

**Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
- Direktor: Univ. Prof. Dr. rer. nat. Helge Karch -**

**Legionellen-Vorkommen
in Kaltwasserleitungssystemen von Trinkwasseranlagen**

INAUGURAL-DISSERTATION
zur
Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von Thorsten Radin
aus Lippstadt

Münster, 2004

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Westfälischen Wilhelms-
Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Heribert Jürgens

1. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Werner Mathys

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wolfgang Fegeler

Tag der mündlichen Prüfung: 14.06.2004

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene
-Direktor: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Helge Karch -
Referent: Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Werner Mathys
Koreferent: Prof. Dr. med. Wolfgang Fegeler

ZUSAMMENFASSUNG

Legionellen-Vorkommen in Kaltwasserleitungssystemen von Trinkwasseranlagen
Thorsten Radin

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse von Legionellen im Kaltwasser aus verschiedenen Trinkwasseranlagen. Es wurden Wasserwerke, öffentliche Trinkwasserversorgungsanlagen sowie verschieden große Gebäudetypen auf Legionellen im Kaltwasserleitungssystem untersucht. Die Proben wurden jeweils an verschiedenen Entnahmestelle der Gebäude entnommen.

Insgesamt wurden 176 Kaltwasserproben untersucht. Davon konnten lediglich aus 21 Proben (11,93 %) Legionellen nachgewiesen werden. Ein Nachweis auf Legionellen konnte in den Wasser- und Netzwerken nicht geführt werden, diese Werte lagen unter der Nachweisgrenze. Aus den 21 pos. Proben sind 4,76 % (1 Probe) den Einfamilienhäusern, 80,95 % (17 Proben) den Kliniken und 14,25 % (3 Proben) der Industrieanlage zuzuordnen. Die größte Anzahl mit 59.000 KBE/l Legionellen war aus einer Probe der Industrieanlage zu ermitteln. Aus den klinischen Proben waren 3.000 KBE/l und aus den Einfamilienhausproben 86 KBE/l Legionellen nachweisbar. Die weitere Diagnostik der Legionellen erfolgte mittels Einteilung in die verschiedenen Serogruppen. Der größte Anteil Legionellen war mit 38,09 % Legionella pneumophila Serogruppe 1 zuzuordnen. Die Serogruppen 3, 4, 5, 6 und die Spezies Legionella dumoffii waren ebenfalls nachweisbar. Aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit wird gezeigt, dass die verwendeten Rohrmaterialien keinen Einfluss auf das Vorhandensein von Legionellen nehmen. Demgegenüber wird ersichtlich, dass in Gebäuden durch Länge und Verzweigung des Rohrleitungssystems sowie durch auftretende Stagnationen ein Temperaturanstieg des Kaltwassers zu verzeichnen ist und dadurch auch eine Zunahme der Nachweisbarkeit von Legionellen.

Zur Prävention einer Legionellose ist zu empfehlen, dass Kaltwasserleitungssysteme von Wärmequellen fernzuhalten sind, um eine Erwärmung des Kaltwassers über 20 °C zu verhindern. Eine entsprechende Planung der Installation des Rohrleitungssystems/Isolierung ist ratsam. In Kliniken und Großgebäuden ist eine routinemäßige Mituntersuchung des Kaltwassers zusammen mit dem Warmwassersystem angezeigt.

Tag der mündlichen Prüfung: 14.06.2004

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
A) Einleitung	2
1.) Allgemeines über Legionellen	2
2.) Mikrobiologie	3
3.) Epidemiologie	4
4.) Pathogenese	4
5.) Klinik	5
5.1.) Legionärskrankheit	5
5.2.) Pontiac-Fieber	7
6.) Diagnostik	7
7.) Risikofaktoren	9
8.) Therapie	9
9.) Prävention	10
9.1.) Permanente Erwärmung des Wassers auf 60 °C	11
9.2.) Intermittierende Aufheizung des Wassers	11
9.3.) UV-Bestrahlung	11
9.4.) Chemische Desinfektion durch Chlor oder Chloroxid	12
9.5.) Endständige Sterilfiltration	12
10.) Übertragungswege	13

B) Material und Methode	16
1.) Probenorte	16
2.) Wasserentnahme	16
3.) Wasserverarbeitung	17
4.) Verwendete Nährböden	18
4. 1.) Legionella-MWY-Selektivagar	18
4. 2.) Cysteinfreier Agar-Basis-Nährboden	19
4. 3.) Legionella-BCYE α -Agar	19
4. 4.) Columbia-Blutagar	20
5.) Eisen-, Kupfer- und Zinkbestimmung	20
6.) Auswertung	20
C) Ergebnisse	22
1.) Erläuterung der Abbildungen	22
2.) Beschreibung der Untersuchungsbereiche	23
3.) Legionellen Vorkommen in den verschiedenen Untersuchungs- bereichen	24
4.) Darstellung der gemessenen physikalischen Parameter (Wassertemperatur)	25
5.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen in den verschiedenen Untersuchungsbereichen	27
6.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen in Korrelation zu Legionellen	28
7.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen der einzelnen Untersuchungsgebiete	29
7.1.) Wasserwerke	30
7.2.) Netzwerke	30
7.3.) Einfamilienhäuser	31

7.4.) Mehrfamilienhäuser	31
7.5.) Kliniken	32
7.6.) Industrieanlage	33
7.7.) Mineralwässer	33
8.) Einteilung der Untersuchung der Gebäudetypen in zwei Phasen	34
9.) Darstellung der gemessenen Kupferwerte	37
9.1.) Darstellung der gemessenen Cu-Werte in den verschiedenen Untersuchungsgebieten	39
9.2.) Darstellung der gemessenen Cu-Werte in Korrelation zu Legionellen	40
10.) Darstellung der gemessenen Eisenwerte	41
10.1.) Darstellung der gemessenen Fe-Werte in den verschiedenen Untersuchungsgebieten	43
10.2.) Darstellung der gemessenen Fe-Werte in Korrelation zu Legionellen	44
11.) Darstellung der gemessenen Zinkwerte	45
11.1.) Darstellung der gemessenen Zn-Werte in den verschiedenen Untersuchungsbereichen	48
11.2.) Darstellung der gemessenen Zn-Werte in Korrelation zu Legionellen	49
12.) Legionellen Vorkommen in den verschiedenen Untersuchungs- gebieten	50
13.) Vorkommen von Legionellen in den verschiedenen Gebäudetypen	52
13.1.) Einfamilienhaus A	52
13.2.) Einfamilienhaus B	54
13.3.) Mehrfamilienhaus C	56
13.4.) Mehrfamilienhaus D	58
13.5.) Klinik E	60

D) Diskussion	62
E) Zusammenfassung	67
F) Literaturverzeichnis	68
G) Danksagung	76
H) Lebenslauf	77

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
KBE	koloniebildende Einheiten
TVO	Trinkwasserverordnung
Leg.	Legionellen
z. B.	zum Beispiel
DIN	Deutsche Industrienorm
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches
WHO	World Health Organisation
CDC	Center for Disease Control
sog.	sogenannt/en
u. a.	unter anderem
d. h.	das heißt
ca.	circa
bzgl.	bezüglich
neg.	negativ
pos.	positiv
Tab.	Tabelle
Abb.	Abbildung
Fe	Eisen
Zn	Zink
Cu	Kupfer
etc	et cetera
Mich.	Michigan

Die Bezeichnung „vorliegende Arbeit“ im Diskussionsteil bezieht sich auf die im folgenden Ergebnisteil gefundenen Ergebnisse und dient der Abgrenzung zu den in der Diskussion dargestellten Arbeiten.

A) Einleitung

1.) Allgemeines über Legionellen

Die Entdeckung der Legionellen und der Nachweis des Zusammenhangs mit der Pneumonie gehen auf eine Epidemie im Jahre 1976 zurück. In diesem Jahr trafen sich 4.400 Veteranen der American Legion (Vereinigung amerikanischer Kriegsveteranen) im Bellevue-Stratford Hotel in Philadelphia, USA. Von diesen 4.400 Teilnehmern erkrankten innerhalb kurzer Zeit 221 Patienten an einer schweren Pneumonie, 34 Patienten starben. [55]

Am 18.01.1977, 5 ½ Monate nach dem Krankheitsausbruch in Philadelphia, veröffentlichte das CDC (Center for Disease Control) jedoch in einem Sonderheft des „Morbidity and Mortality Weekly Report“, dass das ätiologische Agens der Lungenerkrankung gefunden worden sei. Dr. Joseph Mc Dade, Mitarbeiter des CDC, hatte ein gramnegatives Bakterium aus dem Lungengewebe von verstorbenen Patienten isoliert. Die Erkrankung bezeichnete der CDC offiziell als „Legionärskrankheit“ und die Erreger im Jahre 1979 als „Legionella pneumophila“. [20] Aufgrund dieses Kenntnisstandes konnte festgestellt werden, dass Legionella pneumophila bereits 1968 zu einer Epidemie geführt hatte. In diesem Jahr erkrankten in Pontiac, Mich., USA, über 140 Personen des Oakland Kreisgesundheitsamtes an einer akuten grippeähnlichen Infektion. Todesfälle wurden nicht registriert. Nachdem man die Erkrankung auf Legionella pneumophila zurückführen konnte, wurde diese nach dem Ausbruchsort Pontiac als „Pontiac Fieber“ benannt. [55, 61]

Durch die Untersuchung konservierter Seren ließen sich Legionellose-Fälle sogar bis ins Jahr 1947 zurückverfolgen. So konnten retrospektiv im tiefgefrorenen Serum des Mitarbeiters eines mikrobiologischen Labors aus diesem Jahr mittels indirekter Immunfluoreszenz Antikörper gegen Legionellen nachgewiesen werden.[3] Ebenfalls 1943 gelang die erste Isolierung eines Legionella-Stammes aus dem Blut eines in Fort Bragg stationierten Soldaten, der an einer fieberhaften Erkrankung, dem sog. Fort Bragg-Fieber, litt.[24] In diesem Fall gelang Rickettsiologen, die Anzucht dieser zunächst als atypische Rickettsien angesehenen Keime über die Inokulation von Patientenblut in Meerschweinchen bzw. im Dottersack von bebrüteten Hühnereiern. Es

ist daher nur konsequent, dass schließlich der ätiologische Erreger der Philadelphia-Epidemie 1977 erfolgreich über die gesamte Standardmethode der Rickettsiendiagnostik von Mc Dade et al. isoliert wurde, nachdem alle anderen Kultivierungsverfahren fehlgeschlagen waren. [40, 56]

2.) Mikrobiologie

Bei Legionellen handelt es sich um ein auf üblichen Nährmedien nicht anzüchtbares, obligat aerobes, gramnegatives (allerdings oft schlecht anfärbbares), pleomorphes, nicht sporenbildendes, stäbchenförmiges Bakterium mit monopolarer Begeißelung (nur fünf Spezies sind unbegeißelt) von 0,3-0,9 µm Durchmesser und 2-20 µm Länge, begeißelt und somit beweglich. Im Direktpräparat herrschen kurze, in der Kultur unterschiedlich lange Einzelorganismen vor. Aus Zuckern wird keine Säure gebildet, Urease und Nitrattase sind nicht vorhanden, Katalase wird i. a. produziert. L-Cystein und Fe⁺⁺⁺-Salze werden zum Wachstum benötigt. Legionellen wachsen nicht auf normalen Nährböden; im diagnostischen Laboratorium werden sie auf gepuffertem Charcoal-Yeast Extract-Agar (BCYE) mit α -Ketoglutarat-Zusatz, eventuell mit Antibiotikazusatz, in einer 2-5% CO₂-Atmosphäre gezüchtet. Legionellen besitzen diverse verzweigte Fettsäuren und Ubichinone mit > 10 Isopreneinheiten; das Guanin-Zytosin-Verhältnis beträgt 38-52 Mol %. [31]

Mittlerweile konnten in die neue Familie der Legionellaceae mit der einzigen Gattung Legionella 42 Spezies und 64 Serotypen eingeordnet werden, von denen 19 pathogen für den Menschen sein können. Diese Aufstellung wird sicher bald wieder zu erweitern sein, da weitere Spezies und Serotypen zu erwarten sind. Die Speziesunterschiede betreffen u. a. Fettsäuren, Ubichinone, Gelatinase, Pigmentierung und Autofluoreszenz bei 366 nm. Sowohl bei den Umwelt- als auch bei den klinischen Isolaten stellt Legionella pneumophila und hierbei besonders Serogruppe 1 den größten Anteil, gefolgt von Legionella micdadei, dar. [20, 31, 34, 54, 83]

3.) Epidemiologie

Legionellen sind weitverbreitete Wasserbakterien, die häufig aus Großgebäuden, Warmwassersystemen, Klimaanlage, Bädern, Rückkühlwerken, Eismaschinen, Dentaleinrichtungen und vielen anderen Habitaten isoliert werden können.[29, 44, 45, 54, 61, 77] Legionellen finden sich in natürlichen Gewässern, z.B. in Flüssen und den ihnen benachbarten Böden, Teichen, Quellen, Uferfiltraten, im Grundwasser und im Trinkwasser der öffentlichen Wasserversorgung bis hin zu Wasserhähnen und Duschköpfen.[1, 11, 54, 75, 81] Nur in salzhaltigen Wässern bleiben die Nachweise negativ. [58, 62] Legionellose-Erkrankungen treten häufig in den Sommer- und Herbstmonaten auf. [31, 92, 89] Legionellen halten sich bei Temperaturen zwischen 5 °C und 65 °C, vor allem in stagnierendem Wasser (Temperaturoptimum für die Vermehrung 25 °C – 45 °C). Ein Reservoir in bestimmten Amöben-Spezies ist erwiesen und mag das Überleben dieser anspruchsvollen Bakterien in der Natur erklären. Angesichts des nicht sehr häufigen Vorkommens der Legionellen im Kaltwasser von Haushalten sind Erkrankungen hier eher selten. [54, 61, 32, 74, 82]

Bei der Legionellen-Pneumonie sind zahlreiche sporadische und epidemische Fälle bekannt geworden. Sie treten weltweit auf. Nach dem Infektionsort unterscheidet man nosokomiale und ambulant erworbene Legionellosen. Als Sonderform der ambulant erworbenen Pneumonie wird die Reise-assoziierte Legionellose erfasst. [92] Von ebenso entscheidender epidemiologischer Bedeutung ist, dass Legionellen-Infektionen nach heutigem Kenntnisstand ausschließlich über exogene Infektionsquellen aus unbelebter Umgebung erworben werden. Nach Hochrechnung mehrerer nationaler und internationaler Studien ist in Deutschland schätzungsweise mit 6.000 - 10.000 Legionella-Pneumonien pro Jahr zu rechnen. Bei etwa 1 - 5 % der in Krankenhäusern behandelten Pneumonien wird eine Legionellose diagnostiziert, wobei 1.000 – 1.500 Menschen in der BRD sterben. [80, 92]

4.) Pathogenese

Die Legionellen führen in der Lunge zu einer akut fibrinös-eitrigen Pneumonie, indem diese Legionellen die Azinis befallen. Der Respirationstrakt und die Bronchiolen werden nur in geringem Maße geschädigt, da die Legionellen nur eine geringe Affinität zu Epitelien mit Zilien haben. In den Lungenazinis wird hierdurch Fibrin und

Ödemflüssigkeit exsudiert, wodurch Alveolarmakrophagen, Monozyten und Leukozyten aktiviert werden, die die Legionellen phagozytieren. Nach Inhibition der intrazellulären Phagozytose vermehren sich die Legionellen und werden nach Abtötung der Phagozyten in großer Zahl freigesetzt. Die Exsudation beeinträchtigt die Gasaustauschfunktion der Lunge und durch eine Fibrose kann es zu schweren bleibenden Lungenschäden kommen. Als extrapulmonale Manifestation werden renale, gastrointestinale, kardiale Schäden und neurologische Ausfälle aufgeführt. Dies wird mit der Bakteriämie und eventuellen Endotoxinen der Legionellen verbunden.

Da die hauptsächliche Funktion der Abwehr von Legionellen die zellulären Elemente einnehmen, wird es verständlich, dass bei Mangel an solchen Strukturen Patienten bei z. B. Zytostatika-Behandlung, Kortikoid-Medikation oder Leukämie besonderes anfällig für eine Legionellose sind. [6, 36, 69]

5.) Klinik

Es existieren zwei Formen der Legionellose-Erkrankung:

5.1.) Legionärskrankheit (Legionella-Pneumonie);

5.2.) Pontiac Fieber.

Zu 5.1.) Legionärskrankheit

Die Legionärskrankheit gehört zu den sogenannten a-typischen Pneumonien. Sie bricht nach einer Inkubationszeit von 2 – 10 Tagen aus. [92] Die Legionärskrankheit zeigt grippeähnliche Symptome, die sich akut oder subakut über mehrere Tage entwickeln können. Die Legionärskrankheit endet bei 12 bis 30 % der erkrankten Patienten letal. [57]

Die Symptome der Legionärskrankheit äußern sich wie folgt: Abgeschlagenheit, Fieber, Unwohlsein, Schüttelfrost mit hohem Fieber über 30 °C und unproduktivem Husten. Bei mehr als der Hälfte der erkrankten Patienten entwickelt sich im Verlauf der Krankheit produktiver Husten. Als weitere Merkmale der Krankheit sind bei 50 % der Fälle extrapulmonale Organmanifestationen zu beobachten. Typischerweise treten Muskel- wie auch Gelenkschmerzen im Verlauf der Krankheit auf. Häufig ist auch das

zentrale Nervensystem mit Verwirrtheit, schweren Kopfschmerzen und Desorientierung betroffen. Genauso häufig sind gastrointestinale Beschwerden, wie Übelkeit, Erbrechen, Diarrhoe und abdominale Schmerzen zu beobachten. In einigen Fällen zeigte sich sogar eine Niereninsuffizienz bis zur Dialysepflichtigkeit. [70] Bei der Legionärskrankheit ist eine Therapie grundsätzlich notwendig. In vielen Fällen ist sogar eine mechanische Beatmung des Patienten in intensivmedizinischer Behandlung erforderlich. Dies resultiert aus einer Letalität unbehandelter Patienten von 80 %. [31, 92] Radiologisch lassen sich bei der Hälfte der Erkrankten innerhalb von 2 Tagen pneumonale Infiltrate nachweisen. Die Infiltrationen können segmental, lobär begrenzt oder diffus sein, Abb.: 1. Trotz adäquater Therapie und klinischer Besserung können die Infiltrate noch zunehmen. Die Rückbildung der Infiltrate dauert in der Regel länger als die klinische Besserung.

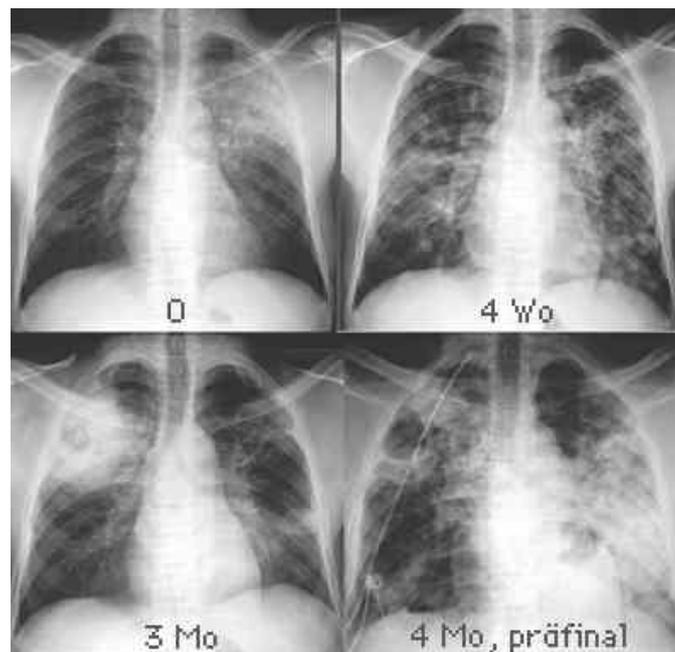


Abb. 1: Legionellen-Pneumonie bei einem AIDS-Patienten. Der Verlauf demonstriert das vielfältige Erscheinungsbild von Lobärpneumonie über bronchopneumonische Herde (4 Wo) zu abszedierenden pneumonischen Infiltraten.[93]

Laborbefunde zeigen bei 60 – 75 % der erkrankten Patienten eine mittelgradige Leukozytose mit Linksverschiebung. Eine Einschränkung der Nierenfunktion mit Veränderung entsprechender Laborwerte von Hämaturien und Proteinurie sowie eine

mäßige Erhöhung der Transaminasen der alkalischen Phosphatasen als Zeichen der Leberbeteiligung sind feststellbar. Da sich die Legionellen-Pneumonie trotz klinischer, radiologischer und laborchemischer Untersuchungen nicht eindeutig von anderen Pneumonien unterscheiden lässt, muss zur Diagnosesicherung ein spezielles mikrobiologisches Nachweisverfahren durchgeführt werden.

Zu 5.2.) Pontiac-Fieber

Neben der pneumonischen Form – Legionella-Pneumonie – gibt es noch eine weitere Verlaufsform einer Legionella-Infektion: Das Pontiac-Fieber. Bei dieser Form der Infektion handelt es sich um eine akut beginnende, selbstlimitierende, grippeähnliche – influenza-ähnliche – Erkrankung, die ohne Pneumonie verläuft. [72] Die Infektionsrate liegt bei mehr als 90 %. Die Erkrankung beginnt akut mit hohem Fieber, Schüttelfrost, Myalgien, Kopf- und Muskelschmerzen. Weiter charakterisiert sich der Verlauf der Krankheit durch gelegentliche Verwirrheitszustände und Unwohlsein. Ferner können im Verlauf der Krankheit auch Thoraxschmerzen und Husten auftreten. Das Pontiac-Fieber beginnt nach einer Inkubationszeit von 36 Stunden, 1-2 Tagen, und heilt nach 2 – 5 Tagen spontan ohne antibiotische Therapie und ohne stationäre Aufnahme in einem Krankenhaus aus. [70, 92] Im Gegensatz zur Legionella-Pneumonie wird das Pontiac-Fieber meist zufällig diagnostiziert. Dies aufgrund der unspezifischen Symptome der Erkrankung und daher, weil diese Form der Legionella-Infektion immer gutartig verläuft. In der Regel erfolgt daher keine spezifische Diagnostik zum Nachweis einer Legionella-Infektion. [70]

6.) Diagnostik

Zur Diagnose der Legionellen stehen verschiedene labortechnische Methoden zur Verfügung. Eine der meist angewandten Methoden zur Bestimmung von Legionellen ist der kulturelle Nachweis, wobei aus bronchoalveolären Lavagen, Trachealsekret, Sputum, Lungengewebe oder Umweltproben auf speziellen Nährböden (Buffered Charcoal Yeast Extract Agar -BCYE-Agar-) ein Nachweis des Legionellen-Erregers angezchtet wird. Nach einer Bebrütungszeit von 3 – 5 Tagen erfolgt in 35 °C warmer

und feuchter Atmosphäre ein Wachstum von grauen, matt glänzenden Legionellen-Kolonien mit glatter Oberfläche. [15, 30 39, 40, 83, 89, 92]

Eine weitere Methode zur Diagnose von Legionellen ist der mikroskopische oder fluoreszenzmikroskopische Nachweis, wobei mit fluoreszenzmarkierten Antikörpern der Nachweis erbracht wird. Dieser Nachweis hat eine Sensibilität von 60 bis 70 %. Da es gelegentlich zu Kreuzreaktionen mit *Pseudomonas* spp. und *Bacteroides fragilis* kommen kann, wird die Aussagefähigkeit dieser Methode als begrenzt angesehen. [31]

Neben kulturellem und mikroskopischem Nachweis wird häufig der Nachweis von Serumantikörpern als alternative Laboratoriumsuntersuchungsmethode angewandt. Durch indirekte Immunfluoreszenz (IFA) oder Enzymimmunoassays (ELISA) lassen sich Antikörper ab dem 10. Tag nach Erkrankungsbeginn, gelegentlich jedoch erst nach 6 – 8 Wochen, feststellen. Daher hat dieser Test nur eine retrospektive Aussagefähigkeit. Sofern ein Titeranstieg um 2 Titerstufen auf $\geq 1 : 128$ gemessen werden kann, gilt dies als beweisend. Einzeltiter oder gleichbleibend hohe Titer von ≥ 256 gelten ebenso als beweisend. [31, 39, 92]

Als weitere Alternative steht noch der Nachweis von Erregerantigen im Urin mittels RIA oder ELISA zur Verfügung. Dieser Nachweis hat eine höhere Sensibilität (ca. 80 %) und ist serogruppenspezifisch. Der Urinantigentest ist häufig bereits in den ersten Krankheitstagen positiv und persistiert meist einige Wochen, selten über Monate. Diese Methode erlaubt daher eine rasche Diagnose. Gelegentlich kommt es bei Anwendung von Latex-Agglutinationstesten bei Bakteriurie und Tuberkulose zu falsch positiven Ergebnissen. [31, 40, 92]

Die polymerase Kettenreaktion (PCR), durch die die Amplifikation der DNA stattfindet, ist im Gegensatz zum Legionellenantigen im Urin eine Nachweismethode, wobei bereits durch eine Untersuchung sämtliche Legionellen-Spezies erfasst werden können. Die PCR-Methode hat allgemein eine gute Sensitivität aber eine schlechtere Spezifität, wodurch die Aussagekraft nicht abschließend bewertet werden kann. [10, 92]

7.) Risikofaktoren

Die Legionellose zeigt ein typisches, charakteristisches Risikoprofil, wobei folgende Faktoren für die Erkrankung an Legionellose bei der Mehrzahl von Patienten zutreffend sind, wie z. B. Alter des Patienten (> 55 Jahre) und männliches Geschlecht, die zwei- bis dreimal häufiger betroffen sind als Frauen. Weiter für den Erwerb der Krankheit prädestiniert sind Patienten, die rauchen und/oder einen vermehrten Alkoholabusus haben. Eine weitere Infektionsgefährdung besteht bei Patienten mit Grunderkrankungen, wie z. B. chronisch obstruktive Lungenerkrankung, Diabetes, Autoimmunerkrankungen und terminale Niereninsuffizienz. Ferner besteht ein spezielles Risiko für Patienten mit malignen hämatologischen Erkrankungen und Patienten mit Steroidtherapien. Das größte Risiko tragen immunsuppressive Patienten, z. B. nach Herztransplantationen, Nierentransplantationen und Knochenmarkstransplantationen. Hier werden die höchsten Todesraten durch eine Legionellen-Pneumonie beschrieben. Das Risiko einer Infektion mit einer Legionellen-Pneumonie ist allerdings auch bei Patienten gegeben, die nicht in die Risikobereiche fallen. Hierbei ist die Exposition mit Legionellen der ausschlaggebende Faktor. [13, 17, 41, 52, 53, 57, 83]

8.) Therapie

Erythromycin war das klassische Medikament der ersten Wahl zur Behandlung der Legionellen-Pneumonie, wobei heute wegen der Nebenwirkungen die neueren Makrolide, wie zum Beispiel Azithromycin oder Clarithromycin, bevorzugt werden (Tab. 1). [89] Kurztherapien von einer Woche gelten als nicht genügend. Daher wird eine Therapiedauer von 14 Tagen empfohlen, wegen der Schwere des Krankheitsbildes. Neuere Untersuchungen zeigen, dass Quinolone (Levofloxacin, Moxifloxacin) wirksamer sind als die älteren (Ciprofloxacin). Daher werden sie bei transplantierten Patienten wegen fehlender Interaktion mit Immunsuppressiva vorgezogen. [83, 92] Ein rechtzeitiger bzw. frühzeitiger Therapiebeginn sowie Erkenntnisse über eventuell vorliegende Grunderkrankungen haben für die Prognose neben der antimikrobiellen Therapie eine entscheidende Bedeutung.

Therapiebeispiele für Legionellen-Pneumonie (Dauer 14 Tage)

Substanz	Markenname	Dosierung	Kommentar
Erythromycin	Erythrocin®	4 x 500 mg/pro Tag 14 bis 21 Tage	Bisheriger Standard, gastrointestinale Nebenwirkungen in 15 %
Azithromycin	Zithromax®	1 x 500 mg/pro Tag 3 bis 5 Tage	Aktuelle Standardtherapie
Clarithromycin	Klacid®	2 x 500 mg/pro Tag 14 bis 21 Tage	Aktuelle Standardtherapie
Ciprofloxacin	Ciproxin®	2 x 750 mg/pro Tag 7 bis 10 Tage	Bisheriger Standard für Quinolone, geringere in vitro Aktivität als neuere Quinolone Erfahrungen im Vergleich zu Makroliden limitiert, für transplantierte Patienten wegen geringerer Interaktionen Therapie der Wahl
Levofloxacin	Tavanic®	1 x 500 mg/pro Tag 10 bis 14 Tage	Erfahrungen noch ungenügend, aber hohe in vitro Wirksamkeit
Moxifloxacin	Avalox®	1 x 400 mg/pro Tag 10 bis 14 Tage	Erfahrungen noch ungenügend, aber sehr hohe in vitro Wirksamkeit

Tab. 1: Therapiebeispiele für Legionellen-Pneumonie (Dauer 14 Tage) / laut A. F. Wittmer [83]

Bei Patienten mit schwerer Legionellose ist eine Therapie unter stationärer Behandlung angezeigt. [16, 76, 89]

9.) Prävention

Voraussetzung für die erfolgreiche Prävention der Legionellose sind Kenntnisse über die Ökologie der Legionellen, über potentielle Infektionsquellen und über Wege der Infektionsübertragung. Bei kontaminiertem Wasser mit Legionellen kann durch mechanische, physikalische und/oder chemische Verfahren eine Reduzierung sogar bis hin zur fast vollständigen Eliminierung der Legionellen-Konzentration erreicht werden. Zur Ausbruchsverhinderung von Legionellen können angewandt werden:

9.1.) Permanente Erwärmung des Wasser auf 60 °C

Die permanente Erhöhung der Wassertemperatur auf 60 °C ist eine sehr wirksame Methode zur Verminderung der Legionellen, da die Abtötungsrate bei dieser Wassertemperatur in erheblichem Maße ansteigt. [71] Eine Erhöhung der peripheren Auslasstemperatur über 60 °C ist nicht ratsam, da dies hohe Heizkosten, eine übermäßige Beanspruchung der Wasserrohre durch Korrosionen und Kalkablagerungen sowie eine erhöhte Verbrühungsgefahr zur Folge hat. Durch Entstehung von Korrosionen und Kalkablagerungen werden Mikroflora sowie Überleben und Wachstum von Legionellen gefördert. [49]

9.2.) Intermittierende Aufheizung des Wassers

Die intermittierende Aufheizung (auch „thermischer Schock“ oder „superheat und flush“ genannt) des Wassers ist ein weiteres Verfahren zur Eindämmung der Legionellen-Problematik. Diese Methode ist aufwendig und beinhaltet unter anderem das Laufenlassen von Heißwasser. Die intermittierenden Aufheizung zur Desinfektion des Wassernetzes sieht vor, die Temperatur des Wassers in bestimmten Zeitabständen auf 70 °C zu erhöhen, d. h. die Wassertemperatur muss an den Entnahmepunkten 70 °C betragen. Sobald diese Temperatur erreicht ist, soll das heiße Wasser für ca. 3 Minuten an den Entnahmestellen laufen gelassen werden, wobei allerdings im gesamten System die Wassertemperatur von 70 °C aufrechterhalten bleiben muss. [46, 90, 59, 88]

9.3.) UV-Bestrahlung

Die Behandlung des Trinkwassers im Leitungssystem mit ultraviolettem Licht ist eine weitere effektive Maßnahme zur Bekämpfung des Legionellen-Vorkommens. Ultraviolettes Licht mit einer Wellenlänge von 220 bis 280 nm hat eine bakterizide Wirkung, indem die DNA-Replikation verhindert wird. Allerdings tritt die Wirkung von UV-C-Strahlen nur in klarem Wasser und auf eine kurze Distanz, d. h. mit einer Reichweite von unter 3 cm, ein. Die UV-Strahler, die eigens für Warmwassersysteme geeignet sein müssen, sind wirksam gegen freie Legionellen. Sollten allerdings Legionellen in Amöben oder Biofilmen „versteckt“ sein, kann das UV-C-Licht diese

nicht nachhaltig zerstören. Um effektive Ergebnisse bei dieser Methode zu erreichen, muss die UV-Anlage an den peripheren Auslasspunkten des Wassersystems angebracht werden. [2, 46, 59, 88, 90]

9.4.) Chemische Desinfektion durch Chlor oder Chloroxid

Bei der Chlorung sind zwei verschiedene Methoden zu unterscheiden. Zum einen kann die kontinuierliche Chlorung (Dauerchlorung) und zum anderen die temporäre Hyperchlorierung zur Eliminierung von Legionellen-Vorkommen Anwendung finden. Bei der kontinuierlichen Chlorung muss eine ständige Chlorkonzentration von 0,6 mg/l vorhanden sein. [35] Für die vollständige Beseitigung der Legionellen müssten allerdings höhere Konzentrationen von Chlor abgegeben werden, da Legionellen widerstandsfähiger gegen Chlor als andere Bakterien sind, insbesondere wenn sie sich in Zysten von Amöben befinden. [68] Bei der temporären Hyperchlorierung (Chlorschock-Methode) kommt es lediglich zu einer einmaligen Zugabe von Chlor in das Wasser. Nach der Einleitung des Chlors erfolgt dann anschließend die vollständige Entleerung des Wassersystems. Die Chloreinleitung hat nach Aussagen von amerikanischen Fachleuten in einer Konzentration von 20 – 50 mg/l zu erfolgen. Nach einer Einwirkzeit von 1 bis 2 Stunden bei dieser Konzentration ist dann das Wasser abzulassen. Der Vorteil von Chlor liegt in seiner systemischen Wirkung. Ein Nachteil der Chlorierung liegt darin, dass Chlor zu starker Korrosion in den Kupferleitungen führt, wodurch Trihalomethane freigesetzt werden. Diese sind karzinogen und daher nicht tolerierbar. Diese Methode darf daher nicht gleichzeitig mit einer Hitzebehandlung Anwendung finden. [18, 48, 90]

9.5.) Endständige Sterilfiltration

Bei Hoch-Risiko-Patienten hat sich die Anwendung von Sterilfiltern an peripheren Auslasshähnen bewährt. Die Filter müssen wöchentlich gewechselt bzw. einer Sterilisation unterzogen werden. Die Porengröße der Filter sollte 0,2 µm betragen. Diese Methode der Beseitigung von Legionellen und anderer pathogener Bakterien ist äußerst effektiv aber mit einem hohen Wartungsaufwand verbunden. [33, 57]

Präventivmaßnahmen sind allerdings nicht überall notwendig, da diese ohne den Nachweis einer Erkrankung zu kostspielig und unpraktisch wären. Diese Maßnahmen sind laut WHO-Empfehlung nur dann ratsam in den Einrichtungen, wo ein Vorliegen einer Infektion durch Legionellen nachgewiesen werden kann bzw. schon nachgewiesen worden ist. Diese These wird allerdings noch kontrovers diskutiert, weil die Diagnostik der Legionellen-Infektion derzeit unbefriedigend und davon auszugehen ist, dass zahlreiche Legionellen-Erkrankungen nicht diagnostiziert werden. Ein solches Vorgehen wäre allenfalls dann zu rechtfertigen, wenn die Legionellen-Diagnostik so sicher ist, dass jede Legionellen-Erkrankung wirklich erkannt wird und entsprechende Maßnahmen eingeleitet werden. [22]

10.) Übertragungswege

Es kann als sicher angesehen werden, dass Legionellen aus den besiedelten oder kontaminierten Wassersystemen auf den Menschen übertragen werden. Da ein ubiquitäres Vorhandensein von Legionellen nachweisbar ist, kann allerdings davon ausgegangen werden, dass von natürlichen, umweltbedingten Legionellen-Vorkommen selten eine Gefahr für humane Erkrankungen ausgeht, da hier die Legionellen-Konzentration für eine Infektion zu niedrig ist. Die essenzielle Gefahr einer Erkrankung durch Legionellen geht vielmehr von humanen Einrichtungen, wie von Warmwasserinstallationssystemen und wasserführenden technischen Systemen aus, welche schon als Infektionsquellen von Legionellen-Pneumonien nachgewiesen wurden. [17, 28, 87] Erheblich kontaminiert sind vor allem alte Warmwasserleitungssysteme, da hier durch den Alterungsprozess Biofilme entstehen, die einen optimalen Nährboden für Legionellen und Amöben bilden. [5, 25, 54, 57, 66, 83, 92] In bestimmten Gebäuden konnte über Jahre hinweg der Nachweis darüber geführt werden, dass diese als massive Infektionsquellen zu wirken vermögen. Dies zeigten sowohl Überwachungsmaßnahmen in Kliniken, als auch in verschiedenen anderen Einrichtungen. [4, 17] Sofern Kaltwasserleitungssysteme nicht in ausreichendem Abstand von Wärmequellen, wie z. B. Warmwasserleitungen, Schornsteinen, Heizungsrohren, etc., errichtet sind, ist hier naturgemäß mit einem Temperaturanstieg des Kaltwassers zu rechnen und somit auch die Gefahr gegeben, dass das Legionellen-Wachstum begünstigt wird. [79] In DIN

1988, Teil 3 ist angegeben, dass auf mangelnden Wasseraustausch, der zur Vermehrung von Legionellen günstige Voraussetzungen stellt, gänzlich verzichtet werden muss. Eine Überdimensionierung der Rohrleitungen sowie Endstränge und Versorgungsbereiche mit stagnierendem Wasser bieten somit Legionellen hervorragende Wachstumsverhältnisse und steigern demnach die Gefahr einer Legionellen-Infektion.[1, 9, 63] Scheinbar ist es so, dass das Legionellenwachstumsproblem zunimmt, je größer und ausgedehnter das Warmwassernetzwerk ist. Das gilt sowohl für Großgebäude, wie z. B. Krankenhäuser, als auch für kleinere Gebäude. Eine der häufigsten Übertragungswege ist die Einatmung von legionellenhaltigen Aerosolen, wie z. B. beim Duschen. [72, 73] Eine Partikelgröße von $\leq 5\mu\text{m}$ ist lungengängig und lässt somit den direkten Eintritt der Legionellen in die Lunge und die Bronchiolen zu. [6, 85, 89] Bei älteren und verkalkten Duschköpfen ist die Aerosolbildung noch weitaus größer, dadurch wird die Exposition der Keimzahlen und Mikrotröpfchen noch gesteigert und somit auch die Gefahr einer Infektion durch Legionellen. Weitere wichtige Infektionsquellen zur Übertragung von Legionellose auf den Menschen sind Warmwasserleitungssysteme (25 °C bis 55 °C), die Verwendung von kontaminiertem Wasser in Krankenhäusern, hier spezifisch auch gerade medizinische und therapeutische Anlagen, wie z. B. Tracheostomietuben, Beatmungsbeutel sowie tragbare Befeuchtungsapparate. Ferner sind als Übertragungswege raumluftechnische Anlagen (z. B. Rückkühlwerke von Klimaanlage, Klimaanlage), kontaminierte Warmsprudelbecken (Whirlpools), Thermalquellen, Zierbrunnen und Dentaleinheiten zu nennen. Im Übrigen sind sichere Übertragungswege Anlagen, die ein Spray von Wassertröpfchen erzeugen. Hinweise, dass Legionellose von Mensch zu Mensch übertragen wird, liegen bis dato noch nicht vor, d. h. sind bis dato nicht bekannt. Besondere Isolierungs- und Schutzmaßnahmen bei der Pflege und Unterbringung Legionella-Infizierter sind daher nicht erforderlich.

Da eine Vielzahl der bisher durchgeführten Untersuchungen auf Warmwasserleitungen und auf deren Vorkommen von Legionellen basiert, ist das Ziel dieser Arbeit herauszufinden, in welchen Bereichen des gesamten Kaltwasserleitungssystems bzw. der Trinkwasseranlagen (vom Brunnen bis hin zum Endverbraucher) und bei welcher Temperatur des Kaltwassers Legionellen zu finden sind bzw. deren Wachstum begünstigt wird.

Des Weiteren soll überprüft werden, in welchen Gebäudetypen (Einfamilien-, Mehrfamilienhäusern, Kliniken, Industrieanlage) Legionellen nachweisbar sind. Hierdurch soll untersucht werden, ob die Größe der untersuchten Gebäude bzw. deren Rohrleitungssysteme, die naturgemäß mit Anstieg der Größe der Gebäude ebenfalls größer bzw. länger werden, sich auf das Vorhandensein bzw. das Wachstum von Legionellen auswirken. Ferner soll bei positiven Befunden die genaue Anzahl der koloniebildenden Einheiten (KBE/l) Legionellen ermittelt werden.

Mit der vorliegenden Arbeit soll weiterhin ein eventuell bestehender Zusammenhang zwischen der Höhe der Kupfer-, Eisen- und Zinkkonzentrationen des Kaltwassers einerseits und der Höhe des Legionellen-Vorkommens andererseits ermittelt werden.

Des Weiteren sollen handelsübliche Mineralwässer auf das Vorhandensein von Legionellen überprüft werden.

B) Material und Methoden

1.) Probenorte

Die zu untersuchenden 176 Wasserproben, wobei es sich ausschließlich um Kaltwasserproben handelt, wurden aus verschiedenen Einrichtungen entnommen. Die Proben wurden aus Wasserwerken, Netzwerken, Krankenhäusern, Mehrfamilienhäusern, Einfamilienhäusern und einer Industrieanlage gezogen.

Ferner wurden noch einige verschiedene Sorten von Mineralwässern untersucht, bzw. Proben hieraus entnommen.

Von den insgesamt entnommenen Kaltwasserproben wurden 87 Proben aus dem Bezirk Münster (Innenstadt, Stadtbezirk und den umliegenden Vororten), 15 Proben aus Emsdetten, 54 Proben aus dem Kreis Soest, Lippstadt (Innenstadt, Stadtbezirk und aus Vororten) und 6 Proben aus dem Kreis Gütersloh, Benteler, zur Untersuchung entnommen. Abschließend wurden noch 14 Proben von verschiedenen Mineralwässern genommen.

2.) Wasserentnahme

Das Verfahren der Wasserentnahme hat sich im Grunde genommen weitestgehend identisch gestaltet. In jedem frei ausgewählten Gebäude wurde die erste Probe aus dem Keller, soweit dieser vorhanden war, ansonsten aus dem Erdgeschoss, direkt nach der Wasseruhr entnommen. Die zweite Wasserentnahme erfolgte dann in der nächsthöheren Etage des Gebäudes (meistens in der Küche oder im Gästebadezimmer). Auch die dann folgende Probe wurde wieder ein Geschoss höher entnommen, wobei jeweils die peripherste Entnahmestelle aufgesucht wurde. Die Entnahme der Kaltwasserproben gestaltete sich so, dass zuerst ca. 5 bis 10 l Kaltwasser abgelassen wurden. Sofern ein Perlator vorhanden war, wurde dieser zuvor abgeschraubt. Der Wasserhahn wurde dann abgeflammt. Die Abflämmung wurde mit einem Gasbunsenbrenner durchgeführt. Bestanden die Wasserhähne jedoch aus Kunststoff oder Emaille, konnten diese nicht abgeflammt werden. Während des ersten Ablaufenlassens des Wassers wurde gleichzeitig mit einem elektrischen Digitalthermometer mit einem verlängerten Außenfühler die Temperatur des Wassers gemessen. Nachdem die konstante Kälte (schwankender

Wert von +/- 0,5 °C) des Wassers ermittelt werden konnte, wurde 1 l Kaltwasser in sterile 1 l Glasflaschen (Schliffstopfflaschen von Schott) abgefüllt. Weitere 10 ml wurden in verschraubbare Kunststoffröhrchen gefüllt. Dieses Abfüllen erfolgte zur Bestimmung des Eisen- (Fe), Zink- (Zn) und des Kupfergehaltes (Cu) im Wasser.

3.) Wasserverarbeitung

Die genommenen Wasserproben sind umgehend verarbeitet worden, spätestens nach 24 Stunden, wobei die Proben, die nicht unmittelbar verarbeitet werden konnten, gekühlt bei ca. 5 °C aufbewahrt wurden.

Der Verarbeitungsvorgang gestaltete sich so, dass die Wasserproben zuerst mittels einer Vakuumfiltrationsleiste - dreifach - (Abb. 2 und 3) filtriert wurden. In diese Filtrationsleiste wurde ein Milliporfilter (0,4 µ) (Abb. 4) eingesetzt. Dieser Vorgang wurde unter sterilen Bedingungen unter einer dafür vorgesehenen Werkbank durchgeführt. Nach der Filtrierung wurden die Filter mit einer sterilen Pinzette der Filtrationsleiste vorsichtig entnommen und auf einen Nährboden auf Petrischalen aufgebracht. Bei diesen Nährböden handelte es sich um einen Legionella-MWY-Selektivagar. Danach wurden die Proben verschlossen und in Glaspäcköpfen zum Bebrüten in einem auf 37 °C beheizten und mit CO₂ angereicherten Inkubator mit hoher Luftfeuchtigkeit aufbewahrt.



Abb. 2: Vakuumfiltrationsleiste zum Filtrieren der Wasserproben



Abb. 3: Vakuumfiltrationsleiste im zusammengebauten Zustand.

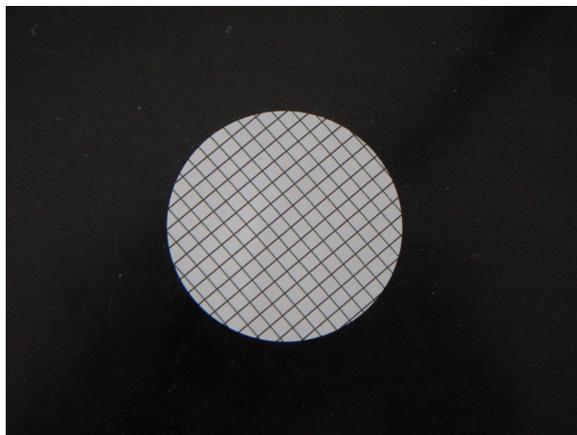


Abb. 4: Polycarbonatfilter (Millipore) 0,45µm

4.) Verwendete Nährböden

4.1.) Legionella-MWY-Selektivagar

Der Agar beruht auf Ergebnissen von Wadowsky u. Yee (1981) und wurde von Edelstein (1982) modifiziert. Zur Anwendung kommt der Legionella-MWY-Selektivagar zur Isolierung von Legionellen, bevorzugt aus Umweltproben, wie z.B. aus Heißwasserbereitungsanlagen, Trinkwasser oder natürlichen Gewässern, aber auch aus klinischem Material. Der Nährboden ist schwarz und fast undurchsichtig.

Zusammensetzung pro l:

- Aktivkohle 2g/l
- Hefeextrakt 10g/l
- ACES-Puffer 10g/l

- L-Cystein 400mg/l
- Eisen(III)-pyrophosphat 250mg/l
- α –Ketoglutarat 1g/l
- Glycin 3g/l
- Polymyxin B 50.000IE/l
- Vancomycin 1mg/l
- Anisomycin 80mg/l
- Bromthymolblau 10mg/l
- Bromkresolpurpur 10mg/l
- Agar 16g/l
- pH 6,9 \pm 0,1

4.2.) Cysteinfreier Agar-Basis-Nährboden

Hersteller dieses Agars ist die Firma Oxoid (Wesel). Der Nährboden ist schwarz und fast undurchsichtig.

Zusammensetzung pro l:

- Aktivkohle 2g/l
- Hefeextrakt 10g/l
- Agar 13g/l

4.3.) Legionella-BCYE α -Agar

Dieser Agar kommt zur Anwendung zur Isolierung aus wenig kontaminiertem Material sowie zur Subkultivierung. Der Nährboden ist schwarz und fast undurchsichtig.

Zusammensetzung pro l:

- Aktivkohle 2g/l
- Hefeextrakt 10g/l
- ACES-Puffer 10g/l
- L-Cystein 0,4g/l
- Eisen(III)-pyrophosphat 0,25g/l
- α -Ketoglutarat 1g/l
- Agar 17g/l
- pH 6,9 \pm 0,1

4.4.) Columbia-Blutagar

Der Agar kommt bei Kultivierung anspruchsvoller Bakterien und zum Nachweis der Hämolyse zum Einsatz. Der Nährboden ist gleichmäßig blutrot gefärbt.

Zusammensetzung pro l:

- Spezialpepton 23g/l
- Stärke 1g/l
- Natriumchlorid 5g/l
- Agar 14g/l
- Schafblut 50ml
- pH 7,3 ± 0,2

5.) Eisen-, Kupfer- und Zinkbestimmung

Die Ermittlung der Eisen-, Kupfer- und Zinkkonzentrationen der Wasserproben erfolgte mittels Atomabsorptionsspektrographie.

6.) Auswertung

Die verarbeiteten Proben wurden nach zwei Tagen Inkubation erstmals kontrolliert. Sie wurden aus dem Inkubator herausgenommen und mikroskopisch mittels eines binokularen Auflichtstereomikroskops (Zeiss, Stemi SV8) untersucht und ausgewertet. Sofern sich hier typische Merkmale bezüglich der Struktur, Form, Färbung und Größe von Legionellen-Kolonien gebildet hatten, wurden diesen Proben entsprechend weiterbehandelt. Zuerst wurden die KBE bestimmt durch Zählen der einzelnen Kolonien, die sich durch die Filtration und das Bebrüten auf dem Filter nach der Inkubation gebildet hatten. Dann erfolgte die Weiterbehandlung in der Weise, dass die vermuteten positiven Proben auf einem Blutagar (Columbia-Blutagar der Firma heipha Diagnostik) ausgestrichen wurden. Des Weiteren wurden diese auf einem Legionella-BCYE α Agar ausgestrichen. Dieser Nährboden wurde speziell zur Subkultivierung von Legionellen entwickelt. Ferner wurden die entsprechenden, vermutlich Legionellen-positiven Proben, noch auf cysteinfreiem Agar-Basis-Nährboden der Firma Oxoid (Wesel) ausgestrichen. Nach diesen Vorgängen wurden die Proben für weitere zwei

Tage zum Bebrüten in den Inkubator verbracht. Sofern nach Ablauf dieser Zeit auf dem Blutagarnährboden weitere Kolonien gewachsen waren, konnten diese Proben unverzüglich mit dem Vermerk ausgesondert werden, dass in diesem Probenwasser keine Legionellen (Legionellen-negativ) vorhanden sind. Dies kann hier so genau bestimmt werden, da Legionellen in keinem Fall auf Blutagar wachsen. War auch der cysteinfreie Agar bewachsen, so wie die auf Blutagar ausgestrichenen Proben, konnte es sich bei diesen gewachsenen Kolonien ebenfalls nicht um Legionellen handeln, da diese zum Wachsen Cystein benötigen. Es konnten die Proben als Legionellen-negativ beurteilt werden, bei denen Kolonien auf Blut- bzw. auf cysteinfreiem Agar gewachsen waren. Sofern sich keine Kolonien auf diesen beiden Nährböden (Blut- und cysteinfreier Agar) gebildet hatten, der Legionella-BCYE α Agar allerdings bewachsen war, waren Legionellen bestimmbar, diese Proben somit als Legionellen-positiv zu bewerten. Soweit Legionellen-positiv Kolonien gewachsen waren, wurden diese weiter differenziert durch einen **Legionellen-Latex-Test** der Firma Oxoid (Wesel). Bei diesem Test werden die Legionellen mit Antikörpern, die von Kaninchen stammen, beladen. Da die Kaninchenantikörper mit blauen Latexpartikeln ausgestattet sind, kann die Agulation hierdurch sichtbar gemacht werden. Die weitere Untersuchung mit dem Legionella-Latex-Test erfolgt mit drei verschiedenen Antikörpern, um die Legionellen weiter zu differenzieren. Diese drei Testreagenzien enthalten Antikörper gegen *Leg. pneumophila* Serogruppe 1, *Leg. pneumophila* 2 – 14 und sieben andere verschiedene Legionella-Spezies (*Leg. longbeachae*, *Leg. bozemanii*, *Leg. dumoffii*, *Leg. gormanii*, *Leg. jordanis*, *Leg. micdadei*, *Leg. anisa*). [9] Eine weitere Bestimmung der Legionellenart erfolgt nach dem Legionella-Latex-Test durch direkte Immunfluoreszenzmikroskopie. Diese wird allerdings nicht bei der durch den Latex-Test bestimmten Gruppe *Leg. pneumophila* Serogruppe 1 durchgeführt. Bei dieser Legionellengruppe wurde keine weitere Diagnostik vorgenommen, lediglich die anderen Legionellengruppen, die durch den Latex-Test differenziert werden konnten, wurden mittels der Immunfluoreszenzmikroskopie weiter zur eindeutigen Bestimmung der Serogruppen untersucht. Die Proben wurden auf einem Objektträger fixiert und mit fluoreszierenden Antikörpern beladen. Hierdurch konnte die genaue Einteilung der Legionellen in die spezifischen Serogruppen bzw. Spezies erfolgen.

C) Ergebnisse

Von den insgesamt 176 Proben die entnommen worden sind, waren 21 Proben Legionellen-positiv, was 11,93 % entspricht. Die übrigen 155 Proben waren Legionellen-negativ, was 88,07 % entspricht (Abb. 5).

1.) Erläuterung der Abbildungen

In den nachfolgenden Abbildungen werden in Diagrammen die Ergebnisse der untersuchten Proben dargestellt. Es zeigen sich negative und positive Untersuchungsergebnisse bzgl. Vorkommen und Nichtvorkommen von Legionellen. Die rotmarkierten Säulen in den Diagrammen stellen die positiven Legionellen-Proben und die blaumarkierten Säulen die negativen Legionellen-Proben dar.

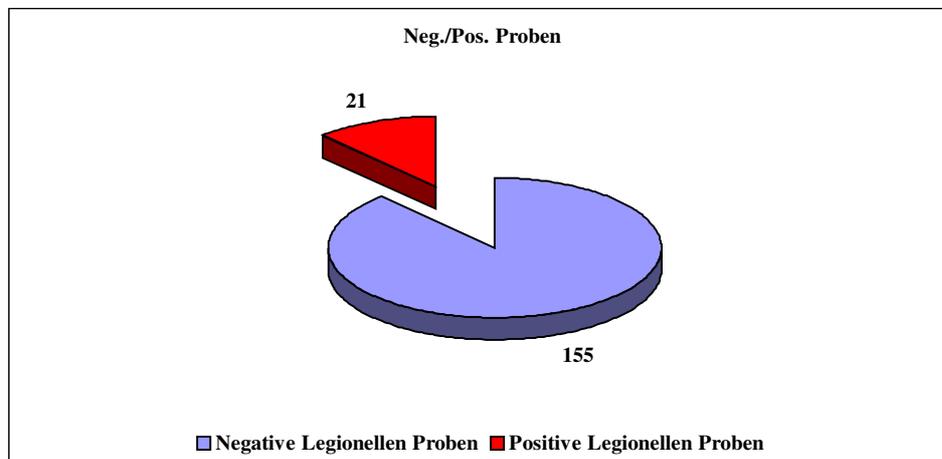


Abb. 5: Gesamtübersicht aller ausgewerteter Proben.

Bei den folgenden Abbildungen werden

- die Wasserwerkproben mit „W.W.“;
- die Netzwerkproben mit „Netzw.“;
- die Einfamilienhausproben mit „Einf.“;
- die Mehrfamilienhausproben mit „Mehrf.“;
- die Klinikproben mit „Klinik.“;
- die Industrieanlageproben mit „Ind.“;
- die Mineralwasserproben mit „MW“;

bezeichnet.

2.) Beschreibung der Untersuchungsbereiche

Wasserwerk:	Die hier untersuchten Proben wurden aus den routinemäßigen Proben des Wasserwerks direkt gezogen.
Netzwerk:	Diese Proben wurden aus den städtischen Rohrsystemen vor den Einspeisungen an die Verbraucher/Gebäude entnommen.
Einfamilienhäuser:	Bei den untersuchten Einfamilienhäusern handelt es sich um 1-bis 2-geschossige Gebäude, aus denen Proben zur Untersuchung gelangten.
Mehrfamilienhäuser:	Hier wurden Proben aus Häusern entnommen, die 3- bis 11-geschossig waren.
Kliniken:	Bei den Kliniken handelt es sich um solche aus dem Raum Münster.
Industrieanlage:	Bei der Industrieanlage handelt es sich um einen Gebäudekomplex. Hier wurden die untersuchten Proben aus mehreren verschiedenen Gebäuden gezogen.
Mineralwässer:	Es wurden handelsübliche Mineralwasserflaschen (verschiedene Sorten) untersucht. Die Proben wurden aus verschiedenen gelagerten Flaschen (Lagerung im Ladenlokal oder in Lagerhallen) gezogen.

3.) Legionellen-Vorkommen in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

Aus den sieben untersuchten Wasserwerken wurden neun Proben entnommen, wobei keine Legionellen nachgewiesen werden konnten. Auch bei den neun gezogenen Netzwerkproben waren keine Legionellen nachweisbar. Des Weiteren sind von 12 Einfamilienhäusern 29 Proben untersucht worden. Hier war eine der Proben Legionellen-positiv, was 3,45 % entspricht. Ferner wurden aus neun Mehrfamilienhäusern 33 Proben untersucht, wobei hier wiederum keine Legionellen nachgewiesen werden konnten. Aus sechs Kliniken wurden insgesamt 59 Proben gezogen, 17 Proben hiervon waren Legionellen-positiv, was 28,81 % entspricht. Aus einer Industrieanlage wurden 23 Proben zur Untersuchung gezogen, wovon drei ebenfalls Legionellen-positiv waren, was 13,04 % entspricht. Die 14 untersuchten Mineralwässer waren allesamt Legionellen-negativ. Abb. 6 zeigt die Ergebnisse der untersuchten Proben aus den verschiedenen Untersuchungsbereichen in Bezug auf Legionellen-Vorkommen bzw. -Nichtvorkommen.

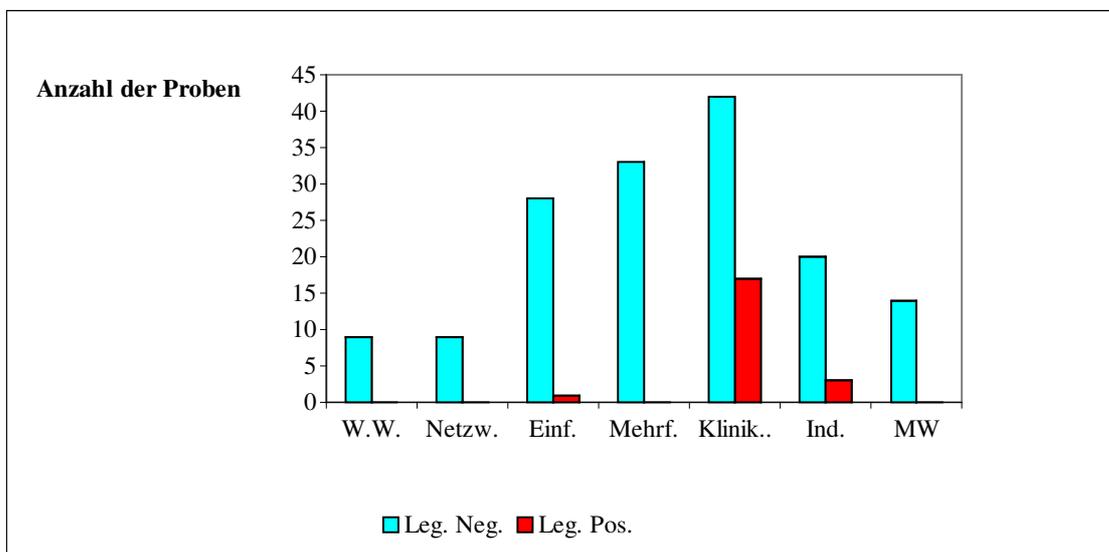


Abb. 6: Legionellen-Nachweis in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

4.) Darstellung der gemessenen physikalischen Parameter (Wassertemperatur)

Die nachfolgende Tab. 2 zeigt, dass die gesamten 176 Kaltwasserproben in einem Temperaturbereich von 7,4 °C – 38,2 °C mit einem Median von 14 °C lagen. Dabei sind die Werte von negativen und positiven Legionellen-Proben in ihrem Minimum nicht weit voneinander entfernt. Eine Temperatursteigerung der negativen zu den positiven Proben ist im arithmetischen Mittel mit 4,2 °C zu erkennen.

Parameter	Temperatur °C		
	Gesamt	Leg neg.	Leg pos.
N	176	155	21
Ar. Mit.	15,1	14,6	18,8
Median	14	13,6	18
Min	7,4	7,4	11,5
Max	38,2	31,8	38,2
1. Quartil	11,2	10,9	14,5
2. Quartil	18	16,9	21,3

Tab.2: Deskriptive Statistik der gesamten Kaltwasserproben

Tab. 2 und auch Abb. 7 zeigen, dass im Median zwischen den negativen und den positiven Proben ein Temperaturanstieg von 4,4 °C gegeben ist. Ebenso ist ein Temperaturunterschied im Minimum der neg. zu pos. Legionellen-Proben zu verzeichnen, der bei 4,1 °C liegt. Die weitere Gegenüberstellung von positiven und negativen Proben zeigt im Maximum eine Temperaturspanne von 6,4 °C. Es ist also jeweils eine Abweichung der Temperatur von 4,1 °C bis 6,4 °C (arithmetisches Mittel/Median/Minimum/Maximum) zu beobachten.

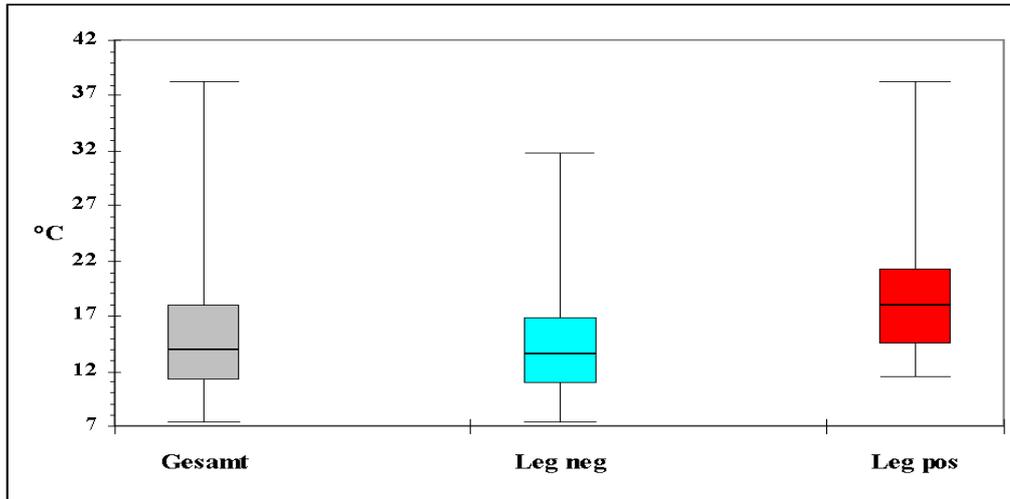


Abb. 7: Box-and-Whisker-Plots der Werte der ■ gesamten Temperatur ■ Legionellen-negativer und ■ Legionellen-positiver Proben in °C.

Die Darstellung der Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur (Abb. 8) lässt keinen Zusammenhang über das Auftreten von Legionellen bei bestimmten Temperaturen erkennen. Lediglich in einem Temperaturbereich von 7,4 °C - 11,5 °C waren keine Legionellen feststellbar. In den sonstigen Kaltwassertemperaturbereichen wurden Legionellen gefunden.

Wie weiter zu erkennen ist, wurde der Richtwert der Deutschen Trinkwasserverordnung TVO für Kaltwasser [91], der bei 25°C liegen sollte, bei 9 Proben überschritten, wobei eine Probe sogar eine Temperatur von 38,5°C erreichte.

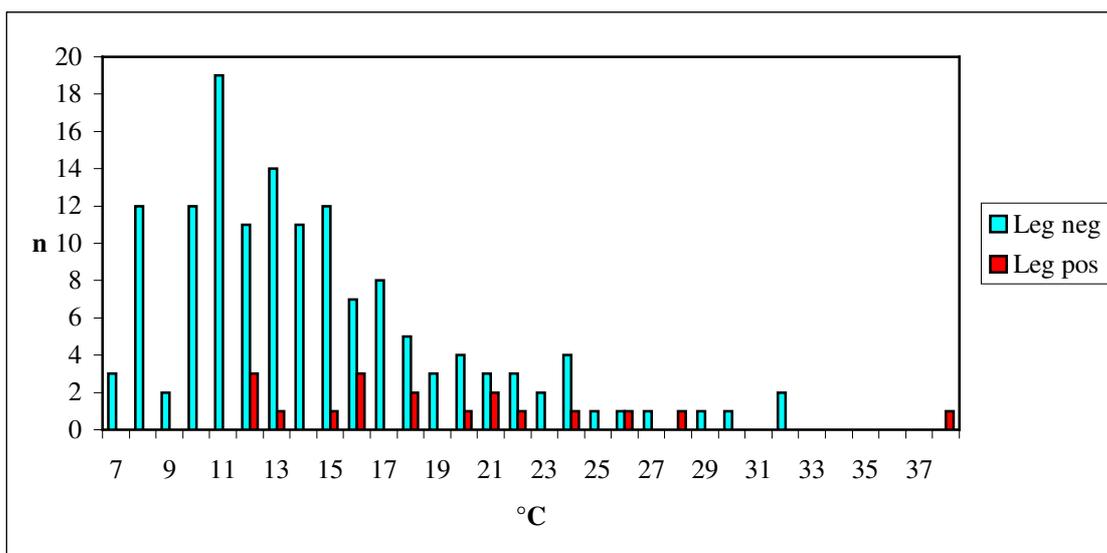


Abb. 8: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur in °C.

5.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen im gesamten Untersuchungsbereich

In den verschiedenen Bereichen die untersucht wurden, überschritten die Kliniken mit 26,3 °C und die Industrieanlage mit 38,2 °C den Richtwert für Kaltwasser der TVO, wobei alle in ihren Mittelwerten den Richtwert nicht überschritten und zwischen 8,6 °C und 23,7 °C lagen. Tab. 3 und Abb. 9 zeigen aus den gesamten Untersuchungsbereichen die gemessenen Kaltwassertemperaturen, ohne hier Bezug auf Legionellen zu nehmen. Hier werden ausschließlich die Temperaturwerte der untersuchten Proben gegenübergestellt. Zu erkennen ist, dass die Kaltwasserproben im Bereich der Wasserwerke und Netzwerke unter 10°C liegen. Dies ändert sich bei Eintritt des Kaltwassers in die Gebäude. Hier liegen die Werte im Median zwischen 14,1 °C und 23,7 °C.

Temperatur °C	W.W	Netzw.	Einf.	Mehrf.	Klinik	Ind	MW
N	7	9	29	33	59	23	14
ar. Mit.	9,7	8,6	14,4	14,72	13,9	23,8	14,9
Median	10	7,9	14,6	14,1	12,5	23,7	14,8
Min	7,9	7,5	8,3	7,4	9,1	13,6	7,4
Max	10,9	10,6	20,4	23,8	26,3	38,2	19
1 Quartil	9	7,6	11,9	12,8	10,9	20,2	14,1
2 Quartil	10,6	9,8	16	16,8	16,1	27,6	18,1

Tab. 3: Deskriptive Statistik der Temperatur (°C) in den verschiedenen Untersuchungsgebieten

Gesondert von den verschiedenen Probeorten müssen die Temperaturwerte des Mineralwassers gesehen werden, denn hier ist ausschlaggebend, wie bzw. bei welcher Temperatur die Mineralwasserflaschen gelagert werden. Bei den untersuchten Mineralwässern lag die Temperatur im Median bei 14,8 °C. Wie Tab. 3 zeigt, steigen die maximalen Kaltwassertemperaturwerte mit Größe der Gebäude an. So haben die Einfamilienhäuser ein Maximum von 10,6 °C, die Mehrfamilienhäuser von 23,8 °C, die Kliniken von 26,3 °C und die Industrieanlage sogar von 38,2 °C. Dagegen ist der Medianwert der Einfamilien-, Mehrfamilienhäuser und der Kliniken zwischen 12,5 °C – 14,6 °C angesiedelt. Somit unterscheiden sich diese Werte nicht wesentlich voneinander, mit Ausnahme des Medianwertes der Industrieanlage, der bei 23,7 °C und somit deutlich höher liegt, als bei dem Rest der Gebäude.

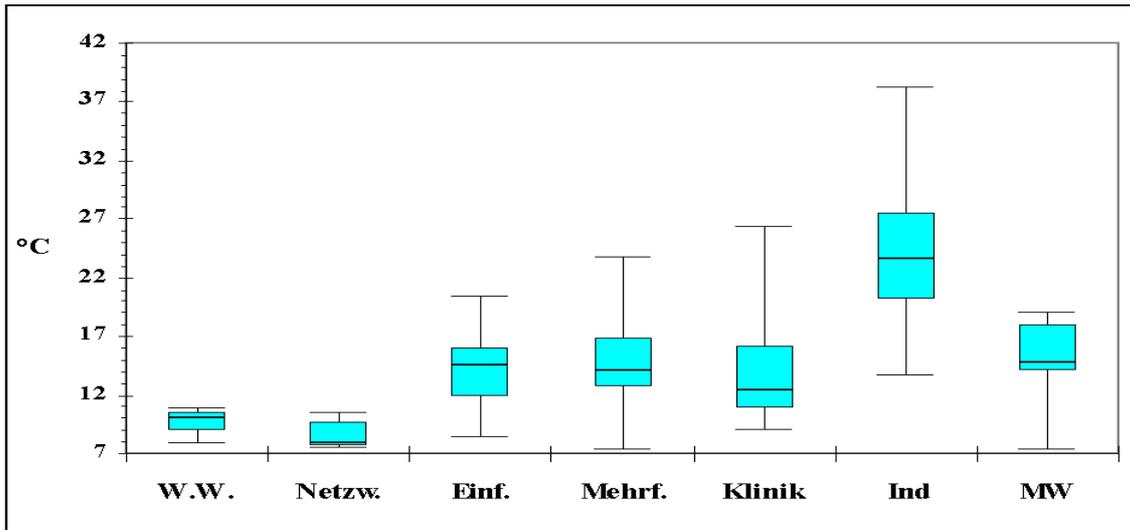


Abb. 9: Box-and-Whisker-Plots der verschiedenen Untersuchungsgebiete in Bezug auf die Temperatur

6.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen in Korrelation zu Legionellen

Abb. 10 zeigt die gesamten untersuchten Proben in Bezug auf gemessene Kaltwassertemperaturen und Legionellen. Es ist hier zu unterscheiden zwischen negativen und positiven Legionellen-Befunden und den gemessenen Temperaturwerten. Bei der graphischen Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperatur findet die Farbe Grün für negative Legionellen-Proben und die Farbe Rot für positive Legionellen-Befunde Verwendung. Es wurden insgesamt aus den gesamten Untersuchungsbereichen Legionellen-positive Ergebnisse in den Bereichen Einfamilienhäuser, Kliniken und Industrieanlage erzielt. Alle anderen Untersuchungsbereiche waren ohne positive Ergebnisse. Wie aus Abb. 10 ersichtlich, ist eine Probe in Bezug auf die Einfamilienhäuser Legionellen-positiv, wobei diese Probe eine Temperatur von 20,4 °C bei Probenentnahme aufwies. Dies ist auch gleichzeitig die höchste Kaltwassertemperatur aller gemessenen Werte im Bereich der Einfamilienhäuser. Von den untersuchten Proben aus dem Bereich der Kliniken wiesen 17 Proben positive Legionellen-Befunde auf, wobei diese eine Temperaturspanne von 11,5 °C bis 26,3 °C aufwiesen. Ihr Median ist somit bei 16,1 °C anzusiedeln. Im Gegensatz hierzu liegen die Temperaturbereiche der negativen Proben bei 9,1 °C bis 22,8 °C mit einem Median von

11,6 °C. Ferner sind Legionellen in der Industrieanlage gefunden worden. Hier sind drei der untersuchten Proben Legionellen-positiv, wobei diese Proben Kaltwassertemperaturen in einem Bereich von 21,5 °C bis 38,2 °C aufwiesen. Der Mittelwert dieser Proben liegt bei 28,0 °C. Die Temperaturwerte der 20 negativen Proben der Industrieanlage liegen, wie aus Abb. 10 ersichtlich, bei 19,9 °C bis 31,8 °C.

Es ist somit erkennbar, dass die Legionellen-positiven Befunde aus den drei Untersuchungsbereichen auch jeweils die höchsten Temperaturwerte aufweisen. Somit ist auch ihr Median höher angesiedelt als bei den Legionellen-negativen Proben.

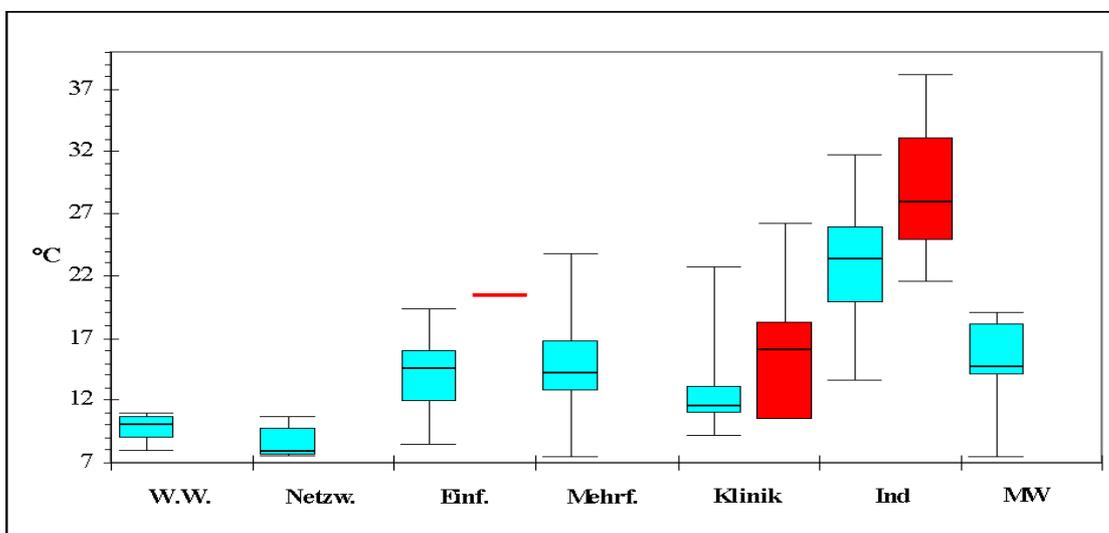


Abb. 10: Box-and-Whisker-Plots, ■ positive und ■ negative Legionellen-Befunde aus den verschiedenen Untersuchungsbereichen.

7.) Darstellung der gemessenen Kaltwassertemperaturen der einzelnen Untersuchungsgebiete

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen nunmehr je spezifisch die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsbereiche. Die insgesamt sieben Untersuchungsgebiete werden einzeln für sich mit den entsprechenden Ergebnissen dargestellt.

7.1.) Wasserwerke

Die sieben Kaltwasserproben der Wasserwerke in Abb. 11 zeigen keine positiven Untersuchungsergebnisse auf Legionellen. Der Mittelwert der Temperatur der Proben beträgt 9,7 °C, wobei ihr Minimum bei 7,9 °C und ihr Maximum bei 10,9 °C liegt.

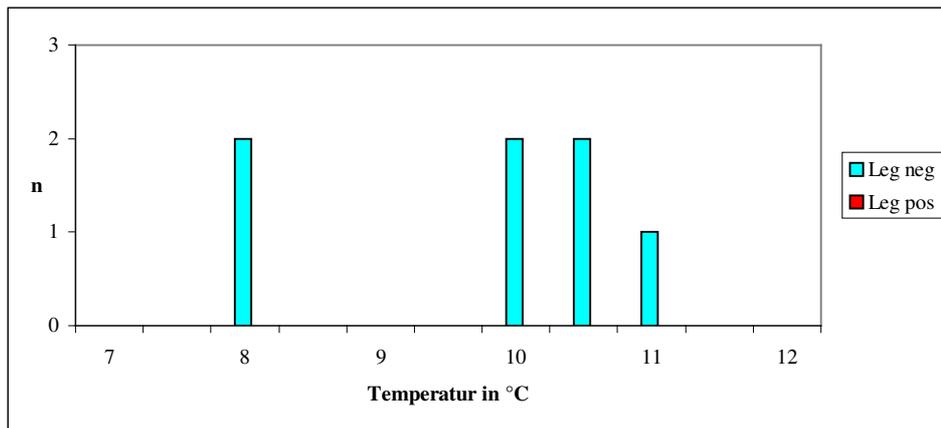


Abb. 11: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei den Wasserwerken (W.W.).

7.2.) Netzwerke

Aus Abb. 12 ist erkennbar, dass bei den Netzwerkproben - genau wie bei den Wasserwerkproben - keine Legionellen-positiven Befunde ermittelt werden konnten. Es wurden insgesamt neun Netzwerkproben untersucht, wobei ein Temperaturminimum von 7,5 °C und ein Maximum von 10,6 °C zu ermitteln ist.

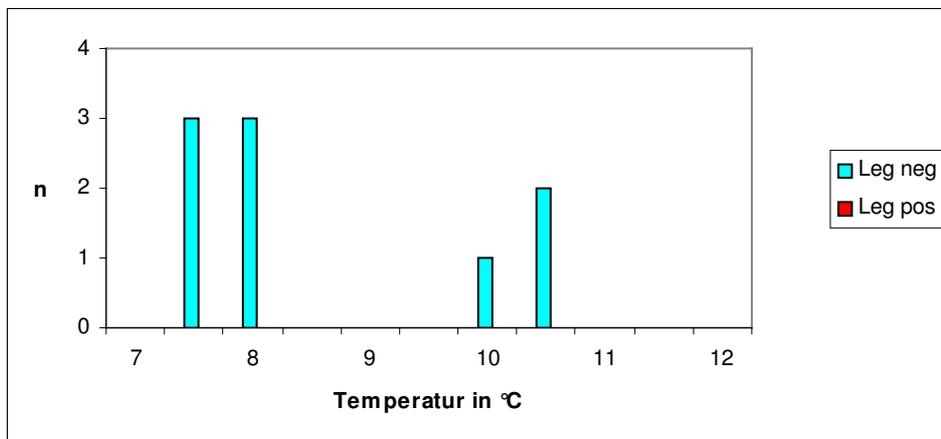


Abb. 12: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei den Netzwerkproben (Netzwerk).

7.3.) Einfamilienhäuser

Abb. 13 zeigt, dass 29 Proben aus Einfamilienhäusern auf Legionellen untersucht wurden. Von diesen 29 Proben war lediglich eine Probe Legionellen-positiv, wobei bei dieser Probe bei Entnahme eine Temperatur von 20,4 °C gemessen werden konnte, was auch dem Temperaturmaximum der untersuchten Einfamilienhausproben entspricht. Aus Abb. 13 ist weiter erkennbar, dass die negativen Proben ihr Temperaturminimum bei 8,3 °C und ihr Maximum bei 20,4°C haben.

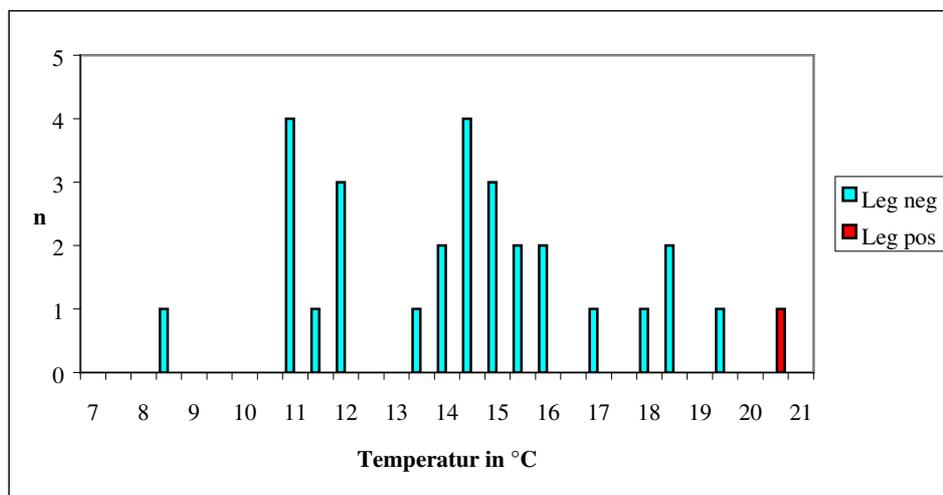


Abb. 13: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei Einfamilienhäusern (Einf.)

7.4.) Mehrfamilienhäuser

Abb. 14 zeigt 33 auf Legionellen überprüfte Proben aus Mehrfamilienhäusern. Alle diesbezüglichen Proben ergaben keine positiven Legionellen-Befunde. Ferner wird ersichtlich, dass die niedrigste Kaltwassertemperatur dieser Proben bei Entnahme bei 7,4 °C und die höchste bei 23,8 °C lag. Damit sind die Temperaturen nur knapp unter dem von der TVO geforderten Richtwert für Kaltwasser angesiedelt. Der Mittelwert dieser Proben liegt bei 14,7 °C.

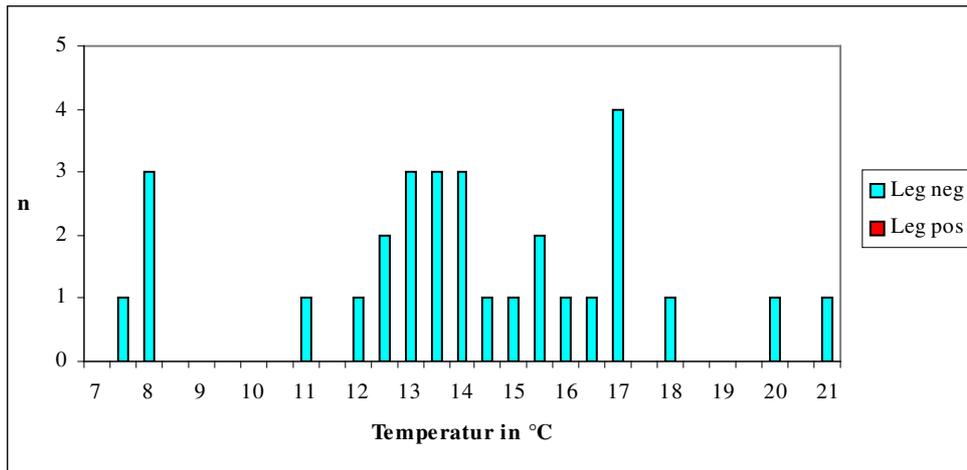


Abb. 14: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei Mehrfamilienhäusern (Mehrf.)

7.5.) Kliniken

Im Bereich der Temperaturverteilung der Kliniken wird der Richtwert der TVO einmal überschritten mit einer Temperatur von 26,3 °C. Aus Abb. 15 ist erkennbar, dass sich aus den aus den Kliniken gezogenen Proben sowohl negative als auch positive Ergebnisse in Bezug auf Legionellen ergeben. Die negativen Proben haben ihr Temperaturminimum bei 9,1 °C und ihr Temperaturmaximum bei 22,8 °C, wobei die positiven Proben ihr Temperaturminimum bei 11,5 °C und ihr Maximum bei 26,3 °C haben. Ab einem Wert von 11,5 °C bis hin zum Maximum werden durchgängig Legionellen-positive Proben gefunden, was in Abb. 15 graphisch dargestellt ist.

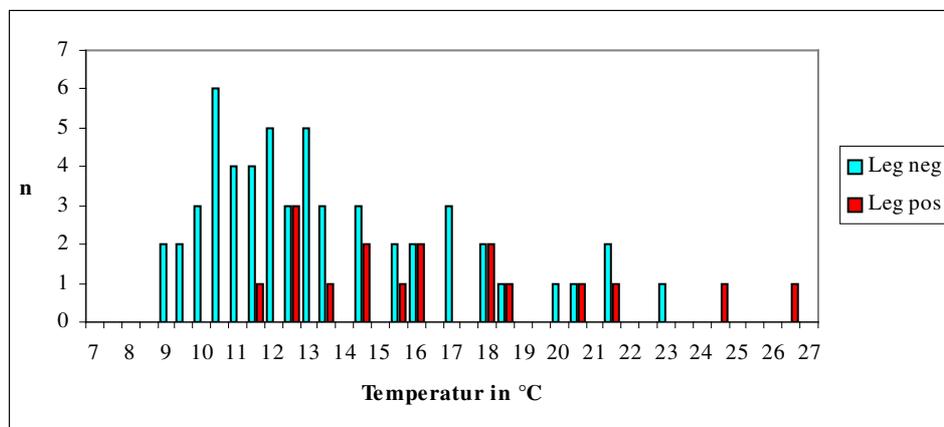


Abb. 15: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei Kliniken (Klinik)

7.6.) Industrieanlage

Die höchsten Temperaturwerte konnten aus den Kaltwasserproben der Industrieanlage ermittelt werden. Die Temperaturen der Proben lagen in einem Bereich zwischen 13,6 °C und 38,2 °C und ihr Mittelwert bei 23,8 °C. Wie aus Abb. 16 ersichtlich, sind insgesamt 22 Kaltwasserproben aus der Industrieanlage auf Legionellen überprüft worden. Von diesen 22 Proben ergaben drei Proben Legionellen-positive Befunde. Zwei dieser positiven Proben sind außerhalb des Richtwertes der von der TVO geforderten Kaltwassertemperatur von 25 °C angesiedelt, wobei eine diesen Wert signifikant überschritt. Hier konnte eine Temperatur von 38,2 °C gemessen werden. Abb. 16 zeigt weiter, dass eine der Legionellen-positiven Proben innerhalb des Richtwertes bei 21,5 °C liegt.

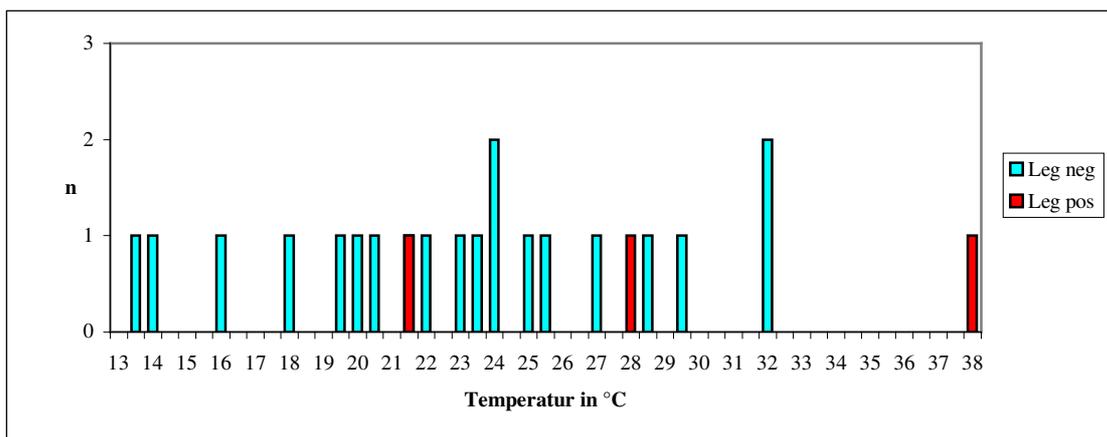


Abb. 16: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei einer Industrieanlage (Ind.)

7.7.) Mineralwässer

Aus Abb. 17 ist ersichtlich, dass bei allen untersuchten Mineralwässern keine Legionellen gefunden wurden, wobei die Temperaturen dieser Proben in einem Bereich von 7,4 °C und 19,0 °C lagen. Ihr Mittelwert lag bei 14,9 °C. Diese Temperaturwerte ergeben sich aus den verschiedenen Lagerungsmöglichkeiten der Mineralwasserflaschen. Die Mineralwässer waren zum Teil gekühlt und zum Teil ungekühlt gelagert. Die Mineralwasserproben waren bis auf eine Probe alle kohlenensäurehaltig.

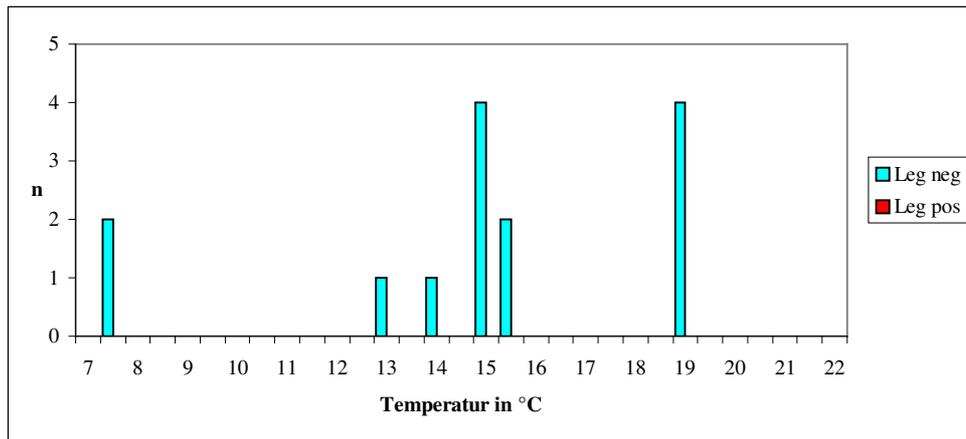


Abb. 17: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Wassertemperatur bei Mineralwässern (MW).

8.) Einteilung der Untersuchung der Gebäudetypen in zwei Phasen

Bei Betrachtung der verschiedenen Gebäudetypen wurde eine Einteilung in zwei Phasen vorgenommen. In die erste Phase werden alle Proben einbezogen, die direkt nach der Wasseruhr, mithin sofort nach dem Einspeisen des Kaltwassers aus dem Netzwerk in das Gebäude, entnommen wurden. In der zweiten Phase werden alle Proben zusammengefasst, die nach der ersten Phase bzw. in den Gebäuden an den periphersten Stellen des Kaltwassersystems entnommen worden sind. Die erste Phase wird hier mit **A** bezeichnet, die zweite Phase mit **peri**. Bei dieser Darstellung finden die Netzwerk- und Wasserwerkproben keine Berücksichtigung, da lediglich eine Gegenüberstellung der Gebäudetypen stattfinden soll. Es bleibt noch weiter festzuhalten, dass die aus der Phase A entnommenen Wasserproben allesamt Legionellen-negativ waren. Lediglich aus den Proben der Phase peri sind positive Ergebnisse in Bezug auf Legionellen-Befall erzielt worden. Die nachfolgende Darstellung zeigt demnach nur die jeweilige Einteilung in die Phasen A und peri der verschiedenen untersuchten Gebäudetypen ohne direkten Bezug auf ein Vorhandensein von Legionellen. Bei der Darstellung in Abb. 18 findet die Farbe Weiß für die Phase A und die Farbe Grau für die Phase peri Verwendung. Wie Abb. 18 zeigt, ist ein Temperaturanstieg von Phase A zu Phase peri in den verschiedenen Gebäudetypen zu ermitteln. Alle in Phase A gezogenen Proben liegen innerhalb des von der TVO geforderten Kaltwassertemperaturbereiches. Die in Phase peri entnommenen Proben aus den Kliniken und der Industrieanlage übersteigen

diesen Kaltwassertemperaturrichtwert, wobei der höchste Wert bei der Industrieanlage zu finden ist, der bei 38,2 °C liegt und somit den Richtwert um 13,2 °C übersteigt. Alle anderen in Phase peri genommenen und ausgewerteten Proben liegen innerhalb dieses Richtwertes. Interessant ist der Nachweis, dass in den verschiedenen Gebäudetypen jeweils ein Temperaturanstieg von Phase A zu Phase peri zu ermitteln ist. Dieser Temperaturanstieg wächst mit Anstieg der Größe der Gebäude bzw. Länge der jeweiligen Rohrleitungssysteme. Wie aus Abb. 18 ersichtlich, steigt der Median der Einfamilienhäuser von A zu peri um lediglich 0,6 °C an. Bei den Mehrfamilienhäusern ist ein Anstieg des Median von 0,8 °C, bei den Kliniken von 2,7 °C und bei der Industrieanlage von 7,6 °C zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu ist eine größere Temperaturdifferenz im Maximum der Gebäudetypen zu ermitteln. Hier ist ein Anstieg bei den Einfamilienhäusern von 3,6 °C, bei den Mehrfamilienhäusern von 3,1 °C, bei den Kliniken von 15,4 °C und bei der Industrieanlage, die die höchste Temperaturdifferenz aufweist, von 17,0 °C gegeben. Mithin differieren die Maximalwerte im Wesentlichen mehr als die Medianwerte. Die Maximalwerte zeigen gerade bei den Kliniken und bei der Industrieanlage eine nennenswerte Differenz. Mit Anstieg der Temperatur bei den Kliniken und der Industrieanlage ist auch eine signifikante Erhöhung der KBE/l Legionellen zu registrieren (Abb. 31). Im Gegensatz dazu ist eine entsprechende Erhöhung der KBE/l Legionellen bei den übrigen Gebäudetypen wegen des hier geringeren Temperaturanstiegs nicht so deutlich zu verzeichnen.

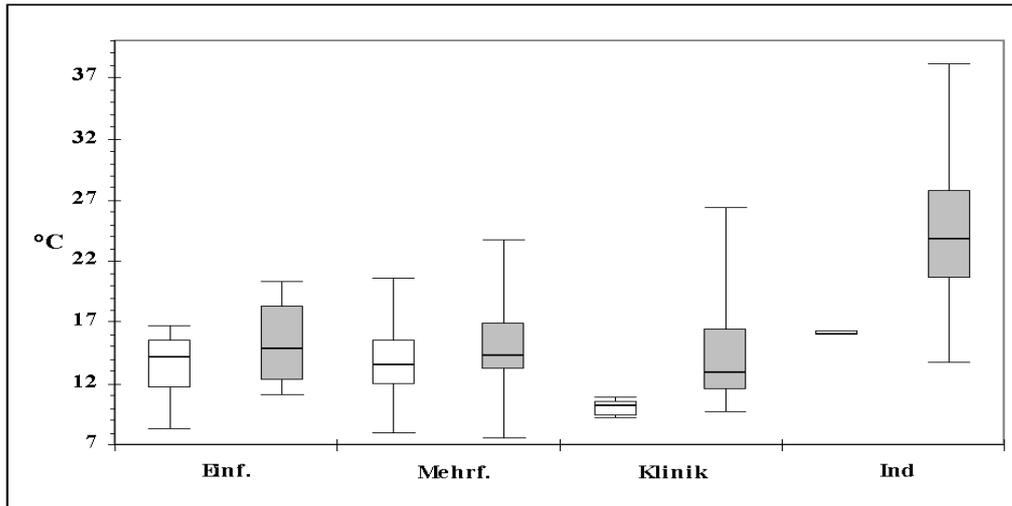


Abb. 18: Box-and-Whisker-Plots der Phasen A und peri der gezogenen Proben aus den verschiedenen Gebäudetypen

- Phase A: Wassertemperatur nach Wasseruhr
- Phase Peri.: Wassertemperatur an der periphersten Entnahmestelle

9.) Darstellung der gemessenen Kupferwerte

Tab. 4 zeigt die gemessenen Kupferwerte aus den gesamten Proben, unterteilt in Legionellen-positive und Legionellen-negative Proben. Die Kupferwerte (Cu) sind gemessen in mg/l. Es wurde aus allen Proben ein Höchstwert von 2,54 mg/l Kupfer (Cu) gemessen. Der diesbezügliche Richtwert der TVO für Kupfer liegt bei 3 mg/l, der somit insgesamt nicht überschritten wurde.

Parameter	Kupfer (mg/l)		
	Gesamt	Leg neg	Leg pos
N	131	113	18
ar. Mit.	0,155	0,13	0,316
Median	0,064	0,058	0,17
Min	0	0	0
Max	2,54	2,54	0,827
1 Quartil	0,012	0,006	0,092
2 Quartil	0,153	0,134	0,522

Tab. 4: Deskriptive Statistik des gesamten Kupfers (Cu) in mg/l einschließlich negativer/positiver Legionellen-Befunde

Aus Abb. 19 ist zu erkennen, dass der Median bei den Legionellen-positiven Proben höher liegt, als bei den Legionellen-negativen. Der Median der negativen Proben liegt bei 0,058 mg/l und bei den positiven bei 0,17 mg/l, mithin ist eine Steigerung des Kupfergehaltes von 0,112 mg/l zu erkennen. Interessanterweise liegt der Höchstwert Kupfer der Legionellen-negativen Proben bei 2,54 mg/l und somit höher als der höchste Kupferwert der Legionellen-positiven Proben, der bei 0,827 mg/l angesiedelt ist. Wie aus Abb. 19 weiter ersichtlich, liegen bei den Legionellen-positiven Ergebnissen die Kupferkonzentrationen allgemein höher als bei den Legionellen-negativen Ergebnissen. Man kann erkennen, dass ab einer Kupferkonzentration von 0,8 mg/l keine Legionellen mehr nachweisbar sind.

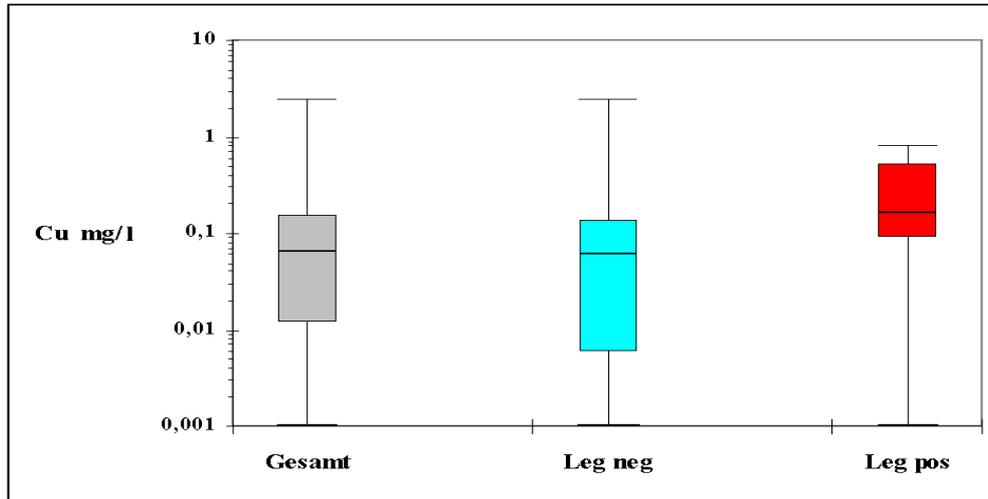


Abb. 19: Box-and-Whisker-Plots der Werte des gesamten Kupfers (Cu), negativer u. positiver Legionellen-Befunde

Wie aus Abb. 20 ersichtlich, wurden bereits positive Legionellen-Befunde ermittelt, obwohl keine Kupferkonzentration nachgewiesen werden konnte. Gleichmaßen wird ersichtlich, dass ebenfalls positive Legionellen-Proben bei einem Wert von 0,827 mg/l Kupfer ermittelt werden konnten. Somit ergibt sich, dass insgesamt negative wie auch positive Ergebnisse bezüglich Legionellen-Befall des Kaltwassers bei Kupferwerten von 0,000 bis 0,827 mg/l vorkommen. Weiter wird auch ersichtlich, dass lediglich drei negative Proben oberhalb des Kupferwertes von 0,827 mg/l lagen. Die höchste Kupferkonzentration wurde aus einer Probe ermittelt, die aus einem Putzraum gezogen wurde, in dem für längere Zeit das zu überprüfende Wasser stagnierte und sich somit ein solch hoher Wert erklären lässt.

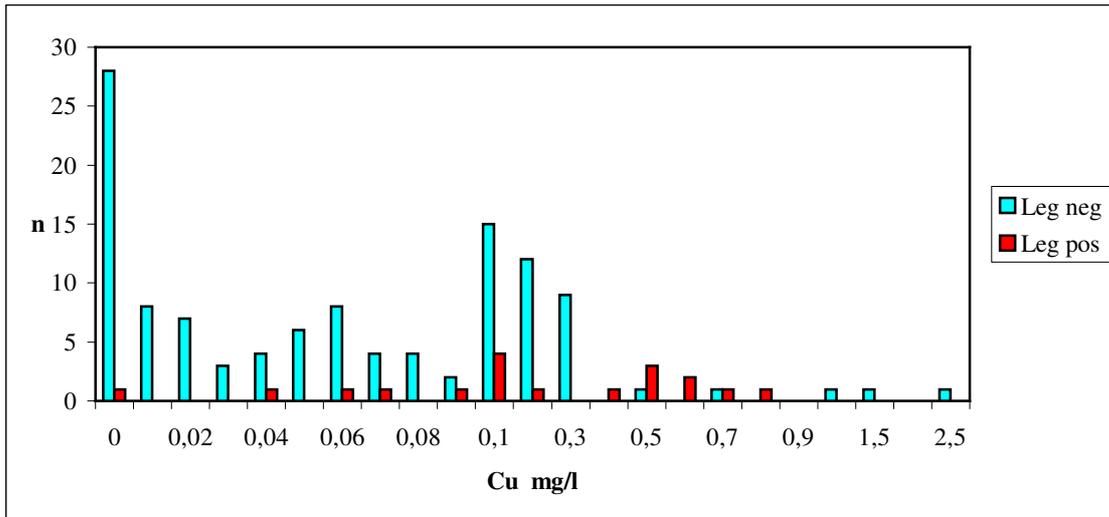


Abb. 20: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Kupferkonzentration (Cu).

9.1.) Darstellung der gemessenen Cu-Werte in den verschiedenen Untersuchungsgebieten

Abb. 21 zeigt die jeweilige Kupferkonzentration in den einzelnen Untersuchungsbe-
reichen ohne Bezug auf Legionellen-Vorkommen. Es wurden Netzwerk-, Wasserwerk-,
Einfamilienhaus-, Mehrfamilienhaus- und Klinikproben auf Kupfer untersucht. Die
Proben der Mineralwässer wie auch der Industrieanlage fanden bei dieser Untersuchung
keine Berücksichtigung.

In Abb. 21 ist dargestellt, dass in den Gebäuden der Median für Kupfer (Cu) stark
ansteigt. Dies resultiert daraus, dass die Gebäude heutzutage mit Kupferleitungen
ausgestattet sind. Weiterhin ist zu erkennen, dass mit Zunahme der Größe der Gebäude
bzw. deren Rohrleitungssysteme der Kupfergehalt des Kaltwassers steigt. So beläuft
sich die Kupferkonzentration bei den Wasserwerken auf maximal 0,049 mg/l und findet
ihren Höchstwert bei den Kliniken mit 2,54 mg/l, wobei über die Einfamilienhäuser und
Mehrfamilienhäuser ein stetiger Anstieg zu verzeichnen ist. Es ist somit eine Abhängig-
keit des Kupfergehaltes zur Länge der Rohrleitungssysteme zu erkennen.

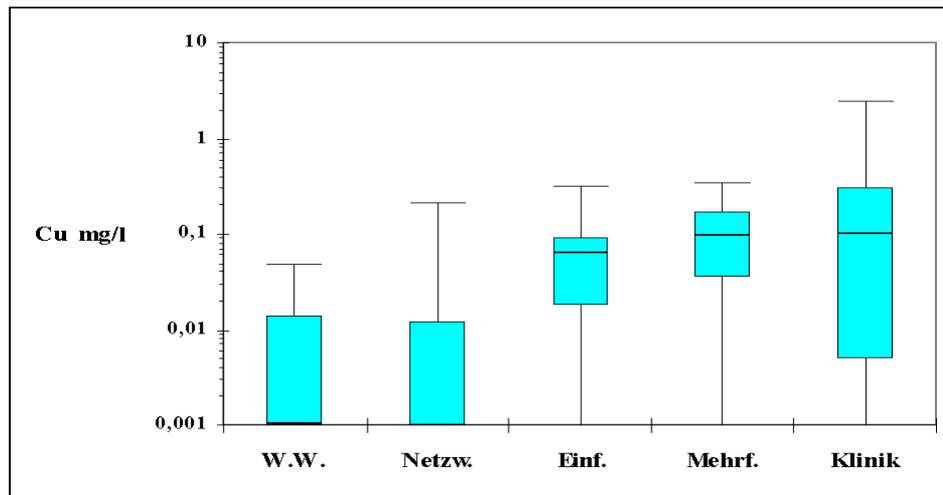


Abb. 21: Box-and-Whisker-Plots von Kupfer (Cu) in den verschiedenen Untersuchungsbereichen.

9.2.) Darstellung der gemessenen Cu-Werte in Korrelation zu Legionellen

Abb. 22 zeigt die verschiedenen Untersuchungsgebiete sowie die jeweiligen negativen und positiven Legionellen-Befunde. Es wird weiter hierin aufgezeigt, dass Legionellen-positive Ergebnisse aus den Proben der Einfamilienhäuser und Kliniken nachgewiesen werden konnten. Alle weiteren Untersuchungsbereiche haben keine Legionellen-positiven Befunde ergeben. Abb. 22 verdeutlicht noch einmal, dass positive Legionellen-Befunde in Bezug auf die Kupferkonzentration ab einem Wert von 0,000 mg/l bis 0,827 mg/l ermittelt werden konnten. Der bei den Kliniken bezüglich der positiven Proben ermittelte Median mit 0,193 mg/l Cu lag somit sogar über dem der übrigen Untersuchungsergebnisse (ob positiv oder negativ).

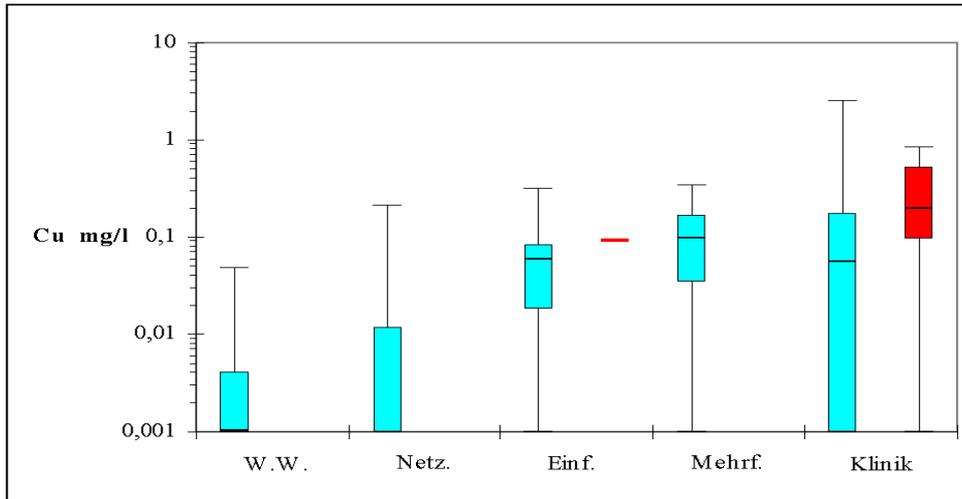


Abb. 22: Box-and-Whisker-Plots von Kupfer (Cu) einschl. ■ negativer ■ positiver Legionellen-Befunde in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

10.) Darstellung der gemessenen Eisenwerte

In Tab. 5 werden die gemessenen Eisenwerte aus den gesamten Proben, unterteilt in positive und negative Legionellen-Proben, aufgezeigt. Die Eisenwerte (Fe) sind in mg/l gemessen worden. Die höchste Eisenkonzentration aus allen untersuchten Proben ist mit 10,02 mg/l nachweisbar. Diese Messung ergibt sich aus einer Wasserwerksprobe, wobei die Probe aus der dort befindlichen Kieselfilteranlage während des Rückspülvorgangs entnommen wurde. Die TVO fordert bezüglich der Eisenkonzentration einen Richtwert von 0,2 mg/l.

Parameter	Eisen (mg/l)		
	Gesamt	Leg neg.	Leg pos.
N	131	113	18
Ar. Mit.	0,134	0,151	0,025
Median	0,025	0,026	0,019
Min	0	0	0
Max	10,02	10,02	0,078
1 Quartil	0,005	0,006	0,001
2 Quartil	0,069	0,078	0,039

Tab. 5: Deskriptive Statistik des gesamten Eisens (Fe) in mg/l einschließlich negativer/positiver Legionellen-Befunde

In Abb. 23 werden die gemessenen Werte aus Tab. 5 graphisch dargestellt. Der Gesamtmedian aller Proben liegt bei 0,025 mg/l. Weiter wird aus Abb. 23 ersichtlich, dass der Median der Legionellen-negativen Proben, der bei 0,026 mg/l liegt, nur eine geringe Abweichung zum Median der Legionellen-positiven Proben, der bei 0,019 mg/l angesiedelt ist, aufweist. Es liegt in diesem Fall eine Minderung des Eisengehaltes im Median von den negativen zu den positiven Legionellen-Proben von 0,007 mg/l Fe vor.

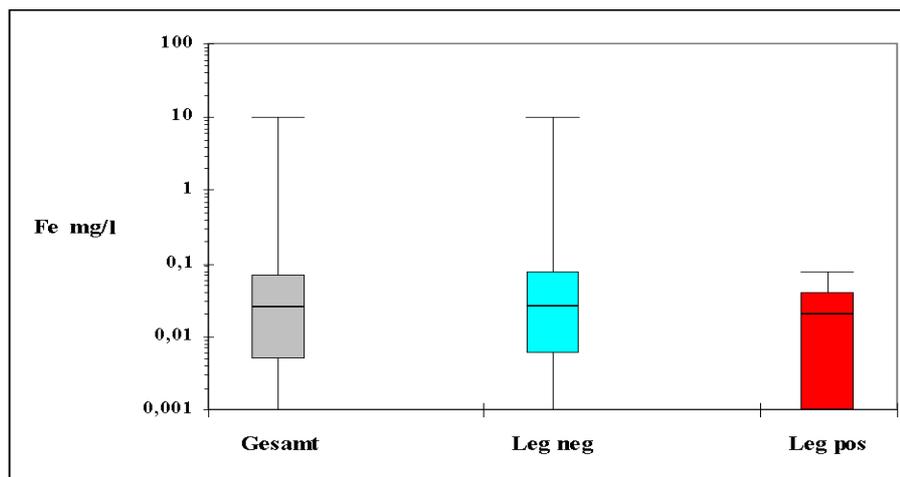


Abb. 23: Box-and-Whisker-Plots der Werte des ■ gesamten Eisens (Fe) in mg/l, ■ negativer und ■ positiver Legionellen-Befunde

Es kann kein unbedingter Zusammenhang zwischen den positiven Legionellen-Befunden und der Eisenkonzentration erkannt werden, da, wie aus Abb. 23 ersichtlich, auch ein Legionellen-Vorkommen bzw. –Wachstum nachgewiesen werden kann, obwohl keine Eisenkonzentration vorhanden ist. Im Gegensatz dazu können allerdings ab einer Eisenkonzentration von 0,078 mg/l und höher keine Legionellen-positiven Befunde mehr nachgewiesen werden. In dieser Spannbreite, von 0 – 0,078 mg/l, konnten regelmäßig Legionellen ermittelt werden, was aus Abb. 24 hervorgeht. Aus ihr zeigen sich ebenfalls zwei stark erhöhte Eisengehaltswerte von 10,02 mg/l und 1,56 mg/l. Der eine extrem hohe Wert von 10,02 mg/l resultiert, wie vorab bereits erwähnt, aus der Rückspülung einer Kieselfilteranlage und der andere, ebenfalls sehr hohe Eisenwert von 1,56 mg/l, begründet sich darin, dass diese Probe aus einer Brunnenanlage vor Einspeisung in die Filteranlage entnommen wurde.

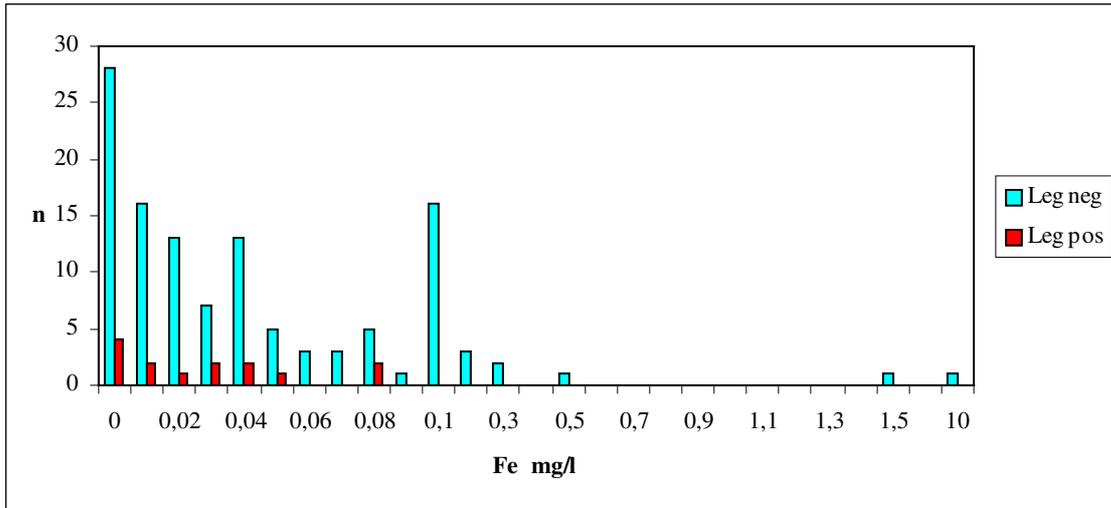


Abb. 24: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Eisenkonzentration (Fe).

10.1.) Darstellung der gemessenen Fe-Werte in den verschiedenen Untersuchungsgebieten

In Abb. 25 werden die einzelnen Eisenwerte aus den verschiedenen Untersuchungsgebieten gesondert ohne Bezugnahme auf Legionellen-Vorkommen gegenübergestellt. Es wurden auch hier die Wasserwerk-, Netzwerk-, Einfamilienhaus-, Mehrfamilienhaus- und Klinikproben auf deren Elektrolytgehalt von Eisen untersucht. Auch bei dieser Untersuchung blieben die Mineralwasser- und Industrieanlageproben ohne Berücksichtigung.

Aus Abb. 25 wird ersichtlich, dass sich die Eisenkonzentration im Median der verschiedenen Untersuchungsgebiete von 0,013 mg/l bis 0,107 mg/l verteilt. Es wird weiter verdeutlicht, dass die Eisenkonzentrationswerte der Netzwerk-, Einfamilienhaus- und Mehrfamilienhausproben im Maximum nicht weit voneinander differieren. Es liegen in diesen drei Untersuchungsgebieten maximale Fe-Werte von 0,145 mg/l, 0,122 mg/l und 0,165 mg/l vor. Die minimalen Fe-Werte zeigen eine ebenfalls kleine Spanne durch alle Untersuchungsgebiete von 0,000 mg/l bis 0,047 mg/l. Der von der TVO geforderte Richtwert zur Eisenkonzentration von 0,2 mg/l wurde weitestgehend eingehalten.

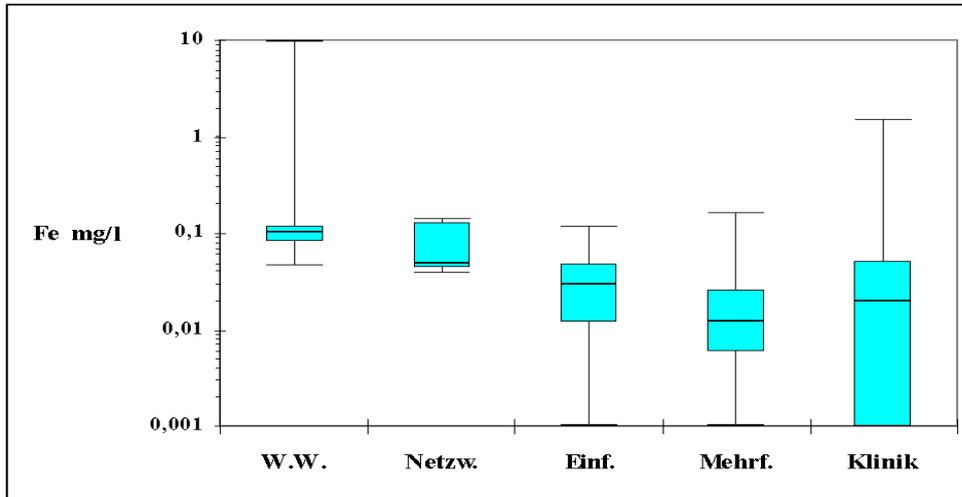


Abb. 25: Box-and-Whisker-Plots von Eisen (Fe) in mg/l in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

Des Weiteren wird aus Abb. 25 ersichtlich, dass sich die Eisenkonzentration ausgehend von den Wasserwerksproben mit dem höchsten Median über die Netzwerk- bis hin zu den Gebäudeproben in ihrem Medianwert verringert. Hier besteht aber kein Zusammenhang, da die meisten Proben aus verschiedenen geographischen Regionen entnommen worden sind, wodurch sich auch die verschiedenen Eisenkonzentrationen im Wasser ergeben.

10.2.) Darstellung der gemessenen Fe-Werte in Korrelation zu Legionellen

In Abb. 26 wird eine genaue Gegenüberstellungen von negativen und positiven Legionellen-Vorkommen in den einzelnen Untersuchungsgebieten vorgenommen. Wie ersichtlich wird, konnten aus den Proben der Wasserwerke, Netzwerke und Mehrfamilienhäuser keine Legionellen-Vorkommen nachgewiesen werden. Positive Legionellen-Befunde wurden lediglich in Einfamilienhäusern und Kliniken ermittelt. Es wird weiter ersichtlich, dass von den 29 Proben aus Einfamilienhäusern nur eine der Proben Legionellen-positiv war. Bei dieser positiven Probe konnte ein Eisengehalt von 0,044 mg/l ermittelt werden. Dieser Wert entspricht nicht dem Maximum, der bei Einfamilienhäusern gemessen wurde. Dieser liegt bei 0,122 mg/l Fe, welcher allerdings aus einer Legionellen-negativen Probe ermittelt werden konnte. Ebenso verhält es sich bei den Klinikproben. Hier waren 17 der 36 Proben Legionellen-positiv mit einer

maximalen Eisenkonzentration von 0,078 mg/l. Der Maximalwert der Legionellen-negativen Klinikproben liegt auch hier, wie bei den Einfamilienhausproben, höher als bei den positiven Proben, bei 1,56 mg/l. Aus Abb. 26 wird im Übrigen weiter erkennbar, dass Legionellen bei einer Eisenkonzentration im Kaltwasser von 0,000 mg/l bis 0,078 mg/l nachweisbar sind.

Die Höhe der Eisenkonzentration steht somit hier nicht zwingend in unmittelbarem Zusammenhang zum Legionellen-Vorkommen. So liegt der Median in allen Untersuchungsbereichen, ob bei positiven oder negativen Legionellen-Befunden, nicht wesentlich auseinander (0,013 mg/l – 0,107 mg/l).

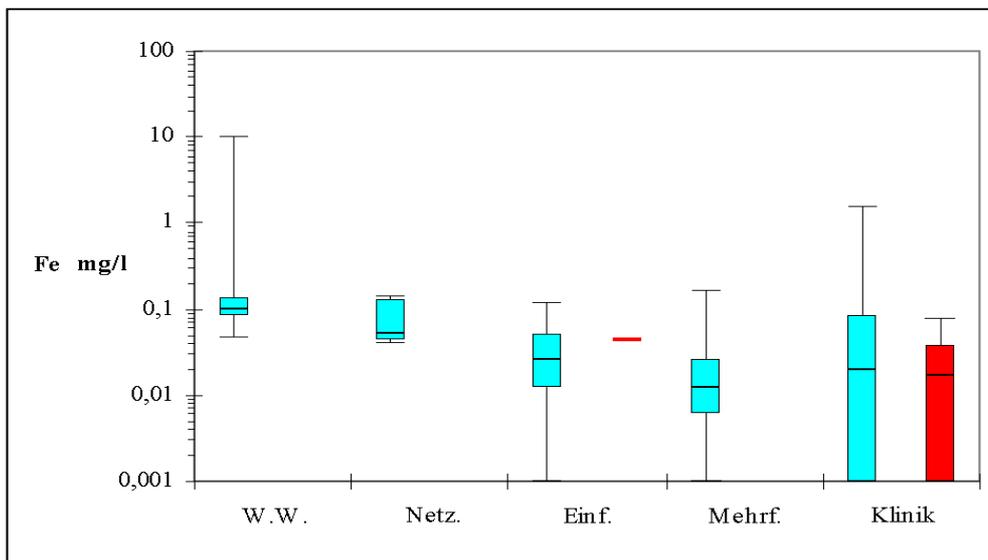


Abb. 26: Box-and-Whisker-Plots von Eisen (Fe) in mg/l einschl. ■ negativer ■ positiver Legionellen-Befunde in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

11.) Darstellung der gemessenen Zinkwerte

Tab. 6 zeigt die gemessenen Zinkwerte aus den gesamten Proben. Es ist eine weitere Unterteilung in positive und negative Legionellen-Proben vorgenommen worden. Die Zinkwerte (Zn) wurden in mg/l gemessen. Insgesamt konnte aus allen entnommenen Proben ein maximaler Zinkwert (Zn) von 4,819 mg/l ermittelt werden. Gemäß der TVO liegt der Richtwert für Zink bei 5 mg/l. Dieser Richtwert wurde somit insgesamt in der vorliegenden Arbeit nicht überschritten.

Parameter	Zink (mg/l)		
	Gesamt	Leg neg.	Leg pos.
N	131	113	18
ar. Mit.	0,119	0,168	0,051
Median	0,018	0,02	0
Min	0	0	0
Max	4,819	4,819	0,474
1 Quartil	0,004	0,008	0
2 Quartil	0,064	0,064	0,008

Tab. 6: Deskriptive Statistik des gesamten Zinks (Zn) in mg/l einschließlich negativer/positiver Legionellen-Befunde

Aus Tab. 6 und Abb. 27 ist erkennbar, dass der Median aller Proben bei 0,018 mg/l Zn liegt. Ferner ist ersichtlich, dass der Mittelwert der Zinkkonzentration des Kaltwassers bei den Legionellen-negativen Proben bei 0,168 mg/l Zn und bei den Legionellen-positiven bei 0,051 mg/l Zink angesiedelt ist. Somit ergibt sich eine Minderung von den negativen zu den positiven Proben von 0,117 mg/l Zn. Die Messung des oben bereits erwähnten Höchstwertes (4,819 mg/l Zn) resultiert aus einer Legionellen-negativen Probe. Der maximale Zinkwert der Legionellen-positiven Proben liegt hier niedriger als bei den Legionellen-negativen Proben. Der Maximalwert der positiven Proben ist bei 0,474 mg/l angesiedelt, wodurch sich eine Minderung von negativ zu positiv in Höhe von 4,345 mg/l Zn ergibt.

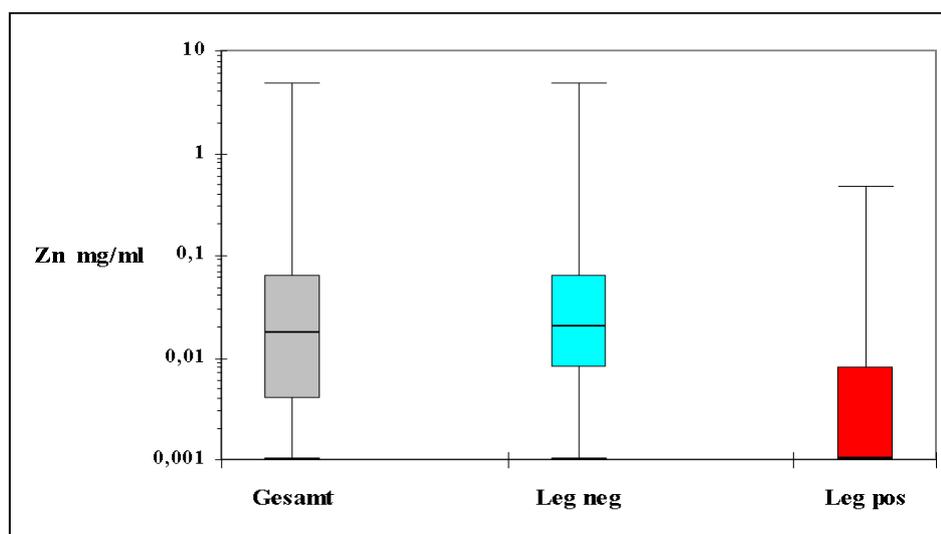


Abb. 27: Box-and-Whisker-Plots der Werte des gesamten Zinks (Zn), negativer u. positiver Legionellen-Befunde

Aufschlussreich ist auch, wie aus Abb. 28 zu erkennen ist, dass ab einem Wert von über 0,474 mg/l Zink keine positiven Legionellen-Befunde mehr nachgewiesen werden konnten. Der Großteil der Legionellen-positiven Befunde konnte bei sehr geringer bzw. keiner Zinkkonzentration nachgewiesen werden.

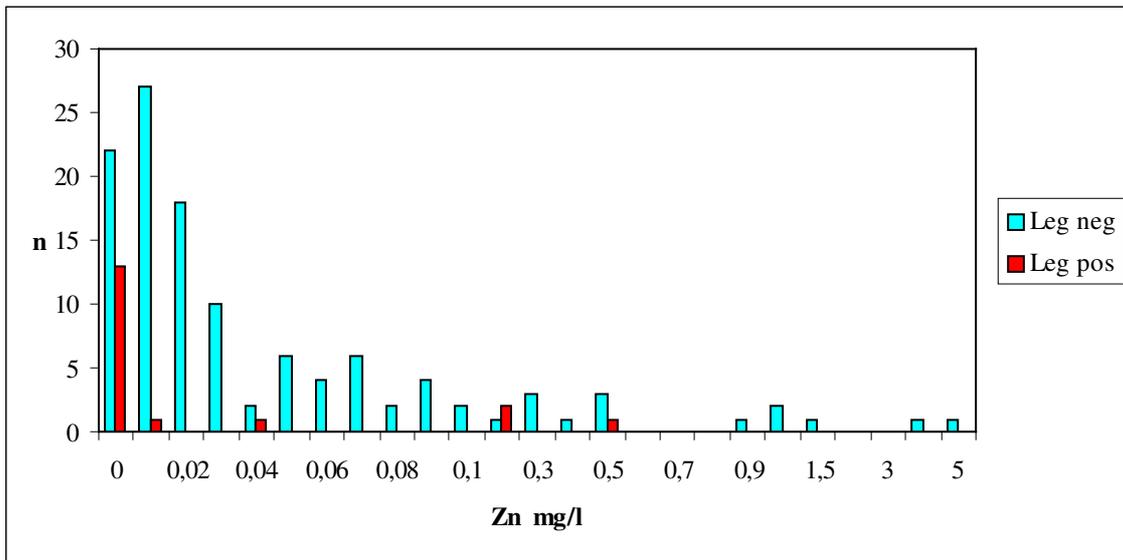


Abb. 28: Legionellen-Verteilung in Korrelation zur Zinkkonzentration (Zn).

11.1.) Darstellung der gemessenen Zn-Werte in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

Eine Aufschlüsselung der verschiedenen Untersuchungsgebiete und der jeweiligen Zinkwerte wird in Abb. 29 vorgenommen. Hier werden die einzelnen Zinkkonzentrationen ohne Berücksichtigung von Legionellen-Vorkommen, unterteilt in Wasserwerks-, Netzwerks-, Einfamilienhaus-, Mehrfamilienhaus- und Klinikproben, dargestellt. Wie schon bei der Kupfer- und Eisenuntersuchung werden auch hier die Proben der Mineralwässer und Industrieanlage nicht berücksichtigt.

Abb. 29 zeigt weiter, dass die höchste Zinkkonzentration bei den Einfamilienhäusern mit 4,819 mg/l gemessen wurde. Im Gegensatz dazu lag der maximale Zinkwert bei den Wasserwerken hier gerade bei 0,062 mg/l, was einer Differenz von 4,757 mg/l Zn entspricht. Auch bei den Mehrfamilienhäusern liegt ein hoher Maximalwert Zink mit

4,615 mg/l vor. Diese Höchstwerte bei den Einfamilien- und Mehrfamilienhäusern lassen sich wahrscheinlich auf die dementsprechend vorhandenen Rohrleitungssysteme zurückführen, die oftmals bei Probenentnahme aus verzinkten Eisenrohren bestanden haben. Auch bei den Kliniken konnten teilweise sehr hohe Zinkwerte erzielt werden, was ebenfalls auf eventuell vorhandene Zinkleitungen zurückgeführt werden kann. Dies kann allerdings nicht mehr mit Sicherheit eruiert werden.

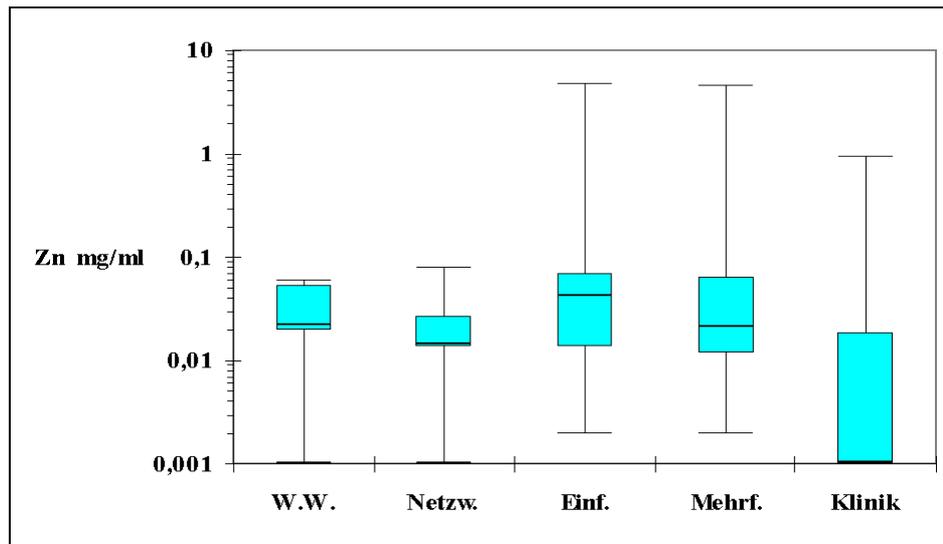


Abb. 29: Box-and-Whisker-Plots von Zink (Zn) in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

11.2.) Darstellung der gemessenen Zn-Werte in Korrelation zu Legionellen

In Abb. 30 erfolgt nunmehr die Darstellung der verschiedenen Untersuchungsgebiete mit ihren Zinkwerten bezogen auf Legionellen-negative und Legionellen-positive Proben. Es lässt sich ersehen, dass positive Legionellen-Befunde in Bezug auf die Zinkkonzentration bei Einfamilienhäusern und Kliniken nachgewiesen werden konnten. Die übrigen Untersuchungsbereiche weisen alle keine Legionellen-positiven Ergebnisse auf. Bei der Gegenüberstellung der Legionellen-negativen und Legionellen-positiven Ergebnisse in Abb. 30 ist ein Anstieg der Zinkkonzentration in den Gebäuden gegenüber den Wasserwerken und Netzwerken zu ersehen, was, wie bereits beschrieben, auf vorhandene verzinkte Eisenleitungen zurückgeführt werden kann. Ferner ist aus Abb. 30 ersichtlich, dass auch positive Legionellen-Befunde, wie bei den Einfamilienhäusern, mit Zinkwerten von 0,043 mg/l möglich sind.

Es zeigt sich, dass die meisten untersuchten Proben Zinkwerte unterhalb von 0,1 mg/l aufweisen. Dies beweist auch der Median, der über alle Untersuchungsgebiete hinweg kaum Abweichungen aufweist (0,006 mg/l – 0,043 mg/l).

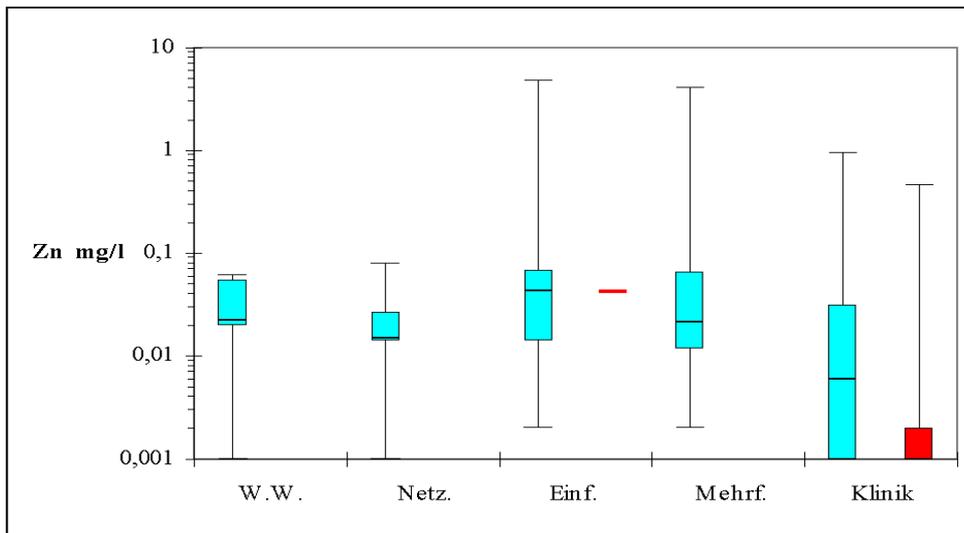


Abb. 30: Box-and-Whisker-Plots von Zink (Zn) einschl. ■ negativer ■ positiver Legionellen-Befunde in den verschiedenen Untersuchungsbereichen

12.) Legionellen-Vorkommen in den verschiedenen Untersuchungsgebieten

Von den insgesamt 176 untersuchten Kaltwasserproben zeigen 21 Proben Legionellen-positive Befunde. Von diesen Legionellen-positiven Proben entstammen 4,76 % (1 Probe) den Einfamilienhäusern, 80,95 % (17 Proben) den Kliniken und 14,25 % (3 Proben) der Industrieanlage.

Abb. 31 zeigt, dass aus den Proben der Industrieanlage die höchste Anzahl an KBE/l Legionellen ermittelt werden konnte. Die durchschnittliche Anzahl betrug hier 2.133 KBE/l, wobei ein Bereich von 1.000 bis 59.000 KBE/l erfasst werden konnte. Aus der einen Legionellen-positiven Probe aus dem Einfamilienhaus wurden Keimzahlen von 86 KBE/l Legionellen gemessen. Hier ist erkennbar, dass eine wesentlich geringere Anzahl an KBE/l gemessen werden konnte als bei den Messungen bezüglich der Proben

aus der Industrieanlage. Bei den Kliniken verhält es sich so, dass aus den gesamten klinischen Proben ein Höchstwert in Höhe von 3.000 KBE/l zu ermitteln war und die niedrigste Probe eine Anzahl von 1 KBE/l aufwies. Der Durchschnittswert der klinischen Proben betrug 233 KBE/l Legionellen.

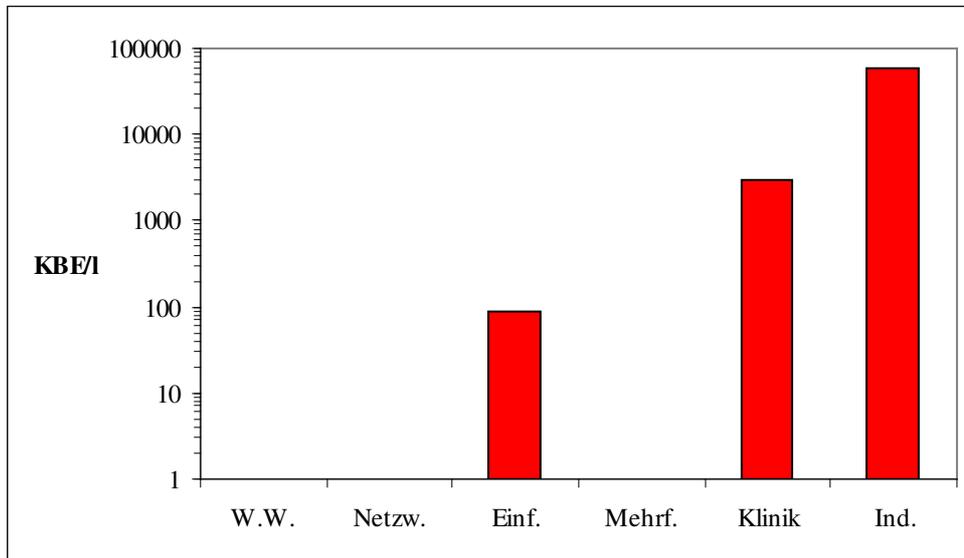


Abb. 31: Darstellung der gemessenen Legionellen-Vorkommen in KBE/l in Korrelation zu den verschiedenen Untersuchungsgebieten.

Das Legionellen-Vorkommen wurde durch mehrere Testreihen weiter untersucht, um die Legionellen näher differenzieren zu können. Durch diese weitere Diagnostik konnten die Legionellen drei verschiedenen Serogruppen bzw. Spezies zugeordnet werden, wobei 8 Legionella pneumophila Serogruppe 1, 12 Legionella pneumophila Serogruppe 2 – 14 und 1 Legionella dumoffii zuzuordnen waren. Die 12 Proben, bei denen Legionella pneumophila Serogruppe 2 – 14 diagnostiziert werden konnte, wurden noch weiter auf die spezifische Serogruppe untersucht. Es konnten somit zwei Proben der Serogruppe 3, eine Probe der Serogruppe 4, fünf Proben der Serogruppe 4 und 5, drei Proben der Serogruppe 5 und eine Probe der Serogruppe 6 zugeordnet werden.

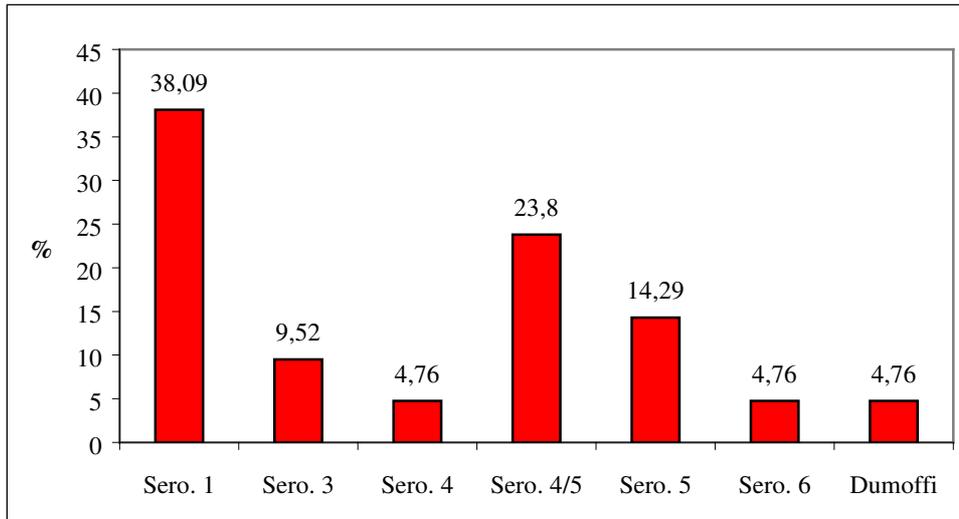


Abb. 32: Darstellung des gesamten prozentualen Legionellen-Vorkommens unterteilt in die jeweiligen spezifischen Serogruppen und Spezies

Wie bereits näher erläutert, erfolgte durch weitere Diagnostik die Einteilung der Legionellen-Vorkommen in die spezifischen Serogruppen und Spezies. Dies wird aus Abb. 32 ersichtlich. Prozentual konnte ein Großteil der gefundenen Legionellen der Serogruppe 1 mit 38,09 % zugeordnet werden. Die in dem Einfamilienhaus und der Industrieanlage untersuchten Legionellen-positiven Proben konnten allesamt der Serogruppe 1 zugeordnet werden, wohingegen die übrigen Legionellen-positiven Proben aus den Kliniken den Serogruppen 3, 4, 5, 6 und Legionella dumoffii zuzuordnen waren.

13.) Vorkommen von Legionellen in den verschiedenen Gebäudetypen

13.1.) Einfamilienhaus A

Das einstöckige Wohnhaus mit Dachgeschoss und Unterkellerung, in dem 4 Personen wohnen, wurde 1997 gebaut. Es wurden Kupferleitungen für das Kaltwasserrohrleitungssystem verwendet.

Bei Probenentnahme im Mai 2002 wurde aus jedem Stockwerk eine Probe entnommen. Unabhängig vom Stockwerk konnten im Kaltwasser keine Legionellen nachgewiesen werden.

In dem Wohnhaus nahm die Kaltwassertemperatur und die Kupferkonzentration entsprechend der Geschosshöhe stetig zu. Die Zinkkonzentration nahm dagegen mit steigendem Stockwerk ab, während die Eisenkonzentration gleich blieb. Die Mittelwerte aller gemessenen Elektrolyte aus allen Stockwerken zusammen belaufen sich bei Eisen auf 0,045 mg/l, bei Kupfer auf 0,081 mg/l und bei Zink auf 0,108 mg/l. Die dementsprechenden Einzelwerte werden aus Abb. 33 ersichtlich. Die durchschnittliche Kaltwassertemperatur betrug bei Entnahme der Proben 11,4 °C. Auch die diesbezüglichen Messdaten je Stockwerk ergeben sich aus Abb. 33.

Des Weiteren ist aus Abb. 33 zu erkennen, dass die Kaltwassertemperatur und die Kupferkonzentration in diesem Gebäude direkt mit der Länge des Rohrleitungssystems korreliert. Nach Einspeisung des Kaltwassers aus dem Netzwerk in das Gebäude betrug die Temperatur 10,9 °C, im Erdgeschoss betrug sie 11,2 °C und im Dachgeschoss 12,2 °C.

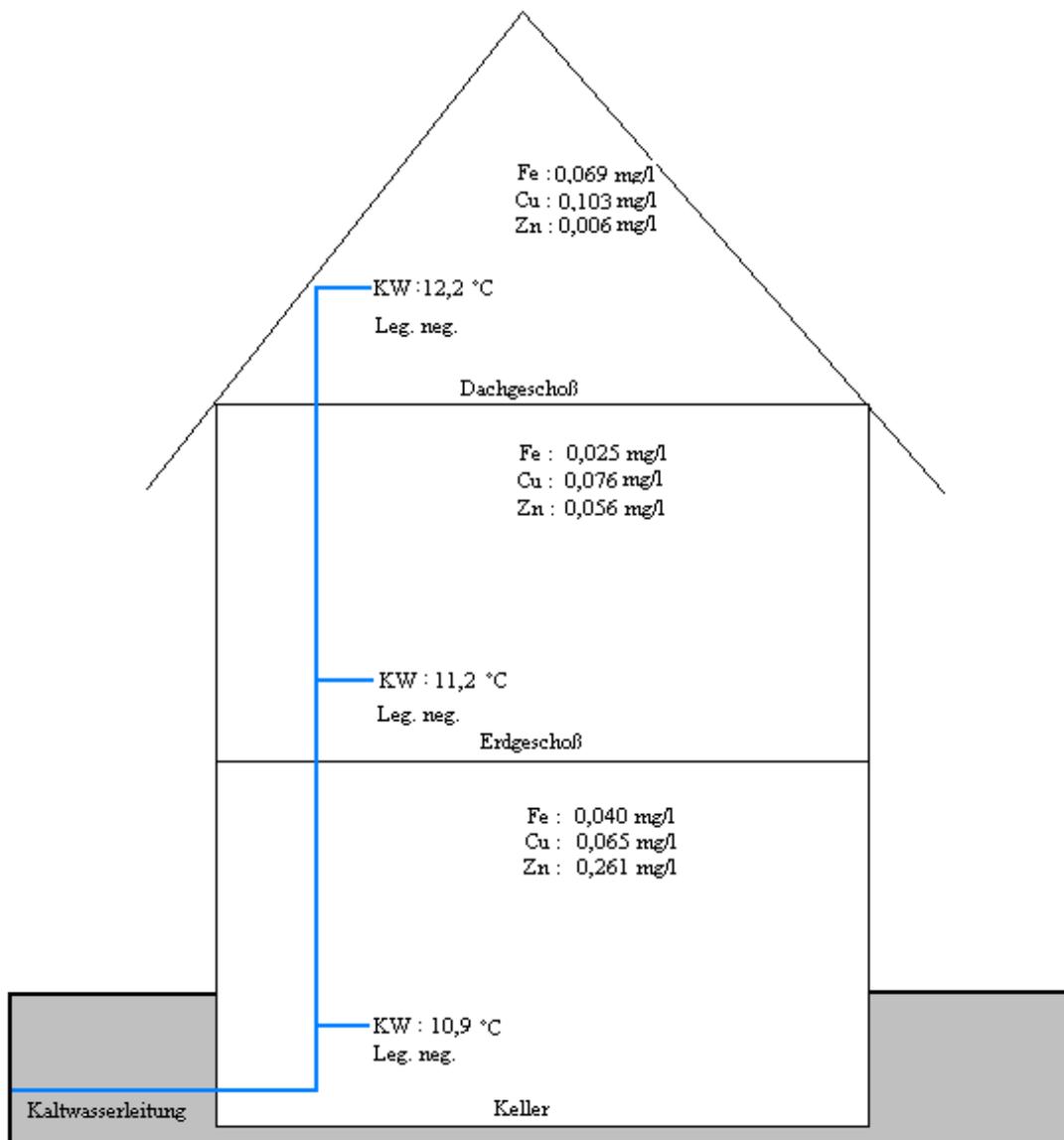


Abb. 33: Einfamilienhaus A

13.2.) Einfamilienhaus B

Das eingeschossige Wohnhaus mit Dachgeschoss und Unterkellerung wurde im Jahre 1967 gebaut. Als Kaltwasserrohre wurden Kupferleitungen verwendet. Das Haus wird von zwei Personen bewohnt.

Im Juni 2002 wurde aus jedem Stockwerk eine Kaltwasserprobe entnommen. Nach Einspeisung des Kaltwassers in das Gebäude betrug die Temperatur bei Probenentnahme 16,8 °C, im Erdgeschoss 18,4 °C und im Dachgeschoss 20,4 °C. Im Keller und im Erdgeschoss wurden keine Legionellen gefunden. Im Dachgeschoss hingegen war die Probe Legionellen-positiv. Es konnten 86 KBE/l nachgewiesen werden. Bei weiterer Untersuchung der Probe stellte sich heraus, dass es sich hier um *Legionella pneumophila* Serogruppe 1 handelte. In diesem Wohnhaus nahm die Kaltwassertemperatur mit der Geschosshöhe stetig zu. Die Mittelwerte aller gemessenen Elektrolyte belaufen sich bei Eisen auf 0,058 mg/l, bei Kupfer auf 0,053 mg/l und bei Zink auf 1,631 mg/l. Die genauen Einzelwerte pro Stockwerk sind aus Abb. 34 ersichtlich. Die durchschnittliche Kaltwassertemperatur betrug bei Entnahme der Proben 18,5 °C.

Auch bei diesem Wohnhaus ist wieder zu erkennen, dass bezüglich der Kaltwassertemperatur die Länge des Rohrleitungssystems eine ausschlaggebende Rolle spielt.

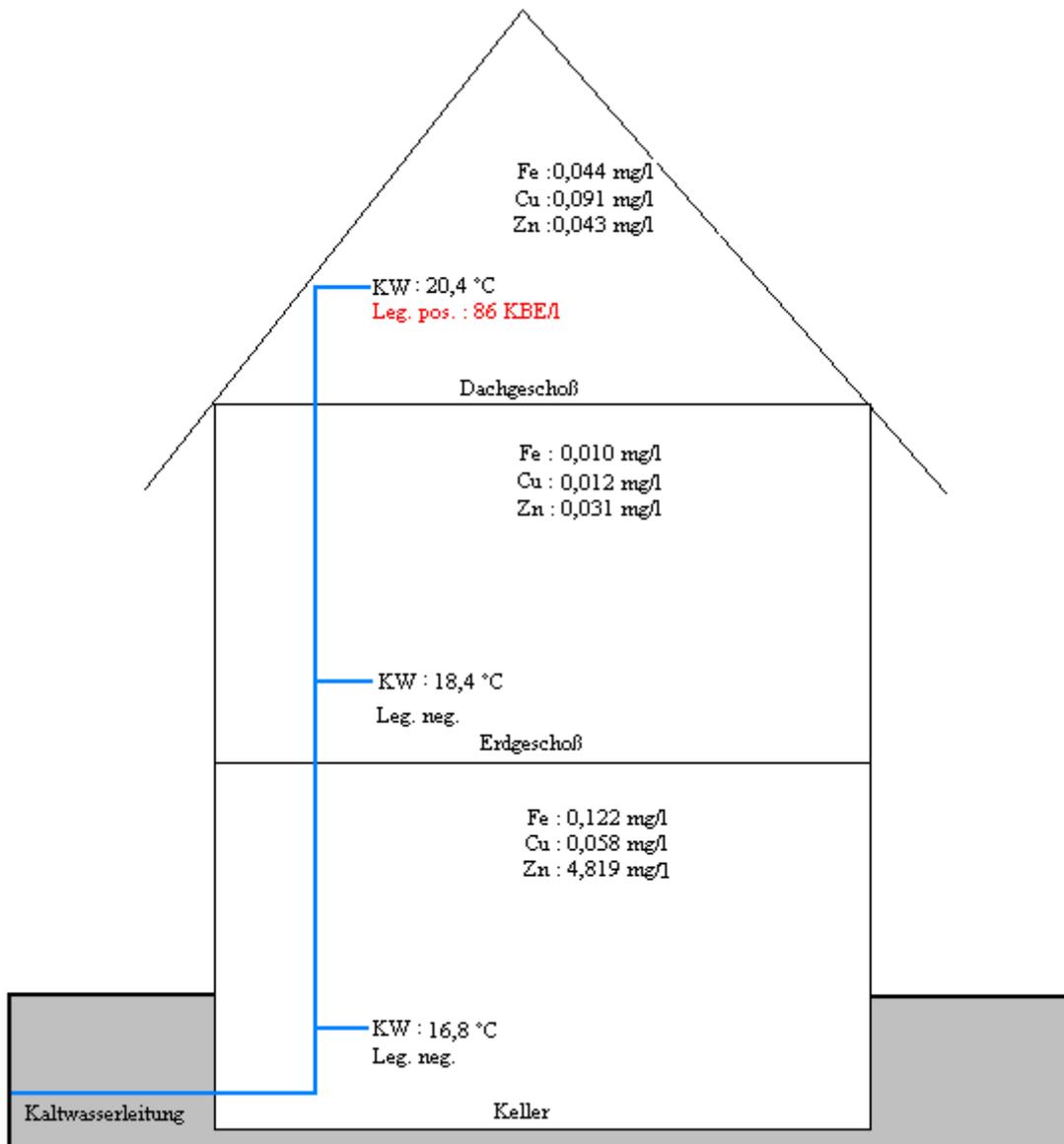


Abb. 34: Einfamilienhaus B

13.3.) Mehrfamilienhaus C

Das in Abb. 35 ersichtliche zweigeschossige Mehrfamilienhaus wurde im Jahre 1965 gebaut. Die Kaltwasserleitungen bestehen aus verzinkten Eisenrohren. Das Haus wird von 2 Parteien, d. h. insgesamt 5 Personen bewohnt.

Aus diesem Gebäude wurden insgesamt 4 Kaltwasserproben im Mai 2002 entnommen. Alle Proben waren Legionellen-negativ.

Im Keller wurde ein extrem hoher Zinkwert mit 4,655 mg/l gemessen. In den anderen Stockwerken lag der Zinkwert bei 0,028 mg/l, 0,026 mg/l und 0,064 mg/l, woraus sich ein durchschnittlicher Wert von 1,193 mg/l Zink ergibt. Bezüglich der Eisenkonzentration im Kaltwasser des Mehrfamilienhauses C wurde ein Durchschnittswert von 0,047 mg/l ermittelt. Der durchschnittliche Kupferwert war bei 0,078 mg/l anzusetzen. Die diesbezüglichen Einzelwerte der jeweils pro Stockwerk gemessenen Daten ergeben sich aus Abb. 35. Bei Entnahme der Proben betrug die Wassertemperatur im Keller 15,4 °C, im Erdgeschoss 16,4 °C, im ersten Stockwerk 17,0 °C und erstaunlicherweise im Dachgeschoss lediglich 16,8 °C. Hieraus ergibt sich eine durchschnittliche Kaltwassertemperatur von 16,4 °C. In diesem Gebäude ist demnach wieder ein kontinuierlicher Temperaturanstieg mit Anstieg der Geschosshöhe zu verzeichnen. Die gering wieder abfallende Temperatur im Dachgeschoss lässt sich vermutlich dadurch erklären, dass diese Etage seit längerer Zeit nicht mehr genutzt bzw. bewohnt wird und demnach hier keine Wärmeentwicklung, wie z. B. durch Heizung etc., erfolgt.

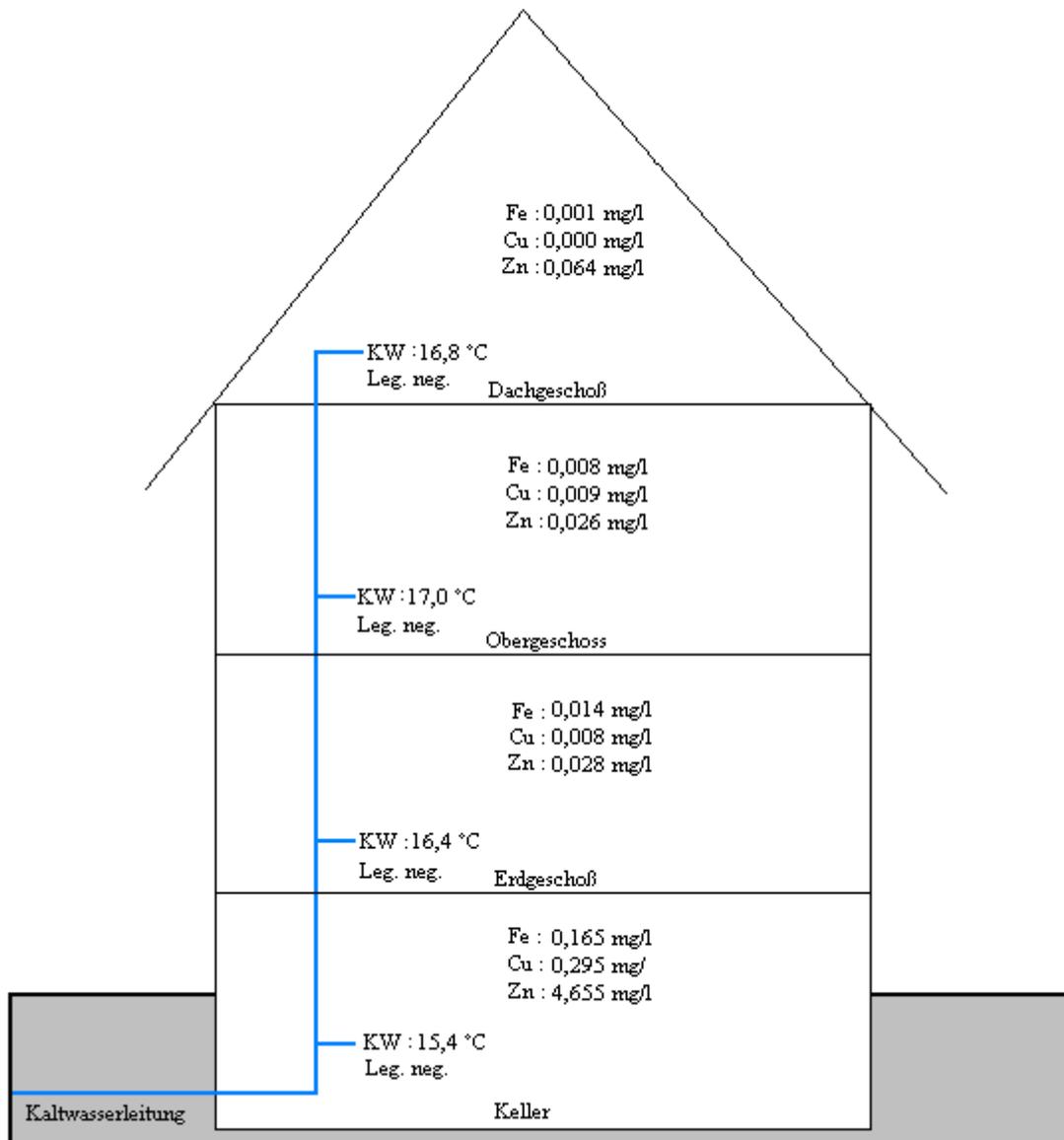


Abb. 35: Mehrfamilienhaus C

13.4.) Mehrfamilienhaus D

Bei dem Mehrfamilienhaus D handelt es sich um ein 6-geschossiges Gebäude, das im Jahre 1971 erbaut wurde. Das Rohrleitungssystem besteht aus Kupfer- und verzinkten Eisenleitungen.

Aus diesem Gebäude wurden insgesamt drei Proben im Juni 2002 entnommen, welche allesamt Legionellen-negativ waren. Eine Probe wurde im Erdgeschoss, eine im dritten Obergeschoss und eine im sechsten Obergeschoss zur Untersuchung gezogen. Die durchschnittliche Kaltwassertemperatur der untersuchten Proben betrug 22,07 °C, wobei im Erdgeschoss eine Temperatur von 20,7 °C, im dritten Obergeschoss eine solche von 21,7 °C und im Dachgeschoss 23,8 °C gemessen werden konnte. Hier kann eine Temperatursteigerung von 2,1 °C verzeichnet werden. Des Weiteren wurden die Proben auf ihre Eisen-, Kupfer- und Zinkgehalte überprüft. Es ergab sich ein durchschnittlicher Zinkgehalt von 0,340 mg/l, wobei die höchste Zinkkonzentration im dritten Obergeschoss ermittelt werden konnte. Bei Kupfer verhält es sich ebenso. Hier wurde ein Durchschnittswert von 0,243 mg/l gemessen. Auch bezüglich der Kupferkonzentration konnte wiederum der Höchstwert im dritten Obergeschoss nachgewiesen werden. Interessanterweise verhält es sich auch bei den Eisenwerten genauso wie bei Zink und Kupfer. Auch hier wurde die höchste Konzentration im dritten Stock ermittelt, die sich auf 0,020 mg/l Fe beläuft. Insgesamt konnte aus den gezogenen Proben eine durchschnittliche Eisenkonzentration mit 0,014 mg/l errechnet werden. Diese Höchstwerte von Zink, Kupfer und Eisen sind vermutlich auf Korrosionen des Leitungssystems zurückzuführen. Alle diesbezüglichen Einzelwerte werden in Abb. 36 einzeln aufgeführt.

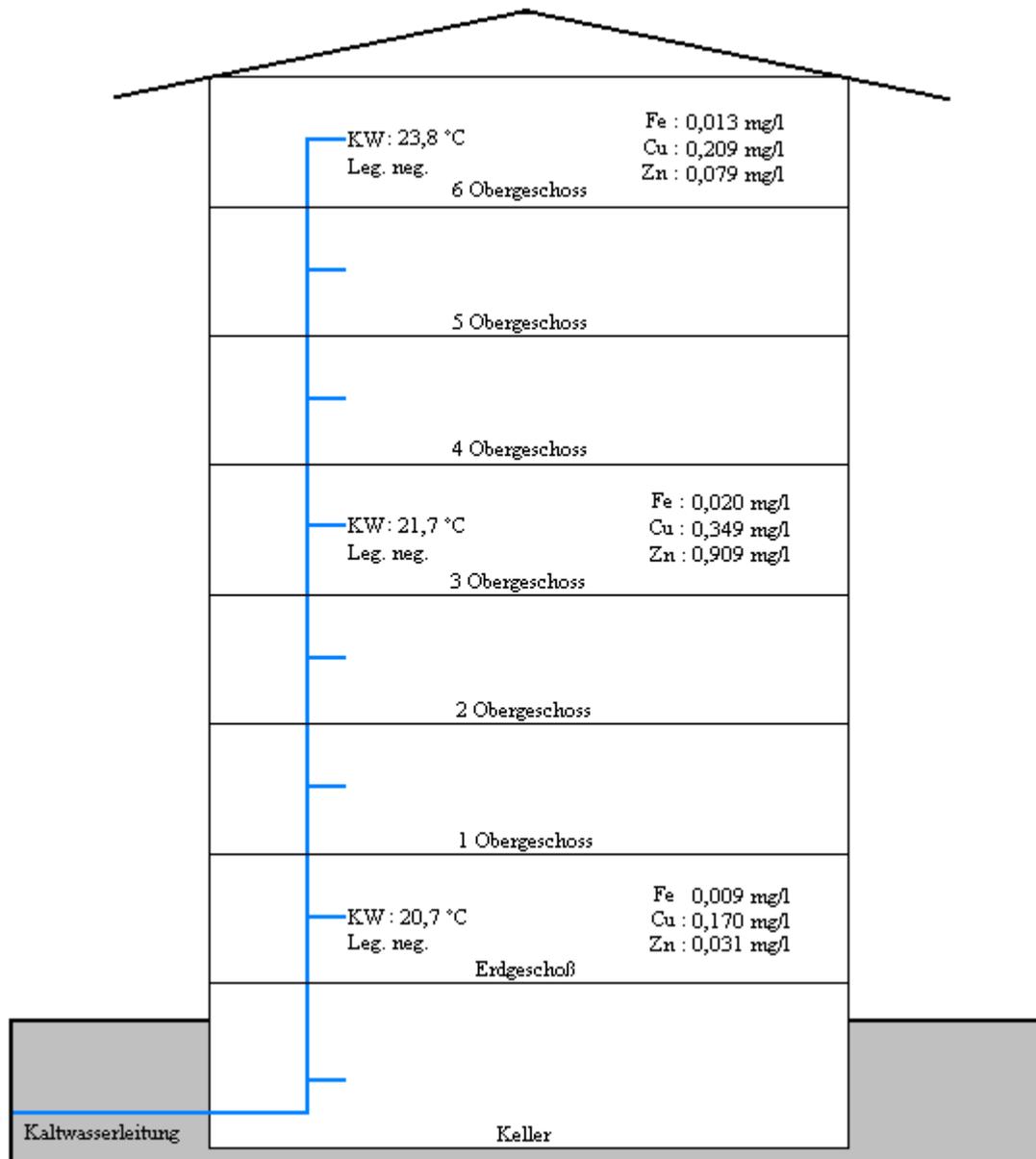


Abb. 36: Mehrfamilienhaus D

13.5.) Klinik E

Bei dem in Abb. 37 abgebildeten Gebäude handelt es sich um eine Klinik, die im Jahre 1982 fertiggestellt wurde. Das Klinikum kann bis zu 1.000 Patienten stationär aufnehmen auf insgesamt 19 Ebenen. Das Rohrleitungssystem wurde in diesem Klinikum vollständig aus Kupferleitungen installiert. Des Weiteren ist zur Kaltwasserversorgung bzw. zum dementsprechenden Rohrleitungssystem noch auszuführen, dass dieses Gebäude mit drei Druckstufen versehen ist. Die erste Druckstufe versorgt die Ebenen 01 – 09, die zweite die Ebenen 10 – 12 und die dritte die Ebenen 13 – 19.

Aus diesem Klinikum wurden 13 Proben im Februar und März 2000 entnommen, die in Abb. 37 näher dargestellt werden. Weitere Proben wurden aus der Feuerlöschleitung und aus der Kieselfilteranlage vor und während der Rückspülung gezogen. Diese weiteren Proben haben in Abb. 37 keine Berücksichtigung gefunden.

Aus jeder Druckstufe wurden aus den verschiedenen Ebenen, wie Abb. 37 zeigt, Proben entnommen. Zwei der aus der ersten Druckstufe entnommenen Proben waren Legionellen-positiv, eine negativ. Aus den Proben der zweiten Druckstufe konnten keine Legionellen-positiven Befunde gewonnen werden und aus der dritten Druckstufe ergaben alle bis auf eine positive Befunde auf ein Legionellen-Vorkommen. Aus den gesamt entnommenen Proben aus diesem Klinikgebäude ist eine durchschnittliche Kaltwassertemperatur von 18,1 °C zu ermitteln, wobei der Durchschnittswert der ersten Druckstufe bei 16,2 °C, der zweiten Druckstufe bei 18,1 °C und der dritten Druckstufe bei 18,9 °C liegt. Die kälteste Temperatur konnte bei Probenentnahme in der ersten Ebene, also aus der Versorgung der ersten Druckstufe, mit 9,9 °C gemessen werden. Diese Probe ist Legionellen-negativ. Interessanterweise wurde auch die höchste Temperatur der gesamt entnommenen Proben aus diesem Gebäude aus der ersten Druckstufe, in Ebene 03, mit 26,3 °C ermittelt, welche auch Legionellen-positiv war mit einer Anzahl von 344 KBE/l. Dieser Wert der KBE/l entspricht wiederum dem Höchstwert der in diesem Gebäude gefundenen Legionellen-Anzahl. Hieran kann man erkennen, dass die höchsten Temperaturwerte auch die höchsten Anzahlen an KBE/l zu verzeichnen haben. Im Durchschnitt sind hier Eisenwerte mit 0,042 mg/l, Kupferwerte mit 0,655 mg/l und Zinkwerte mit 0,108 mg/l zu errechnen.

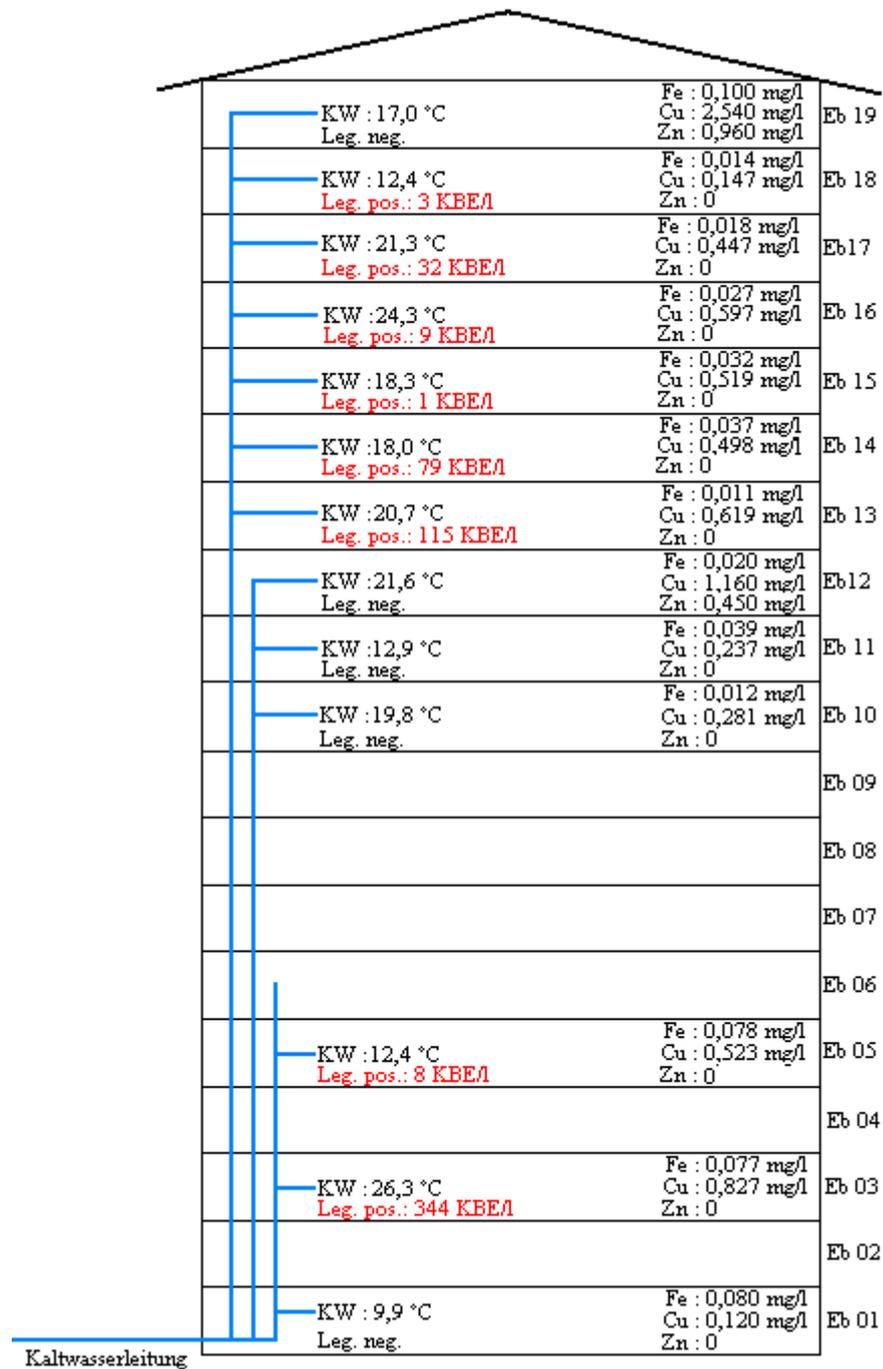


Abb. 37: Klinik E

D) Diskussion

Pongratz et al. [65] fand in seiner Arbeit heraus, dass nur 0,12 % der Kupferrohrproben Legionellen-positiv waren, wobei das Rohrleitungssystem ca. 8 Jahre alt war. Er geht daher mit anderen Autoren dahingehend einig, dass Kupfer keinerlei mikrobiell verwertbare Substanzen an das Leitungswasser abgibt. [67, 84]

Althaus [3] beschreibt in seiner Arbeit, dass es in der Literatur Differenzen über die Kupferresistenz der Legionellen gibt. Eine Verträglichkeit von Kupfer bei mehreren mg/l kann gegeben sein. Er fand in drei größeren Gebäuden mit Kupferrohrnetz im Warmwasser Legionellen-positive Proben mit wechselnden Kupfermengen bis zu 10 mg/l.

Pongartz [65] und Kramer et al. [43] unterstrichen weiter in ihren Arbeiten den wachstumsfördernden Effekt von verzinkten Eisenrohren auf Legionellen, wobei nur die Eisenkonzentration gemessen wurde. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass Eisen eine wachstumsfördernde Wirkung auf das Legionellen-Wachstum hat. Da durch Korrosionen der Leitungen auch Zink im Wasser freigesetzt wurde, kann hieraus geschlossen werden, dass Zink keine inhibitorische, sondern eher eine wachstumsfördernde Wirkung auf Legionellen, wie auch Eisen, hat.

Bei der Untersuchung der Eisen-, Kupfer- und Zinkkonzentration fand Exner et al. [20] heraus, dass Sedimente mit zum Teil hohen Eisen-, Zink- und Kupfergehalten die Vermehrung von Legionellen indirekt begünstigen, indem die Vermehrung anderer Mikroorganismen gefördert wird und diese wiederum mit Legionellen in Syntrophie stehen. Die Gegenwart bestimmter Materialien (Gummi, Silikon und PVC) begünstigt die Vermehrung von Legionellen, wohingegen Metalle, wie Kupfer, nur in geringem Maße besiedelt werden.

Aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit spielen die verwendeten Rohrmaterialien, wie Kupfer, Eisen und Zink, eine untergeordnete Rolle in Bezug auf das Vorhandensein von Legionellen bzw. dessen Wachstum. Ein direkter Zusammenhang kann mit dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden.

In Bezug auf die Temperatur des Trinkwassers untersuchten verschiedene Autoren verschiedene Trinkwasseranlagen auf das Vorhandensein von Legionellen. Aus der Arbeit von R. Germann et al. [28] geht hervor, dass Legionellen ein natürlicher Bestandteil der Mikroflora des Wasser sind und somit in wasserführenden technischen Systemen auch mit ihnen zu rechnen sei. Das Legionellen-Vorkommen wird in starkem Maße von der Wassertemperatur beeinflusst. Mit steigender Temperatur des Wassers nimmt bei etwa 30 °C ihre Vermehrungsrate bis zu 45 °C zu. Zu dieser Erkenntnis gelangen auch viele andere Autoren. [7, 46] Dass die Temperatur des Wassers (Warm- wie auch Kaltwassers) einen ausschlaggebenden Faktor für Legionellen-Vorkommen bildet, fand auch Geary [27] heraus. Er empfiehlt eine max. Kaltwassertemperatur von 20 °C. Diese Empfehlung entspricht auch der anderer Autoren. [14, 21, 23]

Kaltwasserproben aus Grundwässern, Eigenversorgungsanlagen und nicht desinfizierten Grundwässern untersuchte Althaus et al. [3] auf Legionellen. Hier konnten von ihm keine positiven Befunde auf Legionellen-Vorkommen ermittelt werden bzw. lagen diese unter der Nachweisgrenze. Ihm gelang lediglich der Nachweis von Legionellen an drei von 447 Entnahmestellen aus dem kalten Trinkwasser der öffentlichen Trinkwasserversorgung und nur einmal aus 63 Oberflächenwässern.

Exner et al. [20] kam weiter aufgrund seiner Untersuchungen zu dem Ergebnis, dass als eine der wahrscheinlichsten Kontaminationsquellen aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung das eingespeiste Leitungswasser anzusehen ist. Über das Leitungswasser werden geringe Mengen an Legionellen eingeschwemmt, deren Werte unter der Nachweisgrenze liegen, die aber dann in den Perlatoren, Duschköpfen, Kühltürmen, Schwimmbädern, etc, optimale Wachstumsbedingungen finden und sich hier vermehren können. Auch hieraus lässt sich der Schluss ziehen, dass ein Legionellen-Wachstum erst nach Einspeisung des Kaltwassers aus dem Grundwasser bzw. den Netzwerken in die Rohrleitungssysteme der verschiedenen Gebäude gefördert wird.

In der vorliegenden Arbeit konnten aus den Brunnen-, Wasserwerk- und Netzwerkproben keine Legionellen nachgewiesen werden. Hier wurden die niedrigsten Kaltwassertemperaturen ermittelt, wobei der Mittelwert der Temperatur der Wasserwerkproben bei 9,7 °C und der der Netzwerkproben bei 8,6 °C lag. Dies

entspricht ebenfalls den Ergebnissen anderer Autoren (Althaus [3], Bartlett et al. [8] und Germann [28]). Es ist zwar zu erwarten, dass auch in diesen Bereichen Legionellen zu finden sind, diese Werte aber unter der nachweisbaren Grenze anzusiedeln wären.

Frahm et al. [26] hat in seiner Arbeit Nachweise darüber führen können, dass aus insgesamt 86 Kaltwasserproben 15 Legionellen-positiv waren. Von den 15 positiven Proben entstammten 2 aus dem Rohwasser eines Wasserwerkes, 2 aus dem Übergang aus dem Netzwerk in die Hausinstallationen und 11 aus dem Kaltwasser von Hausinstallationen. Frahm führt zu den entnommenen Netzwerkproben allerdings aus, dass der Zapfhahn 6 – 7 Meter hinter dem Wasserzähler und damit innerhalb der Hausinstallation war. Demgegenüber waren alle durch Frahm et al. überprüften 13 Trinkwasserproben der Wasserwerke, 22 weitere Proben aus dem Übergang vom Netzwerk in die Hausinstallationen und 28 weitere Kaltwasserproben direkt aus den Hausinstallationen Legionellen-negativ. Diese Ergebnisse sind darauf zurückzuführen, dass durch Druckfiltration größere Volumina von 50 bis 200 l durch Frahm et al. untersucht wurden.

Tiefenbrunner et al. [79] ermittelte, dass das Vermehrungspotential für Legionellen in Trinkwasserleitungssystemen und Zweifamilienhäusern im Vergleich zu Großgebäuden, wie z. B. Krankenhäusern und Hotels, geringer ist. Dies erklärt sich aus den kürzeren Leitungen und somit aus der geringeren Besiedlungsfläche für Legionellen und anderer Begleitflora. Des Weiteren kommt Tiefenbrunner et al. [79] aufgrund weiterer Untersuchungen zu der Schlussfolgerung, dass Kaltwasserleitungssysteme zur Eindämmung des Legionellen-Wachstums vor Erwärmungen zu schützen sind, d. h. dass Kaltwasserleitungen gem. DIN 1988, Teil 2, zu isolieren und in entsprechendem Abstand von Wärmequellen, wie z. B. Warmwasserleitungen, Schornsteinen, Heizungen, etc., zu verlegen sind. Im Übrigen ist aufgrund der Ergebnisse von Tiefenbrunner et al. eine Stagnation des Kaltwassers durch entsprechende Leitungssysteme (Ringleitung oder Strangleitung werden seinerseits diesbezüglich empfohlen) zu verhindern.

Exner et al. [22] kommt zu dem Ergebnis, dass sich im Allgemeinen aufgrund der Untersuchungen ableiten lässt, dass in Großgebäuden mit systemischen Legionellen-Vorkommen im Gegensatz zu kleineren Gebäuden, wie z. B. Einfamilienhäusern, eher zu rechnen sei. Bei Einfamilienhäusern kann man mehr von einer Ausnahme in Bezug auf Legionellen-Vorkommen sprechen.

In diesem Punkt kommen somit Tiefenbrunner et al. [79] und Exner et al. [22] zu dem gleichen Ergebnis. Dieser Erkenntnis schließen sich auch andere Autoren [12, 60] an. Exner empfiehlt ebenfalls, dass Trinkwasserleitungen (Kaltwasserleitungen) zu dämmen und von Wärmequellen fernzuhalten sind. Ebenfalls rät er, eine Stagnation des Wassers dringend zu vermeiden. Seine diesbezügliche Empfehlung lautet, dass überdimensionierte Rohrleitungssysteme, Endstränge und Versorgungsbereiche mit stagnierendem Wasser unbedingt zu vermeiden sind, um hierdurch das Wachstum von Legionellen und ihrer Begleitflora zu verringern. Auch H. G. Moll et al. [60] verweist hierzu auf die DIN 1988, Teil 2.

Mathys et al. [58] hat in seiner Arbeit nachweisen können, dass in Wohnheimen 1,4 % der Kaltwasserproben Legionellen-positiv waren. Dagegen Privathaushalte 0 % Legionellen im Kaltwasser aufwiesen. Auch hieraus lässt sich wieder die Größe bzw. die Länge des Rohrleitungssystems als eine der Hauptursachen zum Legionellen-Vorkommen herausfiltern.

Auch Exner et al. [20] führt die Legionellen-Konzentration auf längere Stagnationszeiten des Wassers zurück. Bei normalerweise durchströmten Wassersystemen wird bei Stagnation des Wassers eine Verkeimung gefördert, laut Exner, die zur bedenklichen Legionellen-Konzentration führen kann.

C. J. P. Hoebe et al. [37] untersuchten 42 Kaltwasserproben aus einem Rehabilitationszentrum, wobei hier 26 Proben Legionellen-positiv waren mit einem Median von 175 KBE/l. Bei diesen Untersuchungen konnten von Hoebe keine Legionellen im Warmwasser nachgewiesen werden bzw. lagen diese Legionellen-Vorkommen unter der Nachweisgrenze. Der positive Legionellen-Befund der untersuchten Kaltwasserproben konnte nachweislich bei diesen Untersuchungen darauf zurückgeführt werden, so Hoebe

et al. [37], dass das Kaltwasser in diesem Rehabilitationszentrum oftmals stagnierte (Patienten fahren über das Wochenende nach Hause) und sich aufgrund dieser Stagnation und der Größe des Gebäudes (6 Stockwerke) die Kaltwassertemperatur auf 38 °C erhöhte, da die Kaltwasserleitungen in unmittelbarer Nähe zu Warmwasserleitungen in einem Schacht installiert wurden.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Wassertemperatur in Gebäuden vom Netzwerkanschluss bis in die peripheren Bereiche ansteigt und dieser Anstieg mit Größe der Gebäude stetig zunimmt. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen auch, dass im Kaltwasser, mit einer Ausnahme in einem Einfamilienhaus mit Legionellen-positiven Befunden, ansonsten nur Legionellen in Großgebäuden ermittelt werden konnten. Dies resultiert, wie auch bei den anderen Autoren beschrieben, aus der steigenden Länge bzw. Größe des Rohrleitungssystems und der dadurch wieder steigenden Kaltwassertemperatur. Auch Stagnation des Kaltwassers in Großgebäuden und der damit verbundenen Kaltwassererwärmung wird in der vorliegenden Arbeit als ausschlaggebender Faktor zum Legionellen-Vorkommen angenommen bzw. nachgewiesen. [38] Bei Gegenüberstellung der hier erzielten positiven Legionellen-Befunde aus dem einen Einfamilienhaus und den übrigen Legionellen-Befunden aus den Großgebäuden wird erkennbar, dass auch mit Anstieg der Größe der Gebäude ein Anstieg der KBE/l zu verzeichnen ist.

Es ist aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit zu empfehlen, dass das Kaltwasserleitungssystem von Wärmequellen fernzuhalten ist, um somit eine Erwärmung des Kaltwassers über 20 °C zu verhindern. Eine entsprechende Planung der Installation des Rohrleitungssystems und der Isolierung ist ratsam. Nicht ratsam ist es aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit, dass in Wasserwerken, Netzwerkanlagen und Privathaushalten eine regelmäßige Kontrolle des Kaltwassersystems auf Legionellen-Vorkommen durchgeführt wird, da diese Maßnahmen zu kostenaufwendig sind. In Kliniken und Großgebäuden ist allerdings eine routinemäßige Mituntersuchung des Kaltwassersystems zusammen mit dem Warmwassersystem angezeigt.

E) Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Analyse von Legionellen im Kaltwasser aus verschiedenen Trinkwasseranlagen. Es wurden Wasserwerke, öffentliche Trinkwasserversorgungsanlagen sowie verschieden große Gebäudetypen auf Legionellen im Kaltwasserleitungssystem untersucht. Die Proben wurden jeweils an verschiedenen Entnahmestelle der Gebäude entnommen.

Insgesamt wurden 176 Kaltwasserproben untersucht. Davon konnten lediglich aus 21 Proben (11,93 %) Legionellen nachgewiesen werden. Ein Nachweis auf Legionellen konnte in den Wasser- und Netzwerken nicht geführt werden, diese Werte lagen unter der Nachweisgrenze. Aus den 21 positiven Proben sind 4,76 % (1 Probe) den Einfamilienhäusern, 80,95 % (17 Proben) den Kliniken und 14,25 % (3 Proben) der Industrieanlage zuzuordnen. Die größte nachgewiesene Anzahl mit 59.000 KBE/l Legionellen konnte aus einer Probe der Industrieanlage festgestellt werden. Aus den klinischen Proben konnten 3.000 KBE/l und aus den Einfamilienhausproben 86 KBE/l Legionellen ermittelt werden. Die weitere Diagnostik der Legionellen erfolgte mittels Einteilung in die verschiedenen Serogruppen. Der größte Anteil der ermittelten Legionellen war mit 38,09 % *Legionella pneumophila* Serogruppe 1 zuzuordnen. Des Weiteren wurden die Serogruppen 3, 4, 5, 6 und die Spezies *Legionella dumoffii* nachgewiesen.

Es konnte aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Arbeit gezeigt werden, dass die verwendeten Rohrmaterialien keinerlei Einfluss auf das Vorhandensein von Legionellen nehmen. Demgegenüber wird ersichtlich, dass in Gebäuden durch Länge und Verzweigung des Rohrleitungssystems sowie durch auftretende Stagnationen ein Temperaturanstieg des Kaltwassers zu verzeichnen ist und somit auch die Nachweisbarkeit von Legionellen ansteigt.

Zur Prävention einer Legionellose ist zu empfehlen, dass das Kaltwasserleitungssystem von Wärmequellen fernzuhalten ist, um somit eine Erwärmung des Kaltwassers über 20 °C zu verhindern. Eine entsprechende Planung der Installation des Rohrleitungssystems und der Isolierung ist ratsam. In Kliniken und Großgebäuden ist eine routinemäßige Mituntersuchung des Kaltwassers zusammen mit dem Warmwassersystem angezeigt.

F) Literaturverzeichnis

1. Alary M, Joly JR: Risk Factors for Contamination of Domestic Hot Water Systems by Legionellae. *Appl. Environ. Microbiol.* 1991 Aug ; 57 (8) : 2360-2367
2. Allegheny County Health Department, Approaches of prevention and control of Legionella infection in Allegheny county health care facilities. Allegheny County Health Department. 1997 Jan; S 1-15
3. Althaus H: Legionellen in Trink-, Bade- und Warmwasser. *Öff. Gesundh. Wes.* 1987; 49: 8-13
4. Arnow P.M., Weil D.: Legionella pneumophila Contamination of Residential Tap Water. . In "Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium American Society of Microbiology, Washington (DC) 1984; S 240-241
5. Arnow PM, Weil D, Para MF: Prevalence and Significance of Legionella pneumophila Contamination of Residential Hot-Tap Water Systems. *J Infect Dis.* 1985 Jul ; 152 (1) : 145-151
6. Baskerville A: Pathology and Pathophysiology. In "Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium" American Society of Microbiology, Washington (DC) 1984; S 136-41
7. Bartlett CLR: Potable Water as Reservoir and Means Transmission. In "Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium" American Society of Microbiology, Washington (DC) 1984; S 210-15
8. Bartlett C.L.R., Swann R.A., Casal J., Canada Royo L., Taylor A.G.: Recurrent Legionnaires Disease from a Hotel Water System. In "Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium American Society of Microbiology, Washington (DC) 1984; S 237-239
9. Baumert A, Ansorge C, Malyska G: Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystem in Sachsen-Anhalt. *Gesundheitswesen* 1998; 60: 762-765
10. Bej AK, Mahbubani MH, Atlas RM: Detection of viable Legionella pneumophila in water by polymerase chain reaction and gene probe methods. *Appl Environ Microbiol.* 1991 Feb ; 57 (2) :597-600
11. Botzenhart K, Heizmann W, Sedaghat S, Heeg P, Hahn T: Bakterielle Besiedlung und Vorkommen von Legionella pneumophila in Warm- und Kaltwasser, Leitungshähnen und Ablaufsyphons von Krankenhäusern. *Zbl. Bakt. Hyg.* 1986; B 183: 79-85

12. Burger H.: Gerätetechnische Voraussetzung für hygienische Trinkwassererwärmung. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 99-104
13. Carratala J, Gudiol F, Pallares R, Dorca J, Verdaguer R, Ariza J, Manresa F : Risk Factors for Nosocomial Legionella pneumophila Pneumonia. Am J Respir Crit Care Med. 1994 Mar; 149 (3 pt 1): 625-629
14. Clayton RJ: Legionella pneumophila. Implications with regard to cold and hot water distribution systems and process water systems. Health Estate. 1992 May; 46 (4): 18, 20-1
15. Edelstein PH : Laboratory Diagnosis of Infections Caused by Legionellae. Eur. J. Clin. Microbiol. 1987 Feb ; 6 (1) : 4-10
16. Edelstein PH: Chemotherapy of legionnaires' disease with macrolide or quinolone antimicrobial agents. Legionella, American Society for Microbiology, Washington (DS), 2000: S 183-188
17. Ehret W: Das Legionellaproblem. In: Verhütung von Infektionen. Sander J, Sander U (Hrsg), M. Schiehe Verlag, 1988; S 167-188
18. Exner M.: Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionelleninfektion im Krankenhaus (I). Das Krankenhaus 1991; 9-10; S 460-463
19. Exner M., Langer B., Tuschewitzki G.J.: Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionellen-Infektion im Krankenhaus (II). Das Krankenhaus 1991; 10; S 516-523
20. Exner M, Schulze-Röbbecke R: Legionellen, Ökologie, Infektionsquellen und präventive Maßnahmen. Öff. Gesundh. Wes. 1987; 49: 90-96
21. Exner M, Tuschewitzki GJ: Aktuelle hygienische-mikrobiologische Aspekte der Trinkwasserhygiene. Forum Städte-Hygiene. 1994; 45: 57-63
22. Exner M., Tuschewitzki G.J., Langer B., Wernicke F., Pleischl St.: Vorkommen und Bewertung von Legionellen in Krankenhäusern und anderen Großgebäuden. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 105-130
23. Farrell I.D., Holmes E.: Überwachung und Kontrolle der Legionärskrankheit in England und Wales. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 69-82
24. Fang GD, Yu VL, Vickers RM : Disease Due to the Legionellaceae (Other than Legionella pneumophila) Historical, Microbiological, Clinical, and Epidemiological Review. Medicine 1989; 68 (2):116-123

25. Fischer-Hoch S.P., Smith M.G., Colbourne J.: Source of Legionella pneumophila in a Hospital Hot Water System. . In "Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium" American Society of Microbiology, Washington (DC) 1984; S 302-304
26. Frahm E, Obst U : Erfahrungen mit optimierten Methoden zum Nachweis von Legionellen im Trinkwasser. Zbl. Hyg. 1994 Aug; 196 (2): 170-180
27. Geary DF: American society of heating, refrigerating and Air-Conditioning engineers Guideline 12-2000: minimizing the risk of Legionellosis associated with building water systems. ASM Press, Washington, D.C. 2002: S376-384
28. Germann R., Henkels W.-D., Challinor C.J.: Praktische Erfahrungen zur Bekämpfung von Legionellen in Kühlwasserkreisläufen durch Wasserkonditionierungsmaßnahmen. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav- Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 241-251
29. Goetz AM, Stout JE, Jacobs SL, Fisher MA, Ponzer RE, Drenning S, Yu VL: Nosocomial Legionnaires disease discovered in community hospitals following cultures of the water systems: seek and ye shall find. Am J Infect Control. 1998; 26: 8-11
30. Goetz A, Yu V: Screening for nosocomial legionellosis by culture of the water supply and targeting of high-risk patients for specialized laboratory testing. American Journal of Infetion Control.1991 Apr; 19(2):63-66
31. Graevenitz von A: Die Familie der Legionellaceae, Legionellose. In Brandis H, Köhler W, Eggers HJ, Pulverer G (Hrsg) Lehrbuch der Medizinischen Mikrobiologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 7 Auflage, 1994: S 473-4
32. Groothuis D.G.: Niederländische Erfahrung mit Legionellose Ausbrüchen. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993: S 59-68
33. Grundmann HJ, Daschner F: Routinemäßige Trinkwasseruntersuchungen und die Gefahr beim Duschen. Dt. Ärztebl. 1993 Apr; 90 (13): 624-625
34. Hacker J: Legionella pneuphila. In Hacker J, Heesemann J (Hrsg) Molekulare Infektionsbiologie: Interaktionen zwischen Mikroorganismen und Zellen. Spektrum Akademischer Verlag , Heidelberg, Berlin, 2000; S 231-35
35. Hässelbarth U.: Verhinderung der Legionellenvermehrung bei Schwimm- und Warmsprudelbecken. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 177-181

36. Harb OS, Venkataraman C, Haack BJ, Gao LY, Kwaik YA: Heterogeneity in the attachment and uptake mechanisms of the Legionnaires disease bacterium, *Legionella pneumophila*, by protozoan hosts. *Appl Environ Microbiol.* 1998 Jan ; 64 (1) :126-132
37. Hoebe CJ, Cluitmans JJ, Wagenvoort JH: Two fatal cases of nosocomial *Legionella pneumophila* associated with a contaminated cold water supply. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 1998 Oct ; 17 (10) : 740
38. Hoebe CJ, Kool JK: Control of legionella in drinking-water systems. *Lancet* 2000 Jun; 355 (9221): 2093-2094
39. Horbach I, Jürgens D, Fehrenbach FJ: Zur Diagnostik der Legionellose. *Bundesgesundhbl* 1990; 9/90; S 375-379
40. Horbach I, Fehrenbach FJ: Diagnostik der Legionellose – aktueller Stand. In Seidel K (Hrsg): *Legionellen II – Neue Beiträge zur Bewertung eines hygienische Problems*, Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993: S 23-40
41. Joseph CA, Watson JM, Harrison TG, Bartlett CL: Nosocomial Legionnaires disease in England and Wales, 1980-92 *Epidemiol. Infect.* 1994 Apr; 112 (2): 329-345
42. Jutte M., Waider D.: Das DVGW-Arbeitsblatt W551. Schr.Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S149-158
43. Kramer MHJ, Ford TE: Legionellosis: Ecological Factors of an Environmentally `New` Disease. *Zbl. Hyg.* 1994; 195: 470-482
44. Kurtz JB, Bartlett CL, Newton UA, White RA, Jones NL: *Legionella pneumophila* in cooling water systems. *J. Hyg. (Lond).* 1982 Jun; 88 (3): 369-381
45. Langer BKT, Daniels-Haardt I, Fisheder R, Boschek HJ: Legionellen, *P. aeruginosa* und atypische Mykobakterien in Hausinstallations-systemen von Altenheimen und Krankenhäusern einer deutschen Großstadt. *Forum Städte-Hygiene.* 1990 Nov; 41:286-288
46. Lin YU, Vidic RD, Stout JE, Yu VL : *Legionella* in water distribution systems. *JAWWA* 1998; 90: 112-121
47. Lin YSE, Vidic RD, Stout JE, Yu VL: Individual and combined effects of copper and silver ions on inactivation of *Legionella pneumophila*. *Water Research* 1996; 8: 905-913
48. Lin YE, Stout JE, Yu VL : Disinfection of water distribution systems for *Legionella*. *Semin Resp Infect.* 1998; 13: 147-159

49. Linde H.-J., Hengerer A., Voggesberger E., Hecht J., Ehret W., Wolf H.:
Eradication of *Legionella* spp. from a Warm Water Distribution System- a
Documentation of Own Experiences with Thermal Desinfection. Zentralbl
Hyg Umweltmed, Jun 1995; 197(5): S 441-51
50. Liu Z, Stout JE, Tedesco L, Boldin M, Hwang C, Diven WF, Yu VL:
Controlled evaluation of coppersilver ionization in eradicating *Legionella*
from a hospital water distribution system. J Infect Dis. 1994 ; 169 : 919-922
51. Liu Z, Stout JE, Boldin M, Rugh J, Diven WF, Yu VL: Intermittent use of
coppersilver ionization for *Legionella* control in water distribution systems:
a Potential option in buildings housing low risk individuals. Clin Infect Dis.
1998 ; 26 : 138-140
52. Lode H, Schäfer H, Ruckdeschel G : Legionärskrankheit. DMW.1982;
107:326-31
53. Lowry PV, Tompkins LS: Nosocomial legionellosis: A review of pulmonary
and extrapulmonary syndromes. Am. J. Infect. Control. 1993 Feb; 21 (1):
21-27
54. Lück PC, Helbig JH: Zur Epidemiologie der Legionellose. In Seidel K
(Hrsg): Legionellen II – Neue Beiträge zur Bewertung eines hygienische
Problems, Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart,
1993: S 41-58
55. McDade JE: Legionnaires' disease 25 Years later: Lessons learned.
Legionella, American Society for Microbiology, Washington (DS), 2000: 1-
10
56. McDade JE, Shepard CC, Fraser DW, Tsai TR, Redus MA, Dowdle WR :
Legionnaires` Disease : Isolation of a Bacterium and Demonstration of its
Role in other Respiratory Disease. N Engl J Med. 1977 Dec; 297 (22): 1197-
1203
57. Mathys W, Junge-Mathys E, Bösenberg H: Nosocomiale Legionellose und
ihre Prävention. Hyg. Med. 1997; 22: 376-382
58. Mathys W, Junge-Mathys E, Langen M: Legionellen in Duschen-
Wassersystemen privater Haushalte und von Hallenbädern. Forum Städte-
Hygiene. 1990 Nov; 41: 282-285
59. Mathys W., Waschko-Dransmann, Junge E., Kryschi R.: Reduzierung von
Legionellen im Duschwasser von Hallenbädern UV-Desinfektion als
Alternative zur Temperaturerhöhung? Schr. Reihe Verein WaBoLu 91,
Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 163-168

60. Moll H.-G.: Andere technische Regeln und das Legionellenproblem Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993; S 159-162
61. Muder RR, Yu VL, Woo AH: Mode of transmission of Legionella pneumophila: A critical review. Arch Intern Med. 1986; 146: 1607-1612
62. Ott M, Bender L, Lück PC, Meyer P, Hacker J : Distribution of legionellae in a hospital water system: prevalence of immunologically and genetically related Legionella pneumophila serogroup 6 isolates. FEMS Microbiology Letters. 1992 Aug; 95 (2-3): 201-206
63. Pankhurst CL, Philpott-Howard JN, Hewitt JH, Casewell MW: The efficacy of chlorination and filtration in the control and eradication of Legionella from dental chair water systems. Journal of Hospital Infection. 1990 Jul; 16 (1): 9-19
64. Pedro-Botet, M. L., Stout, J. E., Yu, V. L.: Legionnaires` Disease Contracted from Patient Homes: The Coming of the Third Plague? Eur J Clin Microbiol Infect Dis 2002; 21:699-705
65. Pongratz A, Schwarzkopf A, Hahn H, Heesemann J, Karch H, Döll W: Zum Einfluß von Rohrmaterialien des Trinkwassernetzes auf die Legionellenhäufigkeit in einem Klinikum. Zbl. Hyg. 1994; 195: 483-488
66. Reinthaler F, Mascher F: Nachweis von Legionellen pneumophila in Dentaleinheiten. Zbl. Bakt. Hyg. 1986; B 183: 86-88
67. Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lie Jv, Keevil CW: Influence of Temperature and Plumbing Material Selection on Biofilm Formation and Growth of Legionella pneumophila in a Model Potable Water System Containing Complex Microbial Flora. Appl. Environ Microbiol 1994;60: 1585-1592
68. Rowbotham TJ: Legionellae and Amoebae. In Legionella – Proceedings of the 2nd International Symposium, American Society for Microbiology, Washington (DC), 1984: 325-27
69. Rowbotham TJ: Preliminary report on the pathogenicity of Legionella pneumophila for freshwater and soil amoebae. J Clin Pathol. 1980 Dec; 33 (12): 1179-1183
70. Ruf B: Klinik und Therapie der Legionella-Infektion. In Seidel K (Hrsg): Legionellen II – Neue Beiträge zur Bewertung eines hygienische Problems, Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993: S 13-22

71. Schulze-Röbbecke R., Rödder M., Exner M.: Anmerkung zu den Vermehrungs- und Abtötungstemperaturen von Legionellen. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 169-175
72. Seidel K., Lopez-Pila J.M.: Neue pathogene Keime in der Umwelt unter besonderer Berücksichtigung der Trinkwasserhygiene. Bundesgesundhbl. 1992; 6/92; S 304-307
73. Sethi KK, Brandis H: Direkter Nachweis und Isolierung von Legionella pneumophila (Serogruppe 1) aus Wasserproben eines Hotel-Badezimmers. Zbl. Bakt. Hyg.,I. Abt. Orig. 1983; B177: 402-405
74. Smith-Somerville HE, Huryn VB, Walker C, Winters AL: Survival of Legionella in the Cold-Water Ciliate Tetrahymena vorax. Appl Environ Microbiol. 1991 Sep ; 57 (9) : 2742-2749
75. Stout JE, Yu VL, Muraca P., Joly J., Troup N., Tompkins LS : Potable water as a cause of sporadic cases of community-acquired Legionnaires' Disease. N. Engl J Med 1992; 326: 151-5
76. Stout JE, Yu VL: Current concepts: Legionellosis. New England Journal of Medicine. 1997; 337: 682-687
77. Stout JE, Yu VL, Muraca P: Isolation of Legionella pneumophila from the Cold Water of hospital Ice Machines: Implications for Origin and Transmission of the Organism. Infect Control. 1985 Apr; 6 (4): 141-146
78. Ta AC, Stout JE, Yu VL, Wagener MM: Comparison of culture methodologies for monitoring Legionella in hospital potable water systems and recommendations for standardization. J Clin Microbiol. 1995; 33 (8): 2118-2123
79. Tiefenbrunner F.: Zum Vorkommen von Legionellen in Trinkwasserversorgungs- anlagen von Ein- und Zweifamilienhäusern. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav-Fischer Verlag, Stuttgart, 1993, S 131-148
80. Tischendorf J: Krankheit aus der Dusche. Krankenhaus Technik. 1990 Mai; : 60-2
81. Tison DL, Seidler RJ: Legionella Incidence and Density in Potable Drinking Water Supplies. Appl Environ Microbiol. 1983 Jan ; 45 (1) :337-339
82. Wadowsky RM, Yee RB: Effect of Non-Legionellaceae Bacteria on the Multiplication of Legionella pneumophila in Potable Water. Appl Environ Microbiol. 1985 May ; 49 (5) : 1206-1210
83. Widmer AF : Legionellosis. Ther Umsch 2001 Oct; 58 (10): 592-598

84. Wright, J. B., Ruseka, I., Athar, M. A., Corbett, S., Costerton, J. W.:
Legionella pneumophila Grows Adherent to Surfaces in vitro an in situ.
Infect Control Hosp Epidemiol 1989; 10(9): 408-415
85. Yu VL: Could aspiration be the major mode of transmission for Legionella.
Amer J Med. 1993; 95: 13-15
86. Yu VL: Nosocomial Legionellosis. Current Opinion in Infectious Diseases.
2000; 13: 385-388
87. Yu VL: Resolving the Controversy on Environmental Cultures for
Legionella: A Modest Proposal. Infection Control and Hospital
Epidemiology. 1998; 19 (12): 893-897
88. Yu VL, Liu Z, Stout JE, Goetz A: Legionella Disinfection of Water
Distribution Systems : Principles, Problems, and Practice. Infect Control
Hosp Epidemiol. 1993 Oct; 14 (10): 567-570
89. Legionellen und Legionellose. BAG 1999
www.bag.admin.ch/infekt/krank/legio/d/
90. Empfehlungen zur Prävention und zu den Bekämpfungsmassnahmen
www.bag.admin.ch/infekt/krank/legio/d/
91. Trinkwasserverordnung
www.wasser.de/rich-vero/trinkwasserverordnung/s
92. Legionellose
www.rki.de/Infekt/Ratgeber/Rat10.htm
93. Abb.1 Legionellen-Pneumonie bei einem AIDS-Patienten
www.cevis.uni-bremen.de/~jend/Lunge/ima/InfLegThA37_0.htm

G) Danksagung

Für die freundliche Überlassung des Themas und die Betreuung der Arbeit möchte ich insbesondere den stellvertretenden Leiter Herrn Priv.-Doz. Dr. rer. nat. Werner Mathys danken.

Darüber hinaus gilt mein Dank dem Institutsdirektor Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Helge Karch, den Mitarbeiter des Bereiches Krankenhaushygiene Dr. Elisabeth Junge-Mathys, Dr. Rita Laerberg, Marion Kreipe, Margret Hülsmann, Ruth Wiesmann und den Mitarbeitern des Bereiches Wasser-Boden-Luft Dipl.-Ing. Anni Bommer, Ingeborg Neuhann, André Komm.

Für technische Hilfestellung bin ich Horst Beyer und den Gas-Wasser-Installateuren der Uni-Münster dankbar.

Weiterhin möchte ich allen weiteren Angestellten des Instituts für Hygiene sehr danken.

