

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

Einfluss von Konstruktion und Betriebsweise von
Trinkwasserinstallationen auf das Wachstum von Mikroorganismen im
Trinkwasser

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

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

vorgelegt von Astitouh, Fariha
aus Tamsamane (Marokko)

2012

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

Dekan: Univ.- Prof. Dr. Dr .h.c. Wilhelm Schmitz

1.Berichterstatter: Prof. Dr. W. Mathys

2.Berichterstatter: Prof. Dr. W. Fegeler

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2012

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Institut für Hygiene

Direktor: Univ. - Prof. Dr. Dr. H. Karch

Referent: Prof. Dr. W. Mathys

Koreferent: Prof. Dr. W. Fegeler

Zusammenfassung

Einfluss von Konstruktion und Betriebsweise von Trinkwasserinstallationen auf das
Wachstum von Mikroorganismen im Trinkwasser

Astitouh, Fariha

Das Wachstumsverhalten von Biofilmen und Krankheitserregern im Wasser aus Trinkwasserinstallationen wird stark durch Temperatur und Stagnation des Trinkwassers beeinflusst. So stellt insbesondere die Vermeidung von „lauwarmen“ Temperaturen, die das Legionellenwachstum begünstigen, zunehmend höhere Anforderungen an die Konstruktion und Betriebsweise auch von Kaltwassersystemen in Gebäuden. Deshalb wurden in dieser Arbeit unterschiedliche Konstruktionsprinzipien von Stockwerksinstallationen auf ihren Einfluss auf das Wachstum von Mikroorganismen im Trinkwasser „Kalt“ analysiert.

Im Technikum der Fachhochschule Steinfurt wurde dazu eine Versuchsanlage aufgebaut, die zwei herkömmliche (mit und ohne Warmwasserzirkulation) und zwei neu entwickelte Konstruktionsprinzipien (automatisierter Wasseraustausch im Kaltwasser durch Venturiprinzip, regelmäßige vollständige Entleerung der gesamten Stockwerksinstallation) simulierte. In einem Zeitraum von neun Wochen wurden aus den Anlagen insgesamt 120 Wasserproben entnommen und auf die Parameter Legionellen, *Pseudomonas aeruginosa*, ATP-Biomasse, Kolonie bildende Einheiten bei 22°C und 36°C gemäß Trinkwasserverordnung 2001 sowie auf R2A-Agar untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien von Trinkwasserinstallationen ganz erhebliche Auswirkungen auf das mikrobielle Wachstum in den Rohrsystemen haben und für die Einhaltung der trinkwasserhygienischen Anforderungen von wesentlicher Bedeutung sind. Bei dem Konstruktionsprinzip mit regelmäßiger Entleerung des Leitungssystems konnte eine signifikant sehr stark erhöhte mikrobielle Besiedlung sowohl im Kalt- wie im Warmwasser nachgewiesen werden, die einen Einsatz dieser Technik in der Praxis ausschließt. Eine erhebliche Verbesserung der hygienischen Sicherheit konnte durch das Prinzip des automatisierten Kaltwasseraustausches erreicht werden, bei dem sowohl die Koloniezahlen, die ATP-Biomasse und insbesondere die Besiedlung mit Legionellen im Trinkwasser „Kalt“ signifikant vermindert werden konnte.

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2012

Eidesstattliche Erklärung

Ich gebe hiermit die Erklärung ab, dass ich die Dissertation mit dem Titel

Einfluss von Konstruktion und Betriebsweise von Trinkwasserinstallationen auf das Wachstum von Mikroorganismen im Trinkwasser

im

Institut für Hygiene

des Universitätsklinikums Münster

unter Anleitung von

Prof. Dr. Werner Mathys

selbstständig angefertigt,

nur unter Benutzung der im Literaturverzeichnis angegebenen

Arbeit angefertigt und sonst kein anderes gedrucktes

oder ungedrucktes Material verwendet,

keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen,

sie weder in der gegenwärtigen noch in einer anderen Fassung

einer in- oder ausländischen Fakultät als Dissertation,

Semesterarbeit, Prüfungsarbeit, oder zur Erlangung

eines akademischen Grades, vorgelegt habe.

Soest, den 17.07.2012

Fariha Astitouh

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	1
Tabellenverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	9
2 Materialien und Methoden	14
2.1 Versuchsaufbau.....	14
2.1.1 Stockwerk 1: Konventionelle Stockwerksinstallation mit Kalt- und Warmwasserversorgung, ausgeführt als Installation mit Stichleitungen	16
2.1.2 Stockwerk 2: Stockwerksinstallation mit Kaltwasser- und zirkulierender Warmwasserversorgung.....	17
2.1.3 Stockwerk 3: Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung und Venturi-Strömungsteiler im Kaltwasser	18
2.1.4 Stockwerk 4: Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Kalt- und Warmwasserleitungen	20
2.2 Zusammenfassung der Betriebsweisen der untersuchten Stockwerksinstallationen.....	22
2.3 Details zum Aufbau der einzelnen Stockwerke	23
2.4 Versuchsablauf.....	25
2.5 Betrieb der Stockwerksinstallationen.....	25
2.5.1 Probenahme.....	28
2.5.2 Mikrobiologische Untersuchung.....	28
2.5.3 Statistische und graphische Auswertung	37
3 Ergebnisse	38
3.1 Auswertung der Warmwasserproben	38
3.1.1 Luminometrische Bestimmung.....	38
3.1.2 Pseudomonas aeruginosa	40
3.1.3 Koloniezahl bei 22°C auf DEV-Agar	42
3.1.4 Koloniezahl bei 36°C auf DEV-Agar	44
3.1.5 Koloniezahl auf R2A-Agar	46
3.2 Auswertung der Kaltwasserproben	48
3.2.1 Luminometrische Bestimmung.....	48
3.2.2 Pseudomonas aeruginosa	51

Inhaltsverzeichnis

3.2.3	Koloniezahl bei 22°C auf DEV-Agar	54
3.2.5	Koloniezahl auf R2A-Agar	60
3.2.6	Legionellen	63
3.2.7	Entnahmetemperatur Kaltwasser	65
4	Diskussion	67
4.1.1	Ausblick	76
	Literaturverzeichnis	77
	Anhang.....	89
	Anhang A.....	89
	Anhang B.....	93
	Anhang C	97
	Danksagung.....	100
	Lebenslauf	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Gesamtschema der Stockwerksinstallationen der Stockwerke 1 bis 4	15
Abb. 2:	Bauplan Stockwerksinstallation 1	16
Abb. 3:	Bauplan Stockwerksinstallation 2	17
Abb. 4:	Bauplan Stockwerksinstallation 3	18
Abb. 5:	Schematische Darstellung eines Venturi-Strömungsteilers. (Quelle: Metallwerke Gebr. Kemper, Olpe).....	19
Abb. 6:	Bauplan Stockwerksinstallation 4	20
Abb. 7:	Bauplan Stockwerk 3 mit Kennzeichnung der Temperatur- und Volumenstromsensoren	26
Abb. 8:	Zapfzeiten und sich dadurch ergebende Temperatur- und Volumenstromverläufe im Stockwerk 3 am 24.12.2007.....	27
Abb. 9:	Schematische Darstellung eines Box-and Whisker-Plots (eigene Darstellung).....	37
Abb. 10:	Ergebnisse der Bestimmung des Gehaltes von ATP (RLU) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasser-Entnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 22.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche	38
Abb. 11:	Ergebnisse der Bestimmung auf <i>Pseudomonas</i> <i>aeruginosa</i> (KBE/100ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasser-Entnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche	40
Abb. 12:	Ergebnisse der Bestimmung auf DEV-Agar bei 22°C (KBE/ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasser-Entnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche	42
Abb. 13:	Ergebnisse der Bestimmung auf DEV-Agar bei 36°C (KBE/ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der	

- Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasser-Entnahmestellen
 TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von zwei Messungen in
 der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro
 Woche 44
- Abb. 14: Ergebnisse der Bestimmung auf R2A-Agar (KBE/ml) in
 Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der
 Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen
 TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen
 in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro
 Woche 46
- Abb. 15: Ergebnisse der Bestimmung der ATP Biomasse (RLU)) in
 Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der
 Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK
 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der
 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Wert einer Messung pro
 Woche 48
- Abb. 16: Statistischer Vergleich der Gehalte an ATP-Biomasse im Kaltwasser
 (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten
 Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots
 Angaben in RLUX1000 (links), arithmetische Mittelwerte mit
 Standardabweichungen (rechts). Angaben in RLUX10.000..... 49
- Abb. 17: Statistischer Vergleich der Gehalte an ATP-Biomasse im Kaltwasser
 (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten
 Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots
 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben
 in RLUX10.000..... 49
- Abb. 18: Ergebnisse der Bestimmung auf *Pseudomonas aeruginosa*
 (KBE/100ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen
 während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen:
 Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den
 Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche,
 sonst Werte einer Messung pro Woche 51
- Abb. 19: Statistischer Vergleich des Gehaltes an *Pseudomonas aeruginosa* im
 Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten
 Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots

- (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa*/100ml..... 52
- Abb. 20: Statistischer Vergleich des Gehaltes an *Pseudomonas aeruginosa* im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa* 100ml x 10.000. (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa* 100ml x 1000 (rechts)..... 52
- Abb. 21: Ergebnisse der Bestimmung auf Koloniezahl bei 22°C (KBE/ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasser-Entnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche 54
- Abb. 22: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 22°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in KBE/ml..... 55
- Abb. 23: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 22°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links) Angaben in KBE/mlx10.000, arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in KBE/ml x1000 55
- Abb. 24: Ergebnisse der Bestimmung der Koloniezahl bei 36°C (KBE/ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestelle TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 22.Kalenderwoche, sonst Werte aus einer Messung pro Woche 57
- Abb. 25: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 36°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBEx1000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE/ml (rechts)..... 58

- Abb. 26: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 36°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots in KBE x100.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen in KBE x10.000(rechts) 58
- Abb. 27: Ergebnisse der Bestimmung Koloniezahl auf R2A-Agar in KBE/ml in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche 60
- Abb. 28: Statistischer Vergleich der Koloniezahl auf R2A-Agar im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE/ml x100.000(links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE/ml x10.000 (rechts) 61
- Abb. 29: Statistischer Vergleich der Koloniezahl auf R2A-Agar im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in KBE x100.000..... 61
- Abb. 30: Statistischer Vergleich der Legionellen im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13-22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE Legionellen/100ml x10.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE Legionellen/100ml x1000(rechts) 64
- Abb. 31: Statistischer Vergleich der Legionellen im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in Legionellen/100ml x10.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in Legionellen/100ml x1000 (rechts) 64
- Abb. 32: Statistischer Vergleich der Entnahmetemperatur (ETemp) im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots

(links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in Grad Celsius	66
Abb. 33: Statistischer Vergleich der Entnahmetemperatur (ETemp) im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13-22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in Grad Celsius	66

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Übersicht über die Stockwerksinstallationen und ihre Betriebsweisen	22
Tabelle 2	Mikrobiologische Parameter des Kaltwassers der Stadtwerke Steinfurt GmbH (2006).....	25
Tabelle 3	Methode der Bestimmung der Koloniezahl bei 22°C und 36°C entsprechend TrinkwV 1990	29
Tabelle 4	Bestimmung der Koloniezahl bei 30°C auf R2A-Agar	30
Tabelle 5	Bestimmung von <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	31
Tabelle 6	Bestimmung der Legionellen	32
Tabelle 7	Luminometrische Bestimmung der ATP-Biomasse	35
Tabelle 8	Bewertung des Nachweises von Legionellen im Trinkwasser auf Grundlage der Empfehlung des Umweltbundesamt zu Maßnahmen beim Auftreten von Legionellen in Hausinstallationen[93].....	69
Tabelle 9	Einfluss unterschiedlicher baulicher Ausführungen von Trinkwasserinstallationen (kalt) auf die mikrobielle Besiedlung von Kaltwasser im Vergleich zu einer Standard-Trinkwasser-Stockwerksinstallation ohne Warmwasserzirkulation.....	72
Tabelle 10	Gesamtüberblick aller Parameter und Ergebnisse aus den 60 Warmwasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4	89
Tabelle 11	Gesamtüberblick aller Parameter der Kaltwasserproben aus den Kaltwasserentnahmestellen 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5.....	93
Tabelle 12	Statischer Vergleich der gemessenen Kaltwasserproben während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwochen 13 bis 22)	97

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
aF	Alter Fassung
AMP	Adenosinmonophosphat
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ATP	Adenosintriphosphat
BCYE- α	Buffered charcoal yeast extract with α -Ketoglutarat
CFU	Colony Forming Unit
DEV	Deutsches Einheitsverfahren
DIN	Deutsches Institut für Normung
DN	Nenndurchmesser
DVGW	Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfachs
EN	Europäische Norm
EPDM	Ethylen-Propylen-Dien-Monomer
FH	Fachhochschule
H	Stunde
HSC	Health and Safety Commission
ISO	International Organization for Standardization
K	Kelvin
KBE	Kolonie-bildende-Einheiten
KHS	Kemper Hygienesystem
KTW	Kunststoffe im Trinkwasser
KW	Kaltwasser
Leg	Legionellen
Mind	Mindestens

M.W.Y.	Modified Wadowsky Yee Legionella Agar
NHMRC	National Health and Medical Research Council
PE	Polyethylen
PPi	Diphosphat
PVC	Polyvinylchlorid
R2A	Reasoner's 2A Agar
RLU	Relative Light Units
spp.	Spezies
SVGW	Schweizerische Verein des Gas und Wasserfaches
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TVO	Trinkwasserverordnung
TWK	Trinkwasser Kalt
TWW	Trinkwasser Warm
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolett
Uvm	und vieles mehr
WHO	World Health Organization
WWZ	Warmwasserzirkulation

1 Einleitung

Das historische Problem der fäkalen Belastung von Trinkwasser durch das Fehlen einer hygienisch sicheren Trinkwassergewinnung auf der einen Seite und das Fehlen einer geregelten Abwasserentsorgung auf der anderen Seite mit der Folge, dass jährlich eine Milliarde Menschen weltweit durch Kontakt mit kontaminiertem Trinkwasser erkranken und drei Millionen versterben [4], ist in den Industrieländern heute weitgehend gelöst. Durch die Einführung von komplexen Wasserinstallationssystemen in Gebäuden haben sich jedoch andere Risiken ergeben. Die Schaffung neuer Lebensräume ermöglicht Mikroorganismen eine Vermehrung in Wässern, die vom Menschen unmittelbar für unterschiedliche Zwecke genutzt werden.

Bei der Besiedlung von Wasserinstallationssystemen durch Mikroorganismen spielt der Biofilm eine zentrale Rolle. Biofilme definieren sich als „Zellen, die unbeweglich einer Oberfläche aufliegen und häufig in einer organischen Hüllsubstanz (Matrix) mikrobiellen Ursprungs eingebettet sind“ (Characklis, Marschall, 1990)[80]. Sie setzen sich aus verschiedenen Mikroorganismen wie Bakterien, Mikroalgen, Pilzen und Protozoen[92] zusammen. Ein Biofilm bietet Mikroorganismen ein besseres Nährstoffangebot als Wasser und einen Schutz gegenüber widrigen Lebensumständen und Desinfektionsmaßnahmen[61][77]. Die Bildung eines Biofilms wird durch ökologische Faktoren wie Wassertemperatur, Stagnationsdauer, Fließgeschwindigkeit des Wassers, raue Oberflächenbeschaffenheit des Rohrmaterials und Nährstoffangebot begünstigt und verläuft in mehreren Phasen[32]. Je nach Umgebungsbedingungen kann der Biofilm eine Schichtdicke von mehr als 100 µm bilden und pathogenen Keimen wie Legionellen und Pseudomonaden Schutz bieten. Die negativen Folgen eines starken Biofilmwachstums für die Wasserverteilungs- und Kreislaufsysteme sind:

Erhöhung des Reibungswiderstandes

Bildung von Geruchsstoffen

Bildung von Schlupfwinkeln für Krankheitserreger

Materialschädigung durch Korrosionsprozesse

Beeinträchtigung der Trinkwasser-Qualität [42]

Organische, mikrobiell verwertbare Stoffe, die aus für die Trinkwasserversorgung ungeeigneten Materialien in das Trinkwasser migrieren, können das Wachstum von Mikroorganismen bzw. Biofilm stark fördern. Durch Stagnation von Wasser kann es zu Akkumulationen von Mikroorganismen und zu negativen, möglicherweise gesundheitlich relevanten Veränderungen der Trinkwasserqualität kommen. Die Beeinträchtigung kann sich in Form von Trübung, Verfärbung oder in unangenehmer Geruchsbildung äußern. Starke Korrosion des Rohrmaterials mit Freisetzung toxischer Schwermetalle oder starke Besiedlung mit Krankheitserregern können zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

Beim Auftreten von wasserbürtigen Krankheitserregern wie Legionellen oder *Pseudomonas aeruginosa* in Trinkwassersystemen kann die Nutzung des Wassers schwere wasserbürtige Infektionskrankheiten auslösen. Dies macht die Notwendigkeit einer Reduzierung/Beseitigung von Biofilmen in Trinkwasseranlagen notwendig, da diese Mikroorganismen als Wachstumsfaktor und Schutz vor äußeren Einflüssen dienen. Neben den Legionellen zählt *Pseudomonas aeruginosa* zu den häufigen Auslösern für wasserassoziierte Infektionen, insbesondere in Krankenhäusern.

Pseudomonas aeruginosa ist ein widerstandsfähiges und anspruchsloses Bakterium, das ubiquitär in Wasser, Boden und Gemüse vorkommt[4]. Es besitzt eine hohe Resistenz gegenüber Antibiotika und Desinfektionsmitteln. *Pseudomonas aeruginosa* gehört zu den schnell wachsenden Bakterien und bevorzugt Wachstumstemperaturen zwischen 15°C und 30°C[45]. Im Gegensatz zu anderen Pseudomonaden kann es bei 42°C wachsen[4]. Durch seinen obligat aeroben Charakter wächst es bevorzugt an feuchten Oberflächen. Man findet es im Umfeld des Menschen, vorzugsweise in Waschbecken, Schläuchen, Waschlappen, Vasen, in Geräten des medizinischen Bedarfs, Arzneimittel/Kosmetika mit hohen Wasseranteilen sowie destilliertem Wasser. Zudem stehen auch Wasserhähne und Abflüsse unter Verdacht, eine bedeutende Quelle von *Pseudomonas aeruginosa* im Krankenhaus zu sein[24]. Als Erreger von nosokomialen Infektionen spielt *Pseudomonas aeruginosa* eine große Rolle. *Pseudomonas aeruginosa* infiziert häufig Patienten, die sich nach einer ausgedehnten Verbrennung und nach einem umfangreichen chirurgischen

Eingriff unter Immunsuppression befinden. Patienten auf Intensivstationen zählen ebenfalls zur hohen Risikogruppe. Studien über Infektionen auf Intensivstationen haben gezeigt, dass 28% der nosokomialen wasserbürtigen Infektionen auf *Pseudomonas aeruginosa* zurückgeführt werden können. Andere Studien zeigen, dass kontaminiertes Trinkwasser zu Infektionen mit *Pseudomonas aeruginosa* zum Beispiel bei einer Hydrotherapie von Verbrennungspatienten oder bei Spülungen von desinfizierten medizinischen Geräten führen kann[78][89]. Etwa 40% der wasserbürtigen nosokomialen Infektionen konnten auf eine Kontamination von *Pseudomonas aeruginosa* im Leitungswasser zurückgeführt werden[34].

Neben *Pseudomonas aeruginosa*, der vorwiegend durch Kaltwasser auf den Menschen übertragen wird, kommt insbesondere den im Warmwasser lebenden Legionellen eine herausragende Bedeutung für die Gesundheit des Menschen zu. Ihren Namen erlangten sie im Juli 1976 durch eine Epidemie während eines Treffens der „American Legion“ in Philadelphia (USA). Damals kam es bei 182 der über 4000 Teilnehmern zu schweren Erkrankungen des Respirationstraktes und zu 29 Todesfällen[50]. Diese Erkrankung wurde in der Presse als „Legionaires' Disease“ bezeichnet, ohne dass zunächst ein ursächlicher Erreger nachgewiesen werden konnte. Einige Monate später isolierte McDade[71] aus den Lungengeweben verstorbener Patienten ein neues, noch nie beschriebenes Bakterium, das er *Legionella pneumophila* nannte. Mittlerweile sind mehr als 40 weitere Arten mit teils humanpathogener Bedeutung identifiziert worden. Legionellen wurden weltweit in Süßwasservorkommen, Grundwässern und Trinkwässern aus technischen Wassersystemen gefunden[4][68]. Häufig können Legionellen auch in Kühltürmen sowie in geringen Konzentrationen auch in fließenden und stehenden Gewässern nachgewiesen werden. In der Umwelt überleben Legionellen als intrazelluläre Parasiten und sind auf frei lebende Amöben/Protozoen angewiesen[68].

Klinisch kommt der Art *Legionella pneumophila* eine entscheidende Rolle zu, da diese als Ursache der Legionärskrankheit (Pneumonie) und des Pontiac-Fiebers (akuter respiratorischer Infekt) eine Vielzahl von Epidemien auslöst und ausgelöst hat. Wasserbürtige Infektionen mit *Legionella pneumophila* werden durch Inhalation von Aerosolen zum Beispiel über Duschen [61], bei immunsupprimierten Menschen auch durch Aspiration oder Mikroaspiration von

kontaminiertem Trinkwasser sowie durch Trinken und über kontaminierte medizinische Geräte ausgelöst.

Exner[34] gibt an, dass insbesondere unmittelbar nach der Inbetriebnahme von Gebäuden Infektionen durch Legionellen auftreten können. Dies liegt daran, dass es im Fall eines mangelnden bestimmungsgemäßen Betriebs von Wassersystemen zu Stagnation des Wassers in den Leitungen kommt. Feuerpfeil et al. weisen daraufhin, dass unsachgemäßer Betrieb von Warmwassersystemen eine starke Vermehrung von Legionellen zur Folge haben kann[40]. Mathys empfiehlt, Warmwasser im gesamten Bereich der Trinkwasseranlage bei Temperaturen oberhalb von 55°C und Kaltwasser immer unterhalb von 25°C zu halten[69]. Dadurch kann ein Wachstum von Legionellen weitgehend verhindert werden.

Weiterhin werden aber auch im Kaltwasser Vermehrungen von Legionellen und dadurch ausgelöste Infektionen beschrieben. Diese sind auf eine mangelhafte Isolierung der Kaltwasserleitung oder durch eine gemeinsame Verlegung der Kalt- mit der Warmwasserleitung zurückzuführen, wodurch es zu Wärmeübergängen vom Warmwasser auf das Kaltwasser kommt[73]. Die Folge ist ein ungünstiger Temperaturanstieg in Kaltwasser, welcher eine Vermehrung von Legionellen im Kaltwasser begünstigen kann. Aufgrund der globalen Temperaturerhöhung erhöhen sich auch die Grundwassertemperaturen und dadurch die Temperaturen des kommunalen Trinkwassers. Dies kann ebenfalls zukünftig eine Vermehrung der Legionellen im Kaltwasser begünstigen[40].

Die Bedeutung von Kaltwasser als Infektionsquelle von wasserbürtigen Infektionen gewinnt immer mehr an Bedeutung, findet jedoch in der Praxis noch nicht die notwendige Aufmerksamkeit. Die Einhaltung der in der DIN 1988 geforderten Maximaltemperatur von 25°C im Kaltwasser ist bei komplexen Installationssystemen mit besonderen Aufwendungen verbunden[20]. Insbesondere in Phasen einer nur geringen Nutzung, zum Beispiel bei Nichtbelegung von Zimmern in Hotels oder Kliniken, lässt sich dieses Temperaturniveau ohne aktive, stark Wasser verbrauchende Spülprozesse oder eine Implementierung innovativer Installationstechniken nicht mehr sicher einhalten.

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, neu entwickelte Konzepte im Bereich der Trinkwasserinstallation zu untersuchen und mit vorhandenen Konstruktionen zu vergleichen. Dabei soll die Auswirkung verschiedener konstruktiver Ausführungen von Stockwerksinstallationen auf das Temperaturniveau und das Vermehrungsverhalten von Mikroorganismen, insbesondere Legionellen, untersucht werden.

2 Materialien und Methoden

2.1 Versuchsaufbau

Im Technikum der Fachhochschule Münster, Fachbereich Energie - Gebäude-Umwelt wurde zur Untersuchung des Vermehrungsverhaltens von Mikroorganismen im Trinkwasser eine Versuchsanlage installiert. Bei der Versuchsanlage handelt es sich um vier Stockwerke mit verschiedenen Stockwerksinstallationen. Die Verbräuche in den einzelnen Stockwerken sind hinsichtlich ihrer Charakteristik und ihres Verbrauches identisch. Es handelt sich um die Sanitärobjekte einer Standardwohnung: WC, Waschtisch, Dusche/Badewanne und Küchenspüle. Die in den vier Stockwerken ausgeführten Installationen unterscheiden sich hinsichtlich der Ausführungsart der Installation. Den einzelnen Stockwerksinstallationen in den Stockwerken ist eine Verbrauchsleitung nachgeschaltet, die den Verbrauch einer gesamten Stockwerksinstallation simuliert.

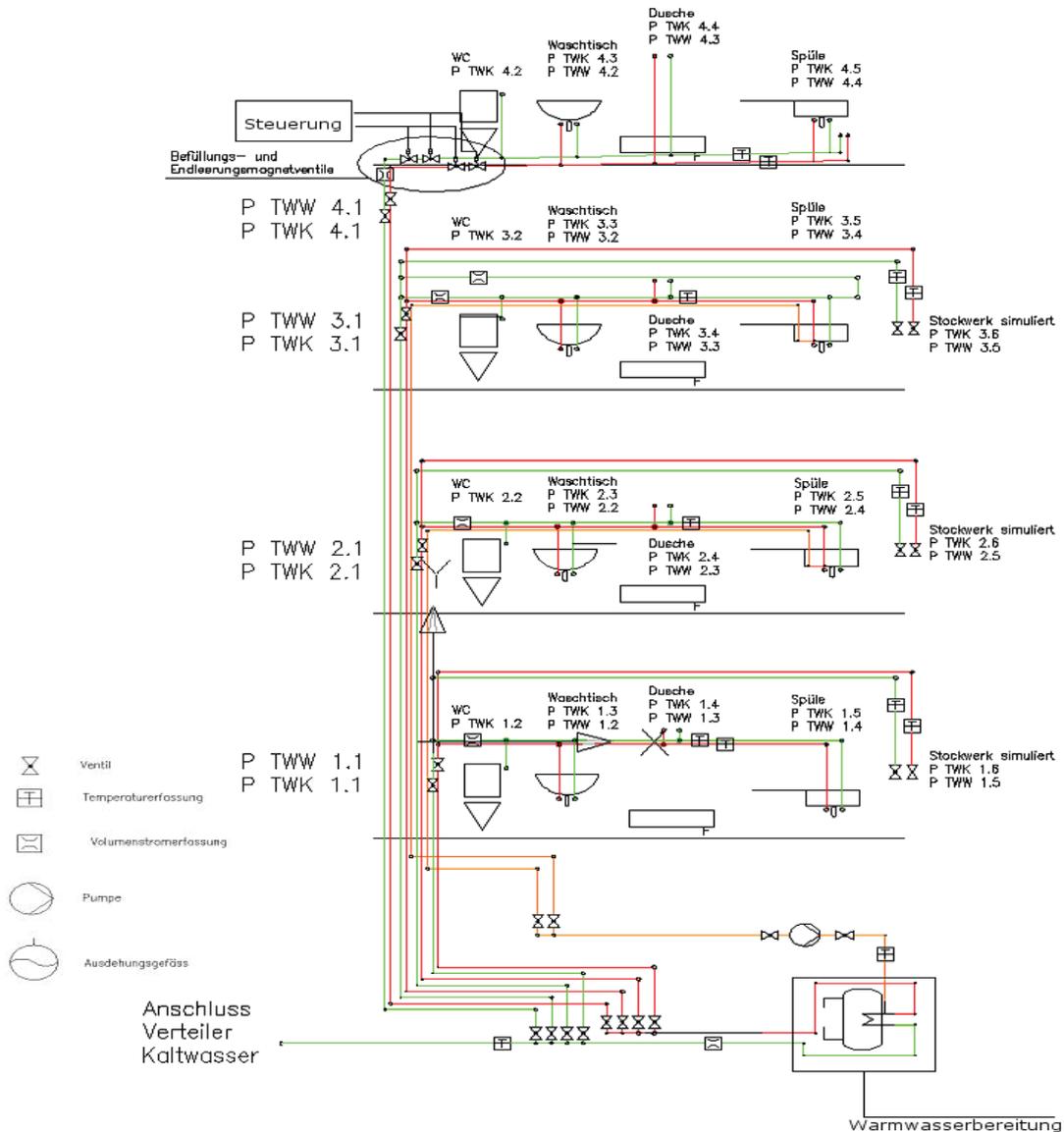


Abb. 1: Gesamtschema der Stockwerksinstallationen der Stockwerke 1 bis 4

Stockwerk 1: Konventionelle Stockwerksinstallation mit Kaltwasser- und Warmwasserversorgung ohne Zirkulation, ausgeführt als T-Stück-Installation. Bei dieser Installationsart werden die Zapfstellen ausgehend von der Stockwerksleitung durch Stichleitungen (Einzelzuleitungen) versorgt
Abb. 2:

Stockwerk 2: Konventionelle Stockwerksinstallation, ausgeführt als T-Stück-Installation. Nach der letzten warmwasserführenden Zapfstelle ist die Zirkulation angebunden
Abb. 3:

Stockwerk 3: Stockwerksinstallation mit Durchschleifen der Kaltwasserinstallation, Einbau eines Strömungsteilers in der Kaltwassersteigleitung, Anbindung der warmwasserführenden Stockwerksinstallation an die Zirkulation
Abb. 4:

Stockwerk 4: Stockwerksinstallation mit periodischer vollständiger Entleerung und Befüllung der Kalt- und Warmwasserleitungen
Abb. 6:

2.1.1 Stockwerk 1: Konventionelle Stockwerksinstallation mit Kalt- und Warmwasserversorgung, ausgeführt als Installation mit Stichleitungen

Diese Stockwerksinstallation mit Kalt- und Warmwasserversorgung ohne Zirkulation ist mit vier Wasser-Entnahmestellen ausgestattet, welche einen WC, ein Waschtisch, eine Dusche und eine Küchenspüle simulieren. Die Stockwerksinstallation ist als T-Stück-Installation ausgeführt. Die einzelnen Zapfstellen werden ausgehend von der Stockwerksleitung durch Einzelzuleitungen (Stichleitungen) versorgt. Ein Austausch des Wassers in der Einzelzuleitung erfolgt nur bei Wasserentnahme durch die entsprechende Zapfstelle.

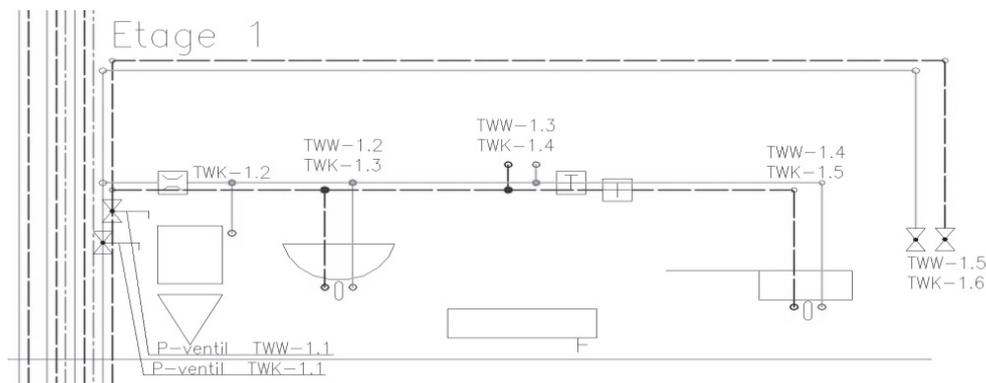


Abb. 2: Bauplan Stockwerksinstallation 1

2.1.2 Stockwerk 2: Stockwerksinstallation mit Kaltwasser- und zirkulierender Warmwasserversorgung

Die Installationsart des zweiten Stockwerks entspricht in der Ausführungsart dem ersten Stockwerk, mit dem Unterschied, dass nach der letzten warmwasserführenden Zapfstelle die Zirkulation angebunden ist. Die Zirkulation gewährleistet neben der Vermeidung von Stagnation die geforderte Temperaturhaltung im wasserführenden Leitungssystem.

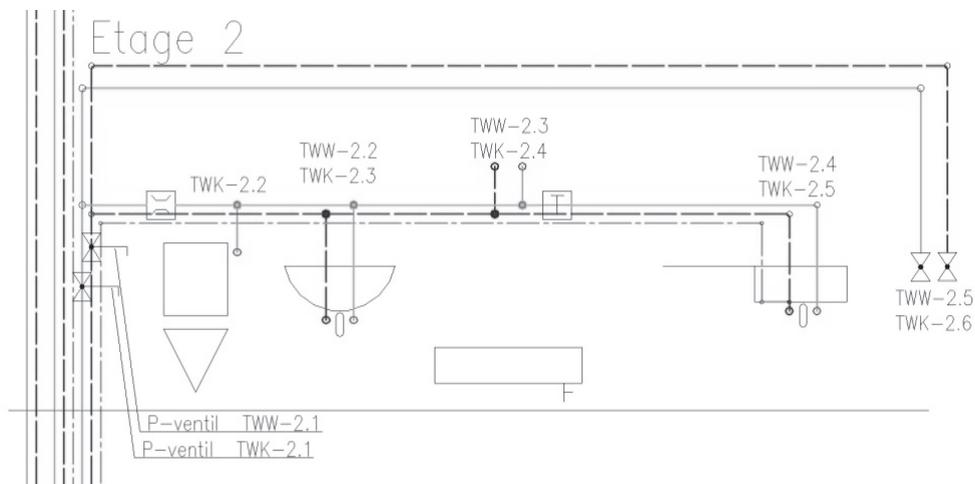


Abb. 3: Bauplan Stockwerksinstallation 2

2.1.3 Stockwerk 3: Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung und Venturi-Strömungsteiler im Kaltwasser

Das warmwasserführende Leitungssystem des dritten Stockwerks ist identisch mit der Stockwerksinstallation des zweiten Stockwerks. Die Kaltwasserversorgung des dritten Stockwerks erfolgt über einen in der Steigleitung zur dritten Etage angeordneten Strömungsteiler. Die Versorgung der kaltwasserführenden Zapfstellen in der Stockwerksinstallation erfolgt über einen an den Strömungsteiler angebenen Ring. Ein Temperatursensor überwacht das Temperaturniveau in der Ringinstallation, Ultraschalldurchflussmessgeräte erfassen die durch den Ring und durch die Steigleitung fließenden Volumenströme.

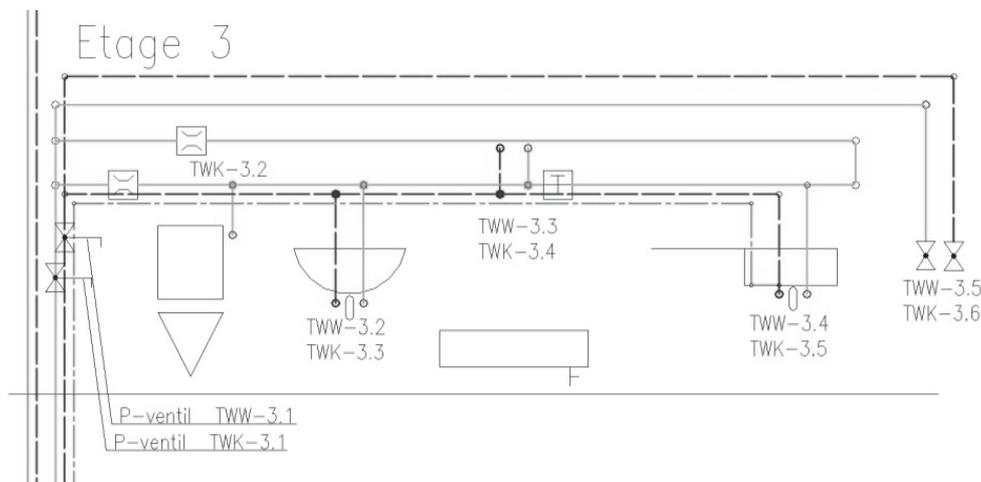


Abb. 4: Bauplan Stockwerksinstallation 3

Der Einsatz des Venturi-Strömungsteilers Abb. 5: ermöglicht die Zwangsdurchströmung ungenutzter Stockwerksinstallationen. Diesem Vorgang liegt das folgende Prinzip zu Grunde: Durch den Strömungsteiler kommt es zu einer Druckdifferenz zwischen den Nasszellenzuleitungen und den Nasszellenrückleitungen.

Hierbei wird eine Zwangsdurchströmung der Ringleitung in den Nasszellen hervorgerufen, die ca. 10% des Wasserflows der Versorgungsleitung ausmacht. Dies ermöglicht eine Absenkung der Trinkwassertemperatur und die Minimierung von Stagnation des Wassers in der Ringleitung. Das Ringleitung-Strömungsteiler-System ermöglicht einen Austausch des Wasserinhaltes in der Stockwerksinstallation bei jeglicher Entnahme in den darüber liegenden Stockwerken, unabhängig von der Entnahme im betreffenden Stockwerk[106].

Die Verwendung von Ringleitungen in Kombination mit einem Venturi-Strömungsteiler wird bevorzugt in Einrichtungen eingesetzt, in denen ein stetiger Wasseraustausch gewährleistet sein muss, um eine Temperaturerhöhung im Kaltwasser und damit eine Verschlechterung der Wasserqualität zu vermeiden. Hierzu gehören zum Beispiel freie Behandlungszimmer in Krankenhäusern, wenig genutzte Nasszellen in Seniorenwohnheimen, unbelegte Zimmer in Hotels, Schulen während der Ferienzeit, etc.

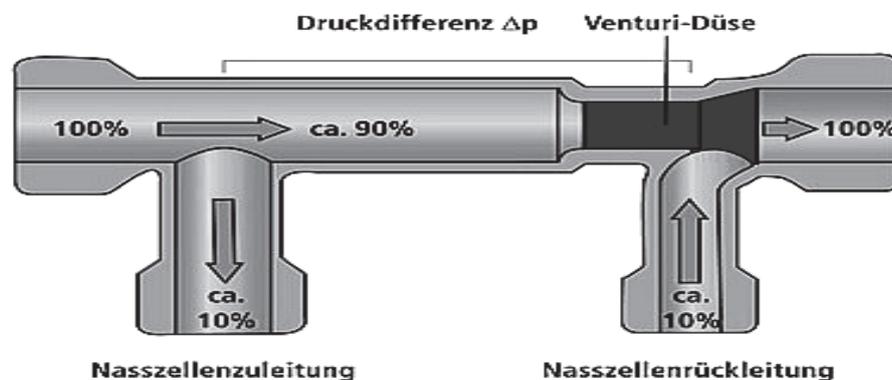


Abb. 5: Schematische Darstellung eines Venturi-Strömungsteilers. (Quelle: Metallwerke Gebr. Kemper, Olpe)

2.1.4 Stockwerk 4: Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Kalt- und Warmwasserleitungen

Bei der in der vierten Etage ausgeführten Stockwerksinstallation handelt es sich um ein in den Niederlanden entwickeltes experimentelles Installationsprinzip mit dem Ziel der Vermeidung von Legionellenkontaminationen.

Die Besonderheit dieser Stockwerksinstallation liegt in der vollständigen periodischen Entleerung der Kalt- und der Warmwasserleitung über Steuerungsvorrichtungen. Um eine vollständige Entleerung und Belüftung der Rohrleitungen zu gewährleisten, sind die wasserführenden Leitungen mit einem Gefälle von 2cm/m verlegt. Über die Steuerung angesprochene Magnetventile veranlassen die Befüllung bzw. Entleerung der Stockwerksinstallation.

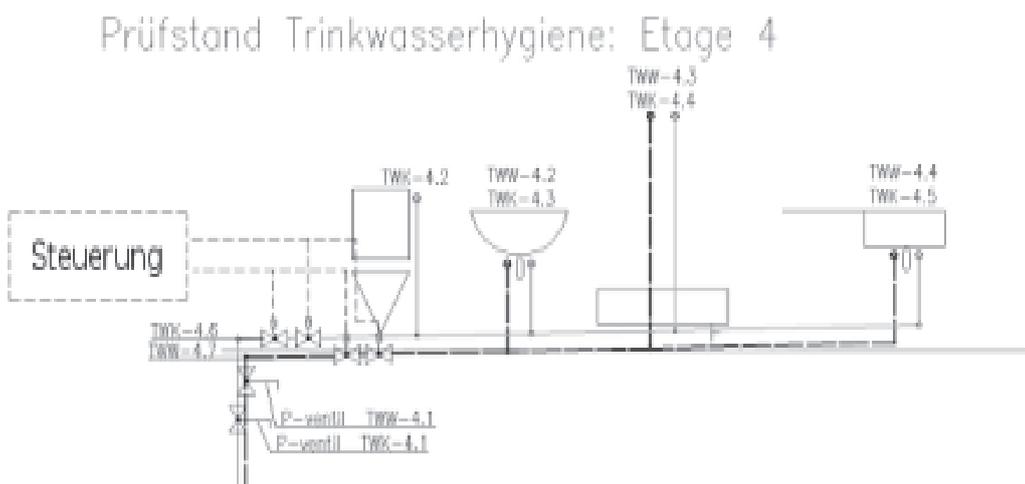


Abb. 6: Bauplan Stockwerksinstallation 4

Prinzip dieses Installationsverfahrens ist die Entleerung der Leitungsteile für denjenigen Zeitraum, in dem die Wohnung nicht genutzt wird. Über die Steuerungseinheit wird z.B. morgens beim Verlassen der Wohnung über die Magnetventile die Entleerung der Leitungsteile veranlasst. Die Belüftung des Leitungssystems wird durch Belüftungsventile gewährleistet. Beim Betreten der Wohnung wird durch Aktivierung eines Codes die Befüllung der Stockwerksinstallation veranlasst.

Nach erfolgter Befüllung wird die Anlage wieder entleert (Spülung) und dann wieder endgültig gefüllt. Über die Steuereinheit wird die Aktivierung der beiden Magnetventile veranlasst.

Während es zum Verschluss des zweiten Magnetventils (Entleerung) kommt, erfolgt die Öffnung des ersten Ventils, wodurch eine Befüllung des Leitungssystems mit anschließender Spülung veranlasst wird. Durch den Verschluss des ersten und die Öffnung des zweiten Magnetventils wird bei gleichzeitiger Aktivierung des Belüftungsventils das Spülwasser vollständig entleert. Nach dem Spülvorgang erfolgen die Öffnung des ersten und der Verschluss des zweiten Magnetventils, wodurch die Leitungen mit Trinkwasser aufgefüllt werden.

Durch Eingabe des Aktivierungscodes können die zeitlich frei programmierbaren Abläufe des Befüllens bzw. Entleerens der Anlage umgangen werden. Die in der vierten Stockwerksinstallation des Prüfstandes installierte Anlage umfasste einen Befüll-/Entleerungszyklus von vier Stunden.

2.2 Zusammenfassung der Betriebsweisen der untersuchten Stockwerksinstallationen

Tabelle 1

Übersicht über die Stockwerksinstallationen und ihre Betriebsweisen

Stockwerksinstallation	Betriebsweise
1: Stockwerksinstallation mit Warm- und Kaltwasserversorgung ohne Zirkulationspumpe	Kalt- und Warmwasserversorgung sind ab der Stockwerksleitung als Stichleitungen ausgeführt. Ein Wasseraustausch erfolgt nur bei Entnahme.
2: Stockwerksinstallation mit Kalt- und zirkulierender Warmwasserversorgung	Kalt- und Warmwasserversorgung sind ab der Stockwerksleitung mit Stichleitungen ausgeführt. Ein Wasseraustausch erfolgt nur bei Entnahme. Ab der letzten Zapfstelle wird das Warmwasser über die Zirkulationsleitung wieder dem Speicher zugeführt. Durch die Zirkulation wird die Warmwassertemperatur im Leitungssystem auf das geforderte Niveau von $>55^{\circ}\text{C}$ gehalten.
3: Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung und Venturi-Strömungsteiler im Kaltwasser	Warmwasser zirkuliert bei einer konstanten Temperatur von $>55^{\circ}\text{C}$. Kaltwasser wird über das KHS-System bereitgestellt; bei Entnahme und Zapfvorgängen aus dem oberen Stockwerk(simuliertes Stockwerk) wird das Wasser aus der Kaltwasserleitung des Stockwerks 3 ausgetauscht.
4: Stockwerksinstallation mit periodischer Entleerung der Kalt- und Warmwasserleitung	Kalt- und Warmwasserleitung dieser Stockwerksinstallation wird durch eine vorprogrammierte Steuervorrichtung vollständig entleert, durchgespült und vor Nutzung durch Codeeingabe wieder mit Trinkwasser aufgefüllt.

2.3 Details zum Aufbau der einzelnen Stockwerke

Die gesamte Stockwerksinstallation ist mit einem Mepla-Verbundrohr (Hersteller: Geberit) ausgestattet. Das Innenrohr, also die Kontaktfläche zum Wasser, besteht aus vernetzten Polyethylen. Der Nenndurchmesser (DN) der Rohre der Kaltwassersteigleitungen ist ausgeführt in DN 20, der Abzweig für das simulierte Stockwerk in DN 15. Die Stockwerksleitung mit Abzweig für die zweite Entnahmemarmatur und den Waschtisch reduziert sich auf DN 12. Die Warmwassersteigleitungen haben einen Nenndurchmesser von DN 20. Die Stockwerksleitung nimmt zum Waschtisch hin auf DN 15 ab, der Abgang für den Waschtisch liegt bei DN 12. Die Abgänge für Dusche und Spüle sind wie die Kaltwassersteigleitung in DN 15 ausgeführt.

Die Warmwassersteigleitungen haben eine Länge von 380cm, die Kaltwassersteigleitungen eine solche von 400cm. Vor der ersten Abnahmemarmatur sowie vor dem Abzweig für das simulierte Stockwerk ist auf der Warmwasser- und auf der Kaltwasserseite je ein Probenahmeventil installiert. Jedes Stockwerk ist 130cm hoch, 500cm breit und 20cm tief. Die gesamte Höhe der Stockwerke liegt bei 520cm. Das simulierte WC, als erster Anschluss, ist im Abstand von 154,4cm vom ersten senkrechten Tragwerk angebracht. Der simulierte Waschtisch liegt im Abstand von 223cm, die simulierte Dusche im Abstand von 310,5cm und die simulierte Spüle im Abstand von 446,4cm zum Tragwerk. Im 1. Stockwerk befinden sich die Anschlüsse für das WC, den Waschtisch und die Spüle in einer Höhe von 92,5cm, die Dusche in einer Höhe von 116,5cm. In den anderen drei Stockwerken befinden sich die Anschlüsse ab der jeweiligen Bodenkante des Stockwerkes in einer Höhe von 69cm für das WC, den Waschtisch und die Spüle. Die Dusche ist auf einer Höhe von 85,5cm angebracht.

Die zentrale Anbindung des Prüfstandes an die Wasserversorgung erfolgt aus dem Trinkwasserleitungssystem der Fachhochschule Münster, Abteilung Steinfurt. Der Campus Steinfurt wird durch ein Ringleitungssystem versorgt. Ausgehend von diesem Ring erfolgt die Zuleitung zu den einzelnen gebäudeeigenen Trinkwasserverteilern. Vom Trinkwasserhauptverteiler „Gebäudeteil E“ wurde eine neue Zuleitung zum Prüfstand gelegt, um ein hygienisch einwandfreies Trinkwasser zu gewährleisten.

Die Kaltwasserzuleitungen der Stockwerke sind mit Geberit „Mapress“-Edelstahlrohren ausgestattet. Hinter der ersten Absperrung des Verteilers wurde ein KEMPER Weser „Protect“ Systemtrenner BA installiert.

Die Kaltwasserzuleitung wurde vom Kaltwasserverteiler des Gebäudeteils E der Fachhochschule bis zu den Stockwerksinstallationen neu verlegt. Der Kaltwasserverteiler des Prüfstandes besteht aus Mepla-Verbundrohr DN 32 mit 4 Abgängen für die jeweiligen Steigleitungen. Den Abgängen sind Kemper-Weser-Freistrom-Ventile mit kombinierten Rückfluss-Verhinderern (KRV-Ventil) nachgeschaltet.

An der letzten Entnahmearmatur der Spüle im Stockwerk 2 ist die Warmwasserleitung mit der Zirkulation verbunden. Die Anbindung an das Zirkulationssystem soll dafür sorgen, dass die Temperatur im Leitungssystem um nicht mehr als 5 Kelvin gegenüber der Speicheraustrittstemperatur absinkt[30]. Der Nenndurchmesser der Zirkulationsleitung beträgt DN 15.

Die Warmwasserbereitung erfolgt durch einen vorgeschalteten, primärseitigen Heizwasserspeicher.

Vor der Spüle ist in der Kaltwasser- als auch in der Warmwassersteigleitung je ein Temperaturfühler installiert, um den Temperaturverlauf in den Leitungen zu überprüfen.

Die Kaltwasserleitung im Stockwerk 3 ist in Form einer Ringleitung ausgeführt. Hinter dem Probenahmeventil in der Kaltwassersteigleitung ist ein Strömungsteiler installiert. Dieser sorgt dafür, dass eine Wasserentnahme aus dem darüber liegenden Stockwerk (simuliertes Stockwerk), eine Durchströmung der darunter liegenden Stockwerksinstallation (Stockwerk 3) zur Folge hat.

Zur Überprüfung der Durchströmung sind zwei Volumenstrommessgeräte installiert. Das erste Gerät ist vor der ersten Entnahmearmatur angebracht, das zweite Gerät in der rückführenden Leitung vor dem Eintritt in das Doppel-T-Stück. Die Entnahmearmaturen sowie die Toilettenspülung in den jeweiligen Stockwerken werden durch fernsteuerbare Magnetventile simuliert, so dass zeitprogrammierte Entnahmezyklen ausgeführt werden können.

2.4 Versuchsablauf

Die Befüllung der gesamten Installation einschließlich der Stockwerksinstallation mit Trinkwasser aus dem kommunalen Netz erfolgte am 20.11.2006. Die Tabelle 2 gibt die Trinkwasserqualität zum Befüllungszeitraum an.

Tabelle 2 Mikrobiologische Parameter des Kaltwassers der Stadtwerke Steinfurt GmbH (2006)

Mikrobiologische Parameter	Einheit	Prüfergebnis	Grenzwert nach Trinkwasserverordnung
Koloniezahl bei 22°C	KBE/ml	0	100
Koloniezahl bei 36°C	KBE/ml	0	100
E.coli	/100ml	0	0
Coliforme Bakterien	/100ml	0	0
P.aeruginosa	/100ml	0	0 (Höchstwert)

2.5 Betrieb der Stockwerksinstallationen

Die Inbetriebnahme der Stockwerksinstallationen erfolgte im November 2006. Zu Anfang wurden die Stockwerksinstallationen zweimal täglich (8 bzw. 12Uhr) für jeweils 10 Minuten gespült.

Ab April 2007 beginnt die Stagnationsphase, die im Juli 2008 endet. In dieser Zeit wird in allen Stockwerken keine Entnahme mehr vorgenommen. Es erfolgt lediglich alle 3 Stunden eine Wasserentnahme aus der Kaltwasserleitung (Entnahmeventil P TWK 3.6) in der simulierten Stockwerksinstallation über dem Stockwerk 3 mittels installierter Magnetventile Abb. 7: Auf Grund des installierten Strömungsteilers folgt daraus ein Wasseraustausch in der Kaltwasserleitung des Stockwerks 3.

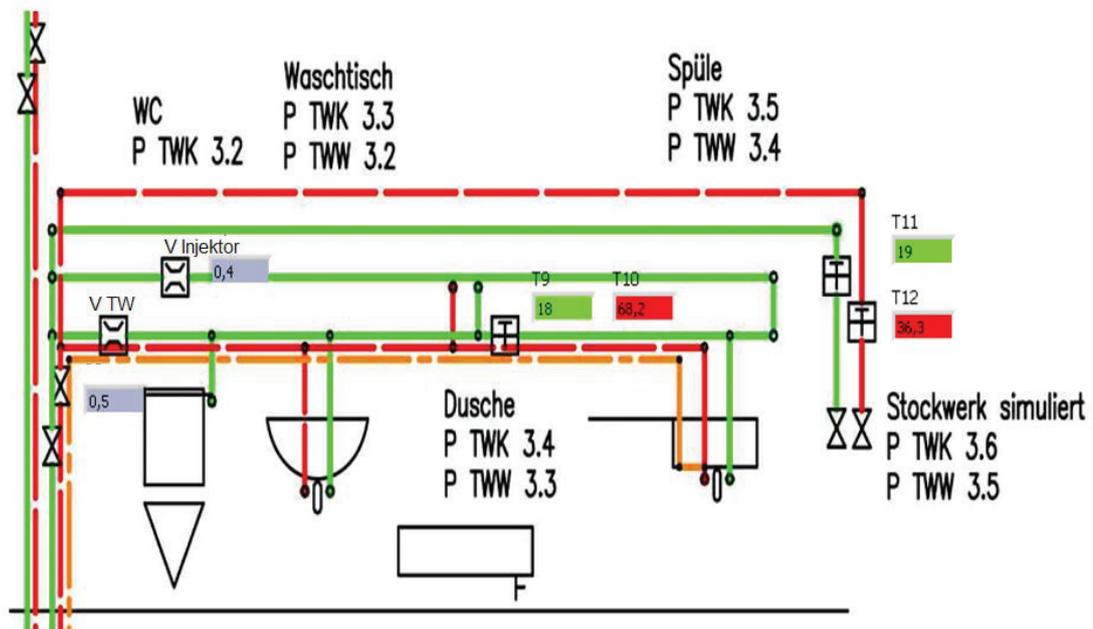
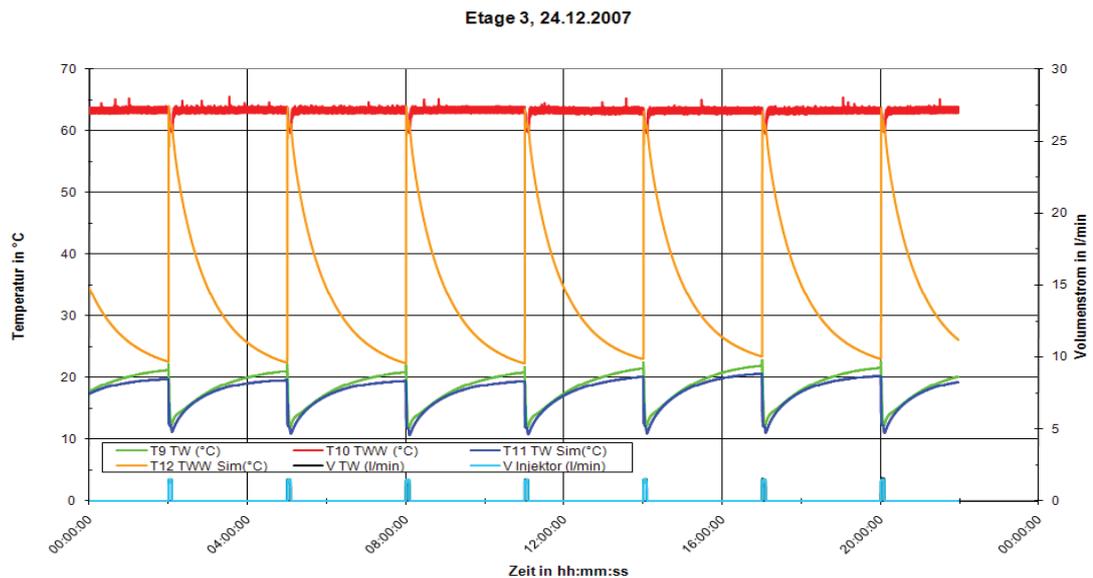


Abb. 7: Bauplan Stockwerk 3 mit Kennzeichnung der Temperatur- und Volumenstromsensoren

Die Betriebsweise im Stockwerk 3 während der Stagnationsphase ist der Abb. 8: zu entnehmen. Das Diagramm stellt Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), Zeit (hh:mm:ss) und Volumenstrom (l/min) während der Stagnationsphase dar. Die Wasserentnahme aus dem simulierten oberhalb des Stockwerk 3 gelegenen Stockwerks erfolgte täglich ab 2 Uhr alle 3 Stunden aus dem Entnahmeventil P TWK 3.6 Abb. 7: . Der Volumenstrom wurde mit Hilfe der Volumenmessgeräte V TW und V Injektor gemessen Abb. 7: Dieser beträgt bei Wasserentnahme 1,4 Liter pro Minute, bei einer Spüldauer von 5 Minuten je Entnahmezyklus.

Eine Wasserentnahme führt zu einer Veränderung der Temperatur in den Kaltwasserleitungen (Temperaturmesser T9 TW). Während die Temperatur vor der Entnahme zwischen 18°C und 22°C liegt, fällt die Temperatur nach einer Wasserentnahme im oberliegenden Stockwerk deutlich unter 15°C . Die Wasserentnahme zeigt in der Warmwasserleitung der normalen Stockwerksinstallation (T10 TWW) keine Auswirkungen, da diese an die Zirkulation angebunden ist, die für eine konstante Temperaturhaltung sorgt.



T9 TW (°C) = Stockwerk 3 Temperatur Trinkwasserleitung Kalt

T10 TWW (°C) = Stockwerk 3 Temperatur Trinkwasserleitung Warm

T11 TW Sim (°C) = simuliertes Stockwerk 3 Temperatur Trinkwasserleitung Kalt

T12 TWW Sim (°C) = simuliertes Stockwerk 3 Temperatur Trinkwasserleitung Warm

V TW (l/min) = Stockwerk 3 Volumenstrom Kaltwasser in Liter pro Minute

V Injektor (l/min) = simuliertes Stockwerk 3 Volumenstrom Austauschleitung

Abb. 8: Zapfzeiten und sich dadurch ergebende Temperatur- und Volumenstromverläufe im Stockwerk 3 am 24.12.2007

Ab August 2007 wurden die Stockwerke wie folgt betrieben: In den Stockwerken 1, 2 und 4 wurde jeweils um 8:00 Uhr und um 16:00 Uhr aus WC, Waschtisch, Spüle und jedes simulierten Stockwerks für je 3 min, der Dusche für 10 min Wasser entnommen. Im Stockwerk 3 wurde alle 3 Stunden (um 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 Uhr) Wasser gezapft.

Diese Betriebsweisen in den drei Stockwerken simuliert den Wasserverbrauch in Single- Haushalten.

Die nachfolgenden Untersuchungen befassen sich mit dem Zeitraum der 13. Kalenderwoche und der 14. bis 21. Kalenderwoche 2007, in welcher die Stagnationsphase folgte. Die eingeleitete Stagnationsphase in den Stockwerksinstallationen simuliert bewusst den fehlenden Durchfluss um die Problematik der Stagnation in den verschiedenen Stockwerksinstallationen deutlich zu machen.

2.5.1 Probenahme

Die Entnahme der Kaltwasserproben erfolgt an den installierten Probenahmeventilen aus der Kaltwasserleitung an den Stellen P TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5. Die Warmwasserproben wurden aus der Warmwasserleitung der Spüle an den Stellen P TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 entnommen.

Die Probenahme für die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgt nach der DIN 38402-14 bzw. der ISO 19458. Bei der Probenahme darf die Entnahmestelle und die Probenflasche nicht durch die Probenahme oder den Probenehmer kontaminiert werden. Die Probenahme wird wie folgt getätigt;

1Liter Trinkwasser ablaufen lassen

Auslass am Magnetventil mit Gaskartuschenbrenner abflammen

Zapfhahn öffnen (bleistiftstarker, glatter Strahl)

Temperaturmessung

Probenflasche zu 4/5 befüllen

Probentransport ins Labor (gekühlt) innerhalb von 24 h

2.5.2 Mikrobiologische Untersuchung

Die mikrobiologischen Untersuchungen erfolgen nach dem Deutschen Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser-, Schlammuntersuchung[17].

2.5.2.1 Bestimmung der Koloniezahl

Die Kolonie bildenden Einheiten (KBE), bzw. Colony Forming Units (CFU) sind Parameter für die Ermittlung von lebensfähigen und vermehrungsfähigen Mikroorganismen. Die Bestimmung der Koloniezahl bei 22°C und 36°C erfolgt nach adäquater Verdünnung der Proben gemäß der Methode der Trinkwasserverordnung von 1990 im Plattengussverfahren Tabelle 3 [91].

Neben DEV-Agar wurde für die Bestimmung der Koloniezahl R2A-Agar verwendet. R2A-Agar ist ein nährstoffreduziertes Agarmedium, das bevorzugt zur unspezifischen Anzucht von biofilmrelevanten Bakterien verwendet wird.

Tabelle 3

Methode der Bestimmung der Koloniezahl bei 22°C und 36°C entsprechend TrinkwV 1990

Methode	Koloniezahlbestimmung im Plattengussverfahren (gemäß TrinkwV a.F(alte Fassung)) Anlage 1 Nr.5 [91]
Reagenzien	DEV-Agar DIN 38411-K5 (Firma Merck)
Analysengeräte	8-fach Lupe Brutschrank 36°C Firma Memmert Elektronik Kühl-Brutschrank 20°C Firma Binder
Durchführung	1ml Wasserprobe wird in eine sterile Petrischale pipettiert, 15-20 ml flüssiger und handwarmer DEV-Agar werden dazu gegossen. Nach Mischung lässt man das Ganze erkalten. Anschließend werden die DEV-Platten in die Brutschränke gelegt und bei 22°C und 36°C 44 Stunden bebrütet
Bebrütungstemperatur	22°C +/- 2°C und 36°C +/- 2°C
Bebrütungszeit	44 Stunden +/- 4
Auswertung	8-fach Lupe
Ergebnisse	KBE/ml

Tabelle 4

Bestimmung der Koloniezahl bei 30°C auf R2A-Agar

Methode	Koloniezahlbestimmung im Plattengussverfahren
Reagenzien	R2A-Agar (Heipha Artikelnummer 0178e)
Analysengeräte	Brutschrank 30°C Firma Memmert Elektronik
Durchführung	Die Probe wird 1:10 verdünnt und 1ml der Verdünnung auf R2A-Agar ausgespatelt. Bei 30°C wird das Material 7 Tage bebrütet und anschließend unter der 8- fach Lupe ausgezählt.
Bebrütungstemperatur	30°C +/-
Bebrütungszeit	7 Tage
Auswertung	8-fach Lupe
Ergebnisse	KBE/ml

2.5.2.2 Nachweis von *Pseudomonas aeruginosa*

Die Bestimmung von *Pseudomonas aeruginosa* erfolgt nach DIN EN ISO 12780 im Membranfiltrationsverfahren und im Direktausstrich.

Tabelle 5 Bestimmung von *Pseudomonas aeruginosa*

Methode	Nachweis und Zählung von <i>Pseudomonas aeruginosa</i> mittels Membranfiltration DIN EN ISO 12780
Reagenzien	Cetrimidagar der Firma Oxoid (Wesel) Membranfilter 0,45 µm (Cellulose-Mischester, steril) Fa. Millipore
Analysengeräte	Membranfiltrationsgerät (Microfil Millipore) Brutschrank 36°C Firma Memmert Elektronik UV-Lampe mit einer Wellenlänge von 366 nm
Durchführung	Die Wasserproben werden homogenisiert, dann 100 ml der Probe mittels Membranfilterverfahren filtriert. Anschließend wird der Filter mit einer sterilen Pinzette mit der Unterseite blasenfrei auf Cetrimid-Agar aufgelegt.
Bebrütungstemperatur	36°C +/- 2°C
Bebrütungszeit	21 +/-3 Stunden
Ergebnisse	KBE/100 ml

2.5.2.3 Nachweis von Legionellen

Die Bestimmung der Legionellen erfolgt gemäß Bundesgesundheitsblatt 11/2000[13] im Membranfiltrationsverfahren und parallel im Direktausstrich. Bestimmung der Legionellen gemäß ISO 11731-2[53].

Tabelle 6 Bestimmung der Legionellen

Methode	Die Anzucht erfolgt auf einem Legionellen-Selektivagar. Die Proben werden membranfiltriert und direkt ausgespatelt.
Reagenzien	<p><i>Legionella</i>-M.W.Y.-Selektivagar (Fa.Heipha)</p> <p><i>Legionella</i>-B.C.Y.E.-α-Selektivagar (Fa.Heipha)</p> <p>Membranfilter 0,45 μm und Trichter 100 ml (Kombi-Pack) (Fa.Millipore)</p> <p>Säurepuffer 0,2 mol/l Lösung HCL (Lösung A) bestehend aus 20 ml konzentrierter HCL (spez. Gewicht 1,16 g; mind. 31,5 %), aufgefüllt auf 1 Liter Aqua bidest .</p> <p>0,2 mol/l Lösung KCL (Lösung B) bestehend aus 14,9 g KCL, aufgefüllt auf 1 Liter Aqua bidest. Der Säurepuffer wird durch eine Mischung aus 3,9 ml Lösung A und 25 ml Lösung B durch Zugabe von 1molariger Lösung Kaliumhydroxid auf einen pH-Wert von 2,2 +/-0,2 eingestellt.</p>
Analysengeräte	<p>Sterile Werkbank (Fa.Heraeus) Sterilfiltrationseinheit mit Vakuumpumpe</p> <p>Membranfilterspender (Fa. Millipore)</p> <p>Stereolupe 25-fache Vergrößerung (Fa. Zeiss)</p> <p>Brutschrank 36°C Firma Binder</p>
Durchführung	Der Nachweis erfolgt in einem Direktansatz und als Membranfiltration.

Direktansatz:

Die Legionella-M.W.Y.-Selektivagar-Platten werden unter der sterilen Werkbank vorgetrocknet. 1ml der Probe wird ausplattiert und vollständig getrocknet.

Membranfiltration:

100 ml der Probe werden mittels Membranfiltrationsverfahren filtriert. Der Filter wird mit einer sterilen Pinzette blasenfrei auf die M.W.C.Y.-Agar-Platte aufgetragen.

Bei Proben mit hoher Begleitflora wird zusätzlich eine Säurebehandlung vorgenommen. 20 ml Säurepuffer werden auf den Membranfilter gegeben, welcher 5 min einwirkt. Anschließend wird die Probe filtriert.

Bebrütungstemperatur	36°C +/-2°C in einem Anerobiertopf ohne Nährmedium
Bebrütungszeit	Die Bebrütung erfolgt über einen Zeitraum von 10 Tagen bei Durchführung einer Wachstumskontrolle alle 2-4Tage.
Ergebnisse	Die Auszählung der typischen Kolonien erfolgt nach 10 Tagen, wobei verdächtige Kolonien auf B.C.Y.E.-Agar subkultiviert und für 2-4 Tage bei 36°C bebrütet werden. Die Bestätigung von Art und Serotyp erfolgt mit dem Oxid-Latextest.

2.5.2.4 Luminometrische Bestimmung der ATP Biomasse

Die Bestimmung des ATP dient als Maß für die Bakterienaktivität einer Probe. Mit dieser Methode werden auch nicht kultivierbare Organismen erfasst. Zur Bestimmung des extra- und intrazellulären ATPs werden die Wasserproben zur Freisetzung des ATP mit dem ATP-Biomass Kit HS der Firma BioThema vorbehandelt und im Luminometer Lumino der Firma Stratec ausgewertet. Gemessen wird in RLU (Relative Light Unit), welche eine gute Aussagekraft bezüglich der Bakterienaktivität besitzen. RLU ist eine eigenständige Einheit und spiegelt die von ATP produzierte Lichtintensität wieder.

Das Grundprinzip der Luminometrischen Bestimmung liegt in der Enzymreaktion der Glühwürmchen-*Luciferase*. Die Lichtemission ist je nach Probebedingungen proportional zu der ATP-Menge.

Im Folgenden wird der Ablauf der Luminometrischen Bestimmung erläutert:

Tabelle 7

Luminometrische Bestimmung der ATP-Biomasse

Material	<p>Luminometer: Lumino stratec (biomedical systems) ATP Biomass Kit HS (BioThema) Article No: 266-311: Die Bestimmung der Gesamt-Konzentration an ATP im Bereich von 10^{-17}-10^{-12} mol erfolgt mit folgenden Bestandteilen: ATP-Reagent HS (Inhalt: Luciferase und Luciferin) Diluent (Puffer für die Herstellung des ATP-Reagent HS) Extractant B/S (Zur Extraktion des ATP aus der Zelle)</p>
Durchführung	<p>Die Durchführung erfolgt unter strikt sterilen Bedingungen. Eine direkte Lichteinwirkung muss vermieden werden. Die Lösungen (Diluent, Extractant und ATP-Standard) werden aufgetaut.</p> <p>Die Durchführung erfolgt folgendermaßen: 50µl Extractant ins Reagenzglas pipettieren 50µl von der Probe hinzufügen 400µl Diluent dazugeben und gut mischen Das Gemisch kann ohne Reaktionsdauer sofort gemessen werden.</p>
Ergebnisse	<p>Die Auswertung erfolgt automatisch mit dem Luminometer in RLU (relative light units). Es werden mit dem Luminometer 3 Parallelmessungen einer Probe vorgenommen und daraus ein Mittelwert gebildet.</p>

2.5.2.5 Temperaturmessung

Für die Temperaturmessung werden 18 ifm-Temperatursensoren vom Typ TN 2530 eingesetzt. Ein Mikroprozessor steuert die Auswertung dieser Signale. Die Sensoren werden für Temperaturbereiche zwischen 10°C und 70°C mit einem Spannungsbereich von 0V bis 10V eingestellt.

Die Temperaturfühler sind in den Stockwerksinstallationen unterschiedlich verteilt. Im Stockwerk 1 und 4 befinden sich die Temperatursensoren in der Kalt- und der Warmwasserleitung vor der Spüle. Im Stockwerk 2 und 3 befinden sich die Sensoren ebenfalls vor der Spüle, jedoch lediglich in der Kaltwasserleitung. Zusätzlich sind in den simulierten Stockwerken der Stockwerke 1, 2 und 3 in der Kalt- und Warmwasserleitung Temperatursensoren installiert.

2.5.2.6 Volumenstrommessung

Die Erfassung des Volumenstroms erfolgt mit ifm-Ultraschall-Durchflusssensoren vom Typ Su 8000. Diese Sensoren messen die Geschwindigkeit eines strömenden Mediums mit Hilfe akustischer Wellen. Die Art der Messung ist weitgehend unabhängig von den Eigenschaften des Mediums, wie elektrische Leitfähigkeit, Dichte, Temperatur und Viskosität.

Die Sensoren sind auf Analogausgaben von 0V bis 10V in einem Bereich von 0 l/min bis 100l/min eingestellt.

In allen Kaltwasserleitungen der Stockwerksinstallationen ist jeweils ein Volumenstrommessgerät vor der ersten Entnahmestelle installiert Abb. 1: . Die dritte Stockwerksinstallation führt ein zweites Gerät in der rückführenden Leitung vor Eintritt in das Doppel-T-Stück.

2.5.3 Statistische und graphische Auswertung

Die Messungen werden anhand von Balkendiagrammen in ihrer zeitlichen Abfolge gegenübergestellt. Box-and-Whisker Plots geben einen Eindruck über die Gesamtverteilung, bzw. das Streuungsverhalten der Stichprobenelemente. Die Plots enthalten den Median (schwarzer Balken), sowie das untere und obere Quartil und (evtl.) Ausreißer einer Stichprobe. Die Höhe der Boxen gibt den Interquartilabstand zwischen 25% und 75%- Perzentile an. Die Whisker geben an die Werte, die bis zu dem 1,5-fachen Interquartilabstand unterhalb und oberhalb der Box-Grenze liegen. Die Auswertung erfolgte mit Statgraphics Plus Version 4, STATPOINT TECHNOLOGIES, INC., Warrenton, Virginia.

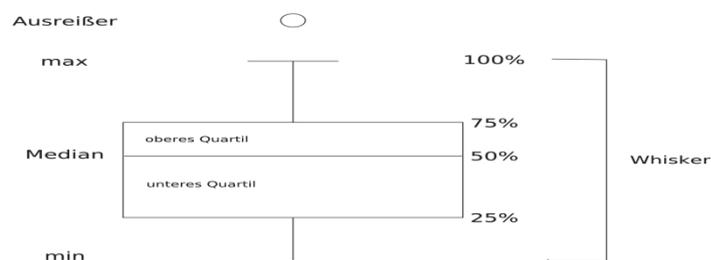


Abb. 9: Schematische Darstellung eines Box-and Whisker-Plots (eigene Darstellung)

3 Ergebnisse

3.1 Auswertung der Warmwasserproben

3.1.1 Luminometrische Bestimmung

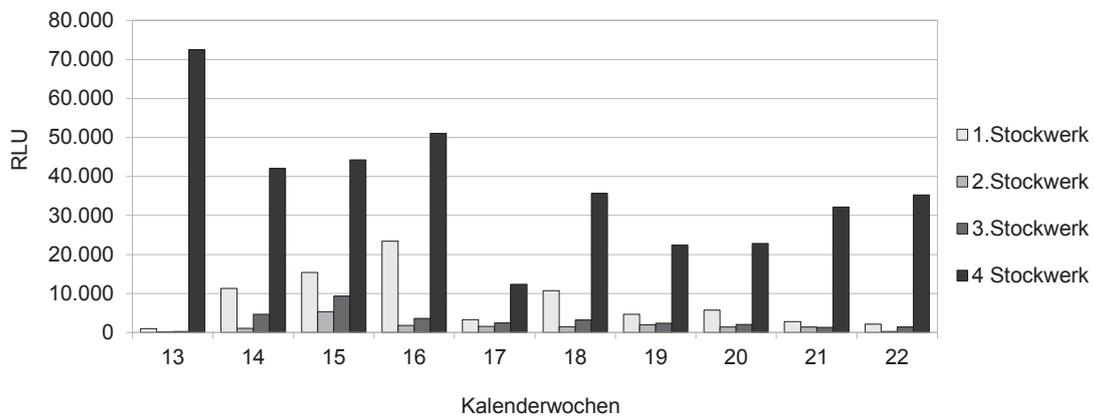


Abb. 10: Ergebnisse der Bestimmung des Gehaltes von ATP (RLU) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Bei der Bestimmung der ATP der Wasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen hebt sich signifikant die Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Rohrleitung hervor. Diese weist in ihrem Verlauf zu Beginn Höchstwerte von 72.540 RLU auf. Jedoch erfolgt eine Senkung der Werte bis zur 22. Kalenderwoche auf die Hälfte mit 35.268 RLU. Im Gegensatz zu den Kaltwasserproben verhalten sich die Warmwasserwerte in ihrem Verlauf rückläufig. Ein ähnliches Verhalten weist die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) und die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) auf. Die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) weist konstant niedrige Werte auf.

Die Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4) weist im Vergleich zu allen anderen Installationen extrem überhöhte Werte auf.

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung: Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (37069,1 RLU)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (3077,7 RLU)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (1648,8 RLU)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (8032 RLU)

3.1.2 *Pseudomonas aeruginosa*

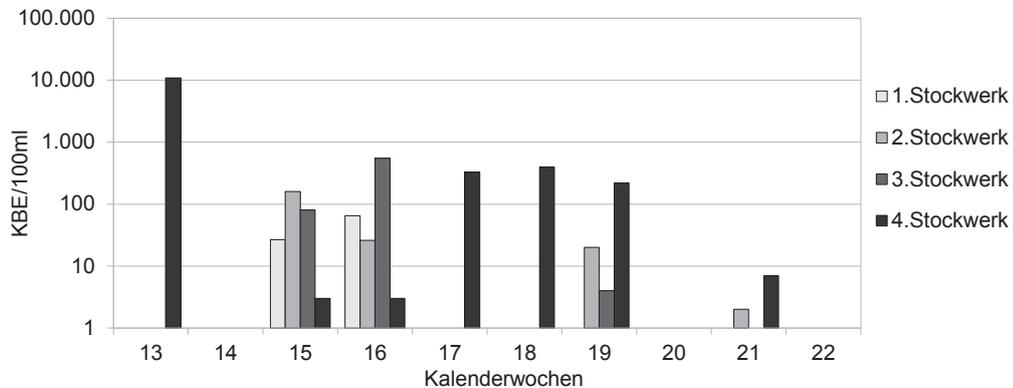


Abb. 11: Ergebnisse der Bestimmung auf *Pseudomonas aeruginosa*(KBE/100ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die Anzahl von *Pseudomonas aeruginosa* in den Wasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen weist erhöhte Werte in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4) auf. Die erste Messung (13.Kalenderwoche) ergab einen Höchstwert von 10.900 KBE/100ml. Diese Werte gehen in der 14. bis 16. Kalenderwoche, sowie in der 20. bis 21. Kalenderwoche auf einen Mittelwert von 2,33 KBE/100ml zurück. In der 17. bis 19. Kalenderwoche liegen die Werte zwischen 220-400 KBE/100ml. Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) weist bis auf die 15. und 16. Kalenderwoche keine *Pseudomonas aeruginosa* auf. In der Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) schwanken die Werte bei durchschnittlich 20,8 KBE/100ml. Die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler (Stockwerk 3) führt zu ähnlichen Ergebnissen.

In der 15. und 16. Kalenderwoche ist in allen Stockwerksinstallationen *Pseudomonas aeruginosa* nachzuweisen, wobei die Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen den niedrigsten Wert zeigt.

Die 17. und 18. Kalenderwoche lässt lediglich in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung einen Nachweis auf *Pseudomonas aeruginosa* zu.

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung: Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (1185,9 KBE/100ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (63,55 KBE/100ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (20,8 KBE/100ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk1 (9,25 KBE/100ml)

3.1.3 Koloniezahl bei 22°C auf DEV-Agar

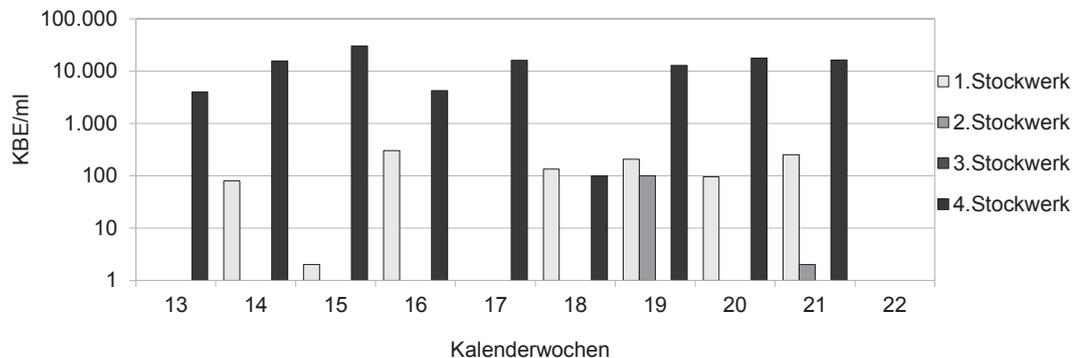


Abb. 12: Ergebnisse der Bestimmung auf DEV-Agar bei 22°C (KBE/ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die Bestimmung der Wasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen auf koloniebildende Einheiten pro ml (KBE/ml) auf DEV-Agar bei 22°C ergibt signifikant erhöhte Werte in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4). Im Vergleich zu den anderen Stockwerksinstallationen sind ihre Werte um das 10.000fache erhöht. Den niedrigsten Wert weist diese Stockwerksinstallation in der 22. Kalenderwoche mit 0 KBE/ml, den Höchstwert in der 19. Kalenderwoche mit 12.800 KBE/ml auf. Gegensätzlich dazu verhält sich die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3), deren Mittelwert bei 0,2 KBE/ml liegt. Vergleichbar verhält sich die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) mit einem Mittelwert von 10,4 KBE/ml, wobei in der 19. Kalenderwoche ein Höchstwert von 100 KBE/ml erreicht wird. Die Konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) weist schwankende Werte im Bereich 0-300 KBE/ml auf und einen Höchstwert von 300 KBE/ml

in der 16. Kalenderwoche, gemittelt jedoch bei 107 KBE/ml. In der 22. Kalenderwoche sind in keiner Stockwerksinstallation Verkeimungen durch koloniebildende Einheiten nachzuweisen.

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung: Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (11650,05 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk1 (107 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (10,4 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (0,2 KBE/ml)

3.1.4 Koloniezahl bei 36°C auf DEV-Agar

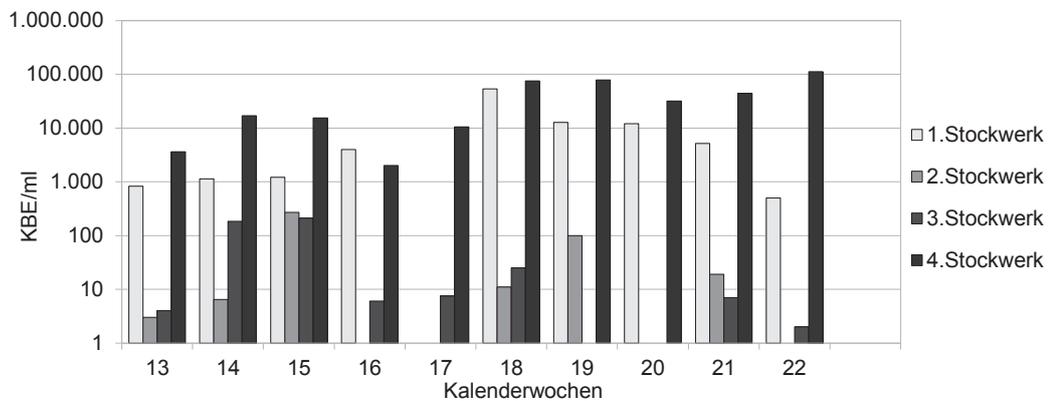


Abb. 13: Ergebnisse der Bestimmung auf DEV-Agar bei 36°C (KBE/ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die Bestimmung der Wasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen auf koloniebildende Einheiten pro ml (KBE/ml) auf DEV-Agar bei 36°C weist signifikant erhöhte Werte in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen auf (Stockwerk 4). Die Werte sind um das 30.000fache höher als die der anderen Stockwerksinstallationen. In der 13.bis 17.Kalenderwoche liegen diese Werte zwischen 2.000-17.000 KBE/ml und in der 18. und 19.Kalenderwoche bei 75.000 und 7.900 KBE/ml. Anschließend gehen die Werte in der 20.und 21.Kalenderwoche auf die Hälfte zurück und erreichen in der 22.Kalenderwoche ihren Höchstwert mit 112.000 KBE/ml. Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) weist ebenfalls erhöhte Werte auf, sie erreicht in der 17.Kalenderwoche 0 KBE/ml und in der 18.Kalenderwoche ihren Höchstwert mit 53.600 KBE/ml und anschließend gehen die Werte in der 22.Kalenderwoche auf konstant 500 KBE/ml zurück.

Die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) und die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) verhalten sich ähnlich.

Zu Beginn weisen sie erhöhte Werte auf, die bei einem Mittelwert von 41 KBE/ml und 44,8 KBE/ml liegen und sich bis zur 22.Kalenderwoche auf 0 KBE/ml und 2 KBE/ml rückläufig entwickeln.

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (39113,6 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk1 (9123 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (44,8 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (41 KBE/ml)

3.1.5 Koloniezahl auf R2A-Agar

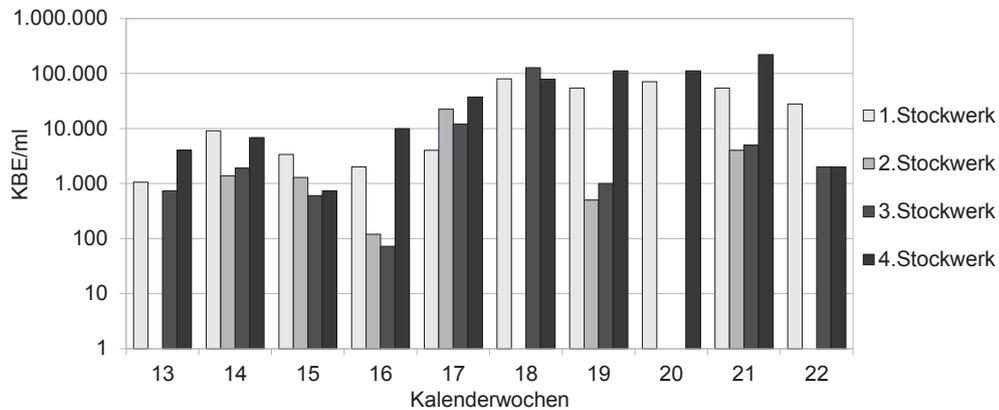


Abb. 14: Ergebnisse der Bestimmung auf R2A-Agar (KBE/ml) in Warmwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Warmwasserentnahmestellen TWW 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14, 15, 17, 19 und 21 Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die Bestimmung der Wasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen auf koloniebildende Einheiten pro ml (KBE/ml) auf R2A ergibt einen Höchstwert mit 58.412 KBE/ml in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4). Die Werte steigen bis zur 21. Kalenderwoche auf 220.000 KBE/ml und sinken in der 22. Kalenderwoche auf 2.000 KBE/ml. Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) weist erhöhte Verkeimungen in jeder Woche auf. In der 18. Kalenderwoche erreichen die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) und die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) ihre Höchstwerte. Demgegenüber weist die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) in dieser Woche keine Verkeimung auf. Ihren Höchstwert erreicht sie in der 17. Kalenderwoche. Des Weiteren weist sie in der 13. Kalenderwoche sowie in der 22. Kalenderwoche keine Verkeimungen auf.

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (58411,5 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (30699,6 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (15131,2 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (2979,4 KBE/ml)

3.2 Auswertung der Kaltwasserproben

Im Folgenden werden die Ergebnisse der jeweiligen Parameter/Indikatoren (siehe Abschnitt 2.5.2) über den gemessenen Zeitraum dargestellt. Anschließend werden die Auswertungen als Box-and-Whisker Plots und Mittelwerten gegenübergestellt. In diesen Darstellungen nimmt die experimentelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 4) eine Sonderstellung ein. Sie wird mit der konventionellen Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) gesondert verglichen.

3.2.1 Luminometrische Bestimmung

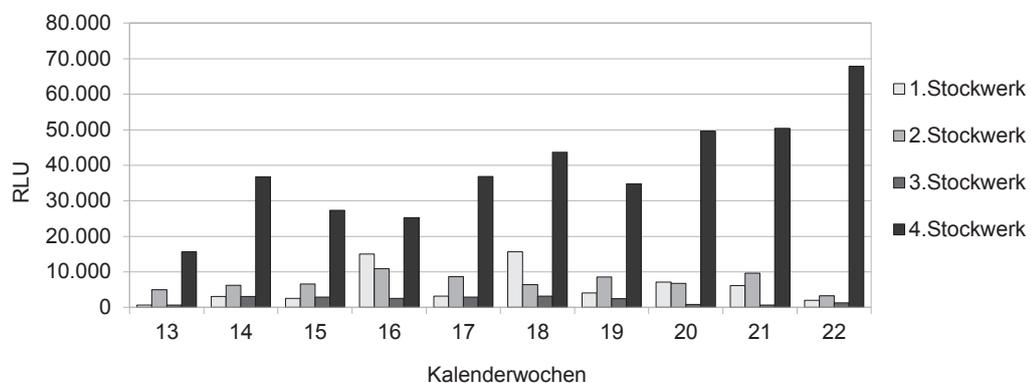


Abb. 15: Ergebnisse der Bestimmung der ATP Biomasse (RLU)) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Wert einer Messung pro Woche

Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) sowie die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) und die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) verhalten sich relativ konstant. Die Mittelwerte dieser Stockwerksinstallationen liegen zwischen 2.000 und 7.200 RLU, wobei die Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4) mit ihrem Wert von 38.829 RLU die anderen Stockwerksinstallationen weit übersteigt.

Der niedrigste Wert dieser Stockwerksinstallation ist mit 15.689 RLU in der 13. Kalenderwoche vorzufinden, der Höchstwert von 67.842 RLU in der 22. Kalenderwoche. Somit liegt ein Anstieg auf das 4,3-fache vor.

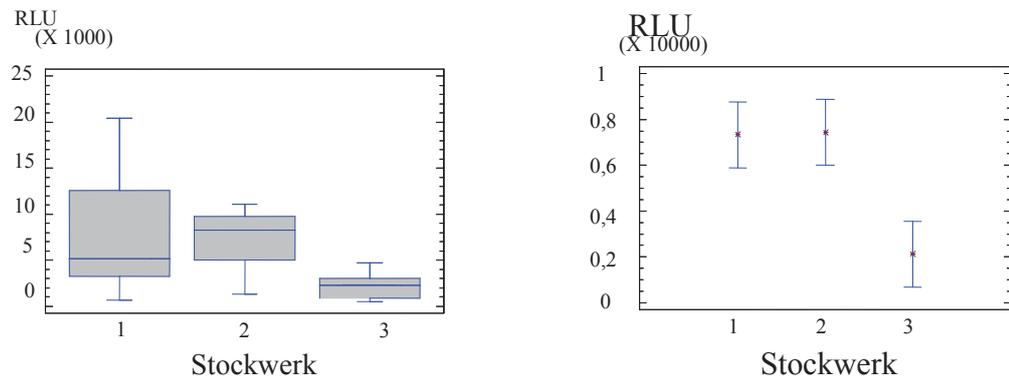


Abb. 16: Statistischer Vergleich der Gehalte an ATP-Biomasse im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in RLUx1000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in RLUx10.000

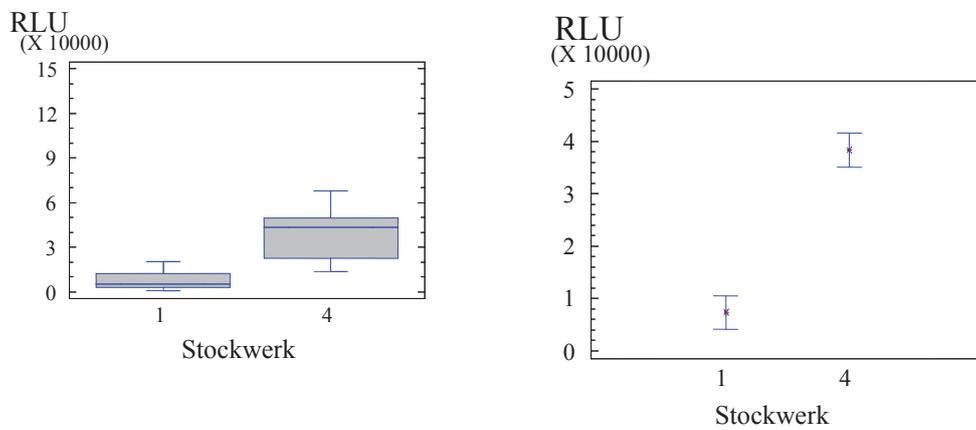


Abb. 17: Statistischer Vergleich der Gehalte an ATP-Biomasse im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in RLUx10.000

Der Vergleich der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen.

Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (38829 RLU)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (7197,8 RLU)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk1 (5964,4 RLU)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (2048,9 RLU)

3.2.2 *Pseudomonas aeruginosa*

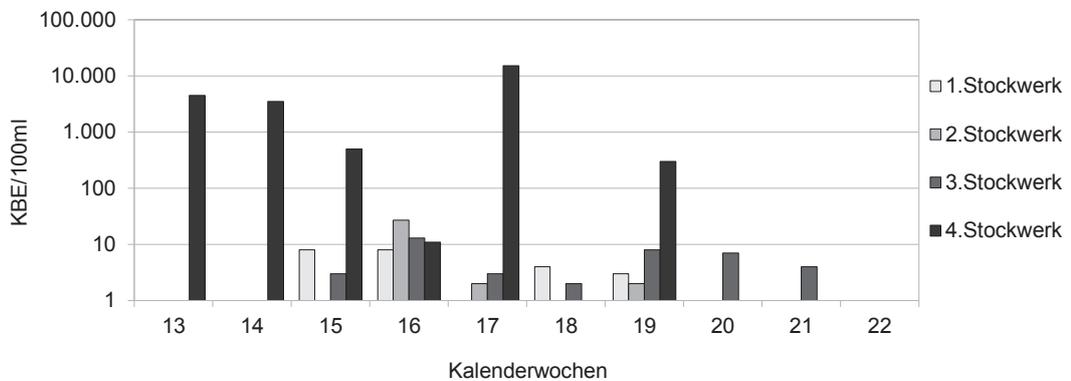


Abb. 18: Ergebnisse der Bestimmung auf *Pseudomonas aeruginosa* (KBE/100ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21. Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Ein Nachweis auf *Pseudomonas aeruginosa* in der konventionellen Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) ist nur in der 15., 16., 18. und 19. Kalenderwoche festzustellen, wobei der Mittelwert bei 2,4 KBE/100ml liegt. Im Kaltwasser der Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) lässt sich ab der 15. Kalenderwoche *Pseudomonas aeruginosa* konstant in geringen Konzentrationen nachweisen.

Die Werte des Kaltwassers der Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) verlaufen überwiegend niedrig und gleichbleibend bis gar nicht nachweisbar, ausgenommen der Höchstwert von 27 KBE/100ml in der 16. Kalenderwoche. Auffällig ist, dass in der 16. Kalenderwoche alle Stockwerksinstallationen erhöhte Werte aufzeigen.

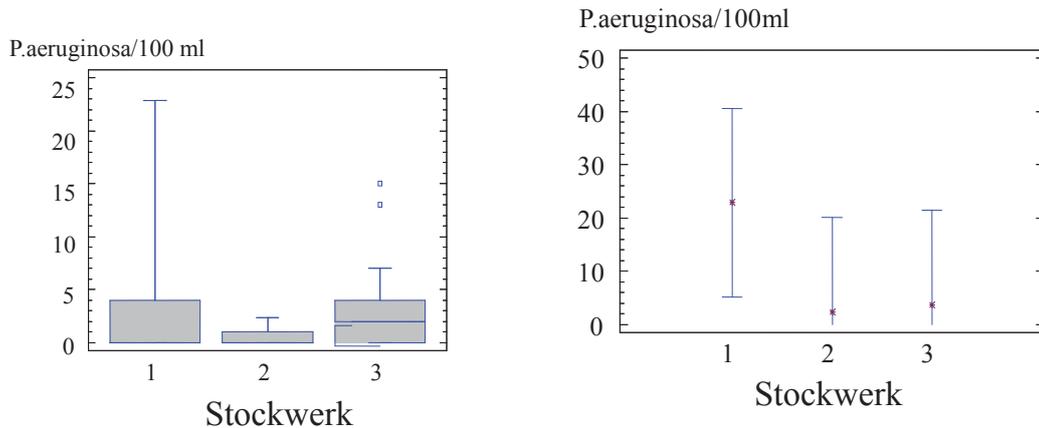


Abb. 19: Statistischer Vergleich des Gehaltes an *Pseudomonas aeruginosa* im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa*/100ml

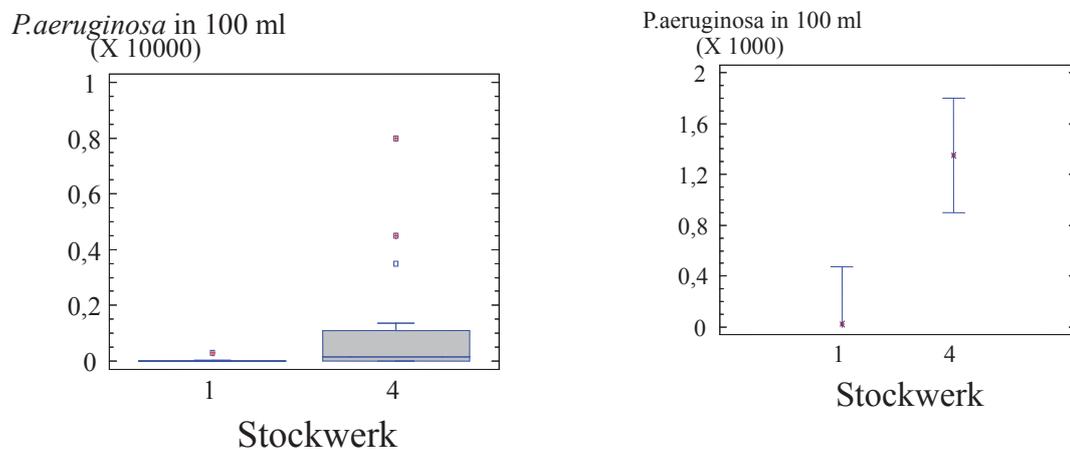


Abb. 20: Statistischer Vergleich des Gehaltes an *Pseudomonas aeruginosa* im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa* 100ml x 10.000. (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE *Pseudomonas aeruginosa* 100ml x 1000 (rechts)

Die Analyse der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4 (2401,1 KBE/100ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (4,1 KBE/100ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (3,2 KBE/100ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (2,4 KBE/100ml)

3.2.3 Koloniezahl bei 22°C auf DEV-Agar

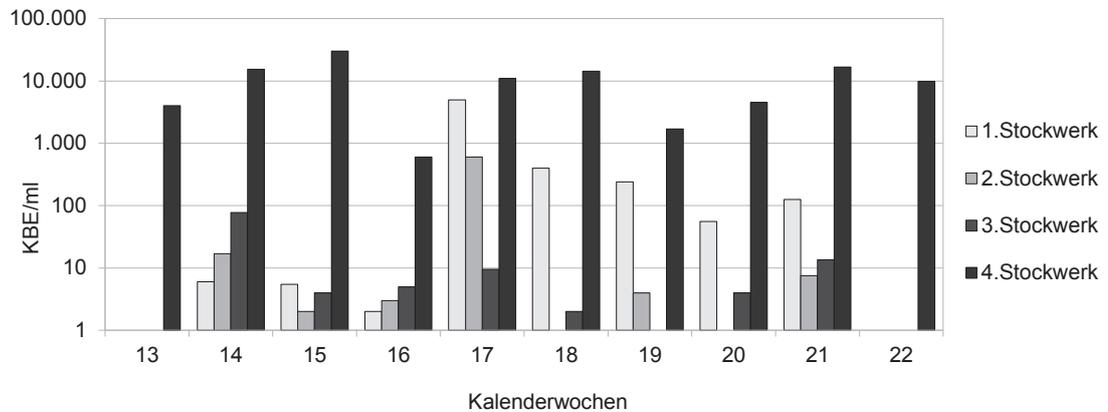


Abb. 21: Ergebnisse der Bestimmung auf Koloniezahl bei 22°C (KBE/ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die Bestimmung der Wasserproben aus den Kaltwasserentnahmestellen auf koloniebildende Einheiten pro ml (KBE/ml) auf DEV-Agar bei 22°C ergibt die folgende Auswertung: Die Stockwerksinstallation mit der vollständigen Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4) zeigt konstant erhöhte Werte in jeder Kalenderwoche zwischen 600-30.000KBE/ml mit einem Mittelwert von 10.830KBE/ml. Ebenfalls erhöhte Werte zeigt die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1), welche zu Beginn der Untersuchung Werte zwischen 2-6KBE/ml und in der 17.Kalenderwoche einen Höchstwert von 4982KBE/ml erreicht. In den Kalenderwochen 18 bis 21 sinken die Werte, bleiben dennoch im Bereich von 56-400KBE/ml und sind damit erhöht. In der 22.Kalenderwoche sind 0KBE/ml nachzuweisen, mit Ausnahme des Stockwerk 4. Auffällig gestaltet sich die 17.Kalenderwoche, da hier in allen Stockwerksinstallationen erhöhte Werte gemessen werden.

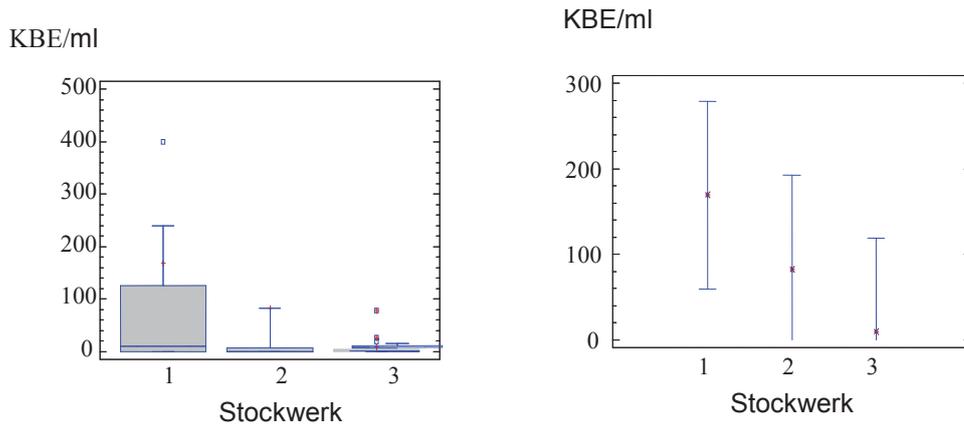


Abb. 22: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 22°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in KBE/ml.

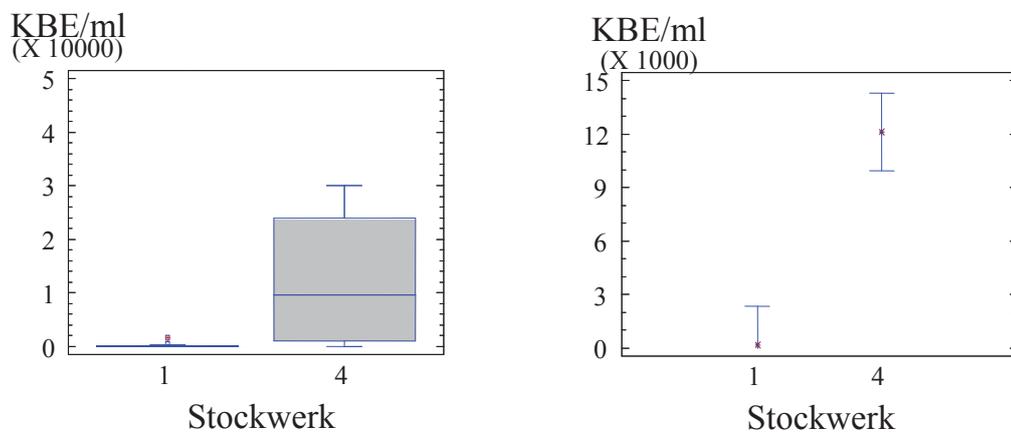


Abb. 23: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 22°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links) Angaben in KBE/mlx10.000, arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in KBE/ml x1000

Die Analyse der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger Entleerung in Stockwerk 4 (10830 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (581,77 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (63,35 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (11,7 KBE/ml)

3.2.4 Koloniezahl bei 36°C auf DEV-Agar

Die Kaltwasserproben aus der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Rohrleitungen (Stockwerk 4) weisen signifikant erhöhte Werte auf. Diese befinden sich zwischen 1.000-96.000 KBE/ml, wobei der Mittelwert bei 22.115 KBE/ml liegt. Den niedrigsten Wert weisen sie in der 16. Kalenderwoche mit 170 KBE/ml auf. Der Höchstwert beläuft sich in der 22. Kalenderwoche auf 96.000 KBE/ml. Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) weist schwankende Werte im Bereich zwischen 7-1.700 KBE/ml, wobei in der 21. Kalenderwoche ein Höchstwert von 2.350 KBE/ml erreicht wird.

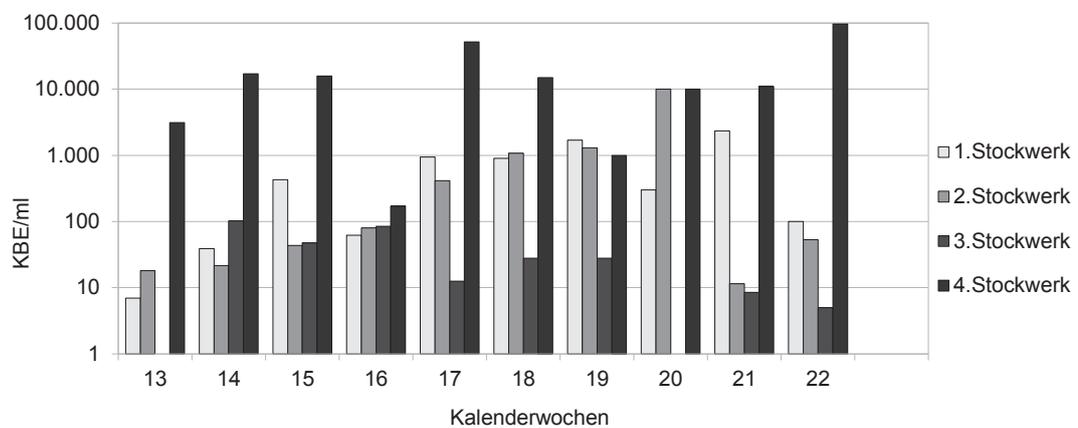


Abb. 24: Ergebnisse der Bestimmung der Koloniezahl bei 36°C (KBE/ml) in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestelle TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 22. Kalenderwoche, sonst Werte aus einer Messung pro Woche

Die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) weist von der 13. bis 19. Kalenderwoche schwankende Werte auf, welche ihren Höchstwert in der 20. Kalenderwoche mit 10.000 KBE/ml erreichen. Bemerkenswert ist das Sinken der Werte in der 21. Kalenderwoche auf den niedrigsten Wert mit 11,5 KBE/ml. Die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) weist von 14. bis 19. Kalenderwoche erhöhte Werte auf, die sich zwischen 12,5-102,5 KBE/ml liegen. Ab der 20. Kalenderwoche ist ein Rückgang der Werte auf 0-8,5 KBE/ml feststellbar.

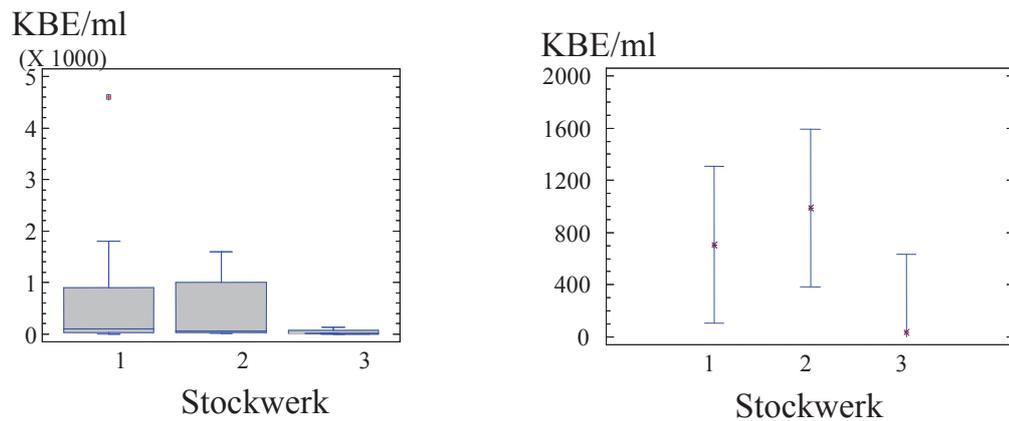


Abb. 25: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 36°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE x 1000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE/ml (rechts)

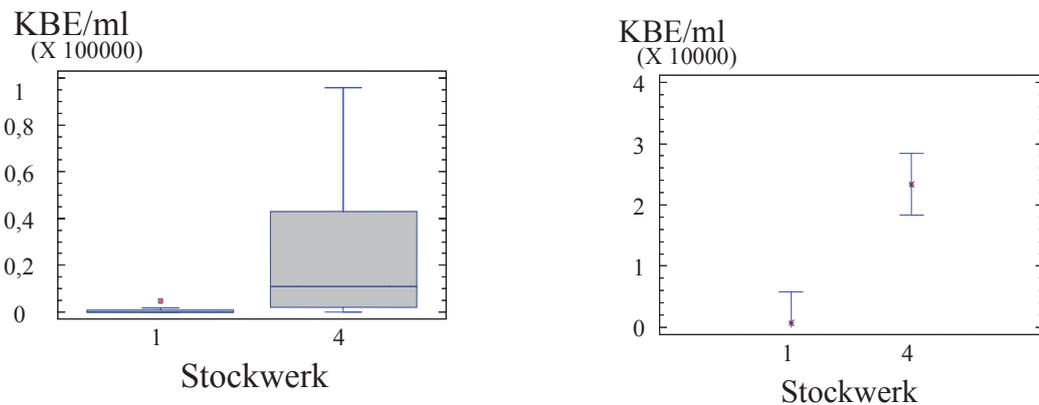


Abb. 26: Statistischer Vergleich der Koloniezahl bei 36°C im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots in KBE/ml x 100.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen in KBE/ml x 10.000 (rechts)

Die Analyse der Mittelwerte lässt einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen.

Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung in Stockwerk 4
(22114,6 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2
(1302,35 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (683,2 KBE/ml)

Stockwerksinstallation Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender
Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (31,7 KBE/ml)

3.2.6 Koloniezahl auf R2A-Agar

Die Stockwerksinstallation mit einer vollständigen Entleerung der Wasserleitungen (Stockwerk 4) weist hohe Werte auf, die im Mittelwert bei 71.845 KBE/ml liegen. Dabei steigen die Werte konstant an, bis sie in der 21. und 22. Kalenderwoche mit 293.000 und 216.000 KBE/ml ihren Höchstwert erreichen.

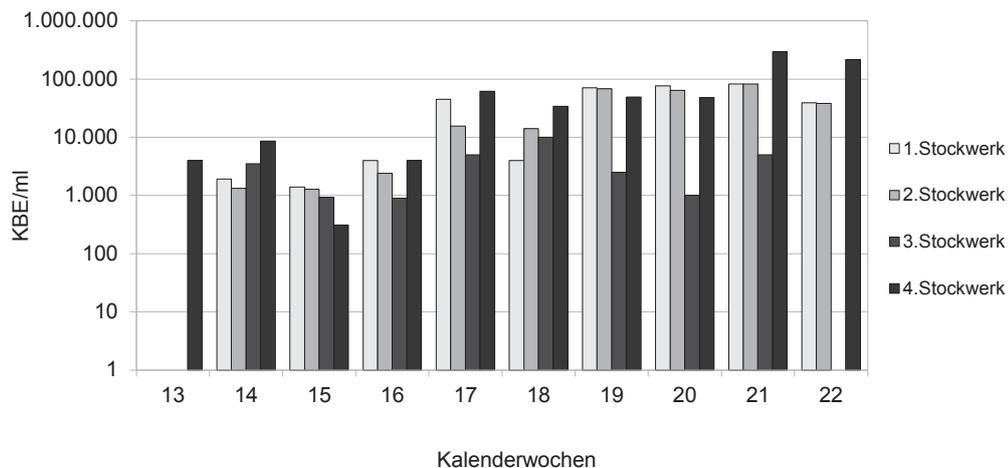


Abb. 27: Ergebnisse der Bestimmung Koloniezahl auf R2A-Agar in KBE/ml in Kaltwasserproben aus den vier Stockwerksinstallationen während der Untersuchungsperiode Probenahmestellen: Kaltwasserentnahmestellen TWK 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 Mittelwerte aus den Werten von je zwei Messungen in der 14., 15., 17., 19. und 21.Kalenderwoche, sonst Werte einer Messung pro Woche

Die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) und die Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2) verhalten sich bei den Messungen ähnlich. In der 13.Kalenderwoche ist keine Verkeimung nachzuweisen, jedoch steigen die Werte bis zur 21.Kalenderwoche auf einen Höchstwert von 82.000 KBE/ml und nehmen dann in der 22.Kalenderwoche auf fast die Hälfte ab. Im Mittelwert liegen sie bei ca. 30.000 KBE/ml. Bei der Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) zeigen sich um das 10fache niedrigere Werte.

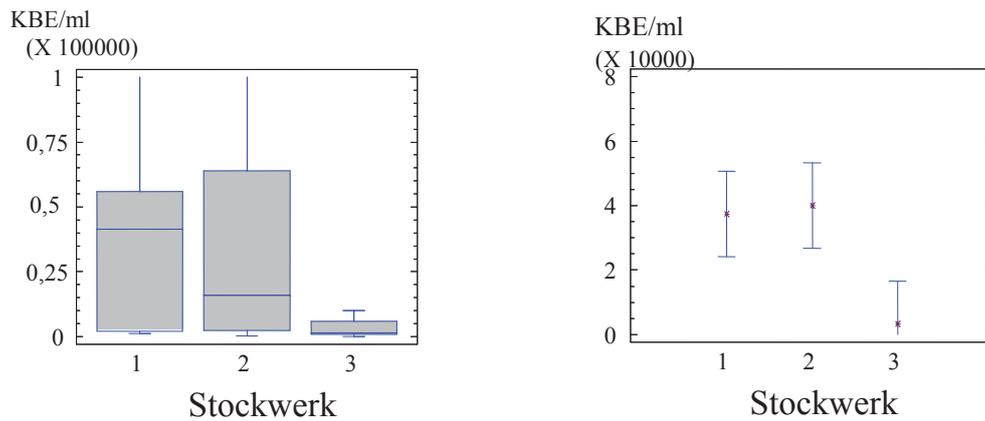


Abb. 28: Statistischer Vergleich der Koloniezahl auf R2A-Agar im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE/ml x100.000(links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE/ml x10.000 (rechts)

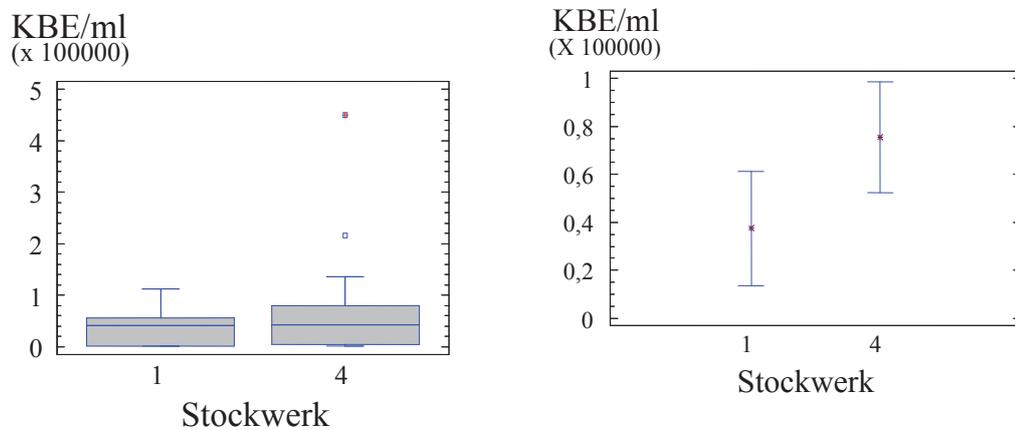


Abb. 29: Statistischer Vergleich der Koloniezahl auf R2A-Agar im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts) Angaben in KBE/ml x100.000

Die Mittelwerte lassen einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit vollständiger Entleerung in Stockwerk 4 (71845,05 KBE/ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (32381,2 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (28652,95 KBE/ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (2883,9 KBE/ml)

3.2.7 Legionellen

Die Auswertungen bezüglich der Legionellen ergeben signifikant erhöhte Werte in der Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2). Diese sind geringfügig höher als bei der Stockwerksinstallation mit vollständiger Entleerung der Rohrleitung (Stockwerk 4). Die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) weist niedrige Wert auf, aber etwas höher als die Stockwerksinstallation ohne zirkulierende Warmwasserversorgung (Stockwerk 1) .

Die Mittelwerte lassen einen deutlichen Einfluss der Stockwerksinstallation und ihrer Betriebsweise auf die Verkeimung erkennen. Hierbei ergibt sich folgende Staffelung, beginnend mit der stärksten Verkeimung:

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (3625 Legionella/100ml)

Stockwerksinstallation mit vollständiger Entleerung in Stockwerk 4 (3188,5 Legionella/100ml)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (1945,6 Legionella/100ml)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (1675 Legionella/100ml)

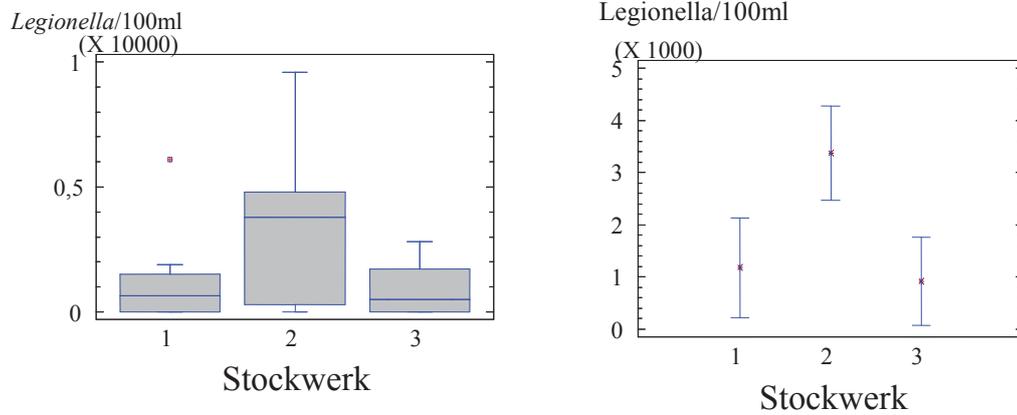


Abb. 30: Statistischer Vergleich der Legionellen im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13-22) Box-and-Whisker Plots Angaben in KBE Legionellen/100ml x10.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in KBE Legionellen/100ml x1000(rechts)

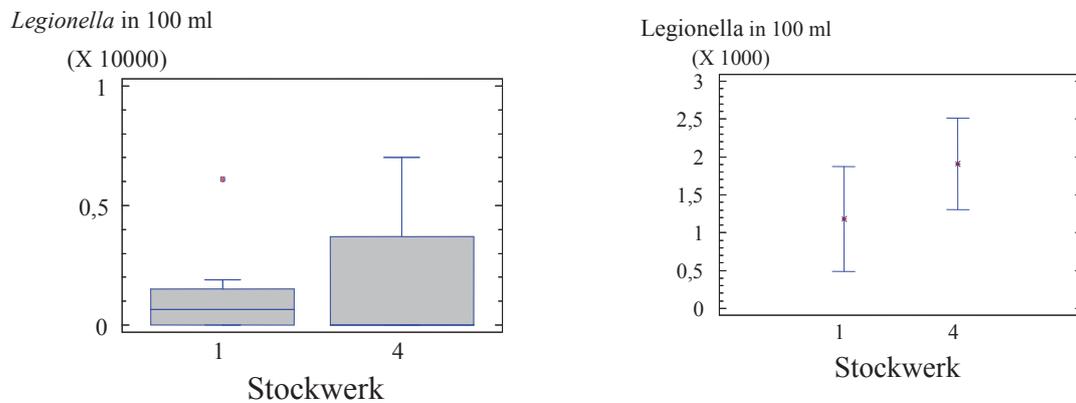


Abb. 31: Statistischer Vergleich der Legionellen im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots Angaben in Legionellen/100ml x10.000 (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen Angaben in Legionellen/100ml x1000 (rechts)

3.2.7 Entnahmetemperatur Kaltwasser

Die dokumentierten Entnahmetemperaturen der Kaltwasserproben zeigen hohe Werte in der Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Wasserleitung (Stockwerk 4) und der Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 2). Niedrige Entnahmetemperaturen weisen die konventionelle Stockwerksinstallation (Stockwerk 1) und die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung (Stockwerk 3) auf.

Die Analyse der Mittelwerte und Box und Whisker Plots ergibt folgende Staffelung, beginnend mit der höchsten Entnahmetemperatur:

Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 2 (26 °C)

Stockwerksinstallation mit vollständiger Entleerung in Stockwerk 4 (24 °C)

Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler und zirkulierender Warmwasserversorgung in Stockwerk 3 (23 °C)

Konventionelle Stockwerksinstallation in Stockwerk 1 (22,9 °C)

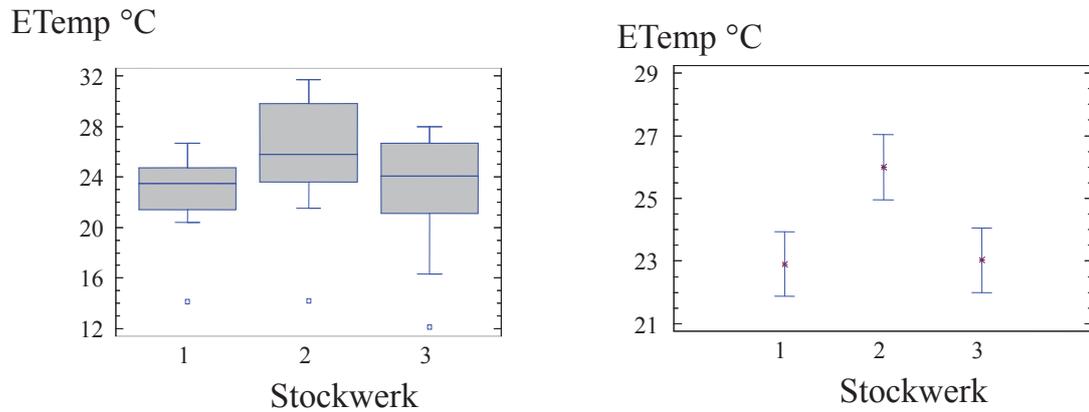


Abb. 32: Statistischer Vergleich der Entnahmetemperatur (ETemp) im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 bis 3) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13 bis 22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in Grad Celsius

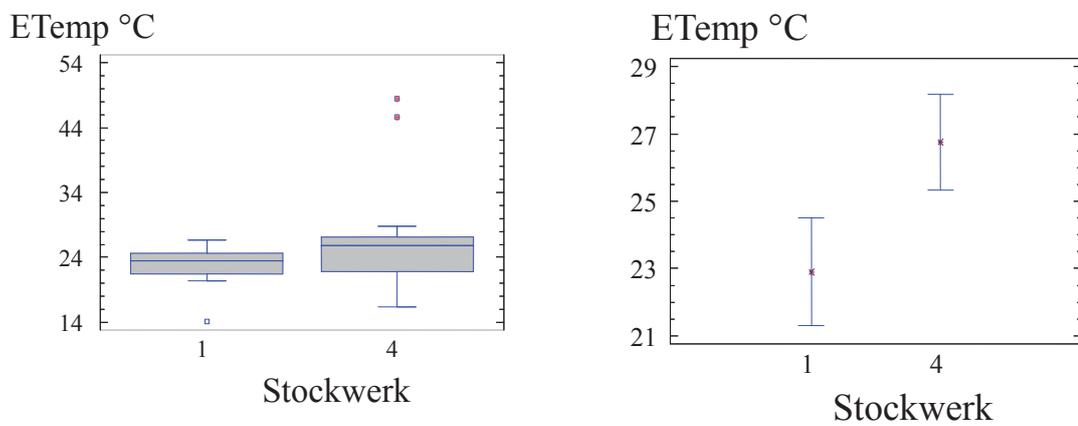


Abb. 33: Statistischer Vergleich der Entnahmetemperatur (ETemp) im Kaltwasser (Stockwerksinstallationen 1 und 4) während der gesamten Untersuchungsperiode (Kalenderwoche 13-22) Box-and-Whisker Plots (links), arithmetische Mittelwerte mit Standardabweichungen (rechts). Angaben in Grad Celsius

4 Diskussion

Die Bildung von Biofilmen ist in Trinkwässern aus Hausinstallationssystemen allgegenwärtig und im Prinzip unvermeidbar. Problematisch erweist sich jedoch der Biofilm, wenn er durch Wachstumsfaktoren wie

- Stagnation von Trinkwasser,
- raue Oberflächen und verminderte Fließgeschwindigkeit,
- ausreichendes Nährstoffangebot,
- Temperaturerhöhungen im Kaltwasser,
- Abkühlung von Warmwasser sowie durch
- Aufnahme von Substanzen aus Rohren und anderen Anlagen der Trinkwasserinstallation im Wachstum

stark gefördert wird und dadurch vielfältige Qualitätsverminderungen des Trinkwassers verursachen kann. Besonders unerwünscht sind Qualitätsbeeinträchtigungen des Trinkwassers durch Bildung erhöhter Biomasse und die Begünstigung des Wachstums von Krankheitserregern. Aufgrund der immer komplexer werdenden wasserführenden Hausinstallationssysteme erfordert die Planung, Betriebsweise und Instandhaltung dieser Systeme eine wachsende Sorgfalt. Nicht bestimmungsgemäßer Betrieb oder eine nicht sachgemäße Planung kann Ursache für mikrobielle Probleme durch *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* und heterotrophe Bakterien sein.

Als äußerst problematisch erweist sich zudem die Kombination bzw. Wechselwirkung aus Stagnation und Temperatur, wodurch eine Biofilmbildung nochmals verstärkt und das Wachstum wasserbürtiger Krankheitserreger wie Legionellen auch im Kaltwasser gefördert werden kann. Legionellen wurden zwar bei Temperaturen von 5,7°C bis 63°C nachgewiesen [65], vermehren sich jedoch nur bei Temperaturen zwischen 30°C und 43°C [91]. Die optimale Vermehrungstemperatur für Legionellen liegt zwischen 35°C und 45°C[31].

Im Zusammenhang mit Warmwassersystemen haben Legionellen immer eine bedeutende Rolle als Infektionserreger gespielt. In einer Studie veröffentlichten Lode et al. bereits 1984 eine Untersuchung über die Erkrankung von 110 intensivmedizinischen Patienten, von denen 15 an einer Legionellen-Pneumonie

erkrankt waren. In einer Reha-Klinik in Nordbayern kam es 1990 zu einer Epidemie mit 10 Krankheitsfällen und 3 Todesfällen durch einen aggressiven Legionellenstamm im Trinkwasser.

Die Kenntnis über den Zusammenhang zwischen Warmwassersystemen und Infektionen durch Legionellen haben zur Etablierung etlicher technischer Normen und Empfehlungen des Umweltbundesamtes zur Verminderung des Wachstums von Legionellen in Trinkwassersystemen, insbesondere in Warmwassersystemen, sowie zur Aufnahme der Legionellen als Parameter in die Trinkwasserverordnung 2001 geführt.

Von Bedeutung sind insbesondere die DIN 1988[20], die VDI-Richtlinie 6023[100], das DVGW-Arbeitsblatt W 551[28], das DVGW-Arbeitsblatt W 553[30], die Empfehlung des Umweltbundesamtes und die Trinkwasserverordnung 2001[92] sowie Internationale Regelungen der WHO[104], ASHRAE (USA)[3], HSC (England)[48], NHMRC (Australien)[75].

Tabelle 8

Bewertung des Nachweises von Legionellen im Trinkwasser auf Grundlage der Empfehlung des Umweltbundesamt zu Maßnahmen beim Auftreten von Legionellen in Hausinstallationen[93]

Trinkwasseranlagen	Bewertungsgröße Legionella (KBE/100 ml)	Maßnahmen
In Hochrisikobereichen- Krankenhäuser und medizinische Pflegeeinrichtungen	Zielwert: 0 Gefahrenwert: ≥ 1	Nutzungseinschränkungen oder endständige Filtration
In Normalbereichen- Krankenhäuser und medizinische Pflegeeinrichtungen	Zielwert: <100** Prüfwert: >100 Maßnahmewert: >1000 Gefahrenwert: >10.000	Keine Umgehende Sanierungsmaßnahmen Sofortige Gefahrenabwehr und Meldung Gesund- heitsamt
In übrigen Bereichen	Zielwert: <100 Prüfwert: >100 Maßnahmewert: >1000 Gefahrenwert: >10.000	Keine Sanierungsmaßnahmen Sofortige Gefahrenabwehr (Meldung Gesundheitsamt empfohlen)

** entspricht dem „Technischen Maßnahmewert (<100/100ml) der TrinkwV 2001 zuletzt geändert am 3.5.2011[90]

Tritt eine Kontamination von Trinkwassersystemen warm durch Legionellen auf, ist davon auszugehen, dass die allgemein anerkannten Regeln der Technik (a.a.R.d.T.) bei Planung, Bau und Betrieb nicht ausreichend beachtet und umgesetzt worden sind.

Trotz aller Vorgaben ist und bleibt eine Kontamination durch Legionellen weiterhin präsent, aktuelle Fälle bestätigen dies: Nach Neubezug in einer Klinik in Brandenburg kam es 2002/03 zu mindestens zwei nosokomialen Todesfällen. Zu einem weiteren nosokomialen Legionellenausbruch mit 8 Fällen und einem Todesfall kam es 2006 in einem Krankenhaus in Nordrhein-Westfalen. Dort konnten Legionellenkonzentrationen von 1.000 KBE/100ml im Warmwasser und 100 KBE/100ml im Kaltwasser nachgewiesen werden[34]. Diese Legionellenkonzentrationen erfordern nach der Empfehlung des Umweltbundesamt zu Maßnahmen beim Auftreten von Legionellen in Hausinstallationen Tabelle 8 umgehende Sanierungsmaßnahmen.

Insbesondere Großgebäude bergen aufgrund ihrer langen komplexen Leitungen und oft großen Warmwasserspeicher eine besondere Gefahr für eine Stagnation und Kontamination durch Mikroorganismen, insbesondere Legionellen. Aktuelle Untersuchungen zeigten jedoch, dass auch bei 1- bis 2-Familienhäusern die Besiedlung des Trinkwassers Warm mit Legionellen erheblich sein kann. Die Ergebnisse wiesen vergleichbare bis höhere Legionellenkontaminationen auf gegenüber Großgebäuden. Mathys et al. weisen wachstumsfördernde Temperaturniveaus (<55°C im Warmwasser) als primäre Ursache nach[70].

In letzter Zeit wird eine Vermehrung von Legionellen jedoch auch zunehmend in Kaltwassersystemen beschrieben, für die nur unzureichende Regelungen im technischen Regelwerk existieren. Im Klinikum Frankfurt an der Oder (2003) kam es durch kontaminiertes Warm- und Kaltwasser zum Tod von zwei Patienten durch Legionellen. Johansson et al.(2006) beschreiben den Fall eines immunsupprimierten Kleinkindes, welches an den Folgen einer Legionelleninfektion in einer Kinderklinik starb[54]. Der dafür verantwortliche Legionellentyp konnte nur im Kaltwasser der Kinderklinik nachgewiesen werden. Ein weiterer Fall wird bei Hoebe et al.[51] beschrieben, die eine Legionellen-Pneumonie mit zwei Todesfällen in einer niederländischen Reha-Klinik

beschreibt. Als Ursache hierfür wird eine Kontamination des Kaltwassersystems angesehen. Die Autoren führen das Wachstum von Legionellen auf eine Temperaturerhöhung des Kaltwassers durch Wärmeübergang aus dem Warmwassersystem und lange Stagnationszeiten während des betriebsfreien Wochenendes zurück. In einer weiteren Studie von Arvand et al. veröffentlicht im April 2011 wurden Trinkwasserinstallationsanlagen Kalt und Warm auf Kontamination von *Legionella* untersucht. Die Ergebnisse zeigten eine signifikant höhere Kontamination im Kaltwasser als im Warmwasser. Die Autoren vermuten Ursachen wie; Warmwasserdesinfektion, Erwärmung der Kaltwasserleitung durch das Warmwasser oder bedingt durch gemeinsame Verlegung mit der Warmwasserleitung[2].

Die Problematik der Legionellen im Kaltwasser macht deutlich, wie bedeutend und notwendig die Entwicklung neuer technischer Lösungsansätze, bei der Konstruktion und Betriebsweise von Trinkwasserinstallationen zur Prävention gegen das Wachstum durch von Krankheitserreger auch im Kaltwasser ist.

In den hier vorgestellten Untersuchungen werden vier unterschiedliche Konstruktionsprinzipien von Stockwerksinstallationen, von denen zwei völlig neu entwickelt worden sind, auf ihren Einfluss auf das Wachstum von Mikroorganismen im Trinkwasser kalt analysiert. Die Bewertung erfolgt auf der Basis eines Vergleiches mit der heute noch üblichen technischen Ausführung einer Stockwerksinstallation (Stockwerk 1).

Tabelle 9

Einfluss unterschiedlicher baulicher Ausführungen von Trinkwasserinstallationen (kalt) auf die mikrobielle Besiedlung von Kaltwasser im Vergleich zu einer Standard-Trinkwasser-Stockwerksinstallation ohne Warmwasserzirkulation

Parameter	Stockwerks- installation mit zirkulierender Warmwasser- versorgung (Standard- Installation)	Stockwerks- installation mit zirkulierender Warmwasser- versorgung und Venturi- Strömungsteiler im Kaltwasser (Neuentwicklung)	Stockwerks- installation mit vollständiger periodische Entleerung (Neuentwicklung)
Kaltwassertemperatur	+++	0	+++
KBE bei 22 C auf DEV- Agar	--	---	+++
KBE bei 36 C auf DEV- Agar	++	--	+++
KBE auf R2A-Agar	-	---	+++
ATP-Gehalt	+	-	+++
<i>Pseudomonas</i> <i>aeruginosa</i>	0	0	+++
Legionellen	++	---	+

0 = kein Unterschied

- = leichte Verringerung

-- = mäßige Verringerung

--- = starke Verringerung

+ = leichte Erhöhung

++ =mäßige Erhöhung

+++ = starke Erhöhung

Das Wachstumsverhalten von Biofilm und Krankheitserregern wird auch durch die Betriebsweise beeinflusst. So fördern übertriebene Sparmaßnahmen beim Wasserverbrauch, die Abwesenheit des Verbrauchers (Urlaub/Wochenende), ein nicht bestimmungsgemäßer Betrieb, aber auch eine Überdimensionierung von Stockwerksinstallationen den Prozess der Stagnation.

Bei heute üblicherweise vorhandenen konventionellen Stockwerksinstallationen erfolgt ein Wasseraustausch jedoch allein durch eine Wasserentnahme durch den Verbraucher, was in der Praxis zu erheblichen Stagnationen von Trinkwasser führen kann. Wünschenswert wäre eine Betriebsweise, bei der der Wasseraustausch nicht allein durch das Verbraucherverhalten, sondern weitestgehend automatisiert und kontinuierlich erfolgt. Eine solche Betriebsweise könnte insbesondere in Krankenhäusern, Arztpraxen oder Hotels gewährleisten, dass auch bei temporärer Nichtbelegung von Räumen eine Stagnation des Trinkwassers verhindert wird[106]

Das Auftreten „lauwarmer“ Temperaturbereiche (25°C-ca.45°C) erweist sich zunehmend als Problem innerhalb einer Hausinstallation, sowohl im Trinkwasser warm wie im Trinkwasser kalt. Die Vermeidung dieser Wachstumstemperaturen stellt zunehmend höhere Anforderungen auch an die Konstruktion und Betriebsweise von Kaltwassersystemen. Daher muss bei der Verlegung von Kaltwasserleitungen verstärkt darauf geachtet werden, diese vor Wärmeübertragungen zu schützen (zum Beispiel durch getrennte Kanalführung, Dämmung, etc.), insbesondere bei zirkulierenden Warmwassersystemen und hohen Warmwassertemperaturen[91][99]. Die Problematik der Warmwasserzirkulation spiegelt sich in den Ergebnissen wieder.

Die Auswertung zeigt, wie zu erwarten, dass die Zirkulation von Warmwasser in der Stockwerksinstallation (Stockwerk 2) durch Wärmeübergang zu einer deutlichen (3°C) Temperaturerhöhung des Kaltwassers führt. Im Kaltwasser dieser heute weit verbreiteten Installationsart wird die höchste Legionellenkonzentration mit 3.400 KBE/100ml erreicht, sondern es werden auch erhöhte Werte bei der Koloniezahl DEV 36°C und ATP gemessen. Der Maßnahmewert (UBA, DVGW) wird hier deutlich überschritten.

Die heute aus Komfortgründen übliche Verwendung von Warmwasserzirkulationssystemen stellt jedoch höhere Anforderungen an eine Wärmedämmung, da - je nach Betriebstemperatur, Ausführung des Warmwassersystems und Verbrauchsverhalten - ein Wärmeübergang auf das Kaltwasser begünstigt werden kann. Ferner führen die durch den Klimawandel vermehrt auftretenden hohen Temperaturen in den Sommermonaten zu einer Erhöhung der Grundwassertemperaturen und damit der Temperaturen des kommunalen Trinkwassers, wodurch eine Temperaturhaltung von 20°C /25°C weiter erschwert wird.

Von den neuen Konstruktionsprinzipien zeigt die Stockwerksinstallation mit vollständiger regelmäßiger Entleerung von Warm- und Kaltwasserleitungen eine signifikant höhere mikrobielle Besiedlung. Die Kontamination mit Legionellen im Kaltwasser liegt bei 1900 KBE/100ml. Extrem erhöht sind die Besiedlungen mit *Pseudomonas aeruginosa* sowie die Zahl Kolonie bildenden Einheiten (KBE). Es ist zu vermuten, dass die regelmäßige vollständige Entleerung und Wiederbefüllung der Trinkwasserinstallation durch wiederkehrende Schaffung eines Dreiphasensystems Wasser-Luft-Werkstoff das Wachstum von Mikroorganismen / Biofilm stark begünstigt. Des Weiteren können offensichtlich die entleerten Wasserleitungen sich schneller auf Umgebungstemperatur erwärmen. Aufgrund der starken und inakzeptablen Erhöhung der mikrobiellen Besiedlung im Kalt-, aber auch im Warmwasser muss diese Betriebsweise als hygienisch sehr negativ beurteilt werden. Der Einsatz solcher Systeme in Trinkwasserinstallationen erscheint nach den hier vorliegenden Untersuchungsergebnissen als nicht zukunftssträftig.

Die Ergebnisse der Neuentwicklung mit Venturi-Strömungsteiler in der Stockwerksinstallation Kalt lassen sich wie folgt beurteilen:

Bei ansonsten gleichartiger Betriebsweise des Warmwassersystems der Stockwerkinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung kann selbst bei einer mehrtägigen Phase einer „Nichtentnahme“ durch eine neu entwickelte Bauweise einer Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler (Stockwerk 3) durch die ständig erfolgende Durchströmung eine deutliche Senkung der Kaltwassertemperatur (23°C) auf das Niveau der Stockwerksinstallation ohne zirkulierende Warmwasserversorgung (Stockwerk 1) erreicht werden.

Die ermittelte Legionellenkonzentration ist gegenüber der konventionellen Installation stark verringert.

Die Untersuchungen verdeutlichen, dass durch eine veränderte, optimierte Betriebsweise, die automatisch zu einem Austausch von Trinkwasser führt, das Hygieneniveau insbesondere bei ungünstigem (Reduzierung von Wasserverbrauch) Verbrauchsverhalten deutlich erhöht werden kann. Biomasse und die Besiedlung mit Legionellen werden signifikant reduziert. Inwieweit die verminderte Temperatur des Kaltwassers oder Austauschvorgänge (Verdünnung) oder beide dafür maßgeblich sind, kann nicht beurteilt werden

Aus den Untersuchungen kann die Empfehlung abgeleitet werden, diese Systeme verstärkt insbesondere in sensiblen Bereichen (Kliniken, Altenheime, Hotels) zu implementieren.

4.1.1 Ausblick

In dieser Arbeit konnte gezeigt werden, dass die untersuchten Stockwerksinstallationen und ihre Betriebsweisen einen signifikanten Einfluss auf die mikrobielle Besiedlung des Kaltwassersystems haben. Faktoren dafür sind Temperaturniveau und Ausmaß der Stagnation.

Die häufig in Gebäuden eingesetzte Stockwerksinstallation mit zirkulierender Warmwasserversorgung führt in Stagnationsphasen zu einer deutlich erhöhten mikrobiellen Kontamination im Kaltwassersystem, insbesondere bei Legionellen. Durch den Einsatz einer neuen Technik, die durch den Einbau spezieller Systemkomponenten (Venturi- Strömungsteiler) eine Zwangsdurchströmung des Kaltwassers auch in zeitweise ungenutzten Stockwerken gewährleistet, lassen sich diese Effekte vollständig kompensieren. Durch die Verringerung der Stagnation und die Reduzierung der Kaltwassertemperaturen kommt es hier zu einer Verringerung der Biofilmbildung und der Konzentration von Mikroorganismen. Daher ist die Stockwerksinstallation mit Venturi-Strömungsteiler in Großgebäuden, Hotels und insbesondere in Kliniken zu empfehlen. Auch unter dem Aspekt der globalen Temperaturerhöhung und dem damit verbundenen Anstieg der Grundwassertemperaturen ist diese Betriebsweise von Vorteil. Für den Verbraucher gewährleistet diese Betriebsweise eine kontinuierlich stabile Trinkwasserqualität, denn auch bei Abwesenheit (Urlaub) erfolgt eine ständige Wasserdurchströmung.

Eine extrem hohe Verkeimung hinterlässt die Stockwerksinstallation mit vollständiger periodischer Entleerung der Warm- und Kaltwasserleitungen (Stockwerk 4). Alle gemessenen Werte fallen signifikant zu hoch aus, so dass von dieser Art der Betriebsweise Abstand genommen werden muss.

Literaturverzeichnis

- [1] Allison DG (2003). The biofilm matrix. *Biofouling*, 19(2): 139-50.
- [2] Arvand M, Jungkind K, Hack A. Contamination of the cold water distribution system of health care facilities by *Legionella pneumophila*: do we know the true dimension? *Euro Surveill.*2011; 16(16): pii: 19844.
Availableonline:<http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19844>
- [3] ASHRAE (2000) Minimizing the risk of Legionellosis associated with building water systems. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. <http://www.ashrae.org>.
- [4] Auckenthaler A., Huggenberger P (2009). Pathogene Mikroorganismen im Grund- und Trinkwasser, Transport-Nachweismethoden-Wassermanagement. Birkhäuser Verlag Basel-Boston-Berlin.
- [5] Bartram J, Chartier Y, Lece J V, Pond K, Surmann-Lee S (2007). *Legionella* and the Prevention of Legionellosis- World Health Organization WHO Library Cataloguing-in Publication Data.
- [6] Beck E G., Schmidt P (1996). 6 Auflage Hygiene Umweltmedizin. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- [7] Berthelot P, Grattard F, Mahul P, Pain P, Jospe R, Venet C, Carricajo A, Aubert G, Ros A, Dumont A, Lucht F, Zeni F, Auboyer C, Bertrand J C, Pozzetto B (2001). Prospective study of nosocomial colonization and infection due to *Pseudomonas aeruginosa* in mechanically ventilated patients. *Intensive Care Med.* 27(3): 503–512.
- [8] Blanc D S*, Francioli P and Zanetti G (2007). Molecular Epidemiology of *Pseudomonas aeruginosa* in the Intensive Care Units- A. Review. *Open Microbiology Journal*; 1: 8-11.
- [9] Blanc D S, Parret T, Janin B, Raselli P, Francioli P (1997). Nosocomial infections and pseudoinfections from contaminated bronchoscopes: two-year follow up using molecular markers. *Infect Control Hosp Epidemiol* 18(2):134–6.
- [10] Blanc D S, Nahimana I, Petignat C, Wenger A, Bille J, Francioli P (2004). Faucets as a reservoir of endemic *Pseudomonas aeruginosa*

- colonization/infections in intensive care units. *Intensive care Med*; 30(10): 1964-8.
- [11] Bösenberg H, Mathys W, Junge E, Waschko-Dransmann D (1992). Sanierungsmaßnahmen beim Nachweis von Legionellen. *Gesundheitswesen*. 54(8): 420-2.
- [12] Bonten M J, Bergmans D C, Speijer H, Stobberingh EE (1999) Characteristics of polyclonal endemicity of *Pseudomonas aeruginosa* colonization in intensive care units. Implications for infection control. *Am J Respir Crit Care Med*. 160(4): 1212-9.
- [13] Buswell CM, Herlihy YM, Lawrence LM, McGuiggan JT, Marsh PD, Keevil CW and Leach SA (1998). Extended survival and persistence of *Campylobacter* spp. in water and aquatic biofilms and their detection by immunofluorescent-antibody and rRNA staining. *Appl Environ Microbiol*. 64(2):733-41.
- [14] Bundesgesundheitsblatt 11-2000- Nachweis von Legionellen in Trinkwasser und Badebeckenwasser: 911-915.
- [15] Carratala J, Gudiol F, Pallares R, Dorca J, Verdaquer R, Ariza J, Manresa F (1994). Risk factors of nosocomial *Legionella pneumophila* pneumonia. *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine* 149(3Pt 1): 625-9.
- [16] Delahaye E, Welte B, Levi Y, Leblon G, Mon (2003). An ATP-based method for monitoring the microbiological drinking water quality a distribution network; *Pergamon Water Research* 37: 3689-3689.
- [17] DEV; Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlamm-Untersuchung (2010) – Physikalische, chemische, biologische und mikrobiologische Verfahren. Band 7- 78 Lieferung Beuth-Verlag Berlin-Wien-Zürich.
- [18] DIN 1988 Teil 1 (1988): Technische Regeln für die Trinkwasser-Installationen (TRWI); Allgemeines.
- [19] DIN 1988 Teil 2 (1988): Technische Regeln für die Trinkwasser-Installationen (TRWI); Planung und Ausführung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe.
- [20] DIN 1988 Teil 4 (1988): Technische Regeln für die Trinkwasser-Installationen (TRWI); Schutz des Trinkwassers, Erhaltung der Trinkwassergüte.

- [21] DIN 1988 Teil 7 (1988, Entwurf 2003): Technische Regeln für die Trinkwasser-Installationen (TRWI); Vermeidung von Korrosionsschäden und Steinbildung.
- [22] DIN 1988 Teil 8 (1988): Technische Regeln für die Trinkwasser-Installationen (TRWI); Betrieb der Anlagen.
- [23] DIN 2000 (2000): Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser.
- [24] Döring G, Hörz M, Ortelt J, Grupp H, Wolz C (1993). Molecular epidemiology of *Pseudomonas aeruginosa* in an intensive care unit. *Epidemiol Infect* 110(3): 427-36
- [25] Döring G, Ulrich M, Müller W, Bitzer J, Schmidt-Koenig L, Müntz L, Grupp H, Wolz C, Stern M, Botzenhart K (1991). Generation of *Pseudomonas aeruginosa* aerosols during hand washing from contaminated sink drains, transmission to hands of hospital personnel and its prevention by use of a new heating device. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 191(5-6):494-505.
- [26] Dolan RM (2002). Biofilms: microbial life on surfaces. *Emerging Infectious Diseases*; 8(9): 881-90.
- [27] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) (1996). DVGW Arbeitsblatt W270: Vermehrung von Mikroorganismen auf Materialien für den Trinkwasserbereich.; Prüfung und Bewertung.
- [28] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) DVGW Arbeitsblatt W551 (2004): Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen.
- [29] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) (1996) DVGW - Arbeitsblatt W552: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Betrieb und Sanierung.
- [30] DVGW (Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches) (1998) DVGW Arbeitsblatt W553: Bemessung von Zirkulationssystemen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen.

- [31] Edelstein PH, Beer KB, DeBoynton ED (1987). Influence of growth temperature on virulence of *Legionella pneumophila*. *Infection Immunity*, 55(11): 2701-5.
- [32] Edelstein PH, Edelstein MA, Higa F and Falkow S (1999). Discovery of virulence genes of *Legionella pneumophila* by using signature tagged mutagenesis in a guinea pig pneumonia model. *Proc Natl Acad Sci USA*; 96(14): 8190-5.
- [33] European Guidelines for Control and Prevention of Travel Associated Legionnaires`Disease.
http://ewqli.org/public_info/publicinfo_europeanguidline_download.asp
- [34] Exner M, Pleischl S, Grummt HJ, Engelhart S (2011). Prävention und Kontrolle von Legionellose in Deutschland- Plädoyer für ein proaktives Risikomanagement . Erweitertes Manuskript eines Vortrages anlässlich des Legionellen- Fachgespräches am 20.Oktober 2009 im Umweltbundesamt in Berlin- Dahlem. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*; 54(6):699-708.
- [35] Exner M, Jung R, Haardt B (1990). Nosokomiale Legionellen-Infektion im Zusammenhang mit einer systemischen Legionellen-Kontamination des Hausinstallationssystems und Erfahrungen zur Sanierung: *Forum Städte-Hygiene* 41: 289-295.
- [36] Exner M (1991). Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionellen-Infektionen im Krankenhaus. *Forum Städte-Hygiene* 42: 178-191.
- [37] Exner M, Tuschewitzki GJ, Langer B, Wernicke F, Pleischl S. (1993). Vorkommen und Bewertung von Legionellen in Krankenhäusern und anderen Großgebäuden. In Seidel K, *Legionellen II, Schriftreihe des Vereins für Wasser-, Boden-; und Lufthygiene*, 91: 105-30.
- [38] Exner M, Kramer A, Kischtermann T, Gebel J, Engelhart S (2007). Wasser als Infektionsquelle in der medizinischen Einrichtung und Prävention und Kontrolle- Leitthema: Wasser und Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50(3) 302-11.

- [39] Exner M, Zur Bedeutung des Hausinstallationssystems als Infektionsreservoir mit besonderer Berücksichtigung medizinischer Einrichtungen S.1-10.
- [40] Feuerpfeil I, Hummel A, Renner P (2007). Ausgewählte Aspekte bei der mikrobiologischen Überwachung der Trinkwasserqualität. Leitthema: Wasser und Gesundheit. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 50(3): 284-90.
- [41] Fields BS, Benson RF and Besser RE (2002). Legionella and Legionnaires´disease: 25 years of investigation. Clinical Microbiology Reviews 15(3):506-26.
- [42] Flemming HC (1992). Unerwünschte Biofilme- Phänomene und Mechanismen. GWF Wasser und Abwasser 133,119-130.
- [43] Flemming HC, Geesey GG. Biofouling and biocorrosion in industrial water systems, Springer, Berlin S.220.
- [44] Fliermans CB, Soracco RJ and Pope DH (1981). Measure of *Legionella pneumophila* activity in Situ. Current Microbiology, 6: 89-94.
- [45] Geldreich EE (1999). Pseudomonas: Waterborne Pathogenes. Manual of Water supply Practices, America Water Works Association Auflage 1: 103-105.
- [46] Hallam NB, West JR, Forster CF and Simms J (2001).The potential for biofilm growth in water distribution systems. Water Res. 35(17): 4063-71.
- [47] Hardalo C and Edberg SC (1997). Pseudomonas aeruginosa: assessment of risk from drinking water. Clinical Microbiology Laboratory , Yale-New Haven Hospital and Departments of Laboratory Medicine and Internal Medicine, Yale University School of Medicine, New Haven. Critical Reviews in Microbiology, 23(1): 47-75.
- [48] HSC (Health and Safety Commission, United Kingdom) (2000). Legionnaires`disease. The control of legionella bacteria in water systems. Approved code of practice and guidance, Norwich, Her Majestys` Stationery Office.
- [49] Hentschel W., Waider D (2004). Kommentar zum DVGW-Arbeitsblatt W 551: Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums in der Trinkwasser-Installationen: Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (wvgw).

- [50] Heuner K and Swanson M (2008). Legionella Molecular Microbiology intensive care units. Implications for infection control. Am J Respir Crit Care Med 1999; 160(4): 1212-9.
- [51] Hoebe CJ, Cluitmans JJ, Wagenvoort JH.(1998) Two fatal cases of nosocomial Legionella pneumophila pneumonia associated with a contaminated cold water supply. Eur Journal Clin Microbiol Infect Dis. 17(10): 740.
- [52] Hoebe CJ, et al. (1999). Cold water tap as a source of fatal nosocomial pneumonia due to *Legionella pneumophila* in a rehabilitation center. Nederland's Tijdschrift Voor Geneeskunde, 143(20): 1041-5.
- [53] ISO 11731-2: 2008. ISO Standard: Water quality – detection and enumeration- Legionella-Part 2: Direct membrane filtration method for waters with low bacterial counts. Geneva, International Organization for Standardization.
- [54] Johansson PJ, Andersson K, Wiebe T, Schalen C ; Bernander S. (2006) Nosocomial transmission of Legionella pneumophila to a child from a hospital's cold-water supply. Scand Journal Infect Dis. 38(11-12) 1023-7.
- [55] Junge-Mathys E, Mathys W (1994). Legionellose ein Beispiel für umweltbedingte Infektionen. Intensiv 2: 29-34.
- [56] Junge-Mathys E, Mathys W (1998). Fatal nosocomial Legionnaires`disease in a heart transplant recipient: Need for multistep prevention measures for highly immunocompromised host. Journal Hospital Infection 40: 393.
- [57] Keinänen MM, Martikainen PJ and Kontro MH (2004). Microbial community structure and biomass in developing drinking water biofilms. Can J Microbiol. 50(3): 183-91.
- [58] Kramer MH, Ford TE (1994). Legionellosis: ecological factors of an environmentally "new" disease. Zentralblatt Hygiene und Umweltmedizin, 195(5-6): 470-82.
- [59] Langmark J, Storey MV, Asholt NJ, Stenstöm TA (2005). Accumulation and fate of microorganisms and microspheres in biofilms formed in a pilot-scale water distribution system. Applied and Environmental Microbiology 71(2): 706-12.

- [60] Lehtola MJ, Miettinen IT, Keinänen MM, Kekki TK, Laine O, Hirvonen A, Vartiainen T, Martikainen PJ (2004). Microbiology, chemistry and biofilm development in a pilot drinking water distribution system with copper and plastic pipes. *Water Research* 2004 Oct; 38 (17). 3769-79.
- [61] Lehtola MJ, Torvinen E, Kusnetsov J, Pitkänen T, Maunula L, von Bonsdorff CH, Martikainen PJ, Wilks SA, Keevil CW and Miettinen IT (2007). Survival of *Mycobacterium avium*, *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli* and caliciviruses in drinking water-associated biofilms grown under high-shear turbulent Flow. *Applied And Environmental Microbiology* 73(9): 2854-9.
- [62] Lück PC, Helbig JH, Witzleb W (1990). Legionellen im Wasser medizinischer Einrichtungen- Gefahr für Patienten und Personal ? *Z Gesamte Hygiene* 36(7): 380-2.
- [63] Mackerness CM, Colbourne JS, Dennis PJ, Rachwal T and Keevil CW (1993). Formation and control of coliform biofilms in drinking water distribution systems, p.217-226. In S.Denyer, S.P. Gorman, and Sussman(ed.), *Society for Applied Bacteriology technical series*, vol.30. *Microbial biofilms: formation and control*. Blackwell Scientific Publications; Oxford, United Kingdom.
- [64] Mathys W, Junge E, Schuhmacher M (1988). Strategies for the reduction of *Legionella* in domestic water supplies. *Zbl Bakt Hygiene B* 186:437.
- [65] Mathys W, Junge E (1988). Hygienische und klinische Aspekte der Legionellenbesiedlung in Krankenhäusern. *Kongressbericht über III. Krankenhaushygiene- Kongress vom 17.-19.März 1988 in Marburg*: 269-279.
- [66] Mathys W, Junge-Mathys E, Bösenberg H (1997). Nosokomiale Legionellose und ihre Prävention. *Hygiene Medizin* 22:376-382.
- [67] Mathys W, Junge-Mathys E (1997). Krankenhaushygienische Aspekte nosokomiale Legionellenpneumonie bei Hoch-Risiko-Patienten. *Hygiene und Mikrobiologie* 3:44-46.
- [68] Mathys W, Rickmann B (2008). *Trinkwasserhygiene- Trinkwasserinstallationen hygienisch einwandfrei planen 5.Auflage*. Kemper GmbH + Co.KG Gerberit Vertriebs GmbH April 2008.

- [69] Mathys W, Rickmann B (2005). Trinkwasserhygiene: Zirkulationssysteme in der Trinkwasserinstallation. 4. Auflage 2. Druck KEMP 1400 10/2005.
- [70] Mathys. W, Stanke J, Harmuth M, Junge-Mathys E. (2008). Occurrence of Legionella in hot water systems of single-family residences in suburbs of two German cities with special reference to solar and district heating. *Int J Hyg Environ Health* 211(1-2): 179-85.
- [71] McDade JE, Shepard CC, Fraser DW, Tsai TR, Redus MA, Dowdle WR (1977). Legionnaires`disease: isolation of a bacterium and demonstration of its role in other respiratory disease. *New England Journal of Medicine* 297(22):1197-203.
- [72] Merlani GM, Francioli P (2003). Established and emerging waterborn nosocomial infections. *Curr Opin Infect Dis* 16(4):343-7.
- [73] Müller HE, Dünninger W, Mühlberg W und Ruckdeschel G (2008). Legionellen- ein aktuelles Problem der Sanitärhygiene: Infektion und Bekämpfung 3. Auflage expert Verlag.
- [74] Murga R, Forster TS, Brown E, Prukler JM, Fields BS, Donlan RM (2001). Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology* 147(Pt 11): 3121-6.
- [75] NHMRC (National Health and Medical Research Council) 1988. Australian guideline for the control of Legionella and Legionnaires`disease. Australian Government Publishing Service, Canberra. <http://www.nhmrc.gov.au/guidelines/publications/a-z-list>
- [76] Nguyen L, Ferroni A, Pron B, Quesne G, Brusset MC, Berche P (1998). Outbreak of nosocomial urinary tract infections due to *Pseudomonas aeruginosa* in a paediatric surgical unit associated with tap-water contamination. *Journal of Hospital Infection* 39(4): 301-7.
- [77] Percival SL and Walker JT (1999). Potable water and biofilms: A review of the public health implications *Biofouling* 42:99-115.
- [78] Richard P, Le Floch R, Chamoux C, Pannier M, Espaze E, Richet H (1994). *Pseudomonas aeruginosa* outbreak in a burn unit: role of antimicrobials in the emergence of multiply resistant strains. *J Infect Dis.* 170(2): 377-83.
- [79] Rogers J, Dowsett AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW (1994). 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. *Applied And Environmental Microbiology*, 60(5): 1585-92.
- [80] Röske I., Uhlmann D. (2005). *Biologie der Wasser und Abwasserbehandlung*, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
- [81] Rutala WA, Weber DJ (1997) Water as a reservoir of nosocomial pathogens. *Infect Control Hosp Epidemiol* 18(9): 609-16.
- [82] Schlosser FU, Schuster R, Rapp T (2007). Gesundheitliche Anforderung an Werkstoffe und Materialien im Kontakt mit Trinkwasser- Leitthema: Wasser und Gesundheit. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50(3): 312-21.
- [83] Schulze-Röbecke R, Rödder M, Exner M (1987). Vermehrungs- und Abtötungstemperaturen natürlich vorkommender Legionellen. *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B* 184(6): 495-500.
- [84] Schwartz T, Hoffmann S and Obst U (2003). Formation of natural biofilms during chlorine dioxide and u.v. disinfection in a public drinking water distribution system. Dep. Of Environmental Microbiology, Water Technology and Geotechnology Division, Institute for Technical Chemistry, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, Germany. *Journal of Applied Microbiology* 2003, 95, 591-601.
- [85] Speijer H, Savelkoul PH, Bonten MJ, Stobberingh EE, Tjhie JH (1999). Application of different genotyping methods for *Pseudomonas aeruginosa* in a setting of endemicity in an intensive care unit. *J Clin Microbiol*; 37(11): 3654-61.
- [86] Steed KA, Falkinham JO 3rd (2006). Effect of growth in biofilms on chlorine susceptibility of *Mycobacterium avium* and *Mycobacterium intracellulare*. *Appl Environ Microbiol*. 72(6): 4007-11.
- [87] Storey MV, Langmark J, Ashbolt NJ, Stenström TA (2004). The fate of legionellae within distribution pipe biofilms: measurement of their persistence, inactivation and detachment. *Water Science Technology* 49 (11-12):269-75.
- [88] Trautman M, Michalsky T, Wiedeck H, Radosavljevic V, Ruhnke M (2001). Tap water colonization with *Pseudomonas aeruginosa* in a surgical intensive care unit (ICU) and relation to *Pseudomonas* infections of ICU patients. *Infect Control Hosp Epidemiol* 22(1): 49–52.

- [89] Tredget EE, Shankowsky HA, Joffe AM, Inkson TI, Volpel K, Paranchych W, Kibsey PC, Alton JD, Burke JF (1992). Epidemiology of infections with *Pseudomonas aeruginosa* in burn patients: the role of hydrotherapy. *Clin Infect Dis.* 15(6): 941-9.
- [90] Trinkwasserverordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.“ TrinkwV 2001 vom 21.Mai 2001(BGBl. I S.959), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3.Mai 2011 (BGBl. I S. 748, 2062) geändert worden ist“.
- [91] Trinkwasserverordnung (TrinkwV a.F.) Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung TrinkwV) In der Fassung der Bekanntmachung vom 5. Dezember 1990 (BGBl I S.2612. ber. 1991 S.227), geändert durch Verordnung vom 26.Februar 1993 (BGBl I S.278), vom 1.April 1998 (BGBl. I S. 699), durch Art.2, § 19, des Seuchenrechtsneuordnungsgesetzes vom 20.Juli 2000 (BGBl. I S.1045) und durch Art. 2 der Verordnung zur Verordnung zur Änderung der Mineral- und Tafelwasser-Verordnung vom 14. Dezember 2000 (BGBl. I S. 1728).
- [92] Umweltbundesamt 2006a: Empfehlung des Umweltbundesamt nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit- Hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen im Kaltwasserversorgungsanlagen nach §3 Nr.2 Buchstabe c TrinkwV2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit im Sinne des §18 Abs.1 TrinkwV 2001 bereitgestellt wird. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforsch -Gesundheitsschutz* 2006 49:693-696 DOI 10.1007/s00103-006-1294-8 Springer Verlag.
- [93] Umweltbundesamt 2006b: Empfehlung des Umweltbundesamt nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit. Periodische Untersuchung auf Legionellen in zentralen Erwärmungsanlagen der Hausinstallation nach §3 Nr.2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird. *Bundesgesundheitsblatt- Gesundheitsforsch - Gesundheitschutz* 2005 49:697-700 DOI 10.1007/s00103-006-1295-7 Springer Verlag 2006.
- [94] Umweltbundesamt 2006c: Ergebnisse einer Expertenanhörung am 31.03.2004 im Universitätsklinikum Bonn: Hausinstallationen, aus

- denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird, als potenzielles Infektionsrisiko mit besonderer Berücksichtigung von Einrichtungen zur medizinischen Versorgung – Kenntnisstand, Prävention und Kontrolle. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2005 49: 681.
- [95] Umweltbundesamt 2006d: Trink was –Trinkwasser aus dem Hahn: Gesundheitliche Aspekte der Trinkwasser-Installation-Information und Tipps für Mieter; Haus- und Wohnungsbesitzer-Herausgeber: Umweltbundesamt, Postfach 14 06, 06844 Dessau, Redaktion: Fachgebiete II 3.6 und II 3.4, Stand: Juni 2006.
- [96] van der Kooij D, Veenendaal HR, Scheffer WJ.(2005). Biofilm formation and multiplication of Legionella in a model warm system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene, Water Research 39(13): 2789-98.
- [97] van der Kooij D, Vrouwenvelder JS and Veenendaal (2003). Elucidation and control of biofilm formation processes in water treatment and distribution using the Unified Biofilm Approach. Water Science and Technology 47(5): 83-90.
- [98] Van der Wende E, Characklis WG, Grochowski J (1988). Bacterial growth in water distribution systems. Water Science and Technology 20(11/12):521-24.
- [99] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Berichte 1433, VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung, Sanitärtechnik XI Trinkwasseranlagen. Tagung zur VDI-Richtlinie 6023, Tagung Münster, 29.Oktober 1998.
- [100] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) Norm 6023 (1999). Hygienebewusste Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasseranlagen.
- [101] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) 6023 Blatt 1, Juli 2006, „Hygiene in Trinkwasser-Installationen; Anforderungen an Planung, Ausführungen, Betrieb und Instandhaltung“, VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung
- [102] Vervaeren H, Temmerman R, Devos L, Boon N, Verstraete W (2006). Introduction of a boost of *Legionella pneumophila* into a stagnant-water model by heat treatment. FEMS Microbiol Ecol 58(3): 583- 92.

- [103] Vincent JL, Bihari DJ, Suter PM, Bruining HA, White J, Nicolas-Chanoin MH, Wolff M, Spencer RC, Hemmer M (1995) The prevalence of nosocomial Infection in intensive care units in Europe. Results of the European Prevalence of Infection in Intensive Care (EPIC) Study. EPIC International Advisory Committee. JAMA; 274(8): 639-644.
- [104] WHO (World Health Organisation) 2004: Microbial agents in drinking water. Guidelines for Drinking-Water-Quality (3rd ed, Vol. 1) WHO, Geneva 2004.
- [105] Zacheus OM, Lehtola MJ, Korhonen LK and Martikainen PJ (2001). Soft deposits, the key site for microbial growth in drinking water distribution networks. Water Research 35(7): 1757-65.
- [106] Ergebnisse einer Expertenanhörung am 31.03.2004 im Universitätsklinikum Bonn: Hausinstallationen, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird, als potenzielles Infektionsrisiko mit besonderer Berücksichtigung von Einrichtungen zur medizinischen Versorgung – Kenntnisstand, Prävention und Kontrolle. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz Juli 2006, Springer Medizin Verlag.

Anhang

Anhang A

Tabelle 10

Gesamtüberblick aller Parameter und Ergebnisse der 60 Warmwasserproben aus den Warmwasserentnahmestellen 1.4, 2.4, 3.4 und 4.4 während der Untersuchungsperiode (13 bis 22 Kalenderwochen)

Kalenderwochen	Entnahmedatum	Entnahmestelle	Entnahmetemperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ml]	DEV 36°C [KBE/ml]	R2A [KBE/ml]	<i>P. aeruginosa</i> [KBE/100 ml]	<i>Legionella</i> [KBE/100ml]	RLU
13	29.03.2007	1.4	44,3	0	824	1056	0	16	961
13	29.03.2007	2.4	46,9	0	3		0	6	214
13	29.03.2007	3.4	56,8	0	4	736	0	0	276
13	29.03.2007	4.4	29,6	4000	3608	4000	10900	0	72540
14	03.04.2007	1.4	27,9	80	536	1280	0	0	1183
14	03.04.2007	2.4	64,4	0	13	912	0	0	682
14	03.04.2007	3.4	63,8	0	16	1152	0	0	6489
14	03.04.2007	4.4	23,8	1000	4000	4000	0	0	49672
14	05.04.2007	1.4	23,1	0	1736	16.800	-	100	21339
14	05.04.2007	2.4	61,4	0	0	1856	-	1	1440
14	05.04.2007	3.4	58,8	0	352	2656	-	34	2906
14	05.04.2007	4.4		30000	30000	9.760	-	0	34530

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
15	10.04.2007	1.4	20,7	0	1096	2800	1	-	12794
15	10.04.2007	2.4	27,4		536	2400	160	0	7551
15	10.04.2007	3.4	40,3	1	424	800	160	0	9136
15	10.04.2007	4.4	21,8	30000	30000	670	3	0	30900
15	12.04.2007	1.4	22,2	2	1344	4000	52	> 10000	17910
15	12.04.2007	2.4	62,2	0	3	180	0	> 10000	3187
15	12.04.2007	3.4	58,4	0	1	400	1	> 10000	9556
15	12.04.2007	4.4	28,4	30000	1056	800	3	> 10000	57611
16	17.04.2007	1.4	25,5	300	4000	2000	65	0	23396
16	17.04.2007	2.4	59,2	1	1	120	26	0	1798
16	17.04.2007	3.4	58,5	1	6	72	550	0	3620
16	17.04.2007	4.4	29,8	4200	2000	10000	3	64000	51085
17	24.04.2007	1.4	52,3	0	0	1000	0	0	691
17	24.04.2007	2.4	61,9	0	0	0	0	0	706
17	24.04.2007	3.4	61,2	0	2	3000	1	0	3463
17	24.04.2007	4.4	48,6	16000	5000	24000	350	0	12208
17	26.04.2007	1.4	58,3	0	0	7000	0	100	5828
17	26.04.2007	2.4	61,9	0	0	45000	0	5	2500
17	26.04.2007	3.4	61,9	0	11	21000	0	27	1441
17	26.04.2007	4.4	52,9	0	16000	51000	300	0	12551

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
18	03.05.2007	1.4	26,7	134	53600	80000	0	3100	10761
18	03.05.2007	2.4	59,9	0	11	0	0	0	1445
18	03.05.2007	3.4	60,0	0	25	13000	0	0	3199
18	03.05.2007	4.4	28,4	100	75000	128000	400	0	35672
19	09.05.2007	1.4	23,8	204	1500	79000	0	3400	4408
19	09.05.2007	2.4	28,2	0	0	0	0	0	625
19	09.05.2007	3.4	61,6	0	0	0	4	0	641
19	09.05.2007	4.4	24,6	25600	36000	88000	0	0	19433
19	10.05.2007	1.4	22,7	208	24000	29000	1	500	4861
19	10.05.2007	2.4	62,9	100	0	1000	20	0	3287
19	10.05.2007	3.4	61,1	0	0	2000	0	0	4192
19	10.05.2007	4.4	24,7	1	122000	136000	220	0	25346
20	15.05.2007	1.4	24,2	96	12000	71000	0	0	5751
20	15.05.2007	2.4	63,6	1	0	0	0	0	1402
20	15.05.2007	3.4	63,5	0	0	0	0	0	2034
20	15.05.2007	4.4	26,3	17600	32000	112000	0	35000	22810

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
21	22.05.2007	1.4	22,7	456	1600	75000	0	90	1604
21	22.05.2007	2.4	61,1	0	19	0	0	0	2319
21	22.05.2007	3.4	59,5	0	7	0	0	0	2218
21	22.05.2007	4.4	35,6	6200	25000	248000	0	9500	45135
21	24.05.2007	1.4	25,0	48	8800	34000	0	40	3949
21	24.05.2007	2.4	55,2	2	0	8000	2	0	515
21	24.05.2007	3.4	57,8	0	0	10000	0	0	378
21	24.05.2007	4.4	40,5	26400	64000	192000	7	23000	19242
22	29.05.2007	1.4	21,2	0	500	28000	0	400	2168
22	29.05.2007	2.4	55,0	0	0	0	0	4	223
22	29.05.2007	3.4	56,1	0	2	2000	0	3	1437

Anhang B

Tabelle 11 Gesamtüberblick aller Parameter und Ergebnisse der Kaltwasserproben aus den Kaltwasserentnahmestellen 1.5, 2.5, 3.5 und 4.5 während der Untersuchungsperiode (13 bis 22 Kalenderwoche)

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE /100ml]	RLU
13	29.03.2007	1.5	14,1	0	7		-	0	652
13	29.03.2007	2.5	14,2	0	18		-	0	5016
13	29.03.2007	3.5	12,1	0	0		-	6	626
13	29.03.2007	4.5	16,3	4000	3136	4000	-	0	15686
14	03.04.2007	1.5	23,7	11	56	2032	-	0	3581
14	03.04.2007	2.5	28,2	17	21	352	-	0	1350
14	03.04.2007	3.5	19,4	78	128	848	-	0	3062
14	03.04.2007	4.5	26,8	1000	4000	4000	-	35	59631
14	05.04.2007	1.5	21,8	1	22	1792	-	0	2622
14	05.04.2007	2.5	26,9	0	22	2304	-	400	11060
14	05.04.2007	3.5	26,9	0	77	6.160	-	0	2318
14	05.04.2007	4.5		30000	30000	13.280	-	0	13924

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
15	10.04.2007	1.5	21,4	1	24	1200	4	-	5159
15	10.04.2007	2.5	21,5	0	35	1600	1	0	3836
15	10.04.2007	3.5	21,9	0	3	890	2	0	1071
15	10.04.2007	4.5	21,6	30000	30000	600	200	0	33796
15	12.04.2007	1.5	20,4	10	832	1600	12	>10000	5488
15	12.04.2007	2.5	22,3	2	52	960	1	>10000	9372
15	12.04.2007	3.5	24,1	4	92	980	4	>10000	4702
15	12.04.2007	4.5	21,4	30000	1680	1800	800	>10000	20841
16	17.04.2007	1.5	24,7	2	62	4000	8	0	15005
16	17.04.2007	2.5	30,7	3	80	2400	27	0	10873
16	17.04.2007	3.5	27,8	5	85	900	13	0	2578
16	17.04.2007	4.5	27,7	600	170	4000	11	0	25270
17	24.04.2007	1.5	25,6	92	92	44000	0	1900	3223
17	24.04.2007	2.5	25,6	1200	400	18000	0	300	8995
17	24.04.2007	3.5	26,7	19	11	4000	0	400	3878
17	24.04.2007	4.5	25,8	22000	52000	80000	30000	0	28876
17	26.04.2007	1.5	26,7	1600	1800	46000	1	100	20413
17	26.04.2007	2.5	31,7	0	432	13000	2	3800	8252
17	26.04.2007	3.5	16,3	0	14	6000	3	1300	1971
17	26.04.2007	4.5	28,8	0	52000	43000	400	0	44819

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
18	03.05.2007	1.5	26,6	400	900	4000	4	0	15685
18	03.05.2007	2.5	30,1	0	1080	14000	0	9600	6394
18	03.05.2007	3.5	28,0	2	28	10000	2	2600	3147
18	03.05.2007	4.5	26,1	14400	15000	34000	0	7000	43671
19	09.05.2007	1.5	23,9	240	1700	56000	0	1500	4095
19	09.05.2007	2.5	28,2	4	1000	136000	0	4800	6052
19	09.05.2007	3.5	24,7	0	25	0	1	2800	2474
19	09.05.2007	4.5	26,7	1700	2000	53000	300	3700	22480
19	10.05.2007	1.5	23,5	0	0	85000	3	6100	12560
19	10.05.2007	2.5	25,8	0	1600	104000	2	6200	11121
19	10.05.2007	3.5	23,9	0	31	5000	15	1700	2393
19	10.05.2007	4.5	23,3	0	0	45000	0	4800	47143
20	15.05.2007	1.5	24,2	56	300	76000	0	900	7102
20	15.05.2007	2.5	23,6	0	10000	64000	0	4400	6809
20	15.05.2007	3.5	25,1	4	0	1000	7	1800	845
20	15.05.2007	4.5	25,0	4500	10000	48000	0	3900	49625

Kalen- derwo- chen	Entnahme datum	Entnahme stelle	Entnahme temperatur [°C]	DEV 22°C [KBE/ ml]	DEV 36°C [KBE/ ml]	R2A [KBE/ ml]	<i>P.</i> <i>aeru-</i> <i>ginosa</i> [KBE/ 100 ml]	<i>Legio-</i> <i>nella</i> [KBE/ 100ml]	RLU
21	22.05.2007	1.5	23,0	126	100	52000	0	900	4200
21	22.05.2007	2.5	29,8	8	11	44000	0	3200	9492
21	22.05.2007	3.5	23,1	26	8	2000	0	500	866
21	22.05.2007	4.5	24,6	24000	11000	450000	0	2100	45934
21	24.05.2007	1.5	22,7	0	4600	112000	0	400	8084
21	24.05.2007	2.5	25,7	7	12	120000	0	4400	9755
21	24.05.2007	3.5	24,3	1	9	8000	4	800	500
21	24.05.2007	4.5	21,8	9600	43000	136000	0	3300	54942
22	29.05.2007	1.5	21,2	0	100	39000	0	400	2048
22	29.05.2007	2.5	25,7	0	53	38000	0	500	3244
22	29.05.2007	3.5	21,1	1	5	0	1	1300	1301
22	29.05.2007	4.5	19,9	9800	96000	216000	0	4000	67842

Anhang C

Tabelle 12

Statischer Vergleich der gemessenen Kaltwasserproben während der gesamten Untersuchungsperiode (13 bis 22 Kalenderwoche)

Parameter	Stockwerk	Anzahl Proben	Mittelwert	Maximum	Unteres Quartil	Oberes Quartil	Cmax Protea / Cmax konv,
ATP (RLU)	1.Stockwerk	15	7.327	20.413	3.223	12.560	
ATP (RLU)	2.Stockwerk	15	7.741	11.120	5.016	9.755	
ATP (RLU)	3.Stockwerk	15	2.115	4.702	866	3.062	
ATP (RLU)	1.Stockwerk	15	7.327	20.413	3.223	12.560	
ATP (RLU)	4.Stockwerk	15	38.299	67.842	22.480	49.625	3,3
<i>P.aeruginosa</i> /100ml	1.Stockwerk	14	23	300	0	4	
<i>P.aeruginosa</i> /100ml	2.Stockwerk	14	2	27	0	1	
<i>P.aeruginosa</i> /100ml	3.Stockwerk	14	4	15	0	4	
<i>P.aeruginosa</i> /100ml	1.Stockwerk	14	23	300	0	4	
<i>P.aeruginosa</i> /100ml	4.Stockwerk	14	1.351	8.000	0	1.100	26,7
KBE/ml 22°C	1.Stockwerk	15	169	1.600	0	126	
KBE/ml 22°C	2.Stockwerk	15	83	1.200	0	7	

Parameter	Stockwerk	Anzahl Proben	Mittelwert	Maximum	Unteres Quartil	Oberes Quartil	Cmax Protea / Cmax konv,
KBE/ml 22°C	3.Stockwerk	15	9	78	0	5	
KBE/ml 22°C	1.Stockwerk	15	169	1.600	0	126	
KBE/ml 22°C	4.Stockwerk	15	12.106	30.000	1.000	24.000	18,8
KBE/ml 36°C	1.Stockwerk	15	706	4.600	24	900	
KBE/ml 36°C	2.Stockwerk	15	988	10.000	21	1.000	
KBE/ml 36°C	3.Stockwerk	15	34	128	5	77	
KBE/ml 36°C	1.Stockwerk	15	706	4.600	24	900	
KBE/ml 36°C	4.Stockwerk	15	23.332	96.000	2.000	43.000	20,9
KBE/ml R2A	1.Stockwerk	14	37.473	112.000	2.032	56.000	
KBE/ml R2A	2.Stockwerk	14	39.901	136.000	2.304	64.000	
KBE/ml R2A	3.Stockwerk	14	3.269	10.000	890	6.000	

Parameter	Stockwerk	Anzahl Proben	Mittelwert	Maximum	Unteres Quartil	Oberes Quartil	Cmax Protea / Cmax konv,
KBE/ml R2A	1.Stockwerk	14	37.473	112.000	2.032	56.000	
KBE/ml R2A	4.Stockwerk	15	75.512	450.000	4.000	80.000	4,0
<i>Legionella</i> /100ml	1.Stockwerk	10	1.180	6.100	0	1.500	
<i>Legionella</i> /100ml	3.Stockwerk	13	916	2.800	0	1.700	
<i>Legionella</i> /100ml	2.Stockwerk	11	3.372	9.600	300	4.800	
<i>Legionella</i> /100ml	1.Stockwerk	10	1.180	6.100	0	1.500	
<i>Legionella</i> /100ml	4.Stockwerk	13	1.908	7.000	0	3.700	1,14

Danksagung

Ich möchte mich bei vielen Menschen herzlich bedanken. Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater Prof. Dr. Werner Mathys für die Überlassung des Themas bedanken. Ich danke Ihnen für die Zeit und viel Geduld die sie mir entgegen gebracht haben und für die wertvollen Ratschläge für das Gelingen der Arbeit. Weiterhin danke ich den Mitarbeitern des Institut für Hygiene vor allem; Ruth Wiesmann, Andre Komm und Anni Bommer. Außerdem danke ich Herrn Prof. Rickmann und Herrn Osterholt der Fachhochschule Steinfurt für ihre Hilfsbereitschaft und freundliche Unterstützung.

