandensein einer Enthärtungsanlage abgeleitet werden ($p=1$).

3.3.12 Kollektorfeld

Ein Vergleich der Kollektorfeldgrössen von Anlagen mit und ohne Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche zeigt keine eindeutige Tendenz (Wicoxon Rangsummentest: $p=0.7$, siehe auch Abbildung 33). Dies gilt auch für eine Höchstwertüberschreitung an der Nebendusche oder des Speicherbodens. Es sind sowohl Anlagen mit kleinen, als auch Anlagen mit grossen Kollektorfeldern betroffen. Von den ganz grossen Solaranlagen mit einer Kollektorfeldgrösse über 15 m^2 pro Wohneinheit weist keine Anlage eine Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche auf. Weil dies aber nur vier Anlagen sind, können daraus keine statistisch signifikanten Aussagen abgeleitet werden. Es wurde nicht explizit erfasst, ob eine Anlage nur zur Warmwasserbereitstellung oder auch zur Heizungsunterstützung eingesetzt wird. Wenn das Vorhandensein eines Kombispeichers als Indikator für eine Heizungsunterstützung herbeigezogen wird, kann kein signifikanter Unterschied zwischen Anlagen zur Heizungsunterstützung und Warmwasser-Anlagen festgestellt werden (Fisher-Test: $p>0.5$ für alle untersuchten Zapfstellen).

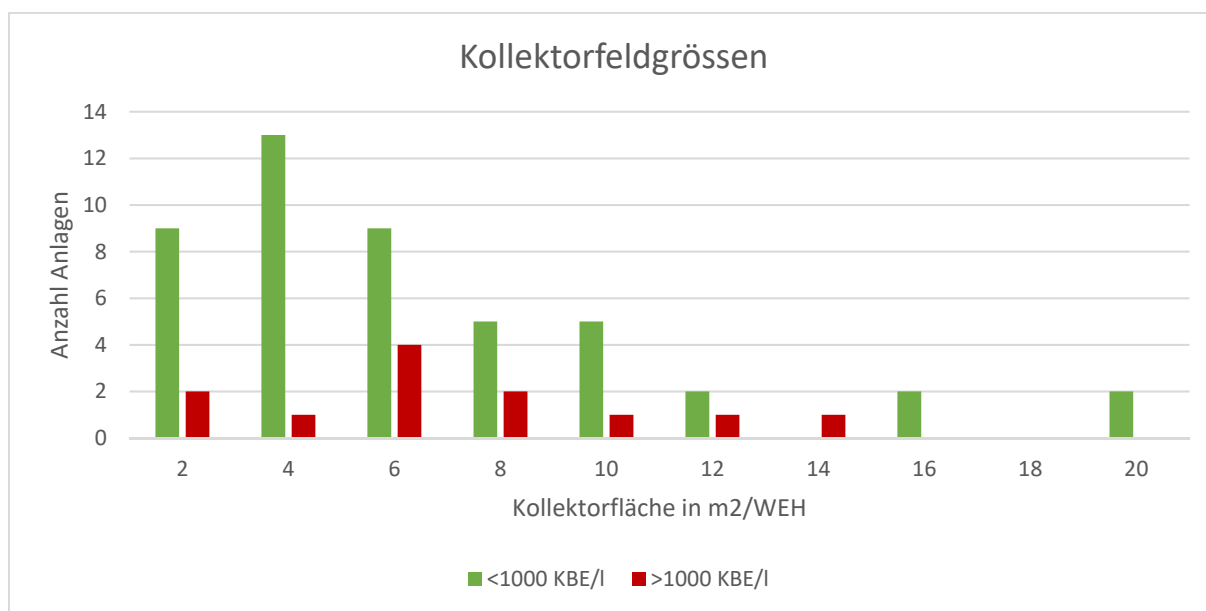


Abbildung 33: Kollektorfeldgrösse von Anlagen mit und ohne Legionellen an der Hauptdusche.



3.3.13 Probleme mit der hausinternen Warmwasserversorgung

Es wurde erhoben, ob in der Vergangenheit Probleme mit der Warmwasserversorgung bestanden. Dabei wurden nur selten Probleme angegeben. In Tabelle 7 werden die Resultate des Fisher-Test bezüglich Problemen mit der Warmwasserbereitstellung und dem Überschreiten des Höchstwertes für Legionellen an den unterschiedlichen Teststellen aufgelistet. Wenn keine der Anlagen mit einem spezifischen Problem von Legionellen-Höchstwertüberschreitung betroffen war, ergibt sich ein Odds Ratio von Null. Weil dies bei den tiefen Befallsraten und nur einzelnen Anlagen mit einem spezifischen Problem auch erwartet wird, ergibt sich ein p-Wert von 1. Nur in einem Fall konnte ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden: Wenn Probleme mit dem Geruch oder Geschmack des Wassers angegeben wurden, dann wurden auch häufiger Legionellen an der Hauptdusche gefunden ($p=0.05$). Bei einer Anzahl von 27 Tests (9 Probleme bezüglich 3 Beprobungsorten) liegt dies bereits unter der erwarteten Quote an falsch positiven Korrelationen. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten unterschiedlicher Probleme und einer Kontamination kann also aufgrund dieser Untersuchung nicht mit Sicherheit aufgezeigt werden.

Tabelle 7: Resultate des Fisher-Test bezüglich Angabe von Problemen mit der Warmwasserversorgung.

	Anzahl	Hauptdusche		Zweitdusche		Speicherboden	
		Odds Ratio	p	Odds Ratio	p	Odds Ratio	p
Wasserfärbung	8	1.2	1.00	1.3	0.46	2.3	0.30
Geruch / Geschmack	8	6.1	0.04	1.6	0.53	0.8	1.00
zu wenig Druck	1	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	1.00
Leckagen	1	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	1.00
Temp. WW zu hoch	2	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	1.00
Temp. WW zu tief	2	8.7	0.21	12	0.17	0.0	1.00
Lange Ausstosszeiten	13	0.6	1.00	0.0	0.60	0.0	0.21
Kaltwasser warm	2	0.0	1.00	0.0	1.00	5.6	0.29

3.3.14 Wartung

Die Zeit seit der letzten Wartung hat keinen deutlichen Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen an der Haupt- und Nebendusche (Wilcoxon Rangsummentest: $p > 0.5$). Wartung fasst hier unterschiedliche Massnahmen zusammen, welche nicht genauer klassifiziert wurden.

Erstaunlicherweise waren die Anlagen mit Höchstwertüberschreitung im Speicherboden im Schnitt eher kürzlich gewartet (Abweichung 3.8 Jahre, $p=0.02$) als solche ohne Legionellen über dem Höchstwert im Speicherboden. Dies wird auch in Abbildung 34 gezeigt. Dabei ist die Häufung bei 14 Jahren wohl ein Artefakt, weil die Jahreszahl 2005 gehäuft angegeben wurde, wenn die Wartung schon viele Jahre her, aber das genaue Datum nicht mehr bekannt war.

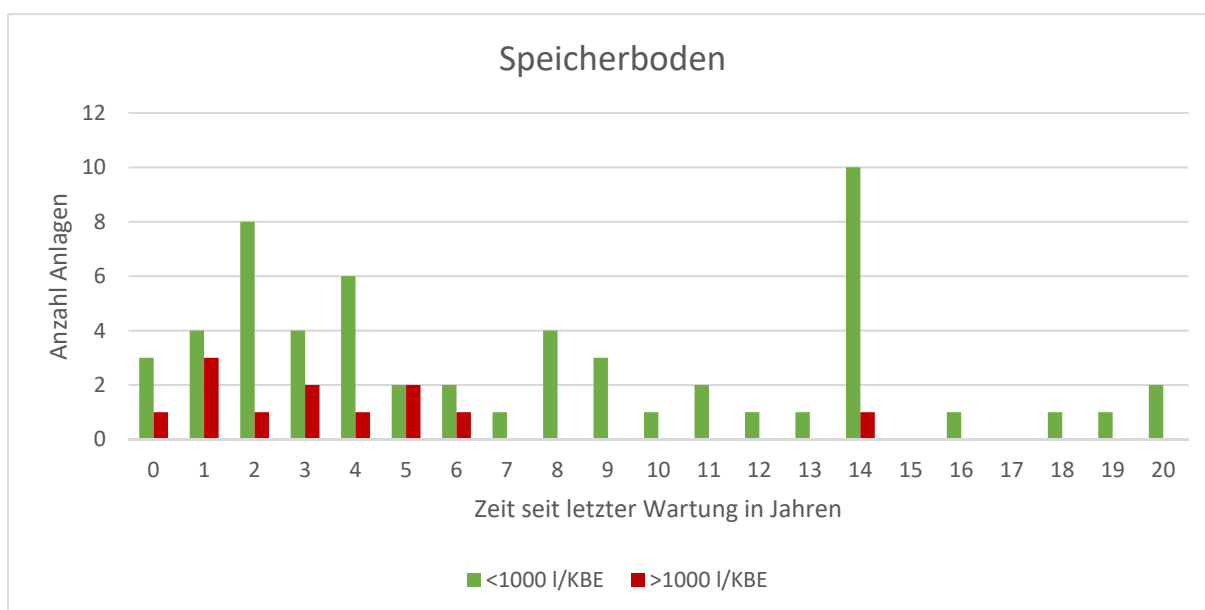


Abbildung 34: Zeit seit der letzten Wartung von Anlagen mit und ohne Legionellen im Speicherboden.

3.3.15 Armaturen

Es wurde sowohl der Mischertyp, als auch das Vorhandensein einer Sparbrause und eines dezentralen Verbrühungsschutzes aufgenommen. Es waren hauptsächlich Einhandmischer, einige Thermomischarmaturen (mit Temperatur und Durflusseinstellung) und eine Zweihandarmatur vorhanden. Für die Auswertung wurden die Haupt- und Nebenduschen zusammengefasst und lediglich zwischen Thermomisch- und anderen Armaturen unterschieden. Dabei waren Thermomischarmaturen drei mal so häufig von einer Höchstwertüberschreitung betroffen als andere Armaturen (OddsRatio = 3.9, Relatives Risiko 3.2). Wenn Haupt- und Nebenarmaturen zusammengefasst werden, dann ist dieses Ergebnis auch statistisch signifikant ($p=0.046$). Weil Thermomischarmaturen auch oft eine dezentrale Temperaturbegrenzung besitzen, weist das Vorhandensein einer dezentralen Temperaturbegrenzung eine ähnliche Tendenz auf. In diesem Falle wird aber keine statistische Signifikanz erreicht (Odds Ratio = 3.4, $p=0.07$).

Nur in einem Fall wurde klar angegeben, dass eine Sparbrause eingesetzt wurde, daher macht eine Auswertung dieses Parameters keinen Sinn.

3.3.16 Häufigkeit der Nutzung

Auch die generelle Häufigkeit der Nutzung einer Dusche wurde abgefragt. Für die Auswertung wurde zwischen einer täglichen Nutzung und einer selteneren Nutzung unterschieden und Haupt- und Nebenduschen wurden zusammengefasst. Obwohl die Zusammenfassung zu einer grösseren Stichprobe mit ausgeglichener Verteilung führt, kann kein signifikanter Einfluss der Nutzungshäufigkeit auf die Kontamination einer Dusche ausgemacht werden (Odds Ratio=0.98, $p=1.0$, ausgewertet für Haupt- und Nebenduschen zusammengefasst).



3.3.17 Stillstandszeit

Bei der Beprobung wurde erfasst, wie lange vor der Beprobung die Dusche nicht benutzt wurde.

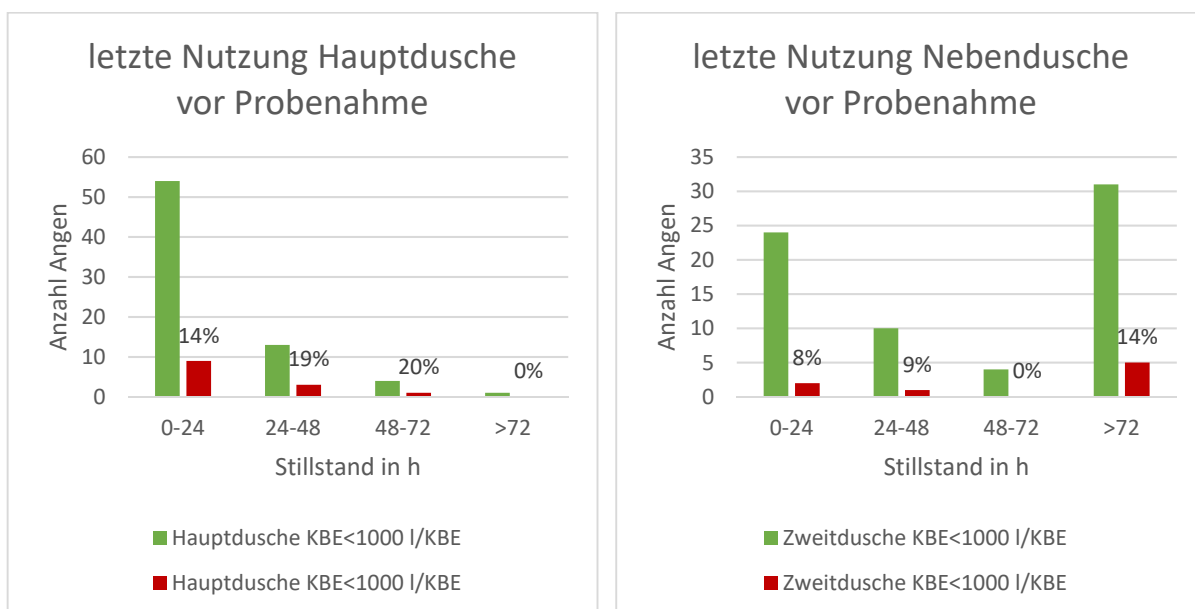


Abbildung 35: Einfluss der Stillstandszeiten auf die Kontamination der Probestellen.

In Abbildung 35 wird die Verteilung dieser Zeiten für Haupt- und Nebendusche aufgeschlüsselt auf Duschstellen mit und ohne Überschreitung des Höchstwertes gegeben. Dabei kann keine eindeutige Tendenz festgestellt werden ($p > 0.5$). Entgegen den Erwartungen konnte also mit den vorhandenen Daten nicht statistisch signifikant aufgezeigt werden, dass lange nicht benutzte Zapfstellen deutlich mehr betroffen wären als kürzlich benutzte Zapfstellen.

3.3.18 Wasserverbrauch

Die Wasseruhr wurde bei der Erst- und Zweitbegehung auf den Kubikmeter genau ausgelesen, womit der Wasserverbrauch ausgewertet werden kann. Weil in den meisten Objekten nur ein zentraler Wasserzähler vorhanden war, kann nur der gesamte Wasserverbrauch ermittelt werden, und es liegen deshalb keine Werte nur für Warmwasser vor. Wie in Abbildung 36 gezeigt wird, fällt der Wasserverbrauch bei Anlagen mit Höchstwertüberschreitung ähnlich aus wie bei Anlagen ohne Höchstwertüberschreitung. Auch wenn die Auswertung für einzelne Beprobungsstellen durchgeführt wurde, konnten keine statistisch signifikanten Unterschiede ausgemacht werden. Der p-Wert des Wilcoxon Rangsummen Tests lag für alle Varianten über 0.4.

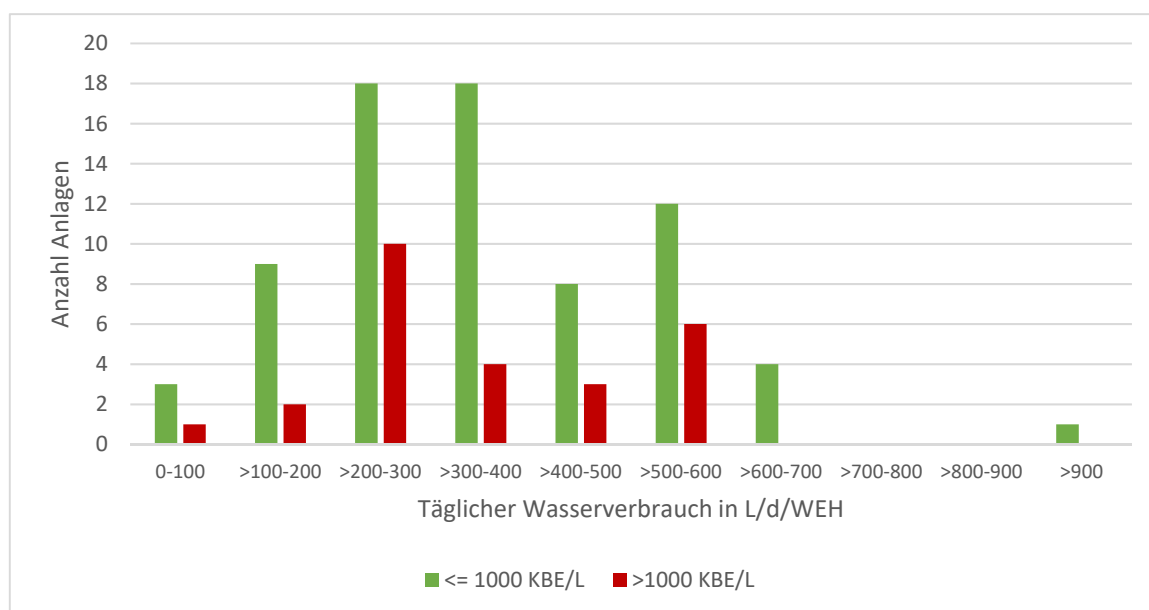


Abbildung 36: Wasserverbrauch bei Anlagen mit und ohne Höchstwertüberschreitung.

3.3.19 Temperatur an der Zapfstelle

In Abbildung 37 wird die Verteilung der erreichten Maximaltemperaturen an der Hauptdusche dargestellt, wobei zwischen Entnahmestellen mit Höchstwertüberschreitung und Entnahmestellen ohne Höchstwertüberschreitung unterschieden wird. Der Anteil der befallenen Duschstellen am Total der Duschstellen des entsprechenden Temperaturbereichs sinkt mit zunehmender Temperatur. Die Hauptduschen mit Höchstwertüberschreitung weisen im Mittel ein um 1.0 K tiefere Maximaltemperatur aus als die Hauptduschen ohne Kontamination. Dieser Unterschied ist aber statistisch nicht signifikant (Wilcoxon: $p=0.32$). Ein ähnliches Signifikanzniveau wird erreicht, wenn auf das Erreichen der von der SIA 385/1 geforderten Temperatur von 50 °C an der Zapfstelle getestet wird. Es weisen sieben der 46 Anlagen, welche die 50 °C an der Hauptdusche nicht erreichten, eine Höchstwertüberschreitung an dieser Zapfstelle auf. Von den 63 Anlagen welche eine Temperatur von 50 °C oder mehr erreichten, weisen noch fünf eine Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche auf (Fisher-Test: Odds Ratio = 2.1, $p=0.35$).

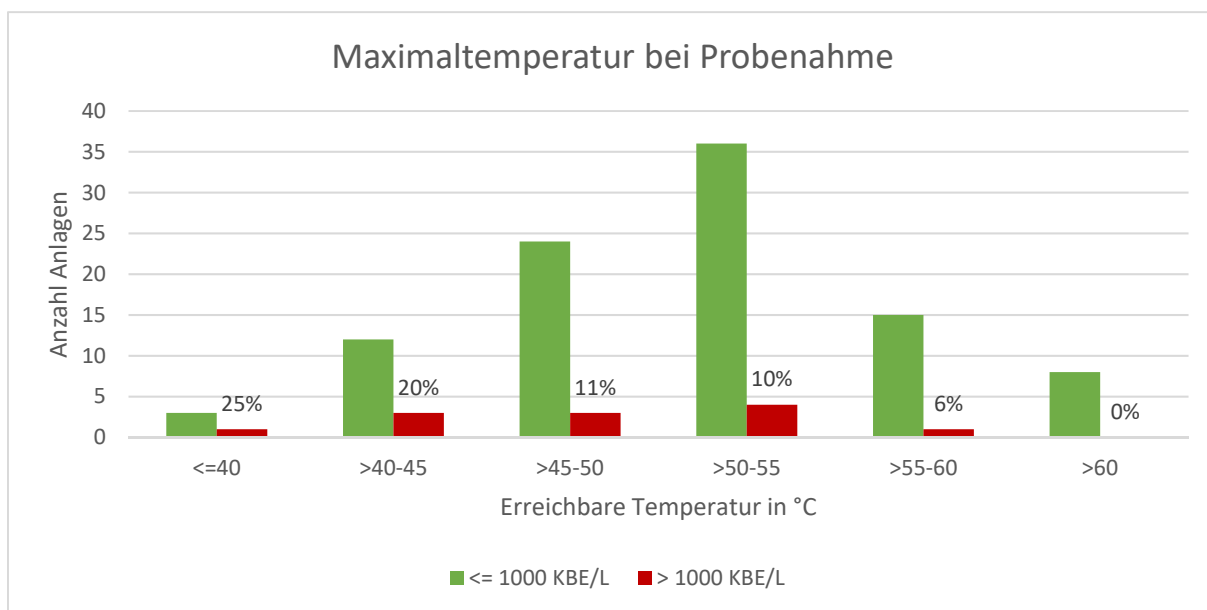


Abbildung 37: Verteilung der erreichten Maximaltemperaturen an der Hauptdusche, aufgeteilt in Systeme mit Höchstwertüberschreitung und ohne. Über den roten Säulen der Anlagen mit Höchstwertüberschreitung ist der Anteil am Total im entsprechenden Temperaturbereich in Prozent dargestellt.

3.3.20 Auswertung der Temperaturverläufe

Auch wenn in einigen Fällen die Qualität der Anbindung der Temperaturfühler an die Speichervolumen unklar war, wurden die gemessenen Temperaturverläufe der Woche vor der Probenahme als bester verfügbarer Indikator für die Bereitschaftstemperatur und die Speicherbodentemperatur angenommen und statistisch ausgewertet.

Tabelle 8: Abweichungen der Mittelwerte (von Mittelwert, Maximalwert und Minimalwert) sowie die jeweiligen p-Werte des Wilcoxon Rangsummentest der Stichproben mit Höchstwertüberschreitung gegenüber den Stichproben ohne Höchstwertüberschreitung an den Probenahmestellen Hauptdusche, Nebendusche und Speicherboden.

Temperaturmessung		Hauptdusche		Nebendusche		Speicherboden	
		Diff. [K]*	p	Diff. [K]*	p	Diff. [K]*	p
Temperatur Duschraum 1	Max.	-1.35	0.33				
	Min.	-1.82	0.42				
	Mittelwert	0.90	0.24				
Temperatur Bereitschaftsvolumen	Max.	-1.44	0.45	-1.95	0.40	-5.04	0.04
	Min.	4.25	0.27	-4.28	0.16	-0.24	0.72
	Mittelwert	2.30	0.30	-1.85	0.39	-2.97	0.15
Temperatur Speicherboden	Max.	-1.64	0.70	-1.47	0.88	-1.61	0.79
	Min.	1.58	0.86	1.38	0.49	3.24	0.01
	Mittelwert	-2.00	0.54	-0.93	0.75	4.09	0.19

* positive Temperaturdifferenzen bedeuten höhere Temperatur bei Anlagen mit Höchstwertüberschreitung.



Dabei wurde der Einfluss der minimalen, maximalen und mittleren Temperatur von Bereitschaftsvolumen, Speicherboden und der Duschräume auf das Auftreten einer Höchstwertüberschreitung an den drei Probestellen (Hauptdusche, Nebendusche, Speicherboden) ausgewertet. Bei den meisten Kombinationen konnte kein Einfluss identifiziert werden. Die einzigen signifikanten Zusammenhänge waren, dass Anlagen mit Legionellen im Speicherboden eine im Durchschnitt tiefere Maximaltemperatur im Bereitschaftsvolumen und eine im Duschschnitt höhere Minimaltemperatur im Speicherboden aufweisen.

Zusätzlich wurden verschiedenen Hypothesen anhand des Fisher-Test geprüft:

1. Im Speicherboden wird im Schnitt während mindestens einer Stunde am Tag 60 °C erreicht (N=12):
-> Keine Tendenz zu mehr oder weniger Höchstwertüberschreitungen an Haupt-, Nebendusche oder Speicherboden erkennbar ($p>0.5$).
2. Im Speicherboden wird im Schnitt während mindestens einer Stunde am Tag 55 °C erreicht (N=20):
-> Keine deutliche Tendenz zu mehr oder weniger Höchstwertüberschreitungen an Haupt- ($p=1$), Nebendusche ($p=0.38$) oder Speicherboden ($p=1$) erkennbar.
3. Im Bereitschaftsvolumen wird im Schnitt während mindestens einer Stunde am Tag 60 °C erreicht (N=27):
-> Keine deutliche Tendenz bezüglich Höchstwertüberschreitung an Haupt- und Nebendusche ($p>0.4$)
-> Weniger Höchstwertüberschreitungen im Speicherboden (**$p=0.02$**)
4. Im Bereitschaftsvolumen wird im Schnitt während mehr als 23 Stunden am Tag 60 °C erreicht (N=1):
-> Wird nur von einer Anlage erreicht, diese weist eine Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche und im Speicherboden auf.
5. Im Bereitschaftsvolumen wird im Schnitt während mehr als 23 Stunden am Tag 55 °C erreicht (N=7):
-> Entgegen den Erwartungen signifikant mehr Höchstwertüberschreitungen an der Hauptdusche, wenn Bereitschaftsvolumen länger auf hoher Temperatur (**$p=0.03$**).
-> Bei anderen Probestellen (Nebendusche, Speicherboden) keine Tendenz erkennbar ($p=1$).

3.3.21 Statistische Analysen ohne Aussagekraft

Weder lineare Regression noch Kendall-Korrelation konnte bei dem hier verwendeten Datensatz einen Zusammenhang zwischen erreichter Warmwassertemperatur (an der Zapfstelle, nach Temperaturkonstanz gemessen) und dem Auftreten von Legionellen aufzeigen. Dies kann zum einen daran liegen, dass der hier verwendete Datensatz kleiner war als die Datensätze anderer Autoren. Zum anderen kann dies aber auch an der Art der Probenahme liegen. Bei dieser Untersuchung wurden an den Duschen immer Proben mit einer Temperatur um die 37 °C gezogen. Andere Untersuchungen haben meist ungemischte Warmwasserproben ausgewertet, so dass bei hohen Warmwassertemperaturen ein Absterben im Probebehälter nicht ausgeschlossen werden kann.

Andere Autoren [3] verwendeten die ROC-Analyse, um eine Grenztemperatur zu finden, oberhalb derer mit deutlich weniger Legionellen zu rechnen ist. Dies führte mit den hier vorhandenen Daten zu keinem sinnvollen Ergebnis. In Abbildung 38 sind ROC-Analysen der Höchstwertüberschreitung an den



unterschiedlichen Beprobungsstellen bezüglich der erreichten Maximaltemperatur dargestellt. Aufgrund der AROC Werte <0.6 werden diese Kurven als wertlos eingestuft. Bei der Nebendusche ist die Fläche unter Kurve (AROC) gar <0.5 , der Zusammenhang ist also tendenziell gegenläufig.

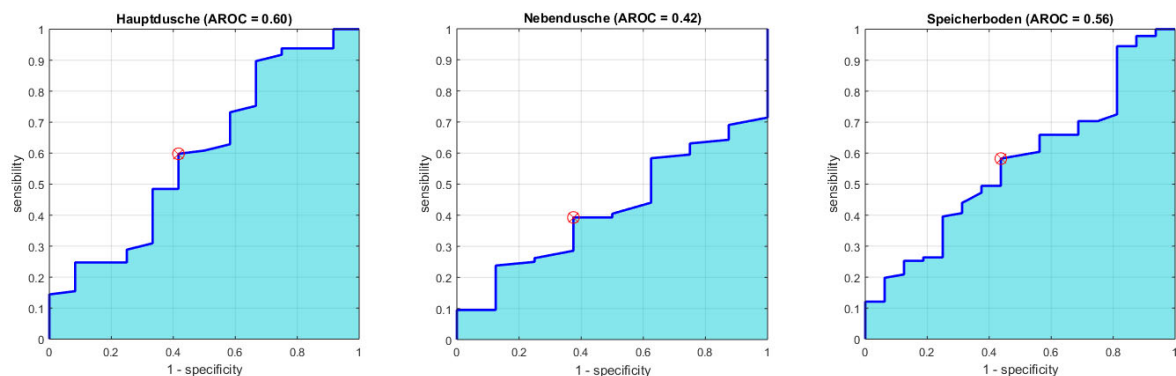


Abbildung 38: ROC-Kurven der Variable "Höchstwert überschritten" an den drei Probestellen bezüglich der Testvariabel "erreichte Maximaltemperatur an der Hauptzapfstelle".

3.3.22 Legionellen-Spezies

In der Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen [4] werden die Grenzwerte für Legionella spp. unabhängig von der gefundenen Spezies definiert. Der grösste Teil der gemeldeten Legionellosen wird durch die Spezies *L. pneumophila* verursacht [5]. Es sind aber auch Fälle bekannt, welche durch *L. anisa* oder andere Spezies verursacht wurden. Wenn in dieser Studie Höchstwertüberschreitungen auftraten, so wurde auch die Spezies derjenigen Proben mit den meisten koloniebildenden Einheiten bestimmt. Dabei traten die beiden Spezies *anisa* und *pneumophila* mit etwa derselben Häufigkeit auf. Andere Spezies wurden nicht identifiziert. In Abbildung 39 wird die geographische Verteilung der Höchstwertüberschreitungen mit Hinweis auf die gefundene Spezies gegeben.

Wenn nur diejenigen Fälle ausgewertet werden, in welchen die deutlich gefährlichere Spezies *pneumophila* detektiert wurde, so wären nur noch ca. halb so viele Fälle von Höchstwertüberschreitungen vorhanden. Dies führt dazu, dass die statistische Signifikanz aufgrund der wenigen Fälle sinkt. So sind z.B. nur noch fünf Anlagen mit Solarthermie und eine Anlage ohne Solarthermie von einer Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche betroffen. Dieser Unterschied ist statisch nicht mehr signifikant (Fisher: $p=0.22$).

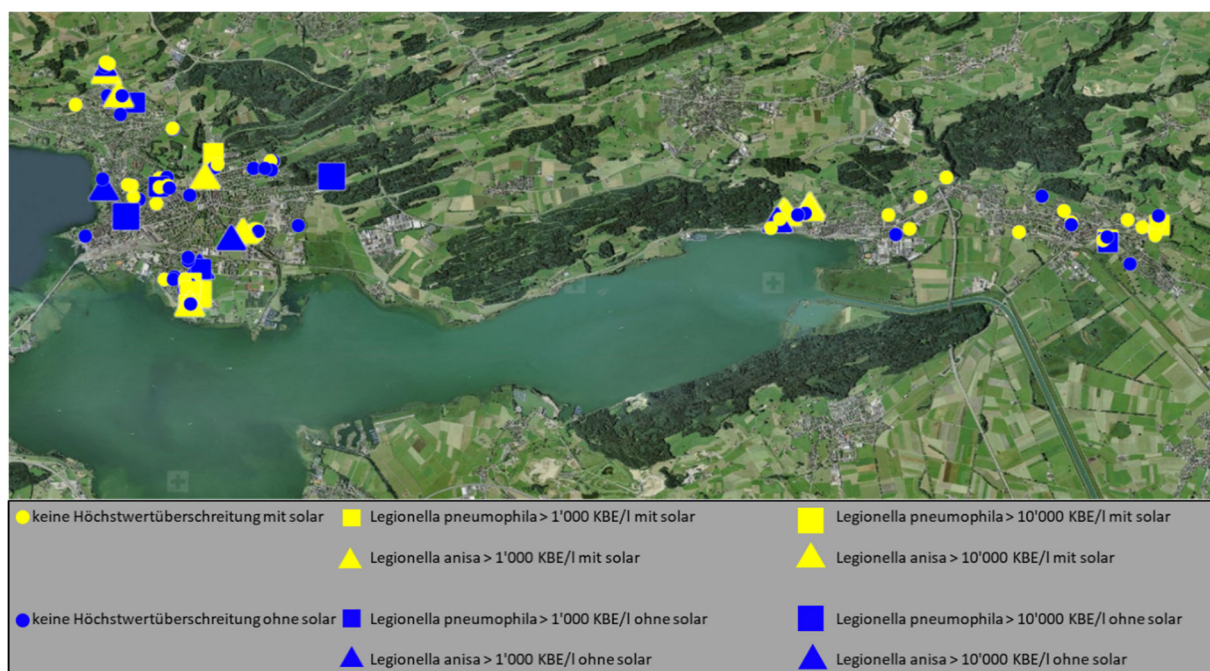


Abbildung 39: Abbildung der Verteilung der Höchstwertüberschreitungen mit Hinweis auf die Spezies.



4 Diskussion

4.1 Aufzeichnen von Temperaturverläufen vor Ort

Die Aufzeichnung von Temperaturverläufen vor Ort mit kabellosen Temperaturmessknöpfen hat sich als äusserst hilfreich erwiesen für die Feststellung des tatsächlichen Betriebsverhaltens und der tatsächlich im System herrschenden Temperaturen. Fehlerhaftes Anlagenverhalten und zu kleine Boiler-Dimensionierung, die zeitweise zum Durchschlagen kalter Temperaturen führt, konnten so mit relativ wenig Aufwand detektiert werden. Dies ermöglichte eine bessere Eingrenzung der Ursachen und gezieltere Empfehlungen zur Behebung allfälliger Probleme.

4.2 Allgemeine Feststellungen zu erreichten Temperaturen am Hahn

Gemäss prSIA 385/1 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. Von den mindestens geforderten Temperaturen in der Verteilleitung von 60/55 °C (Vorlauf/Rücklauf) im Standardfall, respektive 55/52 °C im Falle einer einwandfreien Installation ohne jegliche Problemstellen, sind die meisten der beprobten Anlagen deutlich entfernt. Die Studie lässt deshalb auch keine Rückschlüsse darauf zu, was gewesen wäre, wenn diese Vorgaben der prSIA 385/1 von allen Anlagen eingehalten worden wären.

Von den 110 Anlagen weisen sieben Anlagen (6.4%) in allen Duschwasserproben Legionellen auf, und an gleichzeitig an mindestens einer Duschwasserprobe > 1000 KBE/L, was in dieser Studie als Indiz für eine vermutlich systemische Kontamination genommen wurde. Vier von diesen sieben Anlagen erreichten keine 50°C an der Zapfstelle (die erreichten Temperaturen waren 34.5, 49.8, 43.7, 48.1 °C). Bei der fünften Anlage (Obj. 39) wurden an der Zapfstelle 59 °C erreicht, gleichzeitig kann jedoch bezweifelt werden, ob hier eine systemische Kontamination vorliegt, denn an der Hauptdusche betrug der gemessene Wert in der zweiten Probe nur noch 100 KBE/L, während in der ersten Probe noch 1'000 KBE/L gemessen wurden. Auch bei Objekt 72, welches an der Zapfstelle 51.5 °C erreichte, ist auf Grund der eher geringen Kontamination von 600 – 1'100 KBE/L eine systemische Kontamination eher fraglich. Die siebte Anlage (Objekt 79, Elektroboiler ohne Solaranlage) erreichte 54.9 °C an der Zapfstelle bei der Beprobung. Aus den gemessenen Temperaturverläufen am Speicher wird jedoch klar, dass der Boiler entweder zu klein dimensioniert oder zu wenig häufig beladen wird, so dass er praktisch täglich leergeduscht wird und zeitweise Wasser mit deutlich weniger als 50 °C in die Zapfstellen gelangt. So ist es möglich, dass eventuell im unteren Speicherbereich vorhandene Legionellen in die Duschen gelangen, ohne vorher eine heisse Speicherzone durchlaufen zu haben. Bei diesem Elektroboiler ohne Solaranlage wurden im Speicherboden 12'000 KBE/L nachgewiesen, und gleichzeitig in der Hauptdusche mit 260'000 KBE/L die höchste Legionellenkonzentrationen aller Proben gemessen.

Einige Solaranlagen halten zwar auch im Winter hohe Temperaturen im Nachheizvolumen des Speichers, reichen diese jedoch nicht an die Zapfstellen weiter, weil der als Schutz vor Verbrühung installierte zentrale Passivmischer zu tief eingestellt ist, und damit zu viel Kaltwasser beimischt. Dadurch kann es sein, dass trotz Temperaturen von nahezu 60 °C im Speicher die 50 °C an der Zapfstelle nicht erreicht werden.



4.3 Kontaminationsraten und Probenahmestrategie

Von den beprobten Zapfstellen konnten bei 3.4% der Zapfstellen ohne Solarthermie und bei 15% der Zapfstellen mit Solarthermie Legionellen > 1000 KBE/L nachgewiesen werden. Bei Anlagen ohne Solarthermie sind 24% von Höchstwertüberschreitungen an irgendeiner Probenahmestelle betroffen, bei Anlagen mit Solarthermie 28%. Im Vergleich dazu stellten Mathys et al. [6] in ihrer Untersuchung die im Jahr 2008 publiziert wurde bei 13.1% der Anlagen ohne Solarthermie und bei 4.2% der Anlagen mit Solarthermie Legionellen fest. In einer Auswertung eines viel grösseren Datensatzes, in welchem sowohl die Daten von Mathys et al. enthalten sind als auch viele weitere Proben auch grösserer Objekte mit vielen Zapfstellen, weisen Rühling und Rothmann eine Überschreitung von 1000 KBE/L für 9% der Proben "(Trink)Warmwasser", für 21% der Proben "Trinkwasser kalt", und für 30% der Mischwasserproben aus [7].

In der Studie von Mathys et al. wurden die Proben meist⁶ als 1 L-Proben an einem Hahn im Badezimmer nach Entfernen aller Aufsätze und Abflammen der Ausströmöffnung als reine Warmwasserproben nach Ablauf von 5 L Wasser gezogen. Im Gegensatz dazu wurden in unserer Studie die Duschen beprobt mit installiertem Schlauch und Brause, und es wurde an der Hauptdusche sowohl eine reine Warmwasserprobe nach Erreichen von 37 °C als auch eine Mischprobe danach bei ähnlicher Temperatur gezogen. Während also bei Mathys et al. das Erfassen einer rein peripheren Kontamination in Armaturen nicht Ziel der Probenahmestrategie war und somit auch nicht unbedingt erfasst wurde, war in der hier präsentierten Studie gerade das Ziel, eine unverfälschte Messung des Wassers zu bekommen, so wie es im realen Betrieb aus der Duschbrause austritt. Einerseits können so die Resultate beider Studien nicht direkt miteinander verglichen werden, andererseits kann aber auch gerade das unterschiedliche Probenahmeverfahren im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Resultaten Hinweise darauf liefern, wo die Ursachen für die unterschiedlichen Resultate zu suchen sind. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist der in unserer Studie – jedoch nicht bei Mathys et al. – gemessene häufigere Befund von Legionellen in Duschwasserproben aus Anlagen mit Solarunterstützung eben nicht auf eine systemische Kontamination zurückzuführen, sondern auf ein rein peripheres Aufkeimen von Legionellen.

Der von Rühling und Rothmann ausgewertete Datensatz enthielt wie erwähnt sowohl den Datensatz von Mathys et al. als auch weitere Datensätze, die mit unterschiedlichen Probenahmeverfahren erhoben wurden. Die "überwiegende Anzahl der Daten" basiert jedoch auch hier auf Probenahmen nach einem Ablauf von 5 Litern oder mehr, und kann deshalb nur eingeschränkt mit den Resultaten der hier vorliegenden Studie verglichen werden.

4.4 Statistisch signifikante Resultate

Von den vielen untersuchten Parametern weisen nur wenige einen statistisch signifikanten Zusammenhang mit dem Auftreten von Legionellen > 1'000 KBE/L in Proben einer oder mehrerer Probenahmestellen auf. Dies sind das Alter des Haus und der Sanitärinstallation (jüngere Häuser und Anlagen waren häufiger von Legionellen über dem Höchstwert betroffen), das Vorhandensein von Solaranlagen (signifikant häufiger Legionellen an den Zapfstellen, trotz tendenziell weniger häufig Legionellen im Speicher), das Vorhandensein einer Thermomischarmatur (signifikant häufiger Legionellen mit Thermomischarmatur) und die Beanstandung von geruchlichen oder geschmacklichen

⁶ Zitat "in most cases"



Eigenschaften des Wassers (signifikant häufiger Legionellen, wenn Geruch oder Geschmack des Wassers beanstandet wurden).

Bei der Verwendung des weit verbreiteten Signifikanzniveaus von $p=0.05$ besteht eine Wahrscheinlichkeit von 5% von falsch positiven Resultaten. Das heisst, dass ein vermeintlicher Zusammenhang immer noch mit einer Wahrscheinlichkeit von 5% durch eine zufällige Anordnung der Stichprobe zustande kommen kann. Bei rein zufällig verteilten Parametern wäre also bei jedem 20. möglichen Einflussfaktor mit einer falsch positiven Korrelation zu rechnen. Weil in diesem Projekt sehr viele mögliche Einflussfaktoren untersucht und dann jeweils auf das Auftreten von Legionellen an drei unterschiedlichen Probeorten (Haupt- Nebendusche und Speicherboden) ausgewertet wurden, ist rein statistisch mit einigen falsch positiven Testergebnissen zu rechnen.

4.5 Anlagen mit und ohne Solarthermie und Alter der Anlagen

Da in der untersuchten Stichprobe Anlagen mit Solarthermie auch signifikant jüngeren Datums sind als Anlagen ohne, sind diese beiden Parameter nicht unabhängig. Es kann nicht sicher geklärt werden, ob Solaranlagen an den Zapfstellen eher betroffen sind, weil sie tendenziell jünger sind, oder ob jüngere Anlagen eher betroffen sind, weil es davon mehr Anlagen mit Solarthermie gibt. Beide Zusammenhänge sind überraschend. Insbesondere weist der Befund, dass Anlagen mit Solarthermie an den Zapfstellen gehäuft von einer Höchstwertüberschreitung betroffen sind, eine gegenteilige Tendenz auf als bisher in der Literatur [6] beschrieben. Auch wenn nur Solaranlagen ausgewertet werden, besteht weiterhin die Tendenz, dass jüngere Anlagen stärker betroffen sind, allerdings ist diese nicht mehr statistisch signifikant. Ebenso besteht die Tendenz, dass Solaranlagen stärker betroffen sind, auch wenn nur Anlagen mit einem Alter von weniger als 10 oder 20 Jahren ausgewertet werden. Auch diese Tendenz ist dann allerdings nicht mehr statistisch signifikant. Ein Einfluss von Kollektorfeldgrösse oder Speichergrösse konnte nicht festgestellt werden.

Auffällig war, dass Besitzer von Anlagen mit Solarthermie eher bereit waren, bei der Studie mitzuwirken, als Besitzer von Anlagen ohne Solarthermie. Zudem war bei Anlagen mit Solarthermie deutlich weniger häufig ein Elektroeinsatz als Zusatzheizung installiert als bei konventionellen Anlagen die Warmwasserbereitung elektrisch erfolgte. Zudem waren in Anlagen mit Solarthermie die Nachheiztemperaturen in der Regel signifikant tiefer eingestellt als bei den übrigen Anlagen. Daraus lässt sich schliessen, dass sich die Eigner von Solarthermieanlagen bereits in ihrer Einstellung gegenüber Energie unterscheiden von denjenigen die über keine Solarthermieanlage verfügen. Es kann deshalb auch nicht ausgeschlossen werden, dass geringere Temperatureinstellungen des Nachheizvolumens und geringere Temperaturen an den Zapfstellen (im Schnitt – 3.8 K) einen Einfluss auf die Resultate hatten. Auch ein anderes Nutzerverhalten (zum Beispiel kälteres oder kürzeres Duschen aus Energiesparüberlegungen, was nicht erhoben wurde) kann derzeit nicht als möglicher Einflussfaktor ausgeschlossen werden.

Weiter ist zu beachten, dass der Beprobungszeitraum bewusst so gewählt wurde, dass es der für Solarthermieanlagen ungünstigsten Zeit im Jahr entspricht, wenn die Solarstrahlung gering und damit die Temperaturen im unteren Speicherbereich tief sind. Es kann also aus dieser Studie auch nicht abgeleitet werden, ob man bei Solarthermieanlagen im Schnitt über das Jahr mehr Legionellen an den Zapfstellen findet oder weniger.



4.6 Wärmepumpen

Uns ist bisher keine andere Studie bekannt, die eine grössere Anzahl Anlagen mit Wassererwärmung über Wärmepumpen einer Anzahl Anlagen ohne Wärmepumpen gegenüberstellt. Anlagen mit Wassererwärmung über Wärmepumpen (33 von 110) wiesen praktisch gleich häufig Höchstwertüberschreitungen an den Zapfstellen auf wie Anlagen ohne Wärmepumpen. Dies obwohl Wärmepumpenanlagen signifikant tiefere Ein- und Ausschaltemperaturen und auch tiefere Temperaturen an den Zapfstellen aufwiesen im Vergleich zu Anlagen ohne Wärmepumpen. Der Unterschied war jedoch weniger ausgeprägt als bei den Solarthermie-Anlagen. Im Speicherboden waren Anlagen mit Wärmepumpen weniger oft von einer Höchstwertüberschreitung betroffen als die übrigen Anlagen, allerdings ist der Unterschied statistisch nicht signifikant.

4.7 Legionellen-Spezies

Sowohl an der Hauptdusche als auch im Speicherboden sind ca. die Hälfte der Höchstwertüberschreitungen auf *L. anisa* und die andere Hälfte auf *L. pneumophila* zurückzuführen. Der Ort der Beprobung scheint also keinen Einfluss auf das Auftreten einer bestimmten Spezies zu haben. Bei zwei Fällen konnte gezeigt werden, dass das Kaltwasser kontaminiert ist (Siehe Anhang F Obj. 31 und Obj. 47), wobei die Spezies *L. anisa* im Kaltwasser nachgewiesen wurde.

4.8 Legionellenschaltung

Von den 14 Anlagen in welchen auf Grund der Temperaturmessreihen vor Ort eine aktivierte Legionellenschaltung vermutet werden kann, war in dieser Untersuchung keine von einer Höchstwertüberschreitung an der Hauptzapfstelle betroffen. Auf Grund der wenigen Anlagen ist dieses Resultat jedoch statistisch nicht signifikant. Eine ähnliche Untersuchung von Rühling et al [8] anhand von Proben welche hauptsächlich aus MFH stammen hat hingegen einen signifikanten, aber gegenteiligen Zusammenhang bezüglich dem Vorhandensein einer "*technischer Legionellenprävention*" (was in den meisten Fällen mit einer Legionellenschaltung gleichzusetzen ist) ergeben: Anlagen mit Legoinellenschaltung wiesen häufiger Befunde über 1000 KB/L auf als Anlagen ohne. Auch Mathys et al. [6] weisen eine Tendenz zu höheren Kontaminationsraten und höheren Legionellenkonzentrationen bei Vorhandensein einer Legionellenschaltung aus. Es muss jedoch auch angemerkt werden, dass die Angabe "Legionellenschaltung vorhanden" erstens nicht unbedingt immer zuverlässig ist, und zweitens ganz unterschiedliches bedeuten kann. Idealerweise sollte nicht nur die Existenz einer Legionellenschaltung laut Betreiberangaben berücksichtigt werden, sondern auch, ob diese anhand von Messdaten auch bestätigt werden kann. Zudem werden Legionellenschaltungen teilweise täglich ausgeführt, teilweise wöchentlich oder in einer anderen Frequenz. Manchmal wird auf 60 °C aufgeheizt, manchmal auf 65 oder 70. Eine nicht zu unterschätzende Rolle dürfte auch spielen, ob die Temperaturen der Legionellenschaltung auch alle Verteilungen sowie die Armaturen erreichen. Wird die Legionellenschaltung in der Nacht durchgeführt, womöglich noch während einer Unterbrechung der Zirkulationspumpe, so ist dies mehr als fraglich. Ob eine Legionellenschaltung zu weniger oder gar mehr Legionellen in der Anlage führt, kann derzeit weder mit dieser noch mit den zitierten Studien schlüssig beantwortet werden.



4.9 Totleitungen und selten benutzte Zapfstellen

Mit dem hier analysierten Datensatz hatte sowohl die angegebene Häufigkeit der Nutzung ("täglich" oder "seltener") als auch die Zeit seit der letzten Nutzung einer Dusche keinen Einfluss auf die Kontamination dieser Duschstelle. Es ist aber zu erwähnen, dass alle Proben erst nach Erreichen einer Temperatur von mind. 37 °C gezogen wurden, wodurch das in den Stichleitungen stehende Wasser wohl meist verworfen wurde. Des Weiteren war auch keine der sieben Anlagen bei welchen das Vorhandensein blind endender Leitungen angegeben wurde betroffen (statistisch nicht signifikant). Diese Tendenz wurde auch von Rühling et al. [8] beschrieben, welche sogar einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen dem Vorhandensein von selten benutzten Zapfstellen und einer geringeren Befallsrate feststellten. Das auch in der SIA pr385/1 beschriebenen erhöhte Risiko von Leitungen mit stagnierendem Wasser (Totleitungen oder selten benutzte Stichleitungen) kann also weder mit dieser noch mit der erwähnten Studie von Rühling et al. belegt werden.

4.10 Temperatur

Bei den hier untersuchten Proben konnte zwar bei Anlagen, welche an den Zapfstellen höhere Temperaturen erreichten, eine Tendenz zu geringerem Legionellenbefall festgestellt werden, diese ist jedoch nicht statistisch signifikant. Andere Autoren [3,7] weisen eindeutige Zusammenhänge zwischen Legionellenbefall und der Temperatur der Proben aus. Es bleibt bei solchen Korrelationen jedoch in der Regel unklar, ob die Konzentration vermehrungsfähiger Legionellen bei Proben hoher Temperatur nicht zum Zeitpunkt der Zapfung sehr viel höher war, und erst durch "Absterben im Probebehälter" auf Grund der hohen Temperatur im Behälter auf den gemessenen Wert reduziert wurde.

In den Ergebnissen einer kürzlich publizierten Studie von Rühling et al. [2] wurde eine geringe, aber statistisch signifikante, Korrelation zwischen der Probetemperatur und der über Kultivierungsverfahren gefundenen Legionellen nur dann festgestellt, wenn alle peripheren Probenahmen zusammengefasst wurden. Dabei ist nicht auszuschliessen, dass dieser Zusammenhang nicht durch die Tatsache hervorgerufen wurde, dass Proben des 2. Liters sowohl deutlich öfter betroffen als auch deutlich weniger warm waren als Proben des 5. Liters. Wenn die Proben des 2. und des 5. Liters separat analysiert wurden, war der Zusammenhang nicht mehr signifikant. Bei dieser Untersuchung wurde die Legionellenkonzentration aber nicht nur durch ein Kultivierungsverfahren, sondern auch durch ein PCR Verfahren bestimmt, welches auch tote oder inaktive Legionellen registriert. Dabei wurde eine gegenteilige Korrelation festgestellt und dies gar mit einer grösseren statistischen Signifikanz. Bei hohen Temperaturen gab es also generell mehr Legionellen, welche aber vermehrt tot oder deaktiviert waren und somit nicht mehr kultiviert werden konnten. Es ist anzunehmen, dass die Abtötung oder Deaktivierung zumindest teilweise auch in den heissen Probebehältern stattgefunden hat. Es ist deshalb gut möglich, dass allgemein das Legionellenrisiko bei hohen Systemtemperaturen unterschätzt wird, wenn Legionellen aus heissen Wasserproben über Kultivierungsverfahren bestimmt werden.

4.11 Zirkulationsleitungen

Die Tendenz, dass (vorwiegend EFH- und DFH-) Anlagen mit Zirkulationsleitungen eher Legionellen an den Zapfstellen aufweisen als Anlagen ohne Zirkulation, entspricht den Resultaten anderer Studien wie zum Beispiel Stanke et al. [9] und Harmuth et al. [10].



4.12 Legionellen im Speicherboden

Entgegen den Befürchtungen wiesen sowohl Anlagen mit Solarthermie als auch Anlagen mit Wärmepumpen-Wassererwärmung tendenziell weniger häufig Legionellen im Speicherboden auf als andere Anlagen. Überraschend ist auch das Resultat, dass in Speichern, welche nach Aussage der Besitzer oder Betreiber eher kürzlich gewartet wurden, tendenziell eher Legionellen gefunden wurden als in Speichern bei denen dies nicht der Fall war. In etwas mehr als der Hälfte (9 von 17) der Speicherproben welche über 1000 KBE/L aufwiesen, wurde die Spezies *L. anisa* gefunden. Weiter bestand eine Tendenz, dass Legionellen im Speicher eher dann gefunden wurden, wenn die Temperatur im unteren Speicherbereich HOCH war, jedoch nicht hoch genug für ein Verhindern des Wachstums. Dies ist bei vielen konventionellen Boilern der Fall, wenn diese über seitlich montierte Wärmetauscher oder Heizstäbe erwärmt werden, welche den Speicherbereich unter der Montagehöhe deutlich weniger Erwärmen als den Bereich darüber. Bei Solarthermieanlagen ist die Temperatur im Speicherboden zu dieser Jahreszeit jedoch eher zu tief für ein Legionellenwachstum.

Von den 17 Anlagen mit Höchstwertüberschreitung im Speicherboden wiesen vier ebenfalls eine Höchstwertüberschreitung an der Hauptdusche und drei an der Nebendusche auf. Somit traten bei Anlagen mit befallenen Speichern häufiger Höchstwertüberschreitungen an den Zapfstellen auf als bei Anlagen ohne Höchstwertüberschreitung im Speicherboden. Aufgrund der kleinen Stichproben wird aber eine statistische Signifikanz knapp nicht erreicht (Fisher-Test: Odds Ratio: 3.4 resp. 4.9, $p=0.08$ resp. $p=0.07$).

5 Ausblick und Empfehlungen

Aus den Resultaten konnten bereits interessante Tendenzen und teilweise auch statistisch signifikante Zusammenhänge herausgelesen werden. Einige Resultate sind jedoch nicht eindeutig, und es fehlen wichtige Puzzlesteine um vermutete Zusammenhänge zu belegen oder auszuschliessen. Es kann zum Beispiel derzeit nicht mit Sicherheit gesagt werden, ob eine statistisch signifikant höhere Anzahl Höchstwertüberschreitungen bei Anlagen mit Solarthermie auf das Design dieser Anlagen zurückzuführen ist, oder darauf, dass Besitzer dieser Anlagen auch generell eher energiesparende Massnahmen umgesetzt haben, wie zum Beispiel tiefere Temperatureinstellungen oder Wassersparmassnahmen. Ebenfalls zeigt sich eine Tendenz, dass neuere Gebäude und Sanitäranlagen stärker betroffen sind, und dass in Proben aus Duschzapfstellen mit Thermostadmischern signifikant häufiger Legionellen über 1000 KBE/L nachgewiesen wurden. Die Ursache für diese Korrelationen konnte aber nicht sicher identifiziert werden. Insbesondere war es in dem Projekt nicht möglich:

- multifaktorielle statistische Analysen der Daten durchzuführen und entsprechende Modelle zu überprüfen,
- sicher zwischen Kontamination aus dem Warmwasser und Kontamination aus dem Kaltwasser zu unterscheiden
- bei allen betroffenen Anlagen die Effektivität der vorgeschlagenen Massnahmen zur Elimination von Legionellen durch Nachbeprobung zu überprüfen, und



- den Einfluss des Nutzerverhaltens⁷ zu untersuchen.

Allfällige weiterführende Untersuchungen sollten wenn möglich die folgenden Punkte abdecken:

- Multifaktorielle statistische Analysen und Modelle anhand der vorhandenen Daten aus LegioSafeCheck erstellen, respektive prüfen.
- Nachbeprobung der positiv getesteten Objekte zur Verifizierung der Effektivität umgesetzter Massnahmen (insbesondere Temperaturregimes), dabei gleichzeitig auch die Erfassung des Nutzerverhaltens und Ableiten von Hypothesen in Bezug auf den Einfluss des Nutzerverhaltens auf Legionellen an der Duschzapfstelle.
- Überprüfung der Hypothese, dass bei Solaranlagen sogenannte "viable but not culturable" (VBNC) Legionellen eine Rolle spielen könnten für den Befall von Duscharmaturen, da bei wachstumsbegünstigenden Bedingungen im unteren Speicherbereich bei der Passage durch den oberen, heisseren Bereich des Speichers evt. grosse Mengen VBNC Legionellen gebildet werden. Diese könnten, wenn sie in die Duscharmaturen gelangen, dort evt. zu einem schnelleren Aufkeimen von kultivierbaren Legionellen führen.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Autoren stehen national mit verschiedensten Gruppen im Austausch. So ist Michel Haller seit 2019 Kommissionsmitglied der SIA 385/1 "Anlagen für Trinkwarmwasser in Gebäuden", und nimmt Teil an der Überarbeitung der Norm. Vertreter der EAWAG (Frederik Hammes) und der HSLU (Franziska Rölli, Stefan Kötzsch) und des Kantonalen Labors St. Gallen (Linda Thöny) sind in der Begleitgruppe dieses Projektes und nahmen an Projektmeetings und Feedback-Runden teil, und über das UvG-Projekt der HSLU besteht Kontakt zu diversen anderen Experten aus BAG/BLV, Kantonalen Laboren, etc. International wurden im Mai 2019 am Rande des Symposiums Solarthermie im Kloster Banz / Bad Staffelstein Gespräche geführt mit Karin Rühling (TU Dresden), und gemeinsam mit ihr ein Roundtable zum Thema Legionellen in Trinkwassersystemen geleitet.

7 Kommunikation und Publikation

Auf Grund der kontroversen Resultate und weil noch keine eindeutigen Empfehlungen gegeben werden können, wurde von einer breiten Kommunikation oder Publikation der Resultate abgesehen. Die Resultate wurden der Begleitgruppe sowie den Auftraggebern BFE, Kanton Bern und swisstec vorgestellt, und teilweise in der SIA 385/1 zur Sprache gebracht. Eine öffentliche Publikation der Resultate sowie aus dem Projekt abgeleitete Empfehlungen können voraussichtlich vorgenommen

⁷ zum Beispiel Dauer des Duschvorgangs und Temperatur während des Duschvorgangs, ob einmal ganz heiss aufgedreht wird oder nicht vor, während oder nach dem Duschen, etc.



werden, sobald die Resultate des beantragten Ergänzungsprojektes vorliegen und dadurch in den offenen Fragestellungen ein klareres Gesamtbild entstanden ist.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Haller M, Ruesch F. LegioSafe - Legionellensicherheit in thermischen Solaranlagen. Rapperswil: SPF Institut für Solartechnik; 2019.
- [2] 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.
- [3] Kistemann T, Wasser F. Big Data: Markante Erkenntnisse aus der Legionellen-Routineüberwachung. Sanitär + Heizungstechnik 2018;4:34–9.
- [4] TBDV. 817.022.11, Verordnung des EDI über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen 2018.
- [5] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Management of Legionella in Water Systems. Washington, DC: 2019. <https://doi.org/10.17226/25474>.
- [6] Mathys W, Stanke J, Harmuth M, Junge-Mathys E. Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating. International Journal of Hygiene and Environmental Health 2008;211:179–85. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.02.004>.
- [7] Rühling K, Rothmann R. Untersuchungen zur Verifizierung von Sicherheitsabständen zur Zone des Legionellenwachstums in der Trinkwassererwärmung. Dresden, Germany: TU Dresden - Fakultät Maschinenwesen - Institut für Energietechnik; 2012.
- [8] 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.
- [9] Stanke J. Untersuchung zur Besiedlung der Warmwassersysteme von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Legionellen. Dissertation. Westfälischen Wilhelms-Universität, 2005.
- [10] Harmuth M. Untersuchungen über das Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen von Ein- und Zweifamilienhäusern. PhD Thesis. Westfälische Wilhelms-Universität, 2006.



Annex A Anschreiben Studienteilnehmer



Rapperswil, 28.11.2018
HAM

Studie der HSR zu Legionellen im Trinkwasser – Wir bitten um Ihre Teilnahme

Sehr geehrte Damen und Herren

Legionellen sind Mikroorganismen, welche in der Umwelt weit verbreitet sind und sowohl im kalten als auch im warmen Trinkwasser vorkommen. Meist sind diese Mikroorganismen nur in geringer Zahl zu finden, und richten keinen Schaden an. Vermehren sie sich jedoch auf Grund von günstigen Wachstumsbedingungen übermässig, so können sie, wenn sie in grossen Mengen eingeatmet werden, die Legionärskrankheit hervorrufen.

Da Legionellen unter gewissen Bedingungen auch in häuslichen Trinkwasserinstallationen wachsen können, **möchten wir in einer Feldstudie ermitteln, wie häufig und in welchen Mengen Legionellen im häuslichen Trink- und Duschwasser zu finden sind.** Uns interessiert dabei, ob wir das Vorkommen von Legionellen mit Parametern der Installation oder des Betriebes der häuslichen Anlagen erklären können. Dies gibt uns wertvolle Hinweise darüber, ob und wie die bestehenden Empfehlungen für die Trinkwasserinstallationen im Gebäude (wie zum Beispiel die SIA-Norm 385/1) angepasst werden müssen.

Studien aus Deutschland und Griechenland zeigen, dass bei Nutzung von Solarwärme zur Warmwasserbereitung deutlich weniger Legionellen gefunden werden als in konventionellen Trinkwassererwärmungssystemen. Wir möchten mit unserer Studie feststellen, ob dies auch für die Schweiz zutrifft, und wenn möglich die Gründe dafür ermitteln.

Um die Studie durchführen zu können, **sind wir auf Ihre Hilfe angewiesen.** Dürfen wir **im Zeitraum Januar bis April 2019 ihre Hausinstallation besichtigen und dabei Wasserproben entnehmen?** Für Sie entstehen keine Kosten, denn unsere Studie ist bereits finanziert. Alles was wir bräuchten ist Ihr Einverständnis und zwei Termine im Abstand von ca. einer Woche im besagten Zeitraum, an denen Sie uns Zugang zu ihrer Hausinstallation gewähren. Sämtliche Daten werden anonym behandelt, und selbstverständlich werden Sie selber über die Resultate ihrer eigenen Anlage sowie über die anonymisierten Resultate der gesamten Studie informiert werden.



Bitte rufen Sie uns an oder teilen Sie uns per email mit, ob Sie bereit sind an unserer Forschungsstudie teilzunehmen:

legiosafe@spf.ch

Tel: +41 55 222 4148

Freundliche Grüsse
Institut für Solartechnik SPF

Dr. Michel Haller
Leiter Forschung SPF

Beilagen: Ablauf der Feld-Untersuchungen im Projekt LegioSafe



Ablauf der Feld-Untersuchungen im Projekt LegioSafe

1) Kontaktaufnahme

Für unsere Studie benötigen wir die Zustimmung von 100 Besitzern von Ein- oder Mehrfamilienhäusern zur Begehung und Beprobung ihrer Trinkwasseranlagen. Zu diesem Zweck nehmen wir schriftlich per Post oder, falls die Telefonnummer in öffentlichen Telefonbüchern eingetragen ist, auch per Telefon Kontakt auf mit Privatpersonen und Besitzern von Anlagen, und informieren diese über unser Projekt und unser Anliegen.

2) Zustimmung der Anlagenbesitzer

Wenn die Anlagenbesitzer einer Teilnahme an den Untersuchungen zustimmen, dann vereinbaren wir zwei Termine im Abstand von 1-2 Wochen im Zeitraum Januar bis April 2019 zur Begehung und Beprobung der Anlagen. Die Begehung der Anlage dauert jeweils maximal 1 h. Es wäre wichtig, dass zu diesem Zeitpunkt eine Person vor Ort wäre welche Fragen beantworten könnte, und dass evt. vorhandene Unterlagen (Anlagenpläne und Wartungspläne) der Sanitäreinrichtungen griffbereit sind.

3) Erstbegehung

Bei der Erstbegehung wird das Anlagendesign ermittelt auf Grund der verfügbaren Unterlagen und der Besichtigung vor Ort. Dabei sind die verbauten Komponenten und die Dimensionierung allfälliger Speicher und Wärmeerzeuger relevant, sowie die Betriebsweise des Systems. Zur Ermittlung der Betriebsweise werden kleine Knopf-Temperaturfühler an der Trinkwasserinstallation im Technikraum oder Keller platziert. Diese können über einen Zeitraum von ca. 2 Wochen Temperaturen messen und aufzeichnen.

4) Zweitbegehung

Bei der zweiten Begehung, welche ca. 1-2 Wochen nach der Erstbegehung stattfindet, werden die Temperatur-Knopfzellen eingesammelt, und Wasserproben an verschiedenen Stellen gezogen. Die Probenahmestellen beinhalten idealerweise:

- Duscharmatur und Gästedusche, wenn vorhanden
- Kaltwasser-Zulauf im Keller
- Warmwasseraustritt aus Speicher (wenn möglich)
- Zirkulations-Rücklauf (wenn vorhanden und Probenahme möglich)
- Je nach System eine weitere Stelle des Trinkwassersystems

5) Durchführung der Wasseranalysen

Die Bestimmung der Legionellenkonzentrationen erfolgt durch das Kantonale Labor St. Gallen, welches die Studie unterstützt und mit uns zusammenarbeitet (Zuständigkeitsbereich von Herrn Dr. Pius Kölbener). Evt. werden weitere Wasseruntersuchungen durch andere Labore durchgeführt.

6) Information über die Resultate

Die Resultate aus dem Kantonalen Labor werden vom SPF Institut für Solartechnik ausgewertet. Die Anlagenbesitzer werden mit einem Schreiben innert 2 Monaten ab Probenahme informiert über den Befund ihrer Anlage. Resultate der anonymisierten Auswertung aller Proben werden im Herbst 2019 kommuniziert.



7) Was ist, wenn Legionellen gefunden werden?

Legionellen sind in der Umwelt fast überall präsent, und geringe Konzentrationen von Legionellen in einer Hausinstallation sind kein Grund zur Besorgnis. Es kommt jedoch auch oft vor, dass die Anzahl der Legionellen im Wasser so gering ist, dass sie nicht mehr nachgewiesen werden kann. Generell geht man davon aus, dass bis zu einer Konzentration von 1000 KBE/l (KBE = Kolonie Bildende Einheiten) keine Massnahmen zur Bekämpfung der Legionellen getroffen werden müssen. Bei Überschreitung dieses Wertes wird empfohlen, die Ursache des Befalls zu ermitteln und geeignete Massnahmen zu treffen um diese Werte zu reduzieren. Im Falle von Wohneigentum kann der/die Eigentümer/in selber in eigener Verantwortung entscheiden, ob und welche Massnahmen er/sie durchführen möchte. Im Falle eines Mietverhältnisses mit einer Warmwasseraufbereitung welche in den Zuständigkeitsbereich des Vermieters fällt, ist dieser in jedem Falle dafür verantwortlich, dass den Mietern einwandfreies Wasser zur Verfügung gestellt wird. Nichtwissen entbindet nicht von dieser Verantwortung. Somit ist es auch für Vermieter nur von Vorteil, wenn er oder sie über den Zustand und die Qualität des gelieferten Trinkwassers bestmöglich informiert ist.

Sollten wir in einzelnen Proben Legionellenkonzentrationen feststellen, welche über den üblichen Werten liegen, dann bieten wir Ihnen kostenfrei eine Erstberatung an, in welcher wir mögliche Ursachen aufzeigen und mögliche Massnahmen besprechen können.

8) Wer finanziert die Studie und weshalb?

Die Studie wird finanziert durch das **Bundesamt für Energie (BFE)** sowie das **Amt für Umwelt des Kantons Bern**. Unterstützt wird die Studie zudem durch **Eigenleistungen der Hochschule Rapperswil HSR** sowie des **kantonalen Labors St. Gallen**. Mit dieser Studie möchten die Auftraggeber und die Forscher ermitteln, ob das Vorkommen von Legionellen auf bestimmte Anlagen-Design oder bestimmte Betriebsweisen zurückgeführt werden kann. Dies würde es uns erlauben, Empfehlungen zu formulieren welche zur Verbesserung der Hygiene und des Energiebedarfs von Trinkwasserinstallationen führen.

Die Resultate der Studie sind öffentlich und werden nicht zu kommerziellen Zwecken benutzt.



Annex B Fragebogen Erstbegehung

 INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK		 HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPPERSWIL ETH Fachhochschule Ostschweiz	
Allgemein			
Ojekt-Nummer			
Datum			
Zeit			
Objektart			
Gebäude	MFH / Reihenhause / EFH / sonstiges		
Anzahl Wohneinheiten (WE)			
Anzahl WE belegt			
Alter und Art der Anlagen			
Baujahr Haus			
Baujahr Sanitäranlagen zentral und Verteilung			
Monat/Jahr			
Letzte Änderungen Sanitär zentral und Verteilung			
Monat/Jahr			
Massnahmen:			
Anschluss Duschen / Trinkwasser an			
	Öffentliches Netz / Zisterne / anderes		
Pläne vorhanden			
Zentrale Warmwasser	Ja/Nein		
Warm- Kaltwasserverteilung	Ja/Nein		
Warmwasserspeicher	Ja/Nein		
Betriebs-Logbuch	Ja/Nein		
Arbeitsanweisungen (Spülen von Filter, Filterwechsel)	Ja/Nein		
Wärmeerzeugung Warmwasser (ankreuzen X)			
Wärmepumpe			
Holz (Pellets, Hackgut, Stückholz)			
Erdgas			
Heizöl			
Nah- oder Fernwärme			
Solarwärme			
Elektrische Widerstandsheizung			
PV gesteuert (WP oder Elektro)			
anderes			
Art der Wärmespeicher (ankreuzen X)			
Ein Warmwasserspeicher			
Beladung			
interner WT			
externer WT			
mehrere Warmwasserspeicher			
Anzahl			
Verschaltung	seriell / parallel		
Pufferwasserspeicher mit FWM nur für WW			



Kombi-Speicher	
Tank-in-Tank	
Spirarohr	
Puffer mit FWM	
Speicher-Typ (Hersteller, Typenbezeichnung / Identifikation)	
kein Speicher vorhanden (Gas- oder Elektro-Durchlauferhitzer): ankreuzen	
Ort	zentral / dezentral
Volumen, Temperaturen, Reinigungsöffnung der Speicher	
Exakte Speicherzeichnung mit Volumenangaben	
Volumen Bereitschaft	liter
% Trinkwasser	%
Volumen Mitteltemp (Kombi)	liter
% Trinkwasser	%
Volumen Vorwärmung	liter
% Trinkwasser	%
Sollwert Bereitschaftsvolumen	
Nachheizung EIN	°C
Nachheizung AUS	°C
Legionellenschaltung	
Uhrzeit Start	
Uhrzeit Ende	
Temperatur Legionellenschaltung	
Reinigungsöffnung Speicher	°C
oben / mitte / unten / keine	
Verteilung und Anschlüsse WW	
Verbrühungsschutz zentral vorhanden	Ja/Nein
Temperatur-Einstell.	°C
Warme Verteilung (ankreuzen x)	
Zirkulation - immer aktiv	
Zirkulation - nie in Betrieb	
Zirkulation - mit Unterbrechung	
Unterbruch von:	
bis:	
Heizband	
Tsoll:	°C
kalte Verteilung	
Siphonierung	am Speicher / am Verteilbalken / gar nicht
Nennweite der Rohre (AD)	mm
Länge der Rohre (ca.)	m
Rücklauf Zirkulation (wenn vorhanden)	
Eintritt Rücklauf in Speicher	oben / mitte / unten / keine
bei zwei Speichern: auch Eintritt in Vorwärm Speicher möglich?	Ja/Nein
Temperatur Rücklauf	°C



Isolation und Siphonierung		%
Warmwasserleitungen isoliert	vorbildlich / zu	% / ga
Kaltwasserleitungen isoliert	vorbildlich / zu	% / ga
Trennung der Warm- und Kaltwasserleitungen (ankreuzen x)		
getrennte Schächte		
genügend Abstand		
kein Abstand		
nicht einsehbar		
Stichleitungen ab warmen Leitungen / Zirkulation oder Verteiler ab Speicher siphoniert?		
Ja/Nein		
Duscharmaturen (inkl. Badewannebrausen)		
Anzahl		
Bewohner auf möglichst Nichtbenützung vor Probenahme hingewiesen		
Druck- und Enthärtungsanlagen		
Membranausdehnungsgefäß		
vorhanden? Ja/Nein		
Bei TWW Bereitstellung durchströmt Ja/Nein		
Druck (Druckminderer, Druckerhöhung, Art)		
Enthärtungsanlage		
vorhanden? Ja/Nein		
Typ		
letzte Wartung am:		
Direkt am WW / KW angeschlossene Geräte (ankreuzen x)		
Löschleinrichtungen / Brandschutz		
Elektroverbraucher an Warmwasser		
Waschmaschine		
Geschirrspüler		
Andere:		
automatische Heizungsbeheizung		
Überwachung und Wartung		
Überwachung der Temperaturen...		
... durch Gebäudeleittechnik		
... anders		
Modell		
letzte Wartung der WW-Installation		
Datum (Monat/Jahr)		
durch....		



Mehrere Zirkulationsstränge (v.a. MFH)	
Anzahl	
eine Pumpe pro Strang	Ja/Nein
hydraulischer Abgleich?	Ja/Nein
Solaranlage	
vorhanden?	Ja/Nein
Anzahl Module / Einheiten	
Feldgrösse	m ²
Kollektortyp	Flach/Röhren/unabgedeckte
Orientierung (süd, ost, west)	
Neigung (° geschätzt oder ab Plan)	°
Maximaltemperatur Speicher (Regler)	°C
Maximaltemperatur Kollektor aus (Regler)	°C
Belegung und Verbrauch	
Belegung (bei MFH Durchschnitt pro Wohneinheit)	
Total Personen	
davon Erwachsene	
Zählerstände	
Wasseruhr total	m ³
davon WW (wenn bekannt)	m ³
Verbrauch Trinkwasser (wenn bekannt)	
Total	l/d
davon Warmwasser	l/d
Nutzungsfrequenz und Stagnation	
Abgehängte WW-Stichleitungen?	Ja/Nein
Länge der Leitung	m
Anzahl Duscheinrichtungen (inkl. Badewannenbrause) DI	
von den DI täglich benutzt	
von den DI weniger als 1x pro Woche benutzt	
Zusätzliche blind endende Leitungen erkennbar	
	Ja/Nein
Länge der Leitung	m
Siphoniert?	Ja/Nein
Probleme mit der Installation bekannt?	
	Ja/Nein
Art der Probleme (ankreuzen)	
Wasserfärbung	
Geruch / Geschmack	
zu wenig Druck	
Leckagen	
Temp. WW zu hoch	
Temp. WW zu tief	
Lange Ausstosszeiten	
Kaltwasser bei Ausstoss zu warm	
Probleme mit Legionellen in der Vergangenheit	
	Ja/Nein
Jahr/Monat	
Massnahmen:	



Platzierung Temperaturfühler

1. Speicherboden

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung	Boden/seitlich Wand/Anschlussrohr	
Höhe über tiefstem Punkt im Speicher		

2. Bereitschaftsvolumen

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung	Austritt WW / seitlich Wand / anderes:	
Höhe unter höchstem Punkt im Speicher		

3. Zirkulation / Verteilung Vorlauf

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung	nach Mischer, kein Mischer, anderes:.....	
Von Speicher durch Siphon getrennt?	Ja/Nein	

4. Warme Verteilung, kälteste Stelle

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung	RL-Zirkulation / Schwachstelle Heizb. / anderes:	

5. Evt. Kaltwasser, warme Stelle, oder anderen Schwachpunkt der Anlage

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung:		

6. Duschraum 1

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung:		

7. Duschraum 2

	Uhrzeit	ID
Uhrzeit und ID Knopf		
Ort der Anbringung:		

Kopien / Fotos:

Platzierung T-Fühler	
Anlagenhydraulik	
Installation	X
Handbücher	
Wartungsprotokolle	

Weitere Beobachtungen / Auffälligkeiten



Annex C Fragebogen Zweitbegehung und Probenahmen

SPF INSTITUT FÜR SOLARTECHNIK		HSR HOCHSCHULE FÜR TECHNIK RAPOSTRICH FHO Fachhochschule Ostschweiz	
Allgemein			
Ojekt-Nummer			
Datum			
Zeit			
ID der Proben jeweils Objekt-Nummer + ID für Ort/Zimmer + 1 oder 2, mit Bindestrich getrennt			
Duscharmaturen (inkl. Badewannebrausen)			
ID-T-Speicherkarte			
Duscharmatur 1			
Bezeichnung / Ort der Installation			
Trichter und T-Fühler sterilisiert			
ID der Proben (auf Flasche)			
Art des Mischers	Zweihahn / Einhebel / Temp+Strahl		
Wasserspar	Ja/Nein		
mit Verbrühungsschutz	Ja/Nein		
Häufigkeit der Nutzung			
letzte Nutzung vor			min / h / Tagen
letzte Reinigung Duschkopf vor			Tage / Monate
Temperatur im Raum			°C
Temperatur der Probe 1 (im Behälter)			°C
Temperaturkonstanz mit T-Begrenzung			°C
Temperaturkonstanz ohne T-Begrenzung			°C
Temperatur der Probe 2			°C
Duscharmatur 2 (optional)			
Bezeichnung / Ort der Installation			
Trichter und T-Fühler sterilisiert			
ID der Proben (auf Flasche)			
Art des Mischers	Zweihahn / Einhebel / Temp+Strahl		
Wasserspar	Ja/Nein		
mit Verbrühungsschutz	Ja/Nein		
Häufigkeit der Nutzung			
letzte Nutzung vor			min / h / Tagen
letzte Reinigung Duschkopf vor			Tage / Monate
Temperatur im Raum			°C
Temperatur der Probe 1 (im Behälter)			°C
Temperaturkonstanz mit T-Begrenzung			°C
Temperaturkonstanz ohne T-Begrenzung			°C
Temperatur der Probe 2			°C
Speicher-Entleerhahn			
ID der Probe (auf Flasche)			
gemeinsam mit Kaltwasser Zulauf	Ja/Nein		
Kaltwasserhahn zu?	Ja/Nein	wenn gemeinsam mit Entleerhahn	
abgeflammt	Ja/Nein		
Leitungslänge			m
Abfluss vor Entnahme			mL
Temperatur gemessen (Probenbehälter)			°C



T-Logger einsammeln		Uhrzeit	ID
Knopf 1	Uhrzeit und ID		
Knopf 2	Uhrzeit und ID		
Knopf 3	Uhrzeit und ID		
Knopf 4	Uhrzeit und ID		
Knopf 5	Uhrzeit und ID		

Zählerstände erneut aufnehmen	
Wasseruhr total	m3
davon WW (wenn bekannt)	m3

Kopien / Fotos:	
Armaturen	
Entleerhahn	

Weitere Beobachtungen / Auffälligkeiten	

Weitere Duscharmaturen (optional)	
Duscharmatur 3	
Bezeichnung / Ort der Installation	
Art des Mischers	Zweihahn / Einhebel / Temp+Strahl
Trichter und T-Fühler sterilisiert	
ID der Proben (auf Flasche)	
Wasserspar	Ja/Nein
mit Verbrühungsschutz	Ja/Nein
Häufigkeit der Nutzung	
letzte Nutzung vor	min / h / Tagen
letzte Reinigung Duschkopf vor	Tage / Monate
Temperatur im Raum	°C
Temperatur der Probe 1 (im Behälter)	°C
Temperaturkonstanz mit T-Begrenzung	°C
Temperaturkonstanz ohne T-Begrenzung	°C
Temperatur der Probe 2	°C
Duscharmatur 4	
Bezeichnung / Ort der Installation	
Trichter und T-Fühler sterilisiert	
ID der Proben (auf Flasche)	
Art des Mischers	Zweihahn / Einhebel / Temp+Strahl
Wasserspar	Ja/Nein
mit Verbrühungsschutz	Ja/Nein
Häufigkeit der Nutzung	
letzte Nutzung vor	min / h / Tagen
letzte Reinigung Duschkopf vor	Tage / Monate
Temperatur im Raum	°C
Temperatur der Probe 1 (im Behälter)	°C
Temperaturkonstanz mit T-Begrenzung	°C
Temperaturkonstanz ohne T-Begrenzung	°C
Temperatur der Probe 2	°C



Annex D Anleitung für die Feldarbeiten

D.1 Temperaturfühler - Erstbegehung

Die Temperaturfühler vom Thermochron® iButton® (DS1921G) müssen vor der Platzierung im Feld über den Computer / Software / USB-Anschluss eingestellt und gestartet werden.

Pro Feldanlage sind mindestens 5 Fühler vorzubereiten.

Für die Fühler müssen geeignetes Material zur Befestigung, Einführung unter die Wärmedämmung oder Einklemmen unter den Speicher mitgenommen werden.

Die Fühler sind an den folgenden Punkten zu setzen, fotografisch zu dokumentieren und im Formular "Erstbegehung" einzutragen.

Generell sind alle Temperaturmessknöpfe in möglichst guten thermischen Kontakt mit dem zu messenden Anlagenteil zu bringen (anpressen / andrücken, thermischen Kontakt mit Alu-Manschetten verbessern) und gegen Umgebungstemperatur sehr gut zu dämmen. Die Dämmung soll über einige cm Rohr oder Speicherwand seitlich weitergeführt werden, so dass auch eine Abkühlung des Rohr- oder Speichermaterials durch seitliche Wärmeleitung im Material weitgehend ausgeschlossen werden kann.

D.1.1 Speicherboden

Wir möchten wissen, was die tiefste Temperatur im Speicherwasser in Bodennähe ist:

1. Ist der Speicher gegen Boden ungedämmt, so kann der Fühler mit einer Schaumstoffdämmung unter den Boden geklemmt werden.
2. Je nach Dämmung des Speichers muss an Stelle des Bodens über Anschlüsse im Bodenbereich der Fühler platziert werden. Hierzu den Fühler so dicht wie möglich an den Speicher heranführen über die Aussparung der Wärmedämmung die für den Anschluss vorhanden ist.
3. Kann die eigentliche Speicherwand nicht erreicht werden, so ist der geeignetste Anschluss zu wählen, zum Beispiel der Entleerhahn, und dies so in der Dokumentation zu vermerken.
4. Die geschätzte Höhe der Position über dem eigentlich tiefsten Punkt im Speichervolumen ist zu dokumentieren.

D.1.2 Bereitschaftsvolumen

Wir möchten wissen, auf welcher Temperatur das Bereitschaftsvolumen betrieben wird:

1. Der Temperaturlogger zur Messung der Temperatur im Bereitschaftsvolumen ist beim Austritt des Warmwasserstutzens oder an einer anderen geeigneten Stelle am Bereitschaftsvolumen zu messen.
2. Ist der Warmwasserstutzen über den Boden geführt, so ist anstatt dem Austritt Warmwasser eine Stelle oben im Bereitschaftsvolumen zu messen (z. Bsp. Sicherheitsventilposition)



3. Die geschätzte Differenz der Position zum eigentlich höchsten Punkt im Speichervolumen ist zu dokumentieren.

D.1.3 Warmwasser-Eintritt in die Verteilung

Die Warmwassertemperatur, welche in die Verteilung abgegeben wird, ist nicht notwendigerweise gleich wie die Temperatur im Bereitschaftsteil des Speichers. So können zum Beispiel Temperaturbegrenzer (Verbrühungsschutz) eingesetzt werden, welche die Temperatur die in die Verteilung gelangt reduzieren. Wir möchten wissen, mit welcher Vorlauftemperatur das Wasser in die Verteilung gelangt:

1. Die Temperatur ist am Rohr unter der Wärmedämmung zu messen, NACH einem eventuell eingebauten Temperaturbegrenzer (d.h. nach der Beimischung von Kaltwasser)
2. Der Kontakt zwischen Sensorknopf und Rohroberfläche soll so gut wie möglich sein, der Knopf ist gegen Umgebung zu dämmen.
3. Es soll keine Luft an der Position des Sensors vorbeiströmen und diesen beeinflussen können.

D.1.4 Warme Verteilung: kälteste Stelle

Bei warm gehaltener Verteilung (über Zirkulation oder über Begleitheizband) interessiert uns die kälteste Stelle (Rücklauf bei Zirkulation, ungedämmter Abschnitt bei Begleitheizung). Das Anbringen des Sensors folgt den gleichen Regeln wie beim Warmwasser-Eintritt.

D.1.5 Kalte Verteilung: wärmste Stelle (an Stelle von 1.4)

Bei nicht warm gehaltener Warmwasserverteilung interessiert uns die Effektivität einer allfälligen Siphonierung: wie warm ist das Rohr / Medium nach dem Verteilbalken in dem Bereich der nur dann durchströmt wird, wenn in dieser Leitung gezapft wird, zu Zeiten von Stillstand (Einrohrzirkulation).

D.1.6 Zusatzmessung

Ein zusätzlicher Sensor soll platziert werden, wenn kritische Stellen im System beobachtet werden:

1. Stichleitungen die tot enden, evtl. auch zu Sicherheitsventilen oder Zapfhähnen welche an warmen Leitungen angeschlossen sind aber nie oder selten benutzt werden.
2. Leitungen für Kaltwasser, die auf Grund einer Verlegung zu nahe am Warmwasser (insbesondere bei warm gehaltener Verteilung: Zirkulation oder Heizbänder) oder zu nahe an Heizungsrohren übermässig aufgewärmt werden können.
3. Nicht warm gehaltene Leitungen für Warmwasser, die auf Grund einer Verlegung dennoch erwärmt werden, zum Beispiel durch zu nahe gelegene Heizungsrohren, die Heizung oder andere Wärmequellen.
4. Durch Schwerkraftzirkulation warm gehaltene Leitungen/Verteiler.



D.2 Probenahmen Wasser

Die Probenahmebehälter sind über das kantonale Labor St. Gallen zu beziehen. Diese sind steril und dürfen nur zum Zwecke der eigentlichen Probeneinfüllung geöffnet und wieder verschlossen werden. Eine Wiederverwendung nach einer Befüllung ist nicht möglich.

Die Probenahme erfolgt bei der zweiten Begehung. In der ersten Begehung werden nur Anlagen-Parameter aufgenommen und die Temperaturlogger gesetzt.

Die Zweitbegehung findet ein- bis zwei Wochen nach der Erstbegehung statt. Bei der Zweitbegehung sind die Temperaturlogger einzusammeln und spätestens am Tag danach auszuwerten (Herunterladen der Daten).

Der Temperatursensor der bei den Probenahmen verwendet wird um die Temperatur zu messen wird vor jeder Probenahme mit Alkohol (70%) sterilisiert. Ein Berühren der Sensorspitze, oder der Innenseite von Behälter oder Deckel der Probeflaschen ist tunlichst zu vermeiden.

Die Entnahme von Wasserproben erfolgt im Sinne von

- einer orientierenden Untersuchung (Legionellen-Modul 10 des BLV/BAG, 2018)
- einer Prüfung der Hypothese, dass Speicher-Bodensatz eine Rolle spielen könnte bei der Einnistung von Legionellen im System

Entsprechend werden die folgenden Stellen sowieso beprobt:

D.2.1 Hauptdusche (zwei Proben)

Die Probenahme erfolgt möglichst realistisch, d.h. ohne Abschrauben von Schlauch und/oder Brause. Die Einleitung der Wasserproben in die Flasche erfolgt über einen Edelstahl-Trichter, der nach jeder Probenahme abgeflammt und in einem so weit wie möglich sterilen Stahlbehälter gelagert wird (Stahlbehälter und Deckel am Ende des Tages ebenfalls ausflammen).

1. Der Mischer wird auf den Anschlag "heiss" gestellt, wobei mögliche Sicherheitsbegrenzungen aufgelöst werden.
2. Der Hahn wird voll aufgedreht und Wasser wird laufen gelassen wobei die Temperatur gemessen und aufgezeichnet wird. Sobald die gemessene Temperatur 37°C erreicht, wird ½ Liter über einen Trichter in die Probeflasche abgefüllt. Im Probenvolumen wird die Temperatur gemessen.
3. Der Hahn wird danach jedoch nicht geschlossen, sondern es wird die Temperatur weiter gemessen, bis Temperaturkonstanz erreicht wird. Diese Maximaltemperatur wird notiert und der Hahn geschlossen.
4. Wenn ein Verbrühungsschutz an der Armatur vorhanden ist, diese wieder in die Ursprungsposition zurückzustellen. Anschliessend das Wasser laufen lassen und die Temperatur messen bis die Temperatur konstant bleibt. Temperatur erfassen und notieren. Wenn kein Verbrühungsschutz vorhanden ist, eine Mischtemperatur von ca. 37 °C einstellen.



5. Eine zweite Probe bei voller Öffnung des Hebels entnehmen. Für die 2. Beprobung an der gleichen Armatur muss der Trichter nicht erneut sterilisiert werden. Im Probenvolumen wird die Temperatur gemessen.

D.2.2 Zweite Duscharmatur wenn vorhanden (1 Probe)

Für die Beprobung der zweiten oder weiterer Duscharmaturen, werden Trichter und Temperatursensor erneut sterilisiert. Es wird aber nur jeweils eine Probe entnommen.

1. Der Mischer wird auf eine typische Mischposition (ca. 37 °C) gestellt.
2. Der Hahn wird voll aufgedreht und Wasser wird laufen gelassen wobei die Temperatur gemessen und aufgezeichnet wird. Sobald die gemessene Temperatur 37°C erreicht, wird ½ Liter über den sterilen Trichter in die Probeflasche abgefüllt. Im Probenvolumen wird die Temperatur gemessen.

D.2.3 Speicher-Bodensatz

Auch für die Beprobung des Speicherbodens, werden Trichter und Temperatursensor erneut sterilisiert.

1. Kaltwasserzufuhr schliessen und Hahn an einer beliebigen Warmwasserentnahmestelle öffnen. Somit kann über den Entleerhahn Wasser aus dem Speicherboden entnommen werden. Bei geöffneter Kaltwasserzufuhr kann es zu einem Kurzschluss der Kaltwasserleitung führen, so dass hauptsächlich Kaltwasser aus der Zuleitung und nicht aus dem Speicherboden beprobt würde.
2. Am Entleerhahn des Speichers (Entleerung Trinkwasservolumen) angebrachte Schläuche oder Endkappen sind zu entfernen, und allfällige Dichtungen nach Möglichkeit ebenfalls.
3. Entleerhahn abflammen.
4. Nach dem Abflammen wird der Hahn sorgfältig geöffnet, und es wird eine Menge an Wasser abgelassen, welche ca. dem Rohrinhalt der Zuleitung entspricht. Danach ½ Liter mit Hilfe des sterilen Edelstahlbehälters und des Trichters in die Probeflasche abfüllen.
5. Im Probenvolumen wird die Temperatur gemessen.
6. Der Hahn wird wieder verschlossen und evtl. vorher angebrachte Schläuche oder Endkappen werden montiert, die Entnahmestelle wird wieder geschlossen und die Kaltwasserzufuhr geöffnet.

D.3 Nach Probenahme

Nach erfolgter Probenahme ist der Behälter sofort eindeutig zu kennzeichnen mit Zeit, Ort der Probenahme und Art der Probenahme

➔ Vorgedruckte Etiketten erstellen

Die Probenbehälter sind ins Fahrzeug zu bringen und dort in einer Vorbereiteten Kiste unterzubringen.



D.4 Versand

Die Proben werden verpackt und bis spätestens um 18 Uhr der Post in Rapperswil abzugeben, Ankunft im Labor in St. Gallen am Folgetag bis spätestens 9:00 Uhr. Im Probebehälter wird ein Temperaturmessknopf mitgeschickt, der die Temperatur während des Versandes aufzeichnet.

Annex E Massnahmen zur Wahrung der Datensicherheit

Da Anlagenbegehungen im privaten Raum stattfanden und Daten erhoben wurden über private Warmwassersysteme musste sichergestellt werden, dass sämtliche personenbezogenen Daten (Adressen, Namen, etc.) sicher und vor Fremdzugriff geschützt aufbewahrt und ausgewertet werden. Den Teilnehmern der Studie wurde volle Anonymität zugesichert. Zu diesem Zweck wurde ein Plan zur Wahrung der Datensicherheit und Anonymisierung der Daten ausgearbeitet und mit allen Personen besprochen, welche notwendigerweise mit dem Handling personenbezogener Daten in Berührung kamen oder kommen konnten. Die detaillierte Ausgestaltung der Massnahmen und Richtlinien wurde schriftlich erstellt und von allen Projektbeteiligten welche Zugang zu Personendaten hatten zur Kenntnis genommen und unterschrieben.



Annex F Anlagen mit Legionellen nur peripher oder nur im Speicherboden

F.1 Anlagen mit mehr als einem positiven Befund

Objekt 5 (Gas & Solar)

Bei dieser Anlage handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 13 Wohneinheiten, welche von einer zentralen Warmwasseranlage (Gas und Solarthermie) versorgt werden. Drei Warmwasserspeicher werden seriell betrieben, wobei die in Flussrichtung ersten beiden der Solarthermie vorbehalten sind und der letzte als Bereitschaftsspeicher dient und über einen internen Rohrwendelwärmetauscher mit Gas auf Bereitschaftstemperatur gehalten wird. Die Bereitschaftstemperatur betrug gemäss unseren Temperaturaufzeichnungen 53.5 °C - 58.5 °C). Ein zentraler Mischer reduziert die Vorlauftemperatur der Zirkulation auf ca. 52 °C, was zu Rücklauftemperaturen von ca. 48°C führt.

Bei dieser Anlage wurde eine sehr hohe Konzentration von 172'000 KBE/L (*L. pneumophila*) im Speicherboden des Bereitschaftsspeichers gemessen. Die Temperatur im unteren Bereich des Bereitschaftsspeichers wurde nicht geloggt, die Probetemperatur lag aber bei kritischen 35.1 °C. Im kälteren Vorwärm Speicher konnten keine und im wärmeren Vorwärm Speicher (mittlerer Speicher) lediglich 200 KBE/L nachgewiesen werden. Die Temperaturen im unteren Bereich dieser Speicher lag während der meisten Zeit unter 15 °C. Direkt vor der Probenahme hat sich die Temperatur im mittleren Speicher durch etwas Solarertrag auf fast 30 °C erwärmt. An den Zapfstellen konnten zwar durchgehend Legionellen nachgewiesen werden, die Werte lagen aber alle unter dem Höchstwert von 1000 KBE/L.

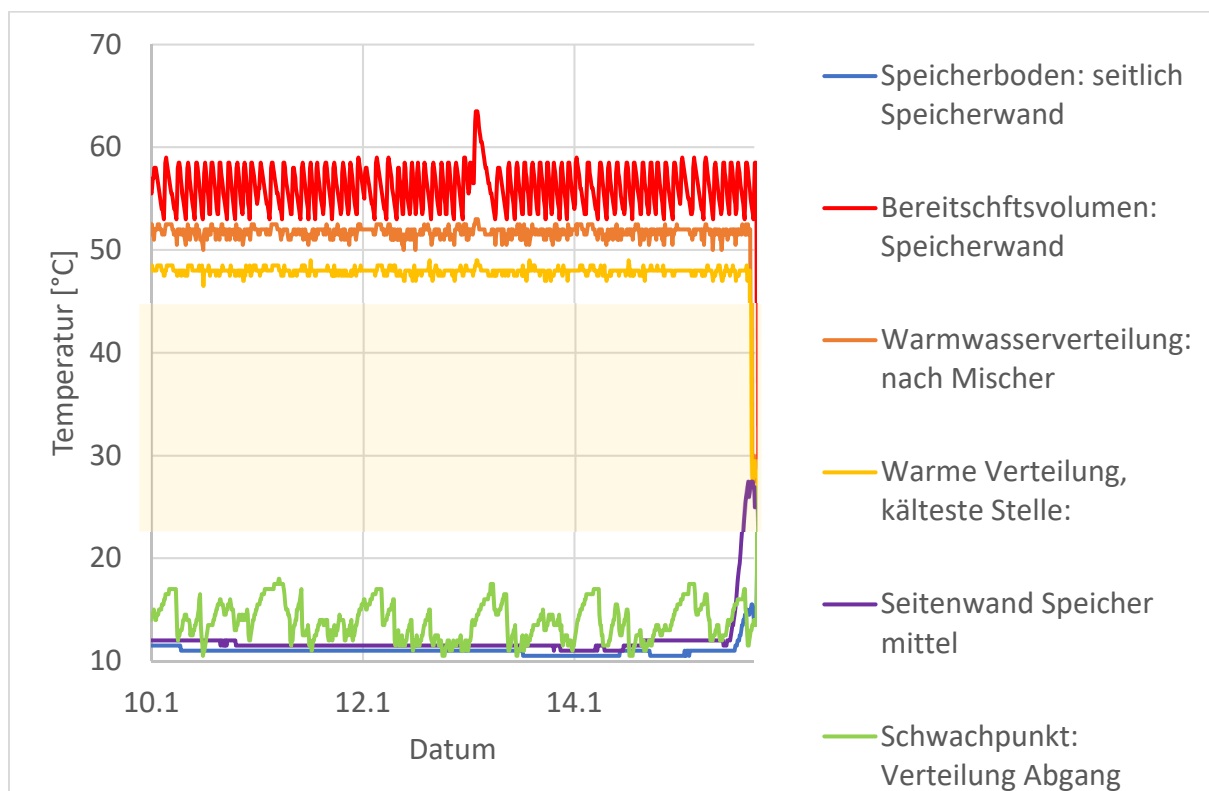


Abbildung 40: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 5.



Bei dieser Anlage wurde empfohlen, die Temperaturen der Zirkulation zu erhöhen und den hoch kontaminierten Speicher einer thermischen Desinfektion bei 70 °C zu unterziehen.

Bei einer Nachbeprobung konnten in den Speichern keine Legionellen mehr festgestellt werden. An einer Dusche konnten noch Legionellen nachgewiesen werden, der Wert von 100 KBE/L lag aber deutlich unter dem Grenzwert.

Objekt 14 (Solar & Wärmepumpe)

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 14 Wohneinheiten, welches im Jahr 2014 erstellt wurde. Das Warmwasser wird mit einer thermischen Solaranlage mit drei Warmwasserspeichern und einer Wärmepumpe erzeugt.

Das Bereitschaftsvolumen wird einmal täglich auf 60 °C angehoben, wobei der Zirkulationsrücklauf 55 °C meist knapp nicht erreicht. Während der restlichen Zeit wird die Anlage auf unter 50°C betrieben (siehe Abbildung 41).

Bei diesem Objekt konnten Legionellen im Speicherboden (300 KBE/L) und an einer Zapfstelle (100 KBE/L) nachgewiesen werden. Die Konzentrationen lagen aber deutlich unter dem Höchstwert von 1000 KBE/L.

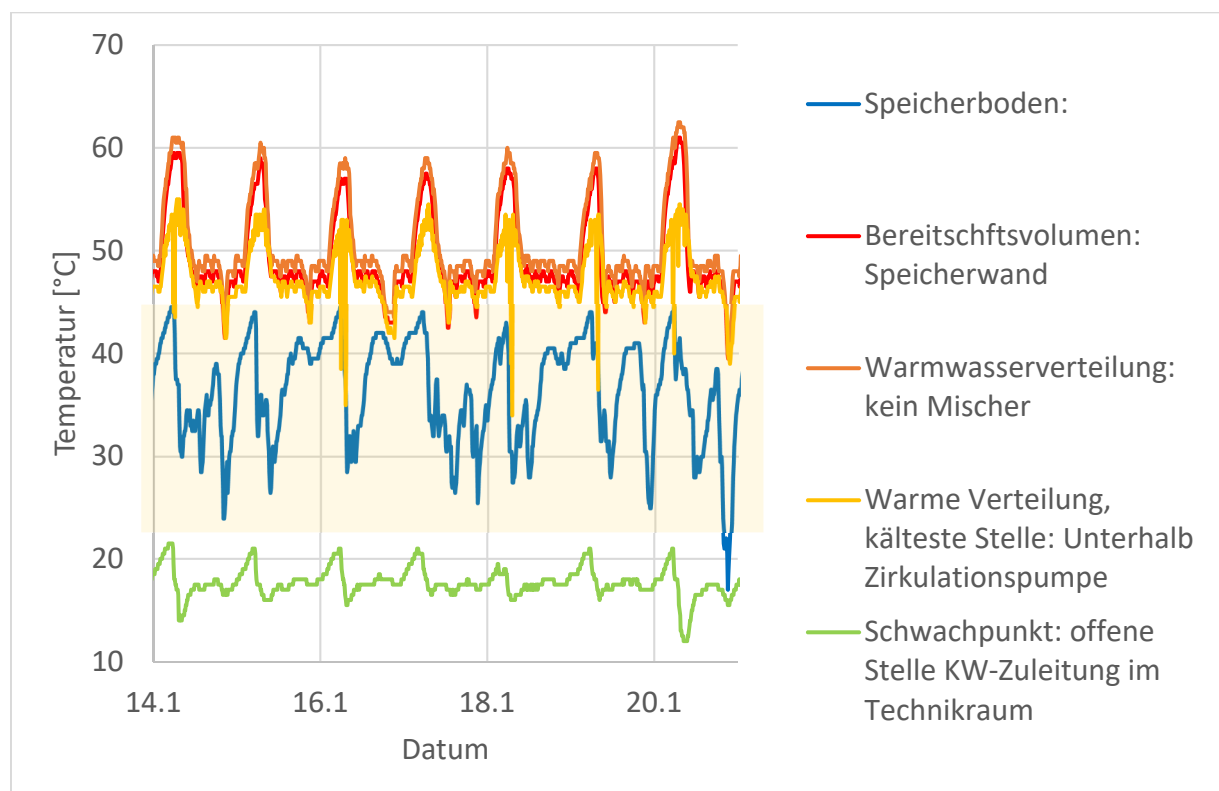


Abbildung 41: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 14.



Objekt 27 (Gas & Solar)

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 aber nur zweimal am Tag kurz betrieben wird (ersichtlich aus regelmässigen Peaks an der kältesten Stelle der warmen Verteilung in Abbildung 42).

Bei diesem Objekt wurden 20'000 KBE/L (*L. anisa*) an der Nebendusche und 4000 KBE/L im Speicherboden gemessen. An der Hauptdusche konnten keine Legionellen nachgewiesen werden.

Die Temperaturmessungen zeigen, dass im Bereitschaftsvolumen regelmässig Temperaturen von 58 °C erreicht werden. Während dem Betrieb der Zirkulationspumpe wird eine Temperatur von fast 55 °C im Zirkulationssystem erreicht. Weil diese aber während der meisten Zeit abgeschaltet ist, kühlt sich die Zirkulationsleitung auf ca. 40 °C aus. Die hohe Temperatur nach dem Mischer bei ausgeschalteter Zirkulationspumpe weist auf eine ungenügende thermische Trennung zwischen Speicher und Leitungssystem hin. Auch die relativ hohen Temperaturen im Speicherboden (gemessen am Kaltwasseranschlussrohr) deuten auf eine ungewollte passive Zirkulation über den zentralen Mischer (resp. auf ein defektes Rückschlagventil) oder auf eine passive Zirkulation über die Zirkulationsleitung hin. Die Temperaturen im Speicherboden begünstigen das Legionellenwachstum, aber die Temperatur im Bereitschaftsvolumen war wohl ausreichend, dass an der Hauptzapfstelle keine Legionellen mehr gefunden werden konnten. Es wird also von einer zusätzlichen dezentralen Kontamination der Nebendusche ausgegangen, welche aber durch die Legionellen im Speicherboden begünstigt resp. initiiert worden sein kann.

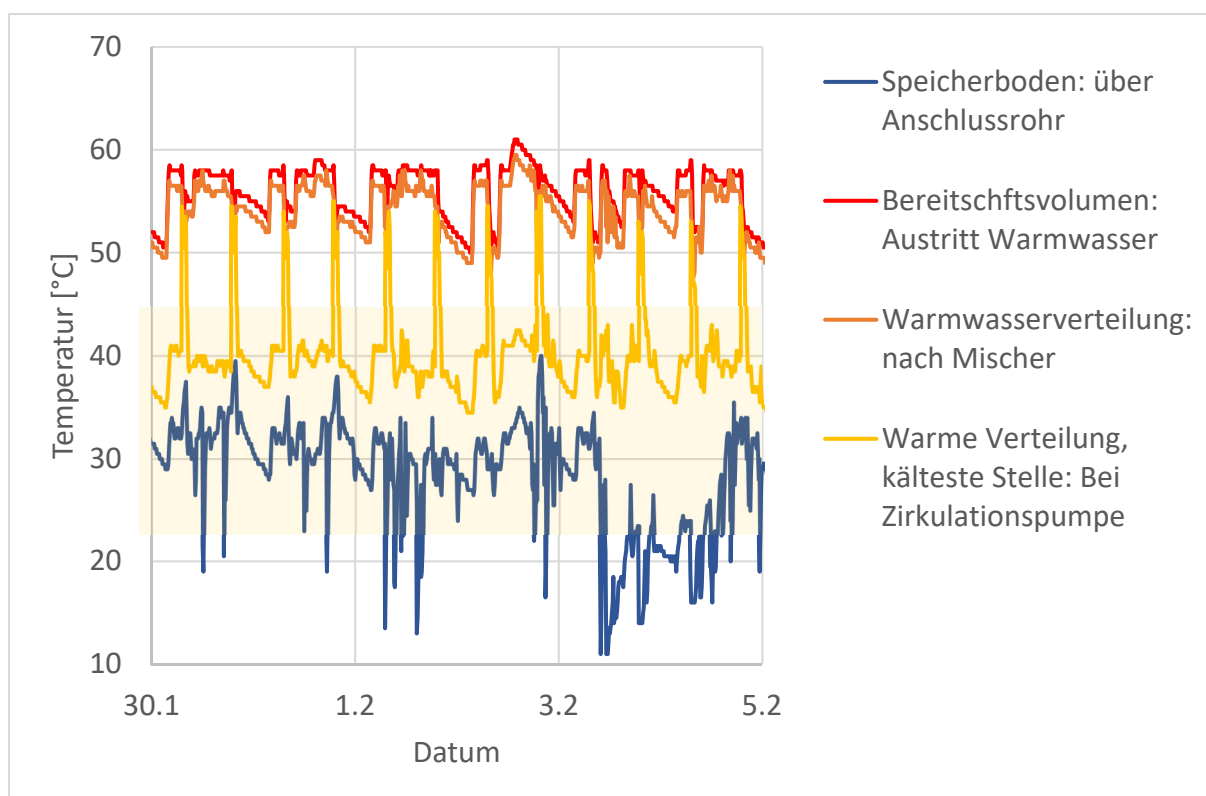


Abbildung 42: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 27.



Bei dieser Anlage wurde empfohlen:

- Die Zirkulation kontinuierlich zu betreiben oder diese zu deinstallieren,
- die Funktionalität des zentralen Mischers und des Rückschlagventils zu prüfen und
- die Nebendusche regelmässig heiss zu spülen.

Objekt 31 (Gas & Öl)

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.

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

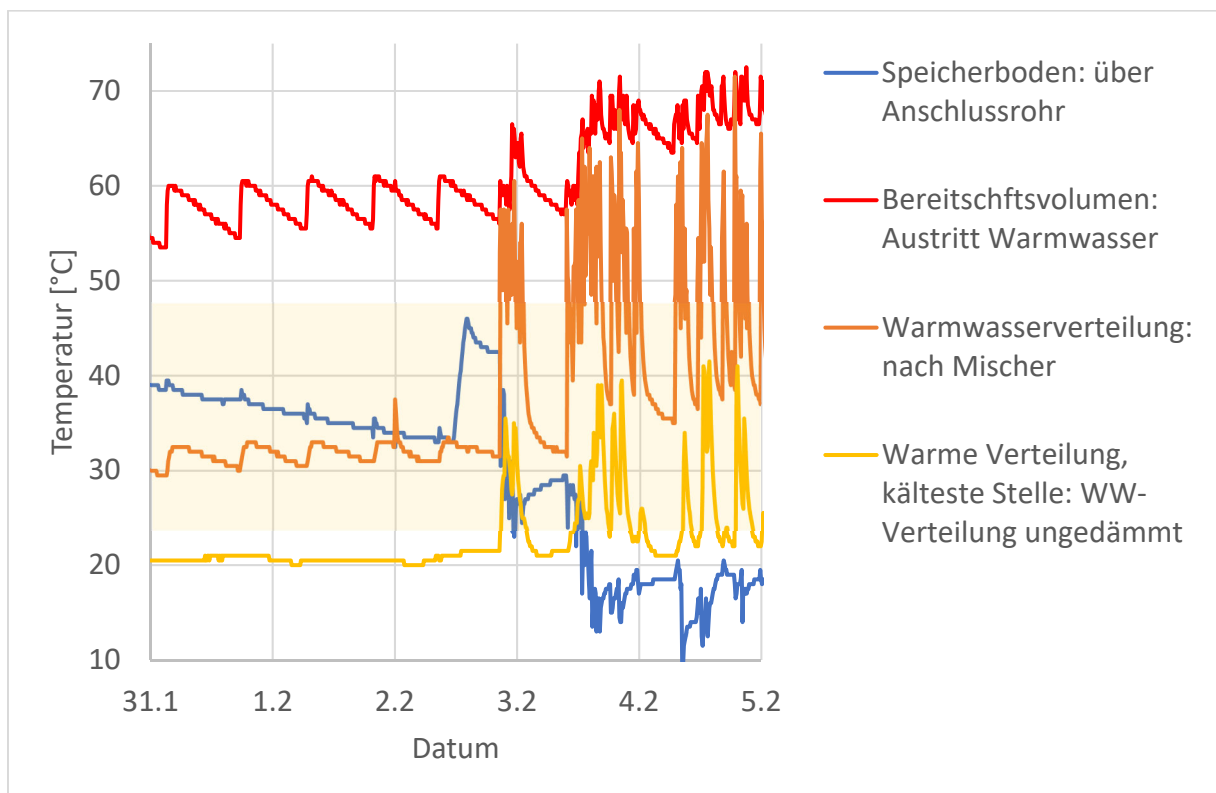


Abbildung 43: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 31.

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, 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. Eine Zweitbeprobung zur genaueren Lokalisation des Problems war von den Bewohnern in diesem Fall nicht erwünscht.

Objekt 47 (Gas und Solar)

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 wird Gas eingesetzt. Das Objekt verfügt über ein für ein Einfamilienhaus weit verzweigtes Zirkulationssystem mit drei Duschen (zwei Badezimmer und ein Schwimmbad).

An der am häufigsten benutzten Dusche, welche in diesem Falle die Schwimmbaddusche war, wurden in der ersten Probe (nur Warmwasser) 500 KBE/L bestimmt und bei der Mischprobe konnten an dieser Stelle keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Daher wurde die Anlage nicht als "systemisch kontaminiert" klassifiziert. Bei den weniger oft benutzten Badezimmerduschen wurden hingegen 25'000 KBE/L (*L. pneumophila* + *L. anisa*) und 4'100 KBE/L (*L. pneumophila*) gemessen (beides Mischproben). Im Speicherboden konnten keine Legionellen nachgewiesen werden. Der Speicher scheint den Bedarf nicht immer zu decken, so sinkt die Temperatur zum Beispiel am 7.3. deutlich unter 50 °C. Bei diesem Objekt wurden später zusätzliche Proben genommen um Herde genauer lokalisieren zu können. Die Resultate dieser Beprobung sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Übersicht über die Resultate der zweiten Beprobung.

Nr.	KBE/L	Beschreibung Ort / Bemerkungen
1	1'300	Dusche Bad 1: Warmwasser nach Erreichen 37°C, <i>L. pneumophila</i>
2	8'000	Dusche Bad 1: Mischprobe mit Kaltwasser aus dem Hahn nach Erreichen Temperaturkonstanz, <i>L. anisa</i>
3	2'000	Dusche Bad 1: Duschschlauch entfernt, abgeflammt, Kaltwasser (nach 10 Sek.), <i>L. anisa</i>
4	38'000	Dusche Bad 1: Kaltwasser (nach 60 Sek.), <i>L. anisa</i>
5	1'200	Dusche Bad 2: Warmwasser nach Erreichen 37°C, <i>L. pneumophila</i>
6	<100	Dusche Bad 2: Mischprobe mit Kaltwasser aus dem Hahn nach Erreichen Temperaturkonstanz
7	<100	Schwimmbaddusche: Mischprobe mit Kaltwasser aus dem Hahn nach Erreichen Temperaturkonstanz
8	400	Töpferraum: Mischprobe mit Kaltwasser aus dem Hahn nach Erreichen Temperaturkonstanz

Dabei zeigt sich, dass im Warmwasser Werte von etwas mehr als 1000 KBE/L erreicht werden. Im Kaltwasser von Bad 1 werden aber je nach Beprobungszeit bis zu 38'000 KBE/L gemessen. Die Tatsache, dass es sich bei den Kaltwasserproben um Legionellen der Spezies *anisa* und bei den Warmwasserproben um Legionellen der Spezies *pneumophila* handelt, deutet darauf hin, dass es bei diesem Objekt sowohl im Kaltwasser als auch im Warmwasser Infektionsherde gibt.



Es wurde empfohlen, die Temperatureinstellungen und/oder den Zirkulationsvolumenstrom zu erhöhen um eine höhere Zirkulationsrücklauftemperatur zu erreichen und die weniger oft benutzen Duschen regelmässig mit heissem Wasser zu spülen. Zusätzlich sollt hier die Leitungsführung des Kaltwassersystems geprüft werden.

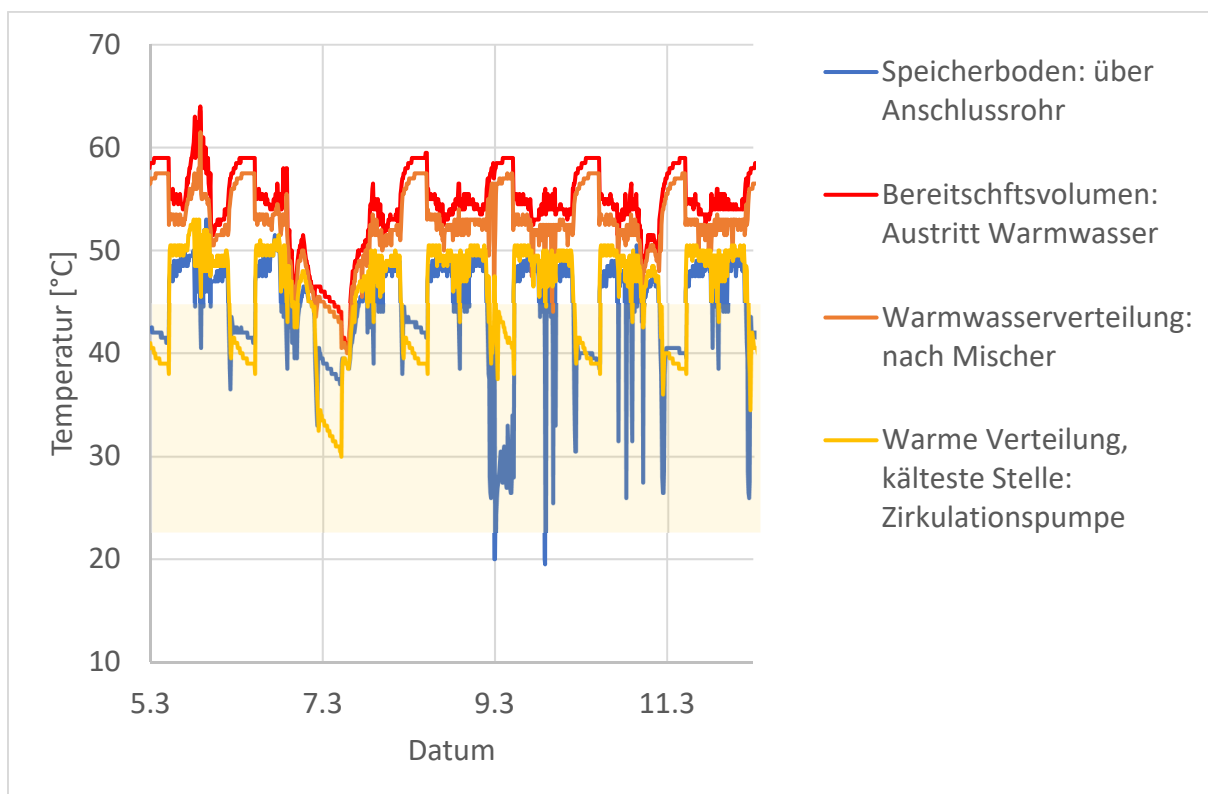


Abbildung 44: Gemessene Temperaturverläufe beim Objekt 47.

Objekt 84 (Wärmepumpenboiler)

Bei Objekt 84 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1941 mit einem 300 L Wärmepumpenboiler (2006). Aufgrund der Bauweise konnte die Bereitschaftstemperatur nicht im obersten Teil des Speichers, sondern lediglich an einem seitlichen Flansch auf der Höhe von ca. 75 cm gemessen werden. Diese Temperatur bewegte sich lediglich zwischen 44 und 50 °C und auch der Rücklauf der Zirkulation (bei Zirkulationspumpe) überstieg selten 50 °C.

Trotz tiefer Temperaturen wurden bei diesem Objekt keine Höchstwertüberschreitung festgestellt, es konnten aber dennoch Legionellen identifiziert werden (Speicherboden: 500 KBE/L, Haupt- und Nebendusche 100 KBE/L).

Auch wenn keine Höchstwertüberschreitung auftraten, wurde bei diesem Objekt empfohlen, die Temperaturen generell zu erhöhen.

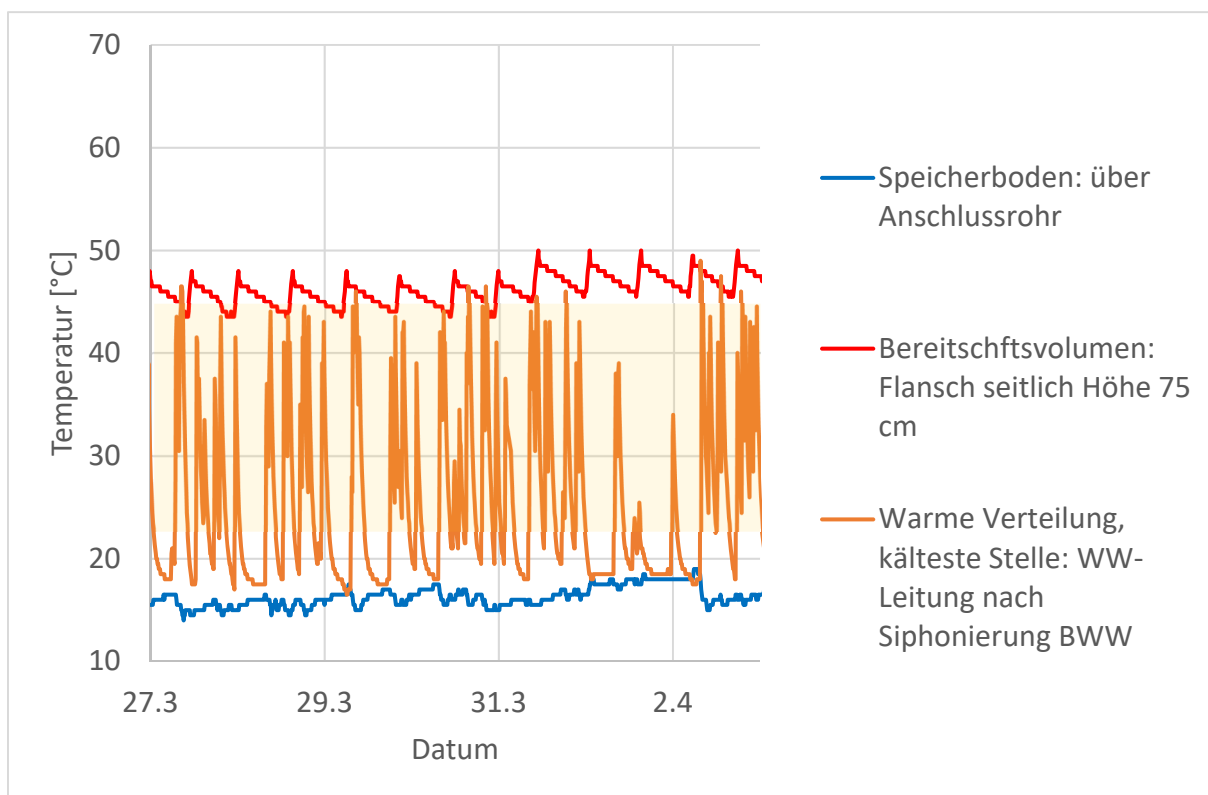


Abbildung 45: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 84.

Objekt 101 (Gas)

Bei Objekt 101 handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 32 Wohneinheiten aus dem Jahr 1977 mit identischer Bauart wie Objekt 100. Auch bei diesem Gebäude wurden im Jahr 1996 alle Nasszellen umgebaut, wobei lediglich die Steigleitungen im ursprünglichen Zustand belassen wurden. Das Warmwasser wird mit Gas erwärmt und es werden zwei Warmwasserspeicher eingesetzt. Die Verteilleitungen werden mit einer Warmwasserzirkulation warmgehalten. Während dem Betrieb werden mindestens einmal im Tag Temperaturen von über 55 °C auch im Rücklauf der Zirkulation erreicht, die Temperaturen fallen aber auch regelmässig deutlich unter 50°C. Die Temperaturmessung des Bereitschaftsvolumens im Speicher 1 (seitlich am Speicher) zeigt teilweise Temperaturen die deutlich tiefer sind als in den Verteilleitungen (siehe Abbildung 46). Dies zeigt, dass unsere Messung der Bereitschaftstemperatur nicht der maximalen Temperatur im Speicher entsprach.

Im Boden des seriell nachgeschalteten Speichers 1 (mit Warmwasseraustritt und Einbindung des Zirkulationsrücklaufes) wurden Legionellen mit einer Konzentration von 4'100 KBE/L (*L. pneumophila*) gefunden. An der beprobten Dusche wurden Legionellen gefunden, die Konzentration lag aber mit 300 KBE/L unter dem Höchstwert. Im seriell vorgeschalteten Speicher 2 (Speicher mit Kaltwassereintritt) konnten keine Legionellen identifiziert werden.

Auch wenn der Höchstwert an der Zapfstelle nicht überschritten war, wurde dennoch empfohlen, die Zirkulation durchgehend auf einer höheren Temperatur zu betreiben.

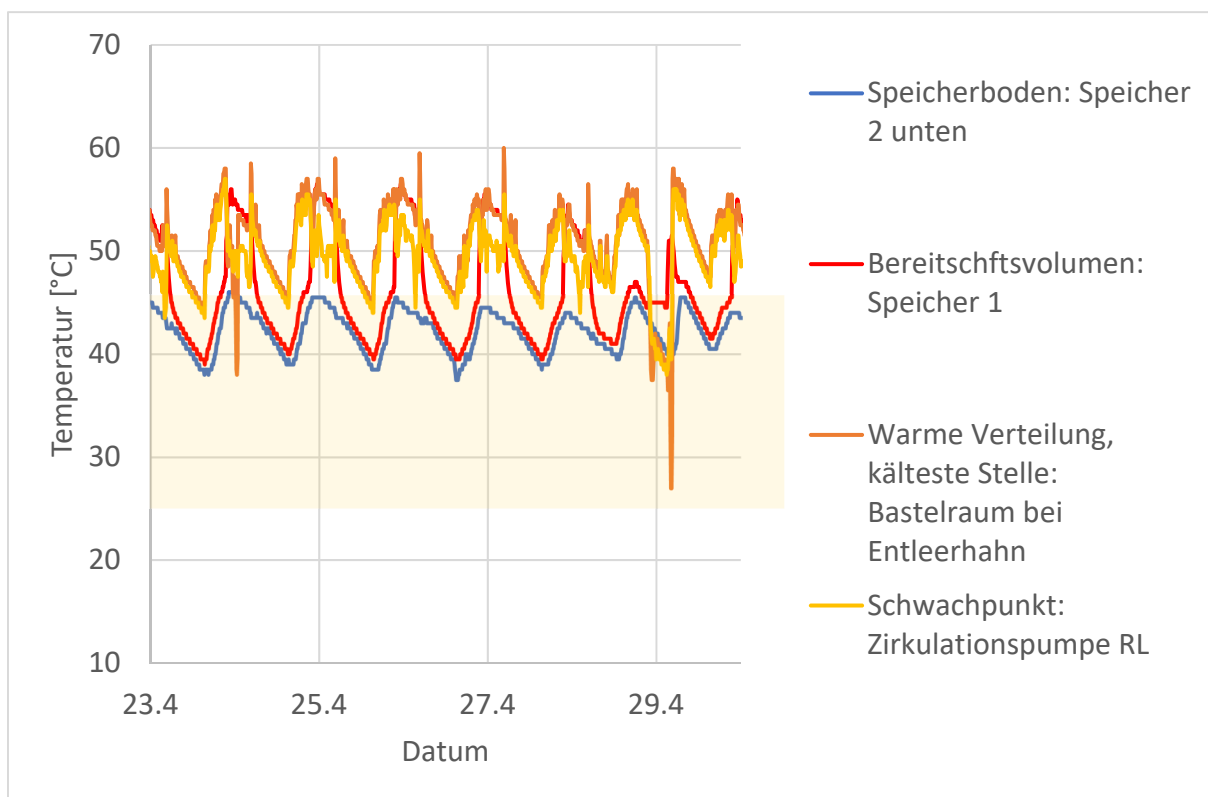


Abbildung 46: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 101.

Objekt 107 (Gas)

Bei Objekt 107 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1997, bei dem der Warmwasserboiler vor lediglich einem Monat ersetzt wurde. Das Warmwasser wird bei diesem Objekt mit Gas erwärmt.

Bei diesem Objekt waren alle Anschlüsse oben aus dem Boiler geführt und nicht siphoniert. Es ist daher von einer rohrinternen Zirkulation auszugehen, und es ist unklar, wie repräsentativ die Temperaturmessungen an den Anschlussleitungen sind. Der Kaltwassereintritt wird sich durch Wärmeleitung und rohrinterner Gegenstromzirkulation bei Stillstand wohl eher auf die obere Speichertemperatur erwärmen. Auch der Messpunkt für das Bereitschaftsvolumen (hier ein unbenutzter Stutzen, welcher am Speicher für einen allfälligen Zirkulationsrücklauf vorhanden war) zeigt wohl keine realistische Temperatur. Eine Abschätzung der Bereitschaftstemperatur kann wohl am ehesten über die Messungen am Warmwasseraustritt aus dem Speicher (als Schwachpunkt in der Warmwasserverteilung bezeichnet, weil nicht wärmegeklämt) gemacht werden. Diese Temperatur erreicht regelmässig ca. 55°C, fällt aber auch regelmässig deutlich unter 50°C.

Der erst einen Monat alte Boiler wies im unteren Bereich bereits Legionellen mit einer Konzentration von 8'500 KBE/L (*L. pneumophila*) auf. An der Hauptdusche wurden in der ersten Probe (nur Warmwasser) keine Legionellen festgestellt, in der zweiten Probe (Mischwasser) konnten Legionellen mit einer Konzentration von 300 KBE/L nachgewiesen werden, was deutlich unter dem Höchstwert liegt. An der Nebendusche konnten keine Legionellen nachgewiesen werden.



Es wurde empfohlen, die Einschalttemperatur zu erhöhen und ein "leerduschen" des Speichers zu vermeiden.

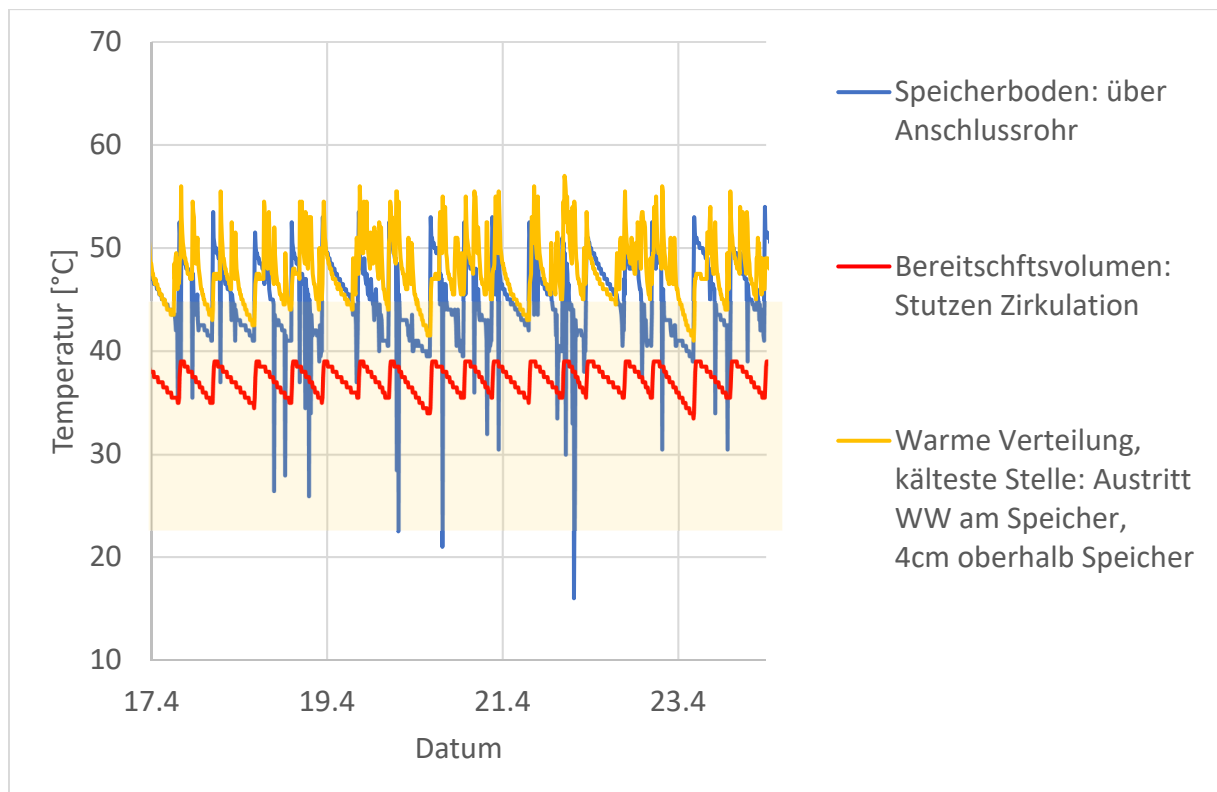


Abbildung 47: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 107.

F.2 Nur periphere Kontamination

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 Nebendusche wird in diesem Objekt nur sehr selten benutzt. Nach Angabe der Bewohner lag die letzte Nutzung um mehr als drei Monate vor der Beprobung.

Der Warmwasseraustritt erreicht bei diesem Objekt immer wieder Temperaturen über 60 °C, der Speicherboden und die Kaltwasserleitung waren in der Woche vor der Beprobung immer kälter als 20°C. an der Leitung nach dem zentralen Mischer stieg die Temperatur aber nur selten über 50 °C und kühlte auch nur selten auf unter 25 °C aus. Somit liegen die Temperaturen häufig in einem mittleren und für das Legionellenwachstum günstigen Temperaturbereich. Dies wird bei dieser Anlage durch zwei Mängel begünstigt: Eine Wärmedämmung der nicht aktiv warm gehaltenen Warmwasserleitung und eine ungenügende Siphonierung des Warmwasseranschlusses am Speicher.

In diesem Objekt wurden in der Probe der Nebendusche 16'000 KBE/L (*L. pneumophila*) gemessen. An den anderen Probestellen (Hauptdusche, Speicher) konnten aber keine Legionellen festgestellt werden.



Daher ist nicht von einer Kontamination des zentralen Systems, sondern von einer Kontamination der selten benutzen Stichleitung oder der Armatur, respektive des Duschschlauchs oder der Brause auszugehen.

Es wurde empfohlen, Leitung und Armatur heiss zu spülen und dies auch in Zukunft regelmässig zu tun. Ebenfalls wurde eine Erhöhung der Temperatureinstellung des zentralen Mischers sowie die Siphonierung des Warmwasseranschlusses am Speicher und die Entfernung der Wärmedämmung der Warmwasserleitung empfohlen.

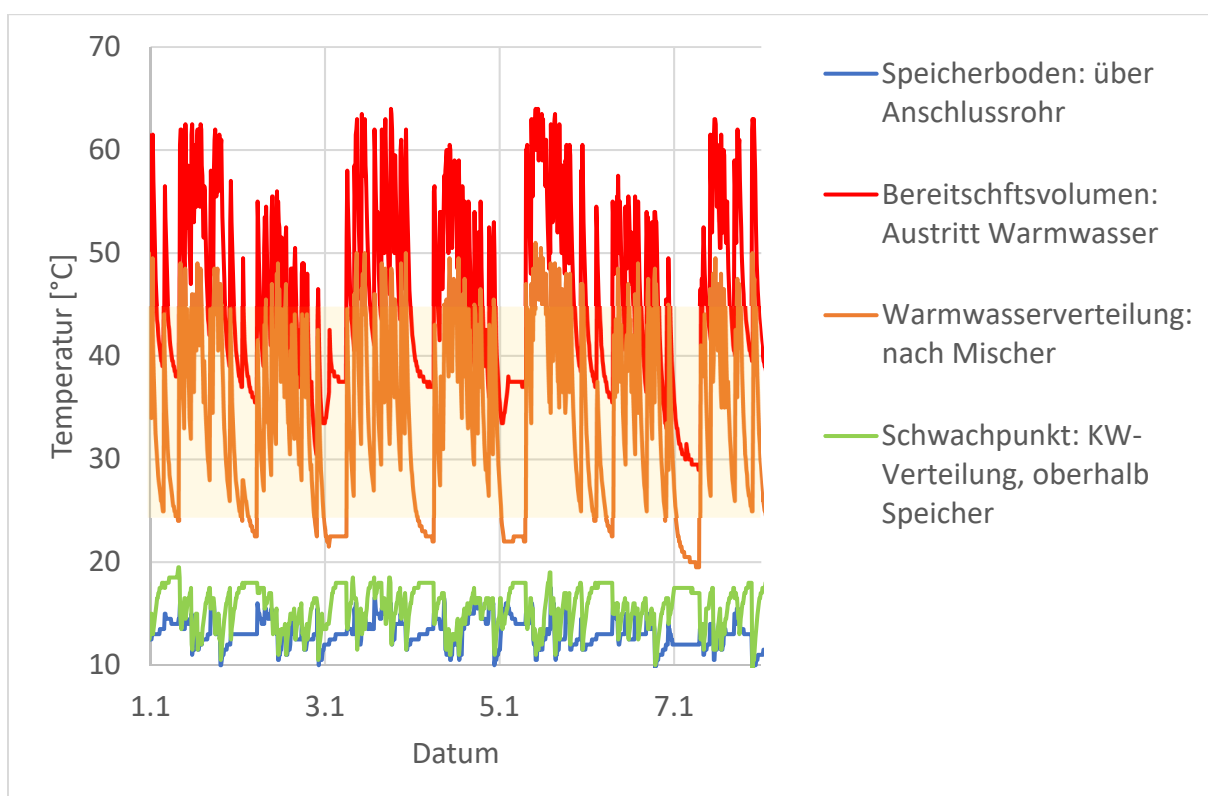


Abbildung 48: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 4.

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. Die letzte Entnahme fand nur 10 Stunden vor der Beprobung statt, davor waren die Bewohner zwei Wochen abwesend.

Die Temperaturen im Bereitschaftsvolumen lagen bei dieser Anlage bei 50– bis 55 °C und nach dem Mischer dauerhaft ca. 5 K tiefer. Somit wurden die Leitungen auch während der Ferienabwesenheit passiv auf einer unkontrollierten Temperatur warmgehalten.

Das Haus hat nur eine Dusche, bei welcher einmal 10'000 KBE/L und einmal 12'000 KBE/L gemessen wurden, die Spezies war *L. anisa*. Im Speicherboden konnte keine Probe entnommen werden. Wegen der langen Ferienabwesenheit wurde diese Anlage 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 mehr quantifiziert werden. In der zweiten Probe, welche als Mischprobe gezogen wurde, konnten keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Die hohen Befunde der Erstbeprobung wurden hauptsächlich auf die vorgängige Ferienabwesenheit zurückgeführt, und die Anlage wurde daher nicht als "systemisch kontaminiert" betrachtet.

Den Besitzern wurde bei dieser Anlage 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.

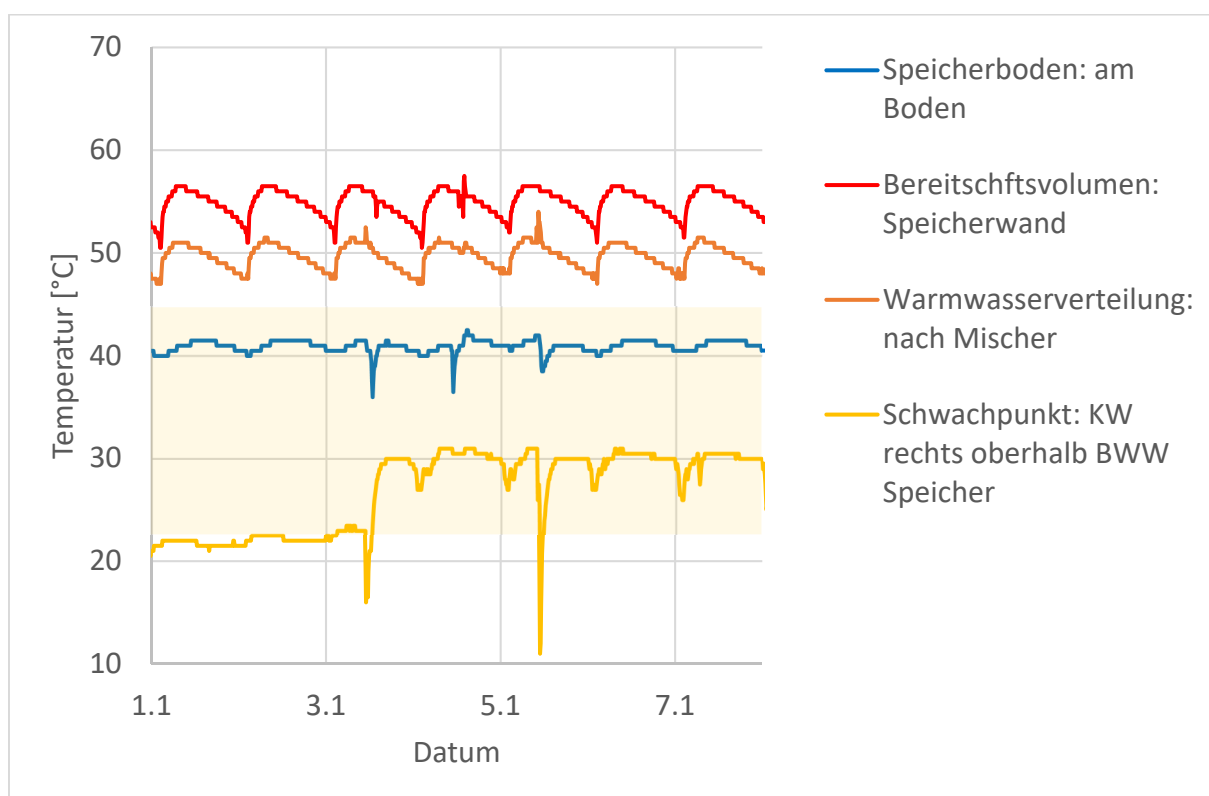


Abbildung 49: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 8.

Objekt 29 (Gas & Solar)

Bei Objekt 29 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2001 mit solarthermischer Warmwasseranlage und Unterstützung durch Gasbrenner. Bei der Hauptdusche war bei diesem Objekt als Besonderheit eine dezentrale Entkalkungsanlage der Armatur nachgeschaltet.

Bei diesem Objekt erreichen die Temperaturen im Bereitschaftsvolumen regelmässig mehr als 60°C und sinken nie unter 55°C. Auch die thermische Trennung der Leitungen funktioniert gut, und die Temperaturen sinken in Zapfpausen auf deutlich unter 20°C (siehe Abbildung 50).

An der Hauptdusche wurde eine Kontamination von 8'000 und 14'000 KBE/L (*L. anisa*) gemessen, 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 hat ergeben, dass bei dieser Anlage die Kaltwasserleitung betroffen ist (8000 KBE/L, *L. anisa*). In den Warmwasserproben (mit und ohne Duschschlauch und Entkalkungsgerät) konnten hingegen keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Weil bei der ersten Beprobung auch die reine Warmwasserprobe positiv war, wird eine temporäre zusätzliche Kontamination der Armatur, des Duschschlauches 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.

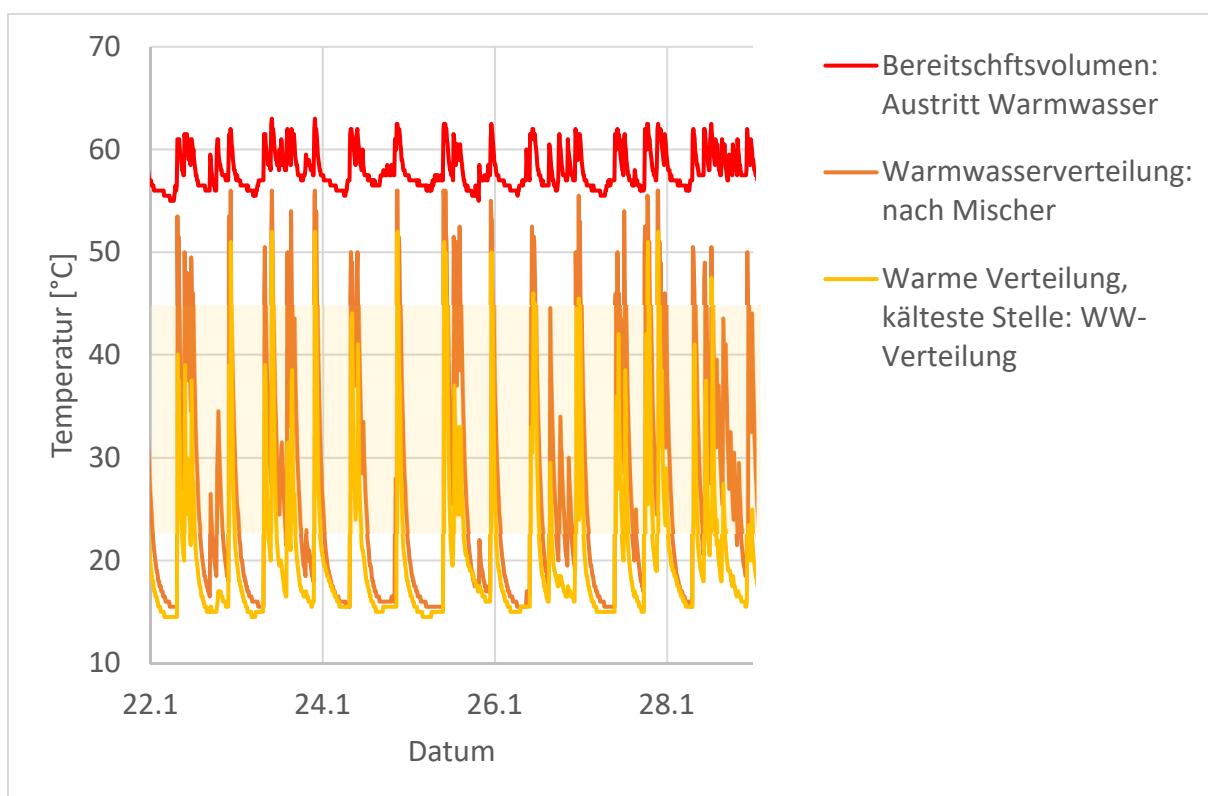


Abbildung 50: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 29.

Objekt 50 (Gas)

Bei Objekt 50 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2001, bei welchem das Warmwasser mit einem Gasbrenner erzeugt wird. Bei diesem Boiler war lediglich die abgehende Warmwasserleitung für eine Messung zugänglich. Diese erreicht während den Zapfungen Temperaturen von meist über 55°C. Die gemessene Stelle kühlt während Zapfpausen aus und stellt somit keine geeignete Messstelle für die Bereitschaftstemperatur dar. Die Ein- und Ausschaltemperatur der Nachheizung war bei dieser Anlage auf 50- und 60 °C eingestellt.



Bei diesem Objekt wurden bei der Nebendusche (Badewannendusche) Legionellen mit einer Konzentration von 4'000 KBE/L (*L. anisa*) gefunden, an der Hauptdusche konnten keine Legionellen festgestellt werden, und der Speicherboden konnte bei dieser Anlage nicht beprobt werden.

Bei diesem Befund wurde von einer peripheren Kontamination der Nebendusche ausgegangen. Daher wurde empfohlen die Nebendusche regelmässig mit heissem Wasser zu spülen.

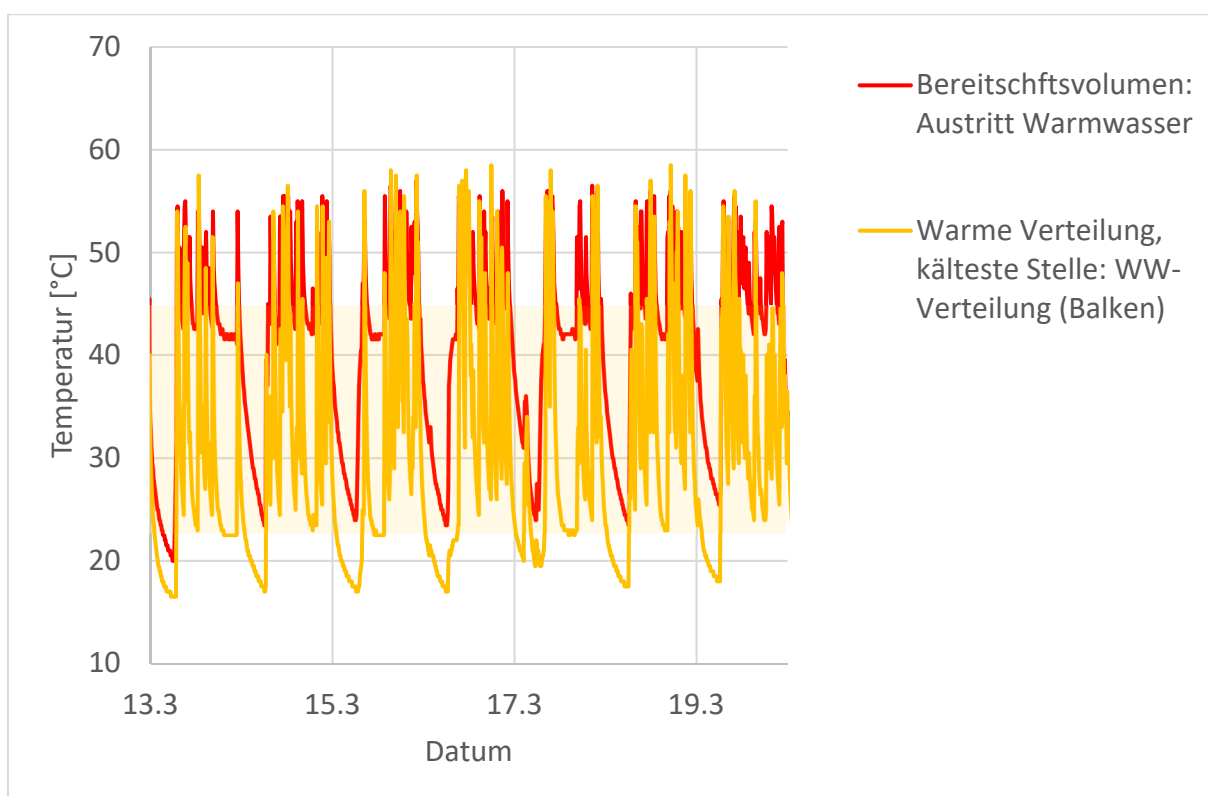


Abbildung 51: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 50.

Objekt 57 (Öl & Solarthermie)

Bei Objekt 57 handelt es sich um ein Doppelfamilienhaus mit Warmwassererzeugung durch Solarthermie und Heizöl. Durch Solarertrag in der Woche vor der Beprobung sind die Temperaturverläufe bei diesem Objekt nicht regelmässig. Es wurde einmal eine Temperatur von 60 °C im Bereitschaftsvolumen gemessen. Diese sank aber bis zur Beprobung auf unter 50 °C (siehe Abbildung 52). Die Temperatur am Verteilbalken steigt während der Zapfungen über die gemessene Temperatur für das Bereitschaftsvolumen. Dies zeigt, dass die Anbindung Temperaturfühlers (dieser wurde am Stutzen des Temperaturfühlers der Nachheizung angebracht) wohl nicht ideal war und somit eine Temperatur aufzeichnete die deutlich tiefer war als die Temperatur im Bereitschaftsvolumen. Weil die Ausschalttemperatur der Nachheizung auf 60°C eingestellt war, wird grundsätzlich von einer genügend hohen Temperatur im Bereitschaftsvolumen ausgegangen.

Bei diesem Objekt wurden an der Hauptdusche einmal 14'000 KBE/L (*L. anisa*) gemessen (Warmwasserprobe), bei der gleich anschliessenden Mischprobe konnten keine Legionellen mehr



identifiziert werden. Auch in der Zweitdusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen gefunden werden.

Aus diesem Grund wurde eine periphere Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschlauches vermutet.

Es wurde empfohlen, die betroffene Dusche regelmässig mit heissem Wasser zu spülen.

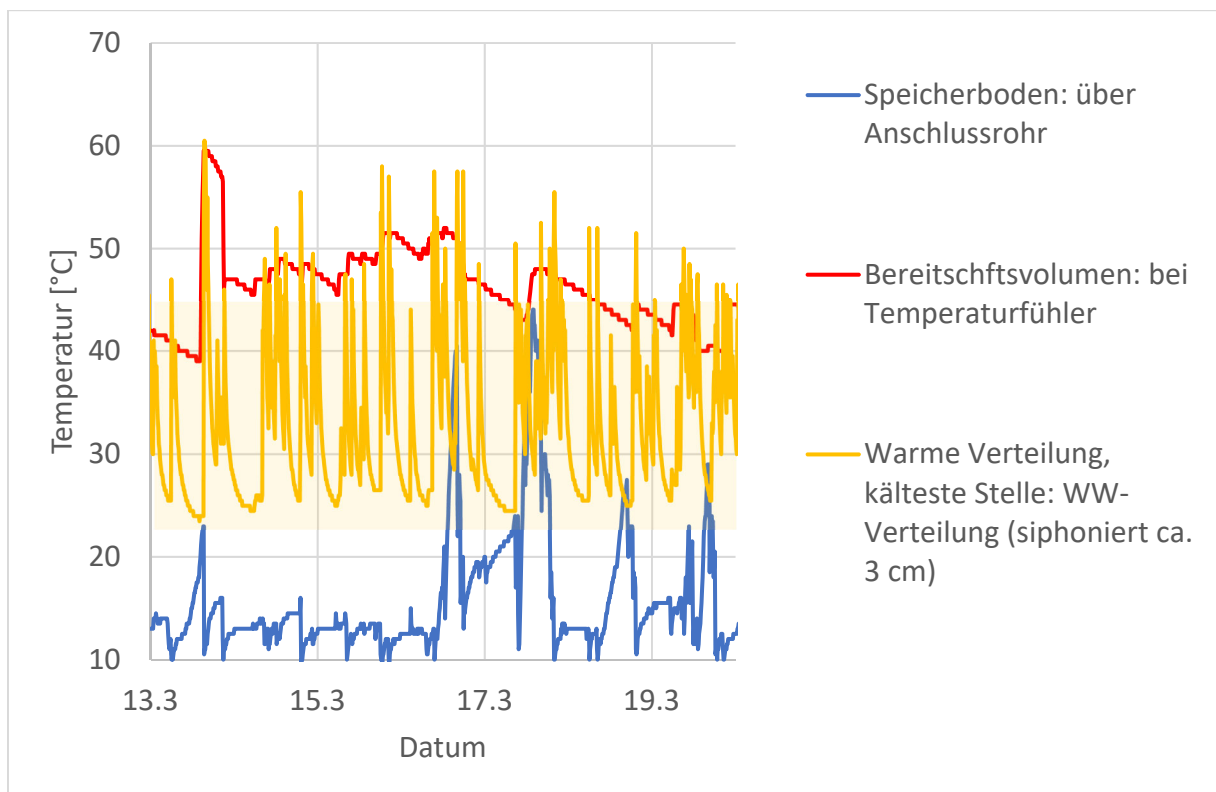


Abbildung 52: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 57.

Objekt 65 (Solar & Wärmepumpe)

Bei Objekt 65 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2008, welches im Jahr 2014 mit einer solarthermischen Anlage für Warmwasser mit einem entsprechenden Solarspeicher ergänzt wurde. Die Bereitschaftstemperatur wird von einer Wärmepumpe über einen internen Rohrwendelwärmetauscher sichergestellt. Das System besitzt eine Warmwasserzirkulation, welche in der Nacht nicht aktiv ist.

Das System erreicht im Bereitschaftsvolumen Temperaturen von 50-52 °C, welche im Verteilsystem annähernd gehalten werden können. Auch der Speicherboden wird in diesem System regelmässig auf annähernd dieselbe Temperatur wie im oberen Bereitschaftsvolumen erwärmt.

Bei der Warmwasserprobe der Hauptdusche wurden bei dieser Anlage Legionellen mit einer Konzentration von 16'000 KBE/L (*L. anisa*) detektiert, bei der kurz darauf entnommenen Mischprobe konnten aber keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Auch bei der Nebendusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen gefunden werden. Aus diesem Grund wird von einer peripheren Kontamination der Stichleitung, Armatur oder Duschschlauch ausgegangen.



Es wurde empfohlen, die Bereitschaftstemperatur zu erhöhen und die Duschen regelmässig mit heissem Wasser zu spülen.

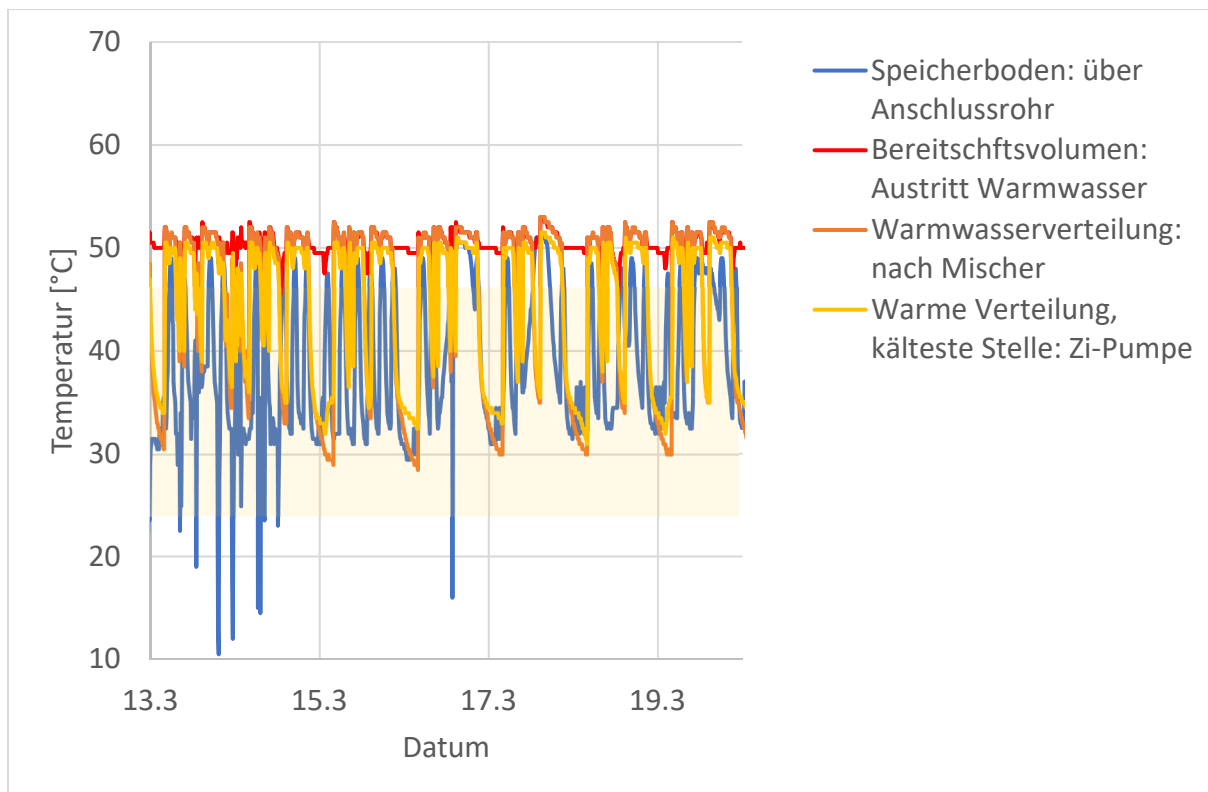


Abbildung 53: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 65.

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 es wird eine Thermomischarmatur mit Regendusche bei der Hauptdusche eingesetzt.

Das Bereitschaftsvolumen wird auf einer Temperatur von 60 °C gehalten. In den Tagen vor der Probenahme wurde das Bereitschaftsvolumen durch Solarertrag über 70°C erwärmt. Die Verteilungen erreichen ca. 55 °C, am Tag mit sehr hohen Temperaturen im Speicher fast 60 °C. Die Leitungen kühlen in der Nacht, wenn keine Zapfungen stattfinden, auf ca. 25 °C aus.

Bei dieser Anlage wurden 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 wird von einer dezentralen Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschlauch, respektive der Regenduschebrause 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 eine Nachkontrolle, bei der auch versucht wurde ein potenzieller Kontaminationsherd näher einzugrenzen. Dabei wurden folgende Legionellenkonzentrationen gefunden:

1. Hauptdusche Probe 1, nur Heisswasser nach Erreichen 37 °C: 400 KBE/L
2. Hauptdusche Probe 2, (Regendusche), Mischwasser 37 °C nach Erreichen der Heisswassertemperatur: 500 KBE/L
3. Hauptdusche Probe 3, Mischwasser 37 °C nach Erreichen der Heisswassertemperatur: 400 KBE/L
4. Hauptdusche Probe 4, Kaltwasser ohne Duschschauch: 600 KBE/L

Somit lagen die Konzentrationen unter dem Höchstwert von 1000 KBE/L, und deutlich unter den Werten der Erstbeprobung, womit nicht von einer direkten Gesundheitsgefährdung ausgegangen werden muss. Es konnte jedoch nicht abschliessend identifiziert werden, ob sich der Herd lediglich im Duschschauch, in der Regendusche, oder in der Warm- oder Kaltwasserleitung befindet.

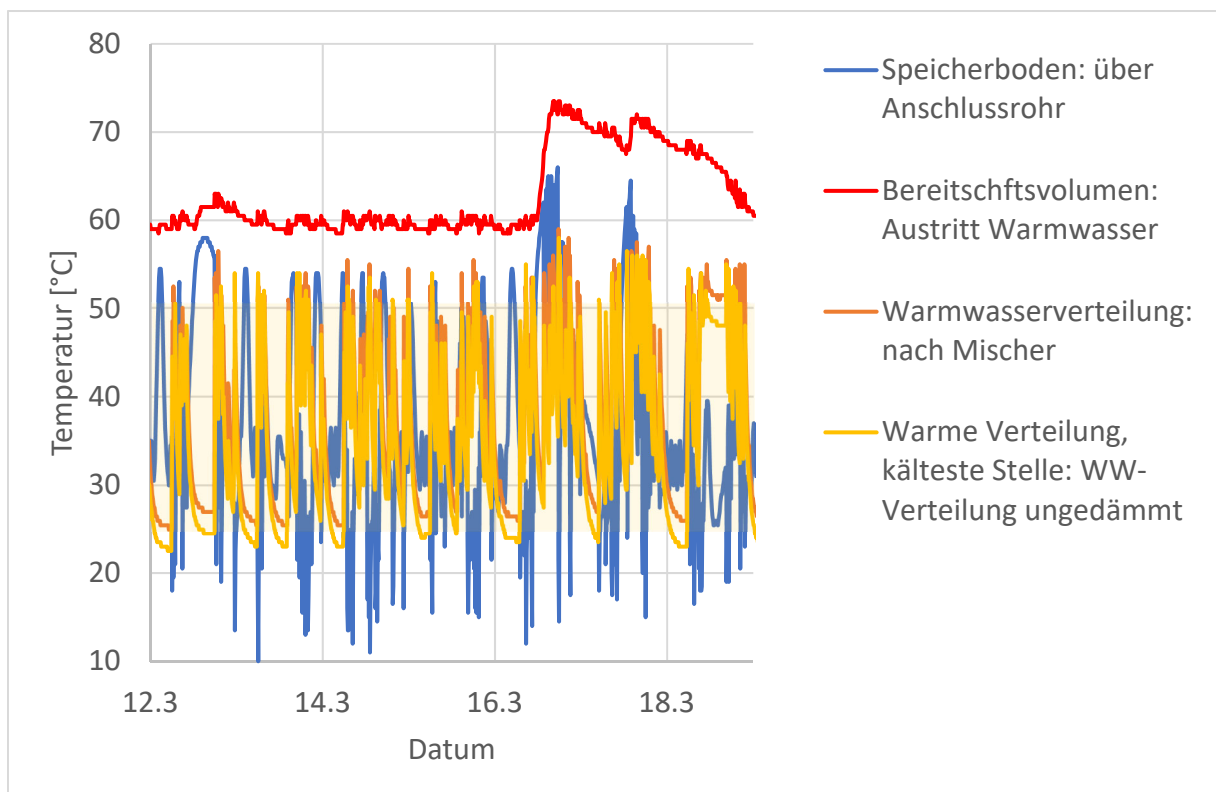


Abbildung 54: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 66.

Objekt 67 (Solar & Gas)

Bei Objekt 67 handelt es sich um ein Doppel Einfamilienhaus 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.



Das Bereitschaftsvolumen wird bis auf eine Temperatur von 60 °C erwärmt, die Temperatur sinkt aber auch regelmässig auf knapp unter 50°C ab. Die Temperaturen im Verteilsystem liegen 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.

Es wurde hier von einer dezentralen Kontamination der Stichleitung, Armatur oder des Duschschlauchs ausgegangen.

Es wurde empfohlen, die Zapfstelle regelmässig mit heissem Wasser zu spülen und die Einschalttemperatur zu erhöhen, so dass im Zirkulationssystem Temperaturen >52 °C ständig gehalten werden können.

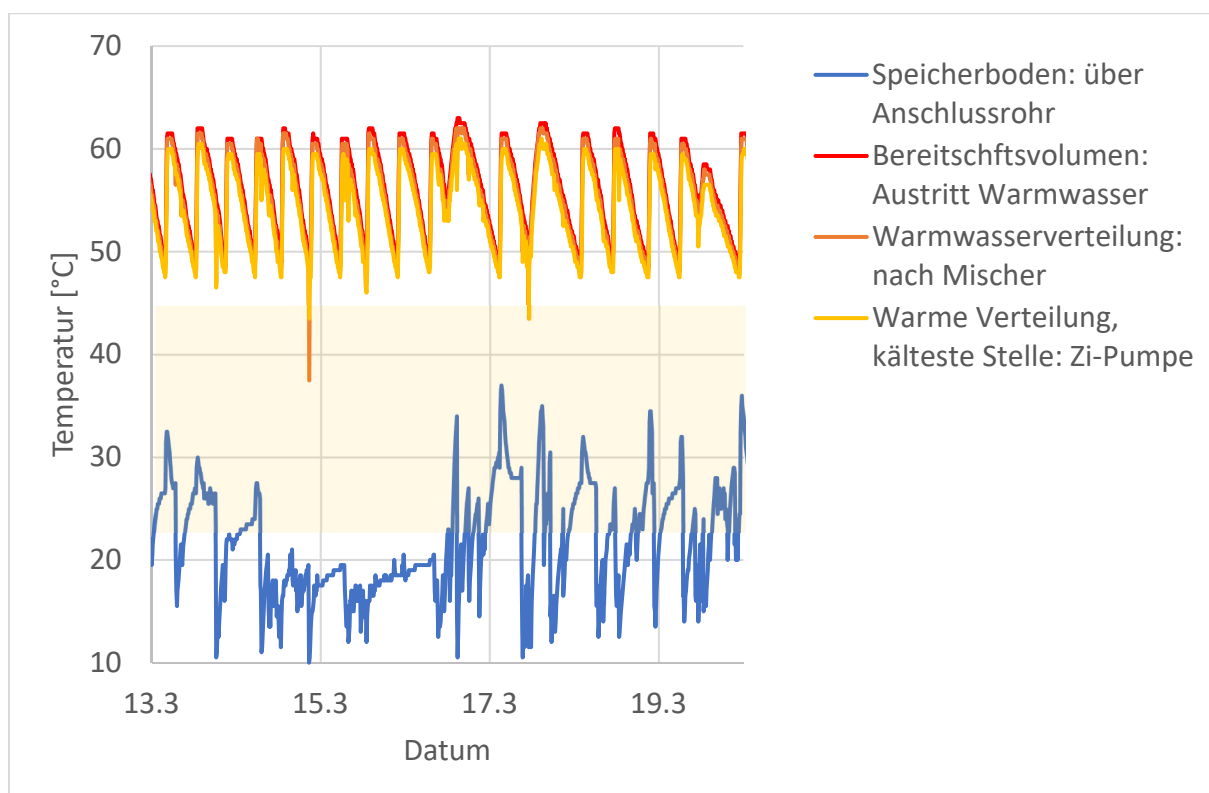


Abbildung 55: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 67.

Objekt 86 (Solarthermie & Wärmepumpe)

Bei Objekt 86 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1972 mit einer solarthermischen Anlage (2011) zur Warmwasserbereitstellung und Heizungsunterstützung mittels 900 L Kombispeicher. Hauptwärmeerzeuger ist in diesem System eine Wärmepumpe.

Aufgrund von Solarertrag in der Woche vor der Beprobung stiegen die Temperaturen im Bereitschaftsvolumen zum Teil deutlich über 60°C, und auch der Speicherboden wurde zum Teil stark erwärmt.



Bei diesem Objekt konnten lediglich an der selten benutzten Nebendusche (Badewannendusche) Legionellen festgestellt werden. Die Konzentration lag mit 100 KBE/L gerade auf der Nachweisgrenze und deutlich unter dem Höchstwert. An der Hauptdusche und im Speicherboden konnten keine Legionellen identifiziert werden.

Es wurde empfohlen, die selten benutzte Badewannendusche regelmässig und vor allem vor Gebrauch mit heissem Wasser zu spülen.

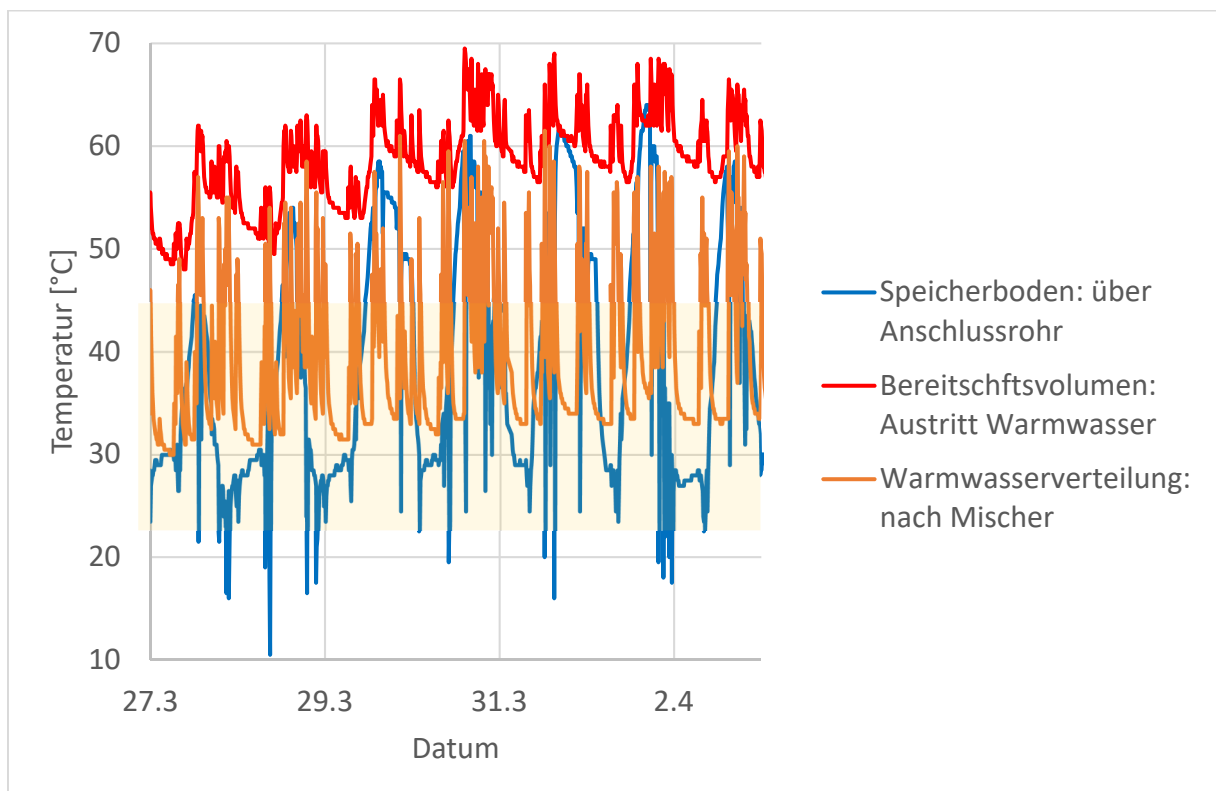


Abbildung 56: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 86.

F.3 Legionellen nur im Speicherboden

Objekt 6 (Elektroboiler)

Hierbei handelt es sich um eine separate Warmwasseranlage für die Gästedusche, welche sich in demselben Gebäude wie Objekt 16 befindet, aber separat ausgewertet wurde. Es handelt sich dabei um einen klassischen, eher kleinen Elektroboiler (ca. 150 l).

Der Boiler erreicht im oberen Teil Temperaturen von knapp 55 °C, diese sinken aber auch regelmässig unter 50 °C. Während der Nachheizung steigt die Temperatur im unteren Speicherbereich (Anschluss Kaltwasser) regelmässig auf ca. 35 °C.

Im Speicherboden dieses Boilers wurde ein sehr hoher Wert von 58'000 KBE/L nachgewiesen, an der Zapfstelle konnten jedoch keine Legionellen nachgewiesen werden. Es wird angenommen, dass die



kritischen Temperaturen im Speicherboden, im Zusammenhang mit der seltenen Nutzung der Gästedusche, zu der hohen Kontamination geführt hat.

Weil die kritischen Temperaturen im Speicherboden wohl auf die Bauweise des Elektroboilers und nicht auf den Betrieb zurückzuführen sind, wurde vorgeschlagen, diesen ausser Betrieb zu nehmen und die Gästedusche an das zentrale System (Obj. 16) anzuschliessen.

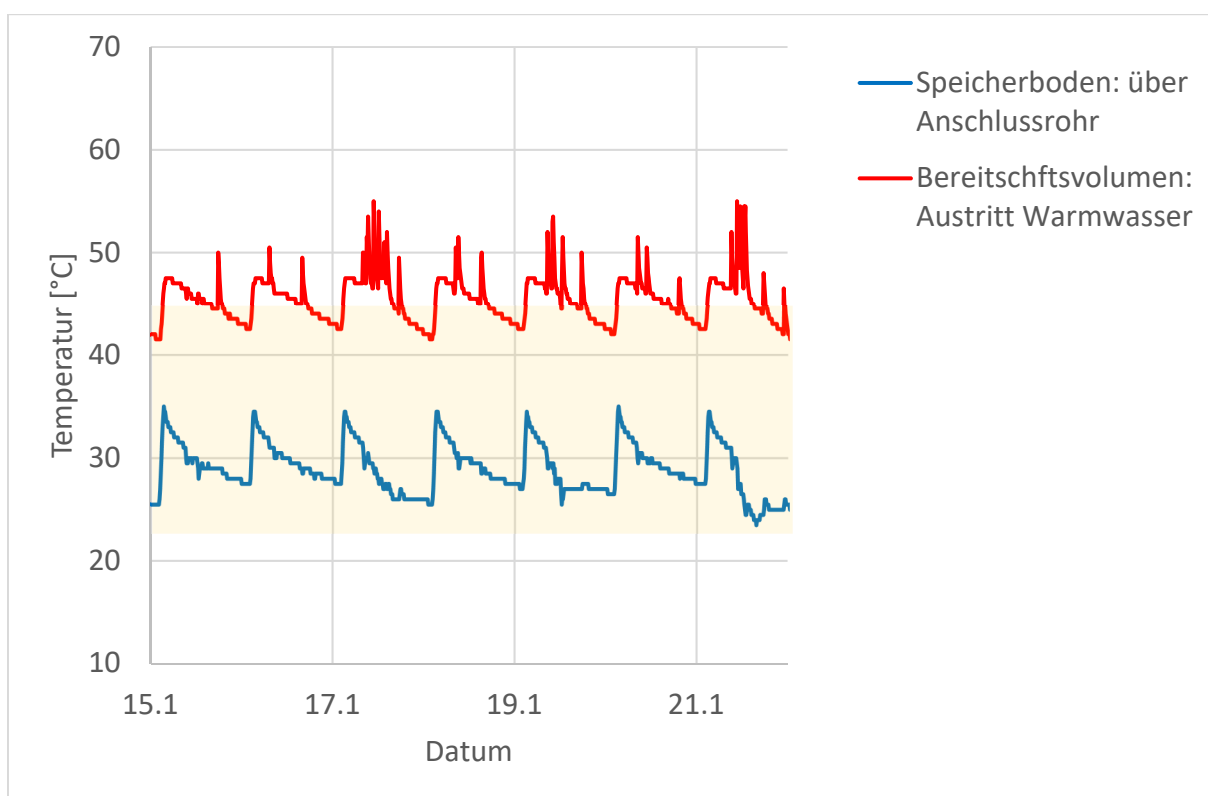


Abbildung 57: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 6.

Objekt 7 (Öl)

Bei diesem Objekt handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1979, bei dem das Warmwasser mit einer Ölheizung bereitgestellt wird. Es handelt sich dabei um einen liegenden Boiler, der mit dem Ölbrenner eine Einheit bildet.

Die Bereitschaftstemperatur erreichte bei diesem Objekt (ausser während einer Abwesenheit der Bewohner von drei Tagen) immer wieder mehr als 60°C und fiel auch nie unter 50 °C. Auffällig ist hier die hohe Temperatur am Kaltwasseranschluss, welche während Zapfpausen 55 °C übersteigt. Beim Entleerhahn des Speichers gibt es einen nicht durchflossenen Leitungsabschnitt, welcher passiv auf bis zu 45 °C erwärmt wird.

Bei diesem Objekt wurden im Speicherboden Legionellen mit einer Konzentration von 1'700 KBE/L (*L. pneumophila*) gefunden. An den Duschen konnten jedoch keine Legionellen nachgewiesen werden.

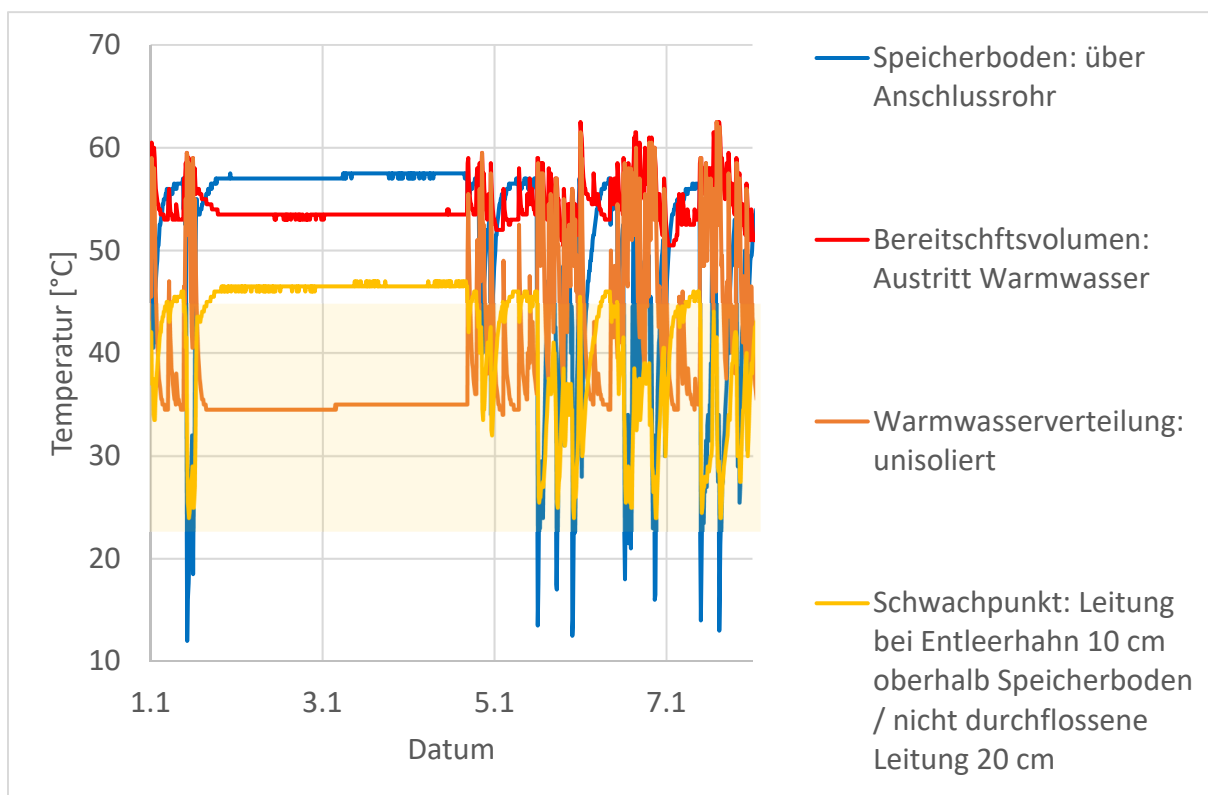


Abbildung 58: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 7.

Objekt 16 (Solar & Wärmepumpe)

Bei dieser Anlage handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1961, bei welchem im Jahr 2009 eine neue Warmwasseranlage installiert wurde (Boiler und alle Leitungen ersetzt). Das Warmwasser wird hier mit einer Solarthermianlage und einer Wärmepumpe in einem Tank-in-Tank Kombispeicher erzeugt, wobei der interne Boiler lediglich im oberen Puffervolumen platziert ist und keinen Wärmetauscher zur Vorwärmung im unteren Puffervolumen besitzt. In diesem Haus besteht zusätzlich eine Warmwasseranlage für die Gästedusche mit reinem Elektroboiler, welche als Objekt 6 separat ausgewertet wurde.

Die Temperaturen im Bereitschaftsvolumen lagen lediglich bei ca. 50 °C und die Temperaturen der Leitungen sanken während Zapfpausen nur sehr selten unter 30°C. Der Kaltwasseranschluss erwärmte sich hingegen nach einem Bezug rasch auf 35-40°C.

Bei Objekt 16 wurden Legionellen mit einer Konzentration von 6'000 KBE/L (*L. anisa*) im unteren Teil des internen Warmwasserboilers nachgewiesen. Weil sich dieser im oberen Bereich des Pufferspeichers befindet, kühlt der Boden des internen Speichers nie wirklich aus. Die Temperatur der Probe lag bei 34.8 °C und somit bei einem für das Legionellenwachstum günstigen Wert. An den Zapfstellen konnten aber trotz Temperaturen von lediglich ca. 50°C im Bereitschaftsvolumen keine Legionellen nachgewiesen werden.

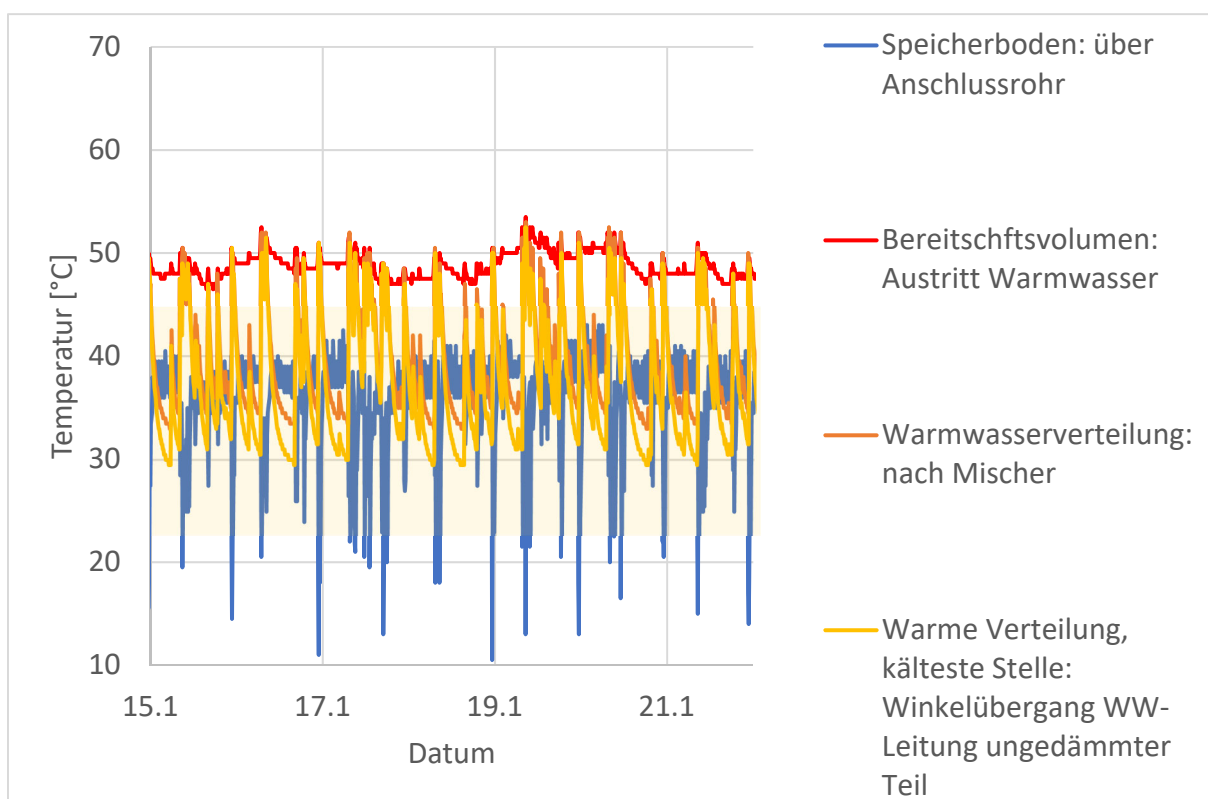


Abbildung 59: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 16.

Objekt 44 (Wärmepumpe)

Bei Objekt 44 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2010, bei welchem das Warmwasser mit einer Wärmepumpe erzeugt wird. Die Leitung bis zum Verteilerbalken wird mit einem Elektroheizband warmgehalten, der Verteiler und die Stichleitungen sind aber nicht wärmegeklämt und kühlen nach Zapfungen aus. Zwei Mal wöchentlich findet eine Legionellenschaltung statt.

Bei diesem Objekt wurden im Speicherboden 20'000 KBE/L (*L. anisa*) gefunden. An den Duschen konnten jedoch keine Legionellen identifiziert werden.

Trotz tiefer Temperaturen von meist deutlich weniger als 50 °C im Bereitschaftsvolumen konnten die Legionellen hier offensichtlich nicht vom Speicherboden auf das Leitungssystem übertreten. Weil die Beprobung aber nach einer Legionellenschaltung durchgeführt wurde, kann nicht mit abschliessender Sicherheit festgestellt werden, ob die Duschstellen auch im Normalbetrieb legionellenfrei sind.

Auch wenn an den Duschen keine Legionellen festgestellt wurden, wurde hier empfohlen die Bereitschaftstemperaturen im Speicher zu erhöhen.

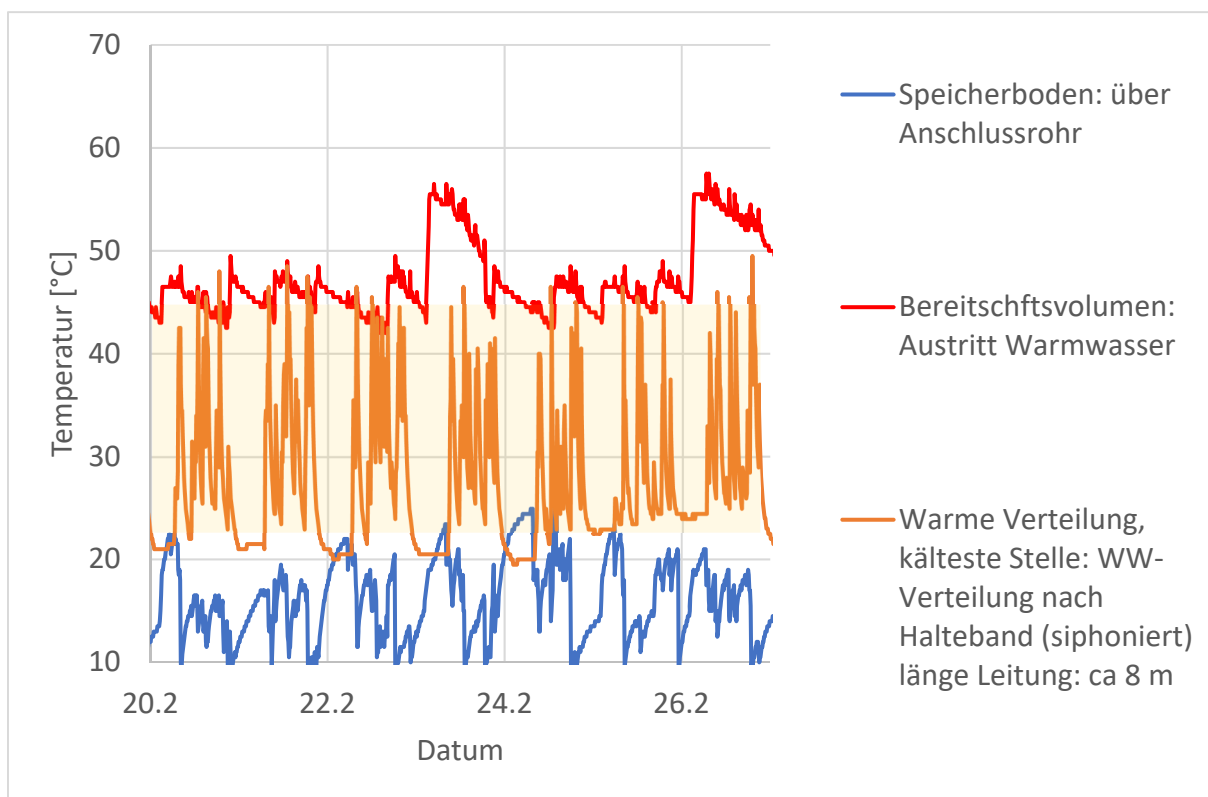


Abbildung 60: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 44.

Objekt 58 (Elektroboiler)

Bei Objekt 58 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1945 mit einer Warmwasseranlage aus dem Jahr 2007 (Elektroboiler).

Bei dieser Anlage wurden im Speicherboden 32'000 KBE/L (*L. anisa*) gefunden, an den Duschen konnten hingegen keine Legionellen festgestellt werden.

Bei den Temperaturmessungen zeigte sich, dass der Speicherboden immer wieder auf Temperaturen knapp über 45 °C erwärmt wird, aber nie 50°C erreicht. Somit herrschen oft günstige Bedingungen für die Vermehrung von Legionellen, eine Abtötung kann aber vermutlich auf diese Weise nicht stattfinden.

Weil keine Duschstelle betroffen war, wird davon ausgegangen, dass die Temperatur im Bereitschaftsvolumen ausreichte, um Legionellen aus dem Speicherboden abzutöten und somit keine unmittelbaren Massnahmen nötig sind. Dennoch stellt die hohe Kontamination des Speicherbodens ein potenzielles Risiko dar. Daher wurde empfohlen die Speichertemperatur nicht herunterzusetzen und den Speicher niemals ganz zu entleeren. D.h. wenn ein Temperaturabfall während des Duschens bemerkt wird, nicht mehr weiter zu duschen und erst wieder Warmwasser zu brauchen, wenn der Speicher wieder erwärmt und während einer Stunde warmgehalten wurde.

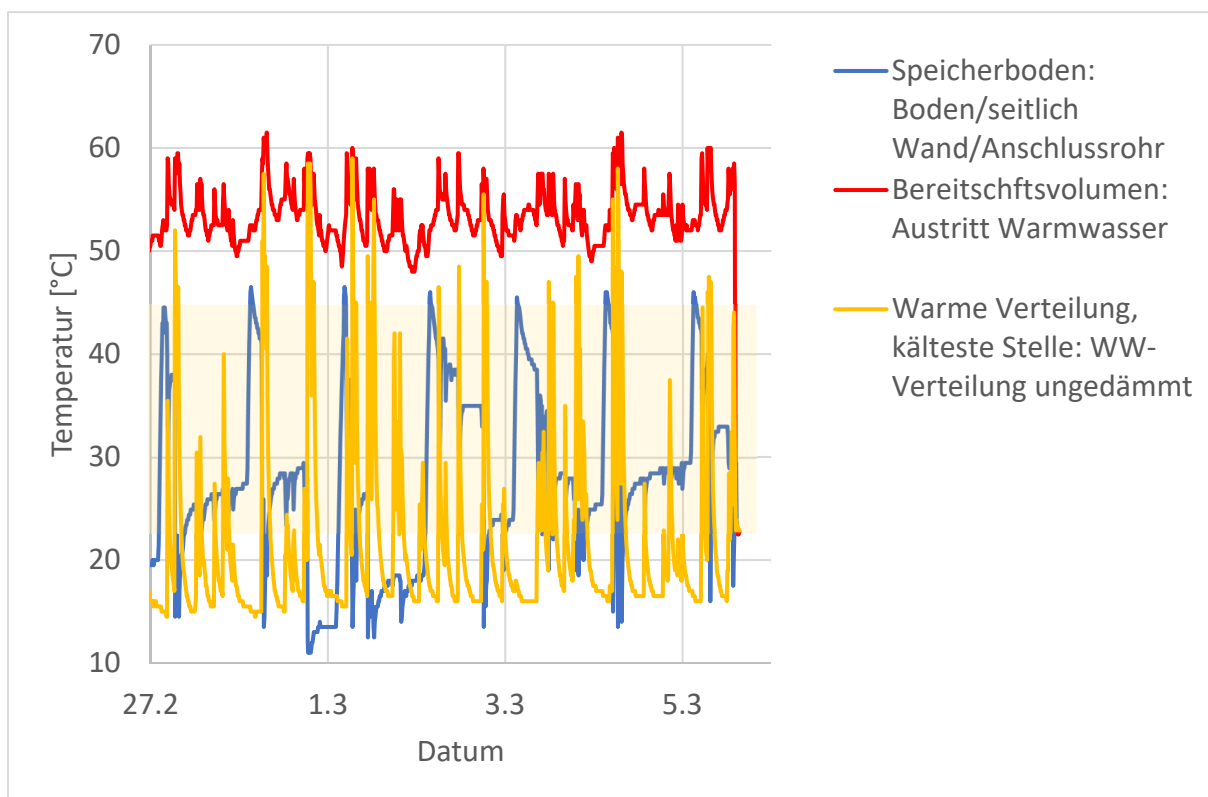


Abbildung 61: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 58.

Objekt 75 (Gas)

Bei Objekt 75 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 1980 mit ursprünglichem Warmwasserverteilsystem. Das Warmwasser wird mit Gas erwärmt. Der Fühler für die Bereitschaftstemperatur konnte hier lediglich auf dem Stutzen für die Zirkulation angebracht werden, und es ist davon auszugehen, dass die Messung nicht der realen Bereitschaftstemperatur entspricht. Anhand der Messung des (nicht wärmegeämmten) Warmwasserverteilkalkens ist davon auszugehen, dass die Temperatur im Bereitschaftsvolumen zumindest zeitweise ca. 55 °C erreicht. Der Speicherboden liegt meist im kritischen Bereich und wird auch nie auf Temperaturen über 50 °C erwärmt.

Bei diesem Objekt wurden Legionellen mit einer Konzentration von 8'000 KBE/L (*L. pneumophila*) im Speicherboden gefunden. An den Zapfstellen konnten keine Legionellen identifiziert werden.

Weil keine Duschstelle betroffen war, wird davon ausgegangen, dass die Temperatur im Bereitschaftsvolumen ausreicht um Legionellen aus dem Speicherboden abzutöten. Dennoch wurde empfohlen, die Temperatureinstellungen zu prüfen und gegebenenfalls zu erhöhen. Die hohe Kontamination des Speicherbodens stellt ein potenzielles Risiko dar. Daher wurde empfohlen den Speicher niemals ganz zu entleeren. D.h., wenn ein Temperaturabfall während des Duschens bemerkt wird, nicht mehr weiter zu duschen und erst wieder Warmwasser zu beziehen, wenn der Speicher wieder erwärmt und während einer Stunde warmgehalten wurde.

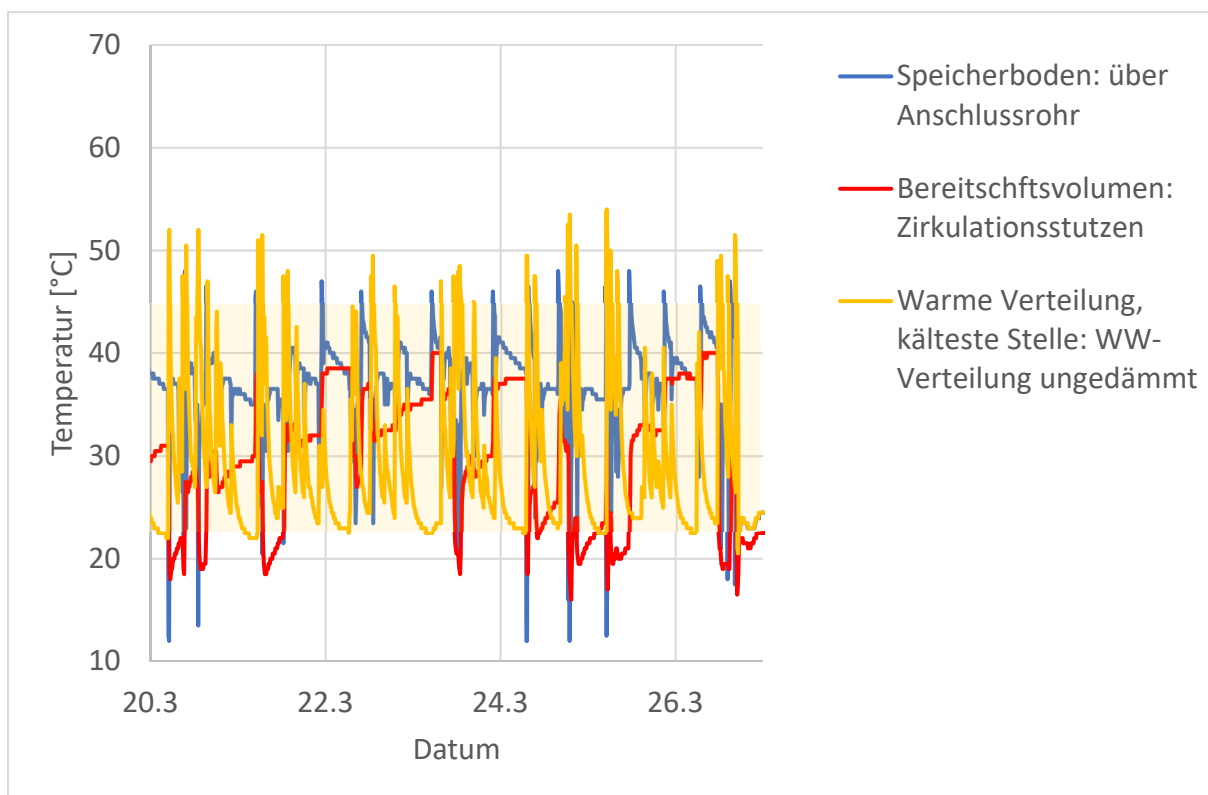


Abbildung 62: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 75.

Objekt 87 (Elektrisch)

Bei Objekt 87 handelt es sich um ein Einfamilienhaus aus dem Jahr 2000 mit einem 450 L Elektroboiler. Der Warmwasserverteilkasten ist bei diesem Objekt nicht siphoniert und nicht wärmegeklämt direkt über dem Boiler angeschlossen. Daher wird sowohl der Verteilkasten als auch der Warmwasseraustritt (als Indikator für die Temperatur im Bereitschaftsvolumen verwendet) durch interne Zirkulation auf mittleren Temperaturen von ca. 35-40 °C gehalten. Die Temperaturspitzen (während Zapfungen) zeigen aber an, dass das Bereitschaftsvolumen wohl bei ca. 50-55 °C gehalten wird.

Bei diesem Objekt wurden Legionellen mit einer Konzentration von 32'000 KBE/L (*L. anisa*) im Speicherboden gefunden. An den Zapfstellen konnten trotz meist kritischen Temperaturen in den Verteilleitungen keine Legionellen identifiziert werden.

Es wurde eine Erhöhung der Temperaturen und eine Siphonierung der Warmwasserleitung empfohlen. Die hohe Kontamination des Speicherbodens stellt ein potenzielles Risiko dar. Daher wurde empfohlen, den Speicher niemals ganz zu entleeren. D.h., wenn ein Temperaturabfall während des Duschens bemerkt wird, nicht mehr weiter zu duschen und erst wieder Warmwasser zu beziehen, wenn der Speicher wieder erwärmt und während einer Stunde warmgehalten wurde.

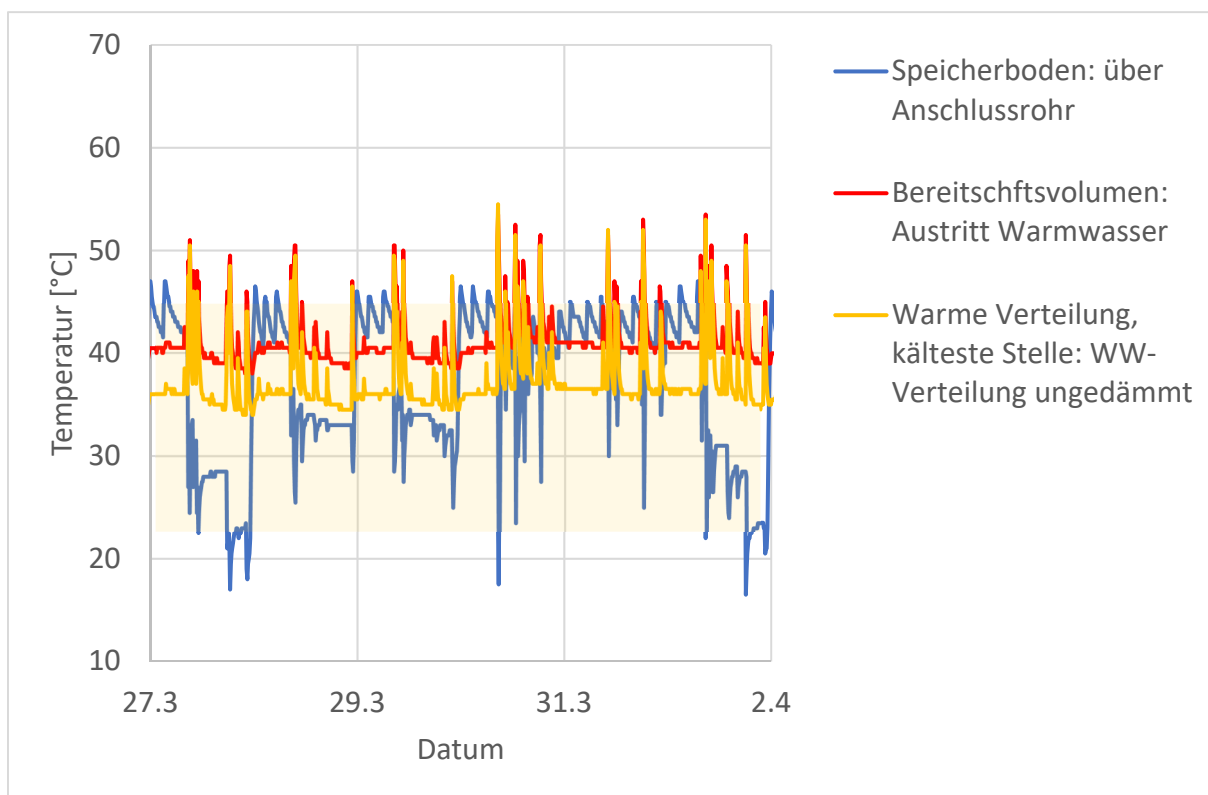


Abbildung 63: Gemessene Temperaturverläufe von Objekt 87.

Objekt 100 (Gas)

Bei Objekt 100 handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 32 Wohneinheiten aus dem Jahr 1975. Bei diesem Gebäude wurden im Jahr 1996 alle Nasszellen umgebaut, wobei lediglich die Steigleitungen im ursprünglichen Zustand belassen wurden. Das Warmwasser wird mit Gas erwärmt und es werden zwei Warmwasserspeicher eingesetzt. Das Zirkulationssystem wird zwei Mal am Tag unterbrochen. Während dem Betrieb werden Temperaturen von ca. 48 °C bis annähernd 55°C auch im Rücklauf erreicht.

Sowohl an der beprobten Dusche als auch im seriell vorgeschalteten Speicher 2 (Speicher mit Kaltwassereintritt) konnten keine Legionellen identifiziert werden. Im Boden des seriell nachgeschalteten Speichers 1 (mit Warmwasseraustritt und Einbindung des Zirkulationsrücklaufes) wurden Legionellen mit einer Konzentration von 10'000 KBE/L (*L. anisa*) gefunden.

Es wurde empfohlen, die Zirkulation durchgängig zu betreiben und die Temperatur zu erhöhen.

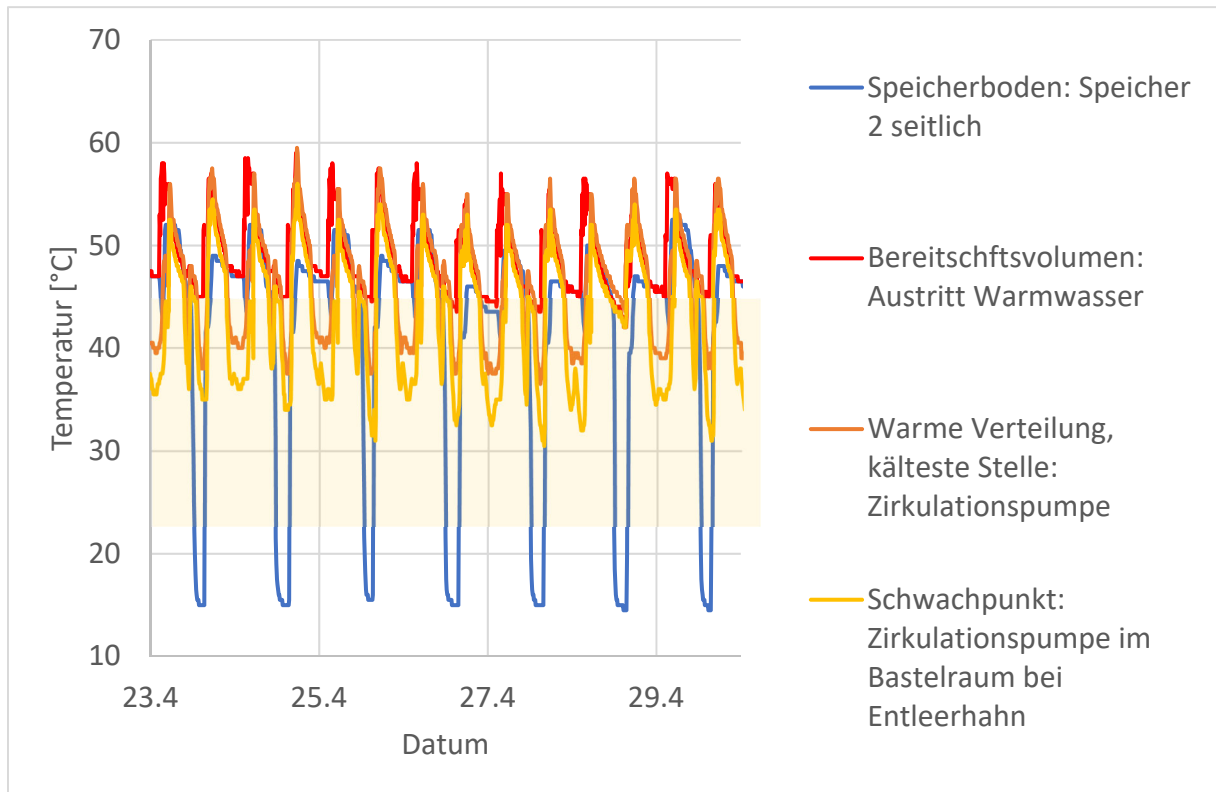


Abbildung 64: Gemessene Temperaturverläufe bei Objekt 100.

Annex G Errata und Änderungen am Bericht

Seit der ersten Publikation im Februar 2021 wurden die folgenden Änderungen und Ergänzungen gemacht:

1. In Annex D wurde die fehlende Anleitung für die Probenahmen im Feld ergänzt.
2. Errata: In Abschnitt 3.1.7 wurde die Differenz zwischen Mittelwert der Ausschalttemperatur der Nachheizsysteme der nicht solaren Anlagen gegenüber den Anlagen mit Solaranlage von 2.3 K auf 1.8 K korrigiert, und sprachliche Fehler ausgebessert.