

**Zum Vorkommen von Legionellen in  
wasserführenden, technischen Systemen  
und der  
Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen  
unter Praxisbedingungen**

**Dissertation**

zur

Erlangung des Doktorgrades (Dr. rer. nat)

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von

Stefan Pleischl

aus

Duisburg

Bonn 2004

Angefertigt mit Genehmigung der  
Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der  
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

1. Referent: Prof. Dr. H. Trüper
2. Referent: Prof. Dr. M. Exner

Tag der Promotion: 14.10.2004

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn  
[http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss\\_online](http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online) elektronisch publiziert

Meinen Eltern

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b> .....	11
1.1	Charakterisierung der Legionellen.....	11
1.2	Pathogenität, Übertragung und klinisches Bild .....	12
1.3	Vorkommen .....	15
1.4	Rechtliche Aspekte.....	18
1.5	Sanierungsmaßnahmen .....	20
1.5.1	Thermische Sanierung.....	20
1.5.2	Chemische Sanierung.....	20
1.5.3	Technische Sanierungsmaßnahmen .....	21
1.6	Zielsetzung der Arbeit .....	23
<b>2.</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	25
<b>2.1</b>	<b>Herkunft und Umfang des Untersuchungsmaterials</b> .....	25
2.1.1	Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme .....	25
2.1.1.1	Untersuchte Objekte .....	25
2.1.1.2	Allgemeine Beschreibung der Anlagen .....	25
2.1.1.3	Probeentnahmestellen .....	26
2.1.1.4	Anzahl der untersuchten Proben .....	26
2.1.2	Badwasseraufbereitungsanlagen.....	26
2.1.2.1	Untersuchte Objekte .....	26
2.1.2.2	Allgemeine Beschreibung der Anlagen .....	27
2.1.2.3	Probeentnahmestellen .....	27
2.1.2.4	Anzahl der untersuchten Proben .....	28
2.1.3	Raumlufttechnische Anlagen („RLT-Anlagen“) .....	28
2.1.3.1	Untersuchte Objekte .....	28
2.1.3.2	Beschreibung der Anlagen.....	28
2.1.3.3	Probeentnahmestellen .....	29
2.1.3.4	Anzahl der untersuchten Proben .....	29

2.1.4	Kühltürme / Rückkühlwerke .....	29
2.1.4.1	Untersuchte Objekte .....	29
2.1.4.2	Beschreibung der Anlagen.....	29
2.1.4.3	Probeentnahmestellen .....	30
2.1.4.4	Anzahl der untersuchten Proben .....	30
2.1.5	Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen.....	30
2.1.5.1	Untersuchte Objekte .....	30
2.1.5.2	Allgemeine Beschreibung der Anlagen .....	30
2.1.5.3	Probeentnahmestellen.....	31
2.1.5.4	Anzahl der untersuchten Proben .....	31
2.1.6	Sonstige wasserführende Systeme .....	31
2.1.6.1	Untersuchte Objekte .....	31
2.1.6.2	Anzahl der untersuchten Proben .....	31
<b>2.2</b>	<b>Probengewinnung vor Ort.....</b>	<b>32</b>
2.2.1	Geräte und Instrumente.....	32
2.2.2	Methodik der Probenahme.....	32
2.2.2.1	Probenahme aus Entnahmearmaturen.....	32
2.2.2.2	Gewinnung von Schöpfproben.....	33
<b>2.3</b>	<b>Probenverarbeitung.....</b>	<b>33</b>
2.3.1	Geräte, Instrumente und Zubehör.....	33
2.3.2	Nährmedien und Reagenzien .....	33
2.3.3	Kulturelle Anzucht von Legionellen aus Wasserproben.....	36
2.3.4	Differenzierung der Legionellen.....	39
2.3.4.1	Direkter Immunfluoreszenz-Test (DIFT).....	39
2.3.4.2	Latex-Agglutinationstest .....	40
2.3.5	Bestimmung der allgemeinen Koloniezahl .....	41
<b>3.</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>43</b>
<b>3.1</b>	<b>Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme ....</b>	<b>43</b>
3.1.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen.....	43
3.1.2	Nachweis von Legionellen in den Anlagen .....	46
3.1.3	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	47
3.1.4	Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen .....	48

3.1.5	Abhängigkeit der Legionellenkonzentration von der Art der Mischeinrichtung (zentral oder dezentral) .....	48
3.1.6	Korrelation der Legionellenkonzentration mit der allgemeinen Koloniezahl (36°C-Bebrütung) .....	49
3.1.7	Nachweishäufigkeit der verschiedenen Serogruppen von <i>Legionella pneumophila</i> und anderer Legionellen-Arten.....	49
3.1.8	Artkonstanz bei Wiederholungsuntersuchungen.....	50
3.1.9	Wirkung der Sanierungsmaßnahmen .....	50
3.1.9.1	Thermische Sanierung.....	50
3.1.9.2	Chemische Sanierungsmaßnahmen.....	51
3.1.9.3	Technische Sanierungsmaßnahmen .....	51
<b>3.2</b>	<b>Badewasseraufbereitungsanlagen</b> .....	<b>54</b>
3.2.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen.....	54
3.2.2	Nachweis von Legionellenkontaminationen in den Anlagen .....	54
3.2.3	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	55
3.2.4	Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen .....	55
3.2.5	Nachweis von Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Chlorkonzentration .....	55
3.2.6	Nachweis von Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen; Vergleich der Aufbereitungsstufen.....	56
3.2.7	Sanierungsmaßnahmen.....	56
3.2.7.1	Wirkung der Sanierungsmaßnahmen .....	57
<b>3.3</b>	<b>Raumluftechnische Anlagen</b> .....	<b>57</b>
3.3.1	Nachweis von Legionellenkontaminationen in den Anlagen .....	57
3.3.2	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	58
3.3.3	Legionellenkontaminationen in RLT-Anlagen mit kontinuierlicher Desinfektionsmitteldosierung.....	58
3.3.4	Sanierungsmaßnahmen.....	58
3.3.4.1	Wirkung der Sanierungsmaßnahmen .....	59
<b>3.4</b>	<b>Kühltürme / Rückkühlwerke</b> .....	<b>59</b>
3.4.1	Nachweis von Legionellenkontaminationen in den Anlagen .....	59
3.4.2	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	60
3.4.3	Sanierungsmaßnahmen.....	60

3.4.3.1	Wirkung der Sanierungsmaßnahmen .....	60
<b>3.5</b>	<b>Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen .....</b>	<b>61</b>
3.5.1	Nachweis von Legionellenkontaminationen .....	61
3.5.2	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	62
3.5.3	Legionellenkontaminationen in zahnärztlichen Behandlungs- einrichtungen mit kontinuierlicher Desinfektionsmittelzudosierung ....	62
<b>3.6</b>	<b>Sonstige technische wasserführende Systeme .....</b>	<b>63</b>
3.6.1	Ergebnisse der Untersuchungen in den verschiedenen Anlagen .....	63
3.6.1.1	Wasserdestillationsanlage .....	63
3.6.1.2	Umkehrosmoseanlage .....	63
3.6.1.3	Kaltwasser-Leitungssystem .....	63
3.6.1.4	Trinkwasser-Gewinnungsanlage 1 .....	64
3.6.1.5	Trinkwasser-Gewinnungsanlage 2 .....	64
<b>4.</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>65</b>
<b>4.1</b>	<b>Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme ....</b>	<b>69</b>
4.1.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen .....	69
4.1.2	Nachweis von Legionellenkontaminationen in den Anlagen .....	72
4.1.3	Höhe der Legionellenkonzentrationen .....	73
4.1.4	Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen .....	73
4.1.5	Abhängigkeit der Legionellenkonzentration von der Art der Mischeinrichtung (zentral oder dezentral) .....	74
4.1.6	Korrelation der Legionellenkonzentration mit der allgemeinen Koloniezahl (36°C-Bebrütung) .....	74
4.1.7	Nachweishäufigkeit der verschiedenen Serogruppen von <i>Legionella pneumophila</i> und anderer Legionellen-Arten .....	75
4.1.8	Persistenz von Legionellen in wasserführenden Systemen .....	76
4.1.9	Wirkung der Sanierungsmaßnahmen .....	77
4.1.9.1	Thermische Sanierung .....	77
4.1.9.2	Chemische Sanierungsmaßnahmen .....	79
4.1.9.3	Technische Sanierungsmaßnahmen .....	80

<b>4.2</b>	<b>Badewasseraufbereitungsanlagen</b> .....	85
4.2.1	Legionellenkontaminationen und Korrelation mit der Chlorkonzentration.....	85
4.2.2	Vergleich der Aufbereitungsstufen.....	86
4.2.3	Sanierungsmaßnahmen.....	86
<b>4.3</b>	<b>Raumluftechnische Anlagen</b> .....	89
4.3.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen.....	89
4.3.2	Wirkung von Sanierungs- und Wartungsmaßnahmen .....	92
<b>4.4</b>	<b>Kühltürme / Rückkühlwerke</b> .....	94
4.4.1	Beschreibung der untersuchten Anlagen.....	94
4.4.2	Wirkung von Sanierungs- und Wartungsmaßnahmen .....	96
<b>4.5</b>	<b>Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen</b> .....	99
<b>4.6</b>	<b>Sonstige technische wasserführende Systeme</b> .....	102
<b>5.</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	104
5.1	Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme ..	104
5.2	Badewasseraufbereitungsanlagen.....	105
5.3	Raumluftechnische Anlagen .....	106
5.4	Rückkühlwerke / Kühltürme.....	107
5.5	Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen .....	107
5.6	Sonstige technische wasserführende Systeme .....	108
<b>6.</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	110

## Anhänge

### A. Ergebnistabellen und -diagramme ..... 122

<b>Tabelle 1.3.1</b>	Empfehlungen und Richtlinien zur Legionellenproblematik in technischen, wasserführenden Systemen.....	122
<b>Tabelle 3.1.2</b>	Legionellenuntersuchungen von Trinkwasserwärmungsanlagen .....	123
<b>Diagramm 3.1.4.1</b>	Verteilung der Legionellenkonzentrationen in 2968 Proben aus Trinkwassererwärmungsanlagen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur.....	124
<b>Diagramm 3.1.4.2</b>	Legionellenkonzentrationen in 2968 Proben aus Trinkwassererwärmungsanlagen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur ....	125
<b>Diagramm 3.1.5.1</b>	Wassertemperatur in der Peripherie von warmwasserführenden Leitungssystemen in Abhängigkeit von der Art der Mischeinrichtungen .....	126
<b>Diagramm 3.1.5.2</b>	Legionellenkonzentrationen in der Peripherie von warmwasserführenden Leitungssystemen in Abhängigkeit von der Art der Mischeinrichtungen.....	127
<b>Diagramm 3.1.7.1</b>	Nachweishäufigkeit verschiedener Serovarietäten von Legionella pneumophila und anderer Legionellaceae in Trinkwassererwärmungsanlagen aus n= 2240 Proben .....	128
<b>Tabelle 3.1.8</b>	Serovarietäten von Legionellen in technischen, wasserführenden Systemen .....	129
<b>Tabelle 3.1.9.1</b>	Einfluss der Wassertemperatur auf das Vorkommen von Legionellen in Trinkwassererwärmungsanlagen .....	131
<b>Tabelle 3.1.9.2</b>	Einfluss unterschiedlicher Sanierungsverfahren auf das Vorkommen von Legionellen in Trinkwassererwärmungsanlagen .....	132
<b>Diagramm 3.1.9.3</b>	Einfluss der Ag/Cu-Ionisation auf die Legionellenkonzentrationen in einer Trinkwassererwärmungsanlage .....	133
<b>Diagramm 3.1.9.4</b>	Einfluss der Ag/Cu-Ionisation im Vergleich zur Wirksamkeit der Wassertemperatur auf die Legionellenkonzentration .....	134

<b>Tabelle 3.2.2</b>	Untersuchungen von Wasserproben aus 178 Badewasser- Aufbereitungsanlagen .....	135
<b>Tabelle 3.2.4</b>	Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (n = 267 Proben).....	136
<b>Tabelle 3.2.5</b>	Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Chlorkonzentration (n = 262 Proben) .....	137
<b>Tabelle 3.2.6</b>	Nachweis von Legionellen in 37 Badewasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von den Aufbereitungsstufen (n = 181 Proben) .....	138
<b>Tabelle 3.3.1</b>	Wasserproben aus 65 raumluftechnischen Anlagen.....	139
<b>Tabelle 3.4.1.1</b>	Untersuchungen von Wasserproben aus 12 Kühltürmen .....	140
<b>Tabelle 3.4.1.2</b>	Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 15 Rückkühlwerken .....	141
<b>Tabelle 3.5.1</b>	Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 12 zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen.....	142
<b>Tabelle 3.6.1</b>	Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 5 verschiedenen technischen Systemen.....	143

## 1. Einleitung

*"Zu den wichtigsten Aufgaben der dem Staate obliegenden Sorge für die Gesundheit der Bevölkerung gehört die Überwachung der Versorgung mit gutem Wasser, insbesondere die Abwendung der gesundheitlichen Gefahren, die u.U. mit dem Gebrauch des Wassers für Trink- und Wirtschaftszwecke verbunden sind. Sie muß sich nicht nur auf Zentral-, sondern auch auf Einzelwasserversorgungen erstrecken".*

Gemeinsamer Erlass der Preußischen Minister der geistlichen, Unterrichts- und Medizinalangelegenheiten und des Innern an die Regierungspräsidenten vom 23. April 1907 zur Einführung der "Anleitung" des Bundesrates vom 16. Juni 1906 aus "Hygienische Leitsätze für die Trinkwasserversorgung", Berlin 1932

### 1.1 Charakterisierung der Legionellen

Die Familie der *Legionellaceae* mit ihrer bisher einzigen Gattung *Legionella* verdankt sowohl ihre Entdeckung als auch ihren Namen der 58. Jahrestagung der American Legion. Dieser Veteranenverband tagte vom 21. - 24.07.1976 in einem Hotel in Philadelphia (USA). Von den insgesamt 4.400 Teilnehmern verschiedener Veranstaltungen in diesem Hotel erkrankten 221 Personen akut an einer schwer verlaufenden Pneumonie. Trotz Behandlung mit üblichen Antibiotika verstarben 34 Personen. Die Erreger dieser 1977 erstmals beschriebenen „Legionärskrankheit“ (Fraser, Tsai et al. 1977) konnten mit den Standardmethoden der mikrobiologischen Routinediagnostik nicht ermittelt werden, weswegen auch Viren oder toxische Substanzen als mögliche Ursachen für die Erkrankungen vermutet wurden. Erst im Rahmen eines von den *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) geförderten Forschungsprojekts gelang es durch Anwendung eines Verfahrens, das ursprünglich zur Isolierung von Rickettsien entwickelt worden war, ein bis dato unbekanntes Bakterium nachzuweisen (McDade, Shepard et al. 1977). Retrospektive Untersuchungen an tiefgefrorenen Serumproben bis 1947 konnten nachweisen, dass legionellenbedingte Pneumonien schon lange vor Entdeckung der Erreger aufgetreten waren (McDade, Brenner et al. 1979). Seit der Entdeckung der Legionellen hat sich die Zahl der bekannten Spezies ständig erhöht. Derzeit sind 42 Arten mit 64 Serogruppen bekannt (Benson und Fields 1998).

Bei den Legionellen handelt es sich um stäbchenförmige, aerobe Bakterien mit einem Durchmesser von 0,3 – 0,9 µm und einer Länge von 2 – 20 µm. Die nicht sporenbildenden Bakterien sind von einer Doppelmembran aus zwei dreischichtigen Einheitsmembranen umgeben und durch den Besitz einer (selten auch mehrerer) polarer oder subpolarer Flagellen im flüssigen Milieu beweglich. Die Suche nach einer Möglichkeit der kulturellen Aufzucht von Legionellen wurde anfänglich durch ihren Bedarf an essentiellen Nährstoffen wie besonders L-Cystein, löslichen Eisen-salzen und anderen Aminosäuren als Energiequellen sowie ihrem Unvermögen, Kohlenhydrate zu verwerten (weder fermentativ noch oxidativ), erschwert. Aber spätestens seit den Untersuchungen von Bartlett (Bartlett, Macrae et al. 1986) gibt es über die speziellen Aufzuchtbedingungen der nicht-säurefesten Bakterien immer umfassendere Erkenntnisse. Dazu gehören neben einem pH-Wert von 5,5 – 9,2 (Wadowsky, Wolford et al. 1985) mit einem Optimum von pH 6,9 (States, Conley et al. 1987; Zanetti, Stampi et al. 2000) ein feuchtes Bebrütungsmilieu mit einem CO<sub>2</sub>-Gehalt von 2 – 5% (Bartlett, Macrae et al. 1986). Diese besonderen Anforderungen an das bakteriologische Nährmedium erklären auch die relativ späte Entdeckung dieser Mikroorganismen, da sie sich auf den für die Routinediagnostik verwendeten Nährmedien nicht vermehren können.

## 1.2 Pathogenität, Übertragung und klinisches Bild

Erkrankungen des Menschen sind seit dem Vorfall in Philadelphia sowohl sporadisch auftretend als auch in Form von Ausbrüchen weltweit immer wieder beschrieben worden. Dabei ist eine leichte Häufung der Infektionen in den Sommer- und Herbstmonaten zu beobachten (RKI 1999). Da bis 2001 keine bundesweite Meldepflicht nach dem Bundesseuchengesetz bestand, war man bei der Zahl der jährlich in Deutschland auftretenden, legionellenbedingten Pneumonien auf Schätzungen angewiesen. Hierbei wurde geschätzt, dass 6.000 – 10.000 Fälle pro Jahr auftreten; bei etwa 1 – 5% der in Krankenhäusern behandelten Pneumonien wird eine Legionellose diagnostiziert (RKI 1999). Für die Zukunft ist eine Verbesserung der Infektionsstatistik zu erwarten, da das 2001 verabschiedete Infektionsschutzgesetz (N.N. 2000) eine Meldepflicht für das untersuchende Labor bei Nachweis einer Legionella-Infektion vorsieht. Entsprechende Ergebnisse werden seither regelmäßig

vom Robert-Koch-Institut veröffentlicht, z.B. wurden für 2003 in Deutschland 395 Erkrankungen gemeldet (RKI 2004).

Obwohl nach bisherigem Kenntnisstand grundsätzlich alle Legionellen bei entsprechender Exposition als potentiell humanpathogen anzusehen sind, ist zu beobachten, dass *Legionella pneumophila* bei mehr als 90% der Infektionen nachgewiesen wird (RKI 1999). 82% aller Erkrankungen des Menschen werden dabei ausschließlich durch *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1 verursacht, weniger als 10% durch eine der anderen 14 von 15 Serogruppen von *Legionella pneumophila* (hauptsächlich die Serogruppen 4 und 6), und weniger als 9% von anderen Legionellen-Arten (Lück, Leupold et al. 1993; Benson und Fields 1998; RKI 1999; Yu 2000). Dabei sind von den derzeit bekannten 42 Arten neben *Legionella pneumophila* weitere 18 Arten aufgrund ihrer Isolierung aus klinischem Material als humanpathogen beschrieben (Muder 2000). Diese sind in Tabelle 1.2.1 aufgeführt.

Tabelle 1.2.1: Andere humanpathogene Legionellen-Arten neben *Legionella pneumophila* nach (Muder 2000):

- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| - <i>Legionella micdadei</i>     | - <i>Legionella birminghamensis</i> |
| - <i>Legionella bozemanii</i>    | - <i>Legionella cincinnatiensis</i> |
| - <i>Legionella dumoffii</i>     | - <i>Legionella jordanis</i>        |
| - <i>Legionella longbeachae</i>  | - <i>Legionella gormanii</i>        |
| - <i>Legionella wadsworthii</i>  | - <i>Legionella anisa</i>           |
| - <i>Legionella hackeliae</i>    | - <i>Legionella tucsonensis</i>     |
| - <i>Legionella maceachernii</i> | - <i>Legionella sainthelensi</i>    |
| - <i>Legionella oakridgensis</i> | - <i>Legionella lansingensis</i>    |
| - <i>Legionella feeleii</i>      | - <i>Legionella parisiensis</i>     |

Welche Umstände für die hohe Virulenz von *Legionella pneumophila*, insbesondere der Serogruppe 1, verantwortlich sind, konnte bisher nicht geklärt werden. Bei der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dieser Fragestellung sollte sichergestellt werden, dass eine falsche Gewichtung der Nachweishäufigkeit durch eine eventuelle methodische Bevorzugung von *Legionella pneumophila* ausgeschlossen werden kann. Auch der Umstand, dass lediglich 3% aller sporadischen Fälle von Legionellose auch korrekt diagnostiziert werden (Stout und Yu 1997), sollte bei dieser Überlegung berücksichtigt werden.

Erkrankungen des Menschen durch Legionellen manifestieren sich hauptsächlich in zwei Erscheinungsformen, namentlich dem sog. Pontiac-Fieber und der Legionellose oder Legionärskrankheit (der klassischen Legionellen-Pneumonie).

#### Pontiac-Fieber

Diese legionellenbedingte Infektion zeigt das Erscheinungsbild einer akuten, selbstlimitierenden Influenza-ähnlichen Erkrankung ohne Ausbildung einer Pneumonie (Glick, Gregg et al. 1978). Die Inkubationszeit beträgt 1 – 2 Tage, die Krankheitsdauer bei nur symptomatischer Therapie selten über eine Woche. Die Erkrankungsrate von exponierten Personen liegt nach mehreren Angaben bei über 90% (Nguyen, Stout et al. 1991; Yu 2000).

#### Legionellen-Pneumonie

Diese klassische Ausprägung der Legionellose ist die häufigste, klinisch manifest auftretende, legionellenbedingte Infektion. Ihr Anteil an den ambulant erworbenen Pneumonien beträgt zwischen 0,5 und 5% (Berbecar 1997; Yu 2000). Nach einer Inkubationszeit von 2 – 10 Tagen tritt die Erkrankung mit unspezifischen Symptomen in Erscheinung. Angefangen von leichtem Husten und Fieber in der Frühphase der Erkrankung entwickelt sich rasch eine progredient verlaufende, schwere Pneumonie mit hohem Fieber, oftmals durch ein Multiorganversagen begleitet. Zum breiten Spektrum der Symptome gehören aber auch gastro-intestinale Störungen (25 – 50% der Fälle) und neurologische Komplikationen (Yu 2000). Die Letalität ist bei rechtzeitiger Erkennung und sachgerechter Therapie niedrig, kann aber z.B. bei verspäteter Antibiotikatherapie insbesondere nosokomial erworbener Infektionen bis zu 50% erreichen (Yu 2000).

Die Übertragung der Erreger auf den Menschen geschieht vornehmlich durch Einatmen legionellenhaltiger, lungengängiger Aerosole mit einem Durchmesser der Tröpfchen von weniger als 5 µm, z.B. aus raumluftechnischen Anlagen mit Umlaufsprühbefeuchtung, Hausinstallationsanlagen, Luftbefeuchtern usw. (siehe 1.3). Zwar wurden Legionellen zuerst aus Abstrichen von Duschköpfen isoliert, aber dies scheint nicht der hauptsächliche Übertragungsweg zu sein, da bei modellhaften Laboruntersuchungen nur geringe Legionellenkonzentration in geringer Entfernung

der Wassertröpfchen vom Duschkopf nachzuweisen waren (Bollin, Plouffe et al. 1985; Billing, Heeg et al. 1992). Häufiger beschrieben wird die Übertragung der Erreger auf den Menschen durch das Einatmen legionellenhaltiger Aerosole aus raumluftechnischen Anlagen mit Umlaufsprühbefeuchtung, Rückkühlwerken und Badewasseraufbereitungsanlagen von Hot-Whirl-Pools. Selbst immunkompetente Personen sind dabei gefährdet, wie die in jüngster Zeit aufgetretenen Ausbrüche von Legionellose in den Niederlanden (Kontaminationsquelle: ein Hot-Whirl-Pool, (Van Steenberg, Slijkerman et al. 1999)) und Frankreich (Kontaminationsquellen: Rückkühlwerke (Decludt, Guillotin et al. 1999)) deutlich vor Augen geführt haben. Weiterhin wurden Infektionen durch Aspiration legionellenkontaminierten Wassers (Blatt, Parkinson et al. 1993) beschrieben.

Im Krankenhaus können legionellenkontaminiertes Wasser und Aerosole auf vielfältige Weise auf den Menschen übertragen werden, z.B. durch Hausinstallationsysteme, Badewasseraufbereitungsanlagen, Luftbefeuchter, Beatmungsgeräte, Medikamentenvernebler, Endoskope usw. (Mastro, Fields et al. 1991; Bhopal 1995). Dabei ist davon auszugehen, dass jeglicher Kontakt mit kontaminiertem Trink- oder sonstigem Wasser zumindest für immunsupprimierte Patienten ein Infektionsrisiko darstellt. Auch Wundinfektionen durch Kontakt mit legionellenkontaminiertem Wasser beim Waschen wurden in diesem Zusammenhang beschrieben (Exner 1991; Lowry, Blankenship et al. 1991).

„Nach heutigem Kenntnisstand kann festgehalten werden, dass die Legionellose als die *wichtigste ausschließlich umweltbedingte Infektionskrankheit*, insbesondere als Erreger schwerer Lungenentzündungen, angesehen werden muss“ (Exner 1993). Eine Übertragung von Mensch zu Mensch wurde bisher nicht beschrieben (Nguyen, Stout et al. 1991).

### 1.3 Vorkommen

Legionellen kommen in der natürlichen Umwelt in nahezu allen aquatischen Biotopen vor (Fliermans, Cherry et al. 1981; Fliermans 1983). Aufgrund ihrer Anpassungsfähigkeit, die es ihnen gestattet, ein breites Spektrum unterschiedlicher Umweltbedingungen zu tolerieren, konnten sie weltweit aus nahezu allen Süßwässern (Oberflächengewässer wie Flüsse oder Seen) und auch aus Thermalquellen isoliert

werden (Schaffler Dullnig, Reinthaler et al. 1992). Selbst in feuchter Blumenerde wurden sie nachgewiesen (Steele, Lanser et al. 1990). In bestimmten Protozoen wie z.B. *Acanthamoeba*, *Naegleria* und *Hartmannella* kann es zu einer starken intrazellulären Vermehrung der Legionellen kommen (Barbaree, Fields et al. 1986; Michel und Borneff 1989; Nahapetian, Challemel et al. 1991), von wo die Legionellen konzentriert freigesetzt werden. Die Mechanismen, die den Wechsel zwischen der frei lebenden Form und der Adaptation an die fakultativ intrazelluläre Lebensweise gestatten, sind bisher unbekannt.

In geringen Konzentrationen gelangen die Legionellen über das Rohwasser in die Wasseraufbereitungsanlagen (Seidel, Bätz et al. 1986). Aufgrund ihrer Desinfektionsmitteltoleranz können sie die Aufbereitung überwinden und in die Trinkwasserverteilungsnetze gelangen, in denen sie sich ansiedeln (States, Conley et al. 1985; Althaus 1987; Exner 1993). Die Kolonisation von nachgeschalteten technischen Systemen ist abhängig von den dort vorliegenden Umgebungsbedingungen. Dazu zählen in erster Linie:

- Sedimentablagerungen mit ihrem großen Nährstoffangebot, z.B. in Stagnationszonen von Hausinstallationssystemen (Schofield 1985), ungünstig durchströmten Wasserspeichern, Wäscherkammerwannen von raumluftechnischen Anlagen oder Kühlwasserwannen von Rückkühlwerken (Dermitzel, Geuenich et al. 1992; DVGW 1997; Hinterberger, Mirlach et al. 1998).
- Biofilme in Rohrleitungssystemen, Speicherbehältern, Membranausdehnungsgefäßen, Schlauchsystemen (z.B. Duschen, medizinische Behandlungsgeräte oder zahnärztliche Behandlungseinrichtungen) oder bei Verwendung von Materialien wie Gummi oder Silikon, die die Vermehrung von Legionellen begünstigen (Schofield und Locci 1985; Nideveld, Pet et al. 1986; Schoenen, Schulze-Röbbcke et al. 1988; Hengesbach, Schulze-Röbbcke et al. 1993).
- Die Anwesenheit einer kommensalen Mikroflora (Stout, Yu et al. 1985; Rangel-Frausto, Rhomberg et al. 1999).
- Ein Temperaturbereich von 25 – 50°C, wie er in vielen niedertemperierten Warmwassersystemen aus Gründen des Verbrühungsschutzes oder der Energieeinsparung eingestellt ist, der aber auch in vielen Kühl- und Befeuchterwässern erreicht wird. Bei diesen Temperaturen vermehren sich Legionellen beson-

ders gut (Fliermans, Cherry et al. 1981; Wadowsky, Yee et al. 1982; Seidel, Bätz et al. 1986; Lee, Stout et al. 1988).

Bei Vorliegen derartiger Umgebungsbedingungen wurden technische, wasserführende Systeme von Legionellen persistierend besiedelt. Vor diesem Hintergrund sind viele der in unserem Umfeld existierenden technischen Systeme als mögliche Infektionsquellen unter dem Aspekt einer potenziellen Gefährdung zu betrachten.

Hierbei sind besonders zu nennen:

- Trinkwassererwärmungsanlagen und Hausinstallationssysteme;  
die Nachweishäufigkeit von Legionellen in solchen Anlagen von Großgebäuden (Krankenhäuser, Altenheime, Hotels, etc.) liegt zwischen 65 und 77% (Bartlett, Macrae et al. 1986; Langer, Daniels-Haardt et al. 1990; Mathys, Junge et al. 1990; Exner, Tuschewitzki et al. 1992).
- Badewasseraufbereitungsanlagen;  
schon frühzeitig wurde auf ein mögliches Infektionsrisiko hingewiesen (Bartlett, Macrae et al. 1986; Seidel, Bätz et al. 1986; Kalker, Hentschel et al. 1991); der letzte Ausbruch im Zusammenhang mit einem Hot-Whirl-Pool (Van Steenberg, Slijkerman et al. 1999) unterstreicht die Aktualität der Problematik.
- Raumluftechnische Anlagen mit Umlaufsprühbefeuchtung und Rückkühlwerke /Kühltürme;  
das Gefährdungspotenzial von legionellenhaltigen Aerosolen ist seit den Ereignissen von Philadelphia bekannt. In der Folge wurde immer wieder über Ausbrüche von Legionellose und Pontiac-Fieber berichtet (Mitchell, M et al. 1990; Bhopal, Fallon et al. 1991; Dermitzel, Geuenich et al. 1992; Decludt, Guillotin et al. 1999) und die möglichen Ursachen und Verbreitungsmechanismen untersucht (Schulze-Röbbcke und Apel 1986; Yamamoto, Sugiura et al. 1992; Schulze-Röbbcke und Richter 1994; Brown, Nuorti et al. 1999).
- Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen;  
Auch in diesen wasserführenden Systemen werden Legionellen immer wieder nachgewiesen (Reinthalter und Mascher 1986; Borneff 1989; Atlas, Williams et al. 1995).

Aus infektionsprophylaktischer Sicht ist es wichtig, die ausschließlich exogenen Ursachen für das Auftreten von Legionelleninfektionen auszuschalten bzw. vorhan-

dene Kontaminationen technischer Systeme zu minimieren. Dazu ist es notwendig, den Kontaminationsgrad der Systeme zu kennen, um ein Infektionsrisiko besser abschätzen und geeignete Sanierungsmaßnahmen einleiten zu können. Inzwischen gibt es dazu eine Reihe von Empfehlungen und Richtlinien, die bei der Umsetzung der genannten Forderungen hilfreich sind und angewendet werden sollten. Diese sind in Tabelle 1.3.1 zusammenfassend aufgeführt (siehe Anlage A, Seite 122) und werden in der Diskussion (siehe Punkt 4) eingehend behandelt.

#### 1.4 Rechtliche Aspekte

Regelwerke und Normen (siehe Tabelle 1.3.1) haben lediglich einen Empfehlungscharakter im Sinne der Einhaltung eines aktuellen Stands der Technik aufzuweisen. Erst mit Inkrafttreten der novellierten Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (TW-Komm 2001) im Jahr 2003 hat sich diese Situation in Deutschland geändert.

Der Geltungsbereich der Trinkwasserverordnung umfasst die Anforderungen an Anlagen der Hausinstallation, aus denen Wasser für den menschlichen Gebrauch abgegeben wird; dazu gehört nach Anlage 4, §14 auch die Hausinstallation für Warmwasser, die periodisch auf die Anwesenheit von Legionellen zu untersuchen ist.

Bezüglich der mikrobiologischen Parameter (§5, Abs. 1) heißt es: "Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.". Zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder zur Sicherstellung einer einwandfreien Beschaffenheit des Wassers für den menschlichen Gebrauch sind die zuständigen Behörden berechtigt, Untersuchungen ausdehnen zu lassen, um festzustellen, ob u. a. Legionella-Spezies in Konzentrationen im Wasser enthalten sind, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen. Hierbei sind jedoch immer die Umstände des Einzelfalles zu berücksichtigen.

Damit kann der Verzicht auf eine routinemäßige Legionellenuntersuchung nach § 74 des Infektionsschutzgesetzes strafbar sein, falls das Auftreten von Legio-

nellen-Infektionen mit einer nicht den technischen Regeln entsprechend betriebenen, gewarteten und untersuchten Hausinstallationsanlage in Zusammenhang gebracht wird. Dieser rechtliche Aspekt wurde auch schon vor Inkrafttreten des Infektionsschutzgesetzes im Zusammenhang mit großen Mietshäusern diskutiert (Roth 1997).

Erst dann tätig zu werden, wenn bereits nosokomiale Legionellen-Infektionen aufgetreten sind, steht nach diesen Vorgaben nicht im Einklang mit der neuen Trinkwasserverordnung. Wer als Unternehmer oder sonstiger Inhaber einer Wasserversorgungsanlage (einschließlich einer Hausinstallationsanlage) Wasser für die Öffentlichkeit z.B. in Schulen, Kindertagesstätten oder Krankenhäusern vorsätzlich oder fahrlässig abgibt, das den Anforderungen der Trinkwasserverordnung nicht entspricht, muss hiernach mit Bestrafung rechnen (Freiheitsstrafe bis zu 5 Jahren oder Geldstrafe).

## 1.5 Sanierungsmaßnahmen

In der Praxis werden von Firmen, die sich auf die Sanierung von legionellenkontaminierten Anlagen spezialisiert haben, verschiedenste Verfahren zur Beseitigung einer Legionellenkontamination angeboten. Generell kann man drei Sanierungsmethoden, die auch in Kombination angewendet werden können, unterscheiden:

- Die thermische Sanierung
- Die chemische Sanierung
- Die technische Sanierung (inkl. physikalischer Methoden wie z.B. UV)

### 1.5.1 Thermische Sanierung

Die thermischen Sanierungsmaßnahmen bestehen aus einer vorab durchzuführenden Reinigung und Entschlammung der Speicher/Boiler und ggf. der Verteilerbalken. In diesen Bauteilen vermehren sich Mikroorganismen aufgrund der schlechten Durchströmung und der großen Oberfläche der dort entstehenden Sedimentablagerungen besonders gut (DVGW 1997; Hinterberger, Mirlach et al. 1998). Außerdem lassen sich diese Ablagerungen gut entfernen.

Anschließend wird die Temperatur in den Wassererwärmern auf 65-75°C erhöht. Dieses Heißwasser wird dann zur Spülung aller Leitungsteile durch sukzessives Ablaufenlassen über alle Entnahmestellen verwendet. Dabei sollte jede Entnahmestelle mindestens 5 Minuten geöffnet sein, und die Temperatur des ablaufenden Wassers sollte wiederholt kontrolliert werden.

### 1.5.2 Chemische Sanierung

Bei der chemischen Sanierung wird nach einer Reinigung und Entschlammung der Speicher/Boiler und der Verteilerbalken ein Desinfektionsmittel zugegeben. Nach Verteilung des Mittels im gesamten Installationssystem durch Spülen (dies ist an endständigen Zapfstellen zu kontrollieren) ist eine ausreichende Einwirkzeit (bis zu mehreren Stunden) und anschließende erneute gründliche Spülung mit unversetztem Warmwasser notwendig.

### **1.5.3 Technische Sanierungsmaßnahmen (Umbau, Ionisation, Elektrolyse, Ultraviolettbestrahlung und Ultraschallanwendung)**

Technische Sanierungsmaßnahmen bestehen in der Regel aus einem Umbau der zentralen Trinkwassererwärmung (d.h. Boiler/Speicher, Druckausgleichsgefäße, zentrale Mischer, Verteilerbalken, Pumpen usw.). Diese Bereiche sollten regelmäßig gewartet werden und hinsichtlich ihrer Auslegung und Konstruktion jeweils dem „Stand der Technik“ entsprechen, z.B. den Arbeitsblättern W 551 und W 552 des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches, DVGW (DVGW 1993; DVGW 1996).

Eine bisher in Deutschland selten angewandte Methode stellt die Silber-/ Kupferionisation des Warmwassers dar (Landeem, Yahya et al. 1989; Goetz und Yu 1993; Liu, Stout et al. 1994) (Selenka, Rohr et al. 1995; Rohr, Senger et al. 1996).

Dabei wird in den zu behandelnden Wasserkreislauf eine Elektrode in Form einer Parallelschaltung in den Zirkulationsrücklauf eingebaut. Durch Anlegen einer Wechsellspannung werden von dieser Elektrode Silber- und Kupferionen an das Warmwasser abgegeben. Die Konzentration dieser Ionen kann durch Veränderung der eingesetzten Stromstärke beeinflusst werden, wobei für jedes System individuell die Stromstärken/Konzentrations-Korrelation zu bestimmen ist. Durch diese kontinuierliche Abgabe von Silber- und Kupferionen soll eine Senkung der Legionellenkontamination durch die bakteriziden Eigenschaften dieser Edelmetalle erreicht werden. Der Einbau einer solchen Anlage ist kurzfristig zu realisieren.

Eine weitere Methode ist die sogenannte Anodische Oxidation. Bei diesem Verfahren wird Chlor auf elektrolytischem Weg produziert und beständig im Warmwasser freigesetzt, wodurch ebenfalls eine Senkung der Legionellenkontamination erreicht werden soll.

Im DVGW-Arbeitsblatt W 552 wird neben anderen Sanierungsverfahren exemplarisch besonders die Ultraviolettbestrahlung des Wassers herausgestellt. Dabei wird eine UV-Lampe entweder zentral (Warmwasservorlauf, Zirkulationsrücklauf) oder vor einer peripheren Entnahmestelle in die Warmwasserleitung eingebaut. Die Mikroorganismen in dem an der Lampe vorbeiströmenden Wasser sollen durch die DNS-schädigende Wirkung der energiereichen Strahlung (Frequenz meist bei 260 nm) inaktiviert werden (Muraca, Stout et al. 1987; Yamamoto, Urakami et al. 1987; Martiny, Seidel et al. 1989).

Bei der Verfahrenskombination Ultraschallbehandlung und UV-Bestrahlung soll neben der oben beschriebenen Wirkung des UV-Lichts die mechanische Komponente der Ultraschallapplikation einen zellschädigenden Effekt hervorrufen. Die Zielorganismen sind dabei jedoch nicht die Legionellen sondern die unter Punkt 1.3 beschriebenen Protozoen (*Acanthamoeba*, *Naegleria* und *Hartmannella*), in denen eine starke intrazelluläre Vermehrung der Legionellen stattfinden kann. Die Legionellen sollen durch mechanische Zerstörung der Wirtsorganismen freigesetzt und so der anschließenden UV-Bestrahlung ausgesetzt werden.

## 1.6 Zielsetzung der Arbeit

Legionellen lassen sich in allen Arten von technischen, wasserführenden Systemen nachweisen. Dabei ergeben sich eine Reihe von Fragen, die hinsichtlich einer wirksamen Prophylaxe von Legionellenkontaminationen und deren Beseitigung oder Minimierung von Bedeutung sind:

### **A Vorkommen / Ökologische Aspekte:**

- Gibt es Unterschiede beim Vergleich verschiedener technischer Systeme (Trinkwasser-Erwärmungsanlagen, Badewasseraufbereitungsanlagen, raumluft-technische Anlagen, Rückkühlwerke/Kühltürme und zahnärztliche Behandlungseinrichtungen) hinsichtlich der Häufigkeit und des Grades der Kontaminationshöhe?
- Unterscheiden sich die verschiedenen Legionellen-Spezies und Subtypen hinsichtlich ihres Vorkommens? Persistieren Legionellen über einen längeren Zeitraum (dies ist gerade bei der Erkennung von Zusammenhängen zwischen Legionelleninfektionen und Kontaminationen der in Verdacht stehenden Systeme von großer Bedeutung)?

### **B Erkennung / Surveillance:**

- Wie effektiv sind mikrobiologische Untersuchungen nach der Trinkwasserverordnung hinsichtlich der Beurteilung einer Legionellenkontamination? Korrelieren die nach der Trinkwasserverordnung geforderten Untersuchungsparameter mit dem Vorkommen von Legionellen? Lassen sich also unter Anwendung des konventionellen Indikator-konzeptes Hinweise auf eine Legionellenkontamination der untersuchten Systeme finden?
- Wie effizient sind gängige Untersuchungskonzepte? Reicht die Unterscheidung zwischen systemischer und lokaler Kontamination durch Untersuchung weniger Proben im Vergleich zu aufwändigeren Methoden aus?
- Wie effizient sind Richtlinien und Empfehlungen?  
Sind die in Tabelle 1.3.1 aufgeführten Empfehlungen und Richtlinien zur Erkennung und Beurteilung ausreichend, um Legionellenkontaminationen zu erkennen und geeignete Maßnahmen einzuleiten?

**C Sanierung:**

- Sind die in der Literatur beschriebenen Empfehlungen zur Sanierung von legionellenkontaminierten technischen Systemen in der Praxis umsetzbar und auch wirksam?

Ziel dieser Arbeit ist es, die oben aufgeführten Fragen anhand systematischer Auswertungen und Untersuchungen von technischen, wasserführenden Systemen unter Praxisbedingungen zu diskutieren.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Herkunft und Umfang des Untersuchungsmaterials

#### 2.1.1 Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme

##### 2.1.1.1 Untersuchte Objekte

In dieser Studie wurden Objekte (Gebäude) des Universitätsklinikums Bonn (UKB) und anderer kommunaler Träger von Hausinstallationssystemen auf das Vorkommen von Legionellen untersucht. Die Untersuchungen wurden in der Regel aus Gründen des vorsorglichen Gesundheitsschutzes unter Bezug auf entsprechende Empfehlungen (DVGW 1996; RKI 1999) durchgeführt.

Neben Krankenhäusern und Kliniken wurden die Trinkwassererwärmungsanlagen und Hausinstallationssysteme von

- Altenheimen (Behinderten- und Altenwohnheime),
- Schwimmbädern (öffentlichen Schwimm- und Freizeitbäder),
- Schulen (Turnhallen und Sportanlagen),
- Öffentlichen Gebäuden (Büro- und Verwaltungsgebäude),
- Hotels,
- Industriegebäuden (Waschkäuen, Betriebs- und Produktionshallen),
- Wohngebäuden (Ein- und Mehrfamilienhäuser) und
- Unterkunftsgebäuden (Liegenschaften)

durch Ortsbegehungen charakterisiert und zum Teil wiederholt untersucht.

##### 2.1.1.2 Allgemeine Beschreibung der Anlagen

In den Heizungszentralen von Großgebäuden wird Warmwasser über Wärmetauscher von Primärenergieträgern (Fernwärme, Gas-, Öl- oder elektrischer Heizung) erzeugt. Das Füllwasser, in der Regel aus der öffentlichen Trinkwasserversorgung (selten auch aus betreibereigenen Brunnen), wird dabei über die Wärmetauscher auf die Solltemperatur (üblicherweise zwischen 30 und 60°C) gebracht und in Vorratsbehältern (Speichern) bereitgestellt; die Verbraucher beziehen das Warmwasser dann aus diesen Speichern (auch Boiler genannt, wenn die Wärmeerzeugung im Behälter selbst stattfindet).

Je nach Konzeption der Anlage umfasst das bevorratete Warmwasservolumen einige hundert bis mehrere tausend Liter.

Das Warmwasser gelangt aus den Speichern direkt oder über einen Warmwasserverteilerbalken in mehreren Teilsträngen zu den peripheren Entnahmestellen (Waschbecken, Duschen, sonstige Verbrauchsstellen). Das hier nicht benötigte Warmwasser wird in der Regel über einen Zirkulationsrücklauf der Trinkwassererwärmungsanlage wieder zugeführt (Kreislauf).

Die Trinkwassererwärmungsanlagen und Hausinstallationssysteme weisen allgemein eine große Bandbreite an individuellen Konstruktionsmerkmalen hinsichtlich Aufbau, eingesetzten Materialien und Betriebsweise auf. Die am häufigsten vertretenen Anlagentypen, und deren Charakteristika sind im Ergebnisteil (siehe Pkt. 3.1.1) so, wie sie sich bei Ortsbegehungen darstellten, aufgeführt und erläutert.

#### 2.1.1.3 Probeentnahmestellen

In den Hausinstallationssystemen wurden die Wasserproben je nach Möglichkeit aus der zentralen Trinkwassererwärmungsanlage und aus peripheren Entnahmestellen entnommen.

In der jeweiligen Trinkwassererwärmungsanlage selbst wurde der Warmwasservorlauf entweder am Ablaufhahn der Speicher bzw. Boiler oder aber am Ablaufhahn der Warmwasser-Verteilerbalken beprobt. Weiterhin wurden Wasserproben aus dem Zirkulationsrücklauf entnommen. Dies geschah in der Regel an Entlüftungshähnen der Zirkulationspumpen oder aber - falls vorhanden - an den Ablaufhähnen der Zirkulationsrücklauf-Sammelbalken.

In der Peripherie der Leitungsanlagen wurden stichprobenartig möglichst weit von der Zentrale entfernt liegende Entnahmestellen in den verschiedenen Teilsträngen des Rohrleitungssystems ausgewählt. Durch den Vergleich der Ergebnisse von zentralen und peripheren Untersuchungsstellen konnte zwischen einer systemischen oder lokal begrenzten Kontamination differenziert werden. Diese Unterscheidung ist bei der Formulierung von Sanierungsempfehlungen von großer Bedeutung. Die Wasserproben wurden dann gemäß DIN 38 402 Teil 14 (DIN 1986) aus den Armaturen nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz (vergl. Pkt. 2.2.2.1) entnommen.

#### 2.1.1.4 Anzahl der untersuchten Proben

Im Zeitraum von Dezember 1991 bis März 1999 wurden auf diese Weise 4059 Proben aus 333 verschiedenen Trinkwassererwärmungsanlagen untersucht.

## 2.1.2 Badewasseraufbereitungsanlagen

### 2.1.2.1 Untersuchte Objekte

Die Badewasser-Aufbereitungsanlagen von

- Behinderten- und Altenwohnheimen (Bewegungsbecken),
- Hotels (Schwimmbecken, Hot Whirl Pools),
- Krankenhäusern und Kliniken (Bewegungs- und Therapiebecken),
- öffentlichen Schwimm- und Freizeitbädern und
- Schulen

wurden besichtigt und das Wasser auf das Vorkommen von Legionellen untersucht.

### 2.1.2.2 Allgemeine Beschreibung der Anlagen

In Badewasser-Aufbereitungsanlagen wird das Schwimm- und Badebeckenwasser ebenfalls über Wärmetauscher von Primärenergieträgern erwärmt. Das Füllwasser - stets Trinkwasser aus der öffentlichen Versorgung, selten auch aus betriebeigenen Brunnen - wird dabei zuerst im sog. Schwallwasserbehälter mit Beckenwasser je nach Konstruktion der Anlage aus dem Bodenablauf oder der Überlaufrinne des Badebeckens vermischt. In diesem Schwallwasserbehälter findet neben dieser Frischwasserbeimischung auch eine Sedimentation von sog. genuinen Bestandteilen (also Fremdkörpern wie Haare, Heftpflaster etc.) aus dem Beckenwasser statt. Im Anschluss wird das Wasser nach Zusatz eines Flockungsmittels (Aluminiumhydroxid, Aluminiumsulfat, Eisensulfat o.ä.) über einen oder mehrere Mehrschichtsand- und Kiesfilter geführt, wobei die an das Flockungsmittel gebundenen Fremdpartikel in den Filtern zurückgehalten werden; das Wasser wird dann als sogenanntes „Flockungsfiltrat“ durch Zugabe von Chlorpräparaten desinfiziert und nach Erwärmung dem Becken als Reinwasser wieder zugeführt. Für die Desinfektion ist gemäß DIN 19643-1 eine Konzentration von 0,3 – 0,6 mg/l freiem Chlor im Rein- und Beckenwasser zugelassen (DIN 1997). Bei Einschaltung einer Ozon-Behandlung reduziert sich die zugelassene Konzentration von freiem Chlor auf 0,2 – 0,5 mg/l.

Die untersuchten Badewasser-Aufbereitungsanlagen entsprechen in Ihrem grundsätzlichen Aufbau dem Schema, das im Ergebnisteil (siehe Pkt. 3.2.1) als Resultat der Ortsbegehungen aufgeführt ist.

### 2.1.2.3 Probeentnahmestellen

Entsprechend den Vorgaben der DIN 19643-1 wurden in den Badewasser-Aufbereitungsanlagen Beckenwasserproben mittels steriler Tauchflaschen (siehe Abbil-

dung 2.1.2.3) aus den Schwimm- oder Badebecken entnommen. Filtratproben wurden an den Entnahmearmaturen der Filtergehäuse gemäß DIN 38 402 Teil 14 nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz (vergl. Pkt. 2.2.2.1) entnommen.



Abb. 2.1.2.3: Tauchflasche zur sterilen Entnahme von Schöpfproben

#### 2.1.2.4 Anzahl der untersuchten Proben

Auf diese Weise wurden 625 Proben aus insgesamt 178 verschiedenen Badewasseraufbereitungsanlagen untersucht.

### 2.1.3 Raumluftechnische Anlagen („RLT-Anlagen“)

#### 2.1.3.1 Untersuchte Objekte

Im Rahmen dieser Studie wurden raumluftechnische Anlagen („Klimaanlagen“ oder „RLT-Anlagen“) von

- öffentlichen Schwimmbädern,
- Industriegebäuden (Produktionshallen) und
- Verwaltungsgebäuden

besichtigt und untersucht.

#### 2.1.3.2 Beschreibung der Anlagen

Raumluftechnische Anlagen sollen (u.a. durch Befeuchtung) ein physiologisch günstiges Raumklima schaffen und dabei gemäß der VDI-Richtlinie 6022 Luft von

hygienisch einwandfreier Beschaffenheit liefern (VDI 1998). Unter dem Aspekt der Legionellenproblematik ist bei RLT-Anlagen das zur Befeuchtung der Luft verwendete Wasser von entscheidender Bedeutung. Zur Zeit werden zur Befeuchtung der Raumluft hauptsächlich zwei Verfahren angewendet: Zum einen die sog. Dampfluftbefeuchtung, bei der durch Zusatz von heißem Wasserdampf die gewünschte Raumluftfeuchte eingestellt wird; zum anderen die sog. Verdunstungs- bzw. Umlaufsprühbefeuchtung. Bei diesem Verfahren wird Wasser aus einem Sammelbecken mittels Düsenstöcken in den Luftstrom feinstverteilt. Über Tropfenabscheider, senkrecht in den Luftstrom eingebaute, dichtgepackte Lamellen aus (meist) Kunststoff, wird das nicht verdunstete Wasser am Ende der Befeuchterstrecke aus der Luft entfernt und dem Sammelbecken wieder zugeführt. Die durch die Befeuchtung verlorene Wassermenge wird durch Zusatz von Frischwasser (Trinkwasser) ersetzt. Aufgrund der Aerosolentstehung kommt der mikrobiologischen Qualität des oftmals bis zu 30°C warmen Befeuchterwassers vor dem Hintergrund einer möglichen Vermehrung von Legionellen entscheidende Bedeutung zu.

#### 2.1.3.3 Probeentnahmestellen

In den Wäscherkammern der raumlufttechnischen Anlagen wurden Wasserproben des „Befeuchterwassers“ mittels Tauchflaschen aus den Sammelbecken entnommen.

#### 2.1.3.4 Anzahl der untersuchten Proben

Auf diese Weise wurden 126 Proben aus 65 raumlufttechnischen Anlagen verschiedener Objekte untersucht.

### 2.1.4 Kühltürme / Rückkühlwerke

#### 2.1.4.1 Untersuchte Objekte

Bei den untersuchten Objekten handelt es sich um Kühltürme von industriellen Großfertigungsanlagen verschiedener Branchen (Energieerzeugung, Chemie, Metallverarbeitung) und Rückkühlwerke sowie des Universitätsklinikums Bonn.

#### 2.1.4.2 Beschreibung der Anlagen

Bei Kühltürmen und Rückkühlwerken ist aus hygienischer Sicht das zum Wärmeabtransport, d.h. zur erforderlichen Kühlung, verwendete Wasser von Interesse. Dabei sind Anlagen in offener Bauweise (Versprühung des Kühlwassers im Luft-

strom) von solchen in geschlossener Bauart (Berieselung von Kühlschlangen eines räumlich geschlossenen Kühlkreislaufs) zu unterscheiden. Bei letzteren ist aufgrund des günstigen Temperaturbereichs von 25 – 35 °C zwar auch mit einer Vermehrung von Legionellen zu rechnen; im Gegensatz zu den offenen Anlagen findet jedoch keine Aerosolbildung und Verbreitung des potentiell legionellenhaltigen Wassers in die Umgebung statt. Damit ist eine Gefährdung der Umgebung konstruktionsbedingt nahezu ausgeschlossen.

#### 2.1.4.3 Probeentnahmestellen

In den Kühltürmen und Rückkühlwerken wurden Wasserproben mittels Tauchflaschen aus den Kühlwasser-Sammelbecken („Kühlwassertassen“) entnommen.

#### 2.1.4.4 Anzahl der untersuchten Proben

Es wurden 90 Proben aus 12 Kühltürmen und 15 Rückkühlwerken untersucht.

### 2.1.5 Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen

#### 2.1.5.1 Untersuchte Objekte

Untersucht wurden die zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen der Zahnklinik des Universitätsklinikums Bonn sowie einiger niedergelassener Zahnärzte.

#### 2.1.5.2 Allgemeine Beschreibung der Anlagen

Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen („Zahnarztstühle“) benötigen für vielfältige Funktionen eine Wasserversorgung, und verfügen daher in der Regel über einen eigenen, festinstallierten Anschluss an das Trinkwasser-Leitungsnetz. Wasser wird primär zur Kühlung des Zahnmaterials bei Verwendung der Turbine oder des Mikromotors benötigt. Weiterhin dient es der Reinigung der Mundhöhle bei Einsatz einer Munddusche („Arzt- oder Helferinnen-Spray“) oder eines Mundspülbeckers. Dafür wird das Wasser durch integrierte, elektrische Durchlauferhitzer auf annähernd Körpertemperatur erwärmt.

Die einzelnen Gerätschaften werden dabei über flexible Kunststoff- oder Silikon-schläuche mit Wasser versorgt. Da diese Gerätschaften und Schläuche aufgrund ihrer Größe oder Konstruktion in der Regel nicht oder nur unter großem Aufwand zu reinigen sind, verfügen einige der in dieser Studie untersuchten Behandlungsstühlen über eingebaute Desinfektionsvorrichtungen. Dabei handelt es sich um Systeme-

me, durch die dem Wasser kontinuierlich Wasserstoffperoxyd ( $H_2O_2$ , stabilisiert, 0,94%ig) zugesetzt wird.

#### 2.1.5.3 Probeentnahmestellen

An den Behandlungstühlen wurden Wasserproben direkt durch Ablauf aus den verschiedenen Gerätschaften entnommen. Dabei wurden Mikromotor, Turbine, Arzt- und Helferinnen-Spray, Mundspülbecher und Trinkwasser-Zuleitung als Entnahmestellen beprobt.

Die Wasserproben wurden ebenfalls gemäß DIN 38 402 Teil 14 nach Ablaufenlassen bis zur Temperaturkonstanz (vergl. Pkt. 2.2.2.1) aus den Armaturen entnommen. Da die Entnahmearmaturen hauptsächlich aus Kunststoff bestanden, war ein Abflammen nicht möglich. Die Gerätschaften wurden daher vor der Probenahme behelfsweise mit Desinfektionstüchern (Sagrosept) abgewischt.

#### 2.1.5.4 Anzahl der untersuchten Proben

Es wurden 112 Proben aus zwölf zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen unterschiedlicher Konstruktion untersucht.

### **2.1.6 Sonstige wasserführende Systeme**

#### 2.1.6.1 Untersuchte Objekte

Neben den bisher genannten Systemen wurden stichprobenartig Anlagen zur Herstellung von entmineralisiertem Wasser, sog. VE-Wasser (VE = vollentsalzt), Installationssysteme zur Befeuchtung von Papierwalzen in Druckmaschinen, Kaltwasser-Leitungssysteme, Trinkwasser-Gewinnungsanlagen, Umkehrosmose- und Wasserdestillationsanlagen untersucht.

#### 2.1.6.2 Anzahl der untersuchten Proben

Es wurden 21 Proben aus fünf verschiedenen wasserführenden Systemen untersucht.

## 2.2 Probengewinnung vor Ort

### 2.2.1 Geräte und Instrumente

Für die Probengewinnung wurden folgende Gerätschaften verwendet:

Gasbrenner (mit Gaskartusche Propan/Butan)	Camping Gaz Int., Paris
Transportkoffer (wärmeisoliert und lichtdicht)	Eich, Bonn
Meßbecher (Kunststoff, 250 ml)	B. Braun, Melsungen
Probenflaschen (Schott Duran, 250 ml, Schraubdeckel)	Schott, Mainz
Tauchflaschen (Schott Duran, 250 ml, mit Schliffstopfen in Messinggestell mit Entnahmekette und Transport- hülse)	Eich, Bonn
Thermometer mit Fühler, Typ HI 9060 (wasserdicht)	Hannah, Kehl a.Rh.

### 2.2.2 Methodik der Probenahme

#### 2.2.2.1 Probenahme aus Entnahmearmaturen

In Trinkwassererwärmungsanlagen, Hausinstallationssystemen und zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen sind in der Regel endständige Entnahmearmaturen oder Zapfhähne vorhanden. In Badewasseraufbereitungsanlagen gilt dies meist auch für die Filtereinheiten (Entnahme von Rohwasser bzw. Flockungfiltrat). Die Wasserproben aus solchen Armaturen wurden gemäß DIN 38 402 Teil 14 wie folgt entnommen:

- Perlatoren, wenn vorhanden, wurden entfernt.
- Die ersten 100-200 ml Wasser wurden in einem Meßbecher aufgefangen und sofort die Temperatur gemessen.
- Der Wasserhahn wurde gut abgeflammt, um eine mögliche Kontamination der Wasserproben durch eine isoliert vorhandene Besiedlung der Entnahmestelle zu verhindern.
- Der Wasserhahn wurde weit aufgedreht, das Wasser bis zur Temperaturkonstanz ablaufen gelassen und die maximale Temperatur protokolliert.
- Mindestens 200 ml frei fließendes Wasser wurde in eine sterile Glasflasche gefüllt.
- Die Entnahmezeit wurde aufgeschrieben und die Probeflasche entsprechend beschriftet.

### 2.2.2.2 Gewinnung von Schöpfproben

In Wäscherkammern von raumluftechnischen Anlagen, Kühlwassertassen von Rückkühlwerken und Kühltürmen sowie Schwimmbecken von Badewasseraufbereitungsanlagen wurden die Wasserproben mittels Tauchflaschen (250ml) direkt aus den Becken geschöpft. Die Temperaturmessung geschah dabei unmittelbar nach der Probenahme durch direkte Messung im Beckenwasser.

Zur weiteren Verarbeitung wurden die Proben in einem geschlossenen Koffer (Lichtschutz und Wärmeisolation) unverzüglich ins Labor transportiert.

## 2.3 Probenverarbeitung

### 2.3.1 Geräte, Instrumente und Zubehör

Brutschrank 37°C, Typ B6420	Heraeus, Hanau
Filtrationseinheit, Typ 16282, Edelstahl	Sartorius, Göttingen
Gefrierschrank -20°C	Bosch, Stuttgart
Impfschlingen 1 µl	Sarstedt, Nümbrecht
Kühlschrank 4-8°C	Bosch, Stuttgart
Lichtmikroskop mit Fluoreszenz-Einrichtung	Leitz, Wetzlar
Messzylinder 10 ml, 100 ml und 500 ml	Schott, Mainz
Objektträger, maskiert für DIF-Test, Typ XER-308 BSF	Eich, Bonn
pH-Meter, Typ ph-540 GLP	WTW, Weilheim
Pipetten (variable Volumina 2-20 µl, 100-1.000 µl), Typ Reference	Eppendorf, Hamburg
Sterile Werkbank, Typ CEAG	Euvirco, Dortmund
Tiefkälteschrank -80°C, Typ Profimaster	National Lab, Mölln
Vakuumpumpe, Typ EKF 56 CX-4	Vacuubrand, Wertheim
Waage (Laborwaage), Typ 1212 MP	Sartorius, Göttingen
Wasserbad 50°C, Typ WB 22	Memmert, Schwabach

### 2.3.2 Nährmedien und Reagenzien

Nährmedien (Fertigplatten)

- |  |              |
|--|--------------|
| • Legionella-MWY-Selektivnährboden, Nr. RPP 071            | Oxoid, Wesel |
| • Legionella-BCYE $\alpha$ -Selektivnährboden, Nr. RPP 072 | “            |
| • Legionella-GVPC-Selektivnährboden, Nr. RPP 074           | “            |
| • Schafsblut-Agar, Fertigplatten, Nr. RPP 008B             | “            |

- Nähragar (DEV-Agar):

Der Nähragar nach dem Deutschen Einheitsverfahren (DEV) wird nach folgendem Verfahren hergestellt:

Pepton	10,0 g
Fleischextrakt	10,0 g
NaCl	5,0 g
Agar	15,0 g

werden in 1000 ml Aqua dest. suspendiert und durch Erhitzen im Dampftopf in Lösung gebracht. Nach Abkühlung wird der pH-Wert mit Natronlauge auf einen Wert von  $7,2 \pm 0,3$  eingestellt. Anschließend wird der Nähragar autoklaviert (20 min. bei 121 °C).

#### DIF-Test (Direkter Immunfluoreszenz-Test)

- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 1, Nr.: 301 504, Viramed, Planegg
- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 2, Nr.: 301 505, “
- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 3, Nr.: 301 506, “
- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 4, Nr.: 301 507, “
- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 5, Nr.: 301 508, “
- FITC-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 6, Nr.: 301 509, “
- FITC-Mischkonjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppen 1 bis 6, Nr.: 301 521, “
- FITC-Mischkonjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppen 1 bis 14, Nr.: 301 527, “
- FITC-Mischkonjugat, Legionella Spezies b, d, g, l, m, j (L.bozemanii, L.dumoffii, L.gormanii, L.longbeachae, L.micdadei, L.jordanis), Nr.: 301 526, “
- Eindeckmedium für Legionellen-DIF-Test (pH 9,0), Nr.: 901 61, “

Latex-Test, Legionella Test-Kit, DR 800, bestehend aus:

Oxoid, Wesel

- Latex-Konjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppe 1
- Latex-Mischkonjugat, *Legionella pneumophila*, Serogruppen 2 bis 14
- Latex-Mischkonjugat, Legionella Spezies (L.bozemanii, L.dumoffii, L.gormanii, L.longbeachae, L.micdadei, L.jordanis, L.anisa)
- Verdünnungs-Pufferlösung
- Kontroll-Latex
- Negativ-Kontrolle
- Positiv-Kontrolle

Membranfilter, Durchmesser 47 mm:

- Cellulosenitrat, Porengröße 0,45 µm, mit Zählgitter, Typ MSP 000814 Millipore, Eschborn
- Polycarbonat, Porengröße 0,4 µm, Typ 04700 “

Na-Thiosulfat

Merck, Darmstadt

Puffer

- PBS (5-fach):  
Die zum Spülen der Objektträger verwendete sterile PBS-Lösung (1-fach, ohne Ca, ohne MgCl<sub>2</sub> · 6 H<sub>2</sub>O, pH 6,8 - 7,2) wird nach folgendem Verfahren hergestellt:

Die Zutaten:	NaCl	40,00 g
	KCl	1,00 g
	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	5,75 g
	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,00 g

von der Firma Merck werden der Reihe nach in 1000 ml Aqua bidest. gelöst.

Nach Bedarf wird diese 5-fache PBS-Lösung mit Aqua bidest 1 : 5 verdünnt, der pH-Wert der 1-fachen PBS-Lösung dann mit NaHCO<sub>3</sub> (5,6%) eingestellt, und die PBS-Lösung vor Gebrauch autoklaviert.

- Säurepuffer (nach ISO 11731)

Der zur Reduktion von unerwünschter Begleitflora verwendete sterile Säurepuffer, pH 2,2 ± 0,2 wird nach folgendem Verfahren hergestellt:

Die Zutaten:	HCl	17,4 ml, 35%ig (für Lösung A)
	KCl	14,9 g (für Lösung B)
	KOH	1 mol/l (zur Einstellung des pH-Werts)

von der Firma Merck werden wie folgt verwendet:

Herstellung einer 0,2 mol/l Lösung durch Hinzufügen der Salzsäure (HCl) zu 1000 ml Aqua dest. (=Lösung A). Herstellung einer 0,2 mol/l Lösung durch Hinzufügen des Kaliumchlorids (KCl) zu 1000 ml Aqua dest. (=Lösung B).

Ein Volumen von 3,9 ml der Lösung A wird mit 25 ml der Lösung B vermischt, der pH-Wert des Säurepuffers dann mit KOH (1 mol/l) eingestellt und der Puffer vor Gebrauch autoklaviert.

### **2.3.3 Kulturelle Anzucht von Legionellen aus Wasserproben**

Obwohl Legionellen sich in Süßwässern verschiedenster Herkunft nachweisen lassen, ist die kulturelle Anzucht vergleichsweise anspruchsvoll. Diese gelang erstmals 1978 unter Berücksichtigung der phänotypischen Besonderheit der Legionellen, lösliche Eisensalze (Eisenpyrophosphat) und L-Cystein essentiell zu benötigen (Feeley, Gorman et al. 1978). Daher gilt das fehlende Wachstum von Legionellen auf Schafsblut-Agar (Cystein-frei) als wichtiges Identifizierungskriterium.

Für die Subkultivierung und Stammhaltung wird der BCYE $\alpha$ -Agar (Buffered Charcoal Yeast Extract Agar mit  $\alpha$ -Ketoglutarat, pH 6,9) eingesetzt (Pasculle, Feeley et al. 1980; Edelstein 1981). Für die Anzucht von Primärkulturen aus Wasserproben eignet er sich jedoch in Abhängigkeit von der Stärke der Begleitkontaminationen aufgrund seiner mangelnden Fähigkeit, diese zu unterdrücken, nur bedingt. Hierfür wurde das BCYE $\alpha$ -Medium durch Antibiotika-Zusätze (Anisomycin, Polymyxin B und Vancomycin) modifiziert (Wadowsky und Yee 1981; Edelstein 1982). Dieses als MWY (Mezmar, Wadowsky, Yee)-Agar bezeichnete Medium ist für die Untersuchung von Wasserproben gut geeignet, bei Anwesenheit einer starken Begleitflora sind jedoch zusätzliche Maßnahmen zu deren Reduktion (z.B. in Form von Hitze- oder Säurevorbehandlung der Probe) erforderlich.

Eine weitere Modifikation des BCYE $\alpha$ -Mediums durch Beigabe von Glycin und einer anderen Antibiotika-Kombination (Cycloheximid, Polymyxin B und Vancomycin) wird entsprechend seiner Zusätze als GVPC-Medium bezeichnet. Dieses Medium ist für die Untersuchung von Umweltproben ebenfalls gut geeignet. Die Unterschiede hinsichtlich Sensitivität und Selektivität zwischen dem GVPC- und dem MWY-Agar sind gering (Pleischl, Frahm et al. 1999). Dieses Medium wurde jedoch bei den vorliegenden Untersuchungen nicht verwendet, da eine Fertigplatte in hinreichender und gleichbleibender Qualität kommerziell nicht verfügbar war.

Die Untersuchung auf Legionellen erfolgt in Abhängigkeit von der Herkunft und Qualität des zu untersuchenden Wassers aus unterschiedlichen Probevolumina. Während z. B. die DIN 19643 (DIN 1997) für die Untersuchung von Schwimmbeckenwasser den Grenzwert für den Nachweis von Legionellen bei 1 ml ansetzt (kein Nachweis von Legionellen in 1 ml), wird bei der Untersuchung von Flockungsfiltrat (Filterablaufwasser) der Grenzwert bei 100 ml definiert (kein Nachweis von Legionellen in 100 ml). Bei der Untersuchung von Trinkwasser, Trinkwarmwasser, Kühlwasser, Befeuchterwasser etc. wird in der ISO 11731 ebenfalls die Untersuchung von größeren Volumina (100 – 1.000 ml) zur Erfassung geringerer Legionellenkonzentrationen empfohlen (ISO 1998).

Daher wurden Proben von Trinkwasser, aus Hausinstallationssystemen, Trinkwassererwärmungsanlagen, Badewasseraufbereitungsanlagen (Flockungsfiltrat) und zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen, bei denen erfahrungsgemäß mit einer geringeren Begleitflora bzw. geringgradigen allgemeinen Verschmutzung (z.B. durch Schwebstoffe) zu rechnen ist, wie folgt angesetzt:

#### **a) Untersuchung größerer Volumina (100 ml) bei geringer Begleitkontamination\***

Von jeder Wasserprobe werden 100 ml mittels Membranfiltration über Cellulosenitrat-Filter (Porenweite 0,45 µm, Zählgitter nach oben weisend) konzentriert. Der Membranfilter wird (mit der Oberseite nach oben) auf eine MWY-Fertigplatte aufgelegt. Die Methode des direkten Filterauflegens auf Agarplatten hat sich bei der Untersuchung von Wasserproben mit geringer Begleitkontamination gegenüber anderen Methoden mit weiteren Verarbeitungsschritten zur Resuspendierung von den Filtern und anschließender Weiterverarbeitung als vorteilhaft erwiesen (Szewzyk, Allestam et al. 1991; Schulze-Röbbcke, Hartemann et al. 1999). Zusätzlich wurden im Doppelansatz jeweils 0,1 ml und 1 ml im Oberflächenverfahren auf weitere vorgetrocknete MWY-Agarplatten ausplattiert.

\* Dieses Verfahren des parallelen Ansatzes von kleinen Volumina im direkten Oberflächenverfahren und einer Aufkonzentrierung mit anschließendem direkten Auflegen des Filters wurde im DIN ad hoc-Arbeitskreis „Legionellen“ in einem Ringversuch mit dem Verfahren der ISO 11731 verglichen. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede der Ergebnisse zwischen diesem einfachen und wenig aufwändigen Verfahren und der Methode der ISO 11731 bei der Untersuchung von gering belasteten Wässern festgestellt werden (Pleischl, Frahm et al. 1999).

Proben aus raumluftechnischen Anlagen (Befeuchterwasser), Kühlwässer und andere technische (Prozeß-)Wässer, bei denen eine stärkere Begleitflora bzw. größere allgemeine Verschmutzung zu vermuten war, wurden wie folgt angesetzt:

**b) Untersuchung größerer Volumina (100 ml) bei starker Begleitkontamination**

Von jeder Wasserprobe wurden 100 ml mittels Membranfiltration über Polycarbonat-Filter (Porenweite 0,45 µm) geführt.

Nach Überführung des Filters in 5 ml steriles Aqua dest. wurden die Mikroorganismen durch Ultraschallbehandlung vom Filter abgelöst. Zur Reduktion der Begleitflora wurde je ein Teil des Konzentrats (Volumen jeweils 1,5 ml) einer Hitzebehandlung im Wasserbad (50°C, 30 min) bzw. einer Säurebehandlung (Mischen mit HCl/KCl-Puffer [0,2 mol/l] im Verhältnis 1:1, Einwirkzeit 5 min.) unterzogen. Ein dritter Teil blieb unbehandelt. Neben dem oben beschriebenen Direktansatz aus der Originalprobe wurden von diesen drei Fraktionen jeweils 0,5 ml im Doppelansatz auf MWY-Medium ausgespatelt.

Dieses Verfahren entspricht weitgehend den Ausführungen der ISO 11731.

Schwimmbeckenwasserproben aus Badewasseraufbereitungsanlagen wurden wie folgt angesetzt:

**c) Untersuchung kleiner Volumina (1 ml)**

Von der Originalprobe wurden im Doppelansatz 1 ml direkt auf vorgetrocknete MWY-Agarplatten ausplattiert.

Die weitere Verarbeitung der Ansätze erfolgte identisch nach folgendem Schema:

Die MWY-Agarplatten wurden bei  $36 \pm 1^\circ\text{C}$  über 7 Tage (in Ausnahmefällen bis zu zehn Tage) in feuchter Atmosphäre bebrütet. In diesem Bebrütungszeitraum wurden die Ansätze in der Regel zweimal (nach 5 und 7 Tagen) auf *Legionella*-verdächtige Kolonien untersucht. Legionellen wachsen auf MWY-Agar als weiße bis grün-blaue, glänzende, runde, glatte, erhabene Kolonien, die im Allgemeinen ein weiß-abgesetztes Zentrum aufweisen. Alle typisch gewachsenen Kolonien einer MWY-Agarplatte wurden ausgezählt und protokolliert. Von den *Legionella*-verdächtigen Kolonien einer Platte wurden Subkulturen parallel auf BCYE $\alpha$ -Agar und Schafsblut-Agar zur Prüfung der Cysteinabhängigkeit angelegt. Isolate, die Wachstum auf cysteinhaltigen (BCYE $\alpha$ -Agar), aber nicht auf cysteinfreien Nährmedien

(Schafsblut-Agar) mit der typischen Koloniemorphologie aufwiesen, wurden als Legionellen angesehen (ISO 1998). Eine Differenzierung der Spezies wurde anschließend unter Anwendung eines direkten Immunfluoreszenz-Tests (DIFT) oder Latex-Agglutinationstests durchgeführt.

Zur Berechnung des Ergebnisses wurden die Platten mit der höchsten, auswertbaren Zahl von Kolonien verwendet (ISO 1998).

### **2.3.4 Differenzierung der Legionellen**

#### **2.3.4.1 Direkter Immunfluoreszenz-Test (DIFT)**

Zur Zeit sind 42 Legionellen-Spezies mit 64 Serogruppen beschrieben (Benson und Fields 1998; Maiwald, Helbig et al. 1998). *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1 wird dabei besonders häufig isoliert (Lück, Leupold et al. 1993) und auch als Infektionserreger am häufigsten identifiziert (Bartlett, Macrae et al. 1986; Benson und Fields 1998; RKI 1999; Yu 2000).

Bei dem direkten Immunfluoreszenz-Test werden mit einem Fluoreszenzfarbstoff gekoppelte Kaninchen-Antikörper (FITC-Konjugat) mit dem verdächtigen Umweltisolat zusammengebracht. Dabei binden die markierten Antikörper an spezifische Zellwandstrukturen (O-Antigene, LPS) der Bakterien. Nach Entfernen des überschüssigen Konjugats werden die so behandelten Isolate lichtmikroskopisch untersucht. Durch Anregung mit ultraviolettem Licht werden auf diese Weise fluoreszenzmarkierte Bakterienzellen sichtbar. Neben polyvalenten FITC-Konjugaten, die die Zuordnung der Isolate zu einem Pool von verschiedenen Legionellen-Spezies ermöglichen, sind speziell für *Legionella pneumophila* auch monovalente FITC-Konjugate erhältlich, die den Nachweis einzelner Serogruppen ermöglichen.

Die Anwendung des Verfahrens bei klinischem Material gilt aufgrund seiner Störanfälligkeit für Kreuzreaktionen z.B. mit Pseudomonaden (Ehret 1992; Maiwald, Helbig et al. 1998) und seiner geringen Sensitivität als problematisch und setzt eine große Erfahrung des Untersuchenden voraus. Bei der Identifizierung von Legionellen aus Umweltmaterial (Wasserproben) fallen diese Faktoren weniger ins Gewicht, da aufgrund der vorangegangenen kulturellen Anzucht meist Reinkulturen zur Untersuchung gelangen. Hier erweist sich der geringe Zeitaufwand von ca. 2 – 4 Stunden für den DIFT gegenüber anderen Identifizierungsverfahren, wie z.B. Puls-

feldgelelektrophorese (PFGE) oder Enzym-Linked-Immuno-Assay (ELISA), als vorteilhaft.

Von jedem zu überprüfenden Isolat wurde eine dichte Suspension in 1 ml Aqua dest. hergestellt. Je 5 µl dieser Suspension wurden auf die einzelnen Felder des Objektträgers übertragen. Nach Lufttrocknen und Hitzefixierung der Präparate wurde jeweils eines der Felder mit einem der FITC-Konjugate (s. 2.3.2) überschichtet und in einer feuchten Kammer über 30 Minuten bei  $36 \pm 1$  °C inkubiert. Anschließend wurde der Objektträger mit sterilem PBS mittels Spritzflasche vorsichtig abgespült. Es schlossen sich zwei weitere Spülgänge in PBS (5 min) an. Abschließend erfolgte eine kurze Nachspülung in sterilem Aqua dest.. Nach Trocknen der Objektträger wurden diese mit Eindeckmedium und Deckglas abgedeckt.

Die Auswertung erfolgte anschließend unter dem Fluoreszenzmikroskop bei 400facher Vergrößerung. Proben, in denen die Zellwände von typisch stäbchenförmigen Bakterien eine deutliche hell- bis gelbgrüne Fluoreszenz zeigten, wurden als Legionellen-positiv bewertet.

#### 2.3.4.2 Latex-Agglutinationstest

Bei dem Latex-Agglutinationstest werden mit gefärbten Latex-Partikeln gekoppelte Kaninchen-Antikörper (Latex-Konjugat) mit dem verdächtigen Umweltisolat zusammengebracht. Dabei binden die markierten Antikörper ebenfalls an spezifische Zellwandstrukturen (O-Antigene, LPS) der Bakterien, und es kommt zu einer durch die gefärbten Latex-Partikel mit unbewaffneten Auge gut sichtbaren Präzipitation. Neben einem polyvalenten Latex-Mischkonjugat, das die Zuordnung der Isolate zu einem Pool von sieben verschiedenen Legionellen-Spezies ermöglicht, ist für *Legionella pneumophila* auch ein monovalentes Latex-Konjugat erhältlich, das speziell den Nachweis der Serogruppe 1 ermöglicht. Weitere monovalente Latex-Konjugate sind zur Zeit nicht erhältlich.

Die Anwendung dieses Verfahrens galt anfangs zumindest bei klinischem Material aufgrund der Häufigkeit von falsch-positiven Resultaten (Ehret 1992) als problematisch. Inzwischen wurde der Test jedoch verbessert und stellt als Screening- oder Schnelltest bei der Identifizierung von Legionellen aus Umweltmaterial (Wasserproben) aufgrund seiner einfachen und schnellen Handhabung eine Alternative für den DIFT dar (Pleischl, Langer et al. 1998).

Von jedem zu überprüfenden Isolat wurde mit der Impföse jeweils ca. 1 µl auf vier Felder des Objektträgers übertragen, an deren oberen Rand zuvor je ca. drei Trop-

fen der fertigen Verdünnungslösung des Testkits aufgebracht worden waren, und mit diesen gut vermischt. Anschließend wurde jeweils ein Tropfen einer Latex-Suspension an den unteren Rand der vier Felder appliziert (Feld 1: Latex-Konjugat Leg. pn., Sg. 1 / Feld 2: Latex-Mischkonjugat, Leg. pn., Sg. 2-14 / Feld 3: Latex-Mischkonjugat, Leg. spec. / Feld 4: Kontroll-Latex). Mit jeweils einer neuen Impföse wurden die beiden Flüssigkeits-Suspensionen je Feld miteinander vermischt, bis eine gleichmäßige Verteilung der blauen Latex-Partikel erreicht war.

Die Auswertung erfolgte (ohne Zuhilfenahme einer Lupe) spätestens nach einer Minute. Felder, in denen die typische Agglutination der Latexpartikel (Verklumpung der blauen Partikel, Klärung der zuvor blauen Lösung und Bildung eines blauen Flüssigkeitsrands) zu beobachten war, wurden als positiv bewertet, wenn in Feld 4 (Kontroll-Latex) keine Agglutination eintrat.

An jedem Tag, an dem Bestätigungstests mittels Latex-Agglutination durchgeführt wurden, wurde auch die Funktionsfähigkeit der Testkits durch mindestens jeweils eine Negativ- und Positiv-Kontrolle überprüft.

### 2.3.5 Bestimmung der allgemeinen Koloniezahl

Die Koloniezahl ist definiert als die Anzahl der bei sechs- bis achtfacher Lupenvergrößerung sichtbaren Kolonien, die sich aus 1 ml einer Wasserprobe in Plattenkulturen bei Verwendung von Nähragar (DEV-Agar) unter festgelegten Bedingungen (Bebrütungsdauer und -temperatur) entwickeln (DIN 1979).\*

Die Methode der Koloniezahlbestimmung wird in den verschiedenen Verordnungen und Normen nicht ganz einheitlich angegeben (Schulze 1996). Allerdings differieren die Angaben z.B. der alten Trinkwasserverordnung (TW-Komm 1990), der DIN 38411 Teil 5 (DIN 1979) und der Mineral- und Tafelwasserverordnung (N.N. 1990) nur geringfügig. Die Unterschiede betreffen hauptsächlich die für die jeweiligen Fragestellungen festgelegten Bebrütungszeiten oder die Art der Verfestigungssubstanz. Übereinstimmend ist die Wahl der Bebrütungstemperaturen von  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  bzw.  $36 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , die die Erfassung eines breiten Spektrums von infektionshygienisch relevanten Bakterien gestatten.

\* Der früher verwendete Begriff der „Gesamtkeimzahl“ wurde durch die Bezeichnung „Koloniezahl“ ersetzt. Die Zahl der nach dieser Methode ermittelten Kolonien muss nicht zwangsläufig mit der Zahl der in der Probe enthaltenen, vermehrungsfähigen Bakterien übereinstimmen, da Bakterien auch als Aggregate aus mehreren Zellen oder an Partikel gebunden vorkommen können.

Von der Originalprobe werden im Doppelansatz 1,0 ml in zwei sterile Petrischalen pipettiert. 10 ml des zuvor im Dampftopf verflüssigten und im Wasserbad auf 45-50°C temperierten Nähragars werden zugesetzt und durch Schwenken der Petrischalen mit der Probe vermischt (Plattengussverfahren). Nach Erstarren des Nährbodens wird jeweils eine Kulturschale bei  $20 \pm 2$  °C bzw.  $36 \pm 1$  °C für  $44 \pm 4$  Stunden in Brutschränken inkubiert.

Die Auszählung der kreis- oder spindelförmigen Kolonien erfolgt bei sechs- bis achtfacher Lupenvergrößerung. Das Ergebnis wird in Kolonie Bildenden Einheiten (KBE) / ml, bezogen auf 1 ml der Originalprobe, angegeben.

Bei der Untersuchung von Wasserproben ist die Bestimmung der Koloniezahl ein einfaches Verfahren zur Ermittlung der Größenordnung einer mikrobiellen Kontamination. Diese seit Robert Koch (Koch 1883) angewendete Methode ist ein Qualitätsparameter, der Hinweise auf eventuelle Störungen im Betrieb von wasserführenden Systemen liefern kann. Er kann unter anderem Auskunft geben über mikrobiellen Aufwuchs oder Biofilmbildung in technischen, wasserführenden Systemen, die Verkeimungsraten nach Stagnation oder die Wirksamkeit von Sanierungsmaßnahmen. Unter diesem Aspekt ist die Bestimmung der Koloniezahl auch bei der Beurteilung von legionellenkontaminierten Hausinstallationssystemen von Interesse. Die Bestimmung der KBE wurde deswegen so weit wie möglich (1455 Proben) mit durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme

##### 3.1.1 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Bei den Ortsbegehungen der 364 untersuchten Anlagen für Trinkwassererwärmung und –verteilung (Warmwassersysteme) wurden sehr unterschiedliche Konstruktionen angetroffen. Dennoch können die verschiedenen Anlagen annäherungsweise in folgende, grundlegende Schemata gegliedert werden:

1. Warmwassersystem ohne Zirkulation
2. Warmwassersystem mit Zirkulation
3. Warmwassersystem mit zentralem Mischer ohne Zirkulation
4. Warmwassersystem mit zentralem Mischer und Zirkulation

Bei dem ersten Typ „**Warmwassersystem ohne Zirkulation**“ (Abb. 3.1.1.1) wird das Warmwasser aus der Trinkwassererwärmungsanlage durch Stichleitungen direkt zu den Verbrauchern (Duschen, Waschbecken, usw.) transportiert.

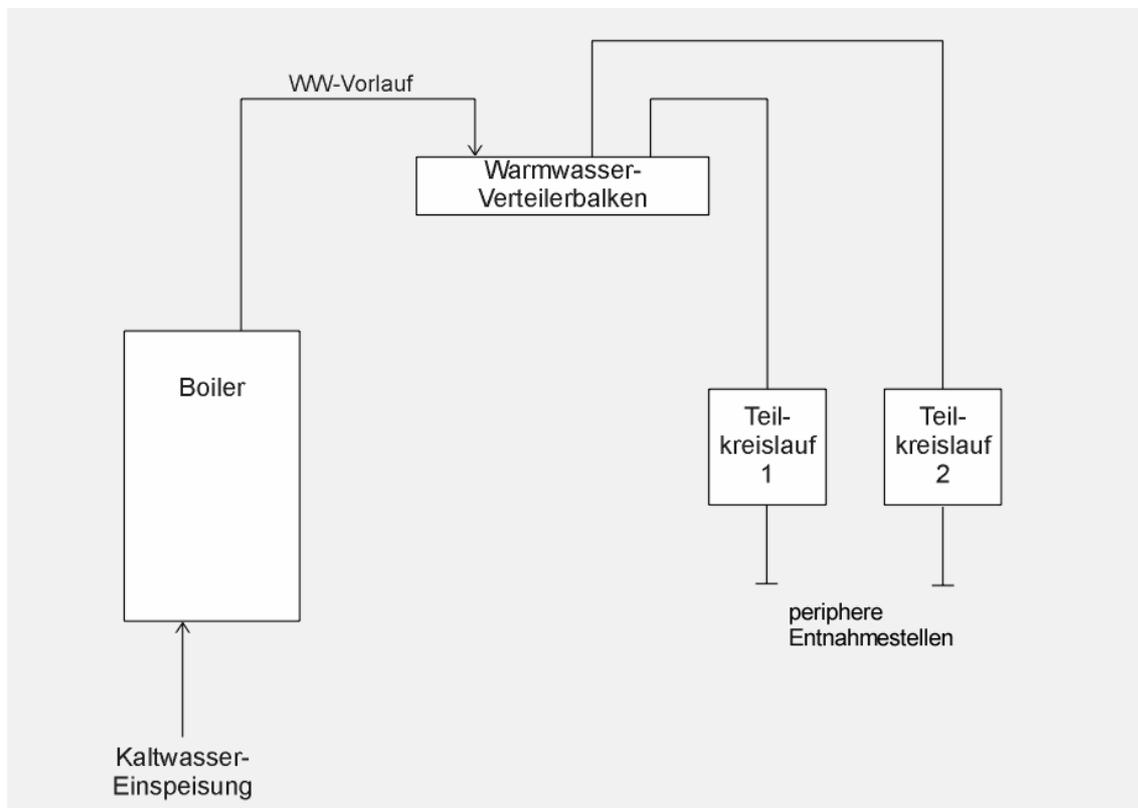


Abb. 3.1.1.1: Warmwassersystem ohne Zirkulation

Das Einstellen der gewünschten Wassertemperatur erfolgt erst an der Zapfstelle durch Beimischung von Kaltwasser durch den Benutzer (bei Thermostat-Mischbatterien mit Temperaturbegrenzung als Verbrühungsschutz). Ein Nachteil des Systems ist, dass es bei längeren Stillstandzeiten zum Abkühlen des Warmwassers kommt, so dass erst nach längerem Ablaufenlassen wieder Wasser mit der gewünschten Temperatur zur Verfügung steht.

Bei dem zweiten Typ „**Warmwassersystem mit Zirkulation**“ (Abb. 3.1.1.2) wird im Gegensatz zu Typ 1 das nicht benötigte Warmwasser über Zirkulationsleitungen und Pumpen in die Zentrale zur Wiedererwärmung zurückgeführt. Eine Abkühlung während der Stagnationszeiten wird so in der Regel vermieden. Die Temperaturregelung wird auch hier erst kurz vor oder an den Entnahmestellen durchgeführt.

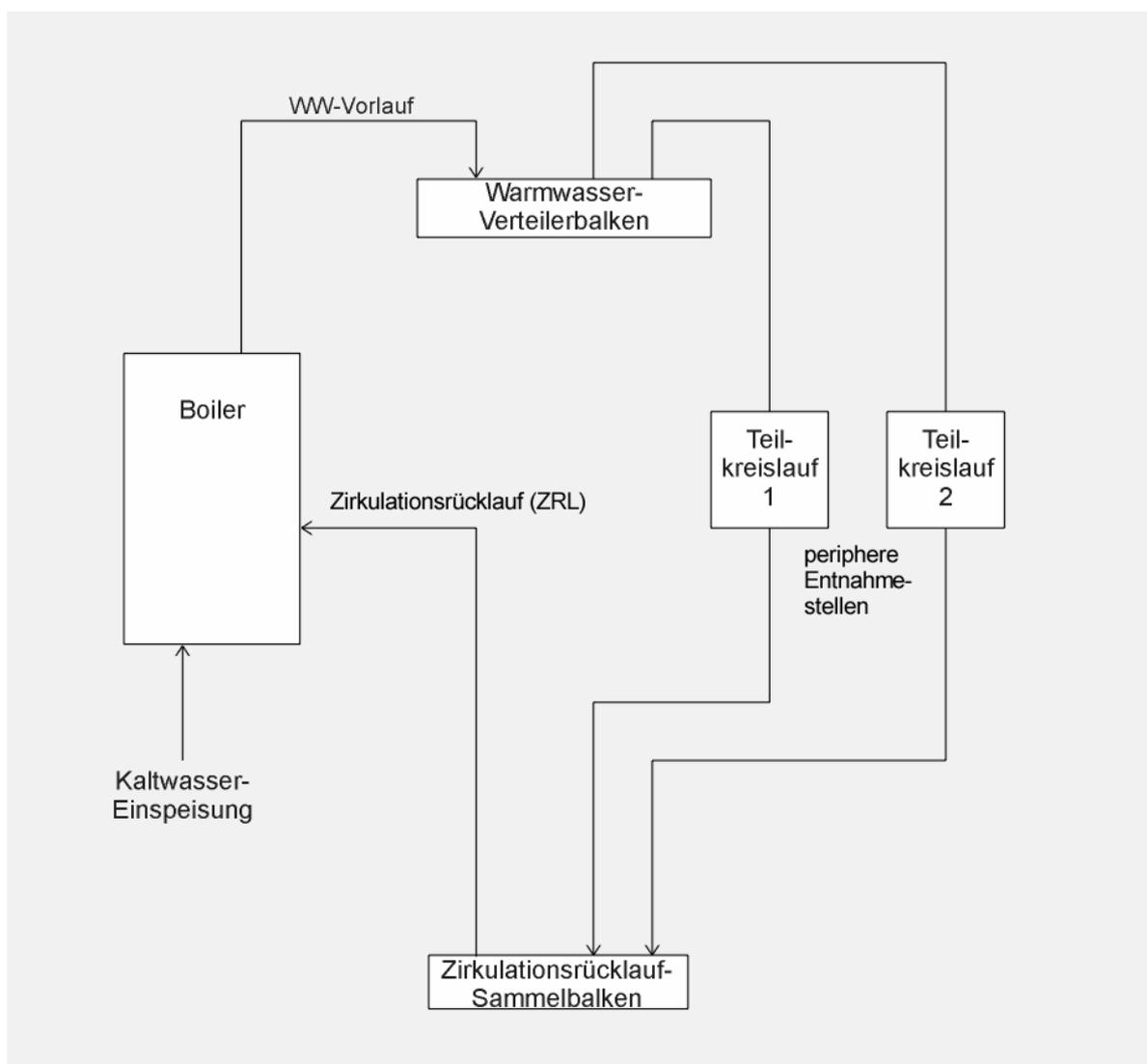


Abb. 3.1.1.2: Warmwassersystem mit Zirkulation

Bei dem dritten Typ „**Warmwassersystem mit zentralem Mischer ohne Zirkulation**“ (Abb. 3.1.1.3) wird das Warmwasser bereits in der Zentrale durch eine Mischarmatur auf die gewünschte Temperatur eingestellt und dann über Stichleitungen den einzelnen Entnahmestellen zugeführt. Auch hier kann es während der Stagnationsphasen zu Abkühlungen und den damit verbundenen Nachteilen (erhöhter Wasserverbrauch, siehe Typ 1) kommen.

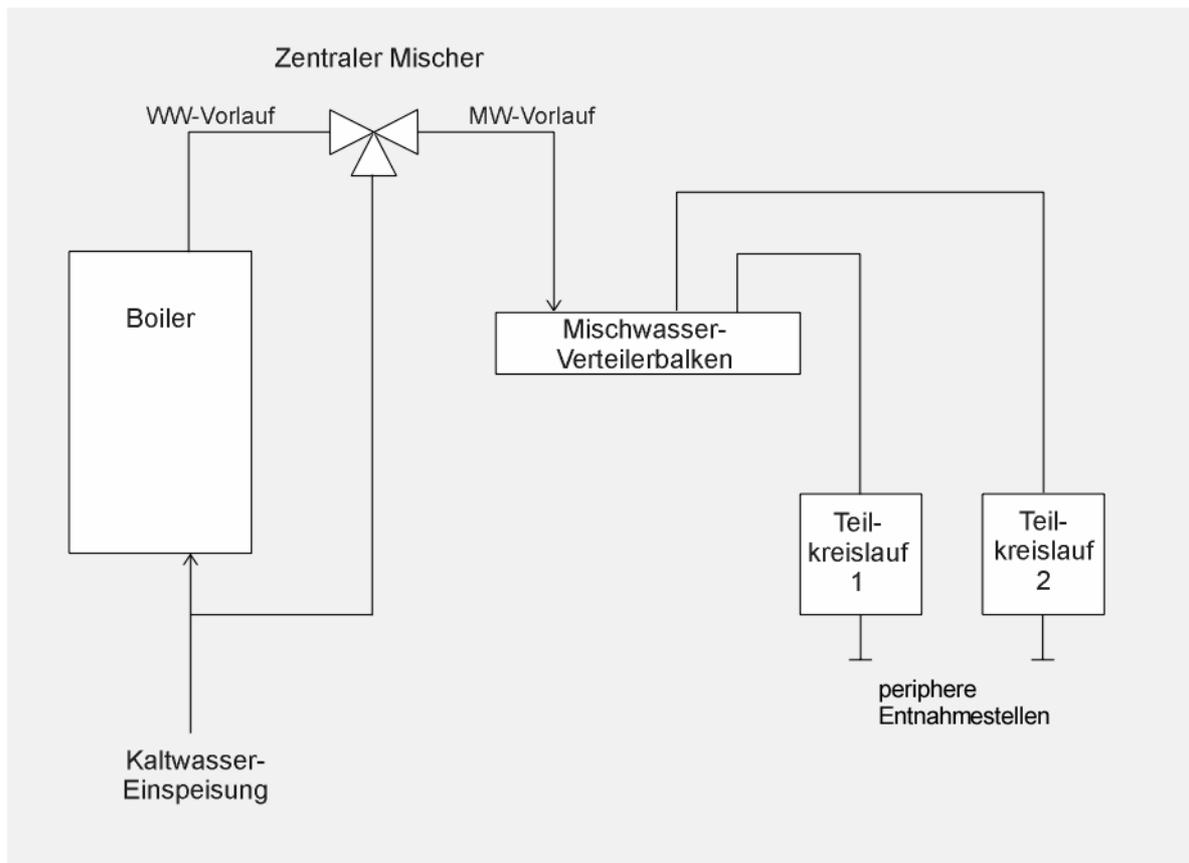


Abb. 3.1.1.3: Warmwassersystem mit zentralem Mischer ohne Zirkulation

Bei dem vierten Typ „**Warmwassersystem mit zentralem Mischer und Zirkulation**“ (Abb. 3.1.1.4) wird das Warmwasser ebenfalls bereits in der Zentrale durch eine Mischarmatur auf die gewünschte Temperatur eingestellt. Das nicht benötigte Mischwasser wird aber über Zirkulationsrückläufe den Wassererwärmern wieder zugeführt. Oftmals wird dabei ein Teilstrom der Zirkulation dem Kaltwasser-Zulauf der Mischarmatur zugeführt, um Abkühlungen im Mischwasserkreislauf bei Nichtabnahme (z.B. nachts) zu vermeiden.

Dieser Typ von Warmwasserversorgungssystemen wird häufig in Großgebäuden wie Krankenhäuser, Alten- und Pflegeheimen sowie vielen öffentlichen Schwimmbädern angetroffen.

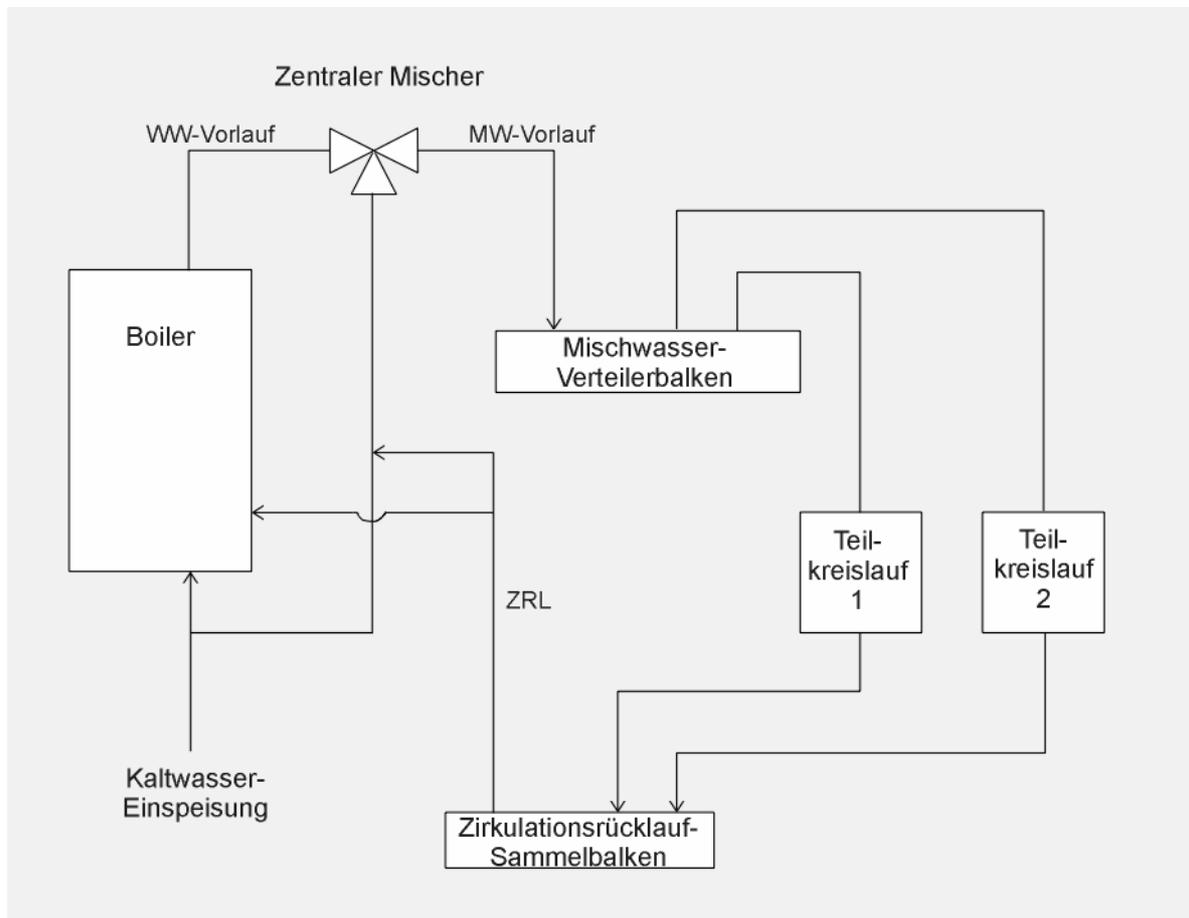


Abb. 3.1.1.4: Warmwassersystem mit zentralem Mischer und Zirkulation

Die hier aufgeführten Modelle stellen grundlegende Funktionsprinzipien dar, denen praktisch alle bisher untersuchten Anlagen zuzuordnen waren. Es gab aber praktisch immer den örtlichen Begebenheiten angepasste Variationen, so dass in keinem Fall zwei Anlagen wirklich identisch waren.

### 3.1.2 Nachweis von Legionellen in den Anlagen

Bei den Erstuntersuchungen von 364 Hausinstallationssystemen für Warmwasser (insgesamt 2.188 Proben) konnten in 225 Anlagen (=62%) Legionellenkontaminationen nachgewiesen werden. Dabei handelte es sich bei 173 Anlagen (=48%) um systemische Legionellenkontaminationen, bei denen sich sowohl in Proben aus der

Trinkwassererwärmungsanlage (Warmwasservorlauf und Zirkulationsrücklauf = zentrale Proben) als auch in Proben aus der Peripherie des Hausinstallationssystems (Entnahmestellen wie Waschbecken, Duschen etc.) Legionellen nachweisen ließen. In 52 Anlagen (=14%) konnten lokale Legionellenkontaminationen an einzelnen oder nur wenigen Entnahmestellen in der Peripherie festgestellt werden, während an den zentralen Entnahmestellen keine Legionellen nachweisbar waren. In 139 der 364 untersuchten Hausinstallationssysteme für Warmwasser (=38%) konnten keine Legionellen nachgewiesen werden.

Entsprechend den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblatts W552 (DVGW 1996) besteht bei Nachweis von Legionellen in nur einer Probe ab einer Konzentration von 1 KBE/ml (nachstehend aus Gründen der Vergleichbarkeit als 100 KBE/100 ml angegeben) Handlungsbedarf.

Betrachtet man die Ergebnisse unter diesem Aspekt, ergibt sich ein Handlungsbedarf in 153 der 173 Anlagen (= 84%) mit systemischen Kontaminationen und in 23 der 52 Anlagen (= 44%) mit lokalen Legionellenkontaminationen. Bezogen auf alle 364 untersuchten Objekte entsprechen somit 176 Anlagen (= 48%) nicht den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblatts.

Differenziert man diese Ergebnisse nach der Art der untersuchten Objekte, d.h. Großgebäude mit weitverzweigten Hausinstallationssystemen (Krankenhäuser, Schwimmbäder und Altenheime; Typ 4) gegenüber mittelgroßen Anlagen (in Schulen, kleineren Hotels und öffentlichen Gebäuden, meist Typ 3) sowie Kleinanlagen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern (Typ 1), ergibt sich folgendes Bild:

In Großgebäuden liegt der Anteil der Anlagen mit Handlungsbedarf nach obiger Definition mit 50% bei Altenheimen, 64% bei Schwimmbädern und 66% bei Krankenhäusern deutlich höher als in mittelgroßen Anlagen (2 von 7 Hotelanlagen, 2 von 9 Waschkäufen in der Industrie, 34% bei öffentlichen Gebäuden und 41% bei Schulen). In Ein- und Mehrfamilienhäusern (Kleinanlagen) war ein Handlungsbedarf nur in einem Fall (= 2%) zu erkennen.

In Tabelle 3.1.2 (siehe Anlage A, Seite 123) sind die Ergebnisse der Erstuntersuchungen aller 364 Trinkwassererwärmungsanlagen zusammenfassend dargestellt.

### 3.1.3 Höhe der Legionellenkonzentrationen

In insgesamt 2.968 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen in Trinkwassererwärmungsanlagen konnten Legionellen in Konzentrationen bis zu 300.000 KBE/

100 ml festgestellt werden (siehe auch Diagramme 3.1.4.1 und 3.1.4.2, Anlage A, Seiten 124 und 125).

#### **3.1.4 Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen**

Eine Gegenüberstellung von Legionellenkonzentrationen und den Temperaturen in Trinkwassererwärmungsanlagen zeigt eine deutliche Abhängigkeit der Legionellenkonzentration von der Wassertemperatur. Die höchsten Legionellenkonzentrationen (Mittelwerte) aller Anlagen konnten in den Temperaturbereichen von 30 – 35°C (7.556 KBE/100 ml), 35 – 40°C (4.263 KBE/ 100 ml) und 40 – 45°C (5.317 KBE/ 100 ml) nachgewiesen werden. Unterhalb von 20°C und oberhalb von 55°C wurden Legionellen nur in Konzentrationen deutlich unter 1.000 KBE/100 ml gefunden. Die Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentration in Trinkwassererwärmungsanlagen ist in den Diagrammen 3.1.4.1 (Mittelwerte der Legionellenkonzentrationen in verschiedenen Temperaturbereichen) und 3.1.4.2 (Einzelwerte der nachgewiesenen Legionellenkonzentrationen, siehe Anlage A, Seiten 124 und 125) dargestellt.

#### **3.1.5 Abhängigkeit der Legionellenkonzentration von der Art der Mischeinrichtung (zentral oder dezentral)**

Differenziert man warmwasserführende Systeme nach der Art der Temperaturregelung über zentrale oder periphere Mischeinrichtungen, treten die konstruktionsbedingten Unterschiede hervor. In Anlagen mit zentralen Mischern beträgt die Temperatur im nachgeschalteten System aus Gründen des Verbrühungsschutzes, ohne Mischeinrichtungen in der Peripherie, oftmals nicht mehr als 45°C. Daher ist bei Großanlagen ein funktionierender Zirkulationsrücklauf für die Aufrechterhaltung der eingestellten Warmwassertemperatur bis zur letzten Zapfstelle in der Peripherie von entscheidender Bedeutung. Ist dies nicht gewährleistet oder ein Zirkulationsrücklauf nicht vorhanden (Pkt. 3.1.1), kühlt das Wasser in der Peripherie rasch ab, und es stellen sich oftmals Temperaturen ein, die einer Vermehrung von Legionellen förderlicher sind, als solche in Anlagen mit dezentralen Mischern.

Betrachtet man die Höhe der ermittelten Warmwassertemperatur in der Peripherie unter diesem Aspekt, hatten Anlagen, die eine zentrale Beimischung von Kaltwasser zur Temperatureinstellung aufwiesen, eine durchschnittliche Temperatur von 41°C (Mittelwert von 636 Proben). Bei Anlagen mit dezentralen Mischern an den

Zapfstellen konnte dagegen eine Temperatur von 47°C (Mittelwert von 1.001 Proben) festgestellt werden. Dies ist im Diagramm 3.1.5.1 (siehe Anlage A, Seite 126) wiedergegeben.

Diese Temperaturunterschiede spiegeln sich in der Höhe der Legionellenkonzentrationen wieder (Diagramm 3.1.5.2, siehe Anlage A, Seite 127). Bei zentraler Temperatureinstellung lag die durchschnittliche Konzentration mit 6.150 KBE/ 100 ml (Mittelwert von 871 Proben) nahezu um das Doppelte höher als bei Anlagen mit dezentralen Mischarmaturen an den Zapfstellen (3.200 KBE/ 100 ml als Mittelwert von 1.707 Proben).

### **3.1.6 Korrelation der Legionellenkonzentration mit der allgemeinen Koloniezahl (37°C-Bebrütung)**

In insgesamt 1.455 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen in Trinkwassererwärmungsanlagen wurden neben der Legionellenkonzentration auch die allgemeine Koloniezahl nach der Trinkwasserverordnung (TW-Komm 1990) bestimmt. Es fand sich keine Korrelation zwischen der Höhe der Legionellenkonzentration und der allgemeinen Koloniezahl bei einer 37°C-Bebrütung (Korrelationskoeffizient nach Pearson: 0,018).

### **3.1.7 Nachweishäufigkeit der verschiedenen Serogruppen von *Legionella pneumophila* und anderer Legionellen-Arten**

Die Nachweishäufigkeit der verschiedenen Serogruppen von *Legionella pneumophila* und anderer Legionellen-Arten in Trinkwassererwärmungsanlagen ist in Diagramm 3.1.7.1 (siehe Anlage A, Seite 128) dargestellt.

In insgesamt 2.240 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen in Trinkwassererwärmungsanlagen wurden neben der Legionellenkonzentration auch eine Artdifferenzierung und Serogruppenbestimmung mittels des direkten Immunfluoreszenz-Test (DIFT) oder des Latex-Agglutinationstests durchgeführt. In 704 von diesen 2.240 positiven Proben (= 31%) wurde dabei *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1 ermittelt. Andere Serogruppen (Sg) von *Legionella pneumophila* waren deutlich seltener (Sg 2: 60 Proben = 3%; Sg 3: 229 Pr. = 10%; Sg 4: 192 Pr. = 9%; Sg 5: 36 Pr. = 2%; Sg 6: 278 Pr. = 12%; Sg-Bereich 2-14, Mischkonjugat: 514 Pr. = 23%; Sg-Bereich 7-14, Mischkonjugat: 109 Pr. = 5%). Der Anteil des Nachweises

aller *Legionella pneumophila* - Serotypen bei den untersuchten Trinkwassererwärmungsanlagen liegt bei 2.122 Proben (= 95%).

Andere Legionellen-Arten konnten in 92 Proben (= 4%) ermittelt werden. Dabei ergab sich bei 34 Proben eine positive Reaktion bei Anwendung der Mischkonjugate für den Nachweis von sechs verschiedenen Legionellen-Arten (*L. bozemanii*, *L. dumoffii*, *L. gormanii*, *L. longbeachae*, *L. micdadei*, *L. jordanis*), im Diagramm 3.1.7.1 als *L. non-pn.* bezeichnet.

Bei den restlichen 26 Proben (= 1%) zeigten die untersuchten Isolate zwar die von der ISO 11731 geforderten Merkmale und Reaktionen für Legionellen hinsichtlich Koloniemorphologie, Wachstum auf Selektivmedium und Cysteinabhängigkeit; sie konnten jedoch mit den zur Verfügung stehenden Differenzierungstests nicht näher bestimmt werden. Diese Isolate werden im Diagramm 3.1.7.1 als *L. spec.* bezeichnet.

### 3.1.8 Artkonstanz bei Wiederholungsuntersuchungen

Um festzustellen, ob dieselben Legionellen-Arten in einem Hausinstallationssystem über einen längeren Zeitraum nachgewiesen werden können, wurde die Artdifferenzierung mittels des DIFT und des Latex-Agglutinationstest auch bei Wiederholungsuntersuchungen durchgeführt. Auf diese Weise wurden 1.483 Proben aus 90 Objekten untersucht (Tabelle 3.1.8, siehe Anlage A, Seiten 129 und 130). Insgesamt ergibt sich im Mittel eine Übereinstimmung der Legionellen-Arten von 75% bei Erst- und Wiederholungsuntersuchungen über einen Zeitraum von elf Monaten.

### 3.1.9 Wirkung der durchgeführten Sanierungsmaßnahmen

#### 3.1.9.1 Thermische Sanierung

Eine Erhöhung der durchschnittlichen systemischen Warmwassertemperatur als Sanierungsmaßnahme zur Verminderung von bestehenden Legionellenkontaminationen konnte in 13 von 364 Trinkwassererwärmungsanlagen mit 232 Proben begleitend untersucht werden. Die Auswirkungen dieser Sanierungsversuche sind in Tabelle 3.1.9.1 (siehe Anlage A, Seite 131) aufgeführt. In sechs Fällen (Objekte Nr. 1 - 3, 9, 10 und 12 in der Tabelle 3.1.9.1) konnten vorhandene Legionellenkonzentrationen durch eine Temperaturanhebung gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt W 552 reduziert oder ganz beseitigt werden. In weiteren drei Anlagen (Objekte Nr. 4 -

6) war die Temperaturabhängigkeit der systemischen Legionellenkontaminationen besonders auffällig. Hier wurden die Warmwassertemperaturen mehrfach variiert, wobei eine Senkung der Temperatur auf unter 55°C einen sofortigen Anstieg der Legionellenkonzentrationen nach sich zog, während eine Temperaturerhöhung eine Verringerung der Kontamination bewirkte. Bei zwei weiteren Anlagen (Objekte Nr. 7 und 8) ist erkennbar, dass eine Temperaturanhebung auf lediglich über 50°C (somit unter den Empfehlungen des Arbeitsblattes von mind. 55°C) vorhandene Kontaminationen günstig beeinflusst hat und hier eine Reduktion der Legionellenkonzentrationen um eine bis zwei Zehnerpotenzen zur Folge hatte.

Bei den beiden Anlagen, in denen generell systemische Warmwassertemperaturen oberhalb von 55°C entsprechend den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblatts W 552 (DVGW 1996) eingehalten wurden, waren grundsätzlich nur geringere Legionellenkonzentrationen nachweisbar (Objekte Nr. 11 und 13).

#### 3.1.9.2 Chemische Sanierungsmaßnahmen

Im Zeitraum dieser Studie konnten keine Sanierungsversuche zur Beseitigung einer systemischen Legionellenkontamination mittels chemischer Wirkstoffe begleitend untersucht werden. Diese Art der Sanierung wurde von den Betreibern entweder als zu risikoreich (Beschädigung der Installationssysteme durch Lochkorrosion, Gefährdung der Wasserbenutzer und des Wartungspersonals) oder als zu aufwändig (Einstellung der erforderlichen Wirkkonzentration an allen endständigen Entnahmestellen und deren Einhaltung über den notwendigen Zeitraum zur Desinfektion, Spülung der gesamten Hausinstallation im Anschluss an die Maßnahme, usw.) abgelehnt.

#### 3.1.9.3 Technische Sanierungsmaßnahmen

Anodische Oxidation:

Die Trinkwassererwärmungsanlage eines Schwimmbads konnte vor und nach Einbau einer Elektrode zur anodischen Oxidation (Freisetzung von Chlor unter Anwendung einer Wechselspannung) untersucht werden (Objekt Nr. 1 in Tabelle 3.1.9.2, siehe Anlage A, Seite 132). Nachdem durch eine Anhebung der systemischen Temperatur eine Reduktion der Legionellenkontamination um mehr als eine Zehnerpotenz erzielt worden war, wurde eine Vorrichtung zur anodischen Oxidation in den Zirkulationsrücklauf eingebaut, um diese günstige Situation aufrechtzuerhalten und gegebenenfalls die Temperatur wieder etwas absenken zu können. Nach Einbau der Anlage wurde das Hausinstallationssystem noch zweimal systemisch untersucht (in der Tabelle als 3. und 4. Kontrolle bezeichnet). Zusätzlich wurde je eine

Entnahmestelle unmittelbar vor und nach der Elektrode eingerichtet, um die Wirkung der anodischen Oxidation beurteilen zu können. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigen unter Konstanthaltung der systemischen Wassertemperatur zuerst eine Reduktion und dann wieder einen Anstieg der systemischen Legionellenkonzentration. Bei den Entnahmestellen direkt vor und nach der Elektrode konnten bei der zweiten Untersuchung Legionellen nach der Elektrodenpassage nachgewiesen werden, was auf eine Kontamination der Elektrode selbst hindeutet. Eine Wirksamkeit der Anlage hinsichtlich der Reduktion von Legionellenkontaminationen konnte somit nicht bestätigt werden.

Verfahrenskombination Ultraschall/UV-Behandlung:

In der Trinkwassererwärmungsanlage eines Krankenhauses konnten Vergleichsuntersuchungen vor und nach Einbau eines Gerätes auf Basis der Verfahrenskombination Ultraschall-/UV-Bestrahlung untersucht werden (Objekt Nr. 2 in Tabelle 3.1.9.2). Nachdem ebenfalls durch Anhebung der systemischen Temperatur eine Reduktion der Legionellenkontamination um mehr als zwei Zehnerpotenzen erzielt worden war, wurde dieses Gerät in den Zirkulationsrücklauf eingebaut, um diese günstige Situation unter erneuter Absenkung der Wassertemperatur aufrechterhalten zu können. Nach Einbau des Gerätes und einer Absenkung der Wassertemperatur konnte in zwei darauf folgenden Untersuchungen (in der Tabelle als 2. und 3. Kontrolle bezeichnet) ein erneuter Anstieg der Legionellenkonzentration beobachtet werden. Erst eine geringfügige Anhebung der systemischen Wassertemperatur führte wieder zu einer Verringerung der Kontamination (4. Kontrolle). Eine - ebenso wie in der Anlage zur anodischen Oxidation - durchgeführte Vergleichsuntersuchung im Zirkulationsrücklauf vor und hinter dem Einbauort des Gerätes lässt auch bei diesem Verfahren keine direkte Wirksamkeit auf Legionellen erkennen.

UV-Bestrahlung:

Die Wirkung eines Gerätes zur Reduktion von Legionellenkontaminationen nur auf Basis der UV-Bestrahlung des Wassers konnte in der Trinkwassererwärmungsanlage eines öffentlichen Gebäudes untersucht werden (Objekt Nr. 3 in Tabelle 3.1.9.2). Das Gerät war in den Zirkulationsrücklauf der Anlage eingebaut worden und wurde bis zur 8. Kontrolle kontinuierlich betrieben. Anschließend wurde aus wirtschaftlichen Gründen die Zirkulationspumpe und der UV-Strahler nachts abgeschaltet. Auch diese Phase wurde begleitend untersucht (9. – 13. Kontrolle). Wie aus den Ergebnissen deutlich wird, konnte der Einsatz der UV-Bestrahlung alleine zu Beginn des Versuchs keine Reduktion der Kontamination bewirken. Ein Effekt

zeigte sich nur bei einer gleichzeitig durchgeführten Temperaturerhöhung (Erstuntersuchung und 1. – 3. Kontrolle bei Objekt 3 in Tabelle 3.1.9.2), obwohl die Vergleichsuntersuchung vor und hinter dem Gerät dessen prinzipielle Wirksamkeit nachweisen konnte. Nach einer Absenkung der Wassertemperatur zeigten fünf darauf folgenden Untersuchungen (in der Tabelle als 4. - 8. Kontrolle bezeichnet), dass sich erneut die systemische Kontamination verstärkte, mit ähnlich hohen Konzentrationen wie bei der Erstuntersuchung. In der Phase der nächtlichen Abschaltung von Zirkulation und Ultraviolettbestrahlung kam es in der Folge zu einem weiteren Anstieg der systemischen Legionellenkontamination (9. – 13. Kontrolle). Die Vergleichsuntersuchung im Zirkulationsrücklauf vor und hinter dem Einbauort des Gerätes lässt in dieser Phase keine ausreichende Wirksamkeit der UV-Bestrahlung auf Legionellen mehr erkennen.

#### Silber/Kupfer-Ionisation:

Zur Überprüfung der Praxistauglichkeit dieses Verfahrens wurde eine Versuchsanlage in das leerstehende Gebäude einer Rehaklinik eingebaut, deren Warmwassersystem zu diesem Zeitpunkt stark mit Legionellen kontaminiert war.

Nach Einbau der Elektrode in den Zirkulationsrücklauf des Systems wurde das Gerät mit der geringsten Stufe/Stromstärke betrieben, um eine Überschreitung der Grenzwerte der alten Trinkwasserverordnung von 1990 für diese beiden Metalle (10 µg für Silber und 3 mg für Kupfer) zu vermeiden. Ein normalerweise durch die Patienten stattfindender Warmwasserverbrauch wurde durch Ablaufenlassen von ca. 1,5 m<sup>3</sup>/d Warmwasser über verschiedene Entnahmestellen simuliert.

Sechs Entnahmestellen (Warmwasservorlauf, Zirkulationsrücklauf vor und hinter der Elektrode sowie verschiedene Stellen in der Peripherie) wurden während des gesamten Versuchs mindestens wöchentlich parallel durch zwei Institute auf die Parameter Temperatur, Legionellenkonzentration, Gesamtkeimbelastung und Silber- und Kupferionenkonzentration untersucht. Vor Einsatz der Elektrode lag eine systemische Legionellenkontamination mit bis zu 58.000 KBE/100 ml vor. Unter Beachtung der Grenzwerte der TVO für Silber und Kupfer wurde die Leistung der Anlage, ausgehend von der geringsten Einstellung, stufenweise höhergestellt. Innerhalb der Grenzwerte der TVO konnte jedoch kein Effekt der Ionen auf die Legionellenkonzentration festgestellt werden. Nach Abbruch des Versuchs, bedingt durch die Wiederbelegung der Rehaklinik mit Patienten, wurde eine Temperaturerhöhung auf über 60°C (58-68°C an den Entnahmestellen) durchgeführt. In der Folge reduzierte sich die Legionellenkonzentration um mehr als drei Zehnerpotenzen. Die Ergebnisse dieses Versuchs sind in den Diagrammen 3.1.9.3 (Mittelwerte der Legionellenkonzentrationen in Abhängigkeit von den mit der Ag/Cu-Ionisation

erzielten Metall-Konzentrationen) und Diagramm 3.1.9.4 (Legionellenkonzentrationen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur, siehe Anlage A, Seiten 133 und 134) aufgeführt.

## 3.2 Badewasseraufbereitungsanlagen

### 3.2.1 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Die 178 untersuchten Badewasseraufbereitungsanlagen entsprachen in ihrem Aufbau überwiegend dem in Abb. 3.2.1.1 dargestellten Schema. Lediglich die Anzahl der eingesetzten Filtergehäuse oder der angeschlossenen Badebecken variierten entsprechend den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten.

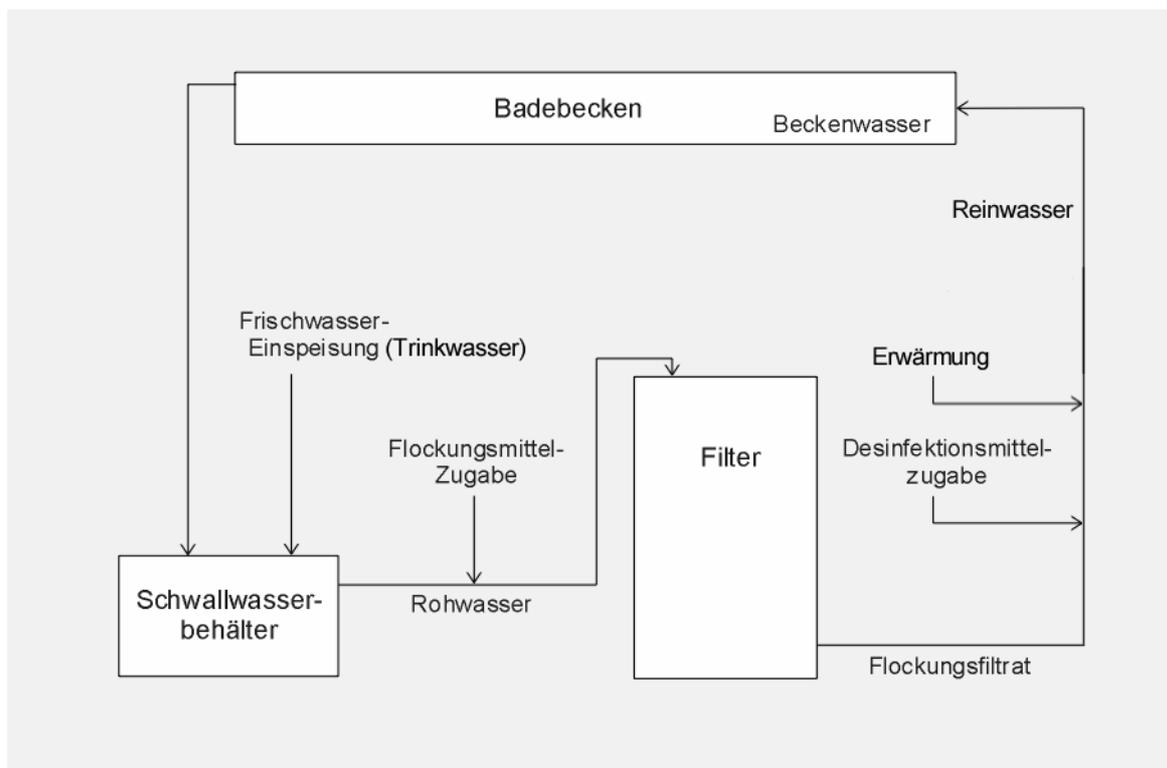


Abb. 3.2.2.1: Typischer Aufbau einer Badewasseraufbereitungsanlage

### 3.2.2 Legionellenkontaminationen in den Anlagen

Bei den Untersuchungen dieser 178 Badewasseraufbereitungsanlagen (insgesamt 625 Proben) zeigten 33 Anlagen (=19%) Legionellenkontaminationen. In den restlichen 145 untersuchten Anlagen (=81%) konnten keine Legionellen nachgewiesen werden.

Entsprechend der DIN 19643-1 (DIN 1997) besteht bei Nachweis von Legionellen ab einer Konzentration von 1 KBE/ml im Beckenwasser bzw. 1 KBE/100 ml im Flockungfiltrat Handlungsbedarf.

Diesen Anforderungen konnten 24 der 217 untersuchten Filtratproben (= 11%) und 5 der 295 untersuchten Beckenwasserproben (= 2%) nicht entsprechen.

Bezogen auf die 33 untersuchten Badewasseraufbereitungsanlagen mit positiven Legionellenbefunden ergibt sich damit ein Handlungsbedarf in 15 Anlagen. Dies entspricht einem prozentualen Anteil von 8% bei allen untersuchten Badewasseraufbereitungsanlagen.

In Tabelle 3.2.2 (siehe Anlage A, Seite 135) sind die Ergebnisse der Untersuchungen von 178 Badewasseraufbereitungsanlagen zusammenfassend dargestellt.

### 3.2.3 Höhe der Legionellenkonzentrationen

In den insgesamt 625 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen in Badewasseraufbereitungsanlagen konnten Legionellen in Konzentrationen bis zu 29.000 KBE/ 100 ml festgestellt werden.

### 3.2.4 Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen

Auch bei den untersuchten Badewasseraufbereitungsanlagen ist - wie bei den Trinkwassererwärmungsanlagen - eine Abhängigkeit der Legionellenkonzentrationen von der Beckenwassertemperatur festzustellen:

Die höchsten Legionellenkonzentrationen konnten in dem Temperaturbereich von 25 – 33°C ermittelt werden (Temperaturen oberhalb von 34°C wurden in keiner der 178 untersuchten Badewasseraufbereitungsanlagen vorgefunden). Unterhalb von 23°C konnten keine Legionellen nachgewiesen werden.

Die Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentration in Badewasseraufbereitungsanlagen ist in dem Diagramm 3.2.4 (siehe Anlage A, Seite 136) dargestellt.

### 3.2.5 Nachweis von Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Chlorkonzentration

In 262 Badewasserproben wurde neben der Legionellenkonzentration auch die Chlorkonzentration bestimmt.

Eine Gegenüberstellung von Legionellen- und Chlorkonzentrationen (bestimmt als freies Chlor in mg/l) dieser Proben lässt keinen Zusammenhang zwischen diesen beiden Parametern erkennen (Korrelationskoeffizient: -0,09). Legionellen konnten bis zu einem Chlorgehalt von 1,2 mg/l in Badewasserproben nachgewiesen werden. Konzentriert man sich besonders auf den in der DIN 19643-1 zulässigen Bereich der Chlorkonzentration von 0,3 – 0,6 mg/l, zeigt sich eine noch deutlichere Unabhängigkeit der beiden Parameter (Korrelationskoeffizient – 0,002).

Diese Gegenüberstellung des Legionellennachweises in Abhängigkeit von der eingesetzten Chlorkonzentration ist in Diagramm 3.2.5 (siehe Anlage A, Seite 137) dargestellt. Erst ab Chlorkonzentrationen von mehr als 1 mg/l lagen die Legionellenkontaminationen unter dem Grenzwert von 1 KBE/100 ml.

### 3.2.6 Nachweis von Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen; Vergleich der Aufbereitungsstufen

In 37 Badewasseraufbereitungsanlagen wurden alle Aufbereitungsstufen (s. Abb. 3.2.2.1) auf das Vorkommen von Legionellen untersucht (insgesamt 181 Badewasserproben). Die höchsten Legionellenkonzentrationen (Mittelwerte) zeigten sich im Flockungfiltrat (1.164 KBE/100 ml), dem Beckenwasser (912 KBE/ 100 ml) und dem Schwallwasserbehälter (853 KBE/ 100 ml). In den Roh- und Reinwasserproben lagen die ermittelten Legionellenkonzentrationen deutlich niedriger (367 bzw. 79 KBE/100 ml). Das Füllwasser war stets legionellenfrei (< 1 KBE / 100 ml).

Diese Ergebnisse sind im Diagramm 3.2.6 (siehe Anlage A, Seite 138) dargestellt.

### 3.2.7 Sanierungsmaßnahmen

Zur Beseitigung von Legionellenkontaminationen in Badewasseraufbereitungsanlagen werden hauptsächlich zwei Verfahren angewendet. Dabei handelt es sich einmal um eine intensive Filterrückspülung, zum anderen um eine Reinigung des Filtergehäuses.

Beim erstgenannten Sanierungsverfahren, der sog. fluidisierenden Filterrückspülung mit einer Filterbettanhebung um bis zu 30% (Hässelbarth und Tiefenbrunner 1990), wird der Wasserfluss durch den Mehrschichtsand- und Kiesfilter umgekehrt, d.h. das Wasser wird entgegen der normalen Strömungsrichtung von unten durch

den Filter gepresst. Dabei wird die Leistung der Umwälzpumpen erhöht, um einen größeren Wasserdruck aufzubauen. Ziel dieser Maßnahme ist es, die Ablagerungen und Sedimente (und damit auch die Legionellen) vom Filtermaterial wieder abzulösen und aus dem Filter rückwärts zu entfernen. Die fluidisierende Filtrerrückspülung ist dabei intensiver und von längerer Dauer als die - meist in wöchentlichen Abständen durchgeführte - routinemäßige Rückspülung der Filter.

Bei der 2. Maßnahme, der Filterreinigung, wird das Filtermaterial (Sand und Kies in aufsteigender Körnung) komplett erneuert. Desweiteren wird dabei die innere Wandung des Filtergehäuses mechanisch gereinigt und anschließend chemisch desinfiziert (zumeist mit chlorhaltigen Präparaten oder in Kombination mit Wasserstoffperoxyd).

#### 3.2.7.1 Wirkung der Sanierungsmaßnahmen

In sieben Anlagen wurden derartige Sanierungsmaßnahmen begleitend untersucht. Die Auswirkungen der Sanierungsversuche sind in Tabelle 3.2.2 (siehe Anlage A, Seite 135) mit aufgeführt. In vier Fällen (Objekte Nr. 164, 166, 176 und 178 in der Tabelle 3.2.2) konnten die Legionellen durch fluidisierende Filtrerrückspülungen reduziert oder ganz beseitigt werden. In einer Anlage (Objekt Nr. 163) wurden die o.g. Sanierungsverfahren kombiniert (fluidisierende Filtrerrückspülung, anschließend Entfernung des Filtermaterials, Reinigung der Innenwandung und Wiederbefüllung mit dem alten Filtermaterial). Auch hierbei konnte eine deutliche Reduktion der Legionellenkonzentration (von 10.300 auf 300 KBE/100 ml) erzielt werden. Dagegen konnte in zwei Fällen (Objekte Nr. 173 und 174) Legionellen erst nach Anwendung einer fluidisierenden Filtrerrückspülung in diesen Badewasseraufbereitungsanlagen nachgewiesen werden.

### 3.3 Raumluftechnische Anlagen

#### 3.3.1 Nachweis von Legionellenkontaminationen

Bei der Erstuntersuchung von 65 raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) mit Umlaufsprühbefeuchtern (insgesamt 126 Proben) fanden sich in sechs Anlagen (= 9%) Legionellenkontaminationen; in 55 RLT-Anlagen (= 85%) waren keine Legionellen nachweisbar. In den restlichen vier Anlagen waren die Proben aus den Be-

feuchterwasserwannen aufgrund des sehr starken Wachstums von Begleitflora nicht auswertbar, was jedoch die Anwesenheit von Legionellen nicht ausschließt.

Entsprechend der VDI-Richtlinie 6022 (VDI 1998) besteht bei Nachweis von Legionellen ab einer Konzentration von 1 KBE/ml (=100 KBE/100 ml) im Befeuchterwasser Handlungsbedarf.

Unter Berücksichtigung dieser Empfehlung entsprechen die sechs RLT-Anlagen, in deren Befeuchterwasserwannen Legionellen ermittelt worden waren, nicht den Anforderungen der VDI-Richtlinie. Damit ergibt sich, bezogen auf die 65 untersuchten RLT-Anlagen, ein Handlungsbedarf in 9% der Anlagen.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 3.3.1 (siehe Anlage A, Seite 139) zusammenfassend dargestellt.

### **3.3.2 Höhe der Legionellenkonzentrationen**

In den 126 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen konnten Legionellen in Konzentrationen bis zu 20.000 KBE/ 100 ml festgestellt werden.

### **3.3.3 Legionellenkontaminationen in RLT-Anlagen mit kontinuierlicher Desinfektionsmitteldosierung**

In sieben der 65 untersuchten RLT-Anlagen (Objekte Nr. 59-65 in Tabelle 3.3.1) wurden dem Befeuchterwasser kontinuierlich Biozide zur prophylaktischen Verringerung oder Vermeidung mikrobiologischer Kontaminationen zugesetzt. In allen diesen sieben Anlagen konnten dennoch Legionellen bei der Erst- oder einer der Folgeuntersuchungen in Konzentrationen von bis zu 20.000 KBE/100 ml nachgewiesen werden. Ein protektiver Effekt dieser Biozidzugabe hinsichtlich der Kontamination mit Legionellen war somit in diesen Anlagen nicht feststellbar.

### **3.3.4 Sanierungsmaßnahmen**

Zur Beseitigung von Legionellenkontaminationen in Befeuchterwasserkammern wurde bei den 65 untersuchten RLT-Anlagen hauptsächlich eine mechanische Reinigung durchgeführt. Dabei wird das Befeuchterwasser aus der Wanne abgelassen und anschließend der gesamte Innenraum der Befeuchterkammer einschließlich aller installierten Vorrichtungen zur Wasserführung (Düsenstöcke, Lamellen der Tropfenabscheider usw.) mit Hochdruck-Sprühlanzen ohne chemische Zusätze gereinigt.

#### 3.3.4.1 Wirkung der Sanierungsmaßnahmen

In elf der 65 RLT-Anlagen konnten derartige Sanierungs- bzw. (vorbeugende) Wartungsmaßnahmen in Form von mechanischen Reinigungen der Befeuchterwasserkammern begleitend untersucht werden (Objekte Nr. 54-57 und 59 – 65 in Tabelle 3.3.1). In vier der elf Fälle (Objekte Nr. 54, 57, 59 und 65) konnten die Legionellen durch diese Maßnahmen beseitigt werden. In weiteren sechs Anlagen (Objekte Nr. 59-61 und 63 -65) konnte durch regelmäßige Anwendung dieser Reinigungsmaßnahmen eine erneute Ansiedlung von Legionellen verhindert werden (Beobachtungszeitraum bis zu drei Kontrolluntersuchungen (=30 Wochen) nach Einführung der Maßnahme). Dagegen konnten in zwei anderen Fällen (Objekte Nr. 55 und 56) Legionellen erst nach Durchführung von Reinigungsmaßnahmen nachgewiesen werden.

### 3.4 Kühltürme / Rückkühlwerke

#### 3.4.1 Legionellenkontaminationen in den Anlagen

Im Verlauf dieser Studie wurde das Kühlwasser von 12 großindustriellen Kühltürmen (56 Proben) und 15 Rückkühlwerken (34 Proben) zum Teil mehrfach untersucht. Dabei handelte es sich ausschließlich um offene Systeme, bei denen das Kühlwasser als Aerosol in die Umgebung gelangt und somit eine Übertragung von Legionellen möglich ist. Bei den Erstuntersuchungen konnten in sechs von zwölf Kühltürmen (=50%) und in 13 der 15 Rückkühlwerke (=87%) Legionellenkontaminationen nachgewiesen werden. In den restlichen Anlagen wurden bei der Erstuntersuchung keine Legionellen gefunden und daraufhin nicht weiter untersucht. In Deutschland gibt es bisher keine Vorschrift, Regel oder Empfehlung, aus der ein Handlungsbedarf in Abhängigkeit von einer bestimmten Legionellenkonzentration abgeleitet werden könnte. Allerdings gibt es fallbezogene Hinweise in der Literatur, in denen nach bestimmten Rechenmodellen (Schulze-Röbbcke und Richter 1994; Brown, Nuorti et al. 1999) Legionellenkonzentrationen in Kühlwässern aus epidemiologischen Daten abgeleitet wurden (Brown, Nuorti et al. 1999). Danach ist die Möglichkeit einer Legionelleninfektion ab Konzentrationen von  $10^4$  KBE/Liter (entspricht 1.000 KBE/100 ml) nicht auszuschließen. Unter Berücksichtigung dieser Be-

rechnungsgrundlage besteht bei vier der 12 untersuchten Proben aus den Kühltürmen und 13 der 15 Proben aus den Rückkühlwerken Handlungsbedarf. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Tabellen 3.4.1.1 und 3.4.1.2 (siehe Anlage A, Seiten 140 und 141) zusammenfassend dargestellt.

### 3.4.2 Höhe der Legionellenkonzentrationen

In insgesamt 90 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen konnten Legionellen in Konzentrationen bis über 300.000 KBE/ 100 ml festgestellt werden.

### 3.4.3 Sanierungsmaßnahmen

Zur Reduktion von Legionellenkontaminationen kamen in den untersuchten Anlagen drei verschiedene Maßnahmen zur Anwendung:

- Eine chemische Desinfektion in Form einer Stoßchlorung mit 5 mg/l bzw. 0,25 mg/l freiem Chlor (Einwirkdauer mehrere Stunden).
- Eine Absenkung der Kühlwassertemperatur von 30°C auf 25°C.
- Eine mechanische Reinigung der Kühlwassertasse/ bzw. -wanne mittels Hochdrucksprühlanze.

#### 3.4.3.1 Wirkung der Sanierungsmaßnahmen

Stoßchlorung mit 5 mg/l freiem Chlor:

In fünf der zwölf untersuchten Kühltürme konnten diese Maßnahme begleitend untersucht werden (Objekte Nr. 4-7 und 9 in Tabelle 3.4.1.1). In allen Fällen wurden die vorhandenen Legionellenkonzentrationen durch diese Maßnahme deutlich reduziert (Abstand zwischen den Kontrolluntersuchungen jeweils ca. drei Monate).

Stoßchlorung mit 0,25 mg/l freiem Chlor:

In denselben fünf Kühltürmen wurde nach mehrmaliger erfolgreicher Anwendung der Stoßchlorung die Konzentration des Desinfektionsmittels herabgesetzt, um zu überprüfen, ob auch der Einsatz einer geringeren Konzentration eine ausreichende Wirkung erzielt. In einem Fall (Objekt Nr. 7 in Tabelle 3.4.1.1) konnte so eine geringe Legionellenkontamination beseitigt werden. In zwei weiteren Anlagen (Objekte Nr. 4 und 6) konnte eine Wirksamkeit nicht überprüft werden, da sowohl vor als auch nach der probatorischen Stoßchlorung keine Legionellen nachgewiesen werden konnten (die Untersuchungen wurden am gleichen Tag vorgenommen, die Ergebnisse beider Untersuchungen lagen somit auch erst 10 Tage später vor). In den restlichen beiden Anlagen dagegen (Objekte Nr. 5 und 9) konnte diese Maß-

nahme einen erneute Vermehrung der Legionellen nicht verhindern (siehe Tabelle 3.4.1.1).

**Absenkung der Kühlwassertemperatur:**

In einem Kühlturm (Objekt Nr. 1 in Tabelle 3.4.1.1) wurde bei einer Legionellenkontamination mit einer Konzentration von 5.500 KBE/100 ml die Kühlwassertemperatur von 30°C auf 25°C abgesenkt, um einer weiteren Vermehrung der Legionellen vorzubeugen. Eine weitere Kontrolle nach drei Monaten ergab jedoch einen drastischen Anstieg der Legionellenkonzentration auf über 300.000 KBE/100 ml. Erst durch eine daraufhin durchgeführte mechanische Reinigung der Kühlwassertasse konnte eine drastische Reduktion der Konzentration auf 320 KBE/100 ml erzielt werden.

**Mechanische Reinigung:**

In sechs der 15 Rückkühlwerke konnten diese Maßnahme begleitend untersucht werden (Objekte Nr. 10-15 in Tabelle 3.4.1.2). Dabei konnten in fünf Fällen vorhandene Legionellenkonzentrationen durch diese Maßnahme deutlich reduziert werden (Abstand zwischen den Kontrolluntersuchungen jeweils ca. vier Wochen). In einer Anlage (Objekt Nr. 13) kam es nach der ersten Reinigung zu einem Anstieg der Legionellenkonzentration (von 5.100 auf 11.150 KBE/100 ml). Nach einer weiteren Reinigung konnte dann auch in dieser Anlage eine drastische Reduktion auf einen Wert von 200 KBE/100 ml herbeigeführt werden.

## 3.5 Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen

### 3.5.1 Nachweis von Legionellenkontaminationen

Bei der Untersuchung von zwölf zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen (insgesamt 112 Proben) konnten in sieben Anlagen Legionellenkontaminationen nachgewiesen werden.

Obwohl es in Deutschland für zahnärztliche Behandlungseinrichtungen keine Vorschriften, Regeln oder Empfehlungen bezüglich Legionellenkontaminationen gibt, kann man unter dem Aspekt der Inkorporation dieses erwärmten Wassers durch den Patienten näherungsweise die Technischen Regeln für erwärmtes Trinkwasser (DVGW 1996) als Bewertungsmaßstab heranziehen. Demnach bestünde bei Nachweis von Legionellen ab einer Konzentration von 1 KBE/ml Handlungsbedarf.

Betrachtet man die Ergebnisse unter diesem Aspekt, ließe sich ein Handlungsbedarf in sechs der zwölf untersuchten zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen ableiten.

In den Kaltwasser-Zuleitungen der Behandlungsstühle aus den Hausinstallationsystemen konnten in einer von sieben Kaltwasserproben (Objekt Nr. 12 in Tabelle 3.5.1, siehe Anlage A, Seite 142) Legionellen nachgewiesen werden. Hierbei ist anzumerken, dass es sich um einen selten genutzten Reservestuhl handelte, wodurch von einer Stagnation im zuleitenden Kaltwassersystem zum Untersuchungszeitpunkt auszugehen ist.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 3.5.1 zusammenfassend dargestellt.

### **3.5.2 Höhe der Legionellenkonzentrationen**

In den insgesamt 112 Proben aus Erst- und Kontrolluntersuchungen in zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen konnten Legionellen in Konzentrationen bis zu 2.800 KBE/ 100 ml festgestellt werden.

### **3.5.3 Legionellenkontaminationen in zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen mit kontinuierlicher Desinfektionsmittelzudosierung**

Drei der zwölf Behandlungsstühle (Objekte Nr. 10-12 in Tabelle 3.5.1) waren mit einer Desinfektionseinrichtung ausgestattet, wodurch dem bei der Behandlung verwendeten Wasser kontinuierlich H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in einer Konzentration von 0,94% zur prophylaktischen Verringerung oder Vermeidung mikrobiologischer Kontaminationen zugesetzt wurde. In allen drei Anlagen waren dennoch Legionellen (16 von 22 Proben) in Konzentrationen von bis zu 1.600 KBE/100 ml vorhanden. Ein protektiver Effekt dieser kontinuierlichen Zugabe von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> hinsichtlich der Vermeidung von Legionellenkontaminationen war somit in diesen Anlagen nicht feststellbar.

## 3.6 Sonstige technische wasserführende Systeme

### 3.6.1 Ergebnisse der Untersuchungen in den verschiedenen Anlagen

#### 3.6.1.1 Wasserdestillationsanlage

In der Wasserdestillationsanlage einer Apotheke wurden vier periphere Entnahmestellen im Leitungssystem untersucht. Bei der Entnahme der Proben nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz (54,9 – 56,0 °C) konnten keine Legionellen in einem Untersuchungsvolumen von 100 ml nachgewiesen werden. In zwei der Proben konnte aber – nimmt man den Grenzwert der Trinkwasserverordnung als Maßstab – eine erhöhte Koloniezahl bei einer 37 °C – Bebrütung festgestellt werden (Tabelle 3.6.1, siehe Anlage A, Seite 143).

#### 3.6.1.2 Umkehrosmoseanlage

In der Umkehrosmoseanlage einer Dialysestation in einem Krankenhaus wurden eine zentrale Entnahmestelle am Ablauf der Anlage und zwei weitere periphere Entnahmestellen im Leitungssystem untersucht. Weder bei der zentralen Entnahmestelle (nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz von 19,2 °C), noch bei den peripheren Entnahmestellen (eine Sofortentnahme und eine Entnahme nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz von 14,0 °C) konnten Legionellen in einem Untersuchungsvolumen von 100 ml nachgewiesen werden (siehe Tabelle 3.6.1).

#### 3.6.1.3 Kaltwasser-Leitungssystem

In einem Kaltwasser-Leitungssystem eines Krankenhauses wurden eine zentrale Entnahmestelle an der Wasseruhr und drei weitere periphere Entnahmestellen im Leitungssystem untersucht. In einer der Proben aus der Peripherie des Leitungssystems konnten bei einer Entnahme nach Ablauf bis zur Temperaturkonstanz von 10,8 °C Legionellen in einer Konzentration von 82 KBE / 100 ml nachgewiesen werden. Die serologische Bestätigung mittels eines direkten Immunfluoreszenz-Tests (DIFT) ergab den Nachweis von *Legionella pneumophila* der Serogruppe 4 (siehe Tabelle 3.6.1). In den anderen drei Proben konnten im gleichen Untersuchungsvolumen keine Legionellen nachgewiesen werden. In einer Probe aus der Peripherie konnte bei einer Sofortentnahme erhöhte Koloniezahlen bei der 20 °C – Bebrütung und bei der 37 °C – Bebrütung festgestellt werden.

#### 3.6.1.4 Trinkwasser-Gewinnungsanlage 1

In der Trinkwasser-Gewinnungsanlage eines Wasserwerks wurden zwei Rohwasserproben (vor der Trinkwasser-Aufbereitung) und vier Trinkwasserproben (nach der Aufbereitung) im Leitungssystem eines Wasserwerks entnommen. Bei den Entnahmestellen handelt es sich um sogenannte Dauerläufer (ständig geöffnete Zapfhähne). In keiner der sechs untersuchten Wasserproben konnten Legionellen in einem Untersuchungsvolumen von 100 ml nachgewiesen werden (siehe Tabelle 3.6.1).

#### 3.6.1.5 Trinkwasser-Gewinnungsanlage 2

In einer anderen Trinkwasser-Gewinnungsanlage eines Wasserwerks wurden eine Rohwasserprobe und drei Trinkwasserproben im Leitungssystem eines weiteren Wasserwerks entnommen. Bei den Entnahmestellen handelte es sich ebenfalls um Dauerläufer. Dabei konnten in der Probe aus dem Rohwasser Legionellen in einer Konzentration von 6 KBE / 100 ml nachgewiesen werden. Eine weitergehende Differenzierung mittels Latex-Agglutinationstest oder DIFT fand auf Wunsch des Auftraggebers nicht statt (siehe Tabelle 3.6.1).

## 4. Diskussion

Eine grundlegende Arbeit über Untersuchungsmethoden für den mikrobiologischen Nachweis und die Überprüfung von Wasser, Boden und Luft wurde bereits 1883 durch Robert Koch publiziert (Koch 1883). Darin beschreibt er die Bedeutung von hygienischen Aspekten und deren Relevanz für die Verhütung von Infektionen. Beispielhaft erwähnt sei hier die Cholera-Epidemie in Hamburg 1893, in deren Verlauf Robert Koch den Zusammenhang hoher Koloniezahlen in der Wasseraufbereitung mit den aufgetretenen Erkrankungen aufzeigen und damit die Ursache ermitteln konnte (Exner 2003). Dieser Gedanke der Kontrolle der Wirksamkeit von Aufbereitungsmaßnahmen setzte sich im Bereich der öffentlichen Trinkwasserversorgung rasch durch und führte gerade hier durch eine ständige Überwachung zu einer hohen Qualität des Wassers (Bartram, Cortruvo et al. 2003). Trinkwasserbedingte Epidemien, die bis dato immer wieder aufgetreten waren, konnten dadurch in ihrer Zahl und Intensität drastisch reduziert werden. Dieses „Vorsorgekonzept“ hat sich in den vergangenen 120 Jahren in Deutschland sehr bewährt.

Derzeit stellt in Deutschland die novellierte Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (TW-Komm 2001) die maßgebliche Rechtsgrundlage auf der Basis des Infektionsschutzgesetzes (N.N. 2000) dar. Der Geltungsbereich dieser überarbeiteten Trinkwasserverordnung umfasst auch die Anforderungen an Anlagen der Hausinstallation, aus denen Wasser für den menschlichen Gebrauch abgegeben wird. Unter Wasser für den menschlichen Gebrauch wird alles Wasser verstanden, sei es im ursprünglichen Zustand oder nach Aufbereitung, das zum Trinken, zum Kochen, zur Zubereitung von Speisen und Getränken (direkt oder indirekt), zur Körperpflege und -reinigung sowie zur Reinigung von Gegenständen, die in Kontakt mit Lebensmitteln oder in nicht nur vorübergehenden Kontakt mit dem menschlichen Körper kommen, dient.

Bei den allgemeinen Anforderungen an die Beschaffenheit des Wassers für den menschlichen Gebrauch heißt es in der Trinkwasserverordnung, dass Wasser für den menschlichen Gebrauch frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein muss. Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden und das Wasser für den menschlichen Gebrauch den Anforderungen der Verordnung entspricht.

Bezüglich der mikrobiologischen Parameter (§5, Abs. 1) heißt es: "Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes (N.N. 2000) nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen." (TW-Komm 2001). Die zuständigen Behörden sind berechtigt, unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles zum Schutz der menschlichen Gesundheit oder zur Sicherstellung einer einwandfreien Beschaffenheit des Wassers für den menschlichen Gebrauch Untersuchungen ausdehnen zu lassen zur Feststellung, ob u.a. Legionella-Spezies in Konzentrationen im Wasser enthalten sind, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

Völlig im Gegensatz dazu steht das in den Vereinigten Staaten im Krankenhausbereich (nicht in der Lebensmittelüberwachung) praktizierte und von den CDC (CDC 1997; Yu 1998) gestützte Konzept, erst dann tätig zu werden, wenn etwas vorgefallen ist, also z.B. bereits nosokomiale Legionelleninfektionen aufgetreten sind. Dieser vereinzelt auch in Deutschland empfohlene Ansatz steht nach den oben genannten Vorgaben nicht im Einklang mit der aktuellen Trinkwasserverordnung. Wer als Unternehmer oder sonstiger Inhaber einer Wasserversorgungsanlage (einschließlich einer Hausinstallationsanlage) Wasser für die Öffentlichkeit z.B. in Schulen, Kindertagesstätten oder Krankenhäusern vorsätzlich oder fahrlässig abgibt, das den Anforderungen der Trinkwasserverordnung nicht entspricht, muss hiernach mit Bestrafung rechnen (Freiheitsstrafe bis zu 5 Jahren oder Geldstrafe).

Epidemiologische Daten aus 28 europäischen Staaten (European working group for legionella infections, EWGLI) geben eine mittlere Infektionsrate von 4,3 Fällen auf eine Million Einwohner im Jahr 1998 an (EWGLI/PHLS 1999). Insgesamt wurden 1.442 Infektionen registriert, davon 70 % beim männlichen und 28 % beim weiblichen Geschlecht, in 2 % lagen keine Geschlechtsangaben vor. Die Letalität lag bei 13,1 % (Spannbreite 6 % - 42 %). Es wurden 32 Ausbrüche bzw. Cluster mit einer Gesamtzahl von 165 Fällen (11,4 %) beschrieben, davon 10 in Krankenhäusern und 12 in verschiedenen anderen Bereichen; 10 Ausbrüche waren reiseassoziiert. Unter den 32 Ausbrüchen fanden sich folgende technische, wasserführende System als Infektionsquellen: Warm- oder Kaltwassersysteme (14 Ausbrüche), Kontaminierte Kühltürme (5 Ausbrüche), Whirlpool (1 Ausbruch), Unbekannt (12 Ausbrüche)

Erkrankungen des Menschen sind seit dem Vorfall in Philadelphia sowohl sporadisch auftretend als auch in Form von Ausbrüchen weltweit immer wieder beschrieben worden. Dass dabei selbst immunkompetente Personen gefährdet sind, zeigen

auch die in jüngster Zeit aufgetretenen Ausbrüche von Legionellose, von denen hier beispielhaft einige kurz genannt sein:

- Niederlande, Bovenkarspel (eine Blumenausstellung 02/1999); Kontaminationsquelle: ein Hot-Whirl-Pool, mehr als 200 Erkrankungen, davon mehr als 100 bestätigte Fälle (über 20 mit tödlichem Ausgang)
- Belgien, Kapellen (eine Messeveranstaltung 11/1999); Kontaminationsquelle: ein Hot-Whirl-Pool, mehr als 80 Erkrankungen, davon 13 bestätigte Fälle (vier mit tödlichem Ausgang)
- Australien, Melbourne (ein Großaquarium 04/2000); Kontaminationsquelle: ein Rückkühlwerk, 74 bestätigte Fälle
- Frankreich, Paris (ein Hospital 11/2000 – 07/2001); Kontaminationsquelle: eine Trinkwassererwärmungsanlage, 12 bestätigte Fälle
- USA, Ohio (eine Automobilfabrik 03/2001); Kontaminationsquelle: ein Rückkühlwerk, drei bestätigte Fälle (einer mit tödlichem Ausgang)
- England, London (06/2001); Kontaminationsquelle: ein Rückkühlwerk, drei bestätigte Fälle
- Spanien, Murcia (ein Krankenhaus 07/2001); Kontaminationsquelle: das Rückkühlwerk des Krankenhauses, mehr als 800 Erkrankungen, davon 449 bestätigte Fälle
- Frankreich, Pas de Calais (ein Industriekomplex 12/2003 – 02/2004); Kontaminationsquelle: vermutlich Kühlwasser oder Wasser aus einer Klärschlammanlage, 70 bestätigte Fälle, davon 9 mit tödlichem Ausgang (N.N. 2004; RKI 2004).
- Deutschland, Frankfurt an der Oder (ein Krankenhaus 12/2002 – 07/2003); Kontaminationsquelle: vermutlich eine Trinkwassererwärmungsanlage des Krankenhauses, 12 bestätigte Fälle (N.N. 2004)

Das Beispiel von Murcia mit der bis dato wohl höchsten Zahl an bestätigten Legionellen-Infektionen (Garcia-Fulgueiras, Navarro et al. 2003) zeigt die unveränderte Aktualität dieses Themas, obwohl seit Entdeckung der Legionellen inzwischen ein Vierteljahrhundert vergangen ist.

Die oben aufgeführten Ereignisse sollen jedoch nicht über die Tatsache hinwegtäuschen, dass die Häufigkeit von Legionella-Infektionen auch weiterhin nicht genau bekannt ist. Man muss von einer beträchtlichen Dunkelziffer ausgehen, da einerseits häufig keine oder nur eine unzureichende diagnostische Abklärung von Pneumonien erfolgt, andererseits viele diagnostizierte Legionellose nicht gemeldet oder publiziert werden (Exner und Pleischl 1996; Exner 1997; Yu 2000). Erst seit 2001

---

gibt es in Deutschland eine Meldepflicht; epidemiologische Daten werden vom Robert-Koch-Institut gesammelt und regelmäßig veröffentlicht (RKI 2004).

Technische, wasserführende Systeme sind als exogene Infektionsquellen anhand der heute verfügbaren genotypischen Identifizierungsverfahren gesichert (Linde, Hengerer et al. 1995; Freije und Barbaree 1996; Goetz, Stout et al. 1998; Hoebe, Cluitmans et al. 1998; Köhler, Maiwald et al. 1999; Marre, Kwaik et al. 2002). Insbesondere kontaminierte warmwasserführende Hausinstallationssysteme in Großgebäuden wie Krankenhäusern bedeuten ein höheres Expositions- und Infektionsrisiko für exponierte und empfängliche Personen (Exner 1991; Stout und Yu 1997; Goetz, Stout et al. 1998; Yu 2000). Aufgrund des dort mehrfach beschriebenen Umstandes, dass Legionellenausbrüche durch Minderung der Legionellenkonzentration in den als Infektionsquelle ursächlich abgesicherten wasserführenden Systemen unter Kontrolle gebracht werden konnten (Exner 1991; Linde, Hengerer et al. 1995; Freije und Barbaree 1996; Stout und Yu 1997), ergibt sich daraus die Forderung nach Präventions- und Sanierungsmaßnahmen. Diese Forderung wird durch die Beobachtung unterstützt, dass Legionellen ausschließlich von exogenen Quellen erworben werden. Legionellen wurden noch nie von gesunden Personen isoliert. (N.N. 1999).

Die Prävention von Legionellose in wasserführenden technischen Systemen bezieht sich neben der Überwachung der Legionellenkonzentrationen auch auf die Planung (hpts. bei Neuanlagen) sowie die Inbetriebnahme, den Betrieb und die Wartung der entsprechenden Anlagen.

Ziel aller Maßnahmen muss es sein, Legionellen in wasserführenden technischen Systemen auf Konzentrationen zu begrenzen, die unter Berücksichtigung der Infektionsgefährdung der exponierten Personen eine Schädigung der menschlichen Gesundheit nicht besorgen lassen (Althaus 1987; Althaus, Bösenberg et al. 1987; Exner und Schulze-Röbbecke 1987; Exner, Jung et al. 1990; Exner 1991; N.N. 1991; DVGW 1993; DVGW 1996; Freije und Barbaree 1996; RKI 1999); Exner schlug dabei 1990 erstmalig Richtwerte für Legionellenkonzentrationen vor. Weiterhin wurden technische Regeln und Normen herausgegeben, die bei Planung, Wartung und Betrieb derartiger Systeme zu berücksichtigen sind (DVGW 1993; DVGW 1996; DIN 1997; VDI 1998; RKI 1999).

Zukünftig kann der Verzicht auf eine routinemäßige Legionellenuntersuchung im Falle des Auftretens von Legionellen-Infektionen, die in ursächlichem Zusammen-

hang mit einer nicht den technischen Regeln entsprechend betriebenen, gewarteten und untersuchten Hausinstallationsanlage zurückzuführen ist, nach § 74 des Infektionsschutzgesetzes (DVGW 1993; N.N. 2000) strafbar sein. Die Untersuchungen auf Legionellen sollten durch Institute mit Zulassung gemäß dem Infektionsschutzgesetz erfolgen, welche neben der hygienisch-mikrobiologischen auch über hygienisch-technische Kompetenzen verfügen, die bei einer Beratung über die erforderlichen präventiven und technischen Sanierungsmaßnahmen notwendig sind (N.N. 1999).

Wie wirksam diese in den technischen Regeln und Normen empfohlenen Präventionsstrategien tatsächlich sind, konnte im Rahmen dieser Arbeit zumindest für die wichtigsten Systeme aufgezeigt werden. Dies ist insofern von Bedeutung, da bisher nur wenige Untersuchungen, die unter praxisnahen Bedingungen durchgeführt wurden, existieren, und diese in der Regel nur einzelne Systeme sowie Strategien zu deren spezifischen Sanierung beschreiben (Marre, Kwaiik et al. 2002).

## 4.1 Trinkwassererwärmungsanlagen / Hausinstallationssysteme

### 4.1.1 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Betrachtet man die in Pkt 3.1.1 beschriebenen vier Anlagen-Schemata unter dem Aspekt einer potentiellen Legionellenbesiedlung, lassen sich für die vier Schemata die folgenden jeweiligen Vor- und Nachteile aufzeigen:

#### Typ 1 (Warmwassersystem ohne Zirkulation)

Ansatzpunkte für mögliche Legionellenkontaminationen bei diesen oftmals in kleinen Gebäuden anzutreffenden Anlagen sind die peripheren Stichleitungen, in denen das Warmwasser bei Nichtabnahme stagniert und dabei abkühlt. Selbst bei Boilertemperaturen gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt W 551 (DVGW 1993) kann diese Konstruktionsweise zu Temperaturen in der Peripherie führen, die für eine Vermehrung von Legionellen günstig sind (siehe auch Pkt. 3.1.4 und 4.1.4). Sanierungsmaßnahmen sind dagegen in solchen Anlagen relativ einfach durchzuführen, da eine **Ausspülung** über alle Entnahmestellen möglich ist, ohne eine Rekontami-

nation über einen Zirkulationsrücklauf befürchten zu müssen. Einzige Voraussetzung für eine Sanierung ist die **Eignung des Boilers**, um die für eine thermische Desinfektion erforderlichen **Temperaturen** bereitstellen zu können.

#### Typ 2 (Warmwassersystem mit Zirkulation)

Bei einer Betriebsweise gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 551 mit entsprechenden Temperaturen im Warmwasservorlauf und einer ordnungsgemäßen Funktion des Zirkulationsrücklaufs sind diese Anlagen prinzipiell wenig anfällig für das Auftreten von Legionellenkontaminationen. Schwachstellen können die Zirkulationsleitungen sein, wenn es bei mangelhaftem hydraulischen Abgleich zwischen den verschiedenen Teilsträngen zu Stagnationen und den damit verbundenen Problemen, wie sie bei Typ 1 beschrieben wurden, kommt. Nachteilig kann auch der Betrieb mit geringen Temperaturen (z.B. 45°C) sein, wobei dann hohe Legionellenkonzentrationen auftreten können. Thermische Sanierungsmaßnahmen sind bei Anlagen vom Typ 2 mit generell hoher Betriebstemperatur durch die dann vorhandenen endständigen Thermostatmischbatterien einfach durchzuführen, wobei zuvor der hydraulische Abgleich durchzuführen ist. Derartige Anlagen mit niedriger Warmwassertemperatur sind dagegen schwieriger zu sanieren, da in der Regel erst die Voraussetzungen für eine thermische Sanierung geschaffen werden müssen und oftmals keine endständigen Thermostatmischbatterien vorhanden sind.

#### Typ 3+4 (Mischwassersysteme ohne oder mit vorhandener Zirkulation)

Trinkwasser-Erwärmungsanlagen, in denen das durch den Boiler bereitgestellte Warmwasser durch zentral eingebaute Mischvorrichtungen (Kaltwasserbeimengung) auf Gebrauchstemperatur eingestellt wird, sind konstruktionsbedingt (aufgrund der niedrigeren Temperatur) anfälliger für Legionellenkontaminationen (siehe auch Pkt. 4.1.3 u. 4.1.4). Dies wird durch die vorliegende Arbeit belegt. Außerdem werden, zumindest in Mischwassersystemen vom Typ 4, bedingt durch den Zirkulationsrücklauf und dessen Kurzschlussleitung zum Mischer (siehe Abb. 4 in Pkt. 3.1.1), Legionellen in der Peripherie faktisch „im Kreis gefahren“ und können sich dabei weiter vermehren.

Gerade diese Mischwassersysteme vom Typ 4 (mit Zirkulation) wurden aber zumindest in der Vergangenheit in Großgebäuden bevorzugt eingebaut. Die Gründe hierfür waren oftmals wirtschaftlicher Natur: Warmwasserspeicher sind aufgrund der später erfolgenden Kaltwasserbeimischung kleiner, und damit kostengünstiger zu dimensionieren und der Einbau aufwändiger Thermostatmischbatterien an allen endständigen Entnahmestellen aus Verbrühungsschutzgründen konnte zugunsten einfacher und damit preiswerter Mischarmaturen entfallen. Des Weiteren waren die

in hochtemperierten Warmwassersystemen unabdingbar notwendigen Isolierungen zwischen den meist gemeinsam in Wand- und Deckenkanälen verlegten Kalt- und Warmwasserleitungen zu vernachlässigen und wurden daher oftmals nicht installiert. Dadurch ergibt sich in der Praxis die ungünstige Konstellation, dass man in Großgebäuden ausgerechnet diejenigen Warmwassersysteme vorfindet, die für Legionellenkontaminationen besonders anfällig sind. Dies erklärt auch den hohen Anteil kontaminierter Anlagen bei der Untersuchung von Großgebäuden (Exner und Pleischl 1996; Exner 1997; Yu 2000), siehe auch Pkt. 3.1.2 u. 4.1.2.

Allgemein sind Mischwassersysteme, unabhängig von der Existenz eines Zirkulationsrücklaufs, schwierig zu sanieren. Gründe hierfür sind vor allem in der Konstruktion der Systeme zu finden: Um eine ausreichend hohe Temperatur in der Peripherie erzielen zu können, müssen die zentralen Mischer in der Regel durch Umgehungsleitungen überbrückt werden. Aufgrund der im Normalbetrieb stattfindenden Beimischung von Kaltwasser sind die Boilervolumina oftmals zu klein dimensioniert, um im Falle einer thermischen Desinfektion eine ausreichende Heißwassermenge bereitstellen zu können (siehe auch Pkt. 1.3.1.1). Des Weiteren fehlen in derartig versorgten Hausinstallationssystemen oftmals Thermostatmischbatterien, da eine Verbrühungsgefahr im Normalfall nicht besteht.

Generell ist festzuhalten, dass Anlagen in Großgebäuden mit ihrer Vielzahl von Entnahmestellen aufgrund ihres hohen Verzweigungsgrades und ihrer langen Leitungswege anfälliger für Stagnationen und damit Abkühlungen des Warmwassers sind. Dadurch sind sie häufiger von Legionellenkontaminationen betroffen als Anlagen in eher kleinen Gebäuden. Diese verfügen in der Regel über kurze Leitungssysteme mit wenig Stagnationspotenzial, sind leichter hydraulisch abzugleichen und aufgrund der im Vergleich eher geringen Anzahl von Entnahmearmaturen auch weniger aufwändig zu sanieren. Die in der Literatur hauptsächlich beschriebenen Legionellenkontaminationen von Hausinstallationssystemen und hiermit assoziierten Legionellen-Infektionen beziehen sich überwiegend auf Großgebäude, wie sie oben beschrieben wurden (Lin, Vidic et al. 1998; Friedemann 1999; Kool, Bergmire-Sweat et al. 1999; Marre, Kwai et al. 2002). Publikationen über legionellenkontaminierte Kleinanlagen (Stichleitungssystemen) sind dagegen eher selten (Mathys, Junge et al. 1990; Borella, Montagna et al. 2004). Generell ist anzumerken, dass in Berichten über Legionellen-Infektionen im Zusammenhang mit Warmwassersystemen diese nur selten charakterisiert werden.

#### 4.1.2 Nachweishäufigkeit von Legionellenkontaminationen in den Anlagen

Technische, wasserführende Systeme können bei Vorliegen entsprechender Umgebungsbedingungen (siehe Pkt. 1.1) von Legionellen besiedelt werden und sind daher als mögliche Infektionsquellen zu betrachten. Dieser bekannte Umstand (Exner, Tuschewitzki et al. 1992; Exner und Pleischl 1996; Exner 1997; Roth 1997; EWGLI/PHLS 1999; Yu 2000) wird durch das Ergebnis der vorliegenden Untersuchung bestätigt. In Übereinstimmung mit anderen bisherigen Untersuchungen von Gebäuden (Nachweishäufigkeit von Legionellen 65% - 77%, (Exner und Pleischl 1996; Exner 1997; Yu 2000) liegt der Anteil legionellenkontaminierter Warmwassersysteme bei der vorliegenden Untersuchung bei 62%. Eine Differenzierung in Anlagen mit systemischen bzw. eher lokalen Kontaminationen zeigt einen deutlichen Unterschied sowohl in der Häufigkeit (48% systemisch vs. 14% lokal) als auch bei der Häufigkeit der Überschreitungen der DVGW-Empfehlungen und damit des notwendigen Handlungsbedarfs (84% bei systemischen vs. 44% bei lokalen Kontaminationen). Die Differenzierung zwischen systemischen und lokalen Kontaminationen, die in Deutschland schon frühzeitig propagiert wurde (Exner 1991), bietet damit sowohl Hilfestellungen bei der Bewertung von Ergebnissen aus legionellenkontaminierten Anlagen als auch bei der Ableitung von Empfehlungen zu Sanierungsmaßnahmen. Im Gegensatz zur amerikanischen Bewertungsgrundlage (CDC 1997; Yu 1998), nach der als Entscheidungskriterium 30% aller Entnahmearmaturen einen positiven Legionellenbefund (qualitativ) aufweisen müssen, ist dadurch eine Entscheidung hinsichtlich des Vorliegens einer systemischen oder lokalen Kontamination anhand weniger Proben möglich. Grundlage hierfür ist allerdings eine genaue Kenntnis der Anlage, die nur durch eine Ortsbegehung zu erlangen ist (BGA 1993). Weiterhin kann man den Ergebnissen entnehmen, dass Großgebäude mit weitverzweigten Hausinstallationssystemen (Krankenhäuser, Schwimmbäder, Altenheime usw.), in denen in der Regel Anlagen vom Typ 4 installiert sind, deutlich häufiger Handlungsbedarf aufweisen als kleinere Gebäude mit Anlagen gemäß Typ 1 und 3 (zu Typ 2 können aufgrund zu geringer Zahlen hierzu keine Aussagen getroffen werden). Dies unterstützt die Hypothesen, wie sie in Pkt. 4.1.1 bei der Betrachtung der verschiedenen Schemata von Trinkwassererwärmungsanlagen und Hausinstallationssystemen aufgestellt wurden. Im Bereich der Kleinanlagen von Ein- und Mehrfamilienhäusern muss jedoch auf weiteren Untersuchungsbedarf hingewiesen werden, da die Anzahl der untersuchten Objekte im Vergleich zu Großgebäuden relativ gering ist, und auch ausschließlich Anlagentypen ohne Zirkulationsleitungen (Stichleitungsanlagen) angetroffen wurden. Gerade in letzter Zeit wer-

den jedoch auch solche Kleinanlagen vermehrt mit Zirkulationsleitungen ausgestattet. Über diese Anlagen gibt es unter dem Aspekt möglicher Legionellenkontaminationen bisher noch keine umfassenden Untersuchungen.

#### **4.1.3 Höhe der Legionellenkonzentrationen und**

#### **4.1.4 Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentrationen**

Ein weiterer Aspekt, der die Vermehrung von Legionellen in technischen, wasserführenden Systemen beeinflusst, ist die Höhe der Warmwassertemperatur (Groothuis, Veenendaal et al. 1985; Farrell, Barker et al. 1990). Legionellen vermehren sich in Warmwassersystemen in einem Temperaturbereich zwischen 30°C und 40°C optimal. Dies ist einer der Gründe, warum die Nachweishäufigkeit von Legionellen in Großgebäuden (Krankenhäusern und Bürogebäuden etc.) mit Mischwassersystemen und Zirkulationssystemen gemäß Typ 4 ca. 65% - 77% beträgt (Lück, Leupold et al. 1993; Exner und Pleischl 1996; Exner 1997).

Diese deutliche Temperaturabhängigkeit der Legionellenkontaminationen wird durch die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen bestätigt (siehe Pkt. 3.1.4). Während die höchsten Mittelwerte der Legionellenkonzentrationen in einem Temperaturbereich von 30 – 50°C nachgewiesen wurden, lagen die Werte außerhalb dieses Bereiches deutlich niedriger. Die ermittelten maximalen Legionellenkonzentrationen von bis zu 300.000 KBE/100 ml unterstützen dabei die Befunde anderer Untersucher, bei denen Konzentrationen von bis zu 10.000 KBE/ml (= 1.000.000 KBE/100 ml) gefunden wurden (Schneitler 1991; Lück, Leupold et al. 1993). Es ist davon auszugehen, dass mit steigender Legionellenkonzentration auch das Infektionsrisiko größer wird; dies wurde schon mehrfach beschrieben (Exner 1991; Linde, Hengerer et al. 1995; Freije und Barbaree 1996; Stout und Yu 1997). Vor diesem Hintergrund ist es sicherlich richtig, Gebäuden mit hohen Legionellenkonzentrationen eine erhöhte Dringlichkeit bei der Sanierung zuzuordnen, und auf diese Weise bei mehreren kontaminierten Gebäuden eine Sanierungsreihenfolge auf Basis einer Risikobewertung der Legionellenkonzentrationen durchzuführen. Dies ist jedoch nur bei Anwendung quantitativer Nachweisverfahren zu gewährleisten, ein einfacher positiver Nachweis an den Entnahmearmaturen, wie in den Vereinigten Staaten weit verbreitet, ist dafür nicht geeignet.

#### **4.1.5 Abhängigkeit der Legionellenkonzentration von der Art der Mischeinrichtung (zentral oder dezentral)**

Ein Vergleich von Systemen, die über zentrale Mischeinrichtungen verfügen (Typ 3 und 4 in Pkt. 3.1.1), mit denjenigen, die dem Verbraucher über endständige (=dezentrale) Mischarmaturen die Wahl der Wassertemperatur überlassen (Typ 1 und 2), zeigt deutliche Unterschiede hinsichtlich der jeweils ermittelten Legionellenkonzentrationen. Dies ist hauptsächlich auf die in Anlagen mit zentraler Mischeinrichtung niedrigeren Warmwassertemperatur in der Hausinstallation (Mittelwert 41°C vs. 47°C in Anlagen ohne zentrale Mischeinrichtung) zurückzuführen (siehe auch Pkt. 3.1.5). Dieser Befund unterstützt die in Pkt. 4.1.3 und 4.1.4 gemachten Aussagen zur Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentration, sowie die in Pkt. 4.1.1 und 4.1.2 aufgestellte Hypothese der prinzipiellen Nachteile von Großanlagen mit zentralen Mischeinrichtungen. Dies steht im Einklang mit den vom DVGW in seinen beiden Arbeitsblättern W 551 und W 552 (DVGW 1993; DVGW 1996) aufgestellten Empfehlungen, das gesamte Hausinstallationssystem für Warmwasser in einem Temperaturbereich von 55 – 60°C zu halten. In den im Arbeitsblatt W 551 enthaltenen Hinweisen zur Neuinstallation von Trinkwassererwärmungsanlagen sind bezeichnenderweise auch keine Empfehlungen für den Einbau zentraler Mischeinrichtungen enthalten, da diese für das dort propagierte Hochtemperaturkonzept nicht notwendig sind. Aufgrund der im Rahmen dieser Studie ermittelten Ergebnisse und Anlagentypen würde eine im Sinne niedriger Legionellenkonzentrationen ideale Anlage für Großgebäude weitgehend dem Schema des Typs 2 (Warmwassersystem mit Zirkulation) entsprechen, wobei eine möglichst hohe Temperatur (gemäß der in Pkt. 3.1.4 ermittelten Temperaturabhängigkeit der Legionellenkonzentration ca. 55 – 60°C) verwendet werden müsste, die erst kurz vor den Entnahmestellen durch geeignete Thermostatmischbatterien auf Wunschttemperatur eingestellt werden kann. Obwohl die im Rahmen dieser Studie ermittelten Fallzahlen gering sind, sprechen die Daten dafür, dass diese idealisierte Anlage weitgehend den Vorstellungen des Arbeitsblatts W 552 des DVGW entspricht, wodurch die Richtigkeit der dort aufgestellten Empfehlungen unterstützt wird.

#### **4.1.6 Korrelation der Legionellenkonzentration von der allgemeinen Koloniezahl (37°C-Bebrütung)**

Die Bestimmung der Koloniezahl als ein einfaches Verfahren zur Ermittlung der

Größenordnung einer mikrobiellen Kontamination ist ein Qualitätsparameter, der Hinweise auf eventuelle Störungen im Betrieb von wasserführenden Systemen liefern kann. Unter dem Aspekt, Auskunft über mikrobiellen Aufwuchs oder Biofilmbildung in technischen, wasserführenden Systemen oder die Verkeimungsraten nach Stagnation zu geben, wäre die Bestimmung der Koloniezahl auch bei der Beurteilung von legionellenkontaminierten Hausinstallationssystemen von Interesse. Allerdings setzt dies voraus, dass ein Zusammenhang mit einer eventuell vorhandenen Legionellenkontamination in einer Trinkwassererwärmungsanlage oder dem nachgeschalteten Hausinstallationssystem herzustellen ist.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen lassen jedoch einen solchen Zusammenhang nicht erkennen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersucher (Zeybek und Cotuk 2002). Der ermittelte Korrelationskoeffizient (nach Pearson) zeigt eine nahezu vollständige Unabhängigkeit der Höhe der allgemeinen Koloniezahl von der Anwesenheit oder gar Größe einer eventuell vorhandenen Legionellenkontamination. Dies bedeutet, dass die routinemäßige Wasseruntersuchung gemäß der Trinkwasserverordnung und das ihr zugrunde liegende Indikatorkonzept nicht geeignet ist, die Anwesenheit oder gar das Ausmaß einer Legionellenkontamination in einem Hausinstallationssystem erkennen zu können.

Ein negativer Nachweis bei der Bestimmung der Koloniezahl (0 KBE/ml) ist somit nicht gleichzusetzen mit der Abwesenheit einer Legionellenkontamination. Das Vorhandensein einer wie auch immer gearteten Legionellenkontamination in einer Trinkwassererwärmungsanlage oder einem Hausinstallationssystem kann nur durch gesonderte, auf die speziellen Eigenarten dieser Mikroorganismen zugeschnittenen Untersuchungen und Nachweisverfahren festgestellt werden.

#### **4.1.7 Nachweishäufigkeit der verschiedenen Serogruppen von *Legionella pneumophila* und anderer Legionellen-Arten**

Die vorliegende Untersuchung ermittelte einen Anteil von 31% für *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1, 64% für *Legionella pneumophila* aus dem Bereich der Serogruppen 2-14 und 4% für andere Legionella-Arten (1% war mit den zur Verfügung stehenden Differenzierungstests nicht zu bestimmen). Dies legt den Schluss nahe, dass es sich bei diesen Isolaten zwar um Legionellen, jedoch nicht um *Legionella pneumophila* oder eine der anderen Legionellen-Arten, die mit Hilfe der Mischkonjugate zu differenzieren sind, handelt.

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Befunden anderer Untersucher (Lück, Helbig et al. 1990; Bezanson, Burbridge et al. 1992; Lück, Leupold et al. 1993) sowie einer

gerade abgeschlossenen eigenen Studie (Untersuchungen in Unterkunftsgebäuden), in der eine ähnliche Verteilung (35% für *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1, 62% für *Legionella pneumophila* aus dem Bereich der Serogruppen 2-14 und 3% für andere Legionella-Arten) ermittelt werden konnte (Pleischl, noch nicht publiziert).

Unter den 1.442 gemeldeten Legionellose-Fällen im Jahr 1998 waren 870 (60,3 %) auf *Legionella pneumophila* Serogruppe 1 zurückzuführen, weitere 496 Fälle (34,4%) waren durch andere oder nicht näher bestimmte Serogruppen von *L. pneumophila* bedingt. Andere Legionella-Spezies waren für 76 Fälle (5,3 %) verantwortlich, darunter *L. micdadei* und *L. bozemanii*. Eine infektiologische Bedeutung kommt darüber hinaus u. a. *L. dumoffii* und *L. longbeachae* zu (EWGLI/PHLS 1999). Vergleicht man die prozentualen Anteile der verschiedenen Legionellen-Spezies und Serogruppen von *Legionella pneumophila* an den durch sie hervorgerufenen Erkrankungen mit denjenigen ihrer Nachweishäufigkeit in technischen, wasserführenden Systemen, zeigt sich eine deutliche Übereinstimmung. Diesem Umstand sollte bei der Durchführung von Sanierungsmaßnahmen Rechnung getragen werden (Muder 2000; Yu 2000). Anlagen, in denen *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1 in hohen Konzentrationen nachgewiesen werden kann, sollte daher bei der Sanierung eine erhöhte Priorität zugewiesen werden.

#### 4.1.8 Persistenz von Legionellen in wasserführenden Systemen

Eine hohe Persistenz einmal nachgewiesener Legionellen-Arten oder gar Serogruppen über lange Zeiträume in wasserführenden Systemen wurde auch von anderen Untersuchern schon vereinzelt beobachtet (Lück, Bender et al. 1991; Lück, Leupold et al. 1993); in einem Fall konnte die gleiche Serogruppe sogar über einen Zeitraum von 13 Jahren immer wieder nachgewiesen werden (Rangel-Frausto, Rhomberg et al. 1999). Dies deutet darauf hin, dass die untersuchten technischen, wasserführenden Systeme den Legionellen anscheinend stabile ökologische Umgebungs- und Vermehrungsbedingungen bieten. In der Praxis kann man wohl davon ausgehen, dass ein plötzlicher Wechsel der Legionellenart unwahrscheinlich ist. Eine Kostenreduktion bei regelmäßig durchgeführten Kontrolluntersuchungen durch Verzicht auf ebenso regelmäßige Differenzierungen ist dadurch möglich (zumindest bei Nachweis von Serogruppen mit bekannter hoher Infektionsrelevanz, z.B. *Legionella pneumophila* der Serogruppe 1), wobei allerdings aus prophylaktischer Sicht ein genereller Wegfall der Differenzierung nicht zu befürworten ist. Des

Weiteren ergibt sich dadurch bei Nachweis von Legionellen-Arten mit geringeren Infektionsraten assoziiert sind, bedingt durch einen geringeren Handlungsdruck, ein Zeitgewinn für notwendige Sanierungsmaßnahmen, da ein plötzliches Auftreten anderer, infektionsrelevanterer Legionellen-Arten unwahrscheinlich ist. Voraussetzung dafür ist allerdings eine sorgfältige Differenzierung zumindest aller morphologisch unterschiedlichen Kolonien bei der Erstuntersuchung (bei geringen Koloniezahlen sollten aus unserer Erfahrung heraus alle Kolonien typisiert werden), um auszuschließen, dass infektionsrelevante Legionellen-Arten übersehen werden. Bei den vorliegenden Untersuchungen hat es sich als praktikabel und vom Aufwand her als noch tragbar erwiesen, eine Überprüfung aller morphologisch unterschiedlichen Kolonien mit dem Latex-Agglutinationstest durchzuführen, da dieser im Vergleich mit der direkten Immunfluoreszenz schneller und, bei vergleichbarer Zuverlässigkeit (Pleischl, Langer et al. 1998), preiswerter in der Anwendung ist (siehe auch Punkt 4.3.). Dieses Vorgehen entspricht auch der von der ISO 11731 und anderen Empfehlungen zum Nachweis von Legionellen beschriebenen Vorgehensweise (BGA 1993; ISO 1998; Umweltbundesamt 2000).

#### **4.1.9 Sanierungsmaßnahmen**

##### **4.1.9.1 Thermische Sanierung**

Für die rasche Reduktion einer Legionellenkontamination und um Zeit für notwendige technische Änderungen in der Trinkwassererwärmungsanlage zu gewinnen, hat sich die kurzfristige thermische Desinfektion (siehe 1.3.1.1) mit Temperaturen von 65 – 75°C bewährt (Exner, Tuschewitzki et al. 1990; Bösenberg, Mathys et al. 1992; Waschko-Dransmann 1992). Hierbei kann es zwar wie bei Objekt 12 in Tabelle 3.1.9.1 (siehe Anlage A, Seite 131) nach Abschluss der Maßnahme zu einem erneuten Anstieg der Legionellenkonzentration kommen (Linde, Hengerer et al. 1995; Mietzner, Schwille et al. 1997). Aber es vergehen mehrere Wochen, unter Umständen auch Monate, bis erneut handlungsrelevante Werte erreicht werden (Langer und Pleischl 1993). Dieser Zeitraum kann für notwendige technische oder betriebstechnische Änderungen in den Systemen genutzt werden.

Die Vorteile von thermischen Sanierungsmaßnahmen liegen neben dem Verzicht auf chemische Zusatzstoffe in der schnellen Durchführbarkeit und der Vermeidung längerer Stillstandzeiten; ein Hochheizen auf 65 – 75°C, wie für eine thermische Desinfektion notwendig, ist aufgrund der jeweiligen technischen Gegebenheiten al-

lerdings nicht immer möglich. Von Nachteil sind die gerade in Altenheimen und Krankenhäusern bestehende Verbrühungsgefahr, sofern keine endständigen Thermostatmischarmaturen vorhanden sind (Exner, Tuschewitzki et al. 1990; Huyer und Corkum 1997), sowie der große Personal- und Zeitaufwand bei weitverzweigten Anlagen mit vielen Entnahmemöglichkeiten. Des Weiteren ist zu beachten, dass sog. Totstränge, d.h. nicht durchströmte Leitungsabschnitte ohne Zapfstellen, durch diese Methode nur unzureichend erfasst werden. Um Mikroorganismen in tiefer liegenden Schichten von Biofilmen und Inkrustierungen sicher zu erfassen, muss diese Art der Sanierung ggf. mehrfach wiederholt werden (Linde, Hengerer et al. 1995; Exner und Pleischl 1996). In der Praxis hat sich aber gezeigt, dass dieses Verfahren der thermischen Desinfektion aufgrund der relativ einfachen Anwendung von den Betreibern grundsätzlich als Mittel der Wahl angesehen wird. Dies gilt insbesondere für Trinkwassererwärmungsanlagen, die gemäß den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblattes W 551 (DVGW 1993) gebaut wurden, da hier die nötigen technischen Voraussetzungen vorhanden sind (siehe Bilder 4.1.9.1.1 und 4.1.9.1.2).



Bild 4.1.9.1.1: Leitungsführung gemäß Arbeitsblatt W 552 zur Vermeidung von Stagnationsbereichen: Der Zirkulationsrücklauf (links) zweigt unmittelbar vor der Entnahmemarmatur von der zuführenden Warmwasserleitung (mitte) ab. Die Länge des verbleibenden, nicht durchströmten Restabschnitts beträgt somit nur wenige Zentimeter. Rechts: Kaltwasser.



Bild 4.1.9.1.2: Betriebsweise gemäß Arbeitsblatt W 552. Die Temperatur im Zirkulationsrücklauf, d.h. nach Passage des gesamten Hausinstallationssystems, beträgt vor der Wiedererwärmung im Boiler immer noch über 55°C.

#### 4.1.9.2 Chemische Sanierung

Eine andere Möglichkeit zur Reduktion von Legionellenkontaminationen besteht in der Beigabe von Desinfektionsmitteln, vornehmlich chlorhaltigen Präparaten, zum erwärmten Trinkwasser. In Anlagen, in denen eine Erhöhung der Warmwassertemperaturen auf Werte, wie sie für die Durchführung einer thermischen Sanierung erforderlich sind (s.o.), technisch nicht möglich ist, könnte diese Art der Behandlung eine Alternative darstellen.

Die Vorteile liegen in der Vermeidung einer thermischen Belastung des Rohrleitungsnetzes (Rissbildung durch Ausdehnung, Bildung von Ablagerungen) sowie der Möglichkeit einer zusätzlichen Rohrreinigung durch eine Kombination mit Säure oder proteinabbauenden Substanzen.

Allerdings kann es auch zu einer je nach eingesetztem Präparat mehr oder weniger starken Beeinträchtigung des Rohrmaterials z.B. durch Korrosionsförderung kommen (siehe Bild 4.1.9.2.1).



Bild 4.1.9.2.1: Lochkorrosion in einem Kupferrohr einer Trinkwarmwasser-Hausinstallation

Ebenso wie bei thermischen Sanierungsverfahren muss mit einer nur unzureichenden Erfassung von Totleitungen, nicht durchströmten Leitungsabschnitten und tiefer liegenden Schichten von Inkrustierungen gerechnet werden (Langer und Pleischl 1993; Linde, Hengerer et al. 1995). Nachteilig ist auch der im Vergleich zur thermischen Sanierung relativ hohe Aufwand zur Vorbereitung der Desinfektionsmaßnahme. Da bei Chlorpräparaten eine Aufzehrung und Ausgasung des Desinfektionsmittels im System durch organische Bestandteile der Ablagerungen, der Was-

serbeschaffenheit und vor allem der Wassertemperatur möglich ist, müssen vor Beginn der Maßnahme die Trinkwassererwärmungsanlage abgeschaltet und die Warmwassertemperatur abgesenkt werden. Nach Abschluss der Maßnahme ist außerdem eine gründliche Spülung des gesamten Installationssystems notwendig. Außerdem ist darauf zu achten, dass die eingesetzten Desinfektionsmittel nach Anlage 3 der alten Trinkwasserverordnung (TW-Komm 1990) bzw. seit 2003 nach der novellierten Trinkwasserverordnung (TW-Komm 2001) zugelassen sind. Dies mögen die hauptsächlichen Gründe dafür sein, dass im Untersuchungsumfeld dieser Studie in der Praxis keine Sanierungsmaßnahmen legionellenkontaminierter Warmwassersysteme unter Verwendung chemischer Desinfektionsmittel durchgeführt wurden, obwohl diese Art der Maßnahme durchaus aus der Literatur bekannt ist (Muraca, Yu et al. 1988; Heimberger, Birkhead et al. 1991; Waschko-Dransmann 1992; Hamilton, Seal et al. 1996; Borella, Bargellini et al. 2000).

Epidemiologische Untersuchungen zeigten, dass bei Verwendung von Monochloramin Legionellose deutlich seltener auftraten als in Wasserversorgungssystemen, in denen freies Chlor zur Desinfektion verwendet wurde (Kool, Carpenter et al. 1999). Aufgrund dieser Untersuchung folgern die Autoren, dass 90 % der Legionellose-Ausbrüche im Zusammenhang mit kontaminiertem Trinkwasser durch die Desinfektion mit Monochloramin anstelle von freiem Chlor hätten vermieden werden können. Dieser Ansatz ist allerdings in Deutschland zur Zeit nur von theoretischem Interesse, da Monochloramin aufgrund seines kanzerogenen Potenzials nicht im Abschnitt 3, §11 und 12 (Aufbereitung und Desinfektion) der Trinkwasserverordnung aufgeführt ist und daher auch nicht verwendet werden darf. Weiterhin ist zu beachten, dass die zur Verminderung der Legionellenkontamination eingesetzten Monochloraminkonzentrationen von mehr als 5 mg/l (Besser 2002; Donlan, Murga et al. 2002; Kool 2002) deutlich über den in Deutschland üblicherweise eingesetzten Desinfektionsmittelkonzentrationen für Dauerdosierungen liegen. Bei weiteren Bestätigungen des positiven Effekts des Monochloramins sollte allerdings bei hochkontaminierten Trinkwarmwassersystemen, in denen eine Sanierung durch andere Sanierungsmaßnahmen fehlgeschlagen ist, der Einsatz von Monochloramin nach einer Risikoabwägung möglich sein, z.B. in Form von Ausnahmegenehmigungen.

#### **4.1.9.3 Technische Sanierungsmaßnahmen**

##### **Dauerhafte Erhöhung der Warmwassertemperatur**

Die in Tabelle 3.1.9.1 (siehe Anlage A, Seite 131) aufgeführten Ergebnisse lassen neben der unmittelbaren Wirkung einer systemischen Temperaturanhebung auch erkennen, dass derartige Erhöhungen der durchschnittlichen Warmwassertempe-

ratur dauerhaft zu etablieren sind, um eine nachhaltige Reduktion der Legionellenkontaminationen zu erzielen (Objekte 3, 4, 5 und 6 in Tabelle 3.1.9.1). Damit wird die Forderung der DVGW-Arbeitsblätter W 551 und W 552 (DVGW 1993; DVGW 1996), Trinkwassererwärmungsanlagen und deren nachgeschaltete Hausinstallationen für Warmwasser generell in einem Temperaturbereich von 55 – 60°C zu betreiben, in der Praxis bestätigt. Dabei hat sich gezeigt, dass das Leitungssystem kurz und übersichtlich sein sollte und Totleitungen sowie lange Stichleitungen zu vermeiden sind, da ansonsten die geforderte maximale Temperaturdifferenz zwischen Warmwasservorlauf (60°C) und Zirkulationsrücklauf (55°C) von 5 Kelvin nicht einzuhalten ist. Oftmals ist es daher unumgänglich, bei weitläufigen und stark verzweigten Installationssystemen sowie einzelnen, weit entfernt liegenden Entnahmestellen dezentrale Wassererwärmer (Durchlauferhitzer) einer zentralen Warmwasserversorgung vorzuziehen.

Die Vorteile einer solchen Umbaumaßnahme mit dem Ziel einer permanenten Temperaturanhebung auf 55 – 60°C bestehen in der Beseitigung von Schwachstellen in der Anlage mit einem in der Regel langfristigen Erfolg bei der Verminderung von Legionellenkontaminationen, ohne dabei den Nutzer des Warmwassers zu gefährden.

Allerdings sind solche technischen Maßnahmen selten kurzfristig zu realisieren (sie stellen also keine Sofortmaßnahme dar) und erfordern zur Vermeidung teurer Fehlschläge eine sorgfältige Planung.

Generell ist bei Etablierung höherer Warmwassertemperaturen in Abhängigkeit von der Wasserqualität auch mit vermehrten Kalkablagerungen und den damit verbundenen Konsequenzen (größerer Wartungsaufwand, Rohrleitungsverschlüsse und höherer Verschleiß technischer Geräte) zu rechnen.

### **Anodische Oxidation**

Die Ergebnisse der einzigen untersuchten Trinkwassererwärmungsanlage, in der eine Elektrode zur elektrolytischen Erzeugung von Chlor durch anodische Oxidation eingebaut wurde, sind nicht ausreichend, um eine Bewertung dieses Verfahrens zu ermöglichen. Anzumerken ist aber, dass dieser Versuch der Legionellenreduktion durch Etablierung einer permanenten Chlorkonzentration in der Praxis ähnlichen Einschränkungen unterliegt, wie sie für die chemische Desinfektion unter Punkt 4.1.9.2 (s.o.) beschrieben wurden: einerseits eine Chlorzehrung durch organische Wasserbestandteile sowie eine Ausgasung durch die Warmwassertemperatur, so dass ein rascher Abfall der Chlorkonzentration in wachsender (leitungstechnischer) Entfernung von der Anlage zu erwarten ist, und andererseits die bekannte Toleranz von Legionellen gegenüber geringen Chlorkonzentrationen. Da dieses Verfahren im

Zusammenhang mit einer Legionellenreduktion in technischen, wasserführenden Systemen erst seit einigen Jahren angeboten wird, liegen noch wenige Erfahrungen auf diesem Gebiet vor. In der Literatur konnten keine Hinweise zur Wirkungsweise der anodischen Oxidation im Hinblick auf Legionellenkontaminationen in technischen, wasserführenden Systemen gefunden werden.

### **Verfahrenskombination Ultraschall-/Ultraviolettbestrahlung**

Der Einsatz dieser Verfahrenskombination konnte lediglich in einer Trinkwasser-Erwärmungsanlage eines Krankenhauses begleitend untersucht werden. Somit können auch die hier ermittelten Ergebnisse nicht für eine umfassende Bewertung dieser kombinierten Technik von Ultraschall- und Ultraviolettbehandlung des Warmwassers verallgemeinert werden, da die Datengrundlage zu gering ist. Es muss aber angemerkt werden, dass selbst bei Einhaltung der zugesicherten Eigenschaften (mechanische Zerstörung der Amöben durch Ultraschall und Inaktivierung daraus freigesetzter oder auch freilebender Legionellen durch anschließende UV-Bestrahlung mit einer Wellenlänge von 260 nm) diese Verfahrenskombination lediglich als Barriere (hier im Zirkulationsrücklauf) mit punktueller Wirksamkeit funktioniert. Ein protektiver Effekt für leitungstechnisch weiter entfernte Anlagenteile ist funktionsbedingt nicht gegeben. Dies bedeutet aber, dass Legionellen, die sich in peripheren Leitungsabschnitten angesiedelt haben und von dort aus zu den Entnahmestellen getragen werden, generell von einer zentral eingebauten Ultraschall-/UV-Anlage nicht erfasst werden. Allenfalls eine Reduktion der sich im durchströmenden Wasser befindlichen Legionellen, die in der Zirkulationsströmung in der Anlage kreisen, erscheint möglich. Auch für diese Verfahrenskombination scheinen die Erfahrungen in der Praxis noch gering zu sein, da in der Literatur keine Hinweise gefunden werden konnten.

### **Ultraviolett-Bestrahlung**

Die Funktionsweise dieser Apparatur beruht, wie schon bei der Verfahrenskombination Ultraschall-/Ultraviolett beschrieben, auf der Inaktivierung von Legionellen, die sich freilebend in der Warmwasser-Zirkulation aufhalten und dabei die Apparatur (im Wesentlichen aus einer UV-Lampe bestehend) passieren. Damit ergibt sich, bei zentralem Einbau der UV-Lampe, ähnlich wie bei der Verfahrenskombination Ultraschall-/Ultraviolettbestrahlung eine nur punktuelle Reduktion der Legionellen im Warmwassersystem. Dieses Konzept konnte in der Trinkwasser-Erwärmungsanlage eines öffentlichen Gebäudes untersucht werden. Die Ergebnisse der direkten Vergleichsuntersuchung vor und hinter der Lampe (Objekt 3 in Tabelle 3.1.2, 1.-3. Kontrolle) zeigen eine prinzipielle Wirksamkeit der UV-Strahlung auf passierende

Legionellen, wie sie auch schon in der Literatur beschrieben wurde (Yamamoto, Urakami et al. 1987; Martiny, Seidel et al. 1989; Waschko-Dransmann und Exner 1992; Goetz und Yu 1993; Schoenen 1996). Im weiteren Verlauf der Untersuchung (9.-13. Kontrolle, Objekt 3 in Tabelle 3.1.2) konnte diese direkte Wirksamkeit der UV-Lampe nicht mehr bestätigt werden. Dies liegt möglicherweise an einer Verschmutzung der UV-Lampe (Belagsbildung auf dem Glaszylinder), woraus eine starke Verminderung der Leistungsfähigkeit der Lampe im wirksamen Spektrum von 260 nm resultiert. Dieses Nachlassen der Wirksamkeit wurde schon von anderen Beobachtern beschrieben (Eckmanns, Schwab et al. 2002). Insgesamt konnte während der gesamten Dauer der Untersuchungen in dieser einen Trinkwasser-Erwärmungsanlage kein isolierter Effekt der UV-Bestrahlung auf die systemische Legionellenkontamination beobachtet werden; nur in Kombination mit einer Anhebung der systemischen Warmwassertemperatur war eine Reduktion feststellbar. Hierbei stellt sich die Frage, ob nicht die Temperaturanhebung alleine einen vergleichbaren Effekt auf die Legionellenkonzentration gehabt hätte. Festzuhalten ist, dass in dieser einen untersuchten Trinkwasser-Erwärmungsanlage keine ausreichende Wirksamkeit bei der Reduktion einer systemischen Legionellenkontamination durch Einsatz einer zentral installierten UV-Lampe festgestellt werden konnte. Diese Ergebnisse aus nur einer Anlage sind zwar nicht geeignet, um eine allgemein gültige Bewertung des Verfahrens zu erstellen, lassen aber durchaus dessen Schwachpunkte erkennen, wie sie auch schon vereinzelt von anderen Untersuchern beschrieben wurden (Kusnetsov, Keskitalo et al. 1994). Ein anderer Ansatzpunkt ist der Einsatz von dezentralen UV-Lampen in peripheren Leitungsschnitten (Kryschi 1993). Ein Modellversuch in einem großen Klinikgebäude zeigte, dass das Barrierenkonzept hier funktioniert, wenn auch in regelmäßigen Abständen zusätzlich chemische Desinfektionsmaßnahmen erforderlich waren, um diejenigen Legionellen zu inaktivieren, die sich hinter den Barrieren angesiedelt hatten. Insgesamt scheint dieses Verfahren jedoch alleine durch die Anzahl der zu installierenden (und zu wartenden) UV-Lampen für einen Routineeinsatz als zu aufwändig. Da auch die UV-Bestrahlung, ähnlich wie die Verfahrenskombination Ultraschall-/Ultraviolett, erst seit einigen Jahren kommerziell angeboten wird, sind die Erfahrungen damit noch gering.

### **Silber-/Kupfer-Ionisation**

Eine bisher in Europa in der Praxis nicht angewandte Methode stellt die Silber-/Kupfer-Ionisation des Warmwassers dar. Erfahrungen mit diesem Verfahren liegen bisher hpts. aus den Vereinigten Staaten vor, wobei die Ergebnisse mehrdeutig sind (Landeem, Yahya et al. 1989; Goetz und Yu 1993; Liu, Stout et al. 1994). In

den genannten Veröffentlichungen wird auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen hingewiesen. Nachdem ein zunächst erfolgreich erscheinender Einsatz in einer deutschen Klinik (im Folgenden Klinik A genannt) in der Literatur beschrieben worden war (Selenka, Rohr et al. 1995), wurde eine weitere Pilotanlage in das Gebäude einer Rehaklinik (im Folgenden Klinik B genannt) eingebaut und im Rahmen dieser Studie begleitend untersucht. Die hierbei erzielten Ergebnisse der Klinik B lassen keine Wirksamkeit des Verfahrens unter Einhaltung der Grenzwerte der derzeit gültigen Trinkwasserverordnung für Silber und Kupfer erkennen. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Untersucher (Mathys, Hohmann et al. 2002) sowie den Ergebnissen aus Klinik A. Vergleicht man die Vorgehensweisen in den beiden Kliniken A und B, lassen sich folgende Unterschiede feststellen:

- In Klinik A wurde mit einer hohen Startkonzentration der eingesetzten Edelmetalle begonnen, wobei unbeabsichtigt die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung stark überschritten wurden. Dies könnte, anders als in Klinik B, wo versucht wurde, sich den Grenzwerten von „unten“ her anzunähern, zu einem Sättigungseffekt der eingesetzten Metallionen in dem Hausinstallationssystem geführt haben. Diese These wird unterstützt durch die Beobachtung, dass die in der (hpts. anglo-amerikanischen) Literatur beschriebenen erfolgreichen Anwendungen des Verfahrens ausschließlich mit höheren Konzentrationen der Edelmetalle erzielt wurden (Mietzner, Schwille et al. 1997).
- In Klinik A wurde die Warmwassertemperatur im Verlauf der Studie immer wieder angehoben (bis auf über 50°C), um die Legionellenkonzentrationen weiter niedrig halten zu können. In Klinik B wurden die Warmwassertemperaturen dagegen konstant gehalten, wodurch ein möglicher synergistischer Effekt der höheren Temperatur nicht zum Tragen kommen konnte. Später, nach ausbleibendem Erfolg des Versuchs, wurde dann eine Temperaturanhebung auf über 60°C durchgeführt, in deren Verlauf die Legionellenkontamination deutlich reduziert wurde.

In beiden hier beschriebenen Fällen, sowie einem weiteren in einer dritten Klinik (Rohr, Senger et al. 1999; Mathys, Hohmann et al. 2002) konnte übereinstimmend beobachtet werden, dass das Verfahren große Probleme bei der Anwendung aufwirft:

- die gewünschte Konzentration der Metallionen kann nicht vorgewählt werden, da das Gerät nur über eine Regulation der Stromstärke an den Elektroden verfügt. Dies bedeutet, dass eine bestimmte Schalterstellung vorgegeben wird und die dadurch erzielte Ionenkonzentration anschließend nasschemisch bestimmt werden muss (im Nachhinein). Unbeabsichtigte Überschreitungen der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung sind daher kaum auszuschließen.

- In Abhängigkeit von der jeweiligen Wasserbeschaffenheit kommt es mehr oder weniger rasch zu Inkrustierungen der Elektroden, was unter Umständen zu drastischen Änderungen der abgegebenen Metallionen-Konzentrationen führt. Dadurch ist eine Kalibrierung in Form einer Abhängigkeit der Metallkonzentrationen von der Schalterstellung (Stromstärke) nicht möglich, und die Ionenkonzentrationen müssen regelmäßig (unserer Erfahrung nach wöchentlich) nasschemisch überprüft werden.

Dies bedeutet für den routinemäßigen Einsatz der als Prophylaxe gedachten Maßnahme einen in der Praxis unrealistisch hohen Aufwand an Aufmerksamkeit und Wartung. Aus den hier genannten Beobachtungen und Überlegungen sowie der Tatsache, dass grundsätzlich eine Ausnahmegenehmigung zumindest des örtlichen Gesundheitsamtes für den Betrieb erforderlich ist, folgern wir, dass der Einsatz der Silber-/Kupferionisation für Deutschland nicht empfohlen werden kann (Rohr, Mathys et al. 1998).

## 4.2 Badewasseraufbereitungsanlagen

Bei Badebecken inklusive Warmsprudelbecken (Hot-Whirl-Pools) wird nach DIN 19643 bei Becken mit einer Temperatur  $> 23^\circ$  eine Untersuchung des Badewassers empfohlen. Diese Empfehlung wird in der zukünftigen Badewasserverordnung berücksichtigt, wobei hierin für *Legionella pneumophila* ein Grenzwert festgelegt wird. In 1 ml Badebeckenwasser darf *Legionella pneumophila* nicht nachweisbar sein (DIN 1997; Umweltbundesamt 1997).

### 4.2.1 Legionellenkontaminationen und Korrelation mit der Chlorkonzentration

Bei 19% der untersuchten 178 Badewasseraufbereitungsanlagen konnten Legionellen nachgewiesen werden, in 8% der Anlagen überschritten die dabei ermittelten Legionellenkonzentrationen die Grenzwerte der DIN 19643. Dies ist unter dem Aspekt der kontinuierlichen Desinfektion in Badewasseraufbereitungsanlagen bemer-

kenswert, da die hier vorgeschriebene Konzentration von 0,3 – 0,6 mg/l freiem Chlor im Beckenwasser anscheinend nicht ausreichend ist, einer Ansiedlung und Vermehrung der Legionellen (bisher höchste nachgewiesene Konzentration 29.000 KBE/100 ml) vorzubeugen. Bestätigt wird diese These durch einen Vergleich der beiden Parameter Legionellenkonzentration und der nach DIN 19643 zur Desinfektion des Badewassers zulässigen Chlorkonzentration im Bereich von 0,3 – 0,6 mg/l: Der Korrelationskoeffizient von  $-0,002$  zeigt eine deutliche Unabhängigkeit der beiden Parameter. Andere Untersucher benötigten für eine Wirksamkeit von Chlor gegenüber Legionellen im Badewasser eine Konzentration von 2 mg/l (Li, Aoyama et al. 1997).

#### **4.2.2 Vergleich der Aufbereitungsstufen**

Die höchsten Legionellenkonzentrationen wurden im Flockungfiltrat und nicht im Beckenwasser nachgewiesen. Dies ist nicht weiter verwunderlich, wenn man die Funktion der Filter in die Betrachtung mit einbezieht.

In einer Badewasseraufbereitungsanlage sollen die Filter unerwünschte Bestandteile aus dem Badewasser entfernen. Somit stellen sie den Sammelort für alle genuine Bestandteile des Badewassers dar, sofern diese nur partikulär vorliegen; dies gilt natürlich auch für Mikroorganismen.

Zusätzlich besitzen sie alle Eigenschaften, die einer Vermehrung von Mikroorganismen generell förderlich sind: eine große Oberfläche, reichhaltiges Nährstoffangebot, konstante Temperatur und sich nur selten ändernde Umgebungsbedingungen.

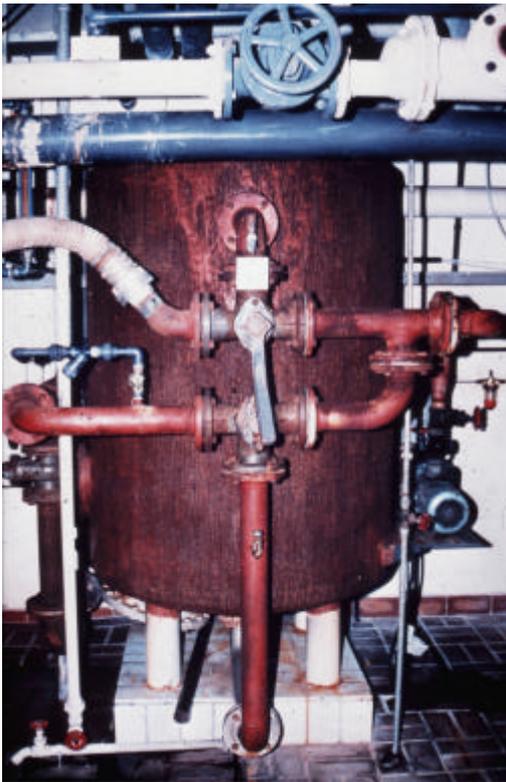
#### **4.2.3 Sanierungsmaßnahmen**

Bei Ansiedlung und Vermehrung von Legionellen in den Filtern von Badewasseraufbereitungsanlagen konnten diese, wie die in der Tabelle 3.2.2, siehe Anlage A, Seite 135) aufgeführten Ergebnisse zeigen, durch fluidisierende Filterrückspülungen alleine oder in Kombination mit zusätzlichen Reinigungsmaßnahmen reduziert oder ganz beseitigt werden.

Diese Erfolge unterstreichen die These, dass die Filter als die Hauptansiedlungs- und Vermehrungsorte von Legionellen in den Badewasseraufbereitungsanlagen zu

betrachten sind. Andernfalls wäre eine nur vorübergehende, geringe Reduktion, verbunden mit einer raschen Wiederansiedlung von Legionellen aus den anderen Bereichen (Becken oder Schwallwasserbehälter) des Badewasserkreislaufs, zu erwarten gewesen.

In zwei Anlagen waren Legionellen erst nach fluidisierender Rückspülung nachweisbar. Dies lässt sich möglicherweise so erklären, dass die Rückspülung mit nur unzureichender Intensität und/oder Dauer durchgeführt wurde. In einem solchen



Fall werden die Biofilme auf dem Filtermaterial und den Behälterwandungen zwar ebenfalls mechanisch aufgeschlossen und dabei Legionellen freigesetzt. Aufgrund der mangelnden Ausspülung verbleiben diese allerdings im Filterwasser und werden erst bei Wiederaufnahme des Normalbetriebes mit dem Flockungsfiltrat aus dem Filter gespült, und gelangen so wieder in das Becken. Eine unzureichende Wirkung der intensiven Filterrückspülung kann aber auch andere Ursachen haben, wie die Bilder 4.2.3.1 und 4.2.3.2 zeigen.

Bild 4.2.3.1: Filterbehälter einer Badewasser-Aufbereitungsanlage

Aufgrund (mangelhafter) Wartung ist hier das normalerweise körnige Filtermaterial (Kiesel und Sand in unterschiedlichen Körnungen) zu einer harten Masse zusammengebacken, die den Filterbehälter ausfüllt. Hier kann von einer Filterwirkung nicht mehr gesprochen werden. Das Rohwasser fließt nur noch in einigen Spalten



an dem „Pfropf“ vorbei. Entsprechend den Vorgaben der DIN 19643 ist es dem Betreiber überlassen, ob er bei den Untersuchungen das Beckenwasser, das Flockungsfiltrat oder beides auf das Vorhandensein von Legionel-

Bild 4.2.3.2: Innenansicht des Filterbehälters. Die normalerweise aus einzelnen Kiesel- und Sandkörnern bestehende Füllung ist zu einer kompakten Masse verbacken.

len überprüfen lässt. Damit soll ihm ermöglicht werden, die für seine Anlage kostengünstigste Untersuchungsstelle zu wählen (bei einer Badewasseraufbereitung mit mehreren Badebecken an einer Filtrationseinheit kann die Untersuchung einer Filtratprobe (100 ml) trotz höherem Einzelpreis gegenüber der Beckenwasserprobe (1 ml) finanziell weniger aufwändig sein als die Untersuchung aller Badebecken). Die im Rahmen dieser Arbeit ermittelten Befunde unterstreichen die Notwendigkeit der in der DIN 19643 geforderten Legionellenuntersuchung und zeigen, dass das Flockungsfiltrat diejenige Untersuchungsstelle in einer Badewasseraufbereitungsanlage ist, bei der eine Legionellenkontamination am deutlichsten und vor allem frühzeitig nachzuweisen ist. Damit ergibt sich für den Betreiber die Chance, durch eine regelmäßige Untersuchung des Flockungsfiltrats rechtzeitig auf eine mögliche Legionellenkontamination zu reagieren, noch bevor Legionellen auch im Beckenwasser nachzuweisen sind. Diese Vorgehensweise bietet sich daher auch in kleineren Badewasseraufbereitungsanlagen mit nur einem Becken je Filtrationseinheit an, da einer ansonsten durchzuführenden Schließung des Beckens durch eine rechtzeitige Sanierung der Filtrationseinheit vorgebeugt werden kann. Aus mikrobiologischer Sicht wäre es zwar sinnvoll, beide Untersuchungsstellen zu beproben, um durch den direkten Vergleich der Ergebnisse bei einer Legionellenkontamination der Filtrationseinheit deren „Durchschlagen“ in das Beckenwasser auf jeden Fall überprüfen zu können. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass diese Vorgehensweise den meisten Betreibern für die routinemäßige Untersuchung im zwei-monatlichen Intervall finanziell zu aufwändig ist. Bei regelmäßiger Überprüfung dürfte daher die Untersuchung des Flockungsfiltrats einen akzeptablen Kompromiss zwischen finanziellem Aufwand und notwendiger mikrobiologischer Sicherheit darstellen. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen aber, dass die Intention der DIN 19643, Legionellen als technischen Parameter zur Überwachung der Aufbereitungsleistung heranzuziehen, durchaus ihre Berechtigung hat.

Im Laufe der vorliegenden Untersuchungen haben sich aber auch Schwachpunkte in der DIN 19643 gezeigt, die bei einer Novellierung der Norm berücksichtigt werden sollten:

1. Die Beschränkung auf den ausschließlichen Nachweis von *Legionella pneumophila* bei der Bewertung eines Legionellenbefundes ist für den Betreiber irritierend, da dies nur schwer nachvollziehbar ist. In der Praxis der hygienisch-mikrobiologischen Beurteilung einer Untersuchung ist ein solcher Befund (Legionellen nachgewiesen, aber nicht *Legionella pneumophila*) immer erklärungsbedürftig. Obwohl für über 90% der 1998 ermittelten Legionelleninfektionen *Legionella pneumophila* als infektiöses Agens identifiziert werden konnte (EWGLI/PHLS 1999), sollte der Nachweis anderer (u.U. eben-

falls humanpathogener) Legionellenarten nicht völlig ignoriert werden. Unter diesem Aspekt ist auch anzumerken, dass bei einem Nachweis anderer Legionellenarten im Labor die Anwesenheit auch von *Legionella pneumophila* zumindest bei höheren Konzentrationen nicht ganz ausgeschlossen werden kann, da aus wirtschaftlichen Gründen nie alle Kolonien eines Ansatzes (in der Regel nur die morphologisch verschiedenartigen) serologisch überprüft werden können. Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, dass bei Verwendung der Legionellen als Parameter zur technischen Überwachung der Aufbereitungsleistung eine derartige Beschränkung auf *Legionella pneumophila* ebenfalls wenig sinnvoll ist, und man bei einer Berücksichtigung aller Legionellenarten einen Indikator zur Überwachung der Badewasserqualität erhält, der auch ein breites Spektrum von Legionellen erfasst.

2. Die in der DIN 19643 aufgeführten Grenzwerte der Legionellenkonzentrationen (Beckenwasser 1 KBE/ml, Flockungsfiltrat 1 KBE/100 ml) sollten in Analogie zu den mikrobiologischen Parametern der Trinkwasserverordnung durch die Vorgabe einer allgemein anerkannten Untersuchungsmethode präzisiert werden. Eine solche einheitliche Methode stand zwar bei der Ausgabe der DIN 19643 im April 1997 noch nicht zur Verfügung; bei einer Novellierung der Norm wäre es aber möglich und auch sinnvoll, auf die in der Zwischenzeit erschienene ISO-Norm 11731 (ISO 1998) oder das alternative Verfahren (Umweltbundesamt 2000) zu verweisen. Nur dann ist ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersucher möglich. Zugleich würde dies für den Betreiber einer Badewasseraufbereitungsanlage mehr Transparenz bei der Bewertung von Leistungsangeboten verschiedener Untersucher sowie mehr Sicherheit bei der Auftragsvergabe hinsichtlich der Qualität der erzielten hygienisch-mikrobiologischen Ergebnisse bedeuten.

## 4.3 Raumluftechnische Anlagen

### 4.3.1 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Unter dem Aspekt der Legionellenkontamination sind innerhalb von RLT-Anlagen nur die wasserführenden Teile, also die Befeuchtungsaggregate als eigenständige Infektionsquelle als relevant zu bezeichnen. Hierbei wird zwischen der Dampf-befeuchtung und der Umlaufsprühbefeuchtung unterschieden. Beim erstgenannten

Verfahren werden Mikroorganismen durch die Erhitzung des zur Befeuchtung verwendeten Wassers bis zur Dampfphase abgetötet und gelten daher auch unter dem Aspekt der Legionellenkontamination als hygienisch sicher (Dermitzel, Geue-nich et al. 1992; Exner und Pleischl 1996). In den Wäscherkammern der Umlaufsprühbefeuchter dagegen kann es durchaus zur Vermehrung von Mikroorganismen kommen, da das Wasser hier bei Umgebungstemperatur über Düsenstöcke in den Luftstrom eingebracht (versprüht) wird. Überschüssiges Wasser wird dabei durch Tropfenabscheiderlamellen in einer Sammelwanne am Boden der Wäscherkammer gesammelt und in einem Kreislauf wieder den Düsenstöcken zugeführt. Dieser Wasserkreislauf, bei dem nur das durch die Befeuchtung der Luft verlorengegangene Wasser durch Frischwasser ersetzt wird, in Kombination mit der zweiten Funktion der Wäscherkammer, nämlich die von außen zugeführte Luft zu „waschen“, bietet für Mikroorganismen ganz allgemein günstige Vermehrungsbedingungen (konstante Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit und Nährstoffangebot), die sich dann auf den Oberflächen ansiedeln.

Diese Oberflächenbesiedlung stellt nicht unbedingt eine nachteilige Veränderung dar. Aus der Oberflächenbesiedlung kann sich aber ein mikrobieller Bewuchs entwickeln, wenn die Mikroorganismen für sie geeignete Umgebungsbedingungen vorfinden. Aus diesem Bewuchs (Biofilm), der u.U. nicht nur aus den Mikroorganismen, sondern auch aus den sie umgebenden Schleimsubstanzen (sog. extrazelluläre polymere Substanzen, EPS) und eventuell sogar aus höheren Organismen bis hin zu Invertebraten (z.B. kleine Fadenwürmer o.ä.) besteht, können Mikroorganismen in das Befeuchterwasser abgeschwemmt werden und so zu einer Kontamination führen. Legionellen gelangen entweder über die Ansaugung entsprechend belasteter Aerosole aus der Außenluft oder über die Frischwasserzufuhr der Umlaufsprühbefeuchtung in den Wasserkreislauf und finden in den Biofilmen auf den Einbauten der Wäscherkammern günstige Vermehrungsbedingungen (Bilder 4.3.1.1 und 4.3.1.2, (Uerlings, Lutticken et al. 1986; BGA 1992)), woraus dann die in der Literatur immer wieder beschriebenen Übertragungen auf den Menschen resultieren können (Mahony, Lakhani et al. 1989; Bell, Jorm et al. 1996). Hinsichtlich bestehender Empfehlungen und Richtlinien sind bei raumluftechnischen Anlagen die Anforderungen der DIN 1946 (Krankenhäuser) und VDI 6022 (Büro- und Versammlungsräume) zu erfüllen (VDI 1998; DIN 1999), wobei nur letztere explizit auf das Vorhandensein von Legionellen bzw. (erstmalig in einer Vorschrift für RLT-Anlagen) deren regelmäßige Untersuchung eingeht.



Bild 4.3.1.1: Wäscherkammer einer RLT-Anlage. Links oben: Lamellen des Tropfenabscheiders, stark inkrustiert und mit (angetrocknetem) Bewuchs belegt. Rechts unten: Sammelwanne der Wäscherkammer mit stark eingetrübtem Befeuchterwasser



Bild 4.3.1.2: Türinnenseite der Wäscherkammer: Angetrockneter Bewuchs, für den Vergleich mit der eigentlichen Türoberfläche teilweise entfernt

In Anlagen von Büro- und Versammlungsräumen sollen danach alle zwei Jahre Wasserproben direkt aus den Wannen der Umlaufsprühbefeuchter entnommen werden. Dabei dürfen in dem zu untersuchenden Volumen von 1 ml keine Legionellen nachweisbar sein. Bei Überschreitung dieses Richtwertes werden Wartungsmaßnahmen in Form von Reinigungen der Wäscherkammern empfohlen.

#### **4.3.2 Wirkung von Sanierungs- und Wartungsmaßnahmen**

Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchungen konnten in elf RLT-Anlagen derartige Sanierungs- bzw. (vorbeugende) Wartungsmaßnahmen in Form von mechanischen Reinigungen der Befeuchterwasserkammern begleitend untersucht werden (Tabelle 3.3.1, Seite 139). Dabei zeigte sich, dass durch regelmäßige Anwendung dieser Reinigungsmaßnahmen eine Ansiedlung von Legionellen verhindert werden kann (Beobachtungszeitraum bis zu drei Kontrolluntersuchungen nach Einführung der Maßnahme). In zwei Fällen wurden Legionellen erst nach Durchführung von Reinigungsmaßnahmen nachgewiesen. Dies lässt sich dahingehend erklären, dass bei der Entfernung der Inkrustierungen und Beläge diese mechanisch aufgeschlossen und dabei Legionellen freigesetzt wurden. Aufgrund mangelhafter anschließender Ausspülung verblieben diese dann allerdings in der Wäscherkammer und wurden bei Aufnahme des Anlagenbetriebs über die Düsenstöcke gleichmäßig verteilt. Bei dem zweiten Fall ist zusätzlich auf den Umstand hinzuweisen, dass die Anlage vor der Probenahme mehrere Tage nicht in Betrieb gewesen ist, und bedingt durch diese Stagnation besonders günstige Bedingungen für eine Vermehrung der Legionellen bestand.

Betrachtet man die Anlagen, deren Wartung aus einer kontinuierlichen Zugabe von Bioziden bestand, ist zu erkennen, dass durch die alleinige Zugabe das Auftreten von Legionellen nicht verhindert wurde. Erst nach der zusätzlichen Durchführung einer mechanischen Reinigung (nach der 3. Kontrolluntersuchung in Tabelle 3.3.1) konnten keine Legionellen mehr nachgewiesen werden. Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit regelmäßiger gründlicher, d.h. auch mechanischer Reinigungen von mit Wasser benetzten Oberflächen, wie z.B. Tropfenabscheider, Bodenwannen von Umlaufsprühbefeuchtern und anderen, wie sie auch von anderen Autoren gefordert werden (N.N. 1991; HMSO 1993; Exner und Pleischl 1996). Zusammenfassend ist festzustellen, dass in Umlaufsprühbefeuchtern bei unzureichender Wartung u.U. massive Legionellenkontaminationen festzustellen sind. Nach den vorliegenden Befunden sollten Wäscherkammern und deren lamellenar-

tige Tropfenabscheider regelmäßig mechanisch gereinigt werden, um Inkrustationen und die Ansiedlung und Ausbildung von Biofilmen an den Wandungen und damit eine Legionellenvermehrung zu vermeiden. Dies ist aber gerade bei älteren Anlagen oftmals durch eine erschwerte Zugänglichkeit problematisch, weswegen darauf hinzuweisen ist, bei Neuanlagen auf die Möglichkeit der leichten Demontage der relevanten Bauteile zu achten. Ein Biozid-Zusatz kann das Reinigungsintervall möglicherweise verlängern, ist jedoch keine Garantie für einen legionellenfreien Betrieb der Anlage (Schulze-Röbbcke und Apel 1986). Solche Zusätze sollten auch prophylaktisch regelmäßig durch solche mit anderen Wirkstoffgruppen ersetzt werden, um einer Adaption der Mikroorganismen vorzubeugen. Zudem darf der toxikologische Aspekt für exponierte Personen nicht vernachlässigt werden (Baur 1989; Roskamp 1990).

Bezüglich der Effizienz der einzigen bisher vorliegenden Richtlinie, in der die Untersuchung und Bewertung von Legionellenkontaminationen empfohlen wird, der VDI-Richtlinie 6022, muss folgendes festgestellt werden:

- Der empfohlene Richtwert von 1 KBE/ml kann bei regelmäßiger und sorgfältiger Wartung und Reinigung eingehalten werden, und sollte vor dem Hintergrund der in Kasuistiken immer wieder beschriebenen Infektionsrisiken durch solche Anlagen (Mahony, Lakhani et al. 1989; Berbecar 1997) auch angestrebt werden.
- Das geforderte zweijährige Untersuchungsintervall ist jedoch zu lang gewählt und sollte bei der nächsten Novellierung deutlich kürzer ausgelegt werden. Wie die vorliegenden Untersuchungen zeigen, können richtwertüberschreitende Legionellenkonzentrationen in einem Zeitraum von wenigen Wochen erreicht werden. In der Praxis hat sich jedoch gezeigt, dass eine routinemäßige Untersuchung in derartig kurzen Abständen den meisten Betreibern finanziell zu aufwändig ist. Ein Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit und mikrobiologischer Sicherheit könnte darin bestehen, die Legionellenuntersuchung mit den anderen Überwachungsparametern gemäß dieser VDI-Richtlinie zu kombinieren, und die Untersuchungen somit halbjährlich durchzuführen.
- Der angegebene Richtwert der Legionellenkonzentration von 1 KBE/ml sollte, ebenso wie für die DIN 19643 (DIN 1997) vorgeschlagen (s. 4.2), in Analogie zu den mikrobiologischen Parametern der Trinkwasserverordnung durch die Vorgabe einer allgemein anerkannten Untersuchungsmethode präzisiert werden. Auch hier wäre es möglich und auch sinnvoll, auf die in der Zwischenzeit erschienene ISO-Norm 11731 (ISO 1998) oder das alternative Verfahren (Umweltbundesamt 2000) zu verweisen.

Abschließend ist anzumerken, dass bei der Errichtung von Neuanlagen fast ausschließlich Dampfbefeuchter verwendet werden, da diese den heutigen Stand der Technik repräsentieren. Unter diesem Aspekt ist zu erwarten, dass sich die Problematik der Legionellenkontamination in RLT-Anlagen zukünftig reduzieren wird.

## 4.4 Kühltürme / Rückkühlwerke

### 4.4.1 Beschreibung der untersuchten Anlagen

Ähnlich wie bei den RLT-Anlagen gibt es bei der Kühlung von Prozesswässern verschiedene Verfahren. Hygienische Bedeutung haben nur die sogenannten offenen Systeme, da hier legionellenhaltiges Kühlwasser an die Außenluft abgegeben werden kann. Im Gegensatz zu geschlossenen Systemen, bei denen der Wärmeabtransport dadurch erfolgt, dass ein Luftstrom an geschlossenen Kühlwasserschlangen vorbeigeführt wird, findet bei offenen Systemen eine direkte Versprühung des Kühlwassers in den Luftstrom statt. Dadurch wird ein Teil des u.U. legionellenkontaminierten Aerosols mit dem Luftstrom mitgerissen und durch die Abluft in die Umgebung verteilt. Aufgrund ihrer höheren Kühlleistung werden offene Systeme überall dort eingesetzt, wo große Mengen Abwärme anfallen. Dies ist vornehmlich in der Großindustrie der Fall, deren große Rückkühlwerke (Kühltürme) weithin sichtbar sind. Eher unscheinbar sind dagegen die Rückkühlwerke (RKW's) in Einzelgebäuden, wie z.B. in Krankenhäusern, wo in der Regel nur die entsprechenden Zu- und Fortluftöffnungen sichtbar sind. Obwohl in diesen Anlagen gegenüber den Großkühltürmen deutlich geringere Abwärmemengen anfallen, sind auch diese häufig als offene Systeme gebaut. Dies liegt einerseits an den deutlich geringeren Anschaffungskosten dieser Systeme, andererseits an ihrer höheren Kühlleistung, wodurch bei gleicher Leistung weniger Raum für das RKW in dem zu versorgenden Gebäude benötigt wird. Von ihrer Konstruktion her sind offene Rückkühlwerke mit den Wäscherkammern der RLT-Anlagen vergleichbar. Allerdings liegt hier die Aufgabe nicht bei der Befeuchtung der vorbeistreichenden Luft, sondern in der Abkühlung des versprühten Wassers. Von der Kühlwasserwanne (entspricht der Sammelwanne der Wäscherkammer) wird das Kühlwasser durch eine eigene Hausinstallation zuerst zu den abwärmeproduzierenden Maschinen und anschließend in einem Kreislauf wieder zu den Düsenstöcken des RKW's geführt. Auch hier wird

nur das durch die Abkühlung (bei der Aerosolemission) an die Luft verlorengangene Wasser durch Frischwasser ersetzt.

Anders als in Umlaufsprühbefeuchtern ist das Kühlwasser von RKW's und Kühltürmen oftmals stark verschmutzt. Dies liegt daran, dass einerseits beim Versprühen in die Außenluft diese „gewaschen“ wird, d.h. in der Luft enthaltene Schmutzpartikel ins Kühlwasser gelangen (wobei der Luftmengenumsatz größer ist), andererseits Ablagerungen aus dem oftmals weit verzweigten Installationssystem aufkonzentriert werden, wie auch den Bildern 4.4.1.1 bis 4.4.1.4 zu entnehmen ist. Für den Betrieb und die Wartung von Rückkühlwerken und Kühltürmen sowie deren hygienisch-mikrobiologische Überwachung gibt es in Deutschland bislang keine technischen Regeln. Hier kann nur auf die englischen Empfehlungen, zusammengefasst im sog. Health Technical Memorandum 2040 (HMSO 1993) hingewiesen werden,



Bild 4.4.1.1: Kühlwasserwanne eines offenen Rückkühlwerks mit starken Schlammablagerungen



Bild 4.4.1.2: Innenseite eines Fortluftschachts aus einem RKW mit starken Ablagerungen



Bild 4.4.1.3: Ausgebaute Einzellamelle aus dem Tropfenabscheider eines RKW's. Deutlich sichtbar sind die (jetzt getrockneten) Beläge auf der Oberfläche



Bild 4.4.1.4: Ausschnitt aus der obigen Lamelle

die zumindest eine Orientierung hinsichtlich dieser Aspekte gestatten.

#### 4.4.2 Wirkung von Sanierungs- und Wartungsmaßnahmen

Zu den in der Praxis angetroffenen und begleitend untersuchten Sanierungsverfahren (s. Pkt. 3.4.3.1), sowie deren Wirksamkeit ist Folgendes anzumerken:

- Der Erfolg einer Stoßdesinfektion mit einer Chlorkonzentration von 5 mg/l und einer damit erzielten Reduktion der Legionellenkonzentrationen um bis zu fünf Zehnerpotenzen bei einer Einwirkzeit von mehreren Stunden (Objekte 4-7 in Tabelle 3.4.1.1, Seite 140) ist evident. Die Wirksamkeit derartig hoher Chlorkonzentrationen

auch bei der Beseitigung von Legionellenkontaminationen ist aus dem Trinkwasserbereich bekannt (s. Pkt. 4.1). Ein Vorteil dieser Maßnahme ist, dass auch die einer mechanischen Reinigung unzugänglichen Bereiche der Kühlwasserinstallation mit erfasst werden können, und somit eine schnelle Wiederverkeimung verhindert werden kann (bis zu neun Monaten bei den Objekten 4-6 in Tabelle 3.4.1.1). Allerdings ist in der näheren Umgebung, vor allem in Windrichtung, eine starke Geruchsbelästigung festzustellen, und der direkte Zugang zum behandelten Kühlwasser muss für Unbeteiligte ausgeschlossen werden. Auch der Umgang mit großen Mengen von Chlorbleichlauge, wie sie bei der Desinfektion von Kühltürmen mit Kühlwasservolumina von oftmals mehreren 10.000 m<sup>3</sup> notwendig sind, verlangt große Umsicht und sollte geschultem Personal überlassen bleiben. Im übrigen bleibt festzuhalten, dass diese Maßnahme in den o.g. englischen Empfehlungen (HMSO 1993) ebenfalls als Mittel der Wahl bei der Reduktion von Legionellenkontaminationen beschrieben wird.

- Die nur unzureichende Wirkung einer Stoßdesinfektion mit einer Chlorkonzentration von 0,25 mg/l ist mit Hinblick auf die Ergebnisse der Legionellenuntersuchungen in den Badewasseraufbereitungsanlagen (s. Pkt 3.2) nachvollziehbar. Selbst die dort verwendeten Chlorkonzentrationen von 0,3 – 0,6 mg/l bei kontinuierlicher Desinfektion sind nicht in der Lage, einer Vermehrung von Legionellen vorzubeugen. Betrachtet man die hier untersuchten großen Kühlwasserkreisläufe mit ihren großen, teilweise erheblich verschmutzten Oberflächen, wird die mangelhafte Wirksamkeit derartig geringer Desinfektionsmittelmengen nachvollziehbar. Andere Untersucher bestätigen diese Beobachtung (Ikedo und Yabuuchi 1986).

(Anmerkung: Der Betreiber der Anlagen ist nach Abschluss dieser Untersuchungen wieder zur Stoßchlorung mit 5 mg/l übergegangen.)

Die begleitende Untersuchung der Modifikation eines Kühlturms, mit dem Ziel, die Kühlwassertemperatur von 30°C auf 25°C abzusenken, konnte keinen positiven Effekt auf die Höhe der Legionellenkontamination aufzeigen. Die nach drei Monaten durchgeführte Kontrolle ergab sogar eine um zwei Zehnerpotenzen erhöhte Legionellenkonzentration. Aufgrund der nicht näher bekannten Umstände bei der Umrüstung der Anlage (Änderungen der Installation, Mobilisierung von Mikroorganismen aus vorher festanhaftenden Belägen durch neue Einbauten, etc.) und der schon vorher bestehenden, nicht unbeträchtlichen Legionellenkontamination, ist eine Bewertung dieser Ergebnisse hinsichtlich der Wirkung der Temperaturänderung nur bedingt möglich. Eine drastische Erhöhung der Legionellenkonzentration durch eine Temperaturabsenkung ist sehr unwahrscheinlich und widerspricht auch allen Erfahrungen, die bei anderen wasserführenden Systemen gemacht wurden (s. Pkt.

3.1.4). Auch aus der Literatur ist bekannt, dass Legionellenkonzentrationen mit den Umgebungstemperaturen (auch jahreszeitlich) korrelieren, und bei einem Absinken derselben ebenfalls geringer werden (Bercovier, Fattal et al. 1986; Bentham 2002). Wahrscheinlich ist eher, dass die Erhöhung der Legionellenkonzentration auf die o.g. Mobilisierungseffekte bei dem Eingriff in das bestehende System zurückzuführen ist. Durch eine anschließende mechanische Reinigung der Kühlwassertasse konnte die Legionellenkonzentration dann wieder um drei Zehnerpotenzen abgesenkt werden (s. nächster Abschnitt).

Mechanische Reinigungen sind in den Großkühltürmen der Industrie nur sehr eingeschränkt möglich. Einerseits bedeutet die Abschaltung eines Kühlturms in der Regel auch eine Stilllegung des angeschlossenen Produktionsbereiches. Andererseits ist die Reinigung der teilweise sehr großen Oberflächen (die Innenseite eines Kühlturms gleicht einem Zylinder mit einem Durchmesser von 100 m und bis zu 150 m Höhe) mit einem vertretbaren Aufwand an Zeit und Personal nicht möglich. Daher beschränken sich solche Reinigungsmaßnahmen auf die Behandlung der Kühlwassertassen am Boden der Türme, und werden dann mit den in größeren Abständen eingelegten, nur wenige Stunden dauernden, Stillstandszeiten für technische Wartungsarbeiten zusammengelegt. Dabei zeigt aber das Ergebnis der Reinigung im Objekt 1 (aus Tabelle 3.4.1.1, Seite 140) durchaus einen ähnlichen Erfolg, wie er schon bei anderen Systemen beobachtet werden konnte.

In den gebäudeinternen RKW's können dagegen Reinigungen der Innenoberflächen, z.B. mit Hilfe von Hochdruckdampfgeräten mit vertretbarem Aufwand durchgeführt werden. Dabei entsprechen die erzielten Resultate den Erfahrungen, die schon bei den RLT-Anlagen gemacht wurden: Durch regelmäßige Anwendung der Reinigungsmaßnahmen lassen sich vorhandene Legionellenkontaminationen gering halten, wobei die Frequenz der Anwendung den jeweiligen örtlichen Besonderheiten anzupassen ist.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen verdeutlichen, dass eine regelmäßige Überwachung von Rückkühlwerken und Kühltürmen hinsichtlich einer möglichen Legionellenkontamination des Kühlwassers sinnvoll ist. Der Anteil der legionellenkontaminierten Anlagen und die nachgewiesenen Legionellenkonzentrationen gerade bei Rückkühlwerken ist im Vergleich mit den anderen technischen, wasserführenden Systemen überraschend hoch. Berücksichtigt man zusätzlich noch die gerade in letzter Zeit immer wieder beschriebenen Ausbrüche von Legionelleninfektionen im Zusammenhang mit Rückkühlwerken und auch Kühltürmen (CDC 1994; Castellani Pastoris, Ciceroni et al. 1997; Decludt, Guillotin et al. 1999;

Dubrou, Guillotin et al. 2002), wobei Infektionen bis zu einer Entfernung von drei Kilometern von einer kontaminierten Anlage beschrieben wurde (Addiss, Davis et al. 1989), wird die Dringlichkeit einer entsprechenden Handlungsanweisung oder Vorschrift zur regelmäßigen Untersuchung (mit entsprechenden Sanierungskonzepten!) erkennbar. Bisher konnte jedoch der Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Legionelleninfektionen und der Kontamination einer entsprechenden Anlage nur rückschließend auf epidemiologischer Basis hergestellt werden (N.N. 1986; Breiman, Cozen et al. 1990; Bhopal, Fallon et al. 1991); ein Fall konnte jetzt von uns dokumentiert werden, wurde jedoch noch nicht publiziert. Daher sollte dringend durch weitere Studien untersucht werden, in welchem Ausmaß eine Korrelation zwischen der Legionellenkonzentration in einem Kühlwasser und dem von dieser Anlage emittierten Aerosol in der Umgebung (in Abhängigkeit von der Entfernung und Windrichtung) besteht, um daraus eine Risikobewertung und damit auch den Handlungsbedarf ableiten zu können (Ishimatsu, Miyamoto et al. 2001). Auf dieser Basis ist dann die Entwicklung entsprechender Vorschriften zu Betrieb, Wartung, mikrobiologischen Kontrollen und Sanierungsempfehlungen möglich, wobei auch hier die Untersuchungsmethode in Form der ISO 11731 (ISO 1998) vorgegeben ist; das zuvor für die relativ sauberen Wässer beschriebene alternative Verfahren (Umweltbundesamt 2000) sollte aufgrund der oftmals starken Verschmutzung des Kühlwassers nicht angewendet werden. Solange dies nicht realisiert ist, sollte das unter 3.4.1 genannte Rechenmodell (Schulze-Röbbecke und Richter 1994; Brown, Nuorti et al. 1999) bzw. die englischen Empfehlungen (HMSO 1993) ersatzweise zur Bewertung eines Handlungsbedarfs herangezogen und eine möglichst niedrige Legionellenkonzentration in den Kühlwässern angestrebt werden. Auch in Frankreich wurden kürzlich entsprechende Richtlinien mit einem Handlungswert von 1 KBE/ml herausgegeben (2002).

#### 4.5 Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen

Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen verfügen über einen permanenten Anschluss an das Trinkwasser-Hausinstallationssystem, da bei der Behandlung Wasser für verschiedene Zwecke benötigt wird. Zum einen wird damit bei der hochoberigen Präparation sowohl der zu behandelnde Zahn als auch der Bohrer gekühlt, zum anderen werden damit die Sprühdüsen zur Reinigung und Anfeuchtung der Mundhöhle (Arzt- und Helferinnen-Spray) sowie das Mundspülglass mit Wasser versorgt. Dazu wird das Wasser nach Eingang in die Behandlungseinrichtung über ei-

nen Filter geführt, um Sedimente und Ablagerungen aus dem Hausinstallations-system zurückzuhalten. Nach einer anschließenden Desinfektion (kontinuierlich oder in Intervallen) und Erwärmung über kleine Heizbausteine auf annähernd Körpertemperatur, wird das Wasser mit Hilfe kleiner Pumpen über ein Schlauchsystem den verschiedenen Aggregaten zugeführt. Das Aufheizen ist dabei kein permanenter Vorgang, sondern wird nur bei Pumpentätigkeit, d.h. bei Wasserabnahme, im Durchflussprinzip durchgeführt. Flexible Schlauchsysteme aus Silikon oder ähnlichen Kunststoffmaterialien neigen zur Besiedlung durch Mikroorganismen (z.B. Legionellen, aber auch *Pseudomonas aeruginosa* u.a.(Exner, Haun et al. 1981)) und zur raschen Ausbildung von Biofilmen. Dies wurde in dieser Arbeit schon erwähnt (s. Pkt. 1.3) und ist auch in der Literatur immer wieder beschrieben worden (Borneff 1986; Reinthaler und Mascher 1986; Borneff 1989; Exner, Tuschewitzki et al. 1990; Williams, Baer et al. 1995; Shearer 1996; Zanetti, Stampi et al. 2000). Die hier vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass Legionellen aus dem Hausinstallationssystem eingeschwemmt werden (Objekt 12 in Tabelle 3.5.1, siehe Anlage A, Seite 142 und Bild 4.5.1), und sich dann in diesem Schlauchsystem auch ansiedeln, obwohl die Wassertemperatur bis unmittelbar vor dem Entnahmezeitpunkt in der Regel von der Umgebungstemperatur bestimmt wird (Raumtemperatur). Die ermittelten Legionellenkonzentrationen können dabei durchaus



Bild 4.5.1: EingangsfILTER einer zahnärztlichen Behandlungseinrichtung. Deutlich sichtbar sind die schleimartigen Ablagerungen, aus denen Legionellen isoliert werden konnten. Unten: Vom Filter abgelöste partikuläre Sedimente

Größenordnungen erreichen, wie sie auch aus den Trinkwassererwärmungsanlagen bekannt sind (Krogulska, Matuszewska et al. 2002). Da das Wasser aus den zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen in Form eines Sprühnebels aus feinstverteilten Wassertröpfchen direkt in die Mundhöhle des Patienten gelangt, ist aus Vorsorgegründen zu fordern, dass Legionellenkontaminationen möglichst vermieden oder so gering wie möglich zu halten sind. Eine Gefährdung des behandelnden Personals, das den Aerosolen ja ebenfalls ausgesetzt ist, scheint jedoch geringer zu sein als zunächst vermutet (Lück, Lau et al. 1992), obwohl zumindest bei Zahnärzten erhöhte Antikörper-Titer nachgewiesen wurden

Grundlage für die hygienischen Anforderungen an derartiger Systeme ist die Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention „Zahnärztliche Hygiene“ (RKI 1999). Allerdings sind hierin keine konkreten Angaben hinsichtlich der Untersuchung von Legionellen, eines Handlungsschwellenwertes oder Sanierungsempfehlungen enthalten. Auch hier sei darauf hingewiesen, dass eine derartige Vorschrift vor dem Hintergrund des Infektionsschutzgesetzes (N.N. 2000) dringend notwendig erscheint.

Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse lassen keinen signifikanten Unterschied zwischen Behandlungseinrichtungen ohne bzw. mit kontinuierlichem Zusatz von eher gering dosierter  $H_2O_2$ -Lösung (0,94%) hinsichtlich des Vorkommens oder der Höhe der Legionellenkontaminationen erkennen. Allerdings kann dadurch nicht generell auf eine fehlende Wirksamkeit des  $H_2O_2$ -Zusatzes geschlossen werden; andere Konzentrationen oder Applikationsmethoden (z.B. eine diskontinuierliche Zugabe) sind dahingehend zu überprüfen. Ergebnisse neuerer Untersuchungen (Pleischl, noch nicht publiziert) nach Sanierungsversuchen durch Stoßbehandlungen mit höheren Konzentrationen von  $H_2O_2$  (1,4%) lassen durchaus eine Wirkung in Form einer Reduktion oder Beseitigung vorhandener Legionellenkontaminationen erkennen. Vermutlich kommt hier der belagsablösenden Wirkung des  $H_2O_2$  eine größere Bedeutung zu als der Desinfektionsleistung, was die Effektivität der Maßnahme jedoch nicht beeinträchtigt, die auch durch andere Studien belegt wird (Exner, Tuschewitzki et al. 1987; Dreesen, Flemming et al. 1994; Goroncy-Bermes und Gerresheim 1996). Allerdings sind diese Untersuchungen noch nicht abgeschlossen, und müssen für technisch unterschiedliche Behandlungseinrichtungen und hinsichtlich ihrer Langzeitwirkung noch weitergeführt werden. Hinweise für bauartbedingte Unterschiede bakterieller Belastungen sind aus der Literatur bekannt (Challacombe und Fernandes 1995).

## 4.6 Sonstige technische wasserführende Systeme

Obwohl bekannt ist, dass Legionellen zumindest in geringen Konzentrationen mit dem Rohwasser in Wasseraufbereitungsanlagen gelangen (Seidel, Bätz et al. 1986; Riffard, Douglass et al. 2001), diese überwinden können und auf diesem Wege in alle technischen, wasserführenden Systeme gelangen können, werden andere als die bisher besprochenen Systeme (Pkt. 4.1 - 4.5) faktisch nicht oder nur sporadisch untersucht.

In zwei der hier untersuchten Systeme, einer Wasserdestillationsanlage einer Apotheke und der Umkehrosmoseanlage eines Krankenhauses, konnten in insgesamt sieben Proben keine Legionellen nachgewiesen werden. Aufgrund der geringen Probenanzahl kann dieses Ergebnis nicht generalisiert werden, für eine Einschätzung der Kontaminationshäufigkeit sind auf jeden Fall weitere Untersuchungen notwendig. Interessanterweise konnten aber auch keine anderen Publikationen gefunden werden, die sich explizit mit der Legionellenproblematik in solchen Anlagen auseinandergesetzt hätten.

Der Nachweis von Legionellen in einer geringen Konzentration von 6 KBE/100 ml in der Rohwasserprobe einer der beiden untersuchten Trinkwasser-Gewinnungsanlagen unterstreicht nur die oben im Absatz 1 und unter Pkt. 1.3 beschriebene Beobachtung, dass Legionellen aus dem Rohwasser in unsere technischen, wasserführenden Systeme gelangen. In den Trinkwasserproben dieser Anlage (nach Aufbereitung) waren keine Legionellen nachweisbar. Dieser Befund ist nicht weiter verwunderlich, wenn man die geringe Höhe der im Rohwasser festgestellten Kontamination berücksichtigt; die Aufbereitungsleistung der Trinkwassergewinnungsanlage, vor allem die Filtration war in diesem Falle ausreichend.

Von größerer Bedeutung ist der Legionellen-Nachweis im Hausinstallationssystem (Kaltwasser) eines Krankenhauses. Derartige Systeme werden zwar gemäß der bisher gültigen Trinkwasserverordnung regelmäßig mikrobiologisch kontrolliert, dazu gehört jedoch nicht die Untersuchung auf Legionellen. Zwar ist aufgrund der normalerweise geringen Wassertemperatur von unter 20°C nicht mit einer starken Vermehrung von Legionellen zu rechnen. Dabei sollte aber berücksichtigt werden, dass es sich bei der Kaltwasserhausinstallation, im Gegensatz zur Warmwasserversorgung, um ein Sticheitungssystem ohne Zirkulation handelt. Bei geringer oder fehlender Abnahme von Kaltwasser kommt es hier zu einer Stagnation, deren nachteilige Konsequenzen für die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers

schon unter Pkt. 4.1.1 beschrieben wurden. Weiterhin ist anzumerken, dass Kalt- und Warmwasserleitungen in der Regel in gemeinsamen Versorgungsschächten und Rohrbündeln zusammengefasst sind. Bei der oftmals fehlenden Isolierung zwischen Kalt- und Warmwasserleitung ist dadurch mit einem Temperaturanstieg durch Wärmeübergang zu rechnen. Zumindest abschnittsweise können daher auch im Kaltwasserbereich Temperaturen auftreten, bei denen eine Legionellenvermehrung nicht auszuschließen ist. Eine stichprobenartige Überprüfung von peripheren Entnahmestellen auch in Kaltwasser-Leitungssystemen erscheint vor diesem Hintergrund sinnvoll. In Zukunft wird dies durch die Anforderungen der novellierten Trinkwasserverordnung (TW-Komm 2001) auch vermehrt geschehen, da hier erstmals die regelmäßige Kontrolle verbindlich für Hausinstallationssysteme vorgeschrieben ist. (Zwar ist dies explizit nur für Warmwassersysteme vorgeschrieben, aber spätestens bei der Ursachenabklärung von Kontaminationen wird man auch die Kaltwassersysteme mit berücksichtigen).

Werden bei solchen Untersuchungen Legionellenkontaminationen nachgewiesen, stellt sich die Frage nach Sanierungskonzepten. Hier sind die Möglichkeiten gegenüber dem Warmwassersystem stark eingeschränkt, da das Mittel der Wahl, die Aufheizung des Wassers für die thermische Desinfektion, konstruktionsbedingt nicht verfügbar ist. Allenfalls Spülungen des Systems, deren Erfolg bei der Entfernung von Belägen und Bewuchs der Rohrwandungen eher zweifelhaft ist sowie der Einsatz von chemischen Präparaten zur Reinigung und Desinfektion sind vorstellbar. Derartige Sanierungsmaßnahmen von Kaltwasser-Leitungssystemen konnten aber bisher in der Praxis nicht begleitend untersucht werden.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die in den hier untersuchten verschiedenen Anlagen vorgefundenen Legionellenkontaminationen in Bezug auf Häufigkeit und Höhe der Konzentrationen geringer ausfielen als in den anderen wasserführenden Systemen (Pkt 4.1 – 4.5). Dabei ist jedoch die bisher nur geringe Anzahl von Proben zu berücksichtigen, die auf jeden Fall durch weitere Untersuchungen ergänzt werden müssen, um den bisherigen Eindruck zu bestätigen.

## 5. Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist es, das Vorkommen von Legionellen in technischen, wasserführenden Systemen anhand systematischer Auswertungen und Untersuchungen unter Praxisbedingungen zu diskutieren und Sanierungskonzepte hinsichtlich einer wirksamen Prophylaxe von Legionellenkontaminationen und deren Beseitigung oder Minimierung zu überprüfen.

### 5.1 Trinkwassererwärmungsanlagen:

Anlagen in Großgebäuden sind wegen ihrer Vielzahl von Entnahmestellen, ihres hohen Verzweigungsgrades und ihrer langen Leitungswege anfälliger für Stagnationen und damit Abkühlungen des Warmwassers. Daher sind sie häufiger von Legionellenkontaminationen betroffen als Anlagen in vorwiegend kleinen Gebäuden. Dieser Umstand spiegelt sich auch in der Literatur wider, wo bisher hauptsächlich Legionellenkontaminationen von Hausinstallationssystemen in Großgebäuden beschrieben wurden.

Eine Differenzierung zwischen systemischen und lokalen Kontaminationen, wie in Deutschland schon frühzeitig propagiert und im Rahmen dieser Studie angewendet, bietet sowohl Hilfestellungen bei der Bewertung von Ergebnissen aus legionellenkontaminierten Anlagen als auch bei der Ableitung von Empfehlungen zu Sanierungsmaßnahmen. Dies ist im Gegensatz zur amerikanischen Bewertungsgrundlage mit einem deutlich geringeren Aufwand hinsichtlich der zu untersuchenden Proben möglich, bedingt aber eine genaue Kenntnis der Anlage, die nur durch eine Ortsbegehung zu erlangen ist.

Aus den Ergebnissen dieser Studie lässt sich ein idealisiertes Anlagenschema (gemäß Typ 2, Hochtemperatur) erstellen, welches weitgehend den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblattes W 551 entspricht (DVGW 1993) und damit dessen Ausführungen bestätigt.

Dieses Schema berücksichtigt auch die deutliche Temperaturabhängigkeit der Legionellenvermehrung, die durch die vorliegenden Untersuchungen erneut bestätigt wurde. Für den Nachweis der Kontamination sind gezielte Legionellenuntersuchungen erforderlich, wie sie seit Anfang des Jahres in der neuen Trinkwasserverordnung vorgegeben sind (TW-Komm 2001). Dass spezielle Untersuchungen notwendig sind, belegen die Ergebnisse dieser Studie, die zeigen, dass kein Zusammenhang mit dem Routineparameter der allgemeinen Koloniezahl besteht.

Weiterhin ist festzuhalten, dass bei der Differenzierung ca. 95% der Isolate als *Legionella pneumophila* identifiziert wurden. Dieses Ergebnis bestätigt die Befunde anderer Untersucher und zeigt, dass bei einem Großteil der kontaminierten Anlagen aufgrund des Nachweises dieser humanpathogenen Spezies dann in der Regel auch Handlungsbedarf besteht.

Andererseits bedeutet die lange Persistenz einmal nachgewiesener Legionellen-Arten oder gar Serogruppen über lange Zeiträume, dass bei Kontaminationen durch weniger infektionsrelevante Legionellen-Arten nicht unverhofft mit einem Wechsel zu virulenteren Spezies gerechnet werden muss. Dieser auch von anderen Untersuchern schon vereinzelt beobachtete Sachverhalt, ermöglicht einen größeren Spielraum für die Abwägung erforderlicher Handlungsschritte.

Bei der Betrachtung der möglichen Sanierungsverfahren zeigt sich, dass thermische Maßnahmen (in Form von Heißwasserspülungen) besonders häufig angewendet werden. Die Wirksamkeit dieser thermischen Desinfektion wird von den Ergebnissen der vorliegenden Studie unterstützt. Voraussetzung für einen Erfolg der Maßnahme sind allerdings die Anwendung ausreichend hoher Temperaturen und eine sorgfältige Behandlung aller Entnahmematrimonien, da ansonsten eine Rekontamination aus unzureichend behandelten Abschnitten des Leitungssystems möglich ist.

Abseits dieses thermischen Verfahrens haben sich andere Sanierungsmaßnahmen in der Praxis entweder als zu aufwändig (chem. Desinfektion) oder nur punktuell wirksam (UV-Desinfektion) erwiesen. Weitere liegen aufgrund ihrer Wirkungsweise oder eingesetzten Wirkstoffkonzentrationen im Widerspruch zu geltenden Vorschriften (Ag/Cu-Ionisation), oder es liegen noch zu wenig Erfahrungen vor (Anodische Oxidation), um Aussagen über eine Wirksamkeit treffen zu können.

In der Praxis hat sich daher gezeigt, dass das Verfahren der thermischen Desinfektion aufgrund der relativ einfachen Anwendung von den Betreibern grundsätzlich als Mittel der Wahl angesehen wird.

## 5.2 Badewasseraufbereitungsanlagen:

Die in dieser Studie erhobenen Daten belegen, dass Badewasseraufbereitungsanlagen deutlich seltener kontaminiert waren als Trinkwassererwärmungsanlagen. Wenn Legionellen nachweisbar waren, wurden die höchsten Konzentrationen dabei im Filterablaufwasser (Flockungfiltrat) nachgewiesen. Eine Sanierung betroffener

Badewasseraufbereitungsanlagen war dabei in der Regel wenig aufwändig. Durch intensive Filtrerrückspülungen, eventuell in Kombination mit Reinigungsmaßnahmen, konnten Legionellenkontaminationen reduziert oder ganz beseitigt werden. Unter diesem Aspekt könnten Legionellen in Badewasseraufbereitungsanlagen, regelmäßige Untersuchungen vorausgesetzt, den Charakter eines technischen Parameters zur Überwachung der Aufbereitungsqualität übernehmen. Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die kontinuierlichen Desinfektionsmaßnahmen, wie sie in der DIN 19643 vorgeschrieben werden (DIN 1997), anscheinend nicht geeignet sind, einer generellen Vermehrung der Legionellen in den Anlagen vorzubeugen. Im Bereich der zugelassenen Desinfektionsmittelkonzentration (0,3 – 0,6 mg/L freies Chlor) konnte keine Korrelation zwischen der eingesetzten Dosis und der Höhe der Legionellenkonzentration festgestellt werden. Dies deckt sich mit den Ergebnissen der Sanierungsversuche bei Trinkwassererwärmungsanlagen und Rückkühlwerken/Kühltürmen, wonach erst bei deutlich höheren Desinfektionsmittelkonzentrationen (ab ca. 5 mg/L freies Chlor) eine Wirkung zu beobachten war. Insgesamt betrachtet, kann man aber die derzeit gültige DIN 19643 hinsichtlich der Legionellenproblematik als ausreichendes Regulierungswerkzeug ansehen. Diskussionswürdig ist allerdings die Beschränkung der Gültigkeit der Grenzwerte auf *Legionella pneumophila*. Einerseits wird der Untersuchungsaufwand erhöht, andererseits müssen unter Umständen Beurteilungen abgegeben werden, die für Betreiber von Badewasseraufbereitungsanlagen nur schwer nachvollziehbar sind (andere humanpathogene Legionellen nachweisbar, aber nicht *Legionella pneumophila*).

### 5.3 Raumluftechnische Anlagen:

Ein Infektionsrisiko durch Legionellen existiert konstruktionsbedingt nur in Anlagen mit Umlaufsprühbefeuchtung, da hier die Möglichkeit besteht, legionellenkontaminiertes Wasser bei der Befeuchtung feinstverteilt in die Raumluf einzubringen. Allerdings nimmt die Zahl derartiger Anlagen stetig ab, da neue Systeme überwiegend mit Dampf befeuchtern ausgestattet werden, die aufgrund ihrer Funktionsweise aquatischen Mikroorganismen ganz allgemein keine Vermehrungsmöglichkeit bieten.

Legionellenkontaminationen in raumluftechnischen Anlagen mit Umlaufsprühbefeuchtung stellen hauptsächlich ein Wartungsproblem dar. Die in dieser Studie ermittelten Daten zeigen, dass durch regelmäßige, hauptsächlich mechanische Reinigungen der Wäscherkammern derartige Kontaminationen unter Kontrolle gehalten werden konnten. Die einzige derzeit für den Bereich raumluftechnische Anla-

gen verfügbare Richtlinie, die sich mit der Legionellenproblematik auseinandersetzt, ist die VDI-Richtlinie 6022. Die dort beschriebenen Maßnahmen (VDI 1998) stellen aber nur einen ersten Schritt zur regelmäßigen Kontrolle derartiger Anlagen dar. Die Richtlinie sollte zur Vergleichbarkeit von Untersuchungsergebnissen durch die Angabe eines Nachweisverfahrens (z.B. ISO 11731) ergänzt werden (ISO 1998). Des Weiteren zeigen die hier vorliegenden Ergebnisse, dass das angegebene Untersuchungsintervall von 2 Jahren deutlich verringert werden muss, um eine Vermehrung der Legionellen bis zu potenziell infektionsrelevanten Konzentrationen rechtzeitig erkennen zu können.

#### 5.4 Rückkühlwerke/Kühltürme:

Bei der Kühlung von Prozesswässern können durch Anlagen mit offenen Kühlwasserkreisläufen legionellenkontaminierte Aerosole über große Entfernungen verbreitet werden. Obwohl diese Systeme in der Literatur wiederholt im Zusammenhang mit Legionellen-Infektionen beschrieben wurden, erfolgen Untersuchungen nur sporadisch, da entsprechende Empfehlungen und Regelungen in Deutschland nicht existieren. Zwar ist die Korrelation zwischen der Legionellenkonzentration im Kühlwasser und derjenigen in den Aerosolschwaden aufgrund zu weniger Untersuchungen bisher nicht bekannt; aber auch in diesen Anlagen ist davon auszugehen, dass das potenzielle Infektionsrisiko durch kontaminierte Aerosole mit der Höhe der Legionellenkonzentration im Kühlwasser zusammenhängt. Die Ergebnisse dieser Studie bestätigen Publikationen anderer Untersucher, dass Rückkühlwerke und Kühltürme hoch kontaminiert sein können. Und die sanierungsbegleitenden Untersuchungen dieser Arbeit zeigen, dass relativ einfache Maßnahmen wie Desinfektionen mit hohen Chlorkonzentrationen (5 mg/L) und einfache mechanische Reinigungen durchaus geeignet sind, diese Kontaminationen drastisch zu senken. Aufgrund des potenziellen Infektionsrisikos ist grundsätzlich auch für diese wasserführenden Systeme die Erstellung von Handlungsanweisungen oder Vorschriften zu fordern, in denen den Betreibern aber neben der Pflicht zu regelmäßigen Untersuchungen auch Sanierungskonzepte an die Hand gegeben werden.

#### 5.5 Zahnärztliche Behandlungseinrichtungen:

Die Ergebnisse, die im Rahmen dieser Studie bei der Untersuchung von zahnärztlichen Behandlungsstühlen erzielt wurden, zeigen, dass Legionellen aus dem Haus-

installationssystem in die Schlauchsysteme eingeschwemmt werden und sich dann dort ansiedeln können. Ähnlich wie bei den Kühlwässern diskutiert (siehe Punkte 4.5 u. 5.5) ist auch hier eine Korrelation zwischen der Legionellenkonzentration im Schlauchsystem und derjenigen in den Sprühnebeln anzunehmen, zumal diese Aerosolisierung unmittelbar in der Mundhöhle des Patienten erfolgt. Da dabei keine großen Distanzen zu überwinden sind, bei denen eventuell Einflussgrößen wie Austrocknung, Verdünnung oder Zeit zu einer Verminderung der Legionellenkonzentration beitragen könnten, ist auch in diesen Systemen ein potenzielles Infektionsrisiko anzunehmen. Grundlage für die hygienischen Anforderungen an zahnärztlicher Behandlungseinrichtungen ist die RKI-Richtlinie aus dem Jahr 1999 (RKI 1999). Explizite Handlungsanweisungen, Untersuchungsintervalle und –methoden oder Sanierungskonzepte hinsichtlich Legionellen sind dort jedoch nicht enthalten. Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse lassen keine Abhängigkeit der ermittelten Legionellenkontamination von einem kontinuierlichen Zusatz von (gering dosiertem)  $\text{H}_2\text{O}_2$  erkennen. Andere Konzentrationen und Applikationsmethoden (z.B. Stoßbehandlungen) sind jedoch dahingehend noch zu überprüfen. Ergebnisse eigener noch nicht publizierter Untersuchungen lassen durchaus eine Wirksamkeit höherer  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Konzentrationen erkennen. Grundsätzlich ist auch für zahnärztliche Behandlungseinrichtungen aufgrund des potenziellen Infektionsrisikos die Erstellung einer Vorschrift auf Basis des Infektionsschutzgesetzes zu fordern, in der neben der Pflicht zu regelmäßigen Untersuchungen, anzuwendenden Nachweisverfahren und Grenz- oder Handlungswerten auch Verhaltensregeln für den Fall möglicher Grenzwertüberschreitungen sowie mögliche Wartungs- und Sanierungsmaßnahmen aufgeführt sind.

## 5.6 Sonstige technische wasserführenden Systeme:

Andere als die bisher besprochenen wasserführenden Systeme (Pkt. 5.1 – 5.5) wurden in der Praxis faktisch nicht oder nur sporadisch untersucht, obwohl bekannt ist, dass die in allen Süßwässern ubiquitär vorkommenden Legionellen unsere Wasseraufbereitungsanlagen überwinden können. Die hier vorgestellten, wenigen Einzelbefunde legen die Vermutung nahe, dass sich Legionellen unter geeigneten Bedingungen in allen Arten von wasserführenden Systemen ansiedeln können. Gerade der Einzelbefund aus einem Kaltwasser-Hausinstallationssystem lässt aufgrund der großen Zahl derartiger existierender Anlagen erahnen, mit welchen Problemen unter Umständen zu rechnen ist. Zwar kann dieses Ergebnis aufgrund der geringen Probenanzahl nicht generalisiert werden, aber es indiziert die Not-

wendigkeit weiterer Untersuchungen. Bei einer Bestätigung dieser Ergebnisse wäre es dann sinnvoll, die zumindest stichprobenartige Untersuchung in Kaltwasser-Hausinstallationssystemen in einer entsprechenden Verordnung (z.B. der neuen Trinkwasserverordnung) zu verankern, um einen Handlungsbedarf rechtzeitig erkennen zu können.

Resümee:

Da bekannt ist, dass

- mit Legionellen kontaminierte wasserführende technische Systeme ein Infektionsrisiko für exponierte und empfängliche Personen beinhalten und
- Legionellenausbrüche durch Minderung der Legionellenkonzentration in den als Infektionsquelle ursächlich abgesicherten wasserführenden Systemen unter Kontrolle gebracht werden können,

muss es daher Ziel von Präventionsmaßnahmen sein, wasserführende technische Systeme so zu betreiben, dass es unter Berücksichtigung der spezifischen Gefährdung exponierter Personen nicht zu Legionellenkonzentrationen kommt, die zu einer erhöhten Infektionsgefährdung führen können.

Die vorhandenen Empfehlungen (siehe Tabelle 1.3.1, Seite 122) sind für eine Erkennung von Legionellenkontaminationen ausreichend, sollten aber hinsichtlich des Nachweisverfahrens vereinheitlicht werden. Weiterhin müssten die Untersuchungsintervalle (z.B. VDI-Richtlinie: zwei Jahre) überarbeitet werden. Dringend erforderlich ist die Erstellung von Empfehlungen und Richtlinien für Kühlwassersysteme wie z.B. Kühltürme und Rückkühlwerke, da durch solche Anlagen in der Vergangenheit wiederholt Infektionen ausgelöst wurden. Dies könnte z.B. auf Basis des Infektionsschutzgesetzes geschehen. Aufgrund der Ergebnisse dieser Arbeit ist festzuhalten, dass für eine Infektionsprävention in technischen, wasserführenden Systemen nicht nur vorhandene Empfehlungen und Vorschriften einzuhalten sind, sondern insbesondere die Kombination aus hygienisch-technischer Ortsbegehung und Probenahme entscheidend ist, um den Sanierungsbedarf in kontaminierten Systemen mit vertretbarem Aufwand abzuschätzen und geeignete Konzepte zur Verminderung der Infektionsgefährdung zu entwickeln.

*"Den besten Aufschluss darüber ob ein Wasser dauernd frei ist von Krankheitserregern jeder Art, gibt die eingehende Besichtigung der örtlichen Verhältnisse von sachverständiger Seite, ergänzt durch eine ausreichende Untersuchung des Wassers".*

Leitsätze der Trinkwasserhygiene, Entwurf von B. Bürger, WaBoLu 1935 Berlin

## 6. Literaturverzeichnis

(2002). Circulaire DGS/SD7A/SD5C-DHOS/E4 2002/243: Relative à la prévention du risque lié aux légionelles dans les établissements de santé. 36

Addiss, D. G., J. P. Davis, et al. (1989). "Community-acquired Legionnaires' disease associated with a cooling tower: evidence for longer-distance transport of *Legionella pneumophila*." *Am J Epidemiol* 130(3): 557-568.

Althaus, H. (1987). "Legionellen im Trink-, Bade und Warmwasser." *Öff Gesundheitswes* 49 Suppl 1: 8-13.

Althaus, H., H. Bösenberg, et al. (1987). "Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes; Empfehlung des Bundesgesundheitsamtes zur Verminderung eines Legionella-Infektionsrisikos." *Bundesgesundhbl.* 30(7): 252-253.

Atlas, R. M., J. F. Williams, et al. (1995). "Legionella contamination of dental-unit waters." *Appl Environ Microbiol* 61(4): 1208-1213.

Barbaree, J. M., B. S. Fields, et al. (1986). "Isolation of protozoa from water associated with a legionellosis outbreak and demonstration of intracellular multiplication of *Legionella pneumophila*." *Appl Environ Microbiol* 51(2): 422-424.

Bartlett, C. L. R., A. D. Macrae, et al. (1986). *Legionella Infections*. London, Edward Arnold Ltd.

Bartram, J., J. Cortruvo, et al., Eds. (2003). *Heterotrophic Plate Counts and Drinking-water Safety. Emerging Issues in Water and Infectious Disease*. London, IWA Publishing  
WHO.

Baur, X. (1989). "Befeuchterlunge und Befeuchterfieber." *Dt. Ärztebl.* 86(42): 1864-1868.

Bell, J. C., L. R. Jorm, et al. (1996). "Legionellosis linked with a hotel car park--how many were infected?" *Epidemiol Infect* 116(2): 185-192.

Benson, R. F. und B. S. Fields (1998). "Classification of the genus *Legionella*." *Semin Respir Infect* 13(2): 90-99.

Bentham, R. H. (2002). Routine Sampling and Temporal Variation of *Legionella* Concentrations in Cooling Tower Water Systems. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 321-325.

Berbecar, S. (1997). "Legionellosis: clinical and epidemiological data." *Bacteriol Virol Parasitol Epidemiol* 42(1-2): 103-106.

Bercovier, H., B. Fattal, et al. (1986). "Seasonal distribution of legionellae isolated from various types of water in Israel." *Isr J Med Sci* 22(9): 644-646.

Besser, R. E. (2002). Legionnaires' Disease in the United States: Opportunities for Prevention. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 391-398.

- Bezanson, G., S. Burbridge, et al. (1992). "Diverse populations of *Legionella pneumophila* present in the water of geographically clustered institutions served by the same water reservoir." *J Clin Microbiol* 30(3): 570-576.
- BGA (1992). "Legionellen - ein Problem für Betreiber von "Klimaanlagen"." *bga-pressedienst* 2: 2.
- BGA (1993). "Bekanntmachungen des Bundesgesundheitsamtes; Mitteilung des Bundesgesundheitsamtes über den Nachweis von Legionellen in erwärmtem Trinkwasser." *Bundesgesundhbl.* 4: 162.
- Bhopal, R. (1995). "Source of infection for sporadic Legionnaires' disease: a review." *J Infect* 30(1): 9-12.
- Bhopal, R. S., R. J. Fallon, et al. (1991). "Proximity of the home to a cooling tower and risk of non-outbreak Legionnaires' disease." *BMJ* 302(6773): 378-383.
- Billing, J., P. Heeg, et al. (1992). "Erzeugung mikrobiell kontaminierter Aerosole durch Brauseköpfe." *Hyg. Med.* 17: 470-482.
- Blatt, S. P., M. D. Parkinson, et al. (1993). "Nosocomial Legionnaires' disease: aspiration as a primary mode of disease acquisition [see comments]." *Am J Med* 95(1): 16-22.
- Bollin, G. E., J. F. Plouffe, et al. (1985). "Aerosols containing *Legionella pneumophila* generated by shower heads and hot-water faucets." *Appl Environ Microbiol* 50(5): 1128-1131.
- Borella, P., A. Bargellini, et al. (2000). "[Prevention and control of *Legionella* infection in the hospital environment]." *Ann Ig* 12(4): 287-296.
- Borella, P., M. T. Montagna, et al. (2004). "Legionella Infection Risk from Domestic Hot Water." *Emerg Infect Dis* 10(3): 457-464.
- Borneff, M. (1986). "Hygiene-Probleme in der zahnärztlichen Praxis unter besonderer Berücksichtigung der Dentaleinheiten." *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B* 183(2-3): 130-152.
- Borneff, M. (1989). "Legionellen-Vorkommen in Dentaleinheiten und Konsequenzen für die Praxishygiene." *Zbl. Bakt. Hyg.* 187(4-6): 295-311.
- Bösenberg, H., W. Mathys, et al. (1992). "Sanierungsmaßnahmen beim Nachweis von Legionellen." *Gesundheitswesen* 54: 420-422.
- Breiman, R. F., W. Cozen, et al. (1990). "Role of air sampling in investigation of an outbreak of legionnaires' disease associated with exposure to aerosols from an evaporative condenser." *J Infect Dis* 161(6): 1257-1261.
- Brown, C. M., P. J. Nuorti, et al. (1999). "A community outbreak of Legionnaires' disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure." *Int J Epidemiol* 28(2): 353-359.
- Castellani Pastoris, M., L. Ciceroni, et al. (1997). "Molecular epidemiology of an outbreak of Legionnaires' disease associated with a cooling tower in Genova-Sestri Ponente, Italy." *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 16(12): 883-892.

- CDC (1994). "From the Centers for Disease Control and Prevention. Legionnaires' disease associated with cooling towers--Massachusetts, Michigan, and Rhode Island, 1993." *Jama* 272(6): 426-428.
- CDC (1997). "Guidelines for Prevention of Nosocomial Pneumonia." *MMWR* 46(Rr-1): 1-79.
- Challacombe, S. J. und L. L. Fernandes (1995). "Detecting *Legionella pneumophila* in water systems: a comparison of various dental units." *J Am Dent Assoc* 126(5): 603-608.
- Decludt, B., L. Guillotin, et al. (1999). "Epidemic cluster of legionnaires' disease: Paris, June 1998." *Eurosurveillance* 4(11): 115-118.
- Dermitzel, A., H.-H. Geuenich, et al. (1992). "Legionellen und andere Bakterien in Umlaufsprühbefeuchtern und Rückkühlwerken von Klimaanlage - eine Bestandsaufnahme." *Gesundheitswesen* 54: 716-719.
- DIN (1979). DIN 38411-5: Mikrobiologische Verfahren - Bestimmung der Koloniezahl. Deutsches Institut für Normung. Deutschland.
- DIN (1986). DIN 38402-14: Allgemeine Angaben (Gruppe A): Probenahme von Rohwasser und Trinkwasser (A 14). Deutsches Institut für Normung. Deutschland.
- DIN (1997). DIN 19643-1: Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser, Teil 1: Allgemeine Anforderungen. Deutsches Institut für Normung. Deutschland.
- DIN (1999). DIN 1946-4: Raumluftechnik Teil 4 - Raumluftechnische Anlagen in Krankenhäusern. Deutsches Institut für Normung.
- Donlan, R., R. Murga, et al. (2002). Monochloramine Desinfection of Biofilm-Associated *Legionella pneumophila* in a Potable Water Model System. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 406-411.
- Dreesen, U., T. F. Flemming, et al. (1994). "Prävalenz und Maßnahmen zur Reduktion von Legionellen in zahnärztlichen Behandlungseinheiten." *Dtsch Zahnärztl Z* 12: 1009-1011.
- Dubrou, S., L. Guillotin, et al. (2002). Cooling Towers and Legionellosis: a Large Urban Area Experience. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 291-294.
- DVGW (1993). DVGW Arbeitsblatt W 551: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Deutschland: 9.
- DVGW (1996). DVGW Arbeitsblatt W 552: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Sanierung und Betrieb. Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. Deutschland: 13.
- DVGW (1997). "Wiederverkeimung von Trinkwasser" und "Nicht ausreichend durchflossene Trinkwasserleitungen"; Stellungnahme der DVGW-Fachausschüsse "Mikrobiologie des Trinkwassers" und "Wasserverteilung". *Wasser-Information* 25(8): 2.

- Eckmanns, T., F. Schwab, et al. (2002). UV Light for Elimination of Legionellae. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 402-406.
- Edelstein, P. H. (1981). "Improved Semiselective Medium for Isolation of *Legionella pneumophila* from Contaminated Clinical and Environmental Specimens." *J Clin Microbiol* 14(3): 298-303.
- Edelstein, P. H. (1982). "Comparative Study of Selective Media for Isolation of *Legionella pneumophila* from Potable Water." *J Clin Microbiol* 16: 697-699.
- Ehret, W. (1992). "Mikrobiologische Legionellendiagnostik." *Immun. Infekt.* 20(2): 50-52.
- EWGLI/PHLS (1999). "Legionnaires' Disease in Europe, 1998." *Weekly Epidemiological Record* 74(33): 273-277.
- Exner, M. (1991). "Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionellen-Infektionen im Krankenhaus." *Forum Städte-Hygiene* 42: 178-191.
- Exner, M. (1993). *Legionellose. Infektiologie*. Landsberg/Lech, Hofmann, F.: 1-18.
- Exner, M. (1997). *Legionellose. Hygiene in Krankenhaus und Praxis*. Landsberg/Lech, Beck, E. G. Eikmann, T.: 1-18.
- Exner, M. (2003). "Hygiene und Mikrobiologie - unter besonderer Berücksichtigung der Wasserversorgung." *Hyg. Med.* 12: 483-494.
- Exner, M., F. Haun, et al. (1981). "Zahnärztliche Einheiten als Kontaminationsquelle für *Pseudomonas aeruginosa*." *Dtsch Zahnärztl Z* 36: 819-824.
- Exner, M., K.-D. Jung, et al. (1990). "Nosokomiale Legionellen-Infektionen im Zusammenhang mit einer systemischen Legionellen-Kontamination des Hausinstallationssystems und Erfahrungen zur Sanierung." *Forum Städte-Hygiene* 41: 289-296.
- Exner, M. und S. Pleischl (1996). *Technische und hygienische Präventivmaßnahmen gegen Infektionen mit Legionellen. Hygiene und Technik im Krankenhaus*. Steuer, W. Esslingen, Bartz, W. J. 207: 151-181.
- Exner, M. und R. Schulze-Röbbecke (1987). "Legionellen - Epidemiologie, Ökologie; Infektionsquellen und präventive Maßnahmen." *Öff Gesundheitswes* 49: 90-96.
- Exner, M., G.-J. Tuschewitzki, et al. (1990). *Technische und hygienische Präventivmaßnahmen gegen Infektionen mit Legionellen. Hygiene und Technik im Krankenhaus*. Esslingen, Bartz, W. J. 207: 149-184.
- Exner, M., G.-J. Tuschewitzki, et al. (1992). "Vorkommen und Bewertung von Legionellen in Krankenhäusern und anderen Großgebäuden." *Forum Städte-Hygiene* 43: 130-140.
- Exner, M., G. J. Tuschewitzki, et al. (1987). "Influence of Biofilms by Chemical Disinfectants and Mechanical Cleaning." *Zbl. Bakt. Hyg. B* 183: 549-563.
- Farrell, I. D., J. E. Barker, et al. (1990). "A field study of the survival of *Legionella pneumophila* in a hospital hot-water system." *Epidemiol Infect* 104(3): 381-387.
- Feeley, J. C., G. W. Gorman, et al. (1978). "Primary Isolation media for Legionnaires Disease Bacterium." *J Clin Microbiol* 8(3): 320-325.

- Fliermans, C. B. (1983). "Autoecology of Legionella pneumophila." Zbl. Bakt. Hyg. A 255: 58-63.
- Fliermans, C. B., W. B. Cherry, et al. (1981). "Ecological distribution of Legionella pneumophila." Appl. Environ. Microbiol. 41: 9-16.
- Fraser, D., T. Tsai, et al. (1977). "Legionnaires' disease: description of an epidemic of pneumonia." N Engl J Med 297(22): 1189-1197.
- Freije, M. R. und J. M. Barbaree, Eds. (1996). Legionellae Control in Health Care Facilities: A Guide for Minimizing Risk. Fallbrook, Ca., HC Information Resources.
- Friedemann, M. (1999). Legionella pneumophila-Populationsanalyse in drei Trinkwasserinstallationssystemen eines Universitätsklinikums. Medizinische Fakultät Charite. Berlin, Humboldt-Universität zu Berlin: 117.
- Garcia-Fulgueiras, A., C. Navarro, et al. (2003). "Legionnaires' Disease Outbreak in Murcia, Spain." Emerg Infect Dis 9(8): 915-921.
- Glick, T. H., M. B. Gregg, et al. (1978). "Pontiac fever. An epidemic of unknown etiology in a health department." Am J Epidemiol 107: 149-160.
- Goetz, A. und V. L. Yu (1993). Nosocomial Legionella Infection. Hospital Epidemiology. Mayhall, C. G. Galveston, Texas: 388-399.
- Goetz, A. M., J. E. Stout, et al. (1998). "Nosocomial legionnaires' disease discovered in community hospitals following cultures of the water system: seek and ye shall find." Am J Infect Control 26(1): 8-11.
- Goroncy-Bermes, P. und S. Gerresheim (1996). "Wirksamkeit von peroxidhaltigen Wirkstofflösungen gegen Mikroorganismen in Biofilmen." Zbl. Hyg. 198: 473-477.
- Groothuis, D. G., H. R. Veenendaal, et al. (1985). "Influence of temperature on the number of Legionella pneumophila in hot water systems." J Appl Bacteriol 59(6): 529-536.
- Hamilton, E., D. V. Seal, et al. (1996). "Comparison of chlorine and chlorine dioxide disinfection for control of Legionella in a hospital potable water supply [letter]." J Hosp Infect 32(2): 156-160.
- Hässelbarth, U. und F. Tiefenbrunner (1990). "Aktueller Stand der Badewasser-Aufbereitungstechnik." Öff Gesundheitswes 52(8-9): 405-407.
- Heimberger, T., G. Birkhead, et al. (1991). "Control of nosocomial Legionnaires' disease through hot water flushing and supplemental chlorination of potable water [letter; comment]." J Infect Dis 163(2): 413.
- Hengesbach, B., R. Schulze-Röbbecke, et al. (1993). "Legionellen in Membran-Druckausdehnungsgefäßen." Zbl. Hyg. 193(6): 563-566.
- Hinterberger, G., A. Mirlach, et al. (1998). Einfluß von Temperatur, Stagnationszeit und Kupferkonzentration auf Legionella pn. in Trinkwasserleitungen. 50. Kongreß der DGHM, Berlin.
- HMSO (1993). Health Technical Memorandum 2040 - The control of legionellae in healthcare premises - a code of practice:

- 1 - Management policy
- 2 - Design considerations
- 3 - Validation and verification
- 4 - Operational management
- 5 - Good practice guide. London SW8 5DT, HMSO publications Centre PO Box 276: 19; 33; 14; 32; 53.

Hoebe, C., J. Cluitmans, et al. (1998). "Two Fatal Cases of Nosocomial *Legionella pneumophila* Pneumonia Associated with a contaminated Cold Water Supply." *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 17: 740-749.

Huyer, D. W. und S. H. Corkum (1997). "Reducing the incidence of tap-water scalds: strategies for physicians." *Can Med Assoc J* 156(6): 841-844.

Ikedo, M. und E. Yabuuchi (1986). "Ecological studies of *Legionella* species. I. Viable counts of *Legionella pneumophila* in cooling tower water." *Microbiol Immunol* 30(5): 413-23.

Ishimatsu, S., H. Miyamoto, et al. (2001). "Sampling and detection of *Legionella pneumophila* aerosols generated from an industrial cooling tower." *Ann Occup Hyg* 45(6): 421-427.

ISO (1998). ISO 11731: Water quality - Detection and enumeration of *Legionella*. International Organization for Standardization. Switzerland: 16.

Kalker, U., W. Hentschel, et al. (1991). "Legionellen in Badebeckenwasser." *Forum Städte-Hygiene* 42: 331-333.

Koch, R. (1883). "Über die neuen Untersuchungsmethoden zum Nachweis der Mikrokosmen in Boden, Luft und Wasser." *Ärztliches Vereinsblatt für Deutschland* 137.

Köhler, J., M. Maiwald, et al. (1999). "Detecting legionellosis by unselected culture of respiratory tract secretions and developing links to hospital water strains." *J Hosp Inf* 41: 301-311.

Kool, J. L. (2002). Control of *Legionella* in Drinking Water Systems: Impact of Monochloramine. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 411-419.

Kool, J. L., D. Bergmire-Sweat, et al. (1999). "Hospital Characteristics Associated with Colonization of Water Systems by *Legionella* and Risk of Nosocomial Legionnaires' Disease: A Cohort Study of 15 Hospitals." *Infect Control Hosp Epidemiol* 20(12): 798-805.

Kool, J. L., J. C. Carpenter, et al. (1999). "Effect of monochloramine disinfection of municipal drinking water on risk of nosocomial Legionnaires' disease." *Lancet* 353(9149): 272-277.

Krogulska, B., R. Matuszewska, et al. (2002). Occurrence of *Legionella* in Water from Dental Units and Estimation of Antibiotic Resistance of Isolated Strains. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 295-298.

Krysch, R. (1993). "Wasserhygiene im Krankenhaus." *Krankenhaustechnik* 9.

Kusnetsov, J. M., P. J. Keskitalo, et al. (1994). "Growth of *Legionella* and other heterotrophic bacteria in a circulating cooling water system exposed to ultraviolet irradiation." *J Appl Bacteriol* 77(4): 461-466.

- Landeen, L. K., M. T. Yahya, et al. (1989). "Efficacy of copper and silver ions and reduced levels of free chlorine in inactivation of *Legionella pneumophila*." *Appl Environ Microbiol* 55(12): 3045-3050.
- Langer, B. K. T., I. Daniels-Haardt, et al. (1990). "Legionellen, *P. aeruginosa* und atypische Mykobakterien in Hausinstallationssystemen von Altenheimen und Krankenhäusern einer deutschen Großstadt." *Forum Städte-Hygiene* 41: 286-288.
- Langer, B. K. T. und S. Pleischl (1993). "Wirkung von Sanierungsmaßnahmen bei legionellenkontaminierten Warmwasser-Hausinstallationssystemen (praktische Beispiele)." *VDI Berichte* 1055: 67-82.
- Lee, T. C., J. E. Stout, et al. (1988). "Factors predisposing to *Legionella pneumophila* colonization in residential water systems." *Arch Environ Health* 43(1): 59-62.
- Li, N., T. Aoyama, et al. (1997). "Isolation of *Legionella pneumophila* from 24 hr-home bath water and an eradication trial of the bacteria from the bath." *Kansenshogaku Zasshi* 71(8): 763-769.
- Lin, Y. S., R. D. Vidic, et al. (1998). "Legionella in water distribution systems." *Journal AWWA* 90(9): 112-121.
- Linde, H. J., A. Hengerer, et al. (1995). "Sanierung von Warmwassersystemen mit Legionellenbefall. Dokumentation eigener Erfahrungen mit thermischer Desinfektion." *Zentralbl Hyg Umweltmed* 197(5): 441-451.
- Liu, Z., J. E. Stout, et al. (1994). "Controlled evaluation of copper-silver ionization in eradicating *Legionella pneumophila* from a hospital water distribution system." *J Infect Dis* 169(4): 919-922.
- Lowry, P. W., R. J. Blankenship, et al. (1991). "A cluster of legionella sternal-wound infections due to postoperative topical exposure to contaminated tap water." *N Engl J Med* 324(2): 109-113.
- Lück, P. C., L. Bender, et al. (1991). "Analysis of *Legionella pneumophila* serogroup 6 strains isolated from a hospital warm water supply over a three-year period by using genomic long-range mapping techniques and monoclonal antibodies." *Appl Environ Microbiol* 57(11): 3226-3231.
- Lück, P. C., J. H. Helbig, et al. (1990). "Legionellen im Wasser medizinischer Einrichtungen - eine Gefahr für Patienten und Personal?" *Z Gesamte Hyg* 36(7): 380-382.
- Lück, P. C., B. Lau, et al. (1992). "Legionellen in Dentaleinheiten - ein hygienisches Risiko?" *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 80(6): 341-346.
- Lück, P. C., I. Leupold, et al. (1993). "Prevalence of *Legionella* species, serogroups, and monoclonal subgroups in hot water systems in south-eastern Germany." *Zbl. Hyg.* 193(5): 450-460.
- Mahony, O. M., A. Lakhani, et al. (1989). "Legionnaires' disease and the sick-building syndrome." *Epidemiol Infect* 103(2): 285-292.
- Maiwald, M., J. Helbig, et al. (1998). "Laboratory methods for the diagnosis of *Legionella* infections." *Journal of Microbiological Methods* 33: 59-79.

- Marre, R., Y. A. Kwaik, et al., Eds. (2002). *Legionella*. Washington, ASM Press.
- Martiny, H., K. Seidel, et al. (1989). "Anwendung von UV-Strahlen zur Desinfektion von Wasser. III. Mitteilung: UV-Sensibilität von *Legionella pneumophila* unterschiedlichen Alters in kaltem und warmem Trinkwasser." *Zentralbl Hyg Umweltmed* 188(1-2): 35-46.
- Mastro, T. D., B. S. Fields, et al. (1991). "Nosocomial Legionnaires' disease and use of medication nebulizers." *J Infect Dis* 163(3): 667-671.
- Mathys, W., C. P. Hohmann, et al. (2002). Efficacy of Copper-Silver Ionization in Controlling *Legionella* in a Hospital Hot Water Distribution System: a German Experience. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 419-425.
- Mathys, W., E. Junge, et al. (1990). "Legionellen in Dusch-Wassersystemen privater Haushalte und von Hallenbädern." *Forum Städte-Hygiene* 41: 282-285.
- McDade, J. E., D. J. Brenner, et al. (1979). "Legionnaires' disease bacterium isolated in 1947." *Ann Int Med* 90: 659-661.
- McDade, J. E., C. C. Shepard, et al. (1977). "Legionnaires' disease: isolation of a bacterium and demonstration of its role in other respiratory disease." *N Engl J Med* 297: 1197-1203.
- Michel, R. und M. Borneff (1989). "Über die Bedeutung von Amöben und anderen Protozoen in wasserführenden Systemen von Dentaleinheiten." *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B* 187(4-6): 312-323.
- Mietzner, S., R. C. Schwille, et al. (1997). "Efficacy of thermal treatment and copper-silver ionization for controlling *Legionella pneumophila* in high-volume hot water plumbing systems in hospitals." *Am J Infect Control* 25(6): 452-457.
- Mitchell, E., O. M. M, et al. (1990). "Two outbreaks of Legionnaires' disease in Bolton Health District." *Epidemiol Infect* 104(2): 159-170.
- Muder, R. R. (2000). *Other Legionella Species. Principles and Practice of Infectious Diseases*. Mandell, G. L. et al. Philadelphia, London, Toronto, Churchill Livingstone: 2435-2441.
- Muraca, P., J. E. Stout, et al. (1987). "Comparative assessment of chlorine, heat, ozone, and UV light for killing *Legionella pneumophila* within a model plumbing system." *Appl Environ Microbiol* 53(2): 447-453.
- Muraca, P. W., V. L. Yu, et al. (1988). "Environmental Aspects of Legionnaires' Disease." *Journal AWWA* 2: 78 - 85.
- N.N. (1986). "Outbreak of legionellosis in a community. Report of an ad-hoc committee." *Lancet* 2(8503): 380-383.
- N.N. (1990). *Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasserverordnung)*. Bundesgesundhbl. Deutschland. 1: 2610-2611.
- N.N. (1991). "Marburger Gespräch zur Krankenhaushygiene." *Hyg. + Med.* 16: 373-375.

- N.N. (1991). "Wasserqualität bei RLT-Anlagen." *Klima Kälte Heizung* 7-8: 311-314.
- N.N. (1999). "Ratgeber Infektionskrankheiten - 10.Folge: Legionellose." *Epidemiologisches Bulletin* 49: 369-372.
- N.N. (2000). "Gesetz zur Neuordnung seuchenrechtlicher Vorschriften (Seuchenrechtsneuordnungsgesetz - SeuchRNeuG)." *Bundesgesetzblatt* 33(1): 1045-1077.
- N.N. (2004). "Outbreak of legionnaires' disease in northern France, November 2003-January 2004: update, 14 January." *Eurosurveillance Weekly* 8(3).
- N.N. (2004). "Zu zwei nosokomialen Legionellose-Ausbrüchen in einem Klinikum im Land Brandenburg." *Epidemiologisches Bulletin* 11: 92-94.
- Nahapetian, K., O. Challemel, et al. (1991). "The intracellular multiplication of *Legionella pneumophila* in protozoa from hospital plumbing systems." *Res Microbiol* 142(6): 677-685.
- Nguyen, M. H., J. E. Stout, et al. (1991). "Legionellosis." *Infect Dis Clin North Am* 5(3): 561-584.
- Niedeveld, C. J., F. M. Pet, et al. (1986). "Effect of rubbers and their constituents on proliferation of *Legionella pneumophila* in naturally contaminated hot water." *Lancet* 2(8500): 180-184.
- Pasculle, A. W., J. C. Feeley, et al. (1980). "Pittsburgh Pneumonia Agent: Direct Isolation from Human Lung Tissue." *J Infect Dis* 141(6): 727-732.
- Pleischl, S., E. Frahm, et al. (1999). "Ergebnisse eines Ringversuchs zum Vergleich zweier Nachweisverfahren für Legionellen in Wasserproben aus dem DIN ad hoc-Arbeitskreis "Legionellen"." *Bundesgesundhbl.* 42: 650-656.
- Pleischl, S., B. Langer, et al. (1998). Studie zum Einsatz eines *Legionella*-Latex-Tests im Vergleich zur direkten Immunfluoreszenz (DIF) für die routinemäßige Bestätigung und Differenzierung von *Legionella*-Isolaten aus Umweltproben und Patientenmaterialien. 6. Kongreß der Gesellschaft für Hygiene und Umweltmedizin (GHU) in Tübingen, Tübingen.
- Rangel-Frausto, M. S., P. Rhomberg, et al. (1999). "Persistence of *Legionella pneumophila* in a Hospital's Water System: A 13-Year Survey." *Infect Control Hosp Epidemiol* 20(12): 793-797.
- Reinthal, F. und F. Mascher (1986). "Nachweis von *Legionella pneumophila* in Dentaleinheiten." *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B* 183(1): 86-88.
- Riffard, S., S. Douglass, et al. (2001). "Occurrence of *Legionella* in groundwater: an ecological study." *Water Sci Technol* 43(12): 99-102.
- RKI (1999). "Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention." Anl. 4.4.6 und 6.7, 5.6.
- RKI (2004). "Jahresstatistik meldepflichtiger Infektionskrankheiten 2003." *Epidemiol Bull* 16: 135-136.
- RKI (2004). "Zu einer Häufung von Legionellen-Erkrankungen in Nordfrankreich." *Epidemiol Bull* 4: 31-32.

- Rohr, U., W. Mathys, et al. (1998). "Legionellenreduktion in Trinkwasser-Anlagen durch Ag-/Cu-Ionisation - Erfahrungsberichte und Stellungnahme aus drei Hygieneinstituten." *Hygiene und Mikrobiologie* 3: 82-85.
- Rohr, U., M. Senger, et al. (1996). "Einfluss von Silber und Kupfer Ionen auf das Überleben von *Legionella pneumophila* in Leitungswasser." *Zbl. Hyg.* 198(6): 514-521.
- Rohr, U., M. Senger, et al. (1999). "Four Years of Experience with Silver-Copper Ionization for Control of *Legionella* in a German University Hospital Hot Water Plumbing System." *Clin Infect Dis* 29: 1507-1511.
- Roskamp, E. (1990). "Raumluftechnische Anlagen - ein gesundheitliches Problem." *Bundesgesundhbl.* 33(3): 117-121.
- Roth, S. (1997). "Vorkommen von Legionellen in Warmwassersystemen - Gefahr oder Hysterie?" *ZdW Bay* 9: 472-478.
- Schaffler Dullnig, K., F. F. Reinthaler, et al. (1992). "Nachweis von Legionellen im Thermalwasser." *Zentralbl Hyg Umweltmed* 192(5): 473-478.
- Schneitler, H. (1991). "Legionellen - Ein Problem der Technologie." *Öff Gesundheitswes* 53(8-9): 593-595.
- Schoenen, D. (1996). "The influence of inhomogeneous irradiation in UV disinfection - experimental findings and theoretical considerations." *J. Water SRT - Aqua* 45(3): 120-129.
- Schoenen, D., R. Schulze-Röbbecke, et al. (1988). "Mikrobielle Kontamination von Wasser durch Rohr- und Schlauchmaterialien. 2. Mitteilung: Wachstum von *Legionella pneumophila*." *Zentralbl Bakteriol Mikrobiol Hyg B* 186(4): 326-332.
- Schofield, G. M. (1985). "A note on the survival of *Legionella pneumophila* in stagnant tap water." *J Appl Bacteriol* 59(4): 333-335.
- Schofield, G. M. und R. Locci (1985). "Colonization of components of a model hot water system by *Legionella pneumophila*." *J Appl Bacteriol* 58(2): 151-162.
- Schulze, E. (1996). *Hygienisch-mikrobiologische Wasseruntersuchungen*. Jena, Schulze, E.
- Schulze-Röbbecke, R. und H. Apel (1986). "Vorbeugen vermindert Risiken." *Clima Commerce International* 12: 1-3.
- Schulze-Röbbecke, R., P. Hartemann, et al. (1999). "Comparison of membrane filtration methods for the recovery of legionellae from naturally contaminated domestic drinking water supplies." *Zentralbl Hyg Umweltmed* 202: 51-59.
- Schulze-Röbbecke, R. und M. Richter (1994). "Entstehung und Vermeidung von Legionelleninfektionen durch Kühltürme und Rückkühlwerke." *Gesundheits-Ingenieur* 115(2): 71-77.
- Seidel, K., G. Bätz, et al. (1986). "Zum Vorkommen und zur Bewertung von Legionellen in der Umwelt unter besonderer Berücksichtigung von *Legionella pneumophila*." *Bundesgesundhbl.* 29(12): 399-404.

- Selenka, F., U. Rohr, et al. (1995). "Untersuchungen zur Dekontamination eines legionellenbelasteten Warmwasserkreislaufs in einem Krankenhaus unter Einsatz des Tarn-Pure-Verfahrens." *Hyg. Med.* 20(6): 292-302.
- Shearer, B. G. (1996). "Biofilm and the dental office." *J Am Dent Assoc* 127(2): 181-189.
- States, S. J., L. F. Conley, et al. (1985). "Effects of metals on Legionella pneumophila growth in drinking water plumbing systems." *Appl Environ Microbiol* 50(5): 1149-1154.
- States, S. J., L. F. Conley, et al. (1987). "An alkaline approach to treating cooling towers for control of Legionella pneumophila." *Appl Environ Microbiol* 53(8): 1775-1779.
- Steele, T. W., Y. Lanser, et al. (1990). "Isolation of Legionella longbeachae serogroup 1 from potting mixes." *Appl. Environ. Microbiol.* 56(1): 49-53.
- Stout, J. E. und V. L. Yu (1997). "Legionellosis." *N Engl J Med* 337: 682-687.
- Stout, J. E., V. L. Yu, et al. (1985). "Ecology of Legionella pneumophila within water distribution systems." *Appl Environ Microbiol* 49(1): 221-228.
- Szewzyk, R., G. Allestam, et al. (1991). "Improved recovery of Legionella from water samples by use of black membrane filters." *Zentralbl Hyg Umweltmed* 192(3): 258-263.
- TW-Komm (1990). "Verordnung über Trinkwasser und Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung-TrinkwV)." *Bundesgesundhbl.* 1: 2613-2629.
- TW-Komm (2001). "Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung." *Bundesgesundhbl.* 24(1): 959-980.
- Uerlings, A., R. Lutticken, et al. (1986). "Vorkommen von Legionellen in Wässern von Klimaanlageanlagen und Nasszellen im Bereich Nordrhein." *Öff Gesundheitswes* 48(7): 325-328.
- Umweltbundesamt (1997). "Hygienische Überwachung öffentlicher und gewerblicher Bäder durch die Gesundheitsämter (Amtsarzt); Mitteilung der Badewasserkommission des Umweltbundesamtes." *Bundesgesundhbl.* 40: 434-440.
- Umweltbundesamt (2000). "Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trink- und Badewasserkommission des Umweltbundesamtes: Nachweis von Legionellen in Trinkwasser und Badebeckenwasser." *Bundesgesundhbl.* 43(11): 911-915.
- Van Steenberghe, J. E., F. A. N. Slijkerman, et al. (1999). "The first 48 hours of investigation and intervention of an outbreak of legionellosis in the Netherlands." *Eurosurveillance* 4(11): 112-115.
- VDI (1998). *VDI 6022: Hygienebewußte Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung raumlufttechnischer Anlagen.* Verein Deutscher Ingenieure. Deutschland: 23.
- Wadowsky, R. M., R. Wolford, et al. (1985). "Effect of temperature, pH, and oxygen level on the multiplication of naturally occurring Legionella pneumophila in potable water." *Appl Environ Microbiol* 49(5): 1197-1205.

Wadowsky, R. M. und R. B. Yee (1981). "Glycine-Containing Selective Medium for Isolation of Legionellaceae from Environmental Specimens." *Appl Environ Microbiol* 42(5): 768-772.

Wadowsky, R. M., R. B. Yee, et al. (1982). "Hot Water Systems as Sources of *Legionella pneumophila* in Hospital and Nonhospital Plumbing Fixtures." *Appl Environ Microbiol* 43(5): 1104-1110.

Waschko-Dransmann, D. (1992). Probleme bei der Sanierung legionellenhaltiger Warmwassersysteme öffentlicher Hallenbäder. Hygiene-Institut. Münster, Westfälische-Wilhelms-Universität Münster: 90.

Waschko-Dransmann, D. und M. Exner (1992). Warmwasserbereiche und Legionellenproblematik. Hygiene und Infektionsverhütung. Stuttgart, Steuer Junghannß: 173-183.

Williams, H. N., M. L. Baer, et al. (1995). "Contribution of Biofilm Bacteria to the Contamination of the Dental Unit Water Supply." *J Am Dent Assoc* 126: 1255-1260.

Yamamoto, H., M. Sugiura, et al. (1992). "Factors Stimulating Propagation of Legionellae in Cooling Tower Water." *Appl. Environ. Microbiol.* 58(4): 1394-1397.

Yamamoto, H., I. Urakami, et al. (1987). "Effects of FLONLIZER, ultraviolet sterilizer, on *Legionella* species inhabiting cooling tower water." *Microbiol Immunol* 31(8): 745-752.

Yu, V. L. (1998). "Resolving the Controversy on Environmental Cultures for *Legionella*: A Modell Proposal." *Infect Control Hosp Epidemiol* 19(12): 9.

Yu, V. L. (2000). *Legionella pneumophila* (Legionnaires' Disease). Principles and Practice of Infectious Diseases. Mandell, G. L. et al. Philadelphia, London, Toronto, Churchill Livingstone: 2424-2435.

Zanetti, F., S. Stampi, et al. (2000). "Water characteristics associated with the occurrence of *Legionella pneumophila* in dental units." *Eur J Oral Sci* 108: 22-28.

Zeybek, Z. und A. Cotuk (2002). Relationship between Colonization of Building Water Systems by *Legionella pneumophila* and Environmental Factors. *Legionella*. Marre, R. et al. Washington, ASM Press: 305-311.

## Anhang A: Ergebnistabellen und –diagramme

**Tabelle 1.3.1: Empfehlungen und Richtlinien zur Legionellenproblematik in technischen, wasserführenden Systemen**

Zitat	Wassertyp	Untersuchungs- methode*	Untersuchungs- volumen	Untersuchungs- intervall	Probenanzahl je System	Grenzkonzentration KBE / Vol.	Maßnahmen bei Überschreitung	Beschreibung und Ziel
Exner Publikation (Exner, M. 1991)	Trinkwarmwasser	BGBI 04/93 (modifiziert) (BGA 1993)	1 Liter (heute: 100 ml)	jährlich	Festlegung bei der Ortsbegehung	<= 10 / 100 ml (Stufenkonzept)	Sanierung Nachuntersuchung (Stufenkonzept)	Prävention von Legionelleninfektionen Empfehlung für die Untersuchung, Bewer- tung und Sanierung legionellenkontaminierter Hausinstallationssysteme in Großgebäuden
Arbeitsblatt W 551 (DVGW 1993)	Trinkwarmwasser	-	-	-	-	-	-	Anforderungen an Bau und Betrieb von Trinkwasserwärmanlagen und Hausinstallationssystemen zur Vermeidung eines Legionellenwachstums
Richtlinie für Krankenhaushy- giene, Anl. 4.4.6 und 6.7, 5.6 (RKI 1994)	Trinkwasser, Trinkwarmwasser, zahnärztliche Behandlungseinr.	k.A.	k.A.	halbjährlich / bei Verdacht von nosokomialen Infektionen	k.A.	k.A.	k.A.	- Anforderungen der Hygiene an die Wasserversorgung im Krankenhaus - Beschreibung von technischen Voraus- setzungen zur Minimierung von Leg.-Kont.
Arbeitsblatt W 552 (DVGW 1996)	Trinkwarmwasser	anerkannte Verf.,, (BGA 1993)	>= 100 ml	jährlich	mind. 2	1 / ml	weitergehende Unt., Sanierung, Nachuntersuchung	Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Sanierung und Betrieb legionellenkontaminierter Anlagen
DIN 19643-1 (DIN 1997)	Badewasser	k.A.	1 ml (Beckenw.) 100 ml (Filtrat)	2-monatlich	1 1	1 / ml 1 / 100 ml	Desinfektion, Filterrückspülung	Aufbereitung von Schwimm- und Badebecken- wasser, Vermeidung des Legionellen-
Merklblatt 64.01 (BYÖB 1997)	Trinkwarmwasser in Bädern	BGBI 04/93 (modifiziert)	100 ml	jährlich	mind. 3	1 / ml	Desinfektion, Nachuntersuchung	Legionellenprophylaxe in Warmwasser- systemen von öffentlichen Schwimmbädern
VDI 6022 (VDI 1998)	Befeuchterwasser	k.A.	1 ml	2-jährlich	1	1 / ml	Reinigung, Desinfektion	Hygienische Anforderungen an RLT-Anlagen (Büro- und Versammlungsräume) Vermeidung des Legionellenwachstums

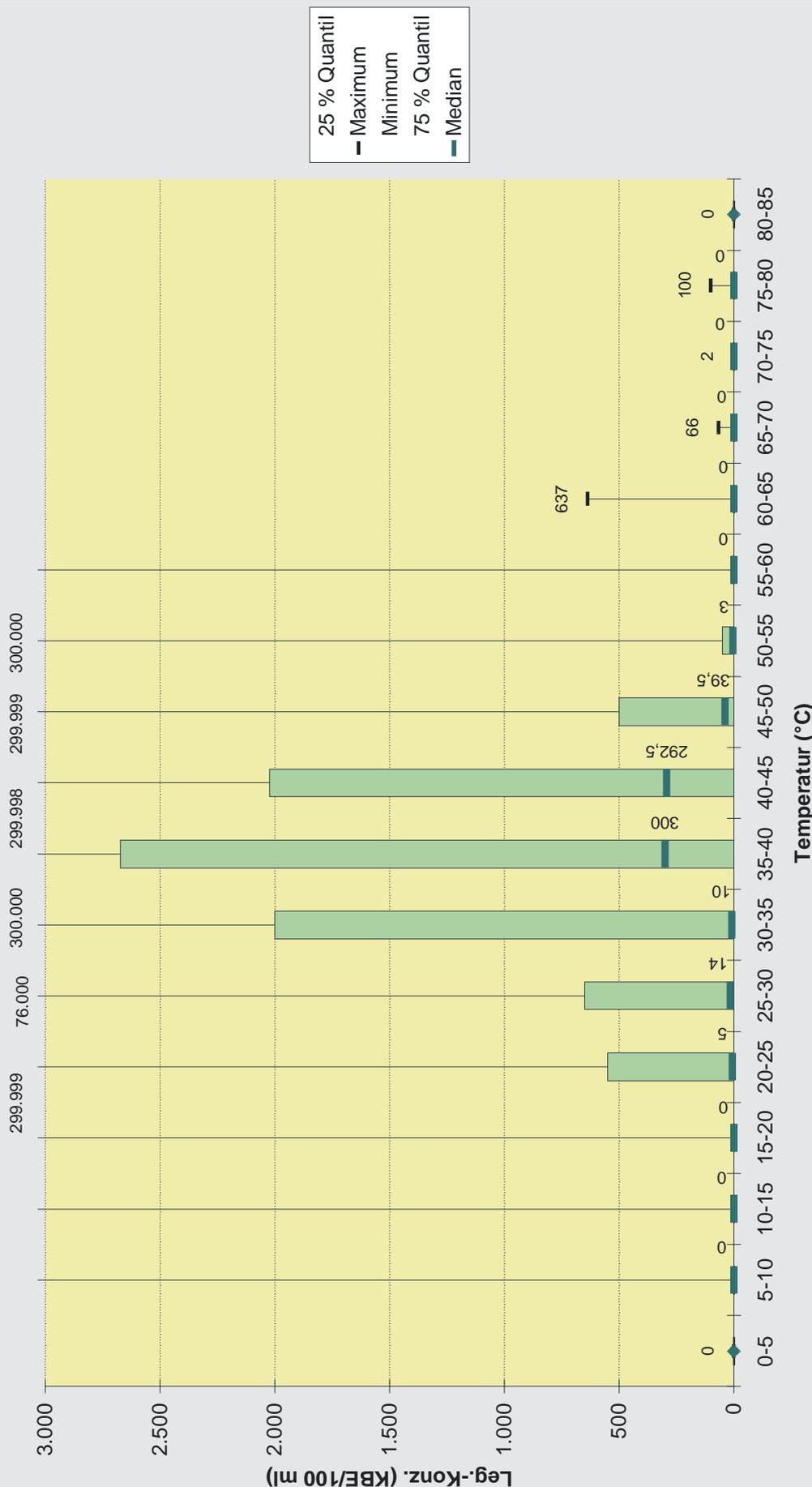
k.A. = keine Angabe \* = erst seit 1998 oder später verfügbar: ISO 11731 (ISO 1998) oder alternative Methode (Umweltbundesamt 2000)

**Tabelle 3.1.2: Legionellenuntersuchungen von Trinkwassererwärmungsanlagen**  
Häufigkeit von systemischen und lokalen Kontaminationen bei Untersuchung von 2188 Proben

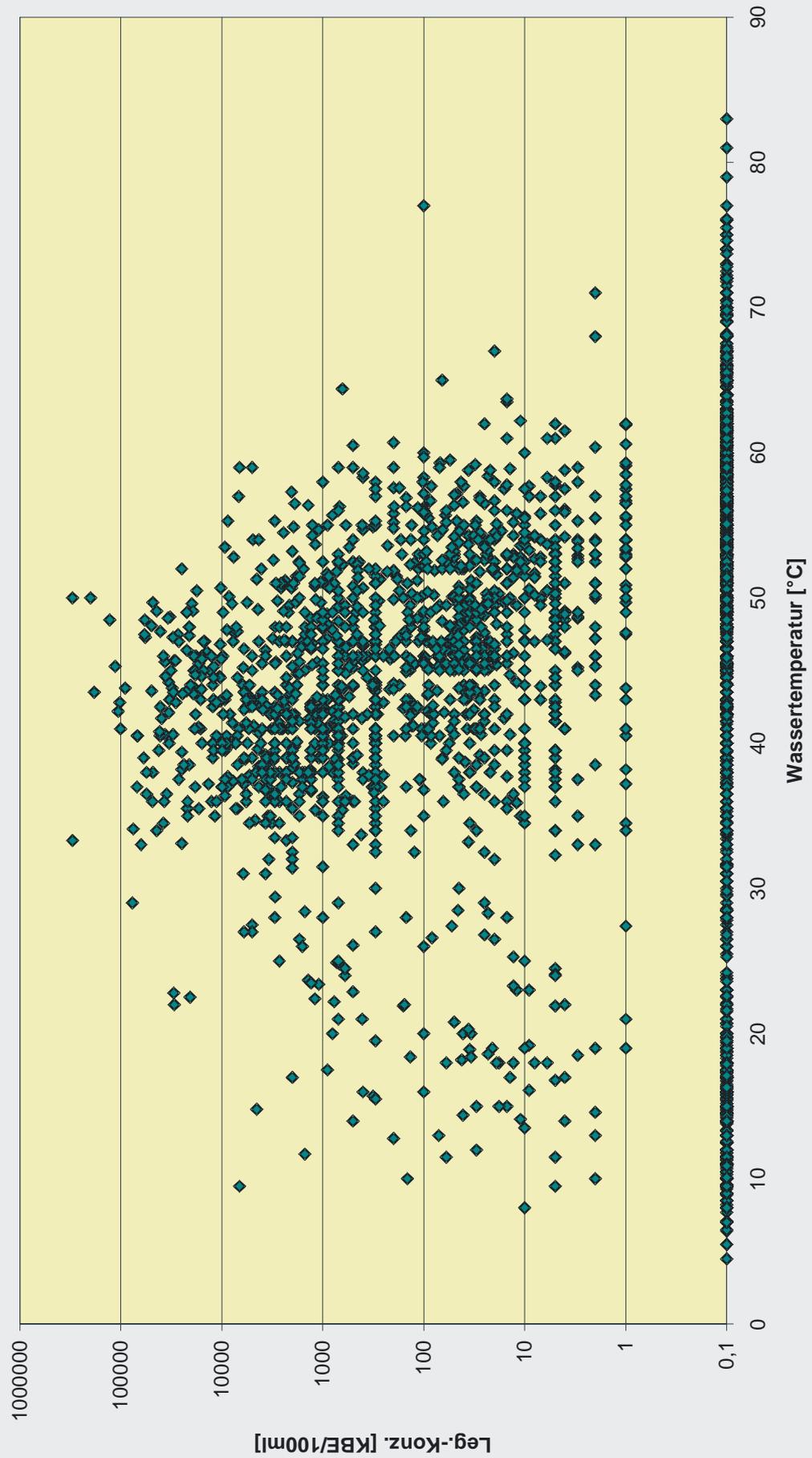
Objekte	Anzahl der untersuchten		Zahl der Systeme mit Legionellenkontaminationen						kein Nachweis			
	Proben	Systeme	systemisch	%	Handlungsbedarf*	%	lokal	%	Handlungsbedarf*	%	Nachweis	%
Krankenhäuser	603	77	48	62	45	58	12	16	6	8	17	22
Altenheime	182	24	11	46	10	42	4	17	2	8	9	38
Schwimmbäder	760	121	79	65	69	57	16	13	9	7	26	21
Schulen	304	47	18	38	15	32	9	19	4	9	20	43
öffentl. Gebäude	147	32	13	41	10	31	3	9	1	3	16	50
Hotels	33	7	1	-	1	-	2	-	1	-	4	-
Industrie	46	9	2	-	2	-	4	-	0	-	3	-
Ein- u. Mehrfamilienhäuser	113	47	1	2	1	2	2	4	0	0	44	94
<b>Alle Objekte</b>	<b>2188</b>	<b>364</b>	<b>173</b>	<b>48</b>	<b>153</b>	<b>42</b>	<b>52</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>6</b>	<b>139</b>	<b>38</b>

\* = Handlungsbedarf bei Überschreitung der empfohlenen Konzentration von 1 KBE/ml (=100 KBE/100 ml) entsprechend DVGW-Arbeitsblatt W 552

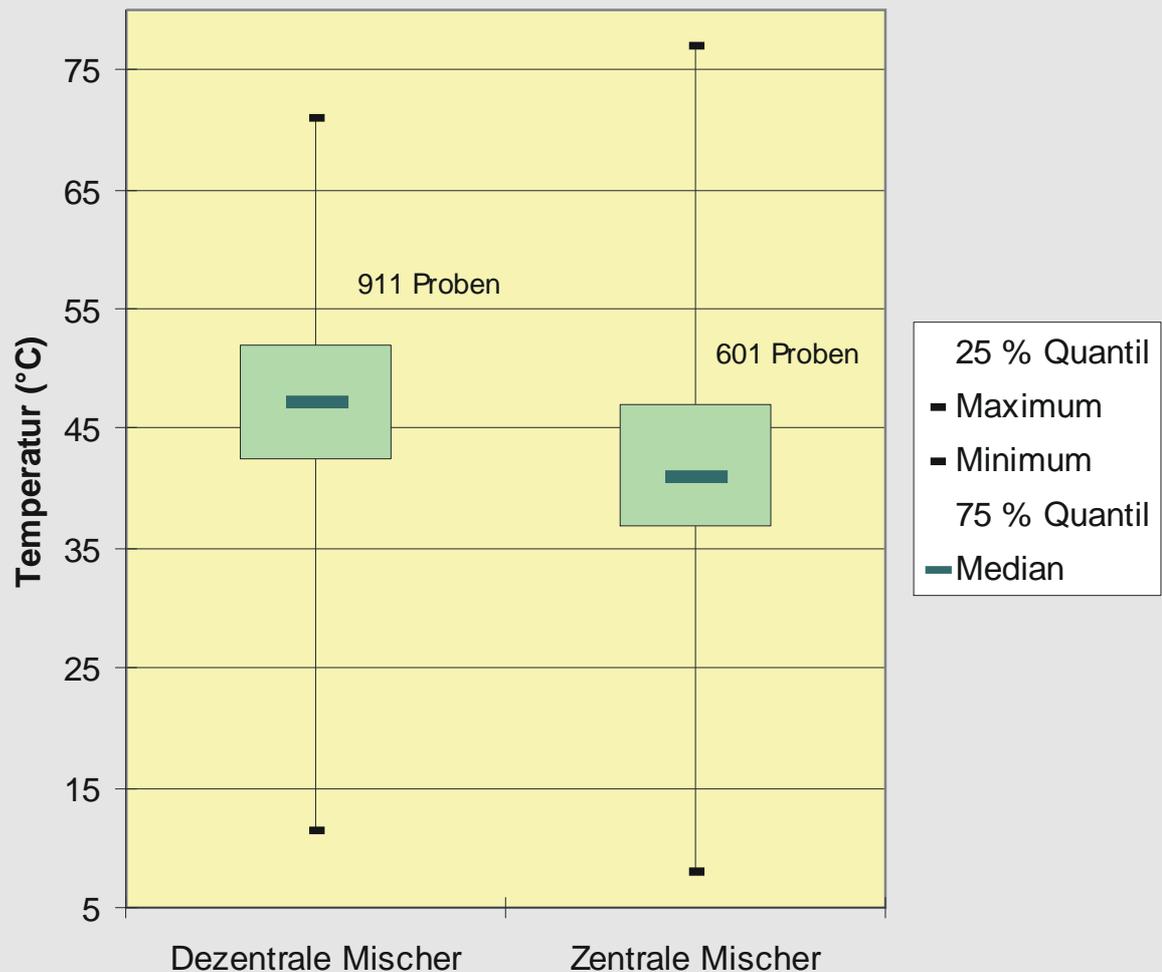
**Diagramm 3.1.4.1: Verteilung der Legionellenkonzentrationen in 2968 Proben aus Trinkwassererwärmungsanlagen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur**



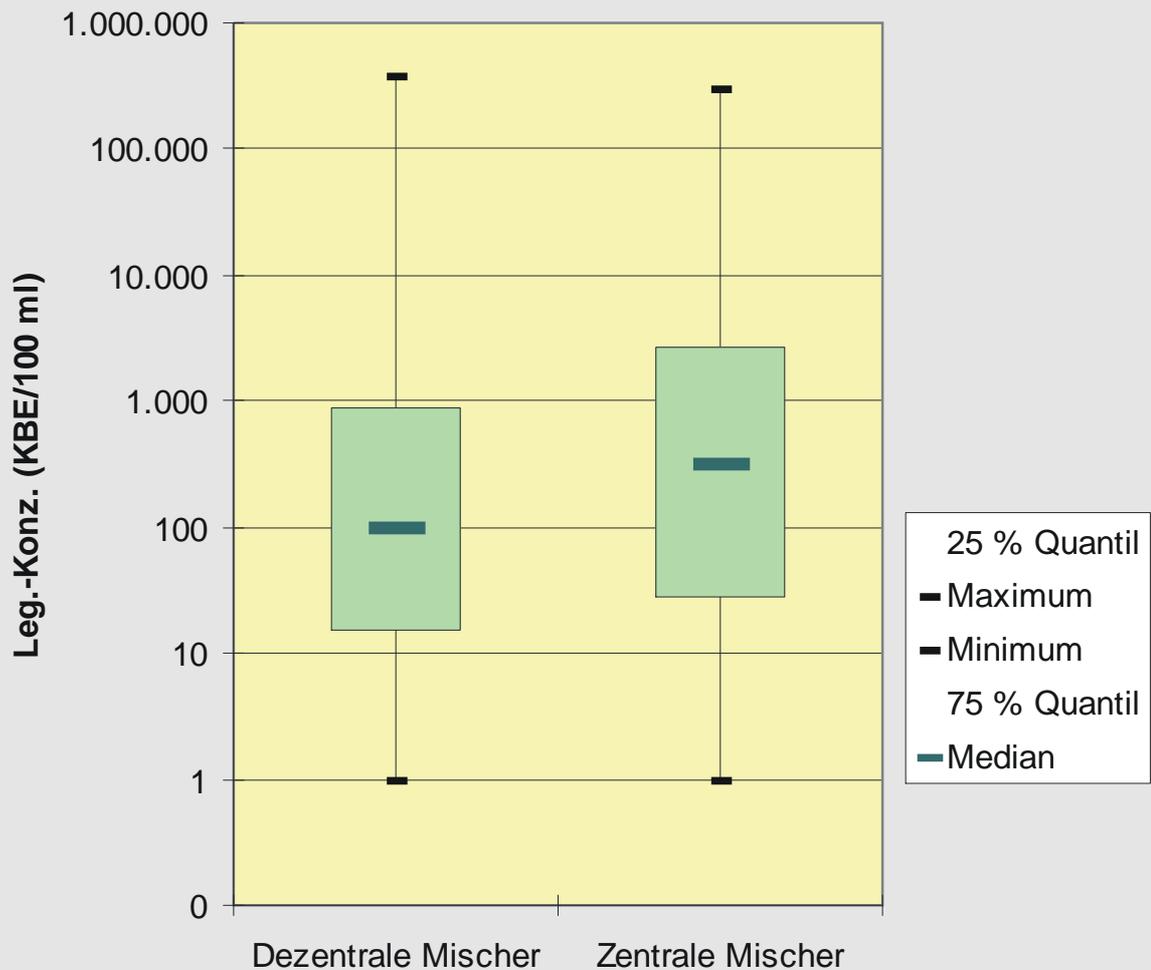
**Diagramm 3.1.4.2: Legionellenkonzentrationen in Trinkwassererwärmungsanlagen  
in Abhängigkeit von der Wassertemperatur aus 2986 Proben**



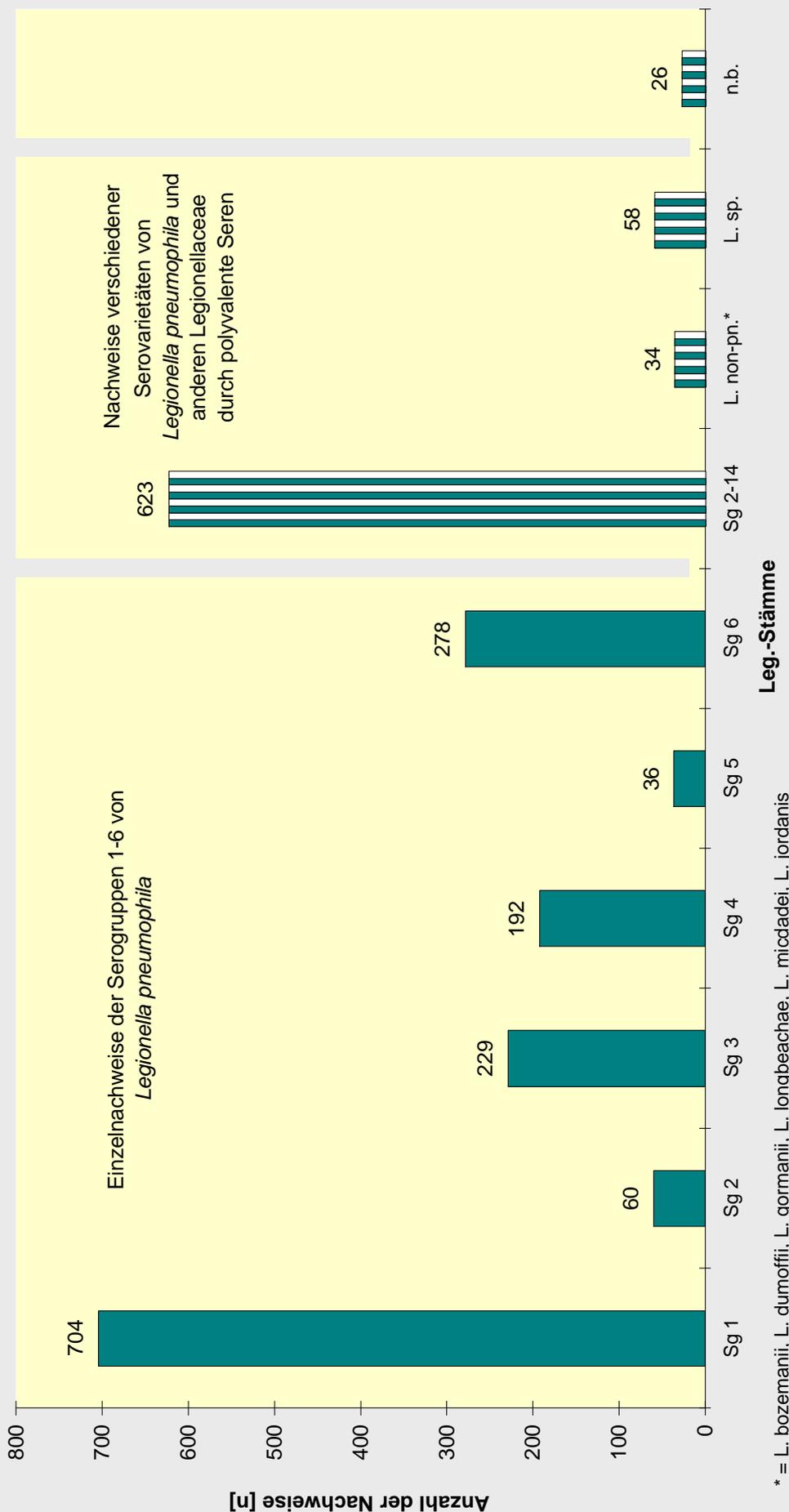
**Diagramm 3.1.5.1: Wassertemperatur in der Peripherie von warmwasserführenden Leitungssystemen in Abhängigkeit von der Art der Mischeinrichtungen (Mittelwerte aus n = 1512 Proben)**



**Diagramm 3.1.5.2: Legionellenkonzentration in der Peripherie von warmwasserführenden Leitungssystemen in Abhängigkeit von der Art der Mischeinrichtungen (Mittelwerte aus n = 1911 Proben)**



**Diagramm 3.1.7.1: Nachweis Häufigkeit verschiedener Serovarietäten von *Legionella pneumophila* und anderer Legionellaceae in Trinkwassererwärmungsanlagen aus n = 2240 Proben**



**Tabelle 3.1.8: Konstanz der Serovarität von Legionellen in technischen, wasserführenden Systemen**  
(Konstanz bei Wiederholungsuntersuchungen, n = 1483 Proben in 90 Objekten)

Objekt	Typ*	Ergebnis der Differenzierung** bei		Probenanzahl		Anzahl Folge-Unters.	Proben mit abw. Serogr.	Anzahl Proben gesamt	Übereinstimmung (%)***	Unters.-Zeitraum (Monate)
		Erstunters.	Folgeunters.	Erstunters.	Folgeunters.					
1	SB	1	1	3	1	1	0	4	100	4
2	SB	1	1	4	2	1	0	6	100	2
3	KH	1	1	5	3	1	0	8	100	13
4	SB	1	1	5	4	2	0	9	100	5
5	SB	1	1	1	4	1	0	5	100	3
6	SCH	1	1	5	5	1	0	10	100	2
7	SB	1	1	4	6	2	0	10	100	12
8	Sch	1	1	4	7	2	0	11	100	5
9	SB	1	1	2	8	1	0	10	100	22
10	KH	1	1	10	41	7	0	51	100	35
11	SB	1	1; 6	3	3	1	2	6	33	1
12	ÖG	1	1; 6	4	42	10	1	46	98	12
13	Sch	1	3; 6	7	3	1	3	10	0	3
14	AH	1	1; 2-14	4	9	2	1	13	89	5
15	SB	1	1; 2-14	1	3	1	0	4	100	16
16	SB	1	1; 2-14; L.non.	9	35	5	9	44	74	5
17	AH	1	1; L.non.	3	5	1	4	8	20	36
18	SB	1; 3	1; 3	3	3	1	0	6	100	3
19	SB	1; 3	1; 3	7	7	2	0	14	100	3
20	BW	1; 4	1	3	2	1	0	5	100	2
21	SCH	1; 4	1; 2-14	4	6	2	0	10	100	18
22	SB	1; 6	1	5	4	1	0	9	100	6
23	SB	1; 6	1; 6	10	10	2	0	20	100	4
24	IND	1; 2; 3; 6	2; 3	6	4	1	0	10	100	2
25	SB	1; 3; 6; 12	1; 12	9	3	1	0	12	100	1
26	KH	1; 2; 3; 4; 6	3; 4; 6; 7-14	10	18	3	4	28	78	44
27	RKW	1; 2-14	1; 2-14	2	2	1	0	4	100	5
28	KH	1; 2-14	1; 2-14	9	3	1	0	12	100	4
29	KH	1; 2-14	1; 2-14; L.sp.	8	32	8	3	40	91	18
30	KH	1; 2-14; L.non.	1; 2-14; L.non.	6	48	8	0	54	100	40
31	SB	1; L.non.	1	6	8	2	0	14	100	16
32	KH	2; 3	1; 2; 3; 6; 7-14	6	60	12	16	66	73	3
33	KH	2; 3	3; 4; 2-14	7	18	2	2	25	89	44
34	KH	2; 6	1; 2; 4; 6; 2-14	7	17	3	2	24	88	25
35	KH	2; 3; 6	1; 3; 4	3	3	1	2	6	33	4
36	KH	2; 4; 7-14; L.sp.	2; 3; 4; 5	10	10	1	5	20	50	2
37	KH	3	1	7	3	1	3	10	0	9
38	SB	3	3	3	4	1	0	7	100	6
39	KH	3	1; 2-14	10	24	3	12	34	50	34
40	KH	3	7-14	3	2	1	2	5	0	12
41	SB	3; 4	4; 12	8	6	1	2	14	67	1
42	SB	3; 4	3	7	1	1	0	8	100	2
43	SB	3; 4; 9	3; 4; 9	8	28	5	0	36	100	6
44	KH	3; 7-14	1; 3; 4; L.sp.; L.non.; 2-14	8	18	7	6	26	67	32
45	Sch	4	4	4	3	1	0	7	100	3
46	SB	4	4; 5	7	9	1	5	16	44	15
47	BW	4	4; 5	3	2	1	1	5	50	15
48	Sch	4	8	5	4	1	4	9	0	21

(Forts.)

(Forts.)

Objekt	Typ*	Ergebnis der Differenzierung** bei		Probenanzahl		Anzahl Folge-Unters.	Proben mit abw. Serogr.	Anzahl Proben gesamt	Übereinstimmung (%)***	Unters.-Zeitraum (Monate)
		Erstunters.	Folgeunters.	Erstunters.	Folgeunters.					
49	KH	4	3; 4; 2-14	3	13	3	5	16	62	33
50	SB	4; 1	4; 10; 12	4	11	3	1	15	91	15
51	SB	4; 6	6	8	2	1	0	10	100	2
52	KH	4; 6	2; 6; 2-14; L.sp.	6	10	3	4	16	60	25
53	SCH	4; 9	4	7	7	1	0	14	100	2
54	SB	5	1; 5	7	3	1	2	10	33	2
55	SB	5	5	7	3	1	0	10	100	2
56	SB	6	1; 6	3	13	1	10	16	23	3
57	SB	6	6	4	3	1	0	7	100	2
58	ÖG	6	6	6	17	4	0	23	100	5
59	ÖG	6	6; L.sp.	6	6	1	1	12	83	1
60	KH	6; 2-14	4; 5; 6; L.sp.	4	5	2	1	9	80	26
61	SB	6; L.non.	6	9	3	2	0	12	100	4
62	EH	6,12,non	6; L.non.	7	2	1	1	9	50	6
63	SB	10; 11	4	2	3	1	3	5	0	1
64	RKW	2-14	1	1	1	1	1	2	0	5
65	RKW	2-14	1	1	1	1	1	2	0	(1 Tag)
66	RKW	2-14	1; 2-14	1	1	1	1	2	0	5
67	ÖG	2-14	1; 2-14	3	3	1	2	6	33	1
68	ÖG	2-14	1; 2-14	2	3	1	2	5	33	1
69	ÖG	2-14	1; 2-14	2	3	1	1	5	67	1
70	KH	2-14	1; 2-14	8	17	6	1	25	94	24
71	ÖG	2-14	1; 2-14; L.sp.	3	6	1	3	9	50	1
72	ÖG	2-14	1; 2-14; L.sp.	1	7	2	3	8	57	20
73	KT	2-14	2-14	1	1	1	0	2	100	6
74	RKW	2-14	2-14	1	1	1	0	2	100	1
75	KT	2-14	2-14	2	2	1	0	4	100	8
76	KH	2-14	2-14	4	3	1	0	7	100	6
77	ÖG	2-14	2-14	2	3	1	0	5	100	1
78	HO	2-14	2-14	5	4	1	0	9	100	20
79	KH	2-14	2-14	8	5	2	0	13	100	14
80	SB	2-14	2-14	1	6	1	0	7	100	2
81	KH	2-14	2-14	18	24	3	0	42	100	8
82	KH	2-14	2-14	1	27	3	0	28	100	33
83	KH	2-14	2-14	20	40	5	0	60	100	1
84	KH	2-14	2-14; L.sp.	3	12	3	2	15	83	13
85	RKW	2-14	L.sp.	1	1	1	1	2	0	5
86	KH	2-14; L.sp.	2-14; L.sp.	4	69	15	0	73	100	16
87	KH	2-14; L.non.	2-14; L.non.; L.sp.	7	29	3	2	36	93	32
88	KH	7-14	2-14; L.sp.; L.non.	8	94	10	20	102	79	40
89	RLT	L.non.; L.sp.	3; L.sp.	4	3	2	1	7	67	1
90	KT	L.sp.	1; L.sp.	4	6	2	3	10	50	18

Mittelwert der Übereinstimmung (%) Mittelwert des Untersuchungszeitraums (Monaten) 

\* AH = Altenheim, BW = Badewasseraufbereitung, EH = Ein-Fam.-Haus, HO = Hotel, IND = Industrie, KH = Krankenhaus, KT = Kühlturm, ÖG = öffentliches Gebäude, RKW = Rückkühlwerk, RLT = raumlufttechn. Anlage, SB = Schwimmbad, SCH = Schule

\*\* Zahlen 1- 12 = Serogruppen von *Legionella pneumophila*, 2-14 bzw. 7-14 = polyvalente Seren von Latex- bzw. DIFT, L. non. = Leg. non-pneumophila -> polyvalente Seren gegen sieben versch. humanpathogene Legionellenarten, L. sp. = Leg. species -> andere Legionellenarten (Koloniemorphologie und Cysteinabhängigkeit bestätigt, jedoch keine positive Reaktion der verwendeten Seren).

\*\*\* Übereinstimmungsgrad (in %) der Differenzierung von Legionellen bei den Proben von Erst- und Folgeuntersuchungen

**Tabelle 3.1.9.1: Einfluß der Wassertemperatur auf das Vorkommen von Legionellen in Trinkwassererwärmungsanlagen**

Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen unter Berücksichtigung von Änderungen der systemischen Wassertemperaturen, n = 232 Proben

Objekt	Typ*	Mittelwerte der Legionellen-Konzentrationen und Wassertemperaturen						Probenanzahl		
		Erstuntersuchung		1. Kontrolluntersuchung		2. Kontrolluntersuchung			3. Kontrolluntersuchung	
		Leg. (KBE/100ml)	T(°C)	Leg. (KBE/100ml)	T(°C)	Leg. (KBE/100ml)	T(°C)		Leg. (KBE/100ml)	T(°C)
1	KH	452	55	4	59	0	67	9	61	28
2	KH	130	41	24	52	106	58	21	56	22
3	KH	201	46	664	50	540	52	40	55	20
4	ÖG	726	42	0	64	2.600	42	47	63	24
5	ÖG	2.657	38	1	62	250.001	40	10	60	24
6	SB	333	44	0	56	114	47	-	-	16
7	SB	4.478	38	18	53	-	-	-	-	13
8	SB	3.082	49	260	52	-	-	-	-	10
9	SB	1.401	47	548	51	3	57	-	-	21
10	SB	127	48	3	65	-	-	-	-	8
11	HO	0	56	29	56	1	57	-	-	19
12	HO	904	53	0	68	64	48	-	-	15
13	IND	0	65	0	61	9	60	-	-	12

\* KH = Krankenhaus, ÖG = öffentl. Gebäude, SB = Schwimmbad, HO = Hotel, IND = Industrie

Summe: **232**

= systemische Wassertemperaturen entsprechend den Empfehlungen des DVGW-Arbeitsblatts W 552

**Tabelle 3.1.9.2: Einfluß unterschiedlicher Sanierungsverfahren auf das Vorkommen von Legionellen in Trinkwassererwärmungsanlagen**

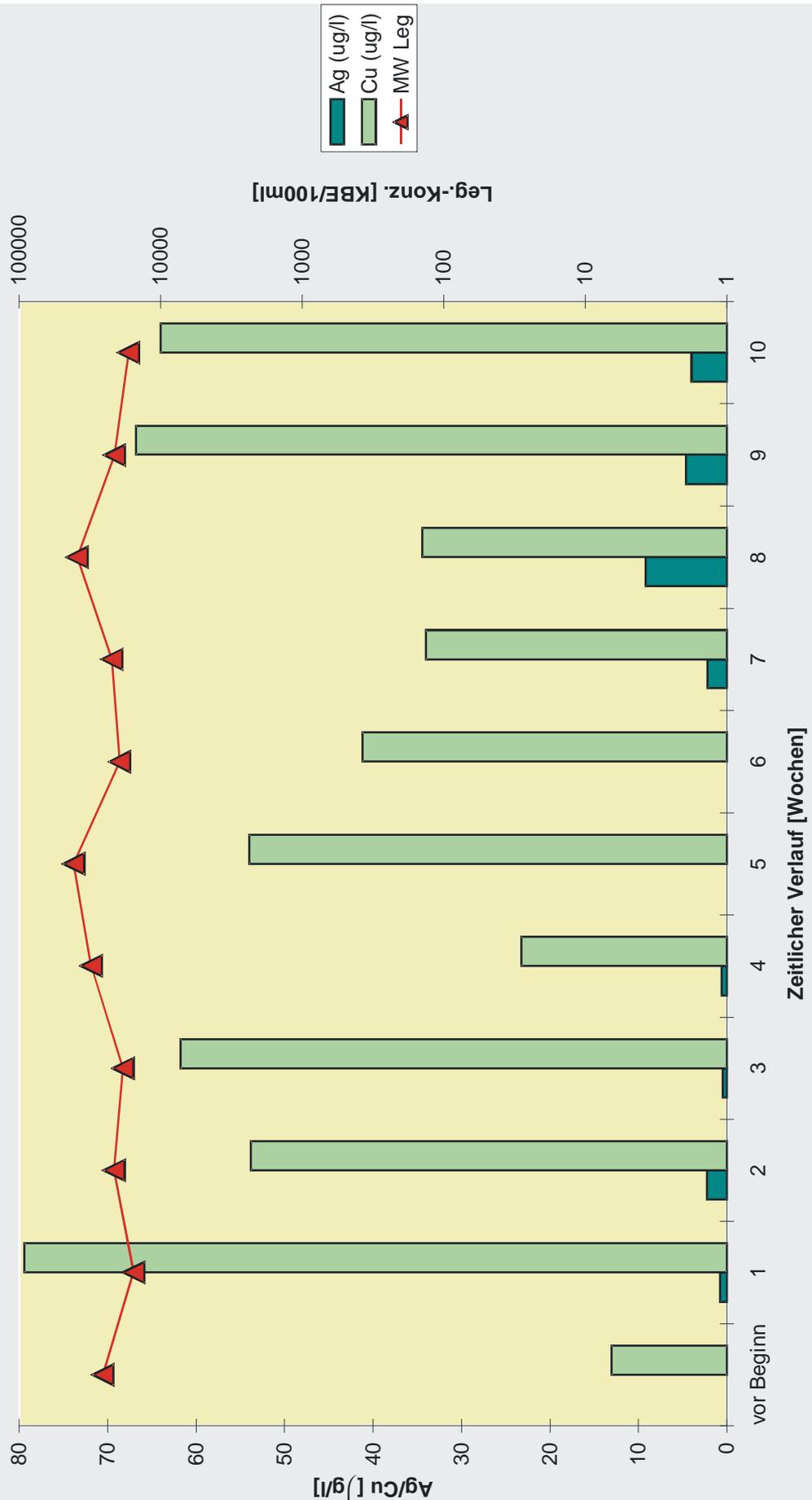
Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen unter Berücksichtigung des Einbaus verschiedener Geräte zur Legionellenbekämpfung, n = 183 Proben

Objekt Typ*	Mittelwerte der systemischen Leg.-Konz. (KBE/100ml) und der Warmwassertemperaturen (°C)		Maßnahme nach				Maßnahme	**Art der Maßnahme	kontinuierliche Maßnahme	Leg.-Konz. vor Beh.***	Leg.-Konz. (KBE/100 ml) nach Beh.***				
	Erstunters. Temp.	1. Kontrolle Temp.	2. Kontrolle Temp.	3. Kontrolle Temp.	4. Kontrolle Temp.	Temp.									
1 SB	1.226	42	457	51	40	57	3	57	77	57	Erstunt. 1. Kontr.	a	nach der 2. Kontrolle (b)	-	-
2 KH	4.043	48	16	59	153	49	3.627	50	1.032	52	Erstunt. 1. Kontr.	a	nach der 1. Kontrolle (c)	-	32
3 ÖG	700	42	0	62	2.600	42	56	62	6	44	2. Kontr.	c		1800	0
Forts.	1.642	45	37	44	305	39	291	42	367	42	3. Kontr.	d	8. Kontrolle, danach	0	0
											4. Kontr.	d	Abschaltung der UV-Anlage und Unterbrechung der Zirkulation	2	0
											5. Kontr.	d		22	0
											6. Kontr.	d		81	0
											7. Kontr.	d		500	0
Forts.	800	44	1.348	39	783	41	5.567	41			8. Kontr.	d		94	0
											9. Kontr.	-	Zirkulation (nachts)	600	400
											10. Kontr.	-		1500	800
											11. Kontr.	-		89	1000
											12. Kontr.	-		1100	500
											13. Kontr.	-		-	4000

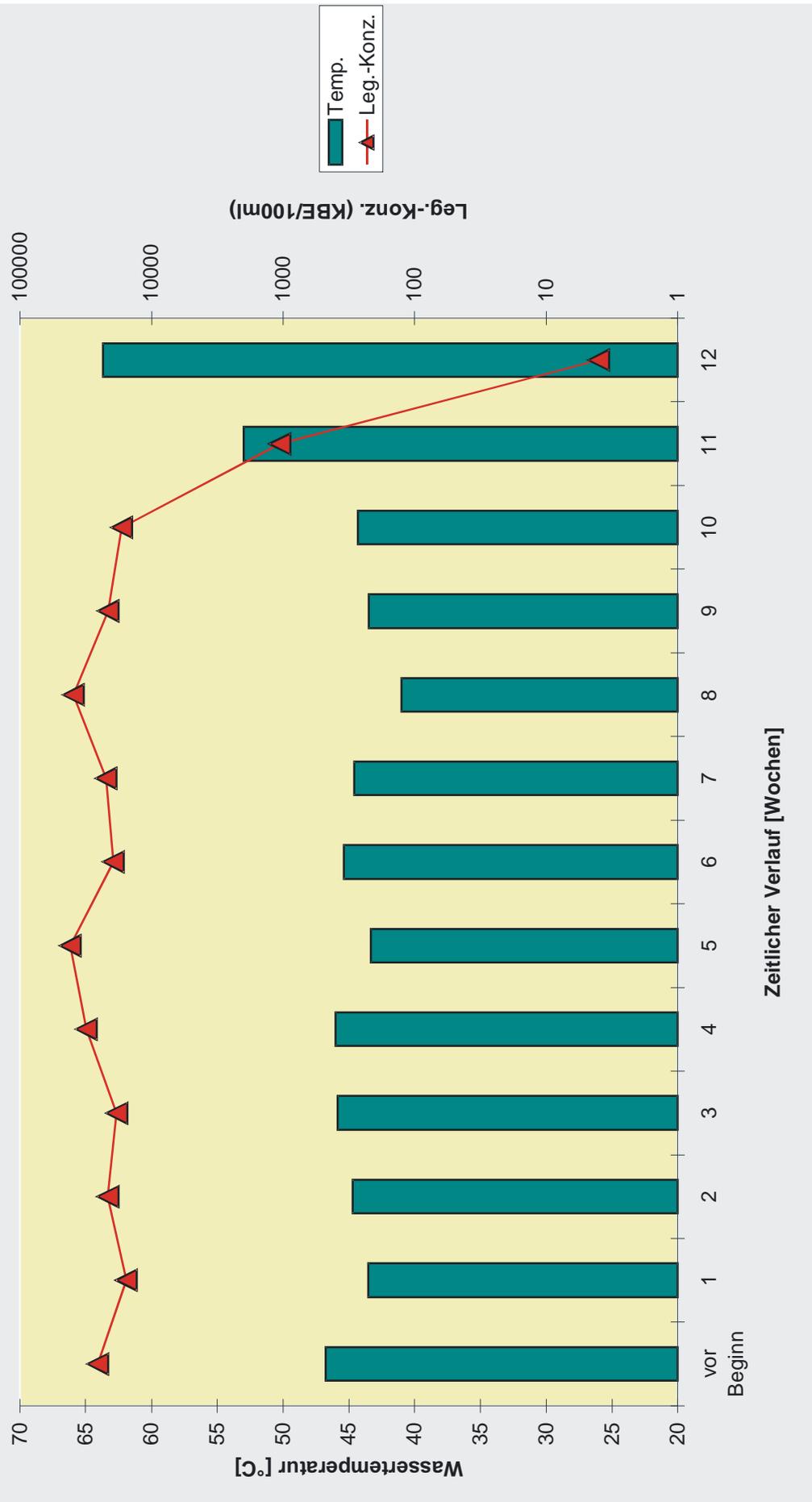
\* SB = Schwimmbad, KH = Krankenhaus, ÖG = Öffentliche Gebäude   = UV und Zirkulation (nachts) nicht in Betrieb

\*\*Sanierungsmaßnahmen: a = Temperaturanhebung, b = anodische Oxidation (Einbau der Elektroden im Zirkulationsrücklauf)  
 c = Ultraschall- und Ultraviolettbestrahlung (im Zirkulationsrücklauf), d = Ultraviolettbestrahlung (im Zirkulationsrücklauf)  
 \*\*\* Legionellenkonzentration unmittelbar vor und hinter den jeweiligen Geräten zur Legionellenbekämpfung

**Diagramm 3.1.9.3: Einfluß der Ag/Cu-Ionisation auf die Legionellenkonzentrationen in einer Trinkwassererwärmungsanlage (Mittelwerte der fünf Entnahmestellen)**



**Diagramm 3.1.9.4: Einfluß der Ag/Cu-Ionisation im Vergleich zur Wirksamkeit der Wassertemperatur auf die Legionellenkonzentration (Mittelwerte von n = 5 Entnahmestellen)**

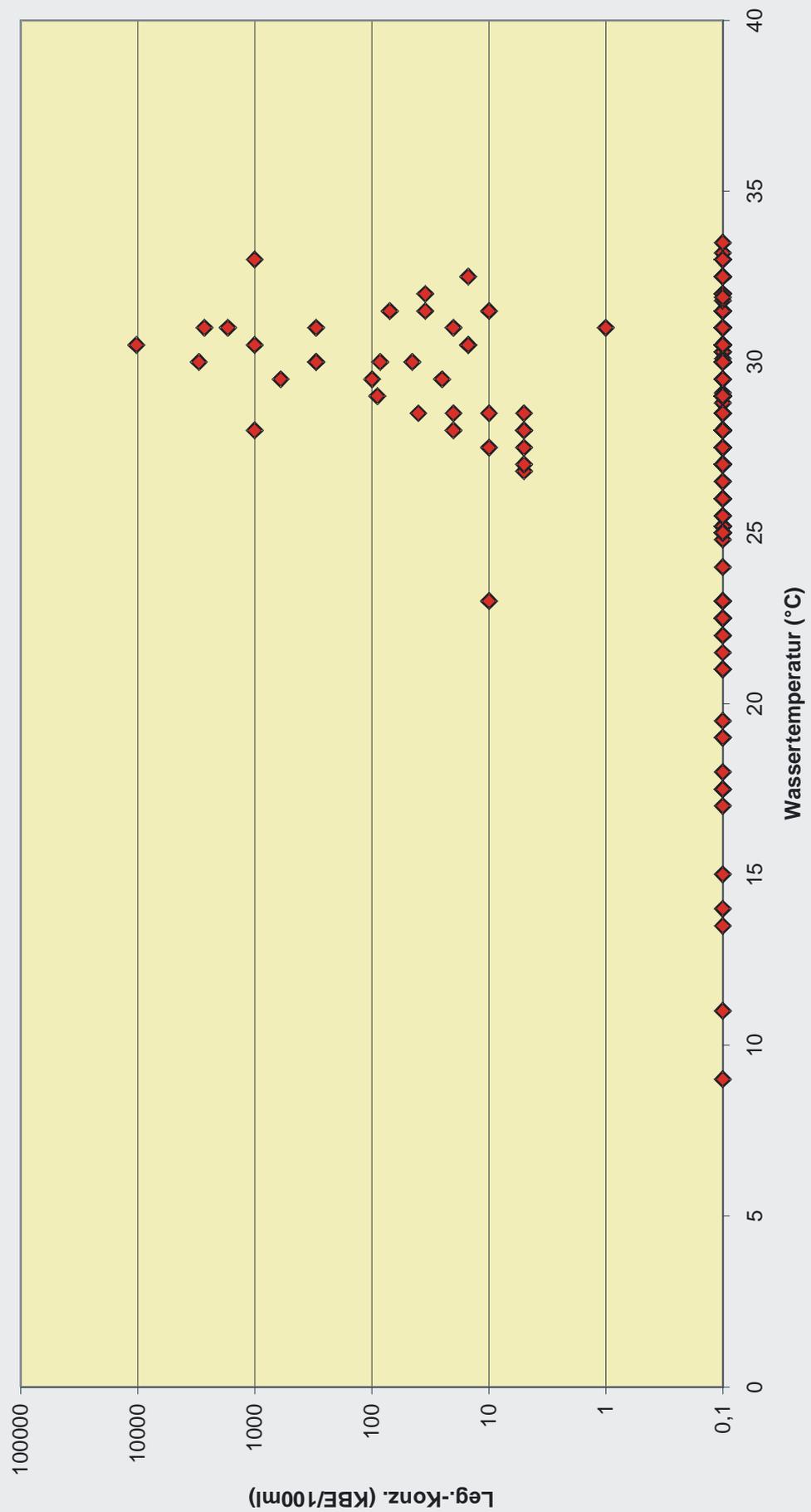


**Tabelle 3.2.2: Untersuchungen von Wasserproben aus 178 Badewasseraufbereitungsanlagen**  
Nachweis von Legionellen bei Erst- und Wiederholungsuntersuchungen, n = 625 Proben

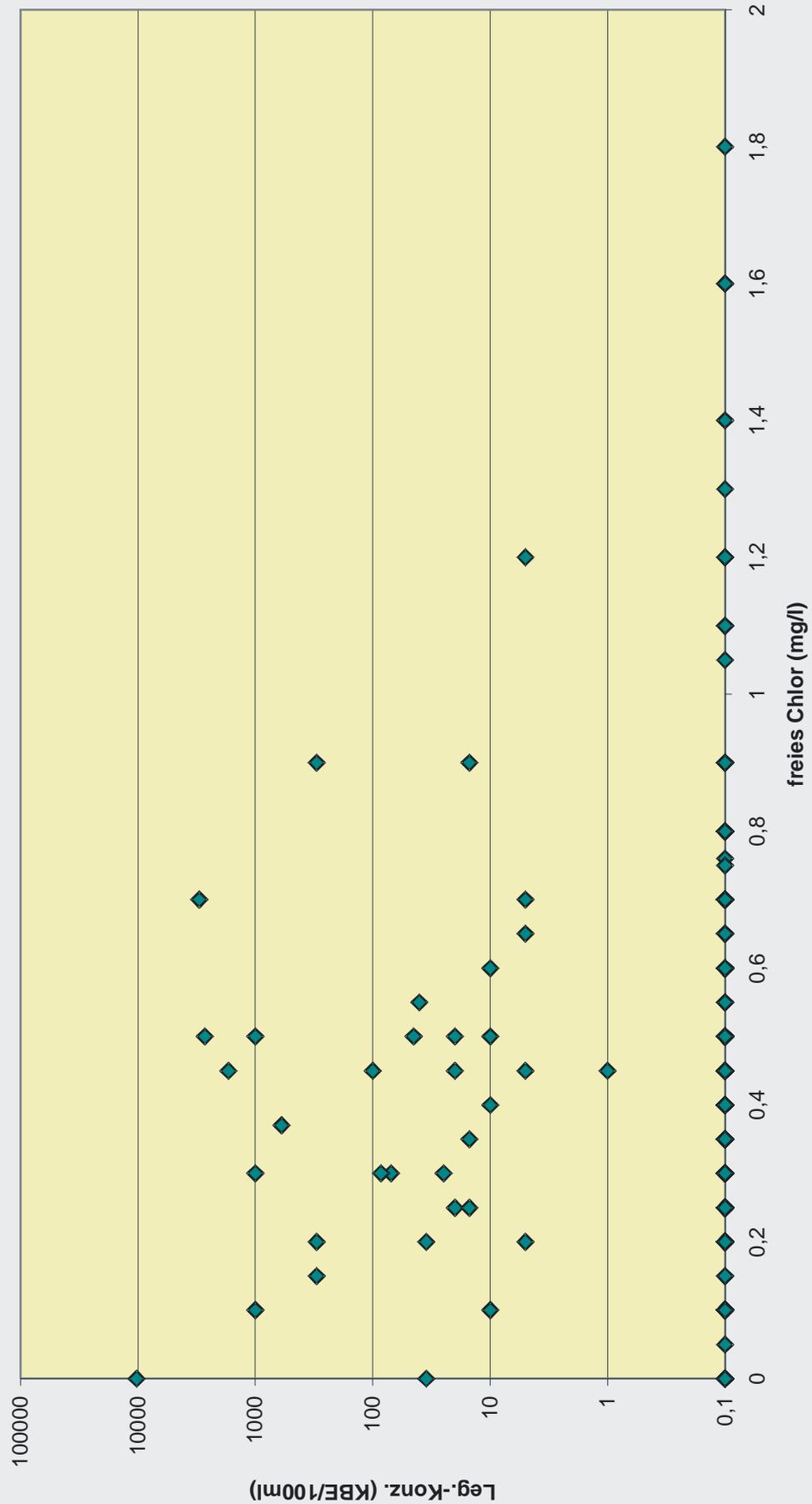
Objekt-Nr. (Anzahl)	Erstuntersuchung	Spannbreite Leg.-Konz. (KBE/100ml)			Nachweis in	Sanierung nach	*Art der Sanierung
		1. Kontrolle	2. Kontrolle	3. Kontrolle			
1 - 124 (124)	0				-	-	-
125 - 140 (16)	0	0			-	-	-
141 - 145 (5)	0	0	0		-	-	-
146 - 162 (17)	1 - 2.700				Filterat / Reinwasser / Beckenwasser		-
Einzelobjekt-Nr.	Erstuntersuchung	Leg.-Konz. (KBE/100ml)			Nachweis in	Sanierung nach	*Art der Sanierung
		1. Kontrolle	2. Kontrolle	3. Kontrolle			
163	10.300	300			Filterat	Erstuntersuchung	e + f
164	300	0			Reinwasser	Erstuntersuchung	e
165	400	900			Filterat	-	-
166	300	15			Filterat	Erstuntersuchung	e
167	0	10			Filterat	-	-
168	0	2			Filterat	-	-
169	0	1.400			Filterat	-	-
170	0	0	10		Filterat	-	-
171	0	0	29.000		Beckenwasser	-	-
172	0	0	50		Beckenwasser	-	-
173	0	2.300	0		Filterat	Erstuntersuchung	e
174	0	50	0		Filterat	Erstuntersuchung	e
175	0	0	50		Beckenwasser	-	-
176	50	600	0	0	Filterat	1. Kontrolle	e
177	0	0	0	400	Filterat	-	-
178	0	0	800	50	Filterat	2. Kontrolle	e

\*Sanierungsmaßnahme: e = fluidisierende Filterrückspülung  
f = Filterreinigung durch Fachfirma

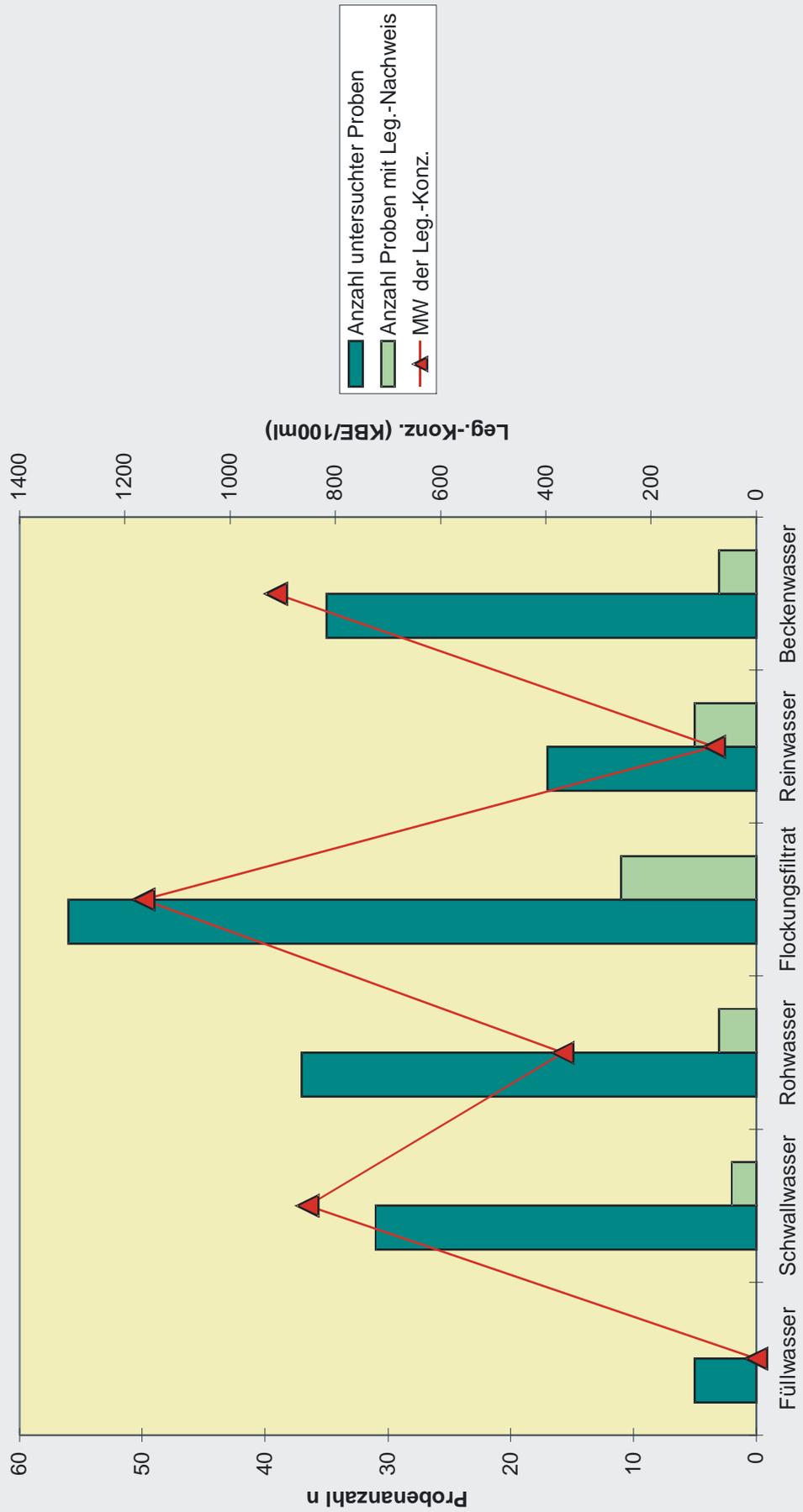
Diagramm 3.2.4: Legionellen in Badwasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Wassertemperatur (n = 267 Proben)



**Diagramm 3.2.5: Legionellen in Badwasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von der Chlorkonzentration (n = 262 Proben)**



**Diagramm 3.2.6: Nachweis von Legionellen in 37 Badwasseraufbereitungsanlagen in Abhängigkeit von den Aufbereitungsstufen (n = 181 Proben)**



**Tabelle 3.3.1: Wasserproben aus 65 raumlufotechnischen Anlagen**  
Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen, n = 126 Proben

Objekt	Leg.-Konz. (KBE/100ml)										Sanierung nach	Wartungsmaßnahmen*	Zeitraum (Tage) Wartung/Unters.**	kontinuierliche Desinfektion
	Erstuntersuchung	1. Kontrolle	2. Kontrolle	3. Kontrolle	3. Kontrolle	4. Kontrolle	5. Kontrolle	6. Kontrolle	6. Kontrolle	6. Kontrolle				
1 - 34	0										-	b	8	nein
35	1										-	b	-	nein
36 - 39	n.a. <sup>1)</sup>										-	k.A. <sup>4)</sup>	-	-
40 - 53	0	0									-	b	6 - 42	nein
54	4.000	0									Erstunt.	b	25	nein
55	0	100									Erstunt.	b	28	nein
56	0	2 <sup>3)</sup>									Erstunt.	b	6	nein
57	4.772	0									Erstunt.	b	9	nein
58	0	0	0								-	-	k.A. <sup>4)</sup>	nein
59	0	0	0	1.200	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
61	16.000	400	0	0	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
63	100	200	20.000	0	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
64	250	500	0	0	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a
65	1.500	0	0	18.000	0	0	0	0	0	0	3.Kontr.	b <sup>2)</sup>	2 - 3	a

\*Regelmäßig durchgeführte Wartungsmaßnahmen:

a = Zusatz eines Biozids    b = mechanische Reinigung

\*\* Zeitraum zw. letzter Wartung und Untersuchung

<sup>1)</sup> = aufgrund starker Begleitflora nicht auswertbar

<sup>2)</sup> = seit der Sanierung nach der 3. Kontrolluntersuchung

<sup>3)</sup> = Anlage seit mehreren Tagen abgeschaltet

<sup>4)</sup> = keine Angabe

**Tabelle 3.4.1.1: Untersuchungen von Wasserproben aus 12 Kühltürmen**  
Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen, n = 56 Proben

Objekt	Leg.-Konz. (KBE/100ml)												Desinfektion nach	* Art der Desinfektion	kontinuierliche Desinfektion
	Erstuntersuchung	1. Kontrolle	2. Kontrolle	3. Kontrolle	4. Kontrolle	5. Kontrolle	6. Kontrolle	7. Kontrolle	8. Kontrolle	9. Kontrolle	10. Kontrolle	11. Kontrolle			
1	0	5.500	>300.000	320									1. Kontr. 2. Kontr.	c d	nein
2	0	0											-	-	"
3	0	0											-	-	ja**
4	106.000	0	0	0	>300.000	500	0	0					Erstunt. 4. Kontr. 5. Kontr. 6. Kontr.	a a a b	nein
5	106.000	0	0	0	>300.000	1.000	0	200					Erstunt. 4. Kontr. 5. Kontr. 6. Kontr.	a a a b	"
6	129.000	0	0	0	>300.000	>300.000	0	0					Erstunt. 4. Kontr. 5. Kontr. 6. Kontr.	a a a b	"
7	>300.000	1.400	1.300	0	>300.000	385	150	0					Erstunt. 4. Kontr. 5. Kontr. 6. Kontr.	a a a b	"
8	0												-	-	-
9	0	0	>300.000	1.500	0	400							2. Kontr. 4. Kontr.	a b	-
10	0	0	45										-	-	-
11	40	2.950	7.500										-	-	-
12	195	20	5										-	-	-

\*Desinfektionsmaßnahmen: a = Stoßchlorung mit 5 mg/l freiem Chlor, b = Stoßchlorung mit 0,25 mg/l freiem Chlor  
c = Temperaturabsenkung von 30°C auf 25°C, d = mechanische Reinigung

\*\* = Zugabe eines Biozids (Labucid 193)

**Tabelle 3.4.1.2: Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 15 Rückkühlwerke  
(Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen)**

Objekt	Erstuntersuchung	Leg.-Konz. (KBE/100ml)			Sanierung nach	Art der Sanierung*	kontinuierliche Desinfektion
		1. Kontrolle	2. Kontrolle	3. Kontrolle			
1	135.000				-	-	nein
2	187.000				-	-	"
3	128.000				-	-	"
4	38.500				-	-	"
5	205.000				-	-	"
6	2.050				-	-	"
7	0				-	-	"
8	0				-	-	"
9	19.300	8.000			-	-	"
10	>300.000	0	0	>300.000	Erstunt.	e	"
11	23.800	150	800	>300.000	Erstunt.	e	"
12	5.000	650	0	0	Erstunt.	e	"
13	5.100	11.150	200	65	Erstunt. 1. Kontr.	e	"
14	36.000	10.100	100	25	Erstunt.	e	"
15	14.800	0	4.300	15	Erstunt.	e	"

\*Sanierungsmaßnahme: e = mechanische Reinigung mittels Hochdruck-Sprühlanze

**Tabelle 3.5.1: Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 12 zahnärztlichen Behandlungseinrichtungen**  
(Nachweis von Legionellen bei Erst- und Kontrolluntersuchungen, n = 112 Proben)

Objekt	Erstuntersuchung		Kontrolluntersuchungen		Proben mit pos. Leg.-Nachweis		Leg.-Konz. (KBE/100ml)		Leg. pneum. Serogruppe	kontinuierliche Desinfektion
	Anzahl der Proben	Anzahl	Anzahl	Proben	Erstunters.	Kontrollunters.	Erstunters.	Kontrollunters.		
1	7	2	2	15	0	0	0	0	-	ohne
2	7	2	2	15	0	0	0	0	-	ohne
3	6	1	1	4	0	0	0	0	-	ohne
4	6	1	1	4	1	0	2.800	0	L. spec.	ohne
5	4	-	-	-	1	-	158	-	4	ohne
6	5	-	-	-	1	-	2.100	-	L. spec.	ohne
7	4	-	-	-	2	-	4/6	-	L. spec.	ohne
8	4	-	-	-	0	-	0	-	-	ohne
9	1	-	-	-	0	-	0	-	-	ohne
10	4	1	1	4	2	3	12 1600	26 63 450	4 5 7 - 14 L. spec.	mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
11	4	1	1	4	4	4	4 5 15 118	13 15 32 33	2 3 5	mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
12*	5	1	1	1	2	0	30 273	0	4 5	mit H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
<b>Kaltwasser-Zuleitungen aus den Hausinstallationsystemen zu den Behandlungsstühlen</b>										
1 - 4**	1	1	1	1	0	0	0	0	-	-
5 - 8	4	-	-	-	0	-	0	-	-	-
11	1	-	-	-	0	-	0	-	-	-
12*	1	-	-	-	1	-	273	-	5	-

\* = selten genutzt (Reserveeinheit)

\*\* = Kaltwasser-Zuleitung zu den Objekten 1 - 4 usw.

**Tabelle 3.6.1: Ergebnisse der Untersuchungen von Wasserproben aus 5 verschiedenen technischen Systemen**  
(Nachweis von Legionellen und Bestimmung der allgemeinen Koloniezahl, n = 22 Proben)

Objekt	Erstuntersuchung Anzahl der Proben	Wiederholungsuntersuchungen		Wassertemperatur (°C) nach Ablauf	Allg. Koloniezahl (KBE/ml)		Legionellen (KBE/100 ml)	Leg. pneum. Serogruppe
		Anzahl der Unters.	Anzahl der Proben		bei 20°	bei 36°		
A	Wasserdstillationsanlage	nach Ablauf	peripher	56	0	0	0	-
		"	"	54,9	0	0	0	-
		"	"	54,9	0	450	0	-
B	Umkehrosrose	Sofortentnahme	peripher	-	0	1	0	-
		nach Ablauf	"	14	0	0	0	-
		"	zentral	19,2	0	0	0	-
C	KW-Leitungssystem	Sofortentnahme	peripher	-	2236	295	0	-
		nach Ablauf	peripher	10,8	5	5	82	4
		"	zentral	16	1	0	0	-
D	TW-Gewinnungsanlage 1	"	peripher	16	0	69	0	-
		nach Ablauf	Rohwasser	-	-	-	0	-
		"	"	-	-	-	0	-
E	TW-Gewinnungsanlage 2	"	Trinkwasser	-	-	-	0	-
		"	"	-	-	-	0	-
		"	"	-	-	-	0	-
E	TW-Gewinnungsanlage 2	nach Ablauf	Rohwasser	-	-	-	6	n.u.*
		"	Trinkwasser	-	-	-	0	-
		"	"	-	-	-	0	-
		"	"	-	-	-	0	-

\* n.u. = nicht untersucht (auf Wunsch des Auftraggebers keine weitergehende Differenzierung)

## Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. M. Exner danke ich dafür, dass er mich mit der Bearbeitung des vorliegenden Themas betraute. Seine Begeisterungsfähigkeit für die alltäglichen Probleme der Hygiene war ansteckend und sehr motivierend bei der Überwindung der „Durststrecken“, wie sie wohl in jeder Arbeit immer wieder auftauchen. Auch dafür ganz herzlichen Dank!

Für seine Bereitschaft die Betreuung dieser Arbeit zu übernehmen, sowie seine verständnisvolle Unterstützung möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Trüper ganz herzlich danken.

Den Herren Dr. B. Hengesbach und Dr. S. Engelhart danke ich für ihre ständige Bereitschaft für wissenschaftliche Diskussionen, ihre Anregungen und ihre konstruktive Kritik. Desweiteren sei Ihnen für ihre aufmerksame Unterstützung gedankt, stets den „Roten Faden“ nicht zu verlieren.

Herrn Dipl.-Biol. C. Koch danke ich für seine Hilfestellung bei der Aufbereitung der Daten und die vielen anregenden Diskussionen.

Frau Dorothee Lackner sei herzlich gedankt für den professionellen Beistand und ihre Geduld beim ständigen Kampf um klare Formulierungen, das Ausbügeln sprachlicher Schlaglöcher und den hilfreichen Ansporn bei der Überwindung von „Stagnationsphasen“.

Frau S. Engelhart, Frau B. Göing und Herrn F. Brändle sei gedankt für die unermüdliche und beständig gute Barbeitung des Untersuchungsmaterials im Labor und ihre Geduld, wenn „plötzlich noch ein paar Proben“ im Labor auf ihren Ansatz warteten.

Allen Mitarbeitern und Kollegen des Hygiene-Instituts möchte ich recht herzlich für die gute Zusammenarbeit und die Unterstützung danken, ohne die sich die Fertigstellung dieser Arbeit erheblich schwieriger gestaltet hätte.

Last but not least danke ich meiner Familie und meinen Freunden für ihre stete und ausdauernde Unterstützung, ihre Zusprache und ihren Optimismus, dass die Arbeit „ja jetzt endlich bald wohl fertig sei“. Danke!