

Risikofaktoren in Trinkwasser-Installationen für das Vorkommen von Legionellen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Stefan Bernhard Löwe

aus Göttingen

2019

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. med. Thomas Kistemann
2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Gabriele Bierbaum

Tag der Mündlichen Prüfung: 27.09.2019

Aus dem Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit
Direktor: Prof. Dr. med. Martin Exner

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

1. Einleitung	6
1.1. Legionella	6
1.2. Medizinische Bedeutung.....	7
1.3. Überlebensstrategien von Legionellen in Trinkwasser-Installationen	9
1.4. Überwachung von Trinkwasser-Installationen zur Gesundheitsvorsorge	10
1.5. Technische Maßnahmen	12
1.6. Fragestellungen dieser Arbeit.....	14
2. Material und Methoden.....	15
2.1. Herkunft und Umfang des Untersuchungsmaterials	15
2.1.1. Untersuchte Objekte	15
2.1.2. Anzahl der untersuchten Proben	15
2.1.3. Probennehmer	16
2.2. Probennahmestellen.....	17
2.3. Probennahme	19
2.4. Untersuchung auf Legionellen	20
2.5. Statistische Auswertung	20
3. Ergebnisse	23
3.1. Übersicht	23
3.2. Probennahmeort.....	24
3.2.1. Stockwerk.....	24
3.2.2. Raum.....	25
3.3. Entnahmestelle	26
3.4. Entnahmearmatur.....	27
3.5. Legionellen-Häufigkeitsverteilungen	27
3.5.1. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach Trinkwasserverordnung	27
3.5.2. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeit nach DVGW Arbeitsblatt W 551	28
3.5.3. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach den Kontaminationsstufen des DVGW	29
3.6. Wassertemperatur	30
3.6.1. Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Entnahme.....	32

3.6.2. Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Erreichen von Temperaturkonstanz.....	32
3.7. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang)	33
3.8. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmearmatur	35
3.9. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertrübheit.....	36
3.10. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertemperatur	38
3.11. Logistische Regression.....	43
3.12. ROC-Kurven	44
3.13. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer	46
4. Diskussion	48
5. Zusammenfassung	58
6. Anhang	61
7. Abbildungsverzeichnis	67
8. Tabellenverzeichnis.....	68
9. Literaturverzeichnis.....	70
10. Danksagung	76

Abkürzungsverzeichnis

EPS	Extrapolymerer Substanzen
VBNC	Viable but nonculturable = lebensfähig aber nicht kultivierbar
WHO	World Health Organisation
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
KBE	Koloniebildende Einheiten
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.
GVPC-Agar	Glycin-Vancomycin-Polymyxin-Cycloheximid-Agar
BCYE-Agar	Buffered-Charcoal-Yeast-Extract-Agar
ROC	Receiver-Operating-Characteristic
AUC	Area under the curve
RKI	Robert Koch-Institut
CAPNET	Kompetenznetz ambulant erworbene Pneumonie

1. Einleitung

1.1 Legionella

Legionellen sind gramnegative, intrazellulär wachsende, stäbchenförmige Bakterien, die eine Länge von bis zu 6 μm erreichen. Sie sind strikt aerob und lassen sich in allen feuchten Umweltmilieus wie Boden, Grund- und Oberflächenwasser nachweisen (Kistemann, 2012). Legionellen bewegen sich durch monopolare dünne Zellanhänge, die auch als Geißeln oder Flagellen bezeichnet werden (Müller, 2004). Es gibt nach derzeitigem Kenntnisstand 57 Legionellen-Spezies mit 79 Serogruppen, wovon jedoch weniger als die Hälfte Erreger des Krankheitsbildes der Legionellose sind. Der humanmedizinisch wichtigste Vertreter ist *Legionella pneumophila*, insbesondere die Serogruppe 1, die für mehr als 90% aller Erkrankungen verantwortlich ist (Lück, 2010). Legionellen können sich in Amöben und anderen Einzellern bei Temperaturen zwischen 28 °C und 56 °C vermehren und haben ein Temperaturoptimum zwischen 35 °C und 42 °C (Exner, 1991). In der technischen Umwelt treten sie bevorzugt in Trinkwasser-Installationen, Schwimmbädern, Befeuchtungsanlagen, Klimaanlage und Rückkühlwerken auf. Die Infektion erfolgt in der Regel durch Inhalation infizierter wässriger Aerosole, etwa beim Duschen (Kistemann, 2012). In seltenen Fällen kann die Übertragung aber auch durch Trinken oder Kontakt erfolgen (Exner, 1991). Die minimale Abtötungstemperatur von Legionellen liegt bei 50 °C. Zwischen 50 °C und 60 °C dauert die Abtötung einige Stunden, zwischen 60 °C und 70 °C wenige Minuten und über 70 °C nur wenige Sekunden (Müller, 2004). Bei Temperaturen oberhalb von 60 °C sind Legionellen-Kontaminationen in Warmwasser-Leitungen daher selten (Völker et al., 2010). Neben der Wassertemperatur spielen weitere wichtige Parameter wie z.B. Fließgeschwindigkeit, Stagnation, Korrosion und Rohrmaterial bei der Legionellen-Vermehrung eine Rolle (Völker und Kistemann, 2015).

Legionellen haben selbst unter optimalen Kulturbedingungen eine vergleichsweise lange Generationszeit von über 3 Stunden. Aus diesem Grund ist nach längerer ungestörter Verweilzeit des Wassers und bei erhöhten Temperaturen in den Sommermonaten mit besonders hohen Legionellenkonzentrationen zu rechnen (Kistemann, 2012, Höll und Grohmann, 2002). Um diese Bakterien im Labor zu

kultivieren, benötigen Legionellen ein spezielles Nährmedium, das L-Cystein und Eisen-(III)-Pyrophosphat enthält (Müller, 2004).

1.2. Medizinische Bedeutung

Das Bakterium hat seinen Namen durch einen großen Krankheitsausbruch in Philadelphia im Juli 1976 (Müller, 2012). Dort erkrankten 180 von 4.400 Personen, die an einem Kongress ehemaliger Soldaten (The American Legion) teilnahmen, an einer Lungenentzündung. Die Epidemie forderte 29 Todesopfer (Kistemann, 2012). Das Lungengewebe eines verstorbenen Veteranen wurde anschließend bakteriologisch untersucht und dabei gelang es, den Erreger *Legionella pneumophila* als Krankheitsursache zu identifizieren (Kistemann, 2012). Das Krankheitsbild der Legionellen-Pneumonie erhielt daher den Namen Legionärskrankheit (Fraser et al., 1977). Hierbei handelt es sich um eine atypische Pneumonie, die mit Fieber, Schüttelfrost, Kopf- und Muskelschmerzen, trockenem, nicht produktivem Husten, Thoraxschmerzen und oft auch gastrointestinalen Beschwerden wie Diarrhoe einhergeht (Harmuth, 2006). Es kann zu einer renalen Beteiligung kommen, die sich in Form einer akuten Niereninsuffizienz, interstitiellen Nephritis oder mesangial proliferativer Glomerulonephritis äußern kann (Hariparsad, 1985, Habicht und Müller, 1986, Harmuth, 2006). Zudem kann es zu neurologischen Komplikationen, wie z.B. Orientierungs- und Kommunikationsproblemen, peripheren Neuropathien, Enzephalitiden, Hirnstammdysfunktionen und Hirnabszessen kommen (Alary, 1991, Murdoch, 2003).

Neben der Legionärskrankheit gibt es als zweite Form der Legionellose das deutlich harmlosere, nicht tödliche Pontiac-Fieber (Müller, 2012). Dieser Name stammt von einer grippeähnlichen Epidemie, die sich 1968 in einem Bürogebäude in Pontiac, Michigan, blitzartig ausbreitete. 95 % der Angestellten wurden damals mit dem Pontiac-Fieber infiziert (Höll und Grohmann, 2002). Hierbei kommt es nach 1-2 Tagen Inkubationszeit zu Symptomen wie allgemeinem Schwächegefühl, hohem Fieber, Glieder- und Kopfschmerzen, Husten, Halsschmerzen, Durchfall, Erbrechen und Benommenheit (Fehrenbach et al., 1989). Die Erkrankung heilt spontan innerhalb weniger Tage aus.

Besonders gefährdet, an einer Legionellose zu erkranken, sind ältere Patienten, Immunsupprimierte, Patienten mit chronischer Erkrankung, wie z. B. mit malignen Tumorleiden oder terminaler Niereninsuffizienz, und Raucher (Harmuth, 2006). Weitere Faktoren, die eine erhöhte Vulnerabilität von Patienten in medizinischen Einrichtungen bedingen, sind Wunden oder Verbrennungen, Schluckbeschwerden, Vorliegen von invasiven Systemen (Katheter), Fremdkörper und Antibiotika-Therapie (Exner et al., 2007). Wenn diese Patientengruppen durch Inhalation infizierter Aerosole aus kontaminierten Trinkwasser-Installationen in Kontakt mit dem Erreger kommen, kann es nach einer Inkubationszeit von 2-10 Tagen zu einem Ausbruch der Krankheit mit symptomatischem Verlauf kommen (Meyer, 2017). 90 % der Erkrankten weisen dann den milden Krankheitsverlauf des Pontiacs-Fieber ohne Pneumonie auf. Etwa bei 10 % der Erkrankten kommt es zum schweren Bild der Legionärskrankheit mit atypischer Pneumonie.

Diagnostisch sollte bei entsprechendem Verdacht zum Erregernachweis ein Antigennachweis im Urin erfolgen. Desweiteren kann der Erregernachweis kulturell mittels spezieller Nährmedien und direkter Immunfluoreszenz-Mikroskopie erfolgen. Der Nachweis von Legionellen ist meldepflichtig. Schon bei Verdacht wird mit Makrolidantibiotika (z. B. Azithromycin) oder Fluorchinolonen der Gruppen 3,4 (z. B. Levofloxacin) therapiert. Die Therapie kann bei leichten Verläufen und guter klinischer Antwort auf 7-10 Tage beschränkt sein, bei immunsupprimierten Patienten oder kompliziertem Verlauf werden längere Therapiedauern von bis zu 3 Wochen empfohlen (Lück, 2010).

Da Wasser in medizinischen Einrichtungen für vielfältige Zwecke, wie z. B. Trinkwasser, Körperwaschung einschließlich Duschen, Aufbereitung, Spülen, Nachspülen von Instrumenten und Geräten, Herstellung von Reinigungslösungen etc. eingesetzt wird, kommt der Krankenhaushygiene eine enorme Bedeutung zu, um anfällige Patienten zu schützen (Exner et al., 2007). Auch wenn das Letalitätsrisiko für nosokomial erworbene Legionellosen in den letzten Jahren zurückgegangen ist, wird es immer noch mit 14 % angegeben. Es wird geschätzt, dass ca. 20-30 % aller Legionellosen nosokomial erworben werden (Marston et al., 1994, Sabria und Yu, 2002). Demgegenüber steht die ambulante Legionellose, die außerhalb des Krankenhauses erworben wird und eine sehr hohe Dunkelziffer aufweist.

In Deutschland treten jährlich schätzungsweise 20.000-30.000 Fälle von Legionellen-Pneumonien auf (Exner et al., 2010). Dem Robert Koch-Institut werden jährlich allerdings nur 500-700 Fälle gemeldet, wobei das private Umfeld in der Hälfte der Fälle der Infektionsort ist, gefolgt von Hotels und medizinischen Einrichtungen, Trinkwasser-Installationen, Whirlpools und Rückkühlwerken (Kistemann, 2012). Der Zusammenhang zwischen kontaminierten Trinkwasser-Installationen mit Legionellen und einem Infektionsrisiko für deren Nutzer ist belegt (Schaefer et al., 2011).

1.3. Überlebensstrategien von Legionellen in Trinkwasser-Installationen

Legionellen weisen verschiedene Strategien auf, die sie besonders robust und widerstandsfähig gegenüber Umwelteinflüssen machen. Sie sind z.B. in der Lage, sich an Grenzflächen in Biofilme einzunisten. Unter einem solchen Biofilm versteht man eine durch Mikroorganismen aufgebaute Gemeinschaft von Zellen, die irreversibel an eine Grenzfläche oder aneinander geheftet sind. Dabei betten sich die Legionellen in eine selbst produzierte Matrix aus Wasser und extrapolymeren Substanzen (EPS) ein, die sie vor äußeren biologischen, chemischen und physikalischen Einflüssen schützt (Kistemann, 2012, Donlan u. Costerton, 2002, Otte, 2006). In der Matrix sind Nährstoffe und verschiedenen Substanzen wie Polysaccharide, Proteine, Lipide und Nukleinsäuren gelöst, die dem Biofilm eine stabile Form geben (Kistemann, 2012). Biofilme können in ihrer Struktur und Zusammensetzung stark differieren und weisen unter Umständen große Unterschiede hinsichtlich pH-Wert, Nährstoffangebot und Sauerstoffgehalt auf. Häufig leben verschiedenste Mikroorganismen, wie aerobe und anaerobe Bakterien und andere Einzeller (Amöben, Flagellaten etc.) in einer Symbiose im Biofilm zusammen (Costerton et al., 1995). Gegenüber einzeln lebenden Bakterien weisen die Bakterien im Biofilm verändertes Wachstumsverhalten und veränderte Genexpression auf und besitzen eine bis zu 10.000-fach höhere Zelldichte (Kistemann, 2012, Otte 2006).

Neben der Möglichkeit der Biofilm-Bildung können Legionellen zudem in verschiedenen Spezies von Amöben, z. B. *Acanthamoeba* und *Naegleria*, die sie als Wirt nutzen, überleben (Völker u. Kistemann, 2015). Dabei dringen die Legionellen in die ca. 20 µm großen Amöben ein und vermehren sich im Inneren, so dass mehrere

hundert Legionellen in einer Amöbe vorkommen können (Brodhun und Buchholz, 2015). Das Leben innerhalb der Amöben schützt die Bakterien vor verschiedenen Stresszuständen, wie z. B. erhöhte Temperatur oder erhöhte Chlorkonzentration im Rahmen einer Desinfektionsmaßnahme (King et al., 1988, Botzenhart und Hahn 1989, Borella et al., 2005). Für die Vermehrung und Verbreitung von Legionellen in Trinkwasser-Installationen spielen Amöben offenbar eine besonders wichtige Rolle (Kistemann, 2012). Ihre Freisetzung führt dann zu bolusartig erhöhten Konzentrationen mit erhöhtem Infektionsrisiko (Leclerc, 2003).

Außerdem können Legionellen unter Stagnations- und Stresssituationen in einen besonderen physiologischen Zustand, den sogenannten VBNC-Zustand („Viable but nonculturable“) übergehen (Kistemann, 2012). In diesem Zustand sind die Bakterienzellen morphologisch kleiner und haben einen niedrigeren Stoffwechsel, sie verlieren ihre Kultivierbarkeit, bleiben aber lebensfähig (Oliver, 2005). Mit dieser Überlebensstrategie können die Bakterien länger als ein Jahr unter ungünstigen ökologischen Bedingungen ausharren (Kistemann, 2012).

1.4. Überwachung von Trinkwasser-Installationen zur Gesundheitsvorsorge

Jeder Mensch sollte Zugang zu sauberem und sicherem Trinkwasser haben. Die Richtlinien für Trinkwasserqualität der WHO bilden die Basis für die europäische Richtlinienggebung sowie für die Trinkwasserverordnung in Deutschland (Exner et al., 2007, WHO, 2004). Grundlage der nachfolgenden Ausführungen zu Anforderungen an die Qualität der Trinkwasserversorgung im Bereich der Trinkwasser-Installationen bildet die Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001). Nach §§ 4-7 der TrinkwV müssen für die Genusstauglichkeit des Trinkwassers gewisse mikrobiologische und chemische Anforderungen eingehalten werden (Kistemann, 2012). So darf z. B. *Legionella spec.* einen technischen Maßnahmenwert von 100 KBE/100 ml nicht überschreiten. Gemäß Trinkwasserverordnung ist der „technische Maßnahmenwert“ ein Wert, bei dessen Erreichen oder Überschreitung eine vermeidbare Gesundheitsgefährdung zu besorgen ist und Maßnahmen zur hygienisch-technischen Überprüfung der Trinkwasser-Installation im Sinne einer Gefährdungsanalyse eingeleitet werden müssen (TrinkwV, 2001). Nach der neuesten Fassung der Trinkwasserverordnung, die im Januar 2018 in Kraft getreten ist, sind

Untersuchungsstellen neuerdings verpflichtet die Überschreitung des technischen Maßnahmenwerts für *Legionella spec.* an das zuständige Gesundheitsamt zu melden (TrinkwV, 2001). *E. coli*, Enterokokken, Coliforme Bakterien und *C. perfringens* dürfen einen Grenzwert von 0 KBE/100 ml nicht überschreiten (Tab. 1).

Tab. 1: Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nach Trinkwasserverordnung

Parameter	Grenzwert [(KBE/ml)]
<i>E. coli</i>	0/100
Enterokokken	0/100
Coliforme Bakterien	0/100
<i>Clostridium perfringens</i>	0/100
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0/100 ¹
<i>Legionella spec.</i>	100/100 ²

¹ in medizinischen Einrichtungen, ² technischer Maßnahmenwert

Unabhängig von der mikrobiologischen und chemischen Beschaffenheit müssen für die rechtliche Genussstauglichkeit des Trinkwassers die allgemein anerkannten Regeln der Technik (DIN EN 806, DIN EN 1717, DIN 1988, DVGW W 551) bei Planung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, Wartung und Überwachung von Trinkwasser-Installationen eingehalten werden (Kistemann, 2012). Die Trinkwasser-Installation ist gemäß § 3 Absatz 1 der TrinkwV (2018) definiert als: „...die Gesamtheit der Rohrleitungen, Armaturen und Apparate, die sich zwischen dem Punkt des Übergangs von Trinkwasser aus einer Wasserversorgungsanlage an den Nutzer und dem Punkt der Entnahme von Trinkwasser befinden...“. Desweiteren schreibt die Trinkwasserverordnung für die Untersuchung von Legionellen in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden, die über eine Großanlage zur Trinkwassererwärmung verfügen, eine systemische Untersuchung vor. Großanlagen sind Anlagen mit Trinkwassererwärmern mit einem Inhalt >400 Litern und/oder einem Inhalt >3 Litern in der jeweils betrachteten Rohrleitung zwischen dem Abgang des Trinkwassererwärmers und der Entnahmestelle (DVGW W 551). Die systemische Untersuchung gemäß § 14 Absatz 3 der TrinkwV 2001 entspricht einer orientierenden Untersuchung, wie sie im DVGW-Arbeitsblatt W 551 beschrieben wird

(TrinkwV, 2001, DVGW, 2004). Der Begriff „systemisch“ meint die Tatsache, dass es nicht um die Feststellung der Legionellenfreiheit an allen einzelnen Entnahmestellen geht, sondern um eine Stichprobe zur Feststellung einer möglichen Kontamination mit Legionellen in Teilen der Trinkwasser-Installation, die einen Einfluss auf eine größere Anzahl an Entnahmestellen haben kann, insbesondere in den zentralen Teilen wie Trinkwassererwärmungsanlage, Verteilern, Steigsträngen oder Zirkulationsleitungen (Umweltbundesamt, 2012). Eine Probennahme ist unter dem normalen Betriebszustand der Trinkwasser-Installation durchzuführen und eine Probenserie muss immer Proben am Austritt des Trinkwassererwärmers, am Eintritt der Zirkulationsleitung in den Trinkwassererwärmer sowie an einer geeigneten Anzahl repräsentativer peripherer Entnahmestellen umfassen (DVGW W 551).

1.5. Technische Maßnahmen

Hygienegerechte Trinkwasser-Installationen in Gebäuden fachgerecht zu planen, ist eine anspruchsvolle Aufgabe, bei der Kenntnisse über die allgemein anerkannten Regeln der Technik, Hygiene und Gesundheitsschutz vorausgesetzt werden. Dabei gibt es verschiedene Warmwassersysteme, die sich durch die Art der Wassererwärmung unterscheiden. Man spricht von zentraler und dezentraler Wassererwärmung. Bei der zentralen Wassererwärmung wird Wasser in einem Warmwasserspeicher über Wärmetauscher von Primärenergieträgern (Fernwärme, Gas-, Öl- oder elektrische Heizung) auf die eingestellte Solltemperatur erhitzt und gespeichert (Pleischl, 2004). Die Größe der Warmwasserspeicher kann dabei zwischen wenigen Litern und einigen Tausend Litern liegen. Das Warmwasser wird anschließend über das Rohrleitungsnetz im Gebäude verteilt. Zusätzlich ist ein Zirkulationssystem angeschlossen, welches nicht genutztes Warmwasser in den Warmwasserspeicher zurückführt, wodurch sich ein Kreislauf ergibt (Abb. 1).

Allgemein weisen die Trinkwasser-Erwärmungsanlagen und Trinkwasser-Installationssysteme eine große Bandbreite an individuellen Konstruktionsmerkmalen hinsichtlich Aufbau, eingesetzten Materialien und Betriebsweise auf (Pleischl, 2004).

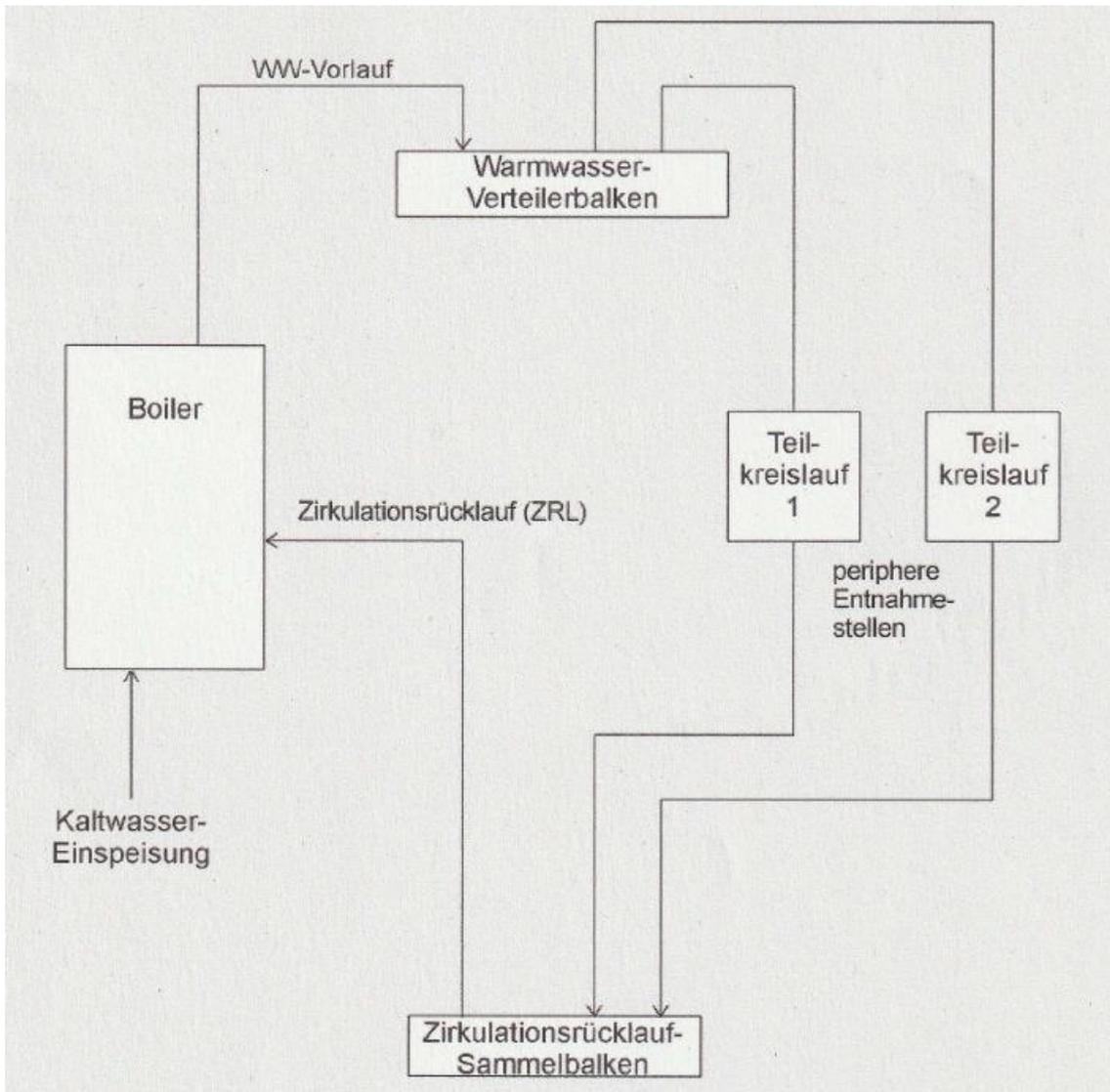


Abb. 1: Warmwassersysteme mit Zirkulationsrücklauf (aus: Pleischl, 2004)

Das Rohrleitungsnetz sollte so einfach und übersichtlich wie möglich aufgebaut werden, möglichst wenige Zapfstellen (Waschbecken, Duschen, sonstige Verbrauchsstellen) und keine Totstränge enthalten (Kistemann, 2012). Trinkwasserleitungen für kaltes und warmes Trinkwasser sollten durch Dämmung oder räumliche Trennung thermisch sicher entkoppelt sein, da sonst durch wechselseitige Beeinflussung die jeweiligen Temperaturen in den kritischen Bereich rutschen können (VDI 6023). Nach technischem Regelwerk sollen Kaltwasserleitungen 25 °C nicht überschreiten (DIN 1988-200). Die Warmwasserleitungen sollten im gesamten System oberhalb von 55 °C liegen (Astitouh, 2012, Mathys und Rickmann, 2005). Am Austritt des Trinkwassererwärmers, dem sogenannten Vorlauf, sollten bei Großanlagen mindestens 60 °C erreicht werden, für Kleinanlagen werden 50 °C gefordert (DVGW

Arbeitsblatt W 551). Außerdem darf die Temperaturdifferenz zwischen dem Austritt des Trinkwassererwärmers und dem Zirkulationswassereintritt 5 K nicht überschreiten (Kistemann, 2012).

Neben den zentralen Wassersystemen gibt es die dezentralen Wassersysteme, bei denen Kaltwasser über das Rohrleitungsnetz verteilt wird und erst kurz vor der Entnahmestelle mittels elektrisch betriebenem Durchlauferhitzer auf die gewünschte Temperatur gebracht wird (Stanke, 2005).

1.6. Fragestellungen dieser Arbeit

In den letzten Jahren führten weltweit zahlreiche Untersuchungen und Experimente zu neuen Erkenntnissen über das Bakterium *Legionella pneumophila* und dessen Auswirkungen auf den Menschen. Meistens konzentrierten sich diese Forschungen auf große Gebäude wie z. B. Krankenhäuser, Hotelanlagen oder Hallenbäder, in denen große Mengen Warmwasser gespeichert werden, und die über ein langes und komplexes Leitungsnetz verfügen (Habicht und Müller, 1986, Leoni et al., 2005, Harmuth, 2006). Untersuchungen über das Vorkommen von Legionellen in privaten Wohnhäusern sind dagegen viel seltener (Bhopal, 1995). Im Rahmen dieser Dissertation sollen Risikofaktoren in Trinkwasser-Installationen für das Vorkommen von Legionellen identifiziert werden. Durch Auswertung eines großen Datensatzes, in dem vor allem Mehrfamilienhäuser untersucht wurden, soll ermittelt werden, ob es einerseits signifikante Zusammenhänge zwischen der Legionellenkonzentration und verschiedenen physikalischen Parametern gibt. Andererseits soll ein Fokus auf die technischen Voraussetzungen und Bedingungen der untersuchten Gebäude gelegt werden. Es wird untersucht, ob die Legionellenkonzentration signifikant mit technischen Parametern (Probennahmeort, Entnahmestelle, Entnahmearmatur der Trinkwasserprobe) korreliert.

2. Material und Methoden

2.1. Herkunft und Umfang des Untersuchungsmaterials

2.1.1. Untersuchte Objekte

Von einem deutschlandweit operierenden Trinkwasserkontrolldienstleister (Water Control, Hannover) wurden 5.694 Objekte (Gebäude) auf das Vorkommen von Legionellen untersucht. Folgende Gebäudearten sind in dem Datensatz (Excel-Tabelle) enthalten:

- Ein- und Mehrfamilienwohnhäuser (88,6 %)
- Öffentliche Gebäude (7,0 %)
- Gewerbeobjekte (3,4 %)
- Sonstige (Sozialgebäude, Pflegeheime, Medizinische Einrichtungen, Hoch- und Reihenhäuser) (1,0 %)

Bei den Gebäuden handelt es sich ganz überwiegend um Ein- und Mehrfamilienwohnhäuser. Die Untersuchungen wurden aus Gründen des vorsorglichen Gesundheitsschutzes unter Bezug auf entsprechende Empfehlungen (Umweltbundesamt, TrinkwV 2001, DVGW) durchgeführt.

2.1.2. Anzahl der untersuchten Proben

Im Zeitraum vom 12.04.2012 bis 14.08.2014 (28 Monate) wurden insgesamt 32.056 Trinkwasserproben von 11 verschiedenen Probennehmern in diesen Gebäuden entnommen und auf Legionellen untersucht (Abb. 2).

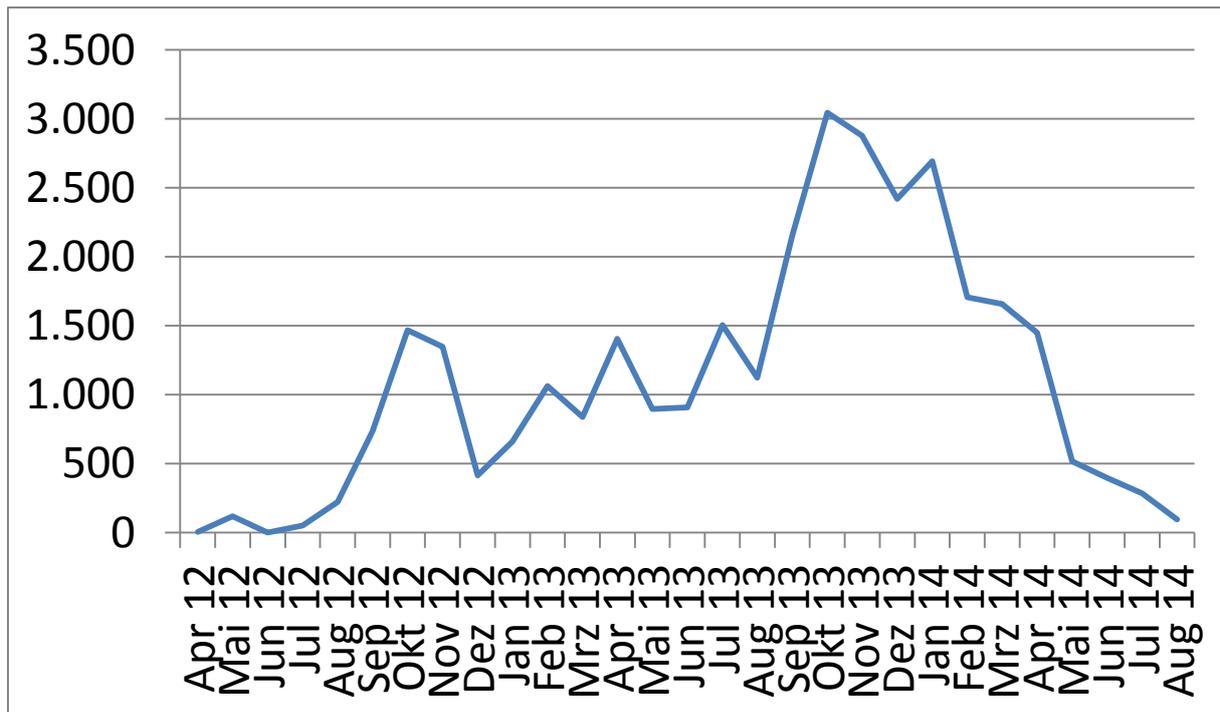


Abb. 2: Monate der Trinkwasserprobenentnahmen

Der Monat mit der höchsten Probenzahl war der Oktober 2013, in dem insgesamt 3.044 Trinkwasserproben untersucht wurden.

2.1.3. Probennehmer

Der untersuchte Datensatz, in Form einer Excel-Tabelle, des deutschlandweit operierenden Trinkwasserkontrolldienstleisters (Water Control, Hannover) wurde von insgesamt 11 verschiedenen Probennehmern zusammengestellt. Die Probennehmer entnahmen 221-6.355 Trinkwasserproben (Abb. 3). Von 32.056 untersuchten Trinkwasserproben waren 18 ohne Angabe des Probennehmers.

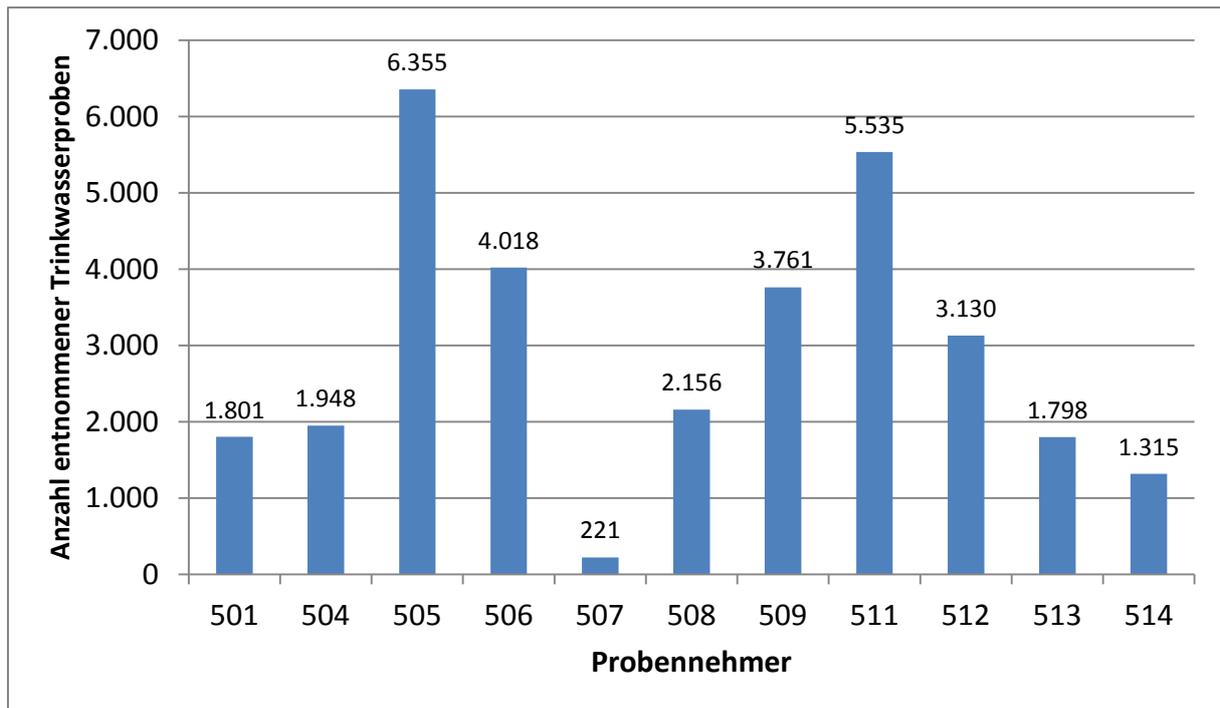


Abb. 3: Anzahl der entnommenen Trinkwasserproben je Probennehmer

2.2. Probennahmestellen

Seit 2012 sind mit der Änderung der Trinkwasserverordnung erstmalig Betreiber von Trinkwasser-Installationen gesetzlich verpflichtet, jährlich systemische Untersuchungen auf Legionellen durchführen zu lassen, wenn es sich im Sinne der allgemein anerkannten Regeln der Technik um Großanlagen handelt, die Anlage Duschen oder andere Einrichtungen enthält, in denen es zu Vernebelung des Trinkwassers kommt und wenn Trinkwasser im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit abgegeben wird (TrinkwV, 2001). Hierbei sind Gebäude wie z. B. Krankenhäuser, Schulen, Kindergärten, Sportanlagen, Pflegeheime, Hotels und Gaststätten gemeint, in denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird (Kistemann, 2012). Bei Mehrfamilienhäusern ist die Voraussetzung zur systemischen Untersuchung die gewerbliche Tätigkeit oder die Abgabe von Wasser für die Öffentlichkeit. Die systemische Untersuchung gemäß § 14 Absatz 3 der Trinkwasserverordnung 2001 entspricht einer orientierenden Untersuchung, wie sie im DVGW Arbeitsblatt W 551 Abschnitt 9.1 beschrieben wird. In jeder Trinkwasser-Installation sind im Rahmen der orientierenden Untersuchung am Abgang der Leitung für Trinkwasser (warm) vom Trinkwassererwärmer sowie am Eintritt der

Zirkulationsleitung in den Trinkwassererwärmer Proben zu entnehmen. Zusätzlich sind Proben an den Steigsträngen in der Peripherie zu entnehmen, die möglichst weit von der zentralen Trinkwassererwärmung entfernt liegen (Abb. 4).

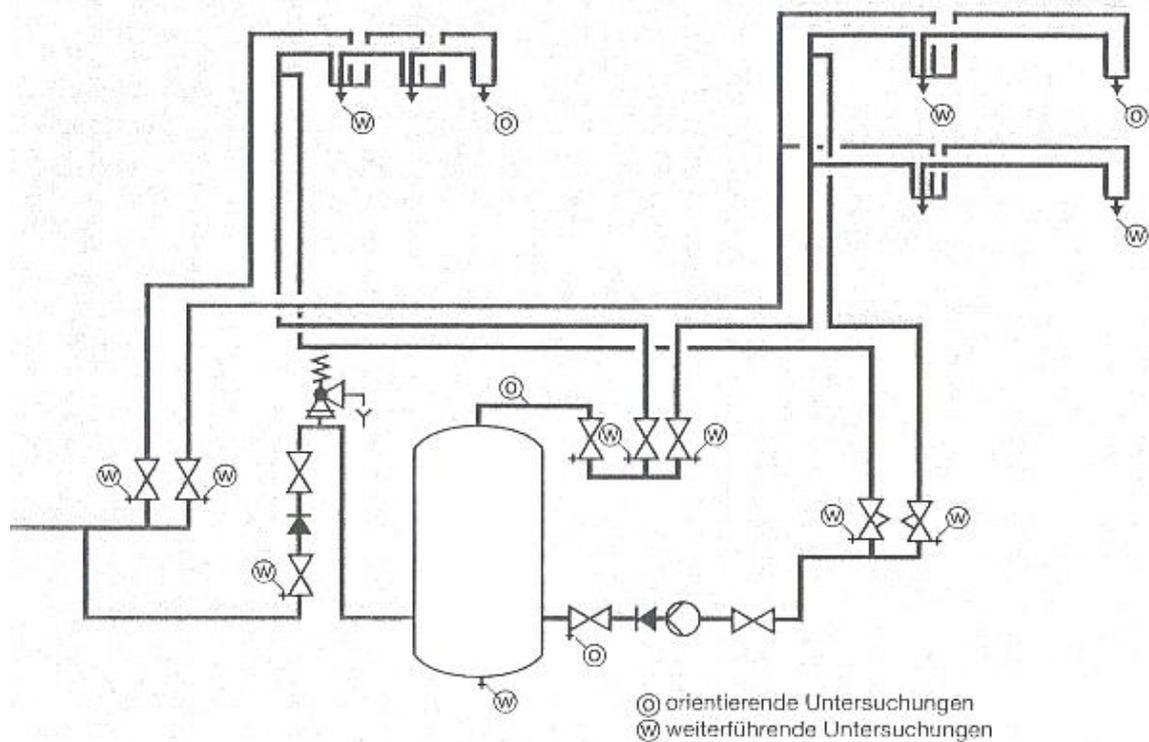


Abb. 4: Anordnung von Probennahmestellen in Trinkwasser-Installationen (aus: Kistemann, 2012)

Dies bedeutet, dass nicht alle Steigstränge zu beproben sind, sondern dass die beprobten Steigstränge eine Aussage über die nicht beprobten Steigstränge zulassen, weil sie z. B. ähnlich gebaut sind oder gleichartige Gebäudeareale versorgen. Es geht um eine repräsentative Stichprobe zur Feststellung einer möglichen Kontamination mit Legionellen.

Die Festlegung der Probennahmestellen ist generell durch hygienisch-technisch geschultes und kompetentes Personal mit nachgewiesener Qualifikation, wie z. B. DVGW-Schulung oder Schulung nach VDI 6023, zu treffen (Umweltbundesamt, 2012).

Wird der technische Maßnahmenwert in mindestens einer Probe einer orientierenden Untersuchung überschritten, so hat die Aufklärung der Kontaminationsursache mit weiterführenden Untersuchungen (Ortsbesichtigung, Gefährdungsanalyse, Abhilfemaßnahmen) zeitnah zu erfolgen.

2.3. Probennahme

Die Probennahme hat gemäß DIN EN ISO 19458 zu erfolgen. Zunächst ist es notwendig, die Rohrleitungen, Armaturen und Geräte auf äußere Schäden oder Verkalkungen optisch zu überprüfen. Verschmutzungen wie Schleim, Schmiermittel, Algen oder andere Dinge müssen unbedingt von der Außenseite der Entnahmearmatur entfernt werden. Ebenso müssen Strahlregler (Perlatoren), Dichtungen und sonstige Anbauten entfernt werden. Anschließend kommt es zur thermischen bzw. chemischen Desinfektion. Bei der thermischen Desinfektion wird der Zapfhahn durch Abflammen desinfiziert, bis beim Öffnen ein deutliches Zischgeräusch zu hören ist. Bei einigen Trinkwasser-Installationen ist allerdings ein Abflammen nicht möglich, da sie z. B. aus Kunststoff bestehen. In diesen Fällen wird die Entnahmearmatur von außen und innen mit 70 %-iger Iso-Propanol-Lösung chemisch desinfiziert, wobei Einwirkzeiten einzuhalten sind.

Anschließend kommt es zur Entnahme der Wasserprobe. Hierbei werden 3 verschiedene Fragestellungen (A, B, C) unterschieden. Die in dieser Dissertation untersuchten Wasserproben wurden nach Fragestellung B (Zweck B) erhoben. Hierbei geht es darum, eventuelle systemische Verkeimungen, die z. B. durch fehlerhafte Installationen, Totstränge, mangelhafte Isolierung auftreten, zu entdecken. Trinkwasser-Installationen für Warmwasser sind getrennt von Trinkwasser-Installationen für Kaltwasser zu beproben. Die Beprobung von Mischwasser ist zu vermeiden.

Die Entnahmearmatur wird durch Ablauf von 1 Liter Trinkwasser gespült und direkt anschließend erfolgt die Probennahme in einen sterilen Probenbehälter. Die Wassertemperatur wird mit einem kalibrierten Thermometer gemessen. Anschließend lässt man weiter Trinkwasser aus der Entnahmearmatur bis zur Temperaturkonstanz in einen Messbecher ablaufen und dokumentiert die konstante Wassertemperatur. Die Menge des abgelaufenen Wassers darf 3 Liter nicht überschreiten.

2.4. Untersuchung auf Legionellen

Die Untersuchung auf Legionellen in den Proben erfolgt nach der Empfehlung des Umweltbundesamts gemäß DIN EN ISO 11731. Dabei wird zwischen dem Membranfiltrationsverfahren und dem Direktansatz unterschieden.

Beim Membranfiltrationsverfahren werden 100 ml der Trinkwasserprobe durch einen Filter (Porengröße 45 µm) filtriert und dann zur Beseitigung der Begleitflora 5 min mit Säure behandelt. Die Filtermembran wird anschließend in eine Petrischale mit GVPC-Agar bzw. BCYE-Agar gelegt.

Alternativ können im Direktansatz jeweils 2 mal 0,5 ml der Trinkwasserprobe auf 2 Petrischalen mit GVPC-Agar oder BCYE-Agar im Spatelverfahren ausplattiert werden.

Die Petrischalen werden dann konstant bei $36 \pm 2^\circ\text{C}$ im Brutschrank 10 Tage inkubiert und die gewachsenen Kolonien können als helle Punkte ausgezählt werden. Falls Kolonien gewachsen sind, werden zur Bestätigung einzelne Kolonien für weitere 2 Tage auf cysteinhaltigem BCYE-Agar und auf cysteinfreiem Agar subkultiviert. Sollten auf dem cysteinfreiem Medium keine Kolonien wachsen, handelt es sich um Legionellen.

2.5. Statistische Auswertung

Die statistische Erfassung und Auswertung der Daten erfolgte mittels geeigneter Software (IBM SPSS Statistics 22, Microsoft Office Excel 2007). Zunächst wurde eine explorative Datenanalyse durchgeführt, um Fehler bei der Dateneingabe zu erkennen. Der Excel-Datensatz wurde in eine einheitliche Form gebracht. Es wurden nur Routineproben berücksichtigt. Nachproben und Daten über Gebäude, in denen keine Probe entnommen wurde, wurden verworfen. Desweiteren wurden Routineproben aus dezentralen Wassersystemen und unklare oder nicht plausible Daten ebenfalls nicht berücksichtigt.

Der statistische Zusammenhang der einzelnen Merkmale wurde mithilfe des Pearson-Chi-Quadrat-Tests ermittelt. P-Werte $< 0,05$ wurden als statistisch signifikant angesehen.

Es wurden Kreuztabellen, die auch Kontingenztafeln genannt werden, und Mehrfelder-Tafeln erstellt. In einer Kreuztabelle werden die Häufigkeitsverteilungen von zwei Variablen dargestellt und analysiert. Die Kreuztabelle eignet sich sowohl für nominal- und ordinalskalierte, als auch für gruppierte metrische Variablen (Kuckartz et al., 2013).

Aus einer Risikoschätzung wurde zudem das Odds-Verhältnis (Odds Ratio) der einzelnen Merkmale berechnet. Damit ist eine statistische Maßzahl gemeint, die etwas über die Stärke eines Zusammenhangs von zwei Merkmalen aussagt. Ein Odd ist vergleichbar mit einer Wettchance und entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt, im Verhältnis zur Wahrscheinlichkeit, dass es nicht eintritt (Kuckartz et al., 2013). Es gilt $Odd = 1$, wenn die Wahrscheinlichkeit, dass ein Ereignis eintritt genauso groß ist, wie die Wahrscheinlichkeit, dass es nicht eintritt.

Um zu testen, ob ein Zusammenhang zwischen mehreren unabhängigen Variablen und einer binären abhängigen Variablen besteht, wurde eine logistische Regression durchgeführt. Binär bedeutet, dass die abhängige Variable nur 2 Ausprägungen hat, demnach dichotom ist. In diesem Fall sind die beiden Ausprägungen „ > 100 KBE/100 ml“ und „ ≤ 100 KBE/100 ml“ bzw. anders ausgedrückt „überschreitet den technischen Maßnahmenwert für Legionellen“ und „überschreitet nicht den technischen Maßnahmenwert für Legionellen“.

Bei den unabhängigen Variablen, die auch Prädiktoren genannt werden, handelt es sich um die Wassertemperaturen bei Entnahme sowie bei Erreichen von Temperaturkonstanz, die Entnahmestelle und die Wassertrübheit. Mithilfe der logistischen Regressionsanalyse lässt sich bestimmen, inwieweit einzelne Prädiktoren geeignet sind, das Kriterium „auffällige Trinkwasserprobe“ vorherzusagen. Dafür wurde ein rückwärts bedingtes Modell gewählt, die Wahrscheinlichkeit für den Einschluss wurde auf $p = 0,1$ gelegt. Die statistische Absicherung ermittelt der Wald-Test, der dem t-Test äquivalent ist. Über den Standardfehler prüft der Wald-Test, ob die einzelnen Variablen einen signifikanten Einfluss haben. Zur Beurteilung der Modellgüte einer logistischen Regression kann das sogenannte R-Quadrat bestimmt werden. Es gibt eine große Anzahl verschiedener R-Quadrate. R-Quadrate setzen das „Nullmodell“ mit dem gewählten Modell in Beziehung und geben die proportionale Fehlerreduktion an. Das Programm SPSS nutzt das Cox und Snell R-Quadrat und das Nagelkerkes R-Quadrat. Das

Nagelkerkes R-Quadrat standardisiert dabei das Cox und Snell R-Quadrat, so dass es ausschließlich Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Je höher der R-Quadrat-Wert, desto besser die Passung zwischen Modell und Daten.

Um die Analyse-Strategien zu bewerten und zu optimieren, wurden zusätzlich Receiver-Operating-Characteristic-Kurven (ROC-Kurven), die auch Grenzwert-optimierungskurven genannt werden, erstellt. Die ROC-Kurven stellen visuell die Abhängigkeit der Effizienz mit der Fehlerrate für verschiedene Parameter dar. Diese Methode kann bei dichotomen Merkmalen eingesetzt werden, um den bestmöglichen Wert eines Parameters zu finden.

Die ideale ROC-Kurve steigt zunächst senkrecht an und erreicht dann ein Plateau bei hoher Sensitivität. Eine ROC-Kurve nahe der Diagonalen deutet hingegen auf einen Zufallsprozess hin. Ein Maß für die Qualität des Tests ist dabei die Fläche unterhalb der Kurve, auch Area under the curve (AUC) genannt. Eine Fläche mit einem Wert von 1 steht für perfekte Sensitivität (Rate der richtig positiven Proben) und perfekte Spezifität (Rate der falsch positiven Proben). Der AUC-Wert kann demnach als Wahrscheinlichkeit interpretiert werden, dass ein positiver Wert auch tatsächlich als solcher klassifiziert wird.

3. Ergebnisse

3.1. Übersicht

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über die verschiedenen Parameter des Datensatzes, die analysiert und ausgewertet werden konnten. Es ist die Anzahl der gültigen Fälle (N) dargestellt, um einen Eindruck über die Stärke und Größe des Datensatzes zu geben. Im Folgenden werden die Parameter im Einzelnen beschrieben.

Tab. 2: Übersicht

	N	Fehlend	Gesamt
Entnahmestelle	32.056	0	32.056
Raum	19.625	12.431	32.056
Stockwerk	28.568	3.488	32.056
Entnahmematur	21.045	115	21.159
Legionellennachweis	32.056	0	32.056
Wassertemperatur bei Entnahme	32.043	13	32.056
Konstante Wassertemperatur	32.037	19	32.056
Wassertrübheit	31.852	204	32.056
Probennehmer	32.038	18	32.056

N = Anzahl an gültigen Fällen

3.2 Probennahmeort

3.2.1. Stockwerk

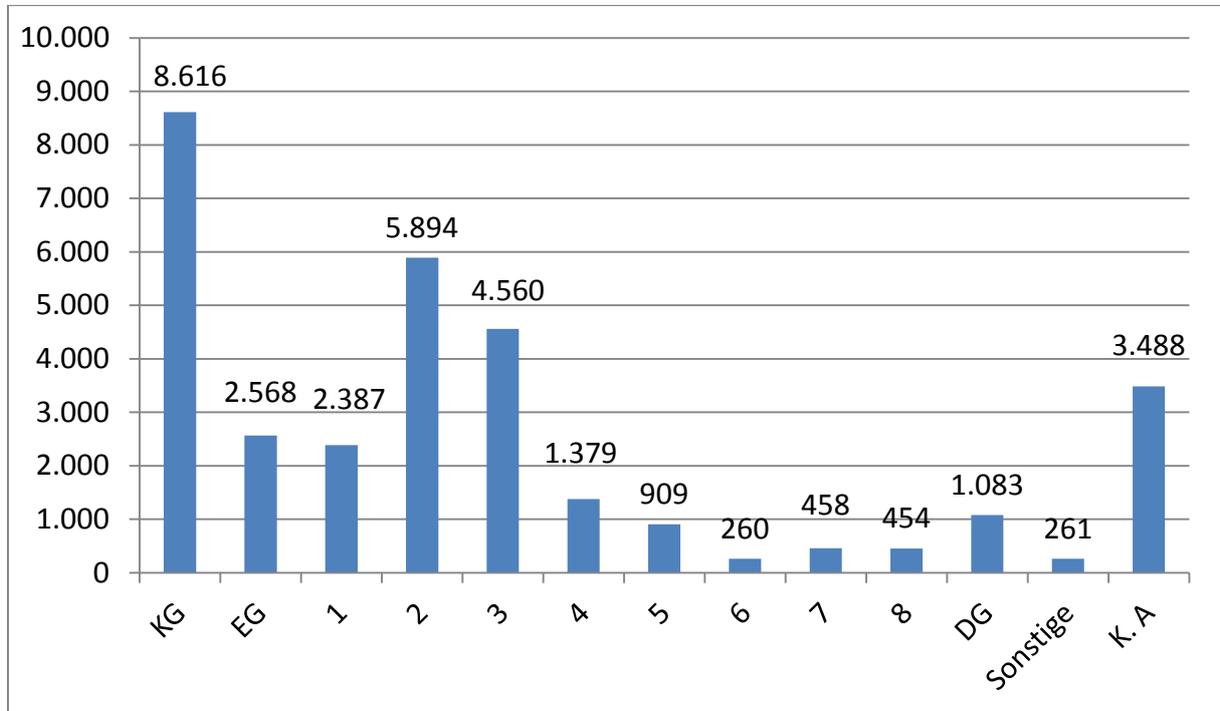


Abb. 5: Anzahl der Trinkwasserproben bezogen auf das Stockwerk als Probennahmeort. KG = Kellergeschoss, EG = Erdgeschoss, DG = Dachgeschoss, K.A. = keine Angabe

Tab. 3: Relative Häufigkeit [%] der Trinkwasserproben bezogen auf das Stockwerk (bezogen auf die Gesamtzahl von 32.056 Trinkwasserproben).

KG	EG	1	2	3	4	5	6	7	8	DG	Sonstige	K. A.
26,9	8,0	7,4	18,4	14,2	4,3	2,8	0,8	1,4	0,6	3,4	0,8	10,9

KG = Kellergeschoss, EG = Erdgeschoss, DG = Dachgeschoss, K. A. = keine Angabe.

Die meisten Trinkwasserproben wurden im Kellergeschoss entnommen. Insgesamt waren es dort absolut gesehen 8.616 Trinkwasserproben, was einer relativen Häufigkeit von 26,9 % entspricht (Abb. 5 und Tab. 3).

Die zweitgrößte Anzahl an Trinkwasserproben wurde im 2. Stockwerk der Gebäude entnommen. Hier waren es 5.894 Trinkwasserproben, was einer relativen Häufigkeit von 18,4 % entspricht.

Dann folgt das 3. Geschoss der Gebäude. Dort waren es 4.560 Trinkwasserproben mit einer relativen Häufigkeit von 14,2 %.

Von 32.056 Trinkwasserprobenentnahmen wurde bei 3.488 Proben (10,9 %) keine Angabe gemacht, in welchem Stockwerk die Proben entnommen wurden.

3.2.2. Raum

Im Datensatz finden sich insgesamt drei verschiedene Angaben über den Raum, in dem die Trinkwasserproben entnommen wurden. In mehr als der Hälfte der Fälle geschah dies in den Badezimmern der Gebäude. Hier wurden insgesamt 18.773 Trinkwasserproben entnommen, was 58,6 % entspricht (Abb. 6).

In 12.431 Fällen (38,8 %) wurde keine Angabe über den Entnahmeraum der Trinkwasserprobe gemacht. Diese Zahl ergibt sich überwiegend aus den Vor- und Rücklaufproben (insgesamt 10.897 Proben) (Abb. 7). 852 (2,7 %) Probenentnahmen erfolgten in Küchen.

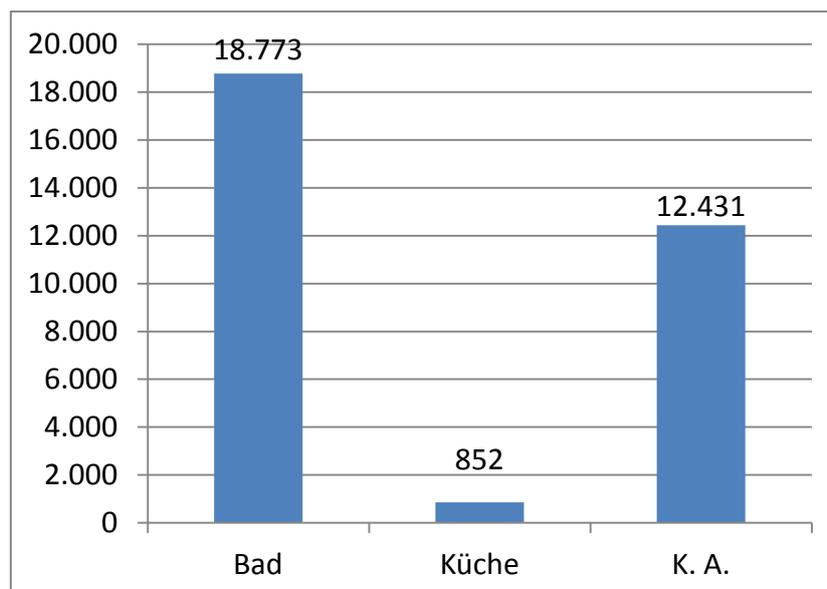


Abb. 6: Entnahmeort der Trinkwasserproben bezogen auf den Raum. K.A. = keine Angabe

3.3. Entnahmestelle

In jeder Trinkwasser-Installation sind im Rahmen der orientierenden Untersuchung am Abgang der Leitung für Trinkwasser (warm) vom Trinkwassererwärmer, dem sogenannten Vorlauf, sowie am Eintritt der Zirkulationsleitung in den Trinkwassererwärmer, am sogenannten Rücklauf, Proben zu entnehmen. Zusätzlich sind Proben an den Steigsträngen in der Peripherie zu entnehmen, die möglichst weit von der zentralen Trinkwassererwärmung entfernt liegen. Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Anzahl der Trinkwasserproben, die an den drei genannten Stellen: Vorlauf, Rücklauf und Steigstrang entnommen wurden.

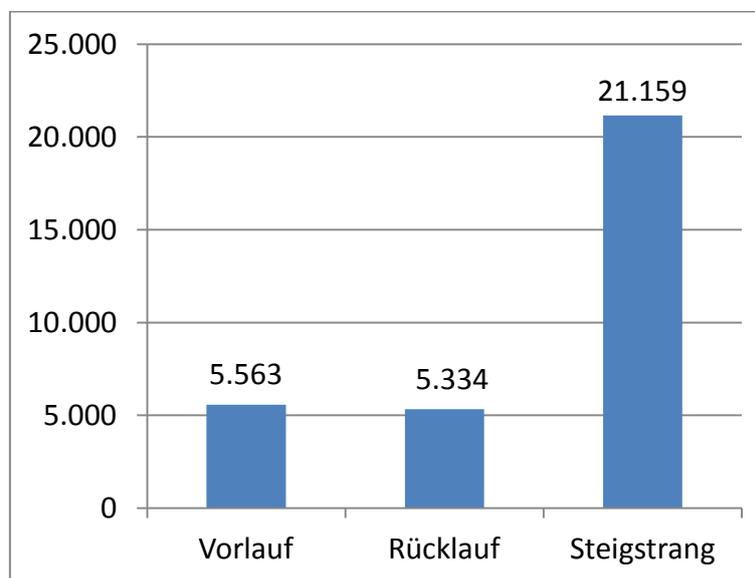


Abb. 7: Anzahl der Trinkwasserproben an den Entnahmestellen: Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang

Die meisten Trinkwasserproben sind an den Steigsträngen der Trinkwasser-Installationen der verschiedenen Gebäude entnommen worden. Insgesamt waren es dort 21.159 Trinkwasserproben, was einer relativen Häufigkeit von 66,0 % entspricht.

Die Trinkwasserproben, die am Vorlauf und am Rücklauf erhoben wurden, liegen mit 5.563 Proben am Vorlauf (17,4 %) in einem ähnlichen Bereich wie die Anzahl der Trinkwasserproben am Rücklauf mit einer absoluten Zahl von 5.334 (16,6 %).

3.4. Entnahmearmatur

Die Trinkwasserprobennahmen an den Steigsträngen in der Peripherie der Trinkwasser-Installationen der Gebäude lassen sich weiter hinsichtlich der Entnahmearmatur unterteilen. Abbildung 8 gibt hier einen Überblick und zeigt, dass mit großem Abstand der meiste Teil der Trinkwasserproben an Steigsträngen an Waschbecken entnommen wurde. Dies war in 19.517 Fällen der Fall (92,2 %).

An Spülen wurden 1.011 Proben erhoben, an Badewannen 310 Proben und in Duschen 207 Trinkwasserproben.

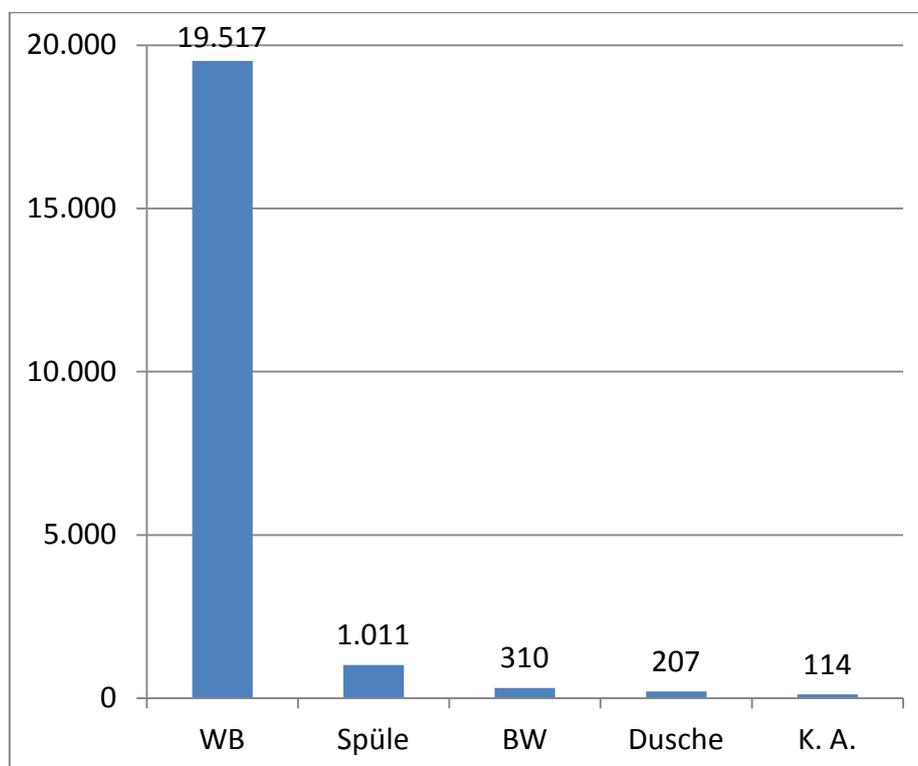


Abb. 8: Entnahmearmatur der Trinkwasserprobenentnahme bezogen auf die 21.159 Steigstränge. WB = Waschbecken, BW = Badewanne, K.A. = keine Angabe

3.5 Legionellen-Häufigkeitsverteilungen

3.5.1. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach Trinkwasserverordnung

Abbildung 9 zeigt die kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach der Trinkwasserverordnung. Die Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) enthält für *Legionella spec.* einen technischen Maßnahmenwert von 100 KBE/100 ml.

Trinkwasserproben, die diesen Wert überschreiten, sind auffällig und erfordern eine weiterführende Untersuchung der entsprechenden Gebäude.

Wie in Abbildung 9 zu sehen ist, überschreiten 1.288 Trinkwasserproben diesen technischen Maßnahmenwert von 100 KBE/100 ml. Bezogen auf die Gesamtzahl an 32.056 Trinkwasserproben entspricht dies einer relativen Häufigkeit von 4,0 %.

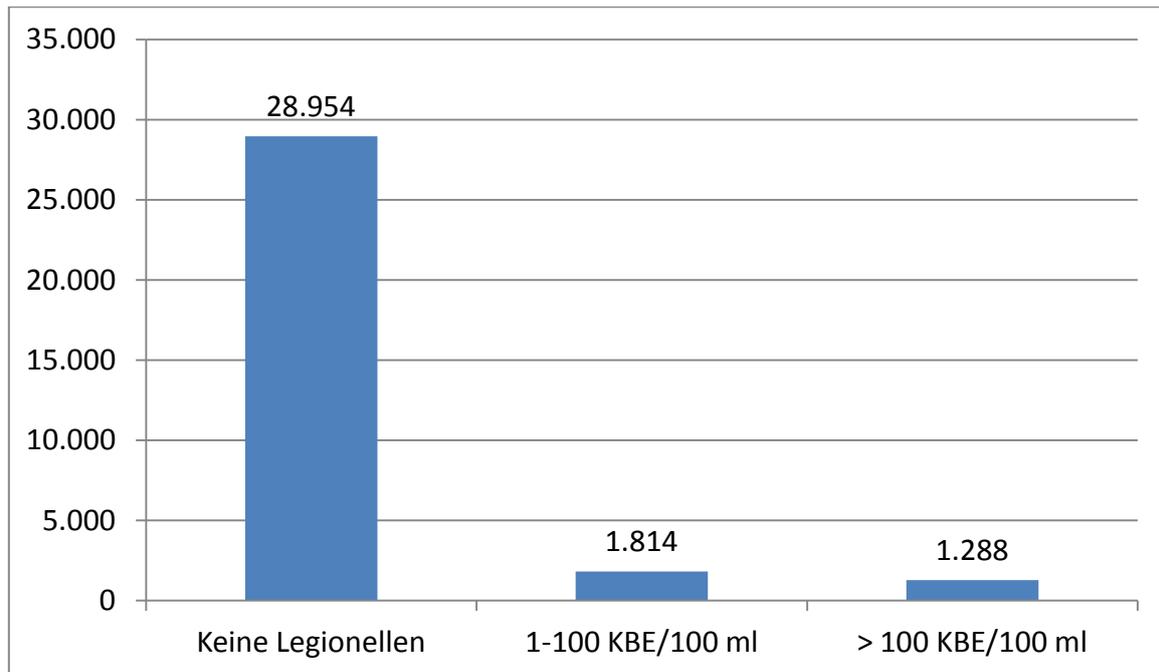


Abb. 9: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach der Trinkwasserverordnung. KBE = Koloniebildende Einheiten

3.5.2. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeit nach DVGW Arbeitsblatt W 551

Im Vergleich zur Trinkwasserverordnung gelten laut des Arbeitsblattes W 551 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) schon Trinkwasserproben ab einem Wert von 100 KBE/100 ml als auffällig und verlangen einer weiterführende Untersuchung.

Wie in Abbildung 10, die die kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach dem DVGW Arbeitsblatt W 551 zeigt, zu sehen ist, erreichen bzw. überschreiten 1.558 Trinkwasserproben diese Grenze. Dies ergibt eine relative Häufigkeit von 4,9 %.

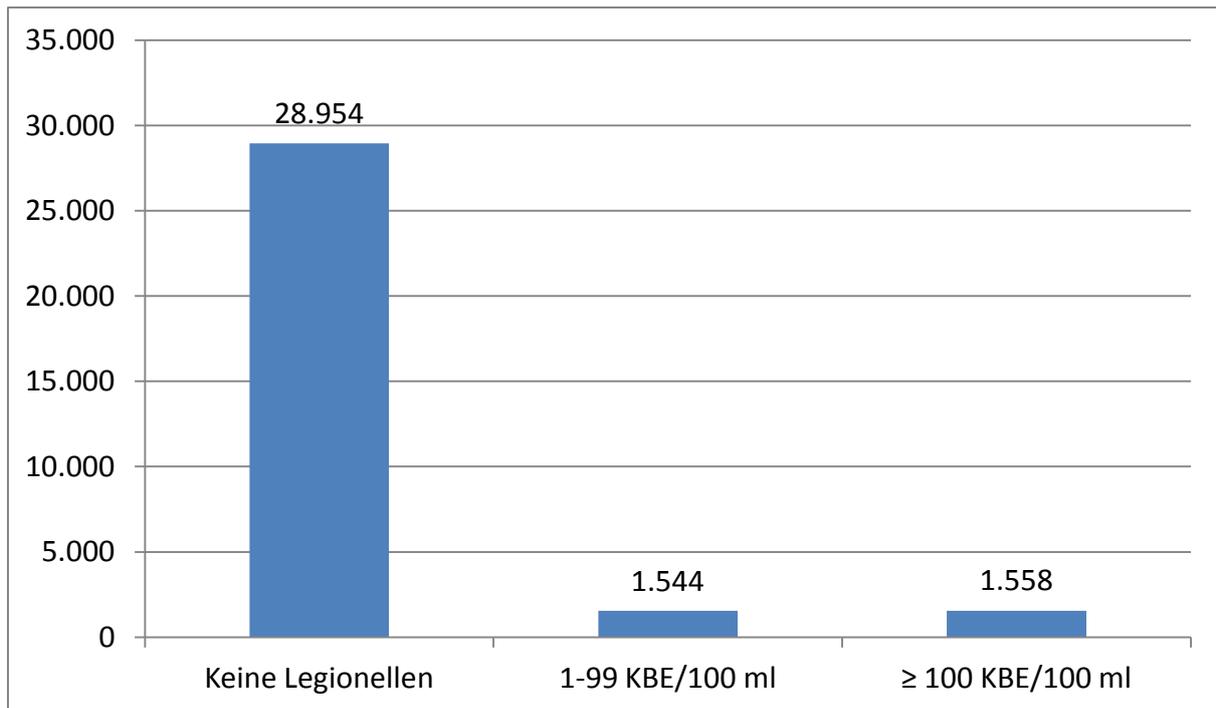


Abb. 10: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach DVGW Arbeitsblatt W 551. KBE = Koloniebildende Einheiten

3.5.3. Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach den Kontaminationsstufen des DVGW

Zur besseren Übersicht lässt sich die Legionellen-Häufigkeit in verschiedene Kontaminationsstufen des DVGW einteilen. Insgesamt werden 5 Kontaminationsstufen unterschieden. Die erste Kontaminationsstufe wird von allen Trinkwasserproben gebildet, in denen keine KBE von *Legionella spec.* pro 100 ml nachweisbar sind. Die nächste Stufe bilden alle Proben, in denen 1-100 KBE/100 ml nachweisbar sind. Man spricht dann von einer geringen Legionellenkontamination. Zu der nächsthöheren Kontaminationsstufe, die eine mittlere Kontamination ausmacht, zählen die Trinkwasserproben mit 101-1.000 KBE/100 ml. Die vorletzte Stufe bilden alle Proben mit 1.001-10.000 KBE/100 ml. Diese Stufe wird als hohe Legionellenkontamination bezeichnet. Die letzte und höchste Stufe schließlich beinhaltet alle Trinkwasserproben mit > 10.000 KBE/100 ml. Wird eine solch hohe Zahl in einer Probe gemessen, spricht man von einer extrem hohen Legionellenkontamination.

Abbildung 11 zeigt, dass in 28.954 Trinkwasserproben (90,3 %) keine Legionellen nachweisbar sind. In 1.814 Fällen (5,7 %) liegt eine geringe Legionellenkontamination vor. In 866 Trinkwasserproben (2,7 %) muss man von einer mittleren Kontamination sprechen und in 373 Fällen (1,2 %) gar von einer hohen Kontamination. 49 Trinkwasserproben (0,2 %) weisen eine extrem hohe Legionellenkontamination auf.

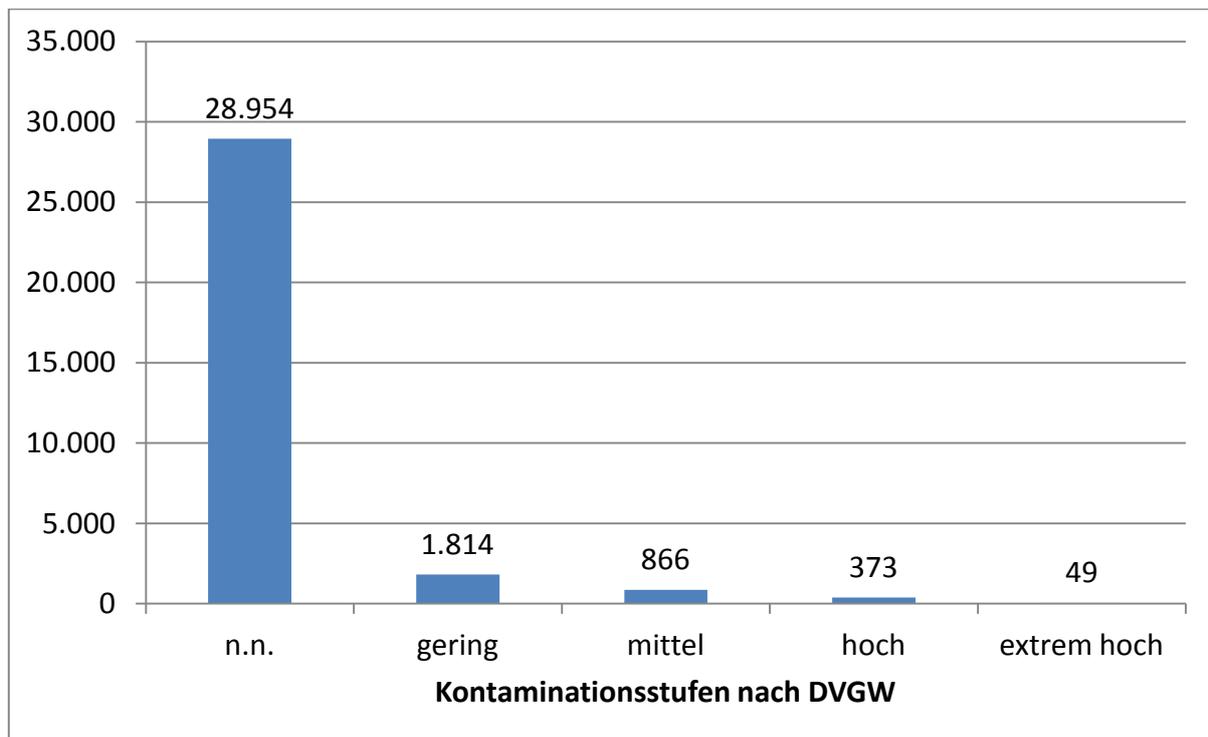


Abb. 11: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach den Kontaminationsstufen des DVGW. n. n. = nicht nachweisbar/keine Kontamination, geringe Kontamination = 1-100 KBE/100 ml, mittlere Kontamination = 101-1.000 KBE/100 ml, hohe Kontamination = 1.001-10.000 KBE/100 ml, extrem hohe Kontamination = >10.000 KBE/100 ml

3.6. Wassertemperatur

Der Datensatz liefert Angaben über zwei verschiedene Wassertemperaturen. Zum einen findet sich die Wassertemperatur bei Entnahme der Trinkwasserprobe und zum anderen ist die Wassertemperatur bei Erreichen der Temperaturkonstanz gegeben. Die Messung der Temperaturen erfolgt wie unter Abschnitt 2.3. bei der korrekten Probennahme beschrieben. Tabelle 4 gibt eine Übersicht über die statistischen Kennwerte der Wassertemperaturen.

Tab. 4: Statistische Kennwerte der Entnahmetemperatur und der Temperaturkonstanz

		Legionellen ≤ 100 KBE (n = 30.756)	Legionellen > 100 KBE (n = 1.288)	
Wasser- temperatur [°C]	Mittelwert \pm SD	Mittelwert \pm SD	Mittelwert \pm SD	p
Entnahme	50,3 \pm 9,2	50,6 \pm 9,1	43,5 \pm 8,3	<0,05
Konstant	56,8 \pm 6,6	57,0 \pm 6,5	51,6 \pm 6,6	<0,05

SD = Standardabweichung, KBE = Kolonie-bildende Einheit, p = Wahrscheinlichkeit

Bei der Wassertemperatur nach Erreichen der Temperaturkonstanz findet sich mit 56,8 °C ein höherer Mittelwert im Vergleich zu 50,3 °C bei der Entnahmetemperatur.

Auffällig ist der Bezug der Wassertemperaturen zu der Legionellenanzahl in den Trinkwasserproben, die in KBE/100 ml angegeben ist. Sowohl bei der Wassertemperatur bei Entnahme der Probe, als auch bei der konstanten Wassertemperatur sind die Trinkwasserproben, die über dem technischen Maßnahmenwert für Legionellen von 100 KBE/100 ml liegen, signifikant kälter als die Zahl der Trinkwasserproben, die < 100 KBE/100 ml aufweisen. Bei der Wassertemperatur bei Entnahme weisen die auffälligen Proben im Mittel nur eine Wassertemperatur von 43,5 °C gegenüber der durchschnittlichen Wassertemperatur von 50,6 °C bei den unauffälligen Proben auf. Es resultiert eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von 7,1 °C.

Auch bei der Wassertemperatur nach Erreichen der Temperaturkonstanz haben die Trinkwasserproben mit erhöhter Legionellenkonzentration mit 51,6 °C und einer Differenz von 5,4 °C eine signifikant niedrigere Wassertemperatur als die Trinkwasserproben, die den technischen Maßnahmenwert nicht überschreiten (im Mittel 57,0 °C).

3.6.1. Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Entnahme

Abbildung 12 gibt einen Überblick über die Wassertemperatur bei Entnahme der Trinkwasserprobe, die zu Kategorien zusammengefasst ist.

Die meisten Trinkwasserproben hatten bei Entnahme eine Wassertemperatur, die zwischen 50 bis < 55 °C liegt. Insgesamt waren dies 9.152 Trinkwasserproben. Danach folgen die Kategorien mit Wassertemperaturen zwischen 55 bis < 60 °C mit einer absoluten Zahl von 6.927 und die Kategorie mit Wassertemperaturen zwischen 45 bis < 50 °C mit einer Gesamtzahl von 6.088 Proben.

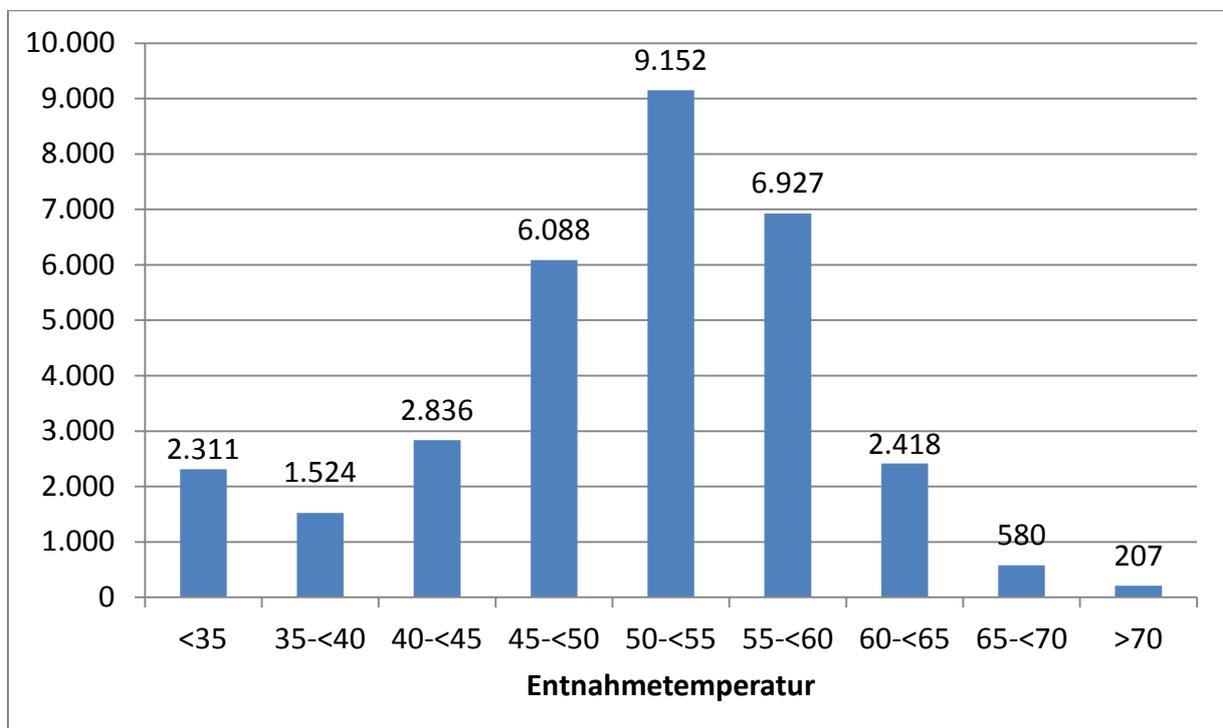


Abb. 12: Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Entnahme. Von 32.056 Werten fehlten 13 Werte.

3.6.2. Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Erreichen von Temperaturkonstanz

Betrachtet man hingegen Abbildung 13, in der die Wassertemperatur-Kategorien der Konstanz-Wassertemperatur zu finden sind, so verschiebt sich das Maximum in die Kategorie 55 bis < 60 °C mit einer absoluten Zahl von 11.984 Proben.

Die zweitmeisten Trinkwasserproben haben eine konstante Wassertemperatur von 50 bis < 55 °C (7.697 Proben), vor der Kategorie 60 bis < 65 °C mit 6.535 Proben.

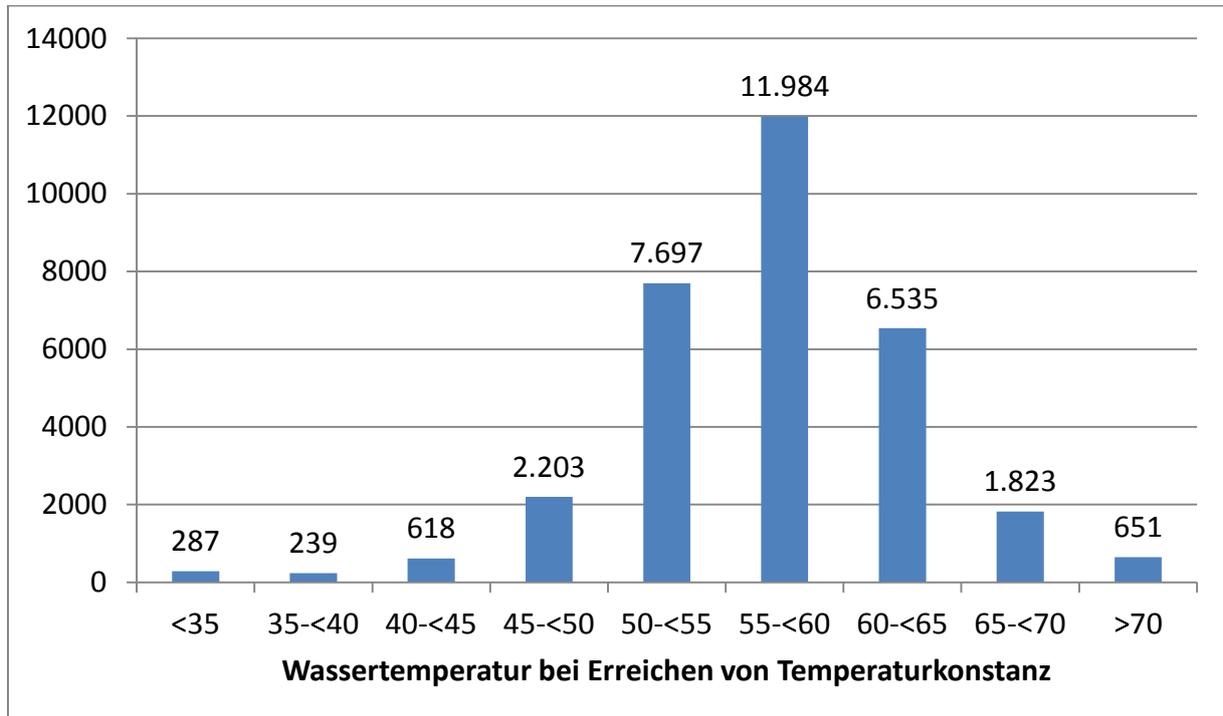


Abb. 13: Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Erreichen von Temperaturkonstanz. Von 32.056 Werten fehlten 19 Werte.

3.7. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang)

Betrachtet man in Tabelle 5 das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestellen (Vorlauf, Rücklauf und Steigstrang), so fällt auf, dass von 21.159 Trinkwasserproben an den Steigsträngen 1.201 Proben (5,7 %) über dem technischen Maßnahmenwert für Legionellen liegen. 94,3 % weisen keine erhöhten Legionellen-Werte auf. Von 5.334 Rücklauf-Trinkwasserproben haben 53 (1,0 %) eine zu hohe Legionellenkonzentration. Bei den 5.563 Trinkwasserproben vom Vorlauf liegen nur 34 Proben über dem technischen Maßnahmenwert, was 0,6 % entspricht. Diese Unterschiede der Anzahl an auffälligen Proben zwischen den zentralen Proben am Vorlauf und Rücklauf und den peripheren Proben an den Steigsträngen sind statistisch signifikant ($p < 0,001$).

Tabelle 5 gibt außerdem einen Überblick über die durchschnittliche gemessene Wassertemperatur bei Entnahme und bei Erreichen der Temperaturkonstanz an den

jeweiligen Entnahmestellen. Hierbei haben die Trinkwasserproben am Vorlauf mit 57,5 °C die im Mittel höchste Wassertemperatur bei Entnahme und mit einer durchschnittlichen Wassertemperatur von 59,5 °C nach Erreichen der Temperaturkonstanz ebenfalls den höchsten Wert.

Die Wassertemperatur bei Entnahme bei den Steigsträngen liegt mit mittleren 47,5 °C deutlich niedriger. Betrachtet man an den Steigsträngen aber die konstante Wassertemperatur, so liegt diese mit durchschnittlich 56,3 °C über der mittleren konstanten Wassertemperatur am Rücklauf mit 55,8 °C.

Tab. 5: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang) nach TrinkwV

	N	WT-Entnahme [°C] (Mittelwert + SD)	WT-Konstant [°C] (Mittelwert + SD)	Legionellen ≤ 100 KBE/100 ml	Legionellen > 100 KBE/100 ml
Vorlauf	5.563	57,5 ± 6,0	59,5 ± 6,4	5.529 (99,4 %)	34 (0,6 %)
Rücklauf	5.334	54,0 ± 5,9	55,8 ± 5,9	5.281 (99,0 %)	53 (1,0 %)
Steigstrang	21.159	47,5 ± 9,2	56,3 ± 6,6	19.958 (94,3 %)	1.201 (5,7 %)

Vergleicht man nun diese Werte mit den Maßgaben des DVGW und geht von einer Grenze von ≥ 100 KBE/100 ml aus, so ergeben sich beim Legionellennachweis kleine Unterschiede, die in Tabelle 6 dargestellt sind.

Tab. 6: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang) nach DVGW

	N	WT- Entnahme [°C] (Mittelwert + SD)	WT- Konstant [°C] (Mittelwert + SD)	Legionellen < 100 KBE/100 ml	Legionellen ≥ 100 KBE/100 ml
Vorlauf	5.563	57,5 ± 6,0	59,5 ± 6,4	5.519 (99,2 %)	44 (0,8 %)
Rücklauf	5.334	54,0 ± 5,9	55,8 ± 5,9	5.261 (98,6 %)	73 (1,4 %)
Steigstrang	21.159	47,5 ± 9,2	56,3 ± 6,6	19.718 (93,2 %)	1.441 (6,8 %)

Demnach überschreiten bzw. erreichen von insgesamt 5.563 Proben am Vorlauf 44 (0,8 %) den Grenzwert für Legionellen. Von den 5.334 Rücklauf-Proben erreichen 73 (1,4 %) Proben den Grenzwert. An den Proben an den Steigsträngen, die mit 21.159 den Großteil der Proben ausmachen, zeigen nach DVGW 1.441 (6,8 %) auffällige Werte. Die Unterschiede sind ebenfalls im Chi-Quadrat-Test (nach Pearson) statistisch signifikant ($p < 0,001$).

3.8. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmearmatur

Der Datensatz gibt bei den Trinkwasserproben an den Steigsträngen noch eine genauere Angabe über die Entnahmearmatur. Einen Überblick gibt hierzu Tabelle 7, die den technischen Maßnahmenwert nach der Trinkwasserverordnung zugrunde legt. Die mit Abstand häufigsten Entnahmearmaturen, an denen Proben entnommen wurden, waren Wasserhähne an Waschbecken. Von den 19.517 Proben liegen 1.117 Proben über Grenzwert für Legionellen. Dies entspricht 5,7 %. Die Trinkwasserproben, die an Spülen oder der Badewanne entnommen wurden, liegen relativ gesehen mit 4,6 % und 5,2 % an auffälligen Proben in einem ähnlichen Bereich. Den höchsten relativen Wert an auffälligen Proben erreichen die Entnahmen an Duschen mit 6,8 %.

Tabelle 7 gibt außerdem den Mittelwert der Wassertemperatur bei Entnahme und bei Erreichen der Temperaturkonstanz an, bezogen auf die jeweilige Entnahmemarmatur. Hierbei ist auffällig, dass bei den Probennahmen an den Duschen sowohl bei Entnahme, als auch bei Erreichen der Temperaturkonstanz mit 39 °C und 51 °C die niedrigsten Wassertemperaturen auftreten. Die anderen Entnahmemarmaturen (Waschbecken, Spüle, Badewanne) liegen mit durchschnittlich 47,7 °C, 47,7 °C bzw. 46,7 °C bei Entnahme und 56,5 °C, 55,0 °C bzw. 56,2 °C bei konstanter Wassertemperatur sehr nahe beieinander. In 114 Fällen wurde keine Angabe über die Entnahmemarmatur gemacht.

Tab. 7: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmemarmatur bezogen auf die 21.159 Steigstränge nach TrinkwV.

	N	WT- Entnahme [°C] (Mittelwert + SD)	WT- Konstant [°C] (Mittelwert + SD)	Legionellen ≤ 100 KBE/100 ml	Legionellen > 100 KBE/100 ml
Steigstrang	21.159				
Waschbecken	19.517	47,7 ± 9,1	56,5 ± 6,4	18.400 (94,2 %)	1.117 (5,7 %)
Spüle	1.011	47,7 ± 10,6	55,0 ± 8,6	964 (95,3 %)	47 (4,6 %)
Badewanne	310	46,7 ± 9,3	56,2 ± 7,3	294 (94,8 %)	16 (5,2 %)
Dusche	207	39,0 ± 10,6	51,0 ± 9,4	193 (93,2 %)	14 (6,8 %)

3.9. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertrübheit

Der Datensatz gibt desweiteren Auskunft über die Farbe des Wassers bei der Probennahme. Es wird unterschieden zwischen klar, trüb und sehr trüb. Aufgrund einer sehr geringen Anzahl an sehr trüben Proben, wurden Einschätzungen „trüb“ und „sehr trüb“ als „trüb“ zusammen gefasst. Einen Überblick gibt Tabelle 8, in der gegenüberstellend der technische Maßnahmenwert nach der Trinkwasserverordnung und nach dem DVGW beschrieben wird.

Tab. 8: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertrübheit nach DVGW und TrinkwV

Legionellennachweis	Wassertrübheit (N = 31.852)	
	Klar (N = 31.237)	Trüb (N = 615)
Einteilung nach DVGW W 551		
<100 KBE/100 ml	29.784 (95,3 %)	522 (84,9 %)
≥100 KBE/100 ml	1.453 (4,7 %)	93 (15,1 %)
Einteilung nach TrinkwV		
≤100 KBE/100 ml	30.044 (96,2 %)	530 (86,2 %)
>100 KBE/100 ml	1.193 (3,8 %)	85 (13,8 %)

Nach der Trinkwasserverordnung liegen von 615 trüben Proben 85 Proben (13,8 %) über dem technischen Maßnahmenwert für Legionellen.

Von den klaren Trinkwasserproben sind 1.193 (3,8 %) auffällig. Die Unterschiede in den Ergebnissen der klaren und der trüben Trinkwasserproben sind statistisch signifikant ($p < 0,001$).

Betrachtet man in einer Risikoschätzung die Odds Ratio in Tabelle 9, so fällt auf, dass eine ca. 4-fach höhere Chance besteht den technischen Maßnahmenwert für Legionellen zu überschreiten bzw. zu erreichen, wenn das Probenwasser als „trüb“ beschrieben wird.

Vergleicht man die Ergebnisse der Wassertrübheit nach der Trinkwasserverordnung mit denen nach dem DVGW, so zeigt sich auch hier ein signifikanter Unterschied zwischen den klaren und trüben Proben (Tab. 8). Von insgesamt 615 trüben Wasserproben überschreiten bzw. erreichen 93 Proben den Grenzwert für Legionellen. Dies entspricht 15,1 %. Wird die Wasserbeschaffenheit hingegen als „klar“ beschrieben, was in den meisten Fällen mit 31.237 Trinkwasserproben der Fall ist, so sind nur 4,7 % der Proben auffällig.

Bei 204 Trinkwasserproben wird keine Angabe über die Trübheit des Wassers gemacht.

Betrachtet man die Odds Ratio in Tabelle 9, so fällt auf, dass eine ca. 3,7-fach höhere Quote besteht den technischen Maßnahmenwert für Legionellen zu

überschreiten bzw. zu erreichen, wenn das Probenwasser als „trüb“ beschrieben wird.

Tab. 9: Risikoschätzung mittels Odds Ratio zwischen den „klaren“ und „trüben“ Trinkwasserproben nach DVGW und TrinkwV

	Odds Ratio
Nach DVGW W 551	3,65
Nach TrinkwV	4,03

3.10. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertemperatur

In der Tabelle 10 ist das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertemperatur beschrieben, wenn die Wassertemperatur bei Entnahme bei ≥ 55 °C liegt. Es wird erneut zwischen den Vorgaben des DVGW und der Trinkwasserverordnung unterschieden.

Tab. 10: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur ≥ 55 °C

Legionellennachweis	Entnahmetemperatur (N = 32.043)	
	< 55 °C (N = 21.911)	≥ 55 °C (N = 10.132)
Einteilung nach DVGW W 551		
< 100 KBE/100 ml	20.438 (93,3 %)	10.048 (99,2 %)
≥ 100 KBE/100 ml	1.473 (6,7 %)	84 (0,8 %)
Einteilung nach TrinkwV		
≤ 100 KBE/100 ml	20.680 (94,4 %)	10.076 (99,4 %)
> 100 KBE/100 ml	1.231 (5,6 %)	56 (0,6 %)

Von insgesamt 32.043 Trinkwasserproben haben 21.911 Proben bei Entnahme eine Wassertemperatur unter 55 °C. Nach dem DVGW-Kriterium liegen von diesen Proben 1.473 über dem Grenzwert für Legionellen, was 6,7 % entspricht.

Von 10.132 Trinkwasserproben, die eine Wassertemperatur ≥ 55 °C erreichen, überschreiten bzw. erreichen nur 84 Proben (0,8 %) die Grenze. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($p < 0,001$).

Nach der Trinkwasserverordnung ergeben sich leicht abweichende Werte. In diesem Fall liegen 5,6 % von den 21.911 Trinkwasserproben mit einer Entnahmetemperatur < 55 °C über dem technischen Maßnahmenwert. Von den 10.048 Trinkwasserproben ≥ 55 °C überschreiten nur noch 0,6 % den Wert. Dieser Unterschied ist ebenfalls im Chi-Quadrat-Test signifikant ($p < 0,001$).

In einer Risikoschätzung mittels Odds Ratio in Tabelle 11 ergibt sich für die Vorgaben des DVGW eine 8,6-fach höhere Quote den Grenzwert für Legionellen zu überschreiten, wenn die Wassertemperatur bei Entnahme unter 55 °C liegt. Nach der Trinkwasserverordnung errechnet man eine Odds Ratio von 10,7.

Tab. 11: Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Entnahmetemperatur < 55 °C

	Odds Ratio
Nach DVGW W 551	8,62
Nach TrinkwV	10,71

Vergleicht man das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertemperatur bei Erreichen einer Temperaturkonstanz von ≥ 55 °C, wie es in Tabelle 12 dargestellt ist, so liegen nach DVGW von insgesamt 11.044 Trinkwasserproben, die eine konstante Wassertemperatur < 55 °C aufweisen, 9,5 % über dem Grenzwert.

Von den 20.993 Trinkwasserproben mit einer konstanten Wassertemperatur ≥ 55 °C liegen 2,4 % über dem Grenzwert für Legionellen.

Dieser Unterschied der Wassertemperatur ist ebenfalls signifikant für das Vorkommen von Legionellen ($p < 0,001$).

Tab. 12: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Temperaturkonstanz ≥ 55 °C

Legionellennachweis	Temperaturkonstanz (N = 32.037)	
	< 55 °C (N = 11.044)	≥ 55 °C (N = 20.993)
Einteilung nach DVGW W 551		
< 100 KBE/100 ml	9.998 (90,5 %)	20.481 (97,6 %)
≥ 100 KBE/100 ml	1.046 (9,5 %)	512 (2,4 %)
Einteilung nach TrinkwV		
≤ 100 KBE/100 ml	10.140 (91,8 %)	20.609 (98,2 %)
> 100 KBE/100 ml	904 (8,2 %)	384 (1,8 %)

Nach der Trinkwasserverordnung liegen von den 11.044 Trinkwasserproben, die eine konstante Wassertemperatur < 55 °C aufweisen, 8,2 % über dem technischen Maßnahmenwert. Erreichen die Proben eine Temperaturkonstanz von ≥ 55 °C, so liegen 1,8 % über der Grenze für Legionellen. Auch dieser Unterschied ist statistisch signifikant ($p < 0,001$).

Bei den Odds Ratios ergibt sich nach den Vorgaben des DVGW eine 4,2-fach höhere Chance den Grenzwert für Legionellen zu überschreiten, wenn die Temperaturkonstanz < 55 °C ist. Nach der Trinkwasserverordnung liegt die Odds Ratio noch etwas höher bei einem Wert von 4,78 (Tab. 13).

Tab. 13: Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Temperaturkonstanz < 55 °C

	Odds Ratio
Nach DVGW	4,18
Nach TrinkwV	4,78

Neben der 55 °C Grenze wurde eine Temperaturgrenze von 60 °C gewählt, um das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertemperatur zu überprüfen. Tabelle 14 bezieht sich hierbei auf eine Entnahmetemperatur ≥ 60 °C und stellt die

Ergebnisse nach den Vorgaben des DVGW und der Trinkwasserverordnung vergleichend dar.

Tab. 14: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur ≥ 60 °C

Legionellennachweis	Entnahmetemperatur (N = 32.043)	
	< 60 °C (N = 28.838)	≥ 60 °C (N = 3.205)
Einteilung nach DVGW W 551		
< 100 KBE/100 ml	27.293 (94,6 %)	3.193 (99,6 %)
≥ 100 KBE/100 ml	1.545 (5,4 %)	12 (0,4 %)
Einteilung nach TrinkwV		
≤ 100 KBE/100 ml	27.558 (95,6 %)	3.198 (99,8 %)
> 100 KBE/100 ml	1.280 (4,4 %)	7 (0,2 %)

Nimmt man 60 °C als Grenze, so liegen nach dem DVGW von 28.838 Trinkwasserproben, die eine Entnahmetemperatur < 60 °C zeigen, 1.545 (5,4 %) Proben über dem Grenzwert. Sind die Trinkwasserproben dagegen bei Entnahme mindestens 60 °C temperiert, so liegen von 3.205 Proben nur noch 12 (0,4 %) über einem Legionellenwert von 100 KBE/100 ml. Dieser Unterschied ist wie schon bei der 55 °C-Grenze ebenfalls im Pearson-Chi-Quadrat-Test signifikant ($p < 0,001$).

Nach den Vorgaben der Trinkwasserverordnung sind von den 28.838 Proben mit einer Entnahmetemperatur < 60 °C 4,4 % mit Werten oberhalb des technischen Maßnahmenwerts auffällig. Liegt die Entnahmetemperatur ≥ 60 °C sind es 0,2 %.

Mit Blick auf die Risikoabschätzung lässt sich sagen, dass nach DVGW Trinkwasserproben mit einer Entnahmetemperatur < 60 °C eine ca. 15,1-fach höhere Quote aufweisen, einen auffälligen Legionellenwert zu besitzen. Nach den Maßgaben der Trinkwasserverordnung liegt eine Odds Ratio von 21,2 vor (Tab. 15).

Tab. 15: Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Entnahmetemperatur < 60 °C

	Odds Ratio
Nach DVGW	15,06
Nach TrinkwV	21,22

Ebenfalls wurden die Unterschiede nach Erreichen einer Temperaturkonstanz von ≥ 60 °C untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 16 dargestellt, ebenfalls vergleichend nach dem DVGW und der Trinkwasserverordnung.

Tab. 16: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Temperaturkonstanz ≥ 60 °C

Legionellennachweis	Temperaturkonstanz (N = 32.037)	
	< 60 °C (N = 23.028)	≥ 60 °C (N = 9.009)
Einteilung nach DVGW W 551		
< 100 KBE/100 ml	21.604 (93,8 %)	8.875 (98,5 %)
≥ 100 KBE/100 ml	1.424 (6,2 %)	134 (1,5 %)
Einteilung nach TrinkwV		
≤ 100 KBE/100 ml	21.838 (94,8 %)	8.911 (98,9 %)
> 100 KBE/100 ml	1.190 (5,2 %)	98 (1,1 %)

23.028 Trinkwasserproben liegen unterhalb einer konstanten Wassertemperatur von 60 °C. Davon liegen nach dem DVGW 1.424 (6,2 %) über dem Grenzwert für Legionellen. Bei Trinkwasserproben mit einer konstanten Wassertemperatur von ≥ 60 °C sind von 9.009 Proben 134 Proben (1,5 %) auffällig. Nach der Trinkwasserverordnung sind 5,2 % der Proben mit einer Temperaturkonstanz < 60 °C auffällig. Liegt die Temperaturkonstanz bei ≥ 60 °C, so sind 1,1 % der Proben über dem technischen Maßnahmenwert. Diese Ergebnisse sind erneut bei einem $p < 0,001$ im Chi-Quadrat-Test (nach Pearson) signifikant.

In der Risikoschätzung ergibt sich nach dem DVGW eine Odds Ratio von 4,37 und somit eine ca. 4,4-fach höhere Quote einen auffälligen Legionellenwert zu erhalten, wenn die Trinkwasserprobe eine Temperaturkonstanz von $< 60\text{ °C}$ besitzt. Nach der Trinkwasserverordnung errechnet sich eine Odds Ratio von 4,95 (Tab. 17).

Tab. 17: Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Temperaturkonstanz $< 60\text{ °C}$

	Odds Ratio
Nach DVGW	4,37
Nach TrinkwV	4,95

3.11. Logistische Regression

Einen Überblick über die Ergebnisse der logistischen Regression zeigt Tabelle 18.

Tab. 18: Ergebnisse der logistischen Regression

	Signifikanz	Odds Ratio
Entnahmestelle	$p < 0,001$	
Vorlauf-Rücklauf	$p = 0,526$	1,15
Steigstrang-Rücklauf	$p < 0,001$	6,46
Wassertrübheit	$p < 0,001$	4,06
Entnahmetemperatur $< 55\text{ °C}$	$p < 0,001$	2,33
Entnahmetemperatur $< 60\text{ °C}$	$p = 0,095$	1,97
Temperaturkonstanz $< 55\text{ °C}$	$p < 0,001$	3,19
Temperaturkonstanz $< 60\text{ °C}$	$p = 0,003$	1,46

Tabelle 18 zeigt, dass die Wassertemperatur bei Entnahme $< 55\text{ °C}$, die Wassertrübheit, der Steigstrang als Entnahmestelle und die konstanten Wassertemperaturen $< 55\text{ °C}$, als auch $< 60\text{ °C}$ als Prädiktoren einen Einfluss auf die

abhängige Variable haben. Diese Parameter sind statistisch signifikant geeignet, um das Kriterium „auffällige Trinkwasserprobe“ vorherzusagen ($p < 0,001$). Eine Entnahmetemperatur < 60 °C ist nicht mehr signifikant ($p = 0,095$). Bei der Entnahmetemperatur passt die 55 °C-Grenze demnach besser für das Modell. Bei der Temperaturkonstanz sind sowohl die 55 °C-Grenze, als auch die 60 °C-Grenze statistisch signifikant ($p < 0,05$), wobei erneut die 55 °C-Grenze den besseren (niedrigeren) p -Wert aufweist (Tab. 18).

Die Odds Ratios sind insgesamt betrachtet etwas niedriger, als wenn man die jeweiligen Variablen wie in den Abschnitten vorher einzeln betrachtet, da in der logistischen Regression auch die Wirkung der Variablen aufeinander mit einbezogen werden und gegenseitige Abhängigkeiten bestehen. Am Steigstrang besteht eine mehr als 6-fach so hohe Chance, eine auffällige Trinkwasserprobe zu entnehmen (Tab. 18). Ist die Trinkwasserprobe trüb, so besteht ein ca. 4-fach so hohes Risiko, dass die Probe den technischen Maßnahmenwert für Legionellen überschreitet (Tab. 18). Bei den verschiedenen Wassertemperaturen, besteht das größte Risiko bei einer Temperaturkonstanz < 55 °C mit einem Odds-Ratio von 3,19 (Tab. 18).

Bezüglich der Modellgüte ergibt Nagelkerkes R-Quadrat einen Wert von 0,15. Die Fehlerreduktion beträgt demnach 15 %. Dieses Ergebnis entspricht einer schwachen Beziehung zwischen den Prädiktoren als unabhängige Variablen und der abhängigen Variable.

3.12. ROC-Kurven

Es wurden 2 ROC-Kurven erstellt, einmal für die Entnahmetemperatur und einmal für die Wassertemperatur bei Erreichen von Temperaturkonstanz. Die Ergebnisse finden sich in den Abbildung 14.

Die ROC-Kurve für die Entnahmetemperatur hat eine Fläche unter der Kurve (AUC) von 0,75 und einen steileren Verlauf als die ROC-Kurve für die Temperaturkonstanz mit einer Fläche unterhalb der Kurve von 0,743 (Tab. 19). Beide ROC-Kurven ergeben mit ihren AUC-Werten einen befriedigenden Test.

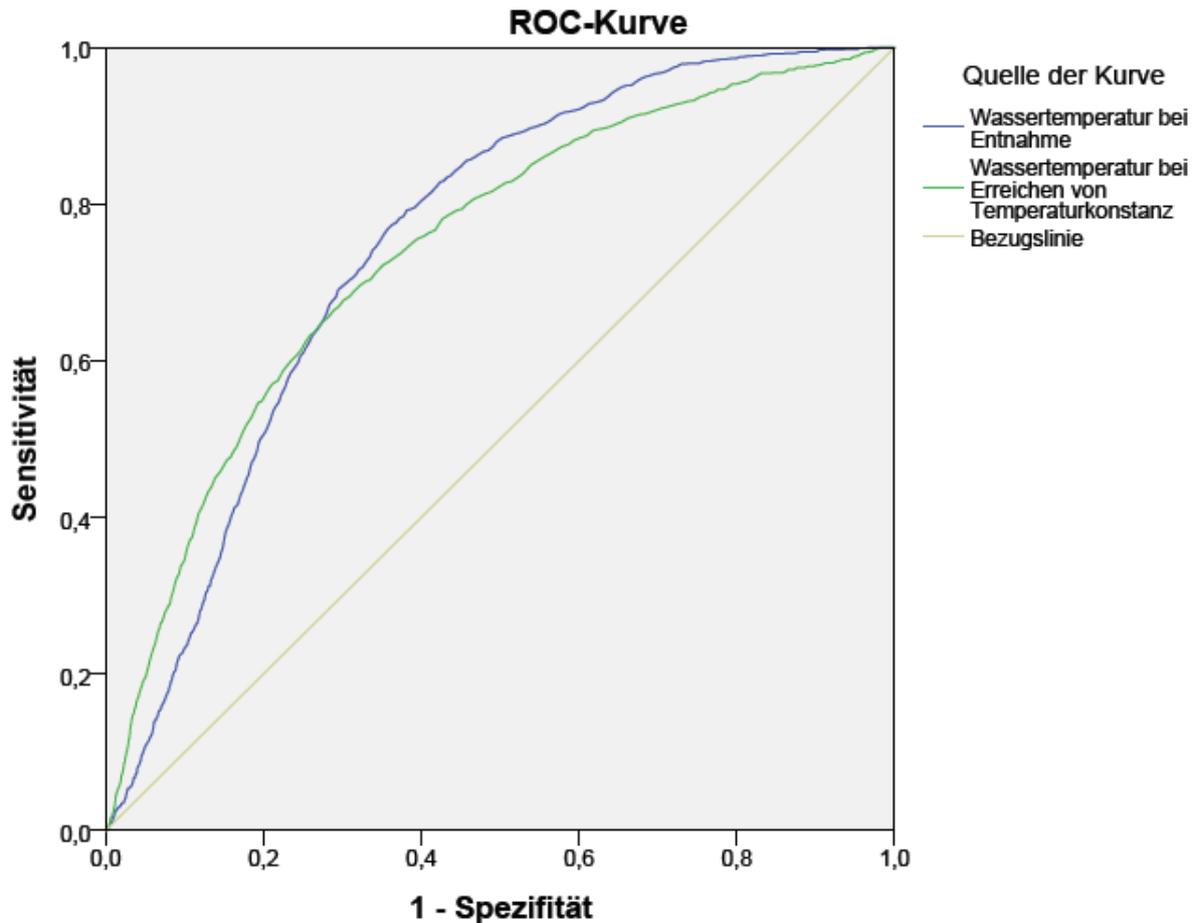


Abb. 14: ROC-Kurven

Tab. 19: Flächen unter den Kurven (AUC-Werte)

	AUC-Wert
Entnahmetemperatur	0,750
Temperaturkonstanz	0,743

Anhand der Tabellen im Anhang kann untersucht werden, wo der beste Fixpunkt zur Entscheidung, also die Wassertemperatur mit dem besten Verhältnis zwischen Sensitivität und 1- Spezifität liegt. Es wurden die für die Legionellendiskussion interessanten Grenzen 50°C, 55°C und 60°C untersucht. Demnach ergibt sich auszugsweise bei einer Entnahmetemperatur von 50,05 °C eine Sensitivität von 79,3 % bei einer 1-Spezifität von 38,6 %. Bei einer Entnahmetemperatur von 55,05 °C ändert sich das Verhältnis auf eine Sensitivität von 96,0 %, bei einer 1-Spezifität von 67,7 %. Bei einer Entnahmetemperatur von 60,05 °C hat man eine sehr gute

Sensitivität von 99,1 %, allerdings liegt die 1-Spezifität dann auch bei 89,9 % (siehe Anhang).

In der ROC-Kurve, die die Wassertemperatur nach Erreichen von Temperaturkonstanz beinhaltet, erreicht man bei einer Temperaturkonstanz von 50,05 °C eine Sensitivität von 34,0 %, bei einer 1-Spezifität von 9,7 %. Bei konstanten 55,05 °C hat man eine Sensitivität von 70,4 %, bei einer 1-Spezifität von 33,6 %. Bei 60,05 °C hat man mit 92,5 % eine gute Sensitivität, jedoch liegt dann die 1-Spezifität mit 71,6 % ebenfalls in einem hohen Bereich (siehe Anhang).

3.13. Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer

Tabelle 20 und Tabelle 21 präsentiert das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer. Bei insgesamt 32.038 Trinkwasserproben wird eine Angabe über den Probennehmer gemacht. Dabei kann zwischen 11 Probennehmern unterschieden werden. In 18 Fällen fehlt die Angabe des Probennehmers. Bei Probennehmer 507 überschreiten signifikant ($p < 0,001$) mehr Trinkwasserproben den technischen Maßnahmenwert für Legionellen, als bei den anderen Probennehmern. Von insgesamt 221 Trinkwasserproben, die Probennehmer 507 entnommen hat, liegen 99 Proben (44,8 %) über dem Wert von 100 KBE/100 ml (Tab. 20). Den zweithöchsten relativen Wert von 7,1 % findet sich bei Probennehmer 511, der aber auch mit insgesamt 5.535 Trinkwasserproben deutlich mehr Proben erhoben hat (Tab. 21). Auffällig ist auch Probennehmer 514, bei dem von 1.315 entnommenen Proben nur 0,8 % über dem technischen Maßnahmenwert liegen (Tab. 21). Die anderen Probennehmer liegen bezüglich des Anteils an Proben, die den technischen Maßnahmenwert überschreiten zwischen 1,8 und 4,4 % (Tab. 20 und Tab. 21).

Tab. 20: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer 501-508

Probennehmer	501	504	505	506	507	508
Probenzahl	1.801	1.948	6.355	4.018	221	2.156
Legionellen						
≤ 100 KBE/100 ml	1.727 (95,9 %)	1.910 (98,0 %)	6.129 (96,4 %)	3.920 (97,6 %)	122 (55,2 %)	2.093 (97,1 %)
> 100 KBE/100 ml	74 (4,1 %)	38 (2,0 %)	226 (3,6 %)	98 (2,4 %)	99 (44,8 %)	63 (2,9 %)

501-508 = Codierung der Probennehmer

Tab. 21: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer 509-514

Probennehmer	509	511	512	513	514
Probenzahl	3.761	5.535	3.130	1.798	1.315
Legionellen					
≤ 100 KBE/100 ml	3.647 (97,0 %)	5.143 (92,9 %)	2.991 (95,6 %)	1.766 (98,2 %)	1.304 (99,2 %)
> 100 KBE/100 ml	114 (3,0 %)	392 (7,1 %)	139 (4,4 %)	32 (1,8 %)	11 (0,8 %)

509-514 = Codierung der Probennehmer

4. Diskussion

Nach der Novellierung der Trinkwasserverordnung im Jahr 2011 sind die Anforderungen an die hygienisch-mikrobiologische Überwachung von Trinkwasser-Installationen nochmals erheblich gestiegen (Völker et al., 2015). Für die Genusstauglichkeit des Trinkwassers müssen gewisse mikrobiologische und chemische Anforderungen eingehalten werden (Kistemann, 2012). *Legionella spec.* darf den technischen Maßnahmenwert von 100 KBE/100 ml nicht überschreiten. Des Weiteren müssen für die rechtliche Genusstauglichkeit des Trinkwassers die allgemein anerkannten Regeln der Technik (DIN EN 806, DIN EN 1717, DIN 1988, DVGW W 551) bei Planung, Errichtung, Betrieb, Instandhaltung, Wartung und Überwachung von Trinkwasser-Installationen eingehalten werden (Kistemann, 2012).

Zu den bekannten Risikofaktoren für eine Kontamination der Trinkwasser-Installationen mit Legionellen zählen neben der Stagnation, mit der die ungestörte Verweilzeit des Wassers in Teilen des Leitungssystems gemeint ist, raue Oberflächen und verminderte Fließgeschwindigkeiten, die die Entstehung von Biofilmen begünstigen können. Ein Biofilm ist eine durch Mikroorganismen aufgebaute Gemeinschaft von Zellen, die an eine Oberfläche aneinander geheftet und in eine Matrix aus EPS eingebettet sind (Kistemann, 2012). Wingender et al. (2016) konnten zeigen, dass das Biofilm-Wachstum u.a. vom Rohrmaterial abhängt, und dass es z. B. Unterschiede zwischen Kupfer- und Kunststoffrohren gibt. Weitere bekannte Risikofaktoren sind Temperaturerhöhungen der Kaltwasser-Installationen durch z. B. jahreszeitliche Schwankungen im Sommer oder durch fehlende Dämmung der Kaltwasser-Leitungen. Genauso kann es aber auch durch fehlerhafte Abkühlung der Warmwasserleitungen passieren, dass das Wasser in den für Legionellen günstigen Temperaturbereich von 35-42°C rutscht (Exner, 1991). Außerdem stellen die modernen Trinkwasser-Installationen von heute meistens höchst komplexe Konstruktionen dar, die Wasser für unterschiedlichste Nutzungen bereitstellen und z. B. durch fehlerhafte Planung zu lange Leitungssysteme mit potentiellen Totsträngen enthalten, die die vorher genannten Risikofaktoren begünstigen.

Seit Einführung der Meldepflicht für die Legionärskrankheit im Jahr 2001 wurden am Robert Koch-Institut (RKI) bis zum Jahr 2013 insgesamt 6.675 Fälle registriert (RKI,

2015). Im Jahr 2016 wurden in Deutschland 976 Fälle gemeldet (Inzidenz 1,2/100.000) (Meyer, 2017).

Der mit Abstand größte Teil der Legionellose wurde 2013 mit 79 % im privaten und beruflichen Umfeld erworben, gefolgt von reiseassoziierten Fällen mit 17 % und nosokomialen Erkrankungen mit 2,8 %. In Pflegeeinrichtungen wurden 1,2 % an Neuerkrankungen der Legionärskrankheit registriert. Die Gesamt-Letalität lag 2013 bei 5,2 % und war somit ungefähr konstant zu den Vorjahren. Die höchste Letalität findet sich bei den nosokomial erworbenen Legionärskrankheiten. Zwischen den Jahren 2007 bis 2013 lag sie bei 17 % und damit fast 5-mal höher als die Letalität der reiseassoziierten Legionellose mit 3,9 % bzw. ca. 3-mal höher als die Letalität der Legionellose aus dem privaten und beruflichen Umfeld mit 6,2 %. Die Gesamtletalität des Zeitraums 2007 bis 2013 lag bei 5,9 % (RKI, 2015).

Die tatsächliche Häufigkeit von Legionellen-Infektionen ist nicht genau bekannt. Die Meldedaten mit ca. 1.000 Fällen von Legionellose pro Jahr sind relativ gering. Man muss von einer hohen Dunkelziffer ausgehen, da einerseits häufig insbesondere ambulant keine oder nur eine unzureichende diagnostische Abklärung von fieberhaften Erkrankungen des Atemtraktes und Lungenentzündungen erfolgt und andererseits viele diagnostizierten Legionellose einfach nicht gemeldet oder publiziert werden (Exner und Pleischl, 1996, Exner, 1997, Yu, 2000, Pleischl, 2004). Nach Hochrechnungen von CAPNET (Kompetenznetz ambulant erworbene Pneumonie) wird die wahre Zahl an Legionellen-Pneumonien auf mindestens 15.000/Jahr geschätzt (Meyer, 2017). Das ergibt ca. 20 Fälle/100.000 Einwohner und damit mehr als doppelt so viele wie etwa bei der Tuberkulose.

Betrachtet man bei den Ergebnissen dieser Dissertation das Stockwerk, in dem sich die Entnahmestelle befindet, so fällt auf, dass die meisten Proben mit einer Anzahl von 8.448 (24,6 %) im Keller entnommen wurden (Abb. 5). Dies ist damit zu erklären, dass sich in den meisten Mehrfamilienhäusern der Trinkwassererwärmer im Keller befindet und somit der Großteil der zentralen Probennahmen am Vorlauf und Rücklauf im Kellergeschoss erfolgt. Die zentralen Proben werden dabei nach Möglichkeit immer paarweise entnommen, was die ähnlichen Zahlen von Vorlauf (5.563) und Rücklauf (5.334) erklärt. Beprobungen am Rücklauf zu erheben, ist technisch oft aufwendiger und schwieriger, wodurch die Zahl der Proben, wie auch in dieser Arbeit, meist etwas niedriger liegt. Interessanterweise wurden die

zweitmeisten Proben im 2. Stockwerk der unterschiedlichen Gebäude entnommen. Hier waren es insgesamt 5.894 (18,4 %) (Abb. 5) Als Erklärungsansatz wäre anzuführen, dass periphere Proben in der Regel im obersten Stockwerk des Gebäudes erfolgen und viele Gebäude nicht sehr hoch sind.

Betrachtet man desweiteren den Raum als Ort der Entnahmestelle, so lässt sich durch die hier untersuchten Datensätze die Aussage treffen, dass in mehr als der Hälfte der Fälle (58,6 %) die Probennahme im Badezimmer erfolgte. Zu einem geringen Teil erfolgte die Beprobung in Küchen (2,7 %) (Abb. 6). Das bedeutet, dass die peripheren Proben ganz überwiegend im Bad entnommen wurden.

Wie oft wurde der technische Maßnahmenwert für Legionellen überschritten? Diese Dissertation zeigt, dass von insgesamt 32.056 erhobenen Proben in 4,0 % der Fälle (nach TrinkwV) bzw. 4,9 % der Fälle (nach DVGW) der Richtlinienwert für Legionellen überschritten wird (Abb. 9 und Abb. 10). Vergleicht man dieses Ergebnis mit anderen Publikationen, so kann man sagen, dass dies eher niedrige Werte sind. In einer Studie auf Grundlage von Daten, die den Gesundheitsbehörden vorliegen, überschritten z.B. von 19.184 mit Legionellen kontaminierten Proben aus dem Warmwassersystem 12,3 % den technischen Maßnahmenwert (Völker et al., 2010). Noch frühere Studien aus Italien und Deutschland zeigen ähnliche Werte, wie die erwähnte Studie mit relativen Legionellen-Häufigkeiten von 12,3 % und 12 % (Borella et al., 2004, Wricke et al., 2008).

Interessanter wird es, wenn man die Entnahmestellen nach Vorlauf, Rücklauf und Steigstrang unterteilt. Vorlauf und Rücklauf bilden hierbei, wie schon erwähnt, die zentralen Beprobungsorte, da sie nahe am Trinkwassererwärmer liegen. Zusammengefasst wurden dort 10.897 Trinkwasserproben entnommen. Der größte Teil der Entnahmen erfolgte in der Peripherie an den Steigsträngen mit insgesamt 21.159 (Abb. 7).

Ob einer der beiden Entnahmeorte zentral oder peripher insgesamt besser ist, um eine Aussage über eine systemische Kontamination eines Gebäudes mit Legionellen zu treffen, wird in letzter Zeit immer wieder diskutiert. So konnte beispielsweise eine Arbeitsgruppe des Hygiene Institut des Universitätsklinikums Bonn zwischen 2010 und 2014 in dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekt „Biofilm-Management“ zeigen, dass die etablierte Beprobungspraxis von Warmwasser-Vorlauf und Zirkulations-Rücklauf nur eingeschränkt geeignet ist,

langfristig bestehende Kontaminationen mit Legionellen zu detektieren. Die Trinkwasser-Installationen von insgesamt 8 Gebäuden mit bekannter Legionellen-Kontamination wurden einer intensiven hygienischen-mikrobiologischen Beprobung mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung unterzogen (Völker et al., 2015). Dabei zeigte sich, dass nur eines dieser 8 Gebäude durch zentrale Proben als systemisch kontaminiert erkannt worden wäre (Völker et al., 2015). Das Projekt konnte zeigen, dass sich systemweite Legionellen-Kontaminationen besser durch die Parameter Stagnation und Temperatur (Einhaltung der 5K-Regel) prognostizieren lassen (Völker et al., 2015).

Des Weiteren stellte Hentschel (2016) Überlegungen zur Wahl der Probennahmestellen bei orientierenden Untersuchungen auf Legionellen an. Es wurden knapp 7.500 Datensätze aus fast 1.200 orientierenden Untersuchungen aus den Jahren 2012 bis 2014 aus dem Raum Frankfurt/Main zur Auswertung zur Verfügung gestellt, um zu prüfen, ob die derzeit etablierten Entnahmeverfahren zielführend sind. Die Auswertung ergab, dass mit den peripheren Proben grundsätzlich eine bessere Erkenntnis zu Legionellen in einer Trinkwasser-Installation möglich ist als mit den zentralen Proben. Die Untersuchung von Hentschel bestätigt demnach die Aussagen der Bonner Arbeitsgruppe, dass die Entnahme von zentralen Proben im Rahmen der orientierenden Untersuchungen für die Erkennung von Legionellen-Kontaminationen in Trinkwasser-Installationen weniger geeignet erscheint.

Auch der Datensatz dieser Dissertation bestätigt dieses Bild. Nach der Trinkwasserverordnung zeigen sich an den peripheren Steigsträngen in 5,7 % auffällig erhöhte Legionellenwerte. An den zentralen Stellen sind es mit 0,6 % am Vorlauf und 1,0 % am Rücklauf signifikant weniger ($p < 0,001$). Nach den Kriterien des DVGW sind es in der Peripherie sogar 6,8 %, die den Grenzwert überschreiten bei 0,8 % am Vorlauf und 1,4 % am Rücklauf. Auch dieser Unterschied ist im Chi-Quadrat-Test (nach Pearson) signifikant ($p < 0,001$). Die multivariate Regressionsanalyse zeigt zudem, dass bei Proben am Steigstrang (=Peripherie) eine mehr als 6-fach so hohe Chance besteht, eine auffällige Trinkwasserprobe zu erhalten (Tab. 18).

Da die Infizierung mit Legionellen i. d. R. über die Atemwege erfolgt, ist die Gefahr einer Infizierung umso größer, je mehr Aerosole sich bei der Anwendung bilden und

eingeatmet werden (Harmuth, 2006). Aus diesem Grund stellt innerhalb eines Haushalts das Duschen die größte Gefahr dar und Duschköpfe sollten mit besonderer Sorgfalt untersucht werden. Hierbei kommen zwei Risikofaktoren zusammen, zum einen die Aerosolbildung in der Dusche und zum anderen eine hohe Legionellenkonzentration am Duschkopf oder im langen Schlauchsystem der Dusche.

Die 21.159 Steigstrang-Proben, die in den Datensätzen dieser Dissertation in vier verschiedene Entnahmearmaturen (Waschbecken, Spüle, Badewanne und Dusche) unterteilt werden konnten, bestätigen die erhöhte Gefahr der Duschen für Legionellen-Kontaminationen. Mit 6,8 % erhöhter Werte für Legionellen bei den Proben der Duschen weisen diese den höchsten Wert auf. An Waschbecken sind 5,7 % der Proben mit erhöhten Werten auffällig, an Badewannen 5,2 % und an Spülen überschreiten 4,6 % den technischen Maßnahmenwert (Tab. 7).

Da Duschen als Entnahmestellen eine so große Bedeutung zukommt, wenn es um das Risiko einer Legionellen-Kontamination geht, verwundert es nicht, dass es eine Vielzahl von Studien und Untersuchungen zu diesem Thema gibt.

In einer englischen Studie wurden 99 Duschen in 82 Gebäuden auf das Vorkommen von Legionellen untersucht. Der Großteil der Haushalte bestand aus Einfamilienhäusern. In 8 % der Dusch-Proben konnte *Legionella* spp. in Kulturen nachgewiesen werden. Die Studie konnte außerdem zeigen, dass es einen signifikanten Zusammenhang zwischen einem erhöhten Legionellenwert und dem Alter der Gebäudes, dem Alter der Duschen und der Häufigkeit der Duschbenutzung gibt (Collins et al. 2017). Vermehrte Duschnutzung, Warmwasserspeicher und ein häufigeres Putzen des Duschkopfs zeigten sich als protektive Faktoren, um der Dusche als wichtigem und potentiell gefährlichem Reservoir einer Legionellenkontamination entgegenzuwirken (Collins et al. 2017).

Auch Alary und Joly untersuchten schon 1991 insgesamt 211 Gebäude in Kanada auf das Vorkommen von Legionellen. Das heiße Wasser wurde dabei in 33 Gebäuden aus Öl- oder Gas-Erhitzen bezogen und in 178 Fällen aus elektrischen Erhitzen. Interessanterweise konnten bei allen Gebäuden mit Öl- oder Gas-Erhitzen keine Legionellen nachgewiesen werden. Bei den Gebäuden mit elektrischen Wassererhitzen waren 15 % der Duschköpfe mit Legionellen kontaminiert.

Außerdem waren 12 % der Wasserhähne und in 37 % der Fälle die Wassererhitzer selbst mit Legionellen kontaminiert (Alary und Joly 1991).

Trotz dieser zahlreichen Kasuistiken, bei denen sich ein Zusammenhang zwischen Duschen und Legionellose als sehr wahrscheinlich erwies, gibt es auch Kritiker. Meyer (2017) behauptet z. B. in einer klar positionierten Übersichtsarbeit, dass es keine ausreichenden Hinweise dafür gebe, dass Duschen ein Risikofaktor für den Erwerb einer Legionellose sind. Dabei wird als Hauptargument auf eine nur geringe Aerosolbildung beim Duschen hingewiesen. Dem könnte widersprochen werden, dass es bezüglich der Aerosolbildung je nach Duschkopf sehr große Unterschiede gibt und es auch am Wasserhahn durch den Perlator zur Aerosolbildung kommen kann. Es hängt demnach viel vom Einzelfall und der Technik des Duschkopfs ab.

Unbestritten und mit einer ganz entscheidenden Bedeutung als Risikofaktor für das Vorkommen von Legionellen in Trinkwasser-Installationen ist die Wassertemperatur. In zahlreichen Veröffentlichungen und Publikationen konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und erhöhten Werten für Legionellen festgestellt werden (Alary und Joly, 1991, Pleischl, 2004, Borella et al., 2005, Völker et al., 2015, Völker und Kistemann, 2015).

Generell fühlen sich Legionellen bei einer Wassertemperatur, die in ihrem Temperaturoptimum von 35-42 °C liegt, am wohlsten (Exner, 1991). Dazu passen die Ergebnisse der Dissertation von Pleischl (2004), in der festgestellt wurde, dass die höchsten Mittelwerte von Legionellenkonzentrationen in einem Temperaturbereich zwischen 30-50 °C lagen. Auch die Ergebnisse einer Studie von Völker et al. (2015), bei der insgesamt 807 Proben aus 9 Gebäuden ausgewertet wurden, zeigen, dass die meisten Proben mit Legionellenwerten > 100 KBE/100 ml in einem Temperaturbereich zwischen 35-46 °C liegen.

Die minimale Abtötungstemperatur für das Bakterium Legionella liegt bei 50 °C (Müller, 2004). Für Warmwasserleitungen der Trinkwasser-Installationen werden aus diesen Gründen Wassertemperaturen von mindestens 55 °C gefordert (Mathys und Rickmann, 2005, Kistemann, 2014). Legionellen-Kontaminationen in Trinkwasser-Installationen, die mehr als 60 °C erreichen sind hingegen sehr selten (Völker et al. 2010).

Wie viele der Trinkwasserproben aus den Datensätzen dieser Dissertation erreichen die minimale Abtötungstemperatur von 50 °C? In den Datensätzen wird zwischen

einer Entnahmetemperatur und der Wassertemperatur nach Erreichen der Temperaturkonstanz unterschieden. Im Durchschnitt liegen beide mit 50,3 °C bei der Entnahmetemperatur und 56,8 °C bei der Temperaturkonstanz über den geforderten 50 °C.

Betrachtet man die kategorisierten Darstellungen, so liegen bei der Entnahmetemperatur die meisten Proben (9.152) genau im kritischen Bereich zwischen 50 °C und < 55 °C. Insgesamt erreichen dort 19.284 Proben (60,2 %) mindestens 50 °C. Bei der kategorisierten Darstellung der Temperaturkonstanz ist die häufigste Kategorie, die zwischen 55 °C und < 60 °C. Hier erreichen sogar 28.690 Proben (89,6 %) mindestens die geforderten 50 °C. Im Vergleich mit anderen Publikationen sind diese Ergebnisse deutlich günstiger. Völker et al. (2010) fanden z.B. in 16.075 Beprobungen nur 52,1 % mit der minimalen Abtötungstemperatur von 50 °C (Völker et al., 2010).

Viel wichtiger ist aber der Bezug der Wassertemperaturen zu der Legionellenkonzentration in den Trinkwasserproben. In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sowohl hinsichtlich der Entnahmetemperatur, als auch hinsichtlich der Temperaturkonstanz die Trinkwasserproben, die den technischen Maßnahmenwert für Legionellen überschreiten, signifikant kühler sind ($p < 0,05$). Bei der Entnahmetemperatur liegt ein Unterschied von durchschnittlich 43,5 °C gegenüber 50,6 °C bei den unauffälligen Proben vor. Es resultiert eine durchschnittliche Temperaturdifferenz von 7,1 °C (Tab. 4). Auch bei der Temperaturkonstanz haben die auffälligen Trinkwasserproben mit 51,6 °C und einer Differenz von 5,4 °C eine signifikant niedrigere Wassertemperatur als die durchschnittlichen 57,0 °C bei den Trinkwasserproben, die den technischen Maßnahmenwert nicht überschreiten (Tab. 4).

Ebenso zeigt sich an den Steigsträngen als Entnahmestelle, bei denen deutlich mehr Proben über dem Grenzwert für Legionellen liegen (6,8 % nach DVGW, 5,7 % nach TrinkwV), als bei den Vorlauf- und Rücklauf-Proben (0,8 % und 1,4 % nach DVGW, und 0,6 % und 1,4 % nach TrinkwV), eine signifikant kältere durchschnittliche Entnahmetemperatur ($p < 0,05$). Dort wurden durchschnittlich nur 47,5 °C bei der Entnahmetemperatur gemessen. Am Vorlauf sind es durchschnittlich 57,5 °C und am Rücklauf erzielt die Entnahmetemperatur einen Mittelwert von 54,0 °C (Tab 5. und Tab. 6).

In einer genaueren Untersuchung der Steigstränge, unterteilt nach der Entnahmemarmatur, zeigt sich ebenfalls eine wichtige Abhängigkeit zwischen erhöhten Legionellenkonzentrationen und der durchschnittlichen Wassertemperatur. Es konnte gezeigt werden, dass an der Dusche, als Entnahmemarmatur mit den meisten Legionellennachweisen (6,8 % nach TrinkwV) auch eine signifikant niedrigere Mittelwert-Temperatur vorzufinden ist, als an den restlichen Entnahmemarmaturen. Bei der Entnahmetemperatur werden an den Duschen durchschnittlich 39 °C erzielt und bei der Temperaturkonstanz sind es 51 °C. Die anderen Entnahmemarmaturen (Waschbecken, Spüle, Badewanne) erreichen mit durchschnittlich 47,7 °C, 47,7 °C und 46,7 °C bei Entnahme und 56,5 °C, 55,0 °C und 56,2 °C bei konstanter Wassertemperatur signifikant höhere Mittelwert-Wassertemperaturen ($p < 0,05$) (Tab. 7).

Da in zahlreichen Publikationen schon gezeigt werden konnte, dass sich eine 55 °C-Grenze und eine 60 °C-Grenze besonders gut eignen, um die Abhängigkeit zwischen der Wassertemperatur und dem Vorkommen von Legionellen zu veranschaulichen, wurde auch in dieser Dissertation mit den genannten Temperaturgrenzen gearbeitet (Mathys und Rickmann, 2005, Völker et al. 2010, Kistemann, 2014). Dabei zeigen die Ergebnisse, dass bei einer Entnahmetemperatur < 55 °C deutlich mehr Proben die Grenze für Legionellen überschreiten (6,7 % nach DVGW, 5,6 % nach TrinkwV) (Tab. 10). In einer Risikoabschätzung ergibt sich nach der Trinkwasserverordnung eine mehr als 10-fach so hohe Chance, eine auffällige Probe zu erhalten, wenn die Entnahmetemperatur < 55 °C ist. Nach DVGW liegt die Quote bei 8,6 (Tab. 11). Auch bei der Temperaturkonstanz < 55 °C bestätigt sich dieses Bild. Hier liegen nach DVGW 9,5 % und nach Trinkwasserverordnung 8,2 % der Proben über der Grenze (Tab. 12). Dafür sind die Quoten in der Risikoschätzung etwas niedriger. Bei einer Temperaturkonstanz < 55 °C errechnet sich sowohl nach DVGW als auch nach der TrinkwV eine mehr als 4-fach so hohe Chance, den Wert zu überschreiten (Tab. 13).

Den größten Unterschied, eine Probe mit einem Legionellenwert über dem technischen Maßnahmenwert zu erhalten, ergibt sich bei einer Entnahmetemperatur < 60 °C. Dort werden Odds Ratio von 15,06 (nach DVGW) und sogar 21,02 (nach TrinkwV) erzielt (Tab. 15). Anders gesagt, hat man nach der Trinkwasserverordnung eine mehr als 21-fach so hohe Chance eine auffällige Probe zu erhalten, wenn die Entnahmetemperatur unter 60 °C liegt. Interessanterweise liegen jedoch relativ

gesehen weniger Proben über dem Grenzwert (5,4 % nach DVGW und 4,4 % nach TrinkwV), als bei der 55 °C-Grenze der Entnahmetemperatur (Tab. 14). Bei einer Temperaturkonstanz < 60 °C liegen die Chancen eine auffällige Probe zu erhalten wieder deutlich niedriger. Hier errechneten sich Odds Ratio von 4,37 (nach DVGW) bzw. 4,95 (nach TrinkwV) (Tab. 17). Die relativen Häufigkeiten der auffälligen Proben liegen bei 6,2 % (nach DVGW) und 5,2 % (nach TrinkwV). Bei allen vier verschiedenen Temperaturgrenzen ist das Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit zur Wassertemperatur statistisch signifikant ($p < 0,001$).

Die Ergebnisse dieser Dissertation bestätigen die enorme Bedeutung der Wassertemperatur, wenn es um die Frage eines Legionellenachweises geht. Liegt die Entnahmetemperatur > 60 °C, so sind in 99,6 % (nach DVGW) bzw. 99,8 % (nach TrinkwV) der Wasserproben keine Legionellen nachweisbar. Bei einer Temperaturkonstanz > 60 °C sind in 98,5 % (nach DVGW) bzw. 98,9 % (nach TrinkwV) der Fälle keine Legionellen nachweisbar. Diese Ergebnisse decken sich mit denen einer früheren Studie, die zeigen konnte, dass bei einer Temperaturkonstanz > 60 °C nur noch 3 von 807 Proben den technischen Maßnahmenwert überschritten und in 99,6 % der Proben keine auffälligen Proben mehr entdeckt wurden (Völker et al., 2015). Eine andere Studie bekräftigt ebenfalls, 60 °C als Grenze zu setzen, über der statistisch das Wachstum von Legionellen gehemmt wird. In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass es ein signifikant höheres Legionellenwachstum gibt, wenn die Temperatur am Warmwasserspeicher von 63 °C auf 57 °C reduziert wurde, ohne eine chemische Desinfektion mit Chlordioxid durchzuführen (Völker und Kistemann, 2015). Wurde in dieser Studie die chemische Desinfektion jedoch eingesetzt und ebenfalls die Temperatur von 63 °C auf 57 °C reduziert, zeigte das Legionellenwachstum keine signifikante Reaktion (Völker und Kistemann, 2015). Mit Hinblick auf Energiesparmaßnahmen, wobei großes Interesse besteht, die 60°-Richtlinie zu reduzieren, ist dies eine sehr wichtige Erkenntnis.

Die logistische Regressionsanalyse bestätigt, dass die Wassertemperatur (< 55 °C) als Prädiktor statistisch signifikant geeignet ist, das Kriterium „auffällige Trinkwasserprobe“ vorherzusagen ($p < 0,001$).

Diese Arbeit zeigt außerdem, dass auch dem Risikofaktor Wassertrübheit eine interessante Bedeutung zukommt. Die Ergebnisse zeigen, dass bei 13,8 % der trüben Proben der technische Maßnahmenwert für Legionellen überschritten wird

und es einen signifikanten Unterschied zu den klaren Proben gibt ($p < 0,001$). Die Risikoschätzung zeigt, dass bei trüber Probe ein 4-fach so hohes Risiko besteht, eine auffällige Probe zu erhalten.

Desweiteren zeigte sich, dass auch dem Probennehmer eine große Bedeutung und Verantwortung zukommt. Die Ergebnisse konnten zeigen, dass bei einem der insgesamt 11 Probennehmer mit 44,8 % der Proben signifikant häufiger auffällige Proben gemessen wurden, als bei den übrigen 10 Probennehmern ($p < 0,001$). Dies könnte ein Zufall sein und damit begründet werden, dass dieser Probennehmer mit 221 Probennahmen mit Abstand die wenigsten Proben entnommen hat. Im ungünstigsten Fall könnte es aber auch für ein unvorsichtiges und unsauberes Arbeiten dieses einen Probennehmers des deutschlandweit operierenden Trinkwasserkontrolldienstleisters sprechen. Bei den restlichen Probennehmern liegen die Proben mit Legionellenwerten > 100 KBE/100 ml zwischen relativen Häufigkeiten von 0,8-7,1 %.

Zur Prävention von Legionellose ist unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Dissertation zuerst zu empfehlen, die Trinkwasser-Installationen bestimmungsgemäß zu nutzen und zu betreiben. Gebäude sind heutzutage durch komplexe Leitungsnetze mit hohen Verzweigungsgraden und langen Leitungswegen anfällig für Stagnation und damit Abkühlung des Warmwassers. Aus diesem Grund muss Trinkwasser unbedingt fließen und Stagnationszonen müssen vermieden werden. Ansonsten kann es, wie die Ergebnisse dieser Studie belegen, v.a. an den peripheren Entnahmestellen zu erhöhten Legionellenkonzentrationen kommen. Besonders gefährdet sind hierbei Duschen. Zudem müssen bis zur Entnahmestelle Kaltwasserleitungen von Wärmequellen ferngehalten und ausreichend gedämmt werden. Warmwasserleitungen sollten, zumindest bei Fehlen begleitender Maßnahmen wie Desinfektion, mindestens 55 °C erreichen, da bei Entnahmetemperaturen $< 55\text{ °C}$ das Risiko für Proben mit Legionellenkonzentrationen über dem technischen Maßnahmenwert um das mehr als 10-fache erhöht ist. In Gebäuden mit besonders hygienesensiblen Nutzungen (Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen, Lebensmittelbetriebe) wird außerdem zur weitergehenden Qualitätssicherung der Trinkwasser-Hygiene die Aufstellung eines Hygieneplans, eines sogenannten Water-Safety-Plans gefordert (Kistemann, 2014, ECDC, 2017).

5. Zusammenfassung

Ziel dieser Dissertation war die Analyse von Risikofaktoren für das Vorkommen von Legionellen. Im Zeitraum 2012-2014 wurden insgesamt 32.056 Trinkwasserproben aus 5.694 Gebäuden (v.a. Mehrfamilienwohnhäuser) von dem deutschlandweit operierenden Trinkwasserkontrolldienstleister Water Control entnommen. Aus dem resultierenden Datensatz wurde ermittelt, ob es signifikante Zusammenhänge zwischen einer erhöhten Legionellenkonzentration [(> 100 Koloniebildende Einheit/100 ml)] und physikalischen Parametern (Wassertemperatur, Wassertrübheit) sowie technischen Parametern (Entnahmestelle, Entnahmearmatur, Probennehmer) gibt.

Diese Studie zeigt, dass ein Viertel der Proben im Kellergeschoss entnommen wurde (26,9 %). In mehr als der Hälfte der Fälle erfolgte die Probennahme im Badezimmer (58,6 %), wobei die Entnahmearmatur meistens ein Waschbecken war (92,2 %). Die Entnahmestelle lag dabei meistens in der Peripherie an den Steigsträngen in den Gebäuden (66,0 %). Nach der Trinkwasserverordnung überschreiten 4,0 % der 32.056 Proben den technischen Maßnahmenwert für Legionellen. Nach den Richtlinien des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches überschreiten bzw. erreichen 4,9 % der Proben den Grenzwert. Nach den Kontaminationsstufen des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches haben 373 Proben (1,2 %) eine hohe Legionellen-Kontamination und 49 Proben (0,2 %) eine sehr hohe Kontamination.

Bei den Entnahmestellen wird die höchste Anzahl an auffälligen Proben in der Peripherie an den Steigsträngen erzielt (6,8 % nach Deutschem Verein des Gas- und Wasserfaches und 5,7 % nach Trinkwasserverordnung). Bei den Entnahmearmaturen liegt die größte Gefahr den technischen Maßnahmenwert zu überschreiten, bei den Duschen (6,8 %).

Die Analysen zeigen des Weiteren, dass bei der kategorisierten Entnahmetemperatur die meisten Proben (28,6 %) Temperaturen zwischen 50 bis < 55 °C erreichen. Bei der kategorisierten Temperaturkonstanz erreicht der Großteil der Proben (37,4 %) konstante Temperaturen zwischen 55 bis < 60 °C. Die Entnahmetemperatur an den Steigsträngen ist dabei mit durchschnittlich 47,5 °C signifikant niedriger ($p < 0,001$), als die zentralen Beprobungen am Vorlauf und Rücklauf. Auch an den Duschen

werden mit durchschnittlich 39,0 °C signifikant kältere Entnahmetemperaturen gemessen, als an den übrigen Entnahmearmaturen (Waschbecken, Spüle, Badewanne). Diese Arbeit bestätigt den signifikanten Zusammenhang zwischen der Wassertemperatur und erhöhten Legionellenwerten. Sowohl bei der Entnahmetemperatur (43,5 °C), als auch bei der Temperaturkonstanz (50,6 °C) zeigen die Proben mit auffälligen Legionellenkonzentrationen signifikant niedrigere durchschnittliche Temperaturen, als die unauffälligen Proben (51,6 °C bzw. 57 °C).

In einer Risikoabschätzung ermittelte Quoten zeigen zudem, dass nach der Trinkwasserverordnung bei einer Entnahmetemperatur < 55 °C ein mehr als 10-fach so hohes Risiko besteht, eine Probe mit einer Legionellenzahl über dem technischen Maßnahmenwert zu erhalten. Bei einer Temperaturkonstanz < 55 °C liegt die Quote bei 4,8. Nimmt man 60 °C als Grenze, so ergeben sich bei einer Entnahmetemperatur < 60 °C eine Quote von 21,2 und bei der Temperaturkonstanz < 60 °C eine Quote von 5,0.

Diese Arbeit zeigt außerdem, dass auch dem Parameter Wassertrübheit eine prädiktive Bedeutung zukommt. Die Ergebnisse belegen, dass bei 13,8 % der trüben Proben der technische Maßnahmenwert überschritten wird und es einen signifikanten Unterschied zu den klaren Proben gibt ($p < 0,001$). Ist die Probe trüb, so besteht ein 4-fach so hohes Risiko, eine auffällige Probe zu messen.

Die Studie kann des Weiteren zeigen, dass auch dem Probennehmer mit einer korrekten Probennahme eine essentielle Bedeutung zukommt. Bei den Ergebnissen fällt auf, dass bei einem Probennehmer mit 44,8 % der Proben signifikant häufiger auffällige Proben gemessen wurden, als bei den restlichen 10 Probennehmern ($p < 0,001$).

Eine logistische Regressionsanalyse bestätigt, dass die Parameter Entnahmestelle (Steigstrang), Wassertemperatur (< 55 °C) und Wassertrübheit als Prädiktoren statistisch signifikant geeignet sind, das Kriterium „auffällige Trinkwasserprobe“ vorherzusagen ($p < 0,001$).

Eine Bewertung der Analyse-Strategien mittels Receiver-Operating-Characteristic-Kurven in dieser Arbeit ergab mit Area under the curve-Werten von 0,75 und 0,74 einen befriedigenden Test.

Zur Prävention von Legionellose ist zu empfehlen, die Trinkwasser-Installationen bestimmungsgemäß zu nutzen und zu betreiben. Das Trinkwasser muss fließen und Stagnationszonen müssen vermieden werden. Bis zur Entnahmestelle müssen Kaltwasserleitungen von Wärmequellen ferngehalten werden. Warmwasserleitungen sollten in Bestandsgebäuden mindestens 55 °C erreichen.

6. Anhang

Auszüge der Koordinaten der ROC-Kurve der Entnahmetemperatur

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	47,0500	,621	,256
	47,1500	,631	,261
	47,2500	,636	,264
	47,3500	,639	,268
	47,4500	,645	,271
	47,5500	,652	,276
	47,6500	,659	,279
	47,7500	,671	,283
	47,8500	,677	,287
	47,9500	,681	,292
	48,0500	,691	,294
	48,1500	,695	,300
	48,2500	,699	,305
	48,3500	,703	,309
	48,4500	,706	,312
	48,5500	,710	,317
	48,6500	,716	,321
	48,7500	,720	,325
	48,8500	,727	,330
	48,9500	,733	,335
	49,0500	,741	,338
	49,1500	,746	,343
	49,2500	,752	,347
	49,3500	,761	,352
	49,4500	,768	,357
	49,5500	,773	,362
	49,6500	,776	,368
	49,7500	,782	,372
	49,8500	,785	,377
	49,9500	,793	,382
	50,0500	,793	,386
	50,1500	,796	,391
	50,2500	,802	,397
	50,3500	,807	,402
	50,4500	,812	,409
	50,5500	,817	,414

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	54,2500	,933	,631
	54,3500	,937	,636
	54,4500	,943	,642
	54,5500	,946	,648
	54,6500	,949	,654
	54,7500	,952	,661
	54,8500	,952	,666
	54,9500	,956	,672
	55,0500	,960	,677
	55,1500	,963	,684
	55,2500	,964	,690
	55,3500	,967	,696
	55,4500	,967	,702
	55,5500	,969	,708
	55,6500	,971	,714
	55,7500	,974	,719
	55,8500	,976	,724
	55,9500	,979	,730
	56,0500	,979	,733
	56,1500	,980	,740
	56,2500	,980	,746
	56,3500	,980	,752
	56,4500	,982	,758
	56,5500	,983	,763
	56,6500	,983	,766
	56,7500	,984	,772
	56,8500	,984	,777
	56,9500	,985	,781
	57,0500	,985	,786
	57,1500	,986	,792
	57,2500	,986	,797
	57,3500	,987	,801
	57,4500	,988	,804
	57,5500	,988	,809
	57,6500	,989	,813
	57,7500	,989	,817

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	57,8500	,990	,822
	57,9500	,990	,826
	58,0500	,990	,830
	58,1500	,991	,835
	58,2500	,991	,839
	58,3500	,992	,843
	58,4500	,992	,847
	58,5500	,992	,851
	58,6500	,992	,855
	58,7500	,992	,859
	58,8500	,993	,862
	58,9500	,993	,865
	59,0500	,993	,868
	59,1500	,993	,871
	59,2500	,993	,874
	59,3500	,994	,877
	59,4500	,995	,881
	59,5500	,995	,884
	59,6500	,995	,887
	59,7500	,995	,889
	59,8500	,995	,892
	59,9500	,995	,896
	60,0500	,995	,899
	60,1500	,995	,902
	60,2500	,997	,905
	60,3500	,997	,907
	60,4500	,997	,910
	60,5500	,998	,912
	60,6500	,998	,914
	60,7500	,998	,916
	60,8500	,998	,919
	60,9500	,998	,921
	61,0500	,998	,923
	61,1500	,998	,925
	61,2500	,998	,927
	61,3500	,998	,929

Auszüge der Koordinaten der ROC-Kurve der Temperaturkonstanz

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	47,3500	,196	,050
	47,4500	,198	,051
	47,5500	,204	,052
	47,6500	,208	,054
	47,7500	,213	,055
	47,8500	,220	,056
	47,9500	,224	,057
	48,0500	,227	,058
	48,1500	,232	,060
	48,2500	,236	,062
	48,3500	,241	,063
	48,4500	,247	,064
	48,5500	,253	,066
	48,6500	,259	,068
	48,7500	,265	,069
	48,8500	,267	,071
	48,9500	,273	,073
	49,0500	,278	,075
	49,1500	,282	,077
	49,2500	,287	,079
	49,3500	,289	,081
	49,4500	,299	,083
	49,5500	,305	,085
	49,6500	,314	,087
	49,7500	,322	,090
	49,8500	,328	,093
	49,9500	,337	,095
	50,0500	,340	,097
	50,1500	,345	,099
	50,2500	,361	,103
	50,3500	,371	,106
	50,4500	,375	,110
	50,5500	,385	,112
	50,6500	,394	,115
	50,7500	,405	,117
	50,8500	,411	,121

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	54,5500	,678	,302
	54,6500	,682	,309
	54,7500	,690	,316
	54,8500	,697	,323
	54,9500	,702	,330
	55,0500	,704	,336
	55,1500	,714	,343
	55,2500	,723	,352
	55,3500	,726	,359
	55,4500	,733	,367
	55,5500	,737	,374
	55,6500	,744	,381
	55,7500	,750	,388
	55,8500	,756	,395
	55,9500	,759	,403
	56,0500	,763	,409
	56,1500	,767	,417
	56,2500	,781	,426
	56,3500	,786	,435
	56,4500	,792	,444
	56,5500	,794	,452
	56,6500	,800	,457
	56,7500	,807	,466
	56,8500	,810	,475
	56,9500	,814	,482
	57,0500	,816	,489
	57,1500	,821	,497
	57,2500	,828	,507
	57,3500	,829	,514
	57,4500	,834	,523
	57,5500	,840	,530
	57,6500	,850	,539
	57,7500	,855	,546
	57,8500	,860	,555
	57,9500	,864	,562
	58,0500	,868	,569

Koordinaten der Kurve

Variable(n) für Testergebnis	Positiv, wenn kleiner oder gleich ^a	Sensitivität	1 - Spezifität
	58,1500	,873	,578
	58,2500	,876	,587
	58,3500	,882	,594
	58,4500	,885	,602
	58,5500	,887	,610
	58,6500	,894	,618
	58,7500	,896	,626
	58,8500	,897	,634
	58,9500	,900	,641
	59,0500	,902	,646
	59,1500	,905	,654
	59,2500	,910	,662
	59,3500	,912	,670
	59,4500	,915	,677
	59,5500	,915	,683
	59,6500	,918	,691
	59,7500	,920	,697
	59,8500	,922	,704
	59,9500	,924	,710
	60,0500	,925	,716
	60,1500	,928	,724
	60,2500	,929	,731
	60,3500	,932	,738
	60,4500	,932	,745
	60,5500	,936	,751
	60,6500	,938	,755
	60,7500	,939	,761
	60,8500	,943	,767
	60,9500	,943	,772
	61,0500	,946	,776
	61,1500	,946	,782
	61,2500	,949	,788
	61,3500	,953	,794
	61,4500	,953	,799
	61,5500	,955	,804
	61,6500	,956	,809

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Warmwassersysteme mit Zirkulationsrücklauf	13
Abb. 2: Monate der Trinkwasserprobenentnahmen	16
Abb. 3: Anzahl der entnommenen Trinkwasserproben je Probennehmer	17
Abb. 4: Anordnung von Probennahmestellen in Trinkwasser-Installationen	18
Abb. 5: Anzahl der Trinkwasserproben bezogen auf das Stockwerk als Probennahmeort	24
Abb. 6: Entnahmeort der Trinkwasserproben bezogen auf den Raum	25
Abb. 7: Anzahl der Trinkwasserproben an den Entnahmestellen: Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang.....	26
Abb. 8: Entnahmearmatur der Trinkwasserprobenentnahme.....	27
Abb. 9: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach der Trinkwasserverordnung	28
Abb. 10: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach DVGW Arbeitsblatt W 551.....	29
Abb. 11: Kategorisierte Legionellen-Häufigkeitsverteilung nach den Kontaminationsstufen des DVGW	30
Abb. 12: Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Entnahme	32
Abb. 13: Kategorisierte Darstellung der Wassertemperatur bei Erreichen von Temperaturkonstanz.....	33
Abb. 14: ROC-Kurven	45

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nach TrinkwV	11
Tab. 2:	Übersicht.....	23
Tab. 3:	Relative Häufigkeit der Trinkwasserproben bezogen auf das Stockwerk... 24	
Tab. 4:	Statistische Kennwerte der Entnahmetemperatur und der Temperaturkonstanz	31
Tab. 5:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang) nach TrinkwV	34
Tab. 6:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmestelle (Vorlauf, Rücklauf, Steigstrang) nach DVGW	35
Tab. 7:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmearmatur bezogen auf die 21.159 Steigstränge nach TrinkwV.....	36
Tab. 8:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Wassertrübheit nach DVGW und TrinkwV	37
Tab. 9:	Risikoschätzung mittels Odds Ratio zwischen den „klaren“ und „trüben“ Trinkwasserproben nach DVGW und TrinkwV	38
Tab. 10:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur ≥ 55 $^{\circ}\text{C}$	38
Tab. 11:	Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Entnahmetemperatur $< 55^{\circ}\text{C}$	39
Tab. 12:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Temperaturkonstanz ≥ 55 $^{\circ}\text{C}$	40
Tab. 13:	Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Temperaturkonstanz $< 55^{\circ}\text{C}$	40
Tab. 14:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Entnahmetemperatur ≥ 60 $^{\circ}\text{C}$	41
Tab. 15:	Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Entnahmetemperatur $< 60^{\circ}\text{C}$	42
Tab. 16:	Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Temperaturkonstanz ≥ 60 $^{\circ}\text{C}$	42
Tab. 17:	Risikoschätzung mittels Odds Ratio für das Vorkommen von Legionellen bei einer Temperaturkonstanz $< 60^{\circ}\text{C}$	43
Tab. 18:	Ergebnisse der logistischen Regression	43

Tab. 19: Flächen unter den Kurven (AUC-Werte)	45
Tab. 20: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer 501-508	47
Tab. 21: Vorkommen von Legionellen in Abhängigkeit der Probennehmer 509-514	47

9. Literaturverzeichnis

Alary M, Joly JR. Risk factors for contamination of domestic hot water systems by Legionellae. In: Applied and environmental Microbiology 1991; 57: 2360-2367

Astitouh F. Einfluss von Konstruktion und Betriebsweise von Trinkwasser-Installationen auf das Wachstum von Mikroorganismen im Trinkwasser. Inaugural-Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 2012

Bhopal R. Source of infection for sporadic Legionnaires' disease: A review. In: Journal of infection 1995; 30: 9-12

Borella P, Guerrieri E, Marchesi I, Bondi M, Messi P. Water ecology of Legionella and protozoan: Environmental and public health perspectives. In: Biotechnology Annual Review 2005; 11: 355-380

Borella P, Montagna MT, Romano-Spica V, Stampi S, Stancanelli G, Triassi M, Neglia R, Marchesi I, Fantuzzi G, Tatò D, Napoli C, Quaranta G, Laurenti P, Leoni E, De Luca G, Ossi C, Moro M, Ribera D'Alcalà G. Legionella infection risk from domestic hot water. In: Emerging Infectious Diseases 2004; 10: 457-464

Botzenhart K, Hahn T. Vermehrung von Krankheitserregern im Wasserinstallationssystem. In: Wasser – Abwasser 1989; 9: 432-440

Brodhun B, Buchholz U. Legionärskrankheit in Deutschland 2001-2013. Robert Koch-Institut, Epidemiologisches Bulletin 2015; 13: 95-106

Collins S, Stevenson D, Bennett A, Walker J. Occurrence of Legionella in UK household showers. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017; 220: 401-406

Costerton JW, Lewandowski Z, Caldwell DE. Microbial biofilms. In: Annual Review of Microbiology 1995; 49: 711-745

DIN 1988-200: Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen – Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) – Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW. Entwurf von Juni 2011

DIN EN ISO 11731: Wasserbeschaffenheit – Zählung von Legionellen. Entwurf von Dezember 2015

Donlan RM, Costerton JW. Biofilms: Survival mechanisms of clinically relevant microorganisms. In: Clinical Microbiology Reviews 2002; 15: 167-193

DVGW Arbeitsblatt W551. Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen. Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. Beuth-Verlag Berlin; 2004

European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Developing a water management program to reduce Legionella growth and spread in buildings: A practical guide to implementing industry standards 2017. <https://www.cdc.gov/legionella/downloads/toolkit.pdf> (Zugriffsdatum: 23.06.2019)

Exner M. Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionellen-Infektionen im Krankenhaus. In: Forum Städte-Hygiene 1991; 42: 178-191

Exner M, Kramer A, Kistemann T, Gebel J, Engelhart S. Wasser als Infektionsquelle in medizinischen Einrichtungen, Prävention und Kontrolle. In: Bundesgesundheitsblatt 2007; 50: 1-10

Exner M, Suchenwirth R, Pleischl S, Kramer A, Eikmann T, Nissing W, Hartemann P, Koch C, Teichert-Barthel U, Heudorf U, Engelhart S. Memorandum zu dem Legionellen-Ausbruch in Ulm 2010 aus der Sicht von Hygiene und öffentlicher Gesundheit. In: Umweltmedizin in Forschung und Praxis 2010; 1: 43-57

Fehrenbach FJ, Müller HE, Ruf B, Seidel K. Die Legionärskrankheit – Nachweis von Legionella-Antigen diagnostisch entscheidend. In: Deutsches Ärzteblatt 1989; 86: 830-833

Fraser DW, Tsai TR, Orenstein W, Parkin WE, Beecham HJ, Sharrar RG. Legionnaires' disease: Description of an epidemic of pneumonia. In: New England Journal of Medicine 1977; 297: 1189-1197

Habicht W, Müller HE. Über das Vorkommen von Legionellen in Warmwasserproben aus Krankenhäusern und Hotels. In: Hygiene und Medizin 1986; 11: 233-237

Hariparsad D, Ramsaroop R, Seedat YK, Patel PL. Mesangial proliferative glomerulonephritis with Legionnaires' disease. A case report. In: South African Medical Journal 1985; 67: 649-650

Harmuth M. Untersuchungen über das Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen von Ein- und Zweifamilienhäusern. Inaugural-Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 2006

Hentschel W. Überlegungen zur Wahl der Probennahmestellen bei orientierenden Untersuchungen auf Legionellen nach TrinkwV 2001. In: Energie-Wasser-Praxis 2016; 2: 40-45

Höll K, Grohmann A. Wasser – Nutzung im Kreislauf – Hygiene – Analyse und Bewertung. Gruyter, 2002, 8. Auflage

King CH, Shotts EB, Wooley RE, Porter KG. Survival of coliforms and bacterial pathogens within protozoa during chlorination. In: Applied and Environmental Microbiology 1988; 54: 3023-3033

Kistemann T. Hygienisch-mikrobiologische Trinkwassergüte in der Trinkwasser-Installation. In: Gebäudetechnik für Trinkwasser. Springer-Verlag, 2012: 9-66

Kistemann T. Erhalt der Trinkwassergüte in Trinkwasser-Installationen. In: Integrale Planung der Gebäudetechnik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014: 101-150

Kuckartz U, Rädiker S, Ebert T, Schehl J. Statistik – Eine verständliche Einführung. Springer-Verlag Wiesbaden, 2013

Leclerc H. Relationships between common water bacteria and pathogens in drinking-water. In: Bartram J et al. (Hrsg.): Heterotrophic plate counts and drinking-water safety. The significance of HPCs for water quality and human health. (TJ International) United Kingdom: TJ International 2003: 80-118

Leoni E, De Luca G, Legnani PP, Sacchetti R, Stampi S, Zanetti F. Legionella waterline colonization: Detection of *Legionella* species in domestic, hotel and hospital hot water systems. In: Journal of applied Microbiology 2005; 98: 373-379

Lück C. Legionellen-Infektionen: Häufigkeit, mikrobiologische Diagnostik, Überwachung und Prävention. In: Krankenhaushygiene up2date 2010; Heft 4

Marston BJ, Lipmann HB, Breimann RF. Surveillance for Legionnaires' disease. Risk factors for morbidity and mortality. In: Archives of internal medicine 1994; 154: 2417-2422

Mathys W, Rickmann B. Trinkwasserhygiene: Zirkulationssysteme in der Trinkwasser-Installation. 2005, 4. Auflage

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. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health 2008; 211 (1-2): 85-179

Meyer E. Legionellen-Infektionsprävention: Extrem teuer und wenig effektiv. In: Krankenhaushygiene up2date 2017; Heft 2

Murdoch DR. Diagnosis of Legionella infection. In: Clinical infectious diseases 2003; 36: 64-69

Müller HE. Legionellen - ein aktuelles Problem der Sanitärhygiene. Infektion und Bekämpfung. Expert-Verlag GmbH, 2004, 2. Auflage

Müller H. Etablierung einer Methode zur Bestimmung von *Legionella pneumophila* in Trinkwasserproben mittels Durchflusszytometrie. Bachelorarbeit, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2012

Oliver JD. The viable but nonculturable state in bacteria. In: Journal of Microbiology 2005; 43: 93-100

Otte A. Wirksamkeitsprüfung verschiedener Desinfektionsverfahren und antimikrobieller Oberflächen zur Vermeidung bzw. Reduktion von Biofilmen in trinkwasserführenden Hausinstallationssystemen unter Verwendung des Silikonschlauchmodells mit molekularbiologischer Bestimmung der Biofilm-Population. Inaugural-Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2006

Pleischl S. Zum Vorkommen von Legionellen in wasserführenden, technischen Systemen und der Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen unter Praxisbedingungen. Inaugural-Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 2004

Sabria M, Yu VL. Hospital-acquired legionellosis: Solutions for a preventable infection. In: The Lancet. Infectious diseases 2002; 2(6): 368-373

Schaefer B, Brodhun B, Wischnewski N, Chorus I. Legionellen im Trinkwasserbereich. Ergebnisse eines Fachgespräches zur Prävention trinkwasserbedingter Legionelosen. In: Bundesgesundheitsblatt 2011; 54: 671-679

Stanke J. Untersuchung zur Besiedlung der Warmwassersystemen von Ein- und Zweifamilienhäusern mit Legionellen. Inaugural-Dissertation, Westfälische Wilhelms-Universität Münster, 2005

TrinkwV. Trinkwasserverordnung in der Fassung der Veröffentlichung vom 8. Januar 2018 (BGB1. I S. 99) und dem gesetzlichen Inkrafttreten am 9. Januar 2018. 2001

Umweltbundesamt: Systemische Untersuchungen für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse gemäß Trinkwasserverordnung – Maßnahmen bei Überschreitung des technischen Maßnahmewertes für Legionellen. 2012

Umweltbundesamt: Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung. 2012

VDI 6023 Blatt 1: Hygiene in Trinkwasser-Installationen. Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung. Juli 2006

Völker S, Schreiber C, Kistemann T. Drinking water quality in household supply infrastructure – A survey of the current situation in Germany. In: International Journal of Hygiene and Environmental Health 2010; 213: 204-209

Völker S, Kistemann T. Field testing hot water temperature reduction as an energy-saving measure – does the *Legionella* presence change in a clinic's plumbing system? In: Environmental Technology 2015; 36: 2138-2147

Völker S, Schreiber C, Müller H, Zacharias N, Kistemann T. Identifikation systemweiter Kontamination mit Legionella spec. in Trinkwasser-Installationen: Untersuchungsstrategien und korrespondierende Parameter. In: Gesundheitswesen 2017; 79 (5): 407-414

Wricke B, Petzold H, Hamsch B. Microbial situation in in-house installation systems. DVGW 2008, Dresden

Wingender J, Flemming HC, Szewzyk U, Steinberg P, Rice SA, Kjelleberg S. Biofilms: An emergent form of bacterial life. In: Nature Reviews Microbiology 2016; 14 (9): 563-575

World Health Organisation (Hrsg.). Guidelines for drinking-water quality. Genf, 2004

10. Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt Prof. Dr. med. T. Kistemann für die Bereitstellung dieses Themas und für die großartige Unterstützung meiner Dissertationsarbeit in Form von konstruktiven Ratschlägen und diversen Korrekturlesungen. Desweiteren danke ich Dr. rer. nat. S. Völker für die ersten Ratschläge und die Begleitung in den Anfangsmonaten dieser Dissertation.

Ebenfalls möchte ich mich bei Herrn T. Höller aus dem Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBIE) für die Kooperation und Unterstützung bei der statistischen Auswertung dieser Dissertation bedanken.

Desweiteren möchte ich mich herzlichst bei meinen Eltern bedanken, die mich bei insgesamt zwei erfolgreichen Studiengängen immer unterstützt und motiviert haben und auf die man sich immer verlassen kann.

Mein größter Dank gilt meiner Ehefrau Johanna, die mir in allen Lebenslagen zur Seite steht und mich bei Zweifel oder Sorgen liebevoll unterstützt und motiviert hat.