

---

Aus dem Institut für Mikrobiologie und Krankenhaushygiene  
des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus,  
Lehrkrankenhaus der Medizinischen Fakultät Charité  
der Humboldt-Universität zu Berlin

DISSERTATION

**Legionellenprävention in  
Trinkwassererwärmungsanlagen –  
Literaturanalyse und Entwicklung eines  
technisch-wirtschaftlichen Konzepts für  
das Carl-Thiem-Klinikum in Cottbus**

Zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät Charité  
der Humboldt-Universität zu Berlin

von  
Liv Fünfgeld  
aus Bremen

---

---

Dekan: Prof. Dr. J.W. Dudenhausen

Gutachter: 1. Dr. med. habil. W. Bär  
2. Prof. Dr. med. E. Jacobs  
3. Prof. Dr. Henning Rüden

Datum der Promotion: 15. Februar 2002

---

---

Schlüsselwörter:

Legionella  
Prävention  
Trinkwassererwärmungsanlage  
Wirtschaftlichkeit

**Abstrakt:**

Legionellen sind stäbchenförmige Bakterien, die in nennenswerten Konzentrationen und als Krankheitserreger vorrangig in technischen Systemen in Erscheinung treten. Ziel dieser Arbeit ist es, die bisher erschienene Literatur sowohl aus dem mikrobiologisch-hygienischen Bereich als auch aus dem technischen Bereich zu sichten, zu vergleichen und auf dieser Basis, unter Berücksichtigung der ökonomischen Konsequenzen an dem konkreten Beispiel des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus, ein sinnvolles Konzept zur Legionellenprävention vorzuschlagen. Das Konzept ist so aufgebaut, daß es durch Betrachtung verschiedener Risikobereiche leicht auf andere Pflegeeinrichtungen oder auch Wohnanlagen bzw. Industriebetriebe übertragbar ist.

Regelmäßige Messungen werden von verschiedenen Arbeitsgruppen alternativ oder zusätzlich zu Präventionsmaßnahmen gefordert. In dieser Arbeit werden jährliche Messungen in jedem Kollektor zur Beurteilung des Gesamtsystems, 1/2-jährliche Kontrollen in den Gebäuden, in denen sich Pflegestationen befinden, und 1/4-jährliche Kontrollen in Bereichen mit hohem Risiko, wie zum Beispiel den Isolierzimmern der Hämatologie, empfohlen. Die tolerierten Grenzwerte variieren entsprechend des Risikobereiches, in dem sie auftreten.

Das in dieser Arbeit am Beispiel des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus dargestellte Präventionskonzept beruht *im wesentlichen* auf regelmäßigen Kontrollen und sieht die Durchführung einer differenziert angewandten Präventionsmaßnahme nur bei nachgewiesener erhöhter Belastung des Systems durch Legionellen vor. Hier hat sich die Dezentralisierung des Warmwassersystems mit Hilfe dezentral installierter Plattenwärmetauscher in das zentrale Heiznetz als die wirtschaftlichste der hygienisch sinnvollen Maßnahmen herausgestellt. Aber auch diese Art der Prävention entbindet nicht von den weiterhin durchzuführenden Kontrollmessungen - mindestens zur Qualitätssicherung.

Insgesamt bleibt jedoch jede Festlegung von Grenzwerten, jede Anwendung einer Präventionsmaßnahme immer ein Kompromiß zwischen dem technisch Machbaren und dem ökonomisch Realisierbaren. Große Studien, die hierzu detailliertere Auskunft geben könnten fehlen bis heute, so daß auch weiterhin jeder Betreiber einer Warmwasseranlage seine eigenen Festlegungen treffen muß.

---

---

Keywords:

Legionella  
prevention  
drinkingwater heating system  
economics

**Abstract:**

Legionella is a rod-shaped bacteria, that occur with priority in considerable numbers as well as pathogens concentration in technical systems. Target of this work is to sight the literature appeared so far both from the micro-biological-hygenic area and from the technical area to compare and on this base to suggest with consideration of the economic consequences by the concrete example Carl Thiem clinical center (Cottbus), a meaningful concept to the Legionella-prevention. The concept is structured by view of different risk areas and therefore easily portable to other nursing facilities or also housing estates and industrial companies.

Regular measurements are required by different working groups alternatively or additionally to prevention measures. Recommended in this work are annual measurements in each central warmwater line for the evaluation of the total system, 1/2-annual checks in the buildings with maintenance stations, and 1/4-annual checks within areas with high risk, like for example, the isolating rooms of the Haematology. The tolerated limit values vary according to the risk-area, in which they occur.

The prevention concept put up for Carl Thiem clinical center (Cottbus) has been based essentially on regular checks and more detailed means of prevention for areas with proven increased numbers of Legionella. Here the decentralization of the warm-water system by means of peripherally installed plate-type heat exchanger fed by the central heating network has proven to be the most economical and as well hygienically meaningful measure. Never the less, this concept of prevention does not relieve of the regularly check on Legionella - at least for quality assurance.

Altogether however each definition of Legionella limit values as well as each prevention concept always is a compromise between the technically feasible means and the economically realizable ones. Large studies, to gain more information on this problem are missing until today, so that further on each operator of a warm water system must find his own definitions out of the broad possibilities of regulations.

---

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>3</b>
1.1	Legionellaceae	3
1.2	Epidemiologie und Erkrankung	7
1.3	Technische Grundlagen der Trinkwassererwärmung	13
1.4	Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung	15
1.5	Herleitung der Aufgabenstellung	17
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODIK</b>	<b>19</b>
2.1	Analyse des Warmwassersystems des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	19
2.2	Nachweis von Legionellen im Trinkwassersystem	19
2.3	Wärmeverlustrechnung	19
2.4	Wirtschaftlichkeitsrechnung	22
2.5	Sensitivitätsanalyse zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung	23
<b>3</b>	<b>ERGEBNISBESCHREIBUNG</b>	<b>24</b>
3.1	Analyse des Warmwassersystems des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	24
3.2	Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	28
3.3	Meßkonzepte und Grenzwerte für Legionellen in der Literatur	28
3.4	Meßkonzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	33
3.5	Darstellung verschiedener Präventionsmaßnahmen	35
3.6	Mögliche Anwendung von Präventionsmaßnahmen im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	39
<b>4</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>54</b>
4.1	Legionellenmessungen und Grenzwerte	54
4.2	Präventionsmaßnahmen	56
4.3	Konzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus	61
4.4	Fazit	67
4.5	Ausblick	67
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>69</b>

---

## Vorwort

*„No hay cosa segura en esta vida“  
(spanisches Sprichwort)*

„Es gibt keine Sicherheit in diesem Leben“ sagt das spanische Sprichwort, das ganz genauso auch im Bereich der medizinisch-technischen Prävention gültig ist. Mediziner sind es gewohnt, mit dieser Tatsache zu leben. Techniker hingegen versuchen durch immer ausgefeiltere Lösungen, ein Höchstmaß an „technischer Sicherheit“ zu erreichen. Für mich als klinisch tätige Ärztin war es daher besonders interessant, mich in dem Grenzbereich zwischen Medizin, Technik und Ökonomie mit Herangehensweisen und Lösungsvorschlägen zu dem hygienischen Problem der Legionellenprävention in Trinkwassererwärmungsanlagen zu befassen.

## Danksagung

Ich danke besonders meinem Doktorvater Herrn Dr. med. habil. W. Bär, der sich nicht nur bereit erklärt hat, die Betreuung dieser Arbeit zu übernehmen, sondern mich während der Bearbeitungszeit kontinuierlich und auf vielfältige Weise unterstützt hat. Ohne sein Engagement und ohne seine Offenheit diesem im Grenzbereich der Medizin angesiedelten Thema gegenüber wäre die vorliegende Arbeit nicht zustande gekommen.

Ich danke weiterhin Herrn R. Croy für die sehr hilfreiche Unterstützung bei der Literaturrecherche und nicht zuletzt danke ich meinem Mann, der mir nicht nur in unzähligen Diskussionen die Denkweise der Technik verdeutlicht hat, sondern außerdem neben einem eigenen ausgefüllten Berufsleben immer wieder Zeit gefunden hat, sich um unsere drei kleinen Kinder zu kümmern, und mir damit den Rücken freigehalten hat, diese Arbeit fertigzustellen.

# 1 Einleitung

## 1.1 Legionellaceae

### 1.1.1 Entdeckungsgeschichte

Die Mehrzahl der klassischen bakteriell bedingten Infektionskrankheiten wurde bereits um die Wende zum 20. Jahrhundert beschrieben. Bei der Legionärskrankheit führte erst im Jahre 1976 eine Epidemie und die darauffolgende akribische Untersuchung zur Entdeckung des Krankheitserregers /68/: Vom 21. bis 24. Juli 1976 fand im Bellevue-Stratford-Hotel (Baujahr 1904, 700 Betten) in Philadelphia ein Treffen von 4400 amerikanischen Legionären statt, von denen 183 an einer rätselhaften Lungenentzündung erkrankten, in deren Verlauf 29 Patienten starben. Die Suche nach bekannten bakteriellen und viralen Erregern blieb zunächst erfolglos. Auch histopathologische Untersuchungen des Lungengewebes, Untersuchungen auf Schwermetalle und andere Gifte blieben ohne Ergebnis. Im Januar 1977 entdeckte Joseph Mc Dade von den Centers for Disease Control (CDC) in Atlanta/ USA stäbchenförmige Bakterien, nachdem er einen Anzuchtversuch für Rickettsien ohne die sonst zur Unterdrückung der Begleitflora eingesetzten Antibiotika unternommen hatte. Alle anderen Kultivierungsverfahren waren fehlgeschlagen. Daß die so nachgewiesenen Bakterien tatsächlich die gesuchten Erreger waren, konnte bald durch serologische Untersuchungen bestätigt werden: Mehr als 90% der während der Epidemie gesammelten Patientenserum reagierten im Immunfluoreszenztest mit den gezüchteten Mikroorganismen und zeigten den Anstieg des Antikörpertiters, der die spezifische Immunantwort beweist. Ausgehend von der beschriebenen Epidemie erhielten diese von Mc Dade entdeckten Bakterien ihre wissenschaftliche Bezeichnung „**Legionella pneumophila**“ /54/, /68/, /91/.

Rückblickend muß allerdings festgestellt werden, daß schon 1947 die erste Isolierung eines Legionella-Stammes aus dem Blut eines in Fort Bragg (USA) stationierten Soldaten gelungen war, der an einer fieberhaften Erkrankung, dem sogenannten „Fort Bragg-Fieber“, litt. 1959 wurde ein ähnlicher Keim ebenfalls aus dem Blut eines Patienten mit der Verdachtsdiagnose einer Pityriasis angezüchtet. In beiden Fällen gelang Rickettsiologen die Anzucht dieser zunächst als atypische Rickettsien angesehenen Keime über die Inokulation von Patientenblut in Meerschweinchen und der Anzucht im Dottersack von bebrüteten Hühnereiern /54/.

### 1.1.2 Der Erreger

Legionellen sind pleomorphe, gramnegative, fakultativ pathogene Stäbchenbakterien, die in Größe und Form *E.coli* ähneln. Sie sind obligat aerob und relativ thermotolerant. Bei einem Durchmesser von 0,2 - 0,9  $\mu\text{m}$  und einer Länge von 1-4  $\mu\text{m}$  zeigen sie ein teilweise filamentöses Wachstum und können durch eine monotriche Begeißelung eigene Beweglichkeit aufweisen /54/. Sie sind nicht in der Lage, Dauerformen wie z.B. Sporen auszubilden. Ihre schwache Anfärbbarkeit durch die Gramfärbung erklärt sich durch eine Fetthülle, die die Bakterienmembran umgibt. Legionellen vermehren sich langsamer als andere Stäbchenbakterien. Während coliforme Bakterien unter optimalen Bedingungen eine Generationszeit von ca. 20 min. aufweisen, liegt diese für Legionellen bei 2-3 Stunden /34/,/71/.

Bei keinem anderen humanpathogenen Bakterium ließen sich in so kurzer Zeit so viele neue Arten und immunologisch unterschiedliche Subtypen nachweisen, die alle der Bakterienfamilie **Legionellaceae** mit der momentan einzigen Gattung *Legionella* zugeordnet wurden. Der häufigste und auch nach heutigem Wissensstand pathogenste Keim dieser Gruppe ist **Legionella pneumophila** und hier vor allem die schon in Philadelphia isolierte Serogruppe 1. Sie ist für etwa 60% aller insgesamt beobachteten Infektionen verantwortlich. Weitere 30% werden von den übrigen Serogruppen der Art *Legionella pneumophila* verursacht /66/. Derzeit sind etwa 40 Legionellenarten mit 61 Serotypen bekannt, die etwa zur Hälfte als humanpathogen anzusehen sind (Tabelle 1: Legionella Spezies und SerogruppenSeite 5) /68/.

Die Einordnung von Bakterienstämmen in eine bestimmte Spezies beruht heute vor allem auf der Untersuchung molekularer Strukturen. Die Untersuchung der DNA-Ähnlichkeiten an Stämmen von *L. pneumophila* ergab eine Aufteilung in drei Gruppen, die als *L. pneumophila* ssp. *pneumophila*, ssp. *fraseri* und ssp. *pascullei* bezeichnet werden. Eine stärkere genetische Heterogenität bieten die anderen Spezies innerhalb der Gattung *Legionella*. Hier fehlt die molekular definierte Grundlage. Als Beispiel seien die prozentualen DNA-Ähnlichkeiten genannt, die zwischen *L. pneumophila* und *L. longbeachae* 8%, zwischen *L. pneumophila* und *L. gormanii* nur 1% betragen. Der Oberbegriff *Legionella* ist also phänotypisch, nicht aber genotypisch bedingt /91/.



Tabelle 1: Legionella Spezies und Serogruppen

Legionella-Spezies	Anzahl der Serotypen	Pathogenität	Legionella-Spezies	Anzahl der Serotypen	Pathogenität
<b>Legionella pneumophila</b>	15	+	„LLAP“	1	+
<b>Legionella adelaidensis</b>	1	-	<b>Legionella londiniensis</b>	1	-
<b>Legionella anisa</b>	1	+	<b>Legionella longbeachae</b>	2	+
<b>Legionella birminghamensis</b>	1	+	<b>Legionella maceachernii</b>	1	+
<b>Legionella bozemanii</b>	2	+	<b>Legionella micdadei</b>	1	+
<b>Legionella brunensis</b>	1	-	<b>Legionella moravica</b>	1	-
<b>Legionella cincinnatiensis</b>	1	+	<b>Legionella nautarum</b>	1	-
<b>Legionella cherrii</b>	1	-	<b>Legionella oakridgensis</b>	1	+
<b>Legionella dumoffii</b>	1	+	<b>Legionella parisiensis</b>	1	-
<b>Legionella erythra</b>	2	-	<b>Legionella quateirensis</b>	1	-
<b>Legionella fairfieldensis</b>	1	-	<b>Legionella quinlivanii</b>	2	-
<b>Legionella feeleii</b>	2	+	<b>Legionella rubrilucens</b>	1	-
<b>Legionella geestiana</b>	1	-	<b>Legionella sainthelensis</b>	2	-
<b>Legionella gormanii</b>	2	+	<b>Legionella santicrucis</b>	1	-
<b>Legionella gratiana</b>	1	-	<b>Legionella shakespearei</b>	1	-
<b>Legionella hackeliae</b>	2	+	<b>Legionella spiritensis</b>	1	-
<b>Legionella israelensis</b>	1	-	<b>Legionella steigerwaltii</b>	1	-
<b>Legionella jamestowniensis</b>	1	-	<b>Legionella tucsonensis</b>	1	+
<b>Legionella jordanis</b>	1	+	<b>Legionella wadsworthii</b>	1	+
<b>Legionella lansingensis</b>	1	+	<b>Legionella worsleiensis</b>	1	-

### 1.1.3 Vorkommen in der Natur

Legionellen sind typische Feucht- oder Wasserkeime. Man findet sie hauptsächlich in Oberflächengewässern wie Flüssen, Seen, Teichen und im Schlamm. Von hier gelangen sie in das oberflächennahe Grundwasser, wo sie jedoch im allgemeinen nur in geringen Konzentrationen von wenigen KBE/l nachgewiesen werden. Alle Legionellen sind gegen Kochsalz sehr empfindlich, so daß sie in Salz- und Seewasser nicht vorkommen. Der Temperaturbereich, in dem sie gefunden werden, ist extrem breit. Man hat sie ebenso aus Wasser unter der Eisdecke von Flüssen wie aus den heißen Quellen des Yellowstone-Nationalparks noch bei 63°C isolieren können. Ein hohes Nährstoffangebot ermöglicht ihre Vermehrung bereits bei 5°C, doch ihre

optimale Vermehrungstemperatur liegt zwischen 35°C und 42°C. Temperaturen bis zu 50°C können sie sehr lange tolerieren. Hier beträgt die dezimale Reduktionszeit mehrere Stunden. Bei 55 °C beträgt sie noch ca. 20 Minuten und bei 60°C 2 Minuten.

Legionellen können auch in einer nährstoffarmen Umgebung überleben. Sie sind zwar asaccharolytisch, besitzen jedoch hochaktive Proteasen, mit denen sie Eiweißstoffe abbauen und als Nahrungsgrundlage verwenden können. Sie leben von abgestorbenen Mikroorganismen wie auch von höheren Pflanzen. Mit Fischerella-Algen z.B. existieren sie in Symbiose. Wie alle anderen Bakterien werden sie von Protozoen wie Amöben, Geißel- oder Wimpertierchen inokuliert. Doch werden sie von diesen Protozoen nicht abgetötet, sondern können intrazellulär überleben und sich vermehren. Diese Eigenschaft korreliert eng mit der Pathogenität der einzelnen Arten /71/. Allerdings ist intrazelluläres Wachstum nicht essentiell für die Vermehrung von **Legionella pneumophila**. Daher kann man auch nicht davon ausgehen, daß ein protozoenfreies Wassersystem das Wachstum von Legionellen verhindern könnte /58/.

### 1.1.4 Vorkommen in technischen Systemen

Hohe Legionellenkonzentrationen und damit ein relevantes Infektionsrisiko entstehen nur in technischen Systemen wie Warmwasserinstallationen, Warmsprudelbecken und Wäscherraumlufttechnischer Anlagen /71/, aber auch in z.B. Beregnungsanlagen, die eine verdeckte Quelle darstellen können. Da mit der natürlichen Trinkwasseraufbereitung keine Inaktivierung erfolgt, gelangen die Legionellen in geringer, ungefährlicher Konzentration über die Trinkwasserversorgung in die Hausinstallation. Im Warmwasserbereich kann es zu einer starken Vermehrung kommen, was jedoch nicht zwangsläufig ist. Verschiedene Faktoren, die das Legionellenwachstum begünstigen, wie z.B. ein Temperaturbereich zwischen 30° und 50°C, das Vorkommen von Inkrustationen, stagnierendes Wasser etc. sind beschrieben worden. Die genauen ökologischen Zusammenhänge, die bedingen, daß es zu einer exzessiven Legionellenvermehrung kommt, sind allerdings bis heute nicht befriedigend erklärt. Es ist weiterhin unklar, warum manche theoretisch überaus legionellenfreundliche Warmwassersysteme über Jahre quasi legionellenfrei bleiben und es in anderen, theoretisch weniger legionellenfreundlichen Systemen, immer wieder zu teilweise sehr hohen Kontaminationen kommt. Untersuchungen verschiedener Autoren zeigen, daß das Vorkommen von Legionella ssp. in Warmwasseranlagen je nach Studiendesign bzw. örtlichen Gegebenheiten sehr unterschiedlich sein kann. Die positiv gefunden Proben schwanken zwischen 10% und 90% der untersuchten Proben (Tabelle 2: Nachweis von Legionellen in warmem Trinkwasser, Seite 7).

Innerhalb von Trinkwasseranlagen findet man Legionellen sowohl in den Warmwasserspeichern als auch in den Rohrleitungen. Sie sind frei im Wasser suspendiert oder haften auf einem Biofilm, auf dem sie sich entwickeln und vermehren. Inkrustationen und Vertiefungen der Rohrrinnenflächen werden bevorzugt besiedelt. Nach Untersuchungen von Prof. H. Baumann zeigen Legionellen ein überraschendes Geschick, ihre Strukturen zu verändern und sich ungünstigen Umweltbedingungen anzupassen. Nach Behandlung einer Rohrrinnenfläche mit einer toxisch wirkenden Substanz veränderte die untersuchte Legionellenkultur den Biofilm und formte daraus eine neue pilzartige biogene Masse, welche die Legionellenbrut vor dem Kontakt mit der

toxisch wirkenden Substanz schützte. Die Bakterien lagerten sich in Gruppen zusammen, bildeten Kugeln, Ketten und Fäden mit Granulationskernen /7/.

Tabelle 2: Nachweis von Legionellen in warmem Trinkwasser

Autor	Land	Gebäudeart	Anzahl der Proben	Positive Proben in %	Quelle
Arnow	USA / Chicago	gemischt		32 %	/4/
Müller	BRD	Wohnhäuser	95 10 55	32 % 90 % 11 %	/70/
		Krankenhäuser	103 72 40	70 % 63 % 70 %	/70/
Müller	BRD	Altersheime	79	20 %	/71/
		Bürogebäude	57	30 %	/71/
		Hallenbäder	84	36 %	/71/
		gemischt	9	56 %	/71/
		Hotels	62	18 %	/71/
		gemischt	52	33 %	/71/
		gemischt	104	53 %	/71/
		Schulen	11	36 %	/71/
Pietsch	BRD	26 Krankenhäuser	53	69,8 %	/77/
Seidel	BRD	gemischt	1415	39,4 %	/98/

## 1.2 Epidemiologie und Erkrankung

### 1.2.1 Epidemiologie

Im Verhältnis zum ubiquitären Vorkommen von Legionellen in der Umwelt ist die Erkrankung an einer Legionellenpneumonie als eher selten zu bezeichnen. Angaben hierzu sind in der Literatur sehr different. Immerhin gelangen vier unterschiedliche Hochrechnungen unabhängig voneinander zu ganz ähnlichen Ergebnissen. Schätzungen für die alten Bundesländer (es fehlen eindeutige epidemiologische Daten für Gesamtdeutschland) gehen davon aus, daß 6000 bis 7000 Erkrankungen und bis zu 1000 Todesfälle pro Jahr durch Legionellen-Pneumonien verursacht werden. Das ergibt sich aus folgenden Ansätzen /71/:

1. In den USA wurde eine Morbidität von 12 Patienten auf 100.000 Einwohner und eine Letalität von 15 - 20% ermittelt. Bezogen auf die alten Bundesländer ergeben sich daraus etwa 7.200 Legionellosen und 1.100 bis 1.400 Todesfälle pro Jahr.

2. In den alten Bundesländern sterben jährlich etwa 15.000 bis 20.000 Menschen an einer Lungenentzündung. Bei einem Legionellenanteil von 4-14% sind das 600 bis 2.800 durch Legionellen bedingte Todesfälle und entsprechend 4.000 bis 14.000 schwere Erkrankungen.

3. In einer Prospektivstudie von Lode, Schäfer und Ruckdeschel wurden im 1.300-Betten-Klinikum Berlin-Steglitz innerhalb eines Jahres 11 Patienten mit Legionellose diagnostiziert. Durch Hochrechnung auf die etwa 650.000 stationären Betten in den alten Bundesländern gelangt man zu 5.500 Legionellosen und zu 800 bis 1.100 Todesfällen.

4. Da etwa 1-2% der Gesamtbevölkerung signifikant erhöhte **Legionella-Antikörper** besitzen, die innerhalb eines Jahres wieder verschwinden, errechnen sich für die alten Bundesländer jährlich rund 0,6 - 1,2 Millionen **Legionella-Infektionen**. Davon verlaufen die allermeisten inapparent, wie verschiedentlich belegt ist. Übernimmt man ferner eine Schätzung aus den USA über jährlich etwa 250.000 klinisch manifeste Infektionen, so gelangt man durch Übertragung für die alten Bundesländer auf 60.000 Erkrankungen. Also nur etwa 5 - 10% aller Infektionen führen zu einer manifesten Erkrankung, und mit einer weiteren Annahme einer Rate von 10% für schwere Verläufe sind das 6000 Fälle von Legionärskrankheit und wiederum entsprechend 900 - 1.200 Todesfälle /71/.

Verschiedene andere Untersuchungen zeigen, daß Legionellen insgesamt an zweiter oder dritter Stelle der häufigsten bakteriellen Pneumonieerreger nach Pneumokokken und Haemophilus influenzae stehen /57/,/92/. Bei den nosokomialen Pneumonien wird der Anteil an durch Legionellen verursachten Pneumonien sehr different angegeben. In einer Untersuchung des Krankenhaus- Infektions-Surveillance-Systems (Kiss) vom Mai 2000 werden nosokomiale Legionellenpneumonien unter sonstigen Erregern subsummiert, d.h. in weniger als 1% der nosokomialen Pneumonien diagnostiziert, während in anderen Arbeiten der Anteil mit bis zu 25% angegeben wird. Eine Erklärung wäre, daß Legionellosen in endemischen geographischen Gebieten gehäuft auftreten, beziehungsweise die Schwankungen auf unterschiedliche Diagnostik zurückzuführen sind /114/.

Während epidemische Ausbrüche der Legionärskrankheit häufig erhebliche Publizität finden, tritt die Mehrzahl der Legionellosen sporadisch, d.h. ohne epidemiologisch faßbaren Zusammenhang mit anderen Erkrankungsfällen auf. Die wichtigsten in der Literatur publizierten Epidemien sind in Tabelle 3: Publierte Ausbrüche der Legionärskrankheit 1957 - 2000, Seite 9 zusammengefaßt.

### 1.2.2 Pathogenese

In der Regel erfolgt die Infektion mit Legionellen über kontaminierte Warmwassersysteme. Eine Übertragung von Mensch zu Mensch ist nicht bekannt. Nach heutigem Kenntnisstand ist die Inhalation lungengängiger, kontaminierter Aerosole (Partikelgröße  $< 5 \mu\text{m}$ ) der wichtigste Übertragungsweg. Aspiration und/ oder Ingestion von kontaminiertem Wasser wie auch Wundinfektionen nach direktem Kontakt werden ebenfalls als Möglichkeiten der Übertragung diskutiert. Menschen mit ungestörtem Immunsystem erkranken seltener durch Legionellen. Ein er-

höhtes Risiko besteht z. B. für Menschen über 50 Jahre, Raucher und Patienten mit Diabetes mellitus, malignen Tumoren, einer chronischen Lungenerkrankung, bei Alkoholismus und anderen Immunschwächezuständen /91/.

Über die Virulenz und die Zahl der zur Auslösung einer Legionellose notwendigen Keimzahl ist nur wenig bekannt. Man muß davon ausgehen, daß die Virulenzunterschiede der einzelnen Stämme sehr groß sind und daß die hoch virulenten Stämme nur relativ selten vorkommen. Nach Exner /38/ dürften in diesen Fällen schon ganz geringe Keimzahlen für eine Infektion ausreichen. Eine Unterscheidung bei Umweltisolaten in hoch-, gering- oder avirulente Stämme durch eindeutige genetische und/ oder phänotypische Marker zur besseren Abschätzung des hygienischen Risikos ist bis heute nicht möglich. Hierzu sind bisher nur Tiermodelle oder Zell- bzw. Protozoenkulturen begrenzt in der Lage /67/.

Tabelle 3: Publierte Ausbrüche der Legionärskrankheit 1957 - 2000

<b>Jahr</b>	<b>Ort</b>	<b>Anzahl der exponierten Personen</b>	<b>Erkrankungen / Todesfälle</b>	<b>Infektionsquelle</b>
1957	USA, Austin	k. A.	78 / 3	k. A.
1965	USA, Washington D.C.,	k. A.	81 / 14	k. A.
1968	USA, Pontiac, Gesundheitsamt	k. A.	149 / 0	Klimaanlage
1968	Spanien, Benidorm, Hotel	k. A.	86 / 3	k. A.
1973	Spanien, Benidorm	164	10 / 3	k. A.
1974	USA, Philadelphia	392	20 / 2	k. A.
1976	USA, Philadelphia, Hotel	4400	221 / 29	Klimaanlage
1977	USA, Burlington	k. A.	42 / 14	k. A.
1977	USA, Kingsport	1440	27 / 3	k. A.
1978	USA, Memphis	k. A.	44 / 7	k. A.
1979	Schweden, Västeras, Kaufhaus	k. A.	68 / 1	k. A.
1980	USA, Burlington	k. A.	85 / 16	k. A.
1980	Italien, Lido di Sav., Hotel	94	23 / 2	k. A.
1980	USA, San Francisco	1000	14 / 1	k. A.
1980	GB, Klinik	k. A.	8 / 3	Heißwassersystem
1980	Spanien, Benidorm, Hotel	k. A.	25	k. A.
1981	Canada, Windsor	k. A.	317 / 0	k. A.
1981	BRD, Ahlen, Hotel	k. A.	4 / 1	k. A.
1981	USA, Iowa, Klinik	k. A.	24 / 10	Heißwasseranlage
1982	USA, Rochester	23	14 / 0	k. A.
1982	USA, Upstate NY, Klinik	k. A.	7 / 0	Heißwasseranlage

Tabelle 3: Publierte Ausbrüche der Legionärskrankheit 1957 - 2000 (Fortsetzung)

Jahr	Ort	Anzahl der exponierten Personen	Erkrankungen / Todesfälle	Infektionsquelle
1982	Frankreich, Paris, Klinik	k. A.	47 / 16	k. A.
1983	USA, Providence	k. A.	15 / 10	k. A.
1983	Frankreich, Paris, Klinik	k. A.	47 / ?	k. A.
1984	GB, Glasgow, Klinik	k. A.	15 / 5	k. A.
1984	GB, Hotel	k. A.	16 / 0	Whirlpool
1985	USA, Michigan	380	15 / 3	k. A.
1985	GB, Stafford, Klinik	k. A.	163 / 39	Kühlturm
1985	GB, Klinik	k. A.	68 / 22	Kühlturm
1987	BRD, Rehabilitationsklinik	k. A.	24	k. A.
1987	Australien, Wollongong, Einkaufszentrum	k. A.	44 / 9	k. A.
1987	GB, Loch Goilhead	187	170 / 0	k. A.
1987	GUS, Armavir, Fabrik	k. A.	ca. 200 / ?	k. A.
1988	BRD, Klinik	k. A.	24 / 7	k. A.
1988	GB, Büro	k. A.	70 / 3	Kühlturm
1988	Spanien, Barcelona	k. A.	56 / 7	k. A.
1988	GB, London, Rundfunkanstalt	k. A.	43 / 2	k. A.
1989	BRD, Reha-Klinik	k. A.	10 / 3	Heißwassersystem
1989	GB, Stadtzentrum	k. A.	29 / 5	Kühlturm
1989	GB, Klinik	k. A.	10 / 2	Heißwassersystem
1989	Spanien, Barcelona	k. A.	56 / 7	k. A.
1989	USA, Bogalusa	k. A.	33 / 2	Luftbefeuchter
1989	Brasilien, Sao Paulo, Nierentransplantationseinheit	k. A.	8	Heißwassersystem
1990	GB, London, BBC-Gebäude	k. A.	80 / 4	k. A.
1990	BRD, Nord-Bayern, Reha-Klinik	k. A.	10 / 3	k. A.
1994	USA, Delaware	k. A.	29 / ?	Kühlturm
1995	USA, Kreuzfahrtschiff Horizon,	k. A.	20 / 0	Whirlpool
1996	Frankreich, Spanien, Campingplätze	k. A.	6 / ?	k. A.
1997	BRD, Rheinkreuzfahrt	k. A.	6 / 0	k. A.
1998	Spanien, Hotel	k. A.	6 / 1	k. A.
1998	Australien, Sydney	k. A.	5 / ?	Klimaanlage

Tabelle 3: Publiizierte Ausbrüche der Legionärskrankheit 1957 - 2000 (Fortsetzung)

Jahr	Ort	Anzahl der exponierten Personen	Erkrankungen / Todesfälle	Infektionsquelle
1998	USA, Maryland, Baltimore	k. A.	3 / 1	unbekannt
1999	Niederlande, Bovenkarspel, Blumenausstellung,	77.061	242 / 23	Whirlpool und Springbrunnen
1999	USA, Maine, Hulls Cove	k. A.	? / 1	unbekannt
1999	Belgien, Capellen, Haushaltswarenausstellung	50.800	88 / 4	Ausstellungswirlpool
1999	Spanien, Ibiza, Resort Hotel	k. A.	3 / ?	k. A.
1999	GB, Süd-Wales	k. A.	4 / ?	unbekannt
1999	USA, Maryland, Havre de Grace, Klinik	k. A.	5 / 4	Warmwasserspeicher
99/00	GB, Cardiff, Hotel	k. A.	5 / 2	Ultraschall-Luftbefeuchter
2000	Australien, Melbourne, Aquarium	83.500	107 / 4	Kühlturm

Quellen: /6/, /8/, /9/, /16/, /19/, /20/, /21/, /22/, /23/, /34/, /36/, /37/, /40/, /45/, /46/, /53/, /63/, /69/, /73/, /74/, /76/, /81/, /83/, /84/, /86/, /91/, /104/, /106/, /109/, /117/  
k. A.: keine Angaben

In der Umwelt dienen den Legionellen Amöben und andere einzellige Organismen als Wirte. Diese infizierten Amöben sind für die Übertragung wichtig, da Legionellen spezielle Virulenzfaktoren, die für eine aerogene Infektion des Menschen benötigt werden, erst intrazellulär anschalten. Die Infektion über Legionellen-infizierte Amöben erklärt auch das bekannte Dosis-Wirkungs-Paradox beim Auftreten von Legionellose. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, daß nicht notwendigerweise Infektionen durch kontaminierte Wassersysteme auftreten müssen, während andererseits bei niedrigen Legionellenkeimzahlen solche Infektionen zu finden sind /66/, /118/.

Eine Infektion mit Legionellen kann zum Pontiac-Fieber, einer leichteren akuten Infektion des Respirationstrakts, oder zur Legionärskrankheit, einer in 10 - 20% der Fälle tödlich verlaufenden Pneumonie führen. Welche Voraussetzungen einmal diese, einmal jene Verlaufsform bedingen, ist bis heute nicht eindeutig geklärt. In beiden Fällen ist *L. pneumophila* Serogruppe 1 der am häufigsten isolierte Keim. Da das gleichzeitige Auftreten beider Formen nach Exposition am gleichen Warmwassersystem beschrieben wurde, ist ein stammbedingter Virulenzunterschied als alleinige Ursache wenig wahrscheinlich. Eine Reihe von Besonderheiten bei der Legionellenübertragung könnte hingegen mit der „little and large particle“-Theorie von T.J. Rowbotham /90/ erklärt werden. Diese Theorie basiert darauf, daß Legionellen sich in Amöben oder anderen Einzellern vermehren und von dort als infektiöse Legionellen in das Wasser gelangen. Werden nun viele einzelne Legionellen (little particles) inhaliert, so entsteht das Pontiac-Fieber. Bei Aufnahme einer mit Legionellen gefüllten Amöbe (large particle) kommt es dagegen zur

Legionellenpneumonie. Dies würde auch erklären, warum die Legionellenpneumonie typischerweise mit einem Lungenherd beginnt. Ein diffuses Aerosol müßte eigentlich eine multifokale Pneumonie zur Folge haben. Andererseits läßt sich mit dieser Theorie nicht erklären, warum in vielen Epidemien eine der beiden klinischen Erscheinungsformen der Legionellose überwiegt. Es ist schwer vorstellbar, daß in einem Wassersystem eine klare zeitliche Trennung von suspendierten Legionellen und kontaminierten Amöben besteht /67/.

### 1.2.3 Klinik

Das Pontiac-Fieber befällt in seiner epidemischen Verlaufsform bis zu 95% aller dem Erreger exponierten bislang gesunden Personen. Es hat eine kurze Inkubationszeit von ca. 1-3 Tagen und geht mit hohem Fieber, aber keiner Pneumonie und keinen röntgenologisch nachweisbaren Lungenveränderungen einher. Nach wenigen Tagen erfolgt die Ausheilung ohne bleibende Gesundheitsschäden. Es entwickelt sich eine gewisse Immunität gegenüber dem Erreger. Antikörper sind ca. ein Jahr lang nachweisbar.

Die Legionellenpneumonie, die eigentliche Legionärskrankheit, hat eine Inkubationszeit zwischen 2 und 10 Tagen. Bei nosokomialen Legionellosen können die zeitlichen Abläufe allerdings anders sein. Das klinische Bild ist vielgestaltig. Zwei Gruppen lassen sich abgrenzen. Die leichtere Form besteht in einer eher milden, nicht sehr rasch progressiven Pneumonie mit nur geringer extrapulmonaler Beteiligung. Die zweite Form zeigt schnell fortschreitende pulmonale Infiltration mit schwerer Hypoxämie und erheblichen extrapulmonalen Manifestationen. Erste klinische Anzeichen sind akut auftretendes Fieber, Schüttelfrost, trockener Husten, Luftnot, Glieder- und Kopfschmerzen. Zumeist besteht eine relative Bradycardie, die als wichtiger differentialdiagnostischer Hinweis gilt /91/. Neurologische Komplikationen der Legionärskrankheit treten bei über 40% der Patienten auf, wobei neben Orientierungs- und Kommunikationsstörungen, Enzephalitiden, periphere Neuropathien, aber auch Hirnstamm- und cerebelläre Dysfunktionen oder Hirnabszesse vorkommen können. Nicht selten findet sich auch eine Beteiligung des Herzens. Neben akuter Niereninsuffizienz weisen interstitielle Nephritis, Glomerulonephritis oder eine Hämaturie auf die renale Beteiligung hin. Weiterhin kann die Legionärskrankheit mit massiver Diarrhoe, Colonabszessen oder einer akuten Pankreatitis einhergehen. Nach heutigem Erkenntnisstand werden die beschriebenen extrapulmonalen Organschädigungen wahrscheinlich nicht durch den Erreger selbst, sondern durch bakterielle Endo- und Exotoxine vermittelt /93/.

Die radiologischen Zeichen der Legionärskrankheit erweisen sich im Vergleich mit anderen durch Pneumokokken, Mykoplasmen oder Chlamydien ausgelöste Pneumonien als unspezifisch. Wenngleich gelegentlich über klinisch-chemische Veränderungen wie z.B. Hyponatriämie als charakteristisch für die Legionellenpneumonie berichtet wird, so bleiben auch diese letztlich unspezifisch und können dem Kliniker nur Hinweis, nicht aber Beweis sein. In der Folge einer Legionellose kann sich eine Lungenfibrose entwickeln. Bei immundefizienten Patienten zum Beispiel mit schweren Grunderkrankungen muß mit einer Letalität bis zu 80% gerechnet werden /66/. Aber auch bei vorher Gesunden zeigt die Legionärskrankheit eine Letalität zwischen 10% und 20% /2/, /116/. Bei nosokomialen Legionellosen kann die rein infektionsbedingte Letalität



lität auf 30% und mehr ansteigen. In ihrer Schwere ist die Legionärskrankheit also einer Pneumokokkenpneumonie vergleichbar. Nach überstandener Pneumonie findet man häufig eine lange Rekonvaleszenzphase. Dennoch kommt es in den meisten Fällen zur völligen Ausheilung /66/.

### 1.2.4 Therapie

Die intrazelluläre Vermehrungsmöglichkeit der Legionellen erklärt die schlechte in-vivo-Wirksamkeit vieler antibakterieller Substanzen trotz nachgewiesener in-vitro-Empfindlichkeit. Deshalb kann nur von den Antibiotika eine Wirkung erwartet werden, die sich in ausreichender Konzentration auch intrazellulär anreichern; das sind z.B. Erythromycin und Rifampicin. Zur Zeit wird eine Behandlung mit Erythromycin 2-4g/d empfohlen, in sehr schweren Fällen kombiniert mit 600 mg/d Rifampicin. Seit der Einführung neuer Makrolide (z.B. Clarithromycin) beginnt man, das Erythromycin zu ersetzen, da erstere gegen Legionellen gleichermaßen wirksam sind, jedoch eine bessere Verträglichkeit zeigen. Alternative therapeutische Ansätze scheinen sich außerdem durch Chinolone (z.B. Ciprofloxacin) zu ergeben /93/.

## 1.3 Technische Grundlagen der Trinkwassererwärmung

Trinkwassererwärmungsanlagen (Warmwasseranlagen) sind technische Anlagen, die das vom Wasserversorger zur Verfügung gestellte Trinkwasser so erwärmen und verteilen, daß es mit der gewünschten Temperatur und Menge gleichmäßig und möglichst ohne Verzögerung an Warmwasserauslässen vom Verbraucher entnommen werden kann. Dies zu erreichen, stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. In größeren Gebäuden bzw. Anlagen (z.B. Industriebetriebe, Krankenhäuser) kommen in der Regel zentrale Wassererwärmungsanlagen zum Einsatz. Diese werden heute ausschließlich als geschlossene Anlagen in unmittelbarer Verbindung mit der Trinkwasserleitung ausgeführt. Je nach Art der Wassererwärmung teilt man sie grundsätzlich in drei große Gruppen ein:

- Warmwasseranlagen nach dem Speichersystem (Abbildung 1: Stehender Warmwasserspeicher),
- Warmwasseranlagen nach dem Durchfluß-Prinzip (Abbildung 2: Durchfluß-Wassererwärmung in einem stehenden Heisspeicher) und
- kombinierte Warmwasseranlagen mit Speicher- und Durchflußbetrieb.

Als Energieträger werden in der Regel Brennstoffe (Gas, Öl) oder Fernwärme, in seltensten Fällen Strom verwandt.

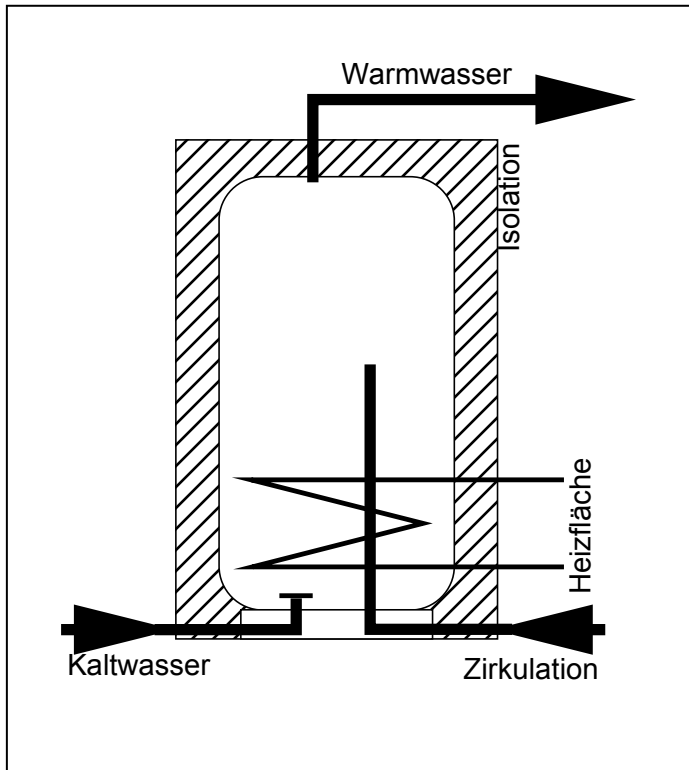


Abbildung 1: Stehender Warmwasserspeicher

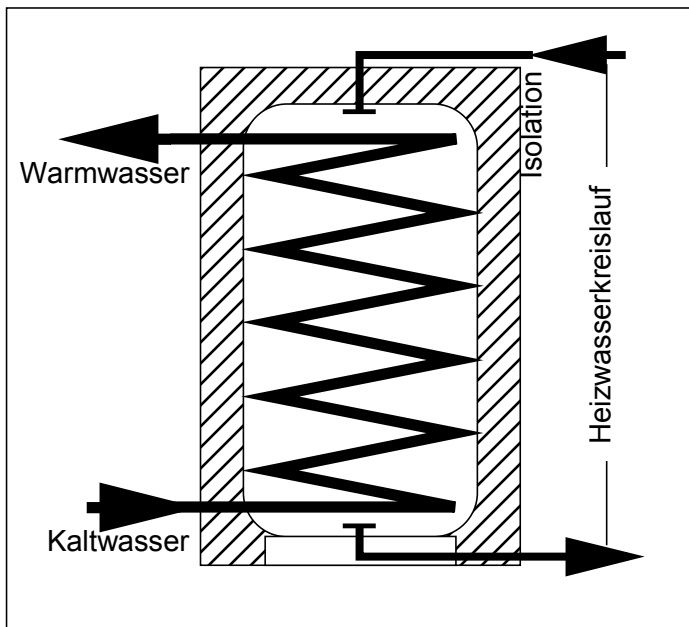


Abbildung 2: Durchfluß-Wassererwärmung in einem stehenden Heizspeicher

Wassererwärmungsanlagen nach dem Speichersystem sind dadurch gekennzeichnet, daß eine mehr oder weniger große Trinkwassermenge in einem gut wärmedämmten Gefäß erwärmt und vorrätig gehalten wird und damit für den Verbrauch zur Verfügung steht. Das kalte Trink-

wasser tritt am tiefsten Punkt in das Gefäß ein, wird darin erwärmt und an der höchsten Stelle entnommen, um den Zapfstellen zugeführt zu werden. Bei den heute üblichen Anlagen ist der Wassererwärmer ein geschlossener, gut wärmegeprägter Speicher, der direkt an die Trinkwasserleitung angeschlossen wird und indirekt durch eine z.B. innen liegende Heizfläche erwärmt wird. Im Hinblick auf die thermische **Legionellenprävention** ist die richtige Dimensionierung der Warmwasserspeicher von großer Bedeutung. Bei einer zu kleinen Auslegung kommt es bei der Zapfung zum Durchschießen von Kaltwasser, einer Durchmischung der vorhandenen Temperaturschichtung /10/, /82/ und gegebenenfalls zur Kontamination der Warmwasserleitung.

Große Wassererwärmungsanlagen nach dem Durchfluß-Prinzip sind dadurch gekennzeichnet, daß nicht das Trinkwasser sondern das vom Kessel erwärmte Heizwasser gespeichert wird, während das zu erwärmende Trinkwasser erst unmittelbar vor Gebrauch in einer Durchflußbatterie erwärmt wird. Diese wird in verschiedenen Formen als interne oder externe Heizfläche hergestellt und ist heute meist in/ an einem besonderen Speicher angeordnet. Im allgemeinen sind Durchflußbatterien nur geeignet für verhältnismäßig geringen, gleichmäßigen Warmwasserverbrauch. Die Zapftemperatur ist abhängig von der Zapfmenge. Sie ist bei Zapfbeginn am höchsten, dann u.U. schnell fallend, was regelungstechnisch ausgeglichen wird.

Die Heizungsanlagenverordnung /50/ fordert im Sinne der Energieeinsparung und des Verbrüfungsschutzes, daß die Warmwassertemperatur im Rohrnetz durch selbsttätig wirkende Einrichtungen auf max. 60°C zu begrenzen ist. Dies gilt nicht für Warmwasseranlagen, für die höhere Temperaturen zwingend erforderlich sind oder die eine Leitungslänge von weniger als 5 Metern benötigen. Durch die Temperaturbegrenzung werden zusätzlich sowohl Korrosion als auch Steinbildung verringert /82/.

In vielen Fällen ist es zweckmäßig, die Wassererwärmung an den Wärmeerzeuger der Zentralheizung anzuschließen. Das Trinkwasser wird auf diese Weise sehr kostengünstig erwärmt, da der Kessel mit der Heizungsanlage kombiniert werden kann und damit Investitionskosten reduziert werden. Wenn das Wasser im Rohrnetz stagniert, kühlt es sich ab. Bei zentraler Wassererwärmung fließen dann an der Zapfstelle zuerst große Mengen abgekühlten Wassers, ehe erwärmtes Wasser entnommen werden kann. Um dies zu vermeiden, kann man das stagnierende Wasser durch eine elektrische Rohrbegleitheizung erwärmen oder die Stagnation durch eine Zirkulationsleitung verhindern. Die Anwendung letzterer ist heute Standard. Die Zirkulation kann natürlich oder erzwungen (Zirkulationspumpe) erfolgen. Die Zirkulationspumpe kann dauernd in Betrieb sein oder auch automatisch anlaufen, wenn z.B. die Temperaturen im Rücklauf einen bestimmten Wert unterschreiten /82/.

### 1.4 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Im vorliegenden Zusammenhang soll die Wirtschaftlichkeitsrechnung als eine Methode verstanden werden, bei der anhand von Kriterien der Wirtschaftlichkeit einzelne Kosten verursachende Maßnahmen miteinander verglichen werden. Es handelt sich um ausschließlich quan-

titative Betrachtungen, das heißt es werden ausschließlich monetäre Aspekte berücksichtigt. Die Praktikabilität bzw. Sinnhaftigkeit der verschiedenen Varianten wird hier nicht beurteilt. Die qualitative Einschätzung der verschiedenen Investitionsalternativen bleibt also unberührt /111/.

Man spricht allgemein von Wirtschaftlichkeit, wenn die Summe der Erträge die Summe der Kosten übersteigt, sich eine Investition also „rechnet“. Um eine relative Wirtschaftlichkeit handelt es sich, wenn zwei oder mehrere Vorhaben hinsichtlich ihrer Kosten und/ oder Erträge miteinander verglichen werden. So ist beispielsweise ein Vorhaben B gegenüber einem Vorhaben A relativ wirtschaftlicher, sofern bei gleichen Erlösen gilt:  $\text{Kosten B} < \text{Kosten A}$  /111/.

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung läßt sich in eine Reihe von Verfahren unterteilen, die sich hinsichtlich der Randbedingungen, der praktischen Durchführbarkeit und der Genauigkeit unterscheiden. Dies sind zum einen statische Verfahren (z.B. Kostenvergleichsrechnung, Gewinnvergleichsrechnung) und zum anderen dynamische Verfahren (z.B. Barwertmethode, Kapitalwertmethode).

Bei den statischen Verfahren werden zeitliche Unterschiede beim Anfall der Kosten und Erträge nicht erfaßt. Im Gegensatz dazu stehen die dynamischen Verfahren, bei denen durch Diskontierung die zeitlichen Unterschiede wertmäßig berücksichtigt werden. Erreicht wird dies durch Anwendung der Zins- und Zinseszinsrechnung, wozu im folgenden einige grundlegende Zusammenhänge erläutert werden sollen:

### **Zinssatz:**

Für die Überlassung von Kapital werden proportional zur Höhe des Kapitalbetrages und zur Zeitdauer der Überlassung Zinsen bezahlt. Der Proportionalitätsfaktor wird als Zinssatz oder Zinsfuß ( $p$ ) bezeichnet; er wird im allgemeinen auf das Jahr bezogen und meistens in Prozent angegeben.

### **Aufzinsen:**

Durch Aufzinsung werden die Jahreszinsen nach Ablauf jeden Jahres einer Zahlung  $Z$  zugeschlagen, so ergibt sich folgende Kapitalentwicklung:

$$\text{1. Jahr : } Z_1 = Z_0 + Z_0 \cdot p = Z_0 \cdot (1 + p)$$

$$\text{2. Jahr : } Z_2 = Z_1 + Z_1 \cdot p = Z_1 \cdot (1 + p) = Z_0 \cdot (1 + p)^2$$

$$\text{t. Jahr : } Z_t = Z_0 \cdot (1 + p)^t$$

Mit dem *Zinsfaktor*  $q = 1 + p$  ergibt sich der Aufzinsungsfaktor zu  $q^t = (1 + p)^t$ , der sowohl mit wachsendem Zinssatz als auch mit der Länge des zugrunde gelegten Zeitraums größer wird.

### Abzinsen (Diskontieren):

Als Abzinsen wird der Vorgang bezeichnet, bei dem der Wert eines Betrages zu einem zurückliegenden Zeitpunkt gesucht wird. Der Abzinsungsfaktor  $1/q^t$  ist der Kehrwert des Aufzinsungsfaktors  $q^t$ ; er wird sowohl mit wachsendem Zinssatz, als auch mit der Länge des zugrunde gelegten Zeitraumes kleiner.

### 1.5 Herleitung der Aufgabenstellung

Wie oben beschrieben erfolgt die Infektion mit Legionellen hierzulande in der Regel über kontaminierte Warmwassersysteme. Die Infektion durch Klimaanlageanlagen, wie sie z.B. in den USA häufig beobachtet wurde, spielt in der Bundesrepublik aufgrund strengerer hygienisch-technischer Vorschriften keine Rolle. Die hohe Letalität und die Tatsache, daß Legionellen in nennenswerten Konzentrationen *nur* in technischen Systemen auftreten, hat das Interesse nicht nur von Mikrobiologen und Hygienikern, sondern auch von Technikern und Betreibern von Warmwasseranlagen geweckt. Obwohl im Verhältnis zum ubiquitären Vorkommen von Legionellen in der Umwelt die Erkrankung an einer Legionellenpneumonie als eher selten zu bezeichnen ist, sind diese Bakterien „in aller Munde“. Zeitungsartikelüberschriften, wie „Gefährliche Bakterien, die sich beim Duschen übertragen“ /41/ oder „Legionärskrankheit forderte neun Tote“ /65/ sind keine Seltenheit und verbreiten Unsicherheit in der Bevölkerung. So mußten Anfang des Jahres 2001 im Berlin mehrere Hallenbäder vorübergehend geschlossen werden, nachdem in Messungen Legionellen nachgewiesen wurden, ohne daß es zu einer einzigen bestätigten Infektion gekommen war.

Die Legionellenforschung hat sich in den letzten 20 Jahren nicht ausschließlich auf mikrobiologische Aspekte konzentriert, sondern sich ebenso die Frage gestellt, wie eine sinnvolle technische **Prävention** betrieben werden kann bzw. in welchem Umfang diese nötig ist. Nicht nur Mikrobiologen und Hygieniker stellen sich diese Frage, sondern ebenso die Vertretungen der Ingenieure, Gas- und Wasserinstallateure und Heizungsanlagenbauer. Es wird über die Notwendigkeit regelmäßiger Messungen, mögliche Grenzwerte, technische Realisierbarkeiten und Effektivität von Präventionsmaßnahmen diskutiert, jedoch in der Regel innerhalb der einzelnen Berufsgruppen. So kommt es immer wieder zu fragwürdigen Empfehlungen, wie z.B. der alleinigen kurzzeitigen Warmwasserspeichererwärmung über 70°C. Solche Empfehlungen beruhen häufig auf ungenügender Kenntnis von Medizinern in Anlagentechnik und von Technikern in der Bewertung medizinischer Beobachtungen /5/. Fachkundiger Rat der jeweils anderen Berufsgruppe wird zwar eingeholt, jedoch spiegelt dieser Rat meistens eine Einzelmeinung wider und kann den zum Teil sehr kontrovers geführten Meinungs austausch innerhalb der beratenden Berufsgruppe nicht adäquat wiedergeben. In dieser Form können keine Ergebnisse erarbeitet werden, die alle beteiligten Parteien gleichermaßen zufriedenstellen. Die Diskussion *zwischen den Berufsgruppen* wäre erforderlich, um eine einheitliche, allgemein verbindliche Richtlinie zur **Legionellenprävention** nicht nur in Krankenhäusern zu entwickeln. Eine solche allgemeingültige Richtlinie, z.B. als Zusatz zur Trinkwasserverordnung /12/, wäre wünschenswert, ist aber

bis heute nicht erstellt worden. Die bestehenden Vorgaben sind wenig konkret und lassen viel Spielraum. In der Anlage zu Ziffer 5.6 der Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention wird vorgegeben, daß das Wasser aus Anlagen der Hausinstallation und Wasser aus Trinkwasservorratsbehältern 1/2-jährlich auf Legionellen untersucht werden soll, ebenso das für Sprühlanzen, Mundduschen und Turbinensprays verwandte Wasser, insbesondere in zahnärztlichen Einheiten /13/. Grenzwerte für gegebenenfalls positive Befunde werden nicht angegeben. Schon 1992 hat der BGA-Pressedienst mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß hygiene-technische Maßnahmen zur Verminderung des Wachstums von Legionellen in Klimaanlageanlagen und anderen gebäudegebundenen Einrichtungen notwendig sind /14/. Präzisiert wurde dieser Hinweis vom Bundesgesundheitsamt seither nicht.

Für den Bereich Krankenhäuser des Landes Brandenburg existiert eine Empfehlung der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg bezüglich der Untersuchung des Warmwassers im Krankenhaus und der Beurteilung der gefundenen Ergebnisse /2/. Maßnahmen, die bei Überschreiten der Grenzwerte zu ergreifen wären, werden nicht beschrieben.

Eine allgemeinere, derzeit für Gas- und Wasserinstallateure als Stand der Technik anzusehende Empfehlung wird im Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs e.V. (DVGW) gegeben /32/. In den Arbeitsblättern W551 und W552 finden sich sowohl Aussagen zur Untersuchung des Warmwassers in Großanlagen, zur Beurteilung der gefundenen Ergebnisse als auch eine Beschreibung möglicher Sanierungsmaßnahmen, allerdings ohne hygienische oder ökonomische Wertung der genannten Methoden.

Interessant ist, daß im Regelwerk des DVGW für in der Regel gesunde Nutzer der Warmwassersysteme deutlich strengere Richtlinien gelten als sie von der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene für die Brandenburger Krankenhäuser gefordert werden. Diese Diskrepanz ist beispielhaft für die Diskussion bezüglich der Legionellenprävention und schafft eine große Unsicherheit bei Betreibern von Anlagen zur Warmwasserbereitung. Außerdem haben in diesem Zusammenhang die ökonomischen Aspekte kaum Beachtung gefunden, die für den jeweiligen Betreiber von nicht unerheblicher Bedeutung sind.

Diese Problematik darzulegen, zu analysieren und damit eine Grundlage zu schaffen, auf der eine fachübergreifende Diskussion stattfinden kann, ist ein Ziel dieser Arbeit. Dazu wird die bisher erschienene Literatur sowohl aus dem mikrobiologisch-hygienischen Bereich als auch dem technischen Bereich vergleichend dargestellt. Auf dieser Basis aufbauend wird ein Präventionskonzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus (CTK) entwickelt, welches die mikrobiologisch-hygienischen Gegebenheiten, die technischen Möglichkeiten und erstmals auch die ökonomischen Konsequenzen berücksichtigt. Damit könnte es in der Zukunft Beispiel bzw. Diskussionsgrundlage für die Erstellung eines allgemeingültigen Legionellenpräventionskonzeptes nicht nur für den Bereich Krankenhäuser sein.

## 2 Material und Methodik

### 2.1 Analyse des Warmwassersystems des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

Die Analyse des Warmwassersystems des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus erfolgte anhand von maßstabgetreuen Übersichtsplänen für Versorgungsleitungen aus dem Jahr 1976. Da keine aktuellen Pläne existieren, wurden die alten Angaben durch Begehung und Rücksprache mit dem für die Warmwasserbereitung und -verteilung zuständigen technischen Personal des CTK soweit wie möglich abgeglichen /51/. Weiterhin wurden Berichte über die geschichtliche Entwicklung des Carl-Thiem-Klinikum /55/ sowie aktuelle Feuerwehrpläne genutzt.

### 2.2 Nachweis von Legionellen im Trinkwassersystem

Die Probenentnahme erfolgte an Warm- und Kaltwasserauslässen (22°C und 37°C), wobei nicht generell eine Temperaturmessung durchgeführt wurde. Die Probenentnahme erfolgte ohne vorheriges Abflammen, es wurden ca. 30 ml vor der Entnahme abgelassen. An den Wasserauslässen, die nicht mit endständigen Filtern versorgt sind, wurden 20 ml aufgefangen, an den Wasserauslässen mit endständigen Filtern 1 Liter. Es erfolgte die sofortige Bearbeitung im Labor. Dazu wurden zunächst 10 µl zur allgemeinen Keimzahlbestimmung auf Cled (Cystein-Lactose-Elektrolyte-Deficient)-Agarplatten ausgespatelt und 24 Stunden bei 37°C bebrütet. Dazu wurde das Cled-Medium der Firma bioMerieux verwandt. Weiterhin wurden 20 ml auf Legionellen-Agarplatten filtriert und 7 bis 12 Tage bei 37°C bebrütet. Dazu wurden von der Firma bioMerieux das **Legionella-Grundsubstrat** (Artikel-Nr.: 41054), die Legionella Selektivmischung (Artikel-Nr.: 55645) sowie das Legionella-Anreicherungssupplement (Artikel-Nr.: 55641) verwandt. Die Legionella-Selektivmischung enthält 200 µg Vancomycin und 9000 E Colistin in 2 ml. Das Legionella-Anreicherungssupplement enthält 50 mg Eisendiphosphat und 80 mg Cysteinchlorhydrat in 30 ml.

Die in der Untersuchung positiv gefundenen Legionellenstämme wurden zur weiteren Differenzierung bis 1997 an das Robert-Koch-Institut (Dr. med. I. Horbach) in Berlin gesandt. Dort wurde die Differenzierung mit monovalenten polyclonalen Kaninchen-Antisera und mittels eines Immunoblotverfahrens durchgeführt. Seit 1998 erfolgt die Differenzierung bei Dr. Lück, Referenzlabor für Legionellendiagnostik der Technischen Universität Dresden.

### 2.3 Wärmeverlustrechnung

Die Wärmeverluste berechnen sich durch das Produkt von Verlustleistung ( $\dot{Q}_V$ ) und Zeiteinheit und werden z.B. in Megawattstunden pro Jahr (MWh/a) angegeben. Die Verlustleistung entspricht dabei dem Produkt aus Wärmeverlustkoeffizient (k-Wert in W/(m<sup>2</sup>\*K), der Größe der

Wärme übertragenden Fläche (in m<sup>2</sup>) und der Temperaturdifferenz zwischen beiden Seiten dieser Fläche (in K).

$$\dot{Q}_V = k \cdot A \cdot \Delta T$$

Für die Berechnung der Wärmeverluste in Rohrleitungen wird der längenbezogene Wärmeverlustkoeffizient ( $k_r$ , in W/(m·K)) benötigt, da die Bestimmung der Wärme übertragenden Fläche wegen der unterschiedlichen Radien am Rohr problematisch ist. Nach der Heizungsanlagenverordnung soll  $k_r$  zwischen 0,2 und 0,25 W/(m·K) betragen /82/. Im folgenden wird ein Sollwert von 0,21 W/(m·K) zugrunde gelegt. Für die Abbildung des tatsächlichen Isolationszustandes der Rohrleitungen wird ein Isolationszuschlag für Minderisolation z.B. durch Alterung oder Beschädigung von 40% für die Gebäudeleitungen und von 50% für die Kollektoren angesetzt /51/. Der mit dem Isolationszuschlag versehene radiale Wärmeverlustkoeffizient wird als effektiver radialer Wärmeverlustkoeffizient ( $k_{r,eff}$ ) bezeichnet. Es ergeben sich folgende grundsätzliche Formeln für eine ganzjährig betriebene Anlage:

Verlustleistung:  $\dot{Q}_V = l \cdot k_{r,eff} \cdot \Delta T$  in W

Wärmeverlust:  $Q_V = \dot{Q}_V \cdot \frac{24 \text{ h}}{d} \cdot \frac{365 \text{ d}}{a} \cdot 10^{-6}$  in MWh/a

mit:  $l$  = Rohrlänge in m

$k_{r,eff}$  = effektiver radialer Wärmeverlustkoeffizient in W/(m·K)

$\Delta T$  = Temperaturdifferenz in K

Für die Berechnung gelten weiterhin die in Tabelle 4: Wärmeverlustrechnung, Bemerkungen und Parameter, Seite 20) dargestellten Bemerkungen und Parameter:

Tabelle 4: Wärmeverlustrechnung, Bemerkungen und Parameter

$k_{r, zulässig}$	0,21	W/(m·K)
Iso-Zuschlag, Kollektoren	0,50	[-]
$k_{r, eff}$ , Kollektoren	0,32	W/(m·K)
Iso-Zuschlag, Gebäude	0,40	[-]
$k_{r, eff}$ , Gebäude	0,29	W/(m·K)
maximale Rohrströmung	3,0	m/s
Umgebungstemperatur	20	°C
Mischkosten Fernwärme	80	DM/MWh
Mischkosten Strom	200	DM/MWh



Für die Warmwasserspeicher erfolgt die Berechnung der Wärmeverluste nach Angaben des VDI-Wärmeatlas: Wärmeleitung Ea2 /110/. Für die Berechnung werden folgende Werte benötigt:

Wandstärke Speicher stirnseitig	$d_{(Sp)}$	in m
Isolationsdicke stirnseitig	$d_{(Iso)}$	in m
Stirnfläche	$A$	in m <sup>2</sup>
Außenradius Speicher	$r_{(Sp,a)}$	in m
Innenradius Speicher	$r_{(Sp,i)}$	in m
Außenradius Isolation	$r_{(Iso,a)}$	in m
Innenradius Isolation	$r_{(Iso,i)}$	in m
Länge des Speichers	$l$	in m
Temperaturdifferenz Speicherinhalt - Umgebung	$\Delta T$	in K
Wärmeleitkoeffizient Speicher	$\lambda_{(Stahl)}$	in W/(m·K)
Wärmeleitkoeffizient Isolation	$\lambda_{(Iso)}$	in W/(m·K)

Die Berechnung erfolgt nach folgenden Formeln /110/:

Wärmeverlust: 
$$Q_V = \dot{Q}_V \cdot \frac{24 \text{ h}}{\text{d}} \cdot \frac{365 \text{ d}}{\text{a}} \cdot 10^{-6} \quad \text{in MWh/a}$$

Gesamt Verlustleistung: 
$$\dot{Q}_{V,\text{gesamt}} = \dot{Q}_{V,\text{Mantelfläche}} + \dot{Q}_{V,\text{Stirnfläche}} \quad \text{in W}$$

Verlustleistung über die Mantelfläche: in W

$$\dot{Q}_{V,\text{Mantelfläche}} = \frac{2\pi \cdot r_{(Sp,a)} \cdot l \cdot \Delta T}{\frac{1}{\lambda_{(Sp)} \cdot \ln\left(\frac{r_{(Sp,a)}}{r_{(Sp,i)}}\right)} + \frac{1}{\lambda_{(Iso)} \cdot \ln\left(\frac{r_{(Iso,a)}}{r_{(Iso,i)}}\right)}}$$

Verlustleistung über die Stirnfläche: in W

$$\dot{Q}_{V,\text{Stirnfläche}} = \frac{A \cdot \Delta T}{\frac{d_{Sp}}{\lambda_{Sp}} + \frac{d_{Iso}}{\lambda_{Iso}}}$$

## 2.4 Wirtschaftlichkeitsrechnung

In dieser Arbeit wird zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit die Barwertmethode verwendet. Sie beschreibt die vergleichende Bewertung verschiedener Investitionsalternativen bzw. -varianten miteinander anhand ihrer Gesamtkosten über einen definierten Zeitraum. Der Barwert ( $B_0$ ) ist der auf den Zeitpunkt der Investition bezogene (diskontierte) Gesamtaufwand. Neben der Investition ( $I$ ) selbst entstehen über eine Nutzungsdauer von  $n$  Jahren jährlich Kosten ( $K$ ), die jeweils auf den Zeitpunkt der Investition bezogen (diskontiert) werden. Der Gesamtaufwand kann unter der Voraussetzung jährlich konstanter Kosten mit Hilfe der geometrischen Reihe diskontiert werden:

$$\begin{aligned} B_0 &= K \cdot \frac{1}{q^n} + K \cdot \frac{1}{q^{n-1}} + \dots + K \cdot \frac{1}{q^1} + I \\ &= K \cdot \left( \frac{1}{q^n} + \frac{1}{q^{n-1}} + \dots + \frac{1}{q} \right) + I \\ &= K \cdot \left( \frac{q^n - 1}{q^n \cdot (q - 1)} \right) + I \end{aligned}$$

$\frac{q^n - 1}{q^n \cdot (q - 1)}$  wird als Summendiskontierungsfaktor oder Barwertfaktor bezeichnet.

Für die Anwendung in dieser Arbeit werden folgende Parameter eingesetzt:

Nutzungsdauer (n):	10 Jahre
Zinsfaktor (q):	1,08
daraus folgt:	
Summendiskontierungsfaktor	6,71
Strompreis:	200,- DM/MWh
Fernwärmepreis:	80,- DM/MWh

Für das Wahlproblem gilt, daß eine Investition  $I_1$  mit einem Barwert  $B_0(I_1)$  vorteilhafter ist als eine Investition  $I_2$  mit einem Barwert  $B_0(I_2)$ , sofern gilt:  $B_0(I_1) < B_0(I_2)$ .

### 2.5 Sensitivitätsanalyse zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Mit der **Sensitivitätsanalyse** werden in dieser Arbeit zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Präventionsmaßnahmen verschiedene Faktoren variiert. In die Berechnung des Barwertes gehen neben der Investition die laufenden Kosten durch den Betrieb der Anlagen sowie der Summendiskontierungsfaktor ein. Die Investition ist von der genauen Projektierung abhängig. Die laufenden Kosten sind im wesentlichen abhängig von der Entwicklung der Energiepreise (Fernwärme und Strom). Der Summendiskontierungsfaktor ist abhängig von dem zugrunde gelegten Betrachtungszeitraum (Nutzungsdauer) und dem Zinssatz. In der **Sensitivitätsanalyse** werden die variablen Faktoren Investition, Energiepreis (Fernwärme und Strom), Zinssatz und Nutzungsdauer variiert, und die entsprechende Entwicklung des Barwerts graphisch dargestellt.

### 3 Ergebnisbeschreibung

#### 3.1 Analyse des Warmwassersystems des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

Das Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum ist ein weit verzweigtes, im Laufe der Zeit dynamisch gewachsenes System, welches von einer zentralen Warmwasserbereitung nach dem Speichersystem versorgt wird.

Das Trinkwassernetz des Krankenhauses ist als Ringleitung in dem gut 2 Quadratkilometer großen Gelände mit 3 Einspeisungen verlegt. Der Hauptwasserbedarf wird über die Zuleitung an der Welzower Straße durch das Technikgebäude abgesichert. Von dort aus wird durch Druckerhöhung über zentrale Versorgungsleitungen das Trinkwasser zu den Abnehmergruppen gebracht, wo es bis zur Entnahmestelle weiter verteilt wird. Im Jahr 1996 betrug der Gesamtverbrauch an Trinkwasser  $106.364 \text{ m}^3$ . Davon entfielen  $22.345 \text{ m}^3$  auf Warmwasser, d.h. der Warmwasserverbrauch pro Tag betrug  $61,22 \text{ m}^3/\text{d}$ . Die Warmwasserzentrale befindet sich im Technikgebäude (Abbildung 1, Gebäude Nr. 16, Seite 14).

Das Wasser wird in einem Wärmetauscher mittels Fernwärme aufgeheizt und anschließend in drei durch eine innere Zirkulation miteinander verbundenen Warmwasserspeichern mit je 5000 Liter Inhalt vorrätig gehalten. Die Speicherauslauftemperatur beträgt ca.  $50^\circ\text{C}$ . Die täglich entnommene Warmwassermenge beträgt hochgerechnet etwa 180.000 Liter /51/.

Das Warmwasser wird über drei Kollektoren mit einer Gesamtlänge von 1,5 km verteilt. Die Kollektoren sind in einer äußeren Zirkulation miteinander verbunden. Die Rückführung des Warmwassers erfolgt als Zirkulationsleitung mit Umwälzung des Wassers durch mehrere Druckhaltepumpen.

Ausgehend von den in den Kellern bzw. unterirdisch verlegten Kollektoren werden 31 Gebäude versorgt. In jedem Gebäude befindet sich im Keller eine Ringleitung, von der je nach Gebäudenutzung vier oder zwanzig Steigleitungen zur weiteren Versorgung abgehen. Die einzelnen Netzlängen in den Gebäuden sind Tabelle 5: Netzlänge Kollektoren, Seite 26 und Tabelle 6: Netzlänge Gebäude und Gesamtnetzlänge, Seite 27 zu entnehmen. Das Kollektornetz wurde in den letzten Jahren systematisch erneuert aber nur teilweise überplant. Im Altbestand findet man Stahlrohre. Als Rohrmaterialien im Neubaubestand wurden verschiedene Werkstoffe verwendet, überwiegend Kunststoff (TC) bzw. Edelstahl.

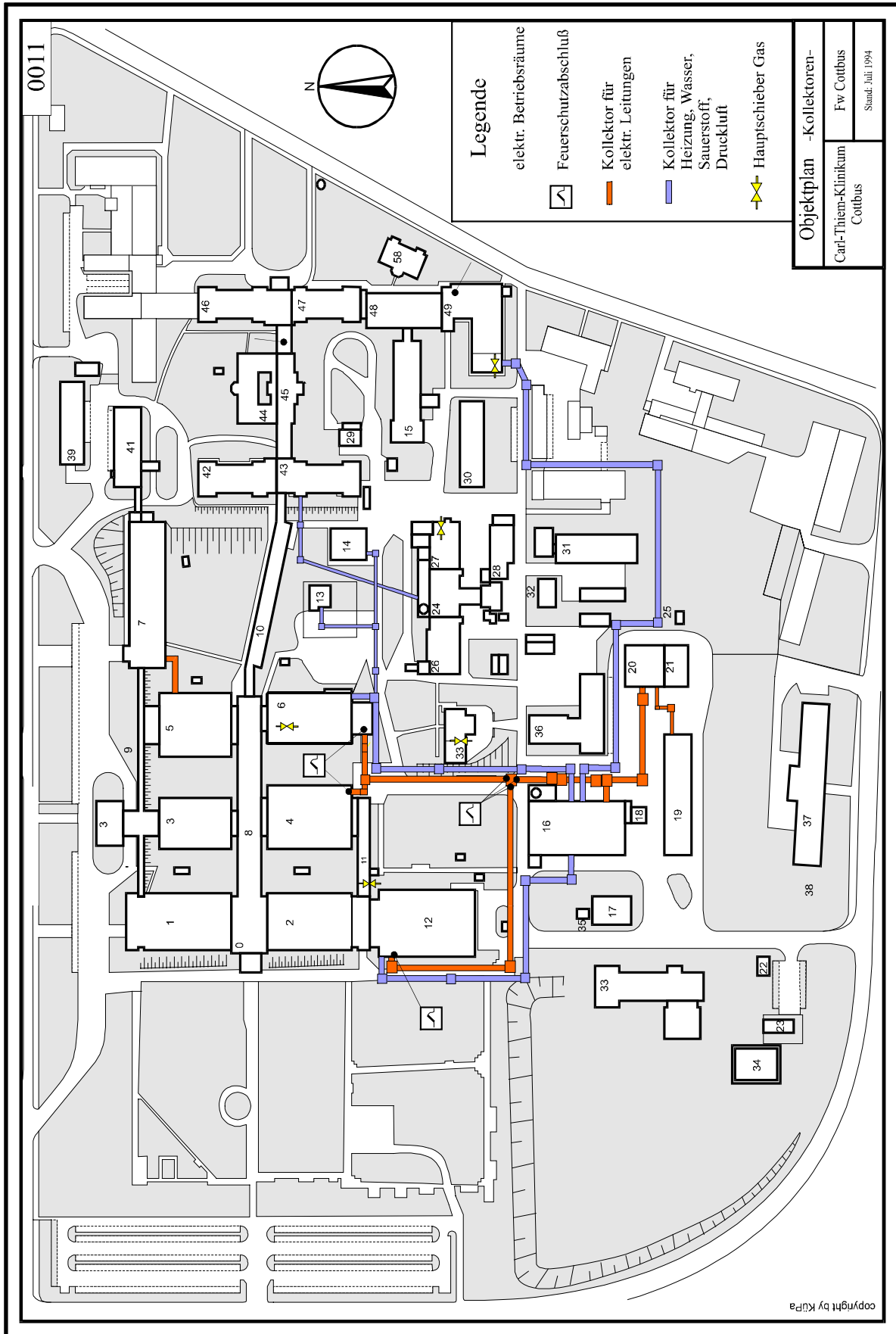


Abbildung 3: Übersichtsplan Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

Tabelle 5: Netzlänge Kollektoren

#### Kollektoren Länge und Durchmesser

Erläuterungen:

W 1 - 8 = Westkollektor Teilstücke 1 bis 8

O 1 - 7 = Ostkollektor Teilstücke 1 bis 7

S 1 = Südkollektor

WW = Warmwasser; Z = Zirkulation

Name	WW in mm	WW in Zoll	Z in Zoll	Länge [m]	Bemerkungen
W1	100		2,50	158	Westkollektor bis Küche
W2	100		2,50	67	von Küche bis Aufteilung Gebäude 1 und Rest
W3		2,50	1,50	26	Abzweig zu Gebäude 1
W4	100		2,50	42	von Abzweig Gebäude 1 bis Abzweig Gebäude 4
W5		2,00	1,25	18	Abzweig zu Gebäude 4
W6	100		2,50	100	von Abzweig Gebäude 4 bis Knoten mit Ostkollektor
W7		2,50	1,25	5	Abzweig zu Gebäude 3
W8		1,50	1,00	60	Abzweig von Knoten mit Ostkollektor zu Gebäude 7
O1	100		2,50	150	Kollektor bis Abzweig 13 + 14
O2		0,75	2,50	31	Abzweig Gebäude 13 + 14 bis Aufteilung Gebäude 13 + 14
O3		0,75	0,50	32	Aufteilung Gebäude 13 + 14 bis Gebäude 13
O4	100		2,50	140	von Abzweig zu Gebäude 13 + 14 über Knoten mit Westkollektor bis Gebäude WN/WS
O5		1,50	1,00	17	Abzweig zu Gebäude 6
O6		2,50	1,25	95	Gebäude WN/WS bis Knoten mit Südkollektor
O7		2,00	1,00	77	von Knoten mit Südkollektor bis Eingang Poliklinik
S1		2,50	1,25	450	Kollektor bis Knoten mit Ostkollektor, hier nur sehr kurze Abgänge
				<b>1.468</b>	<b>Gesamtlänge</b>

Tabelle 6: Netzlänge Gebäude und Gesamtnetzlänge

<b>Abschätzung der Netzlänge CTK</b>					
<b>Gesamtnetzlänge in m berechnet sich aus:</b>					
<b>Gebäudeumfang + Etagen * Anzahl der Steigleitungen * 4 Meter pro Etage</b>					
<b>Gebäude Nr.</b>	<b>Bezeichnung</b>	<b>Umfang in m</b>	<b>Etagen ohne Keller</b>	<b>Anzahl Steigleitungen</b>	<b>Gesamtnetzlänge in m</b>
1	Bettenhaus 1	175	6	20	655
2	Bettenhaus 2	155	6	20	635
3	Rettungsstelle, Verwaltung und Kopfbau	210	3	4	258
4	OP-Gebäude	160	5	20	560
5	Röntgen, Apotheke und Nuklearmedizin	145	5	20	545
6	Labore EDV	150	5	4	230
7	Physiotherapie, Klinikambulanzen	190	4	20	510
8	Verwaltungsgang	305	2	4	337
10	Verwaltung	170	2	4	202
12	Küche, Speisesaal	185	2	4	217
13	Lager brennbarer Flüssigkeiten	50	1	4	66
14	Lager der Reinigungsfirma	75	1	4	91
15	Linearbeschleuniger	200	1	4	216
16	technisches Gebäude	160	1	4	176
19	Fuhrpark, SPZ	155	2	4	187
26	Abteilung Technik	145	3	4	193
27	zentraler Einkauf	85	3	4	133
30	Baracke zentraler Einkauf	115	1	4	131
31	Einkauf Lager	120	1	4	136
33	neue Pathologie	165	3	20	405
36	technische Werkstätten	170	1	4	186
41	Bettenhaus	90	3	20	330
42	Neurologie	120	4	20	440
43	Neurologie	125	4	20	445
44	Augen-OP, Gyn.-OP	120	4	20	440
45	Kreißsäle	160	4	20	480
46	Gyn.-Intensiv	145	4	20	465
47	Gyn.-Station	115	4	20	435
48	Röntgen, MRT, Dialyse	120	4	20	440
49	Labor, Innere Abteilung, Radiologie	135	4	20	455
58	allgemeine Verwaltung	75	1	4	91
<b>Gesamtnetzlänge Gebäude</b>					<b>10.090</b>
<b>Gesamtlänge Kollektoren plus Keller</b>					<b>1.468</b>
<b>Gesamtnetzlänge CTK</b>					<b>11.558</b>

### 3.2 Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

In dem umfangreichen Warmwassernetz des CTK wurden verschiedene Meßstellen festgelegt und mehrfach beprobt Tabelle 7: Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus, Seite 29 zeigt im Überblick die Ergebnisse.

### 3.3 Meßkonzepte und Grenzwerte für Legionellen in der Literatur

Regelmäßige Messungen werden von verschiedenen Arbeitsgruppen alternativ oder zusätzlich zu Präventionsmaßnahmen gefordert. Bezüglich der Angaben, in welchen Risikobereichen (Industrie, Hotel, Krankenhaus) wie oft gemessen werden sollte und welche oberen Grenzwerte einzuhalten sind, bevor eine Sanierung des Systems bzw. eine kurzfristige Kontrolle erforderlich ist, gehen die Angaben in der Literatur auseinander. Für die übersichtlichere Darstellung werden die verschiedenen Risikobereiche in dieser Arbeit wie folgt definiert:

- **Bereiche mit geringem Risiko:**

Zentrale Warmwassersysteme in Industriebetrieben, Hotels, Schulen, Kindergärten, auf Campingplätzen, ... mit in der Regel gesunden Nutzern.

- **Bereiche mit mäßigem Risiko:**

Normale Pflegestationen im Krankenhaus, in Pflegeheimen,... mit potentiell in ihrer Immunkompetenz eingeschränkten Nutzern.

- **Bereiche mit hohem Risiko:**

Pflegestationen für Patienten mit erheblichen Immundefiziten, z.B. Transplantationseinheiten, Isolationszimmer für Patienten nach aplasiogener Chemotherapie, Intensivbereiche etc..

Die wesentlichen publizierten Empfehlungen zu Messungen und Grenzwerten werden tabellarisch zusammengefaßt (Tabelle 8 bis Tabelle 11). Sie stammen sowohl aus dem technischen wie auch aus dem hygienischen und mikrobiologischen Bereich.



Tabelle 7: Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

Station, Bezeichnung	Geb	Bemerkung	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1b, Diabetologie	48	Umbau 1996	negativ	negativ	negativ		negativ	negativ
1c, Nephrologie	49		negativ		negativ			
1d, Hämatologie	49	ohne Filter	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	
		mit Filter			negativ	negativ		
1e, Rheumatologie	41	Umbau 1996	negativ		negativ			
1g, Gastroenterologie	41							negativ
1k, Invasive Kardiologie	45				negativ		negativ	
2a, Chirurgie	02							negativ
2d, Chirurgie	02				negativ		negativ	negativ
2e, Chirurgie	02							negativ
2f, Onkochirurgie	01		negativ		negativ	negativ		negativ
2k, Kinderchirurgie	01							negativ
3a, Unfallchirurgie	01							negativ
3b, Unfallchirurgie	01	<b>PCR negativ</b>						<b>positiv, 10 KBE/ml</b>
3c, Unfallchirurgie	02							negativ
4a, Urologie	02	<b>PCR positiv</b>						<b>positiv, 10 KBE/ml</b>
4b, Urologie	02							negativ
5a, Neonatologie	01		negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	negativ
5b, Pädiatrie	01							negativ
5c, Neonatologie	01		negativ		negativ			
5e, Kinderonkologie	01							negativ
5g, Pädiatrie	01							negativ
5i, Pädiatrie	01							negativ
6d, Geburtshilfe / Wachstation	46		negativ		negativ		negativ	
6e, Geburtshilfe	47				negativ		negativ	

Tabelle 7: Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus (Fortsetzung)

Station, Bezeichnung	Geb.	Bemerkung	1996	1997	1998	1999	2000	2001
8a, HNO	02							negativ
8b, HNO	02							negativ
9a, Augenklinik	44				negativ			
11c, Psychiatrie	42	Umbau 2000	positiv		negativ	negativ	negativ	
11c, Psychiatrie	42	Umbau 2000	positiv		negativ	negativ		
13a, ITS	04		negativ	negativ	negativ	negativ	negativ	
16a, Neurochirurgie	01							negativ
Dialyse	48	Umbau 1996	negativ		negativ			
Innenkollektor TO2	04	Umbau 1996			negativ			
Kreißsaal: Gebärbadewanne	45	ohne Filter	<b>positiv</b> <b>29</b> <b>KBE/ml</b>	negativ	negativ	negativ		
		mit Filter		negativ		negativ		
Kreißsaal: Waschbecken	45			positiv	negativ	negativ	negativ	
Küche	12	Umbau 1996			negativ			
Lager, brennb. Flüss.	13	Endstrecke			negativ			
Lager, Firma Bosse	14	Endstrecke			negativ			
Linksherzkatheter	05	Umbau 1996			negativ		negativ	
Mikrobiologie	06				negativ			
Pathologie	33				negativ			
Physiotherapie	7				negativ		negativ	
Fuhrpark	19				negativ			
Telekobalthaus	15				negativ			
ZOP, Saal 8	04		<b>positiv</b>	negativ	negativ	negativ		

Messungen in KBE/ml, Auslässe mit endständigen Filtern in KBE/l. Bei allen positiven Befunden handelt es sich in der Differenzierung um Legionella pneumophila, Serogruppe 1, bis auf einen Befund, Station 4a: Legionella pneumophila, Serogruppe 6.

Tabelle 8: Empfehlungen zur Legionellenprävention ungeachtet des Risikobereiches

<b>Autor (Jahr) (Quelle)</b>	<b>Empfehlungen zu Messungen am Warmwassersystem</b>	<b>Empfehlungen zu Grenzwerten</b>	<b>Konsequenzen</b>
Kayser G, Flemming HC (1989) /56/	Keine Angabe	Überwachung der Suspensionskeimzahlen bietet keinen Hinweis auf den tatsächlichen Legionellengehalt eines wäßrigen Systems, sobald dieses einen Biofilm enthält. Daher ist eine Angabe von Grenzwerten nicht sinnvoll	Keine Angabe
Werner (1989) /113/	Keine Angabe	>100 KBE/ml	Maßnahmen angezeigt
Hiller (1991) /52/	Keine Angabe	> 1000 KBE/ml	Maßnahmen erforderlich, nicht näher ausgeführt

Tabelle 9: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit geringem Risiko

<b>Autor (Jahr) /Quelle/</b>	<b>Empfehlungen zu Messungen am Warmwassersystem</b>	<b>Empfehlungen zu Grenzwerten</b>	<b>Empfohlene Maßnahmen bei Überschreiten der Grenzwerte</b>
Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg (1997) /2/	Keine Messungen	Keine Angabe	Keine Angabe
DVGW (1996) /32/	Alle 1-3 Jahre	> 1 KBE/ml	Nachuntersuchung innerhalb von 14 Tagen, bei erneutem Nachweis > 1 KBE/ ml ist die Sanierung erforderlich
		10 - 100 KBE/ml	Sanierung erforderlich
		> 100 KBE/ml	Nutzungseinschränkung und Sanierung umgehend

Tabelle 10: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit mäßigem Risiko

Autor (Jahr) /Quelle/	Empfehlungen zu Messungen am Warmwassersystem	Empfehlungen zu Grenzwerten	Empfohlene Maßnahmen bei Überschreiten der Grenzwerte
Edelstein, PH (1986) /33/	Regelmäßige Messungen sind nicht sinnvoll. Überwachung immungeschwächter Pneumoniepatienten zur Ausbreitungskontrolle von Legionelleninfektionen im Krankenhaus ist besser	Keine Angabe	Keine Angabe
Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg (1997) /2/	jährlich	10 - 100 KBE/ml	Kontrolle
		> 100 KBE/ml	Sanierung einleiten
Exner (1993) /39/	jährlich bzw. 4 Wochen nach baulichen Maßnahmen am System	1-10 KBE/ml	Sanierung mittelfristig, Kontrolle nach ½ Jahr
		> 10 KBE/ml bzw. 1 KBE/ml bei Serogruppe 1, Subtyp Pontiac bzw. nachgew. Infektion	Sanierung unverzüglich, Kontrolle wöchentlich
BGA Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (1993) /13/	½ jährliche Messungen	Keine Angabe	Keine Angabe
Pietsch / Werner (1991) /78/	1/4-jährlich	10-100 KBE/ml	Überprüfung, evtl. Sanierung
		100 - 1000 KBE/ml	Sanierung einleiten, kurzfristig Kontrolle
		> 1000 KBE/ml	keine Nutzung des Systems vor Sanierung
Marburger Gespräche zur Krankenhaushygiene (1991) /3/	Keine Angabe	< 0,1 KBE/ml	jährliche Kontrollen
		0,1 - 10 KBE/ml	Systembegutachtung Entscheidung über mögliche Sanierung; Kontrolle
		> 10 KBE/ml	Systembegutachtung Sanierung; anschl. Prävention; kurzfristige Kontrollen; epidemiologische Analyse bei Patienten mit fieberhaften respiratorischen Infekten

Tabelle 11: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit hohem Risiko

Autor (Jahr) /Quelle/	Empfehlungen zu Messungen am Warmwassersystem	Empfehlungen zu Grenzwerten	Empfohlene Maßnahmen bei Überschreiten der Grenzwerte
Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg (1997) /2/	¼ -jährlich	0 KBE/l	z.B. endständige Filtersysteme
Exner (1993) /39/	Keine Angabe	>1 KBE/l	Sanierung unverzüglich, Kontrolle wöchentlich
Marburger Gespräche zur Krankenhaushygiene (1991)/3/	Keine Angabe	0 KBE/l	
Saefkow, M (1992) /94/	Keine Angabe	0 KBE/l	Endständige Filter

### 3.4 Meßkonzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

Für das Carl-Thiem-Klinikum ergibt sich aus der im Kapitel 0 beschriebenen Einteilung in verschiedene Risikobereiche folgende Aufstellung:

#### Bereiche mit geringem Risiko (20 Gebäude)

Verwaltung, OP-Gebäude (Patienten werden nicht geduscht, Verwendung von Aqua dest.), Funktionsbereiche (keine Verwendung von unbehandeltem Leitungswasser), Apotheke, Küche, Lager, Technik, Fuhrpark, Einkauf und Pathologie.

#### Bereiche mit mäßigem Risiko (11 Gebäude)

Bettenhäuser 1 und 2, die Physiotherapie, das Bettenhaus 41, die Neurologie (Häuser 42, 43), Gynäkologie (Häuser 45, 46, 47) und die Innere Abteilung (Häuser 48, 49) (Abbildung 3: Übersichtsplan Carl-Thiem-Klinikum Cottbus Seite 25).

#### Bereiche mit hohem Risiko (8 Warmwasserauslässe)

Isolierzimmer in der Hämatologie für Patienten nach aplasiogener Chemotherapie und die Gebärdewanne im Kreißsaal.

Die in dieser Arbeit für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus vorgeschlagenen Grenzwerte berücksichtigen zum einen die für das Land Brandenburg für Krankenhäuser geltenden Verordnungen und stellen zum anderen den größtmöglichen Kompromiß der verschiedenen zum Teil recht kontrovers in der Literatur diskutierten Expertenmeinungen dar. Zur Diskussion und Begründung des an dieser Stelle tabellarisch dargestellten Vorschlags siehe in der Diskussion Kapitel 4.3..

Tabelle 12: Vorschlag für Messungen im CTK

Risikobereich	Häufigkeit und Ort der Messungen	Grenzwert	Maßnahme bei überschreiten des Grenzwertes
Mit geringem Risiko	jährlich in jedem Versorgungsbereich (Kollektor)	10 KBE/ ml	Kontrolle nach 6 Monaten
		100 KBE/ ml	Kontrolle nach 3 Monaten, Prävention zu erwägen
		1000 KBE/ ml	Prävention erforderlich; Kontrolle nach Einführung der Präventionsmaßnahme
Mäßiges Risiko	1/2-jährlich in jedem Gebäude	10 KBE/ ml	Kontrolle nach 3 Monaten Prävention zu erwägen
		100 KBE/ ml	Prävention erforderlich, Kontrolle nach Einführung der Präventionsmaßnahme
Hohes Risiko	alle 3 Monate im Versorgungsbereich jeder Steigleitung gegebenenfalls mit und ohne Filter	1 KBE/ l (mit Filter)	Sperren des Warmwassersystems für Patienten mit hohem Risiko; Kontrolle nach Anbringen bzw. Auswechseln von endständigen Filtersystemen
Unabhängig vom Risiko	bei Auftreten einer Epidemie	Reduktion der Keimbelastung um mindestens 3 Zehnerpotenzen unabhängig vom Ausgangswert	Sperrung des Systems, Kontrolle nach Sanierung, Einführung von Präventionsmaßnahmen.
	bei nosokomialer Infektion an allen als Infektionsquelle infrage kommenden Warmwasserauslässen	1 KBE/ ml	Analyse der Infektionsquelle, Sanierung, Kontrolle, anschließende Prävention zu erwägen

### 3.5 Darstellung verschiedener Präventionsmaßnahmen

In der Literatur werden die verschiedensten Maßnahmen zur Legionellenprävention vorgeschlagen und mehr oder weniger detailliert besprochen. Als Ergebnis der Literaturrecherche werden im folgenden die am häufigsten besprochenen Methoden dargestellt und in ihrer Wirkungsweise beschrieben.

#### 3.5.1 Bautechnische Präventionsmaßnahmen

Tabelle 13: Bautechnische Präventionsmaßnahmen

Allgemeine Maßnahmen:	Vermeidung von Endsträngen mit stagnierendem Wasser. Wirkungsvolle Dämmung zwischen Kaltwasser und Warmwasser Absperrung nicht genutzter Leitungsteile. Beschränkung der Warmwasserversorgung auf häufig genutzte Entnahmestellen.
Dezentralisierung des Warmwassersystems:	Es werden Plattenwärmetauscher dezentral eingebaut, die die Primärenergie aus dem zentralen Heiznetz entnehmen. Der Zirkulationsring besteht aus denselben Vor- und Rücklaufleitungen der früheren Trinkwasseranlage - zusätzliche Wasserleitungen sind nicht nötig. Durch Einbindung in die Nah- oder Fernwärmenetze oder in die Zentralheizung entfällt zusätzlicher Aufwand für Gas-, Abgas- oder Kraftstromleitungen. Die zentralen Trinkwasserspeicher entfallen, das Gerät selbst ist in den Zapfpausen kalt. Wird Warmwasser gezapft, fällt der Fließdruck in der Warmwasserleitung, im Wärmetauscher und im Regler ab. Ein Feder-/ Membransystem gibt den Kaltwasserzufluß frei. Über eine Kolbenstange wird auch die Primärseite des Reglers geöffnet. So kann Heizwasser aus dem Vorlauf im Gegenstromprinzip über einen Plattenwärmetauscher fließen und abgekühlt in den Heizungsrücklauf strömen. Die Fließmengen werden proportional abgestimmt. Es ist unproblematisch, das System in nahezu allen älteren Warmwassersystemen nachzurüsten und zu betreiben.
Quellen: /11/, /42/, /64/, /114/	

3.5.2 Thermische Präventionsmaßnahmen

Tabelle 14: Thermische Präventionsmaßnahmen

<p>Legionellenprävention nach dem DVGW-Arbeitsblatt W 551</p>	<p>Der Geltungsbereich betrifft alle Neuanlagen mit einem Speicherinhalt &gt; 400 Liter und einem Leitungsnetz &gt; 3 Liter, sofern sie außerhalb eines Ein- oder Zweifamilienhauses betrieben werden. Es müssen mindestens 60°C am Warmwasseraustritt des Trinkwassererwärmers erreicht werden. Die Temperaturdifferenz im Leitungsnetz darf max. 5 Kelvin (K), einschließlich Zirkulation betragen. Stockwerksleitungen mit einem Wasservolumen &gt; 3 Liter sind mit zusätzlichen Zirkulationsleitungen oder selbstregelnden Begleitheizungen auszustatten. Die Zirkulation bzw. elektr. Begleitheizung darf nicht länger als 8 Std. pro Tag unterbrochen werden.</p>
<p>Thermische Desinfektion im Warmwasserspeicher</p>	<p>Warmes Trinkwasser wird im Speicher auf <math>\geq 65^{\circ}\text{C}</math> erhitzt und über einen gewissen Zeitraum gespeichert (4 bis 10 Minuten). Danach gilt das Wasser nach Herstellerangaben als legionellenfrei und könnte in der Folge auch bei niedrigeren Temperaturen weiter gespeichert und verteilt werden. Die Durchmischung von bereits behandeltem Wasser und nachströmendem Kaltwasser soll in den genannten Anlagen durch technische Maßnahmen vermieden werden.</p>
<p>Intermittierende Desinfektion der gesamten Warmwasseranlage</p>	<p>Die intermittierende Desinfektion des gesamten Systems erfolgt durch Aufheizung des Wassers auf <math>70^{\circ}\text{C}</math> und Zirkulation im gesamten Netz einschließlich aller Trinkwasser führenden Speicher in ein bis zwei wöchentlichen Abständen. Dabei muß an jedem Warmwasserauslauf über drei Minuten Wasser entnommen werden. Auf den entsprechenden Verbrühungsschutz ist zu achten.</p>
<p>Quellen: /11/, /15/, /29/, /31/, /49/, /52/, /75/, /95/, /97/, /99/, /107/, /115/</p>	



**3.5.3 Chemische Präventionsmaßnahmen**

Tabelle 15: Chemische Präventionsmaßnahmen

<p>TEXID</p>	<p>Die Wirksubstanz von TEXID ist ein hochwirksamer Tetrachlordecaoxidkomplex, welcher der Trinkwasserverordnung /108/ und DIN 19643 /28/ entspricht und kontinuierlich zugegeben wird. Die Wirkung beruht auf einer Erhöhung der Redox-Spannung und somit einer Beschleunigung oxidativer Abläufe in wasserleitenden Systemen. Dadurch werden Inkrustationen gelöst und organische Substanzen abgebaut. Der Einsatz erfolgt bisher überwiegend im Badewesen.</p>
<p>kontinuierliche Chlorung des Trinkwassers</p>	<p>Die kontinuierliche Chlorung des Trinkwassers ist ein seit langem bewährtes Verfahren, welches heute überwiegend noch in südlichen Ländern angewandt wird /87/. Die Chlorung wirkt durch die oxidierende Wirkung von freiem Chlor im Wasser und führt zu für den Nutzer unangenehmen Chlorbelastungen an den Wasser-entnahmestellen, die allerdings die Benutzung der Anlage während der kontinuierlichen Prävention nicht einschränken.</p>
<p>Intermittierende Hochchlorung</p>	<p>Anders verhält es sich bei der intermittierenden Hochchlorung. Ähnlich wie bei der thermischen intermittierenden Desinfektion muß hier das gesamte System einschließlich aller Warmwasser-entnahmestellen behandelt werden. In dieser Zeit ist die Warmwasseranlage für den Gebrauch zu sperren. Die intermittierende Hochchlorung wird in mehrwöchentlichen bis mehrmonatigen Abständen durchgeführt und gerne z.B. mit der UV-Bestrahlung kombiniert.</p>
<p>Elektrolytische Desinfektion</p>	<p>Mittels einer Elektrolysezelle, die in das Leitungssystem oder über einen Bypass installiert wird, werden aus natürlichen Wasserinhaltsstoffen durch Elektrodenprozesse bevorzugt Chlor/ unterchlorige Säure in steuer- und kontrollierbaren Konzentrationen erzeugt, die desinfizierend wirken.</p>
<p>Quellen: /30/, /48/, /61/, /79/, /87/</p>	

### 3.5.4 Physikalische Präventionsmaßnahmen

Tabelle 16: Physikalische Präventionsmaßnahmen

<p>Tarne-Pure-Verfahren</p>	<p>Das Tarne-Pure-Verfahren ist ein Ionisierungsverfahren, welches seit 1983 erprobt wird. Es werden durch eine elektronische Steuerung in einer Elektrodenzelle Silber- und Kupfer-Ionen freigesetzt und kontinuierlich in das zirkulierende Wasser abgeleitet. Die Ionen verteilen sich im gesamten Wasserkreislauf, sowohl im Wasser als auch auf den Wandungen von Rohrleitungen und Zwischenbehältern wo sie durch den sogenannten oligodynamischen Effekt ihre desinfizierende Wirkung entfalten. Die Ionenkonzentration liegt im Betrieb des Systems unter den Grenzwerten der Trinkwasserverordnung. Dennoch verstößt das Verfahren wegen des aktiven Einbringens der Kupferionen gegen die bundesdeutsche Trinkwasserverordnung und darf nur mit Sondergenehmigung, wie z.B. im KH Bergmannsheil in Bochum, betrieben werden.</p>
<p>Endständige Filtersysteme</p>	<p>Endständige Filtersysteme werden jeweils an den zu behandelnden Wasserauslässen angebracht. Meist gelingt bei korrekter Anwendung eine völlige Keimfreiheit. Allerdings muß ein sehr hoher Aufwand durch regelmäßige Sterilisation der Filterkerzen betrieben werden.</p>
<p>UV-Bestrahlung</p>	<p>Die UV-Desinfektion von Trinkwasser ist ein durch die Bestrahlungsverordnung für Lebensmittel seit 1959 zugelassenes Verfahren der Wasserbehandlung /60/. Die Strahler werden in die Zirkulationsleitung der Warmwasseranlage eingebaut, so daß das zirkulierende Wasser mehrfach bestrahlt und in der Keimbelastung vermindert wird. Die UV-Bestrahlung erfolgt mit einer Strahlung der Wellenlänge 253,7 nm. Da die Strahlung die winzigen Mikroorganismen voll durchdringt, erfolgt die Inaktivierung in wenigen Sekunden. Moderne Hochleistungsstrahler setzen mindestens 35% der aufgewandten elektrischen Leistung in Strahlung der Wellenlänge 253.7 nm um.</p>
<p>Quellen: /1/, /25/, /44/, /60/, /61/, /88/, /102/, /112/</p>	

### 3.5.1 Kombinierte Präventionsmaßnahmen

Tabelle 17: Kombinierte Präventionsmaßnahmen

UV+Ultraschall	Hier sind in einem Gerät Ultraschallbehandlung und Ultraviolettentkeimung kombiniert. Durch die Kavitationswirkung der Ultraschallenergie werden die im Wasser befindlichen Amöben, Cilliaten und Korrosionspartikel aufgeschlossen bzw. in Fragmente zerlegt. Die darin befindlichen Bakterien werden freigesetzt. Im nachfolgenden UV-Reaktionsbereich werden alle freiliegenden Keime durch die hochenergetische UV-Strahlung abgetötet.
UV + Chlor - das Aachener Konzept	Bei dem sogenannten Aachener Konzept werden dezentrale UV-Desinfektionseinheiten mit hochdosierten Chlorspülungen (s.o.) kombiniert.
Quellen: /44/, /61/	

## 3.6 Mögliche Anwendung von Präventionsmaßnahmen im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus

### 3.6.1 Auswahl der geeigneten Präventionsmaßnahmen

Nicht alle der in der Literatur beschriebenen und im vorhergehenden Kapitel erläuterten Präventionsmaßnahmen sind für das alte historisch gewachsene weit verzweigte Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus gleichermaßen geeignet. Im folgenden wird die hygienische Wirksamkeit in dem gegebenen System, sowie die technische Realisierbarkeit beurteilt und tabellarisch dargestellt. Zur Begründung der hier gemachten Feststellungen siehe Diskussion, Kapitel 4.2..

Tabelle 18: Wirksamkeit und technische Realisierbarkeit der beschriebenen Präventionsmaßnahmen im CTK

Präventionsmaßnahme	Hygienische Wirksamkeit	Technische Realisierbarkeit im CTK /51/	Anwendungsbeispiel Nummer: <sup>1</sup>
Dezentralisierung des WW-Systems	gut	gegeben	I
Thermische Prävention nach den Richtlinien des DVGW (W551)	gut	gegeben, relativ aufwendig	II
UV-Bestrahlung plus Ultraschall	gut	gegeben	III
Endständige Filter	sehr gut	gegeben	IV
Allgemeine bautechnische Maßnahmen	nicht ausreichend	gegeben	-
Thermische Desinfektion im WW-Speicher	unzureichend, da Wiederverkeimung im nachfolgenden Rohrnetz	gegeben	-
Intermittierende thermische Desinfektion des Gesamtsystems	gut	nicht gegeben	-
TEXID	umstritten, allerdings wenig Daten	gegeben	-
Kontinuierliche Chlorung	umstritten	gegeben, aber Belästigung durch Reizerscheinungen, Geruch, Geschmack	-
Intermittierende Hochchlorung	wohl ausreichend (wenig Daten)	nicht gegeben	-
Elektrolytische Desinfektion	umstritten	gegeben	-
Tarne-Pure-Verfahren	in der Dauerbehandlung umstritten	gegeben	-
UV-Bestrahlung	nicht ausreichend	gegeben	-
UV-Bestrahlung plus interm. Hochchlorung	gut	nicht gegeben (Hochchlorung)	-
Quellen: /25/, /44/, /61/, /100/			

<sup>1</sup> Die Anwendungsbeispiele werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

### 3.6.2 Kostenabschätzung der geeigneten Präventionsmaßnahmen

Bezüglich des allgemeinen Einsatzes der Präventionsmaßnahmen werden drei grundsätzliche Varianten betrachtet, die einer differenzierten Gefährdungseinschätzung entsprechen: zum einen die Anwendung der Maßnahmen in dem gesamten Warmwassersystem, d.h. **Prävention** ohne Bewertung der Immunkompetenz der Nutzer, zum zweiten die Anwendungsbegrenzung auf Bereiche mit mäßigem Risiko (soweit technisch machbar), das heißt Prävention nur für Nutzer mit potentiell eingeschränkter Immunkompetenz, und zum dritten die Anwendungsbe- grenzung auf ein Gebäude der Patientenversorgung bei z.B. isoliertem Legionellennachweis in nur einem Gebäude. Aus technischen Gründen nicht betrachtet wird die gegebenenfalls hygie- nisch sinnvolle Variante der Anwendung von **Präventionsmaßnahmen** beschränkt auf eine Station der Patientenversorgung, da die einzelnen Stationen im Carl-Thiem-Klinikum nicht über getrennte Warmwasserversorgungen verfügen, sondern zusammen mit anderen Stationen über mehrere Steigleitungen versorgt werden. Aus der Tabelle 19: Systembeschreibung (Vari- anten), Seite 41 ergibt sich damit für die einzelnen Varianten folgende Aufstellung:

Tabelle 19: Systembeschreibung (Varianten)

<b>Variante 1:</b> Gesamtsystem	ca. 11.600 Meter Rohrleitung	364 Steigleitungen	31 Gebäude
<b>Variante 2:</b> Bereiche mit mäßigem Risiko	ca. 7.000 Meter Rohrleitung	220 Steigleitungen	11 Gebäude
<b>Variante 3:</b> Ein Gebäude	ca. 650 Meter Rohrleitung	20 Steigleitungen	01 Gebäude

#### Dezentralisierung des Warmwassersystems unter Beibehaltung des zentralen Heiznetzes (Anwendungsbeispiel I) /64/

Die Dezentralisierung erfolgt durch Einbau von Plattenwärmetauschern. Es wird je ein Gerät pro Steigleitung benötigt. Verbrauchsgebundene Jahreskosten entstehen nicht, es werden lediglich als Wartungskostenpauschale 2% der Investitionssumme angesetzt.

Tabelle 20: Geschätzte Kosten Dezentralisierung des Warmwassersystems (Anwendungsbeispiel I)

<b>Kosten Dezentralisierung</b>	<b>Variante 1:</b> Gesamtsystem	<b>Variante 2:</b> Bereiche mit mäßigem Risiko	<b>Variante 3:</b> Ein Gebäude
Investition in DM	340.000	206.000	18.700
Jahreskosten in DM	6.800	4.120	374
Barwert in DM (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	386.000	234.000	21.200

#### Die thermische Prävention nach den Richtlinien des DVGW (W551) (Anwendungsbeispiel II) /49/

Die thermische Prävention nach den Vorgaben des DVGW - Arbeitsblatt W 551 - ist für das gegebene Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikums wie folgt zu realisieren: Anhebung der Speicherauslauftemperatur von derzeit 50°C auf 61°C. Dadurch kann die Temperaturerhaltung in den Kollektoren von der Heizzentrale aus gewährleistet werden. Innerhalb der Gebäude erfolgt die Temperaturerhaltung durch elektrische Rohrbegleitheizung. Für die Rohrbegleitheizung werden pro Steigleitung eine Anschlußdose und entsprechend der Rohrlänge elektrisches Heizband benötigt /27/. Weiterhin entstehen durch die höheren Temperaturen auch erhöhte Wärmeverluste, deren Ausgleich erhöhte Energiekosten zur Folge hat /110/:

Die Temperaturdifferenz in den Gebäudenetzen zwischen Warmwassertemperatur und direkter Umgebungstemperatur wird mit 30 K (55°C - 25°C) angenommen. Zuvor betrug die Temperaturdifferenz nur ca. 21 K. (46°C - 25°C). Für die Kollektorleitungen wird analog eine Temperaturdifferenz zwischen Warmwassertemperatur und direkter Umgebungstemperatur im Kollektor bzw. Kanal mit 38 K (58°C - 20°C) angenommen. Zuvor betrug die Temperaturdifferenz nur ca. 26 K. (46°C - 20°C)

Für die Warmwasserspeicher wird eine Speichertemperatur von 61°C bei einer Umgebungstemperatur von 20°C angesetzt. Zuvor betrug die Speichertemperatur 50°C. Als Wartungskosten werden pauschal 2% der Investitionssumme angesetzt.

Tabelle 21: Geschätzte Kosten thermische Prävention nach DVGW Arbeitsblatt W 551 (Anwendungsbeispiel II)

<b>Kosten thermische Prävention</b>	<b>Variante 1: Gesamtsystem</b>	<b>Variante 2: Bereiche mit mäßigem Risiko</b>	<b>Variante 3: Ein Gebäude</b>
1 Anschlußdose pro Steigleitung in DM	6.000	3.600	330
Elektr. Heizband für die Gebäudenetze in DM	175.000	93.000	8.800
Wärmeverluste Speicher in DM pro Jahr (Fernwärme)	240	240	240
Wärmeverluste Kollektoren in DM pro Jahr (Fernwärme)	5.100	5.100	5.100
Wärmeverluste Gebäude in DM pro Jahr (Strom)	156.000	83.000	7.800
Wartungskosten in DM pro Jahr	3.600	1.900	180
Gesamtinvestition in DM	181.000	96.600	9.130
Gesamtjahreskosten in DM pro Jahr	164.940	90.240	13.320
Barwert in DM (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	1.290.000	701.000	98.000

#### UV+Ultraschall (Anwendungsbeispiel III) /44/

Für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus wird empfohlen, je ein Gerät pro Gebäude zu installieren. Der Energieverbrauch beträgt ca. 20 kWh/ Anlage und Tag, entsprechend ca. 7,3 MWh/a. Für Wartungskosten werden pauschal 2% der Investitionssumme angesetzt.

Tabelle 22: Geschätzte Kosten der Prävention mit UV+Ultraschall (Anwendungsbeispiel III)

<b>Kosten UV+Ultraschall</b>	<b>Variante 1: Gesamtsystem</b>	<b>Variante 2: Bereiche mit mäßigem Risiko</b>	<b>Variante 3: Ein Gebäude</b>
Laufende Stromkosten in DM pro Jahr	47.000	17.000	1.500
Ersatzteilkosten in DM pro Jahr	72.000	26.000	2.300
Wartungskosten in DM pro Jahr	25.000	8.800	800
Investition in DM	1.225.000	435.000	40.000
Gesamtjahreskosten in DM pro Jahr	144.000	51.800	4.600
Barwert in DM (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	2.190.000	774.000	70.000

#### Endständige Filtersysteme (Anwendungsbeispiel IV) /119/

Nach Angaben der Firma Sartorius entstehen für o.a. Situation geschätzte Kosten entsprechend folgender Aufstellung: Inklusiv Filterkerze, Schnellverschlußkupplung und Übergangsstück werden für die Investition pro Einheit ca. 230,- DM veranschlagt. Es wären bis zu 40 Autoklavierzyklen pro Filterkerze zu erreichen. Die Kosten für eine Filterkerze ohne Zubehör betragen 137,- DM. Die Kosten für das Autoklavieren werden von der Firma nicht angegeben, da diese sehr von den örtlichen Gegebenheiten abhängig sind. Bei Ansatz der im Carl-Thiem-Klinikum tatsächlich entstehenden Ausgaben für das Autoklavieren (12,- DM pro Filterkerze und Sterilisation) entstehen nach Angaben der Firma Sartorius geschätzte Kosten entsprechend nachfolgender Tabelle. Aufgrund des hohen Aufwands dieser Präventionsmaßnahme wird hier auf die Betrachtung der drei Varianten verzichtet. Es werden die Kosten pro Filter angegeben, sowie die Kosten für die Versorgung ausschließlich der Bereiche mit hohem Risiko. Das betrifft derzeit 8 Warmwasserauslässe.

Tabelle 23: Geschätzte Kosten endständige Filtersysteme

<b>Geschätzte Kosten endständige Filtersysteme</b>	<b>Bereiche mit hohem Risiko</b>	<b>1 Filter</b>
Laufende Kosten für auszutauschende Filterkerzen in DM pro Jahr	2.845	355
zzgl. Autoklavierkosten in DM pro Jahr	10.000	1.250
Investition in DM	1.860	230
Gesamtjahreskosten in DM pro Jahr	12.845	1.605
Barwert in DM (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	88.000	11.000

Die Verwendung von endständigen Filtern wird in ausgewählten Bereichen (Hämatologie, Gebärdewanne) im Carl-Thiem-Klinikum bereits praktiziert. Derzeit befinden sich in der Hämatologie (Station 1d) und der Gynäkologie (Kreißaal) 3 Duschfilter und 5 Waschbeckenfilter der Firma PaLL GmbH Biomedizin im Einsatz. Im folgenden werden die derzeit tatsächlich im Carl-Thiem-Klinikum entstehenden Kosten angegeben.

Inklusive Filterkerze, Schnellverschlußkupplung und gegebenenfalls Übergangsstück oder Duschkopf werden für die Investition pro Einheit etwa 240,- DM angesetzt. Die Filterkerzen werden 2x pro Woche sterilisiert. Nach durchschnittlich 30 Autoklavierzyklen müssen die Filterkerzen ausgetauscht werden. Die Kosten für eine Filterkerze ohne Zubehör betragen ca. 140,- DM. Die Kosten für das Autoklavieren betragen pro Filterkerze und Sterilisation derzeit ca. 12,- DM. Diese Summe beinhaltet Personalkosten und Sachkosten (für Verbrauchsmaterialien, Medien, Instandhaltung und Wartung, Abschreibungen, Sonstiges).

Tabelle 24: Tatsächliche Kosten endständige Filtersysteme (Anwendungsbeispiel IV)

<b>Tatsächliche Kosten endständige Filtersysteme</b>	<b>Bereiche mit hohem Risiko</b>	<b>1 Filter</b>
Laufende Kosten für auszutauschende Filterkerzen in DM pro Jahr	3.880	485
zzgl. Autoklavierkosten in DM pro Jahr	10.000	1.250
Investition in DM	1.920	240
Gesamtjahreskosten in DM pro Jahr	13.880	1.735
Barwert in DM (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	95.000	11.900

Erwartungsgemäß liegen die von der Firma geschätzten Kosten unter den tatsächlich entstehenden Kosten. Insgesamt bewegen sich die Kosten jedoch in der selben Größenordnung. Um im wirtschaftlichen Vergleich solchen Schätzfehlern Rechnung zu tragen, wird im Kapitel 3.6.4 eine **Sensitivitätsanalyse** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt.

#### **Legionellenmessung /66/**

Die Kosten für eine Trinkwasseruntersuchung sind in Untersuchungslaboratorien sehr unterschiedlich. Die in dieser Arbeit angegebenen Werte beziehen sich auf die in der Gebührenordnung für Ärzte (GOÄ – Stand 01.01.1996) angegebenen Beträge. Zugrunde gelegt wird der bei Rechnungslegung für Laborleistungen üblicherweise geforderte 1,3fache Satz. Damit belaufen sich die **Kosten für den Nachweis von Legionella** (Nr. 4539) auf 37,05 DM, sowie für die Keimzahlbestimmung (Nr.4606) auf ebenfalls 37,05 DM. Bei positivem Legionellennachweis werden die Stämme an das Referenzlabor für Legionellen an der Universität Dresden, Dr. Lück, gesandt. Die Typisierung erfolgt mittels monovalenter Antiseren. Es werden derzeit ca. 30,- DM je eingesetztem Antiserum veranschlagt. In dieser Arbeit wird für das Gesamtsystem jährlich die Durchführung von 57 Untersuchungen vorgeschlagen (3 in den Kollektoren, 2x 11 in den Gebäuden mit mäßigem Risiko, 4x8 an den endständigen Filtern). (Siehe Kapitel 3.4 Meßkonzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus)



Tabelle 25: Kosten für regelmäßige Messungen

Kosten für regelmäßige Messungen (negative Befunde):	In dem Gesamtsystem	Nur für Bereiche mit mäßigem Risiko	Nur für Bereiche mit hohem Risiko
Quantitative Keimzahlbestimmung in DM pro Jahr	2.112,-	815,-	1.186,-
Legionella-Negativnachweis in DM pro Jahr	2.112,-	815,-	1.186,-
Jahresgesamtkosten in DM	4.224,-	1.630,-	2.372,-
Barwert in DM bei Legionella-Negativnachweis (über 10 Jahre, Zinssatz 8%)	28.343,-	10.937,-	15.916,-

### 3.6.3 Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III

Im ökonomischen Vergleich werden zunächst die anfallenden Kosten der für das Carl-Thiem-Klinikum geeigneten Präventionsmaßnahmen für die jeweils betrachtete Variante graphisch dargestellt. Ausgenommen von dem Vergleich innerhalb der genannten Anwendungsvarianten ist die Prävention mit endständigen Filtersystemen, die nur für Bereiche mit hohem Risiko, also an wenigen ausgewählten Warmwasserauslässen sinnvoll und praktikabel ist. Im Anschluß werden zur Einschätzung der Größenordnung die derzeit etwa entstehenden Kosten für endständige Filtersysteme, sowie die durch regelmäßige Messungen entsprechend dem entwickelten Meßkonzept entstehenden Kosten in gleicher Weise graphisch dargestellt.

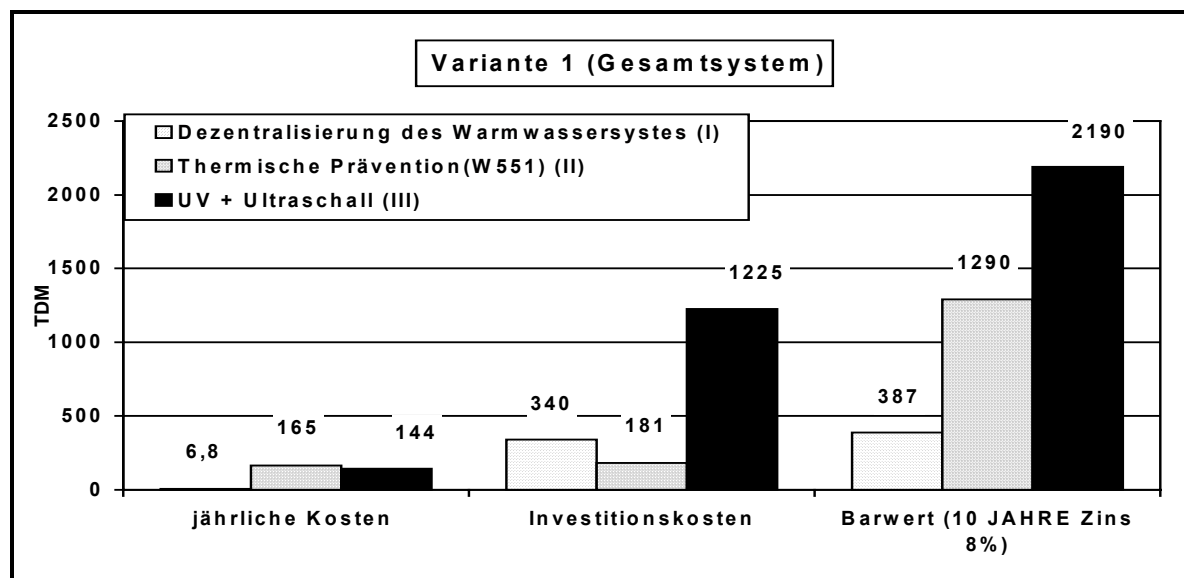


Abbildung 4: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Variante 1 (Gesamtsystem)

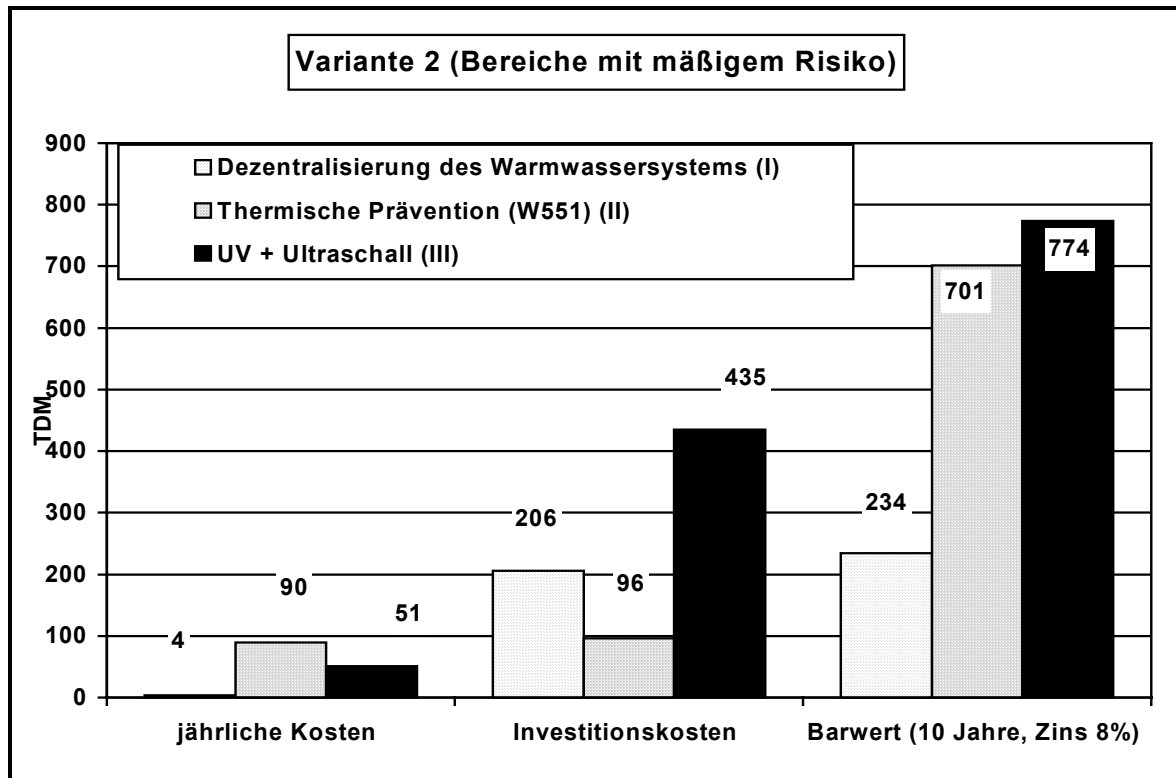


Abbildung 5: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Bereiche mit mäßigem Risiko

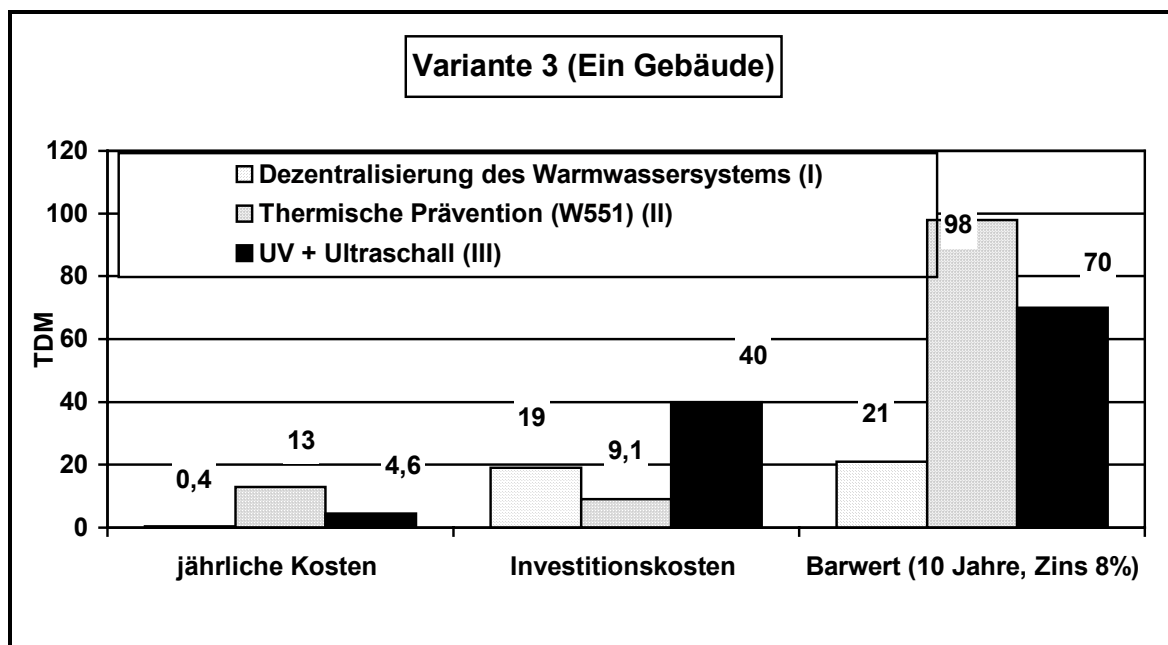


Abbildung 6: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Ein Gebäude

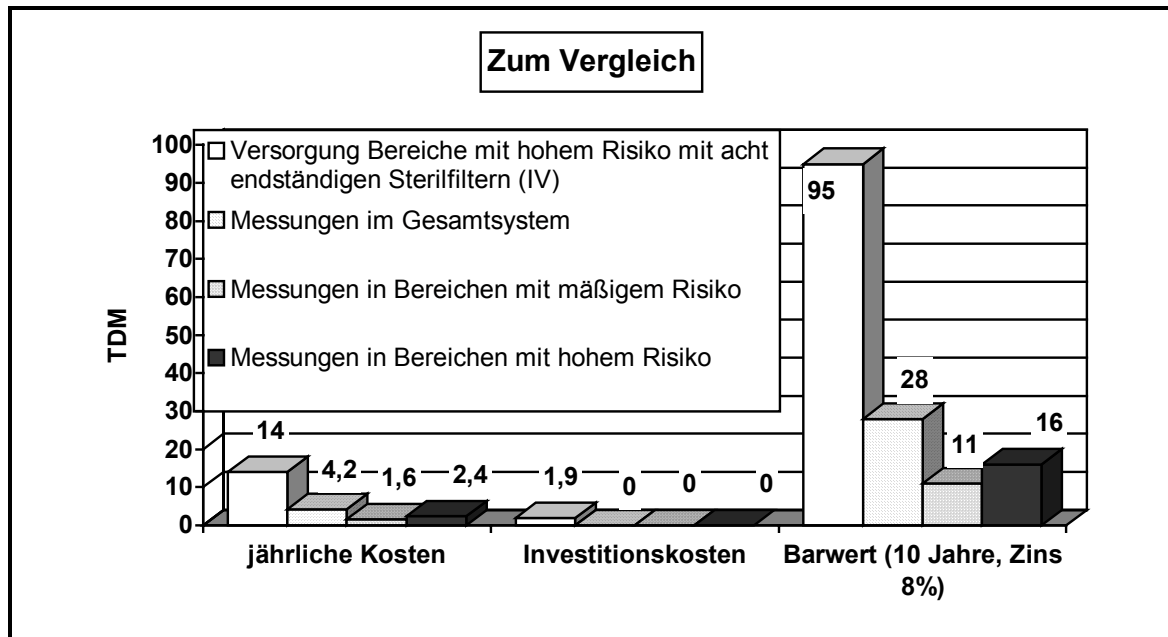


Abbildung 7: Ökonomischer Vergleich, Versorgung der Bereiche mit hohem Risiko mit acht endständigen Filtern (Anwendungsbeispiel IV) und regelmäßige Messungen gemäß den Vorgaben dieser Arbeit (Kap. 3.4.)

### 3.6.4 Sensitivitätsanalyse zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Zur Berechnung der Barwerte wurden Annahmen über Energiepreis, Zinsfaktor, Nutzungsdauer und potentielle Investitionskosten gemacht. In der konkreten Anwendung können die tatsächlich entstehenden Kosten von den Annahmen abweichen und damit den Barwert in unterschiedlichem Maß beeinflussen. Aus diesem Grund wird eine **Sensitivitätsanalyse** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die drei genannten Anwendungsvarianten durchgeführt und graphisch dargestellt.

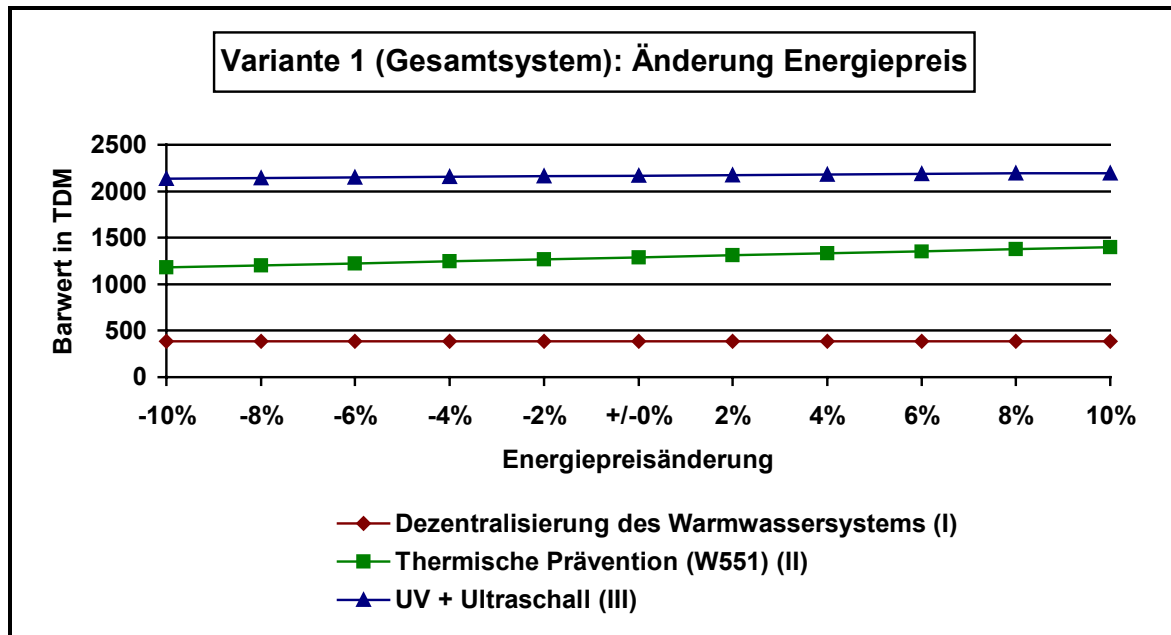


Abbildung 8: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem

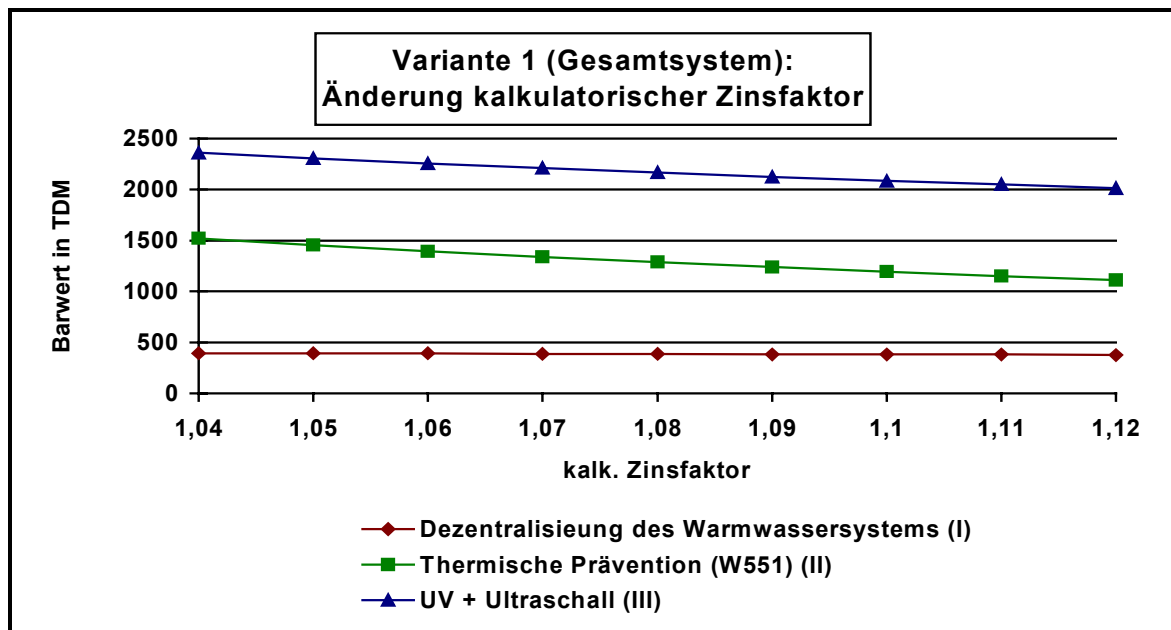


Abbildung 9: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem

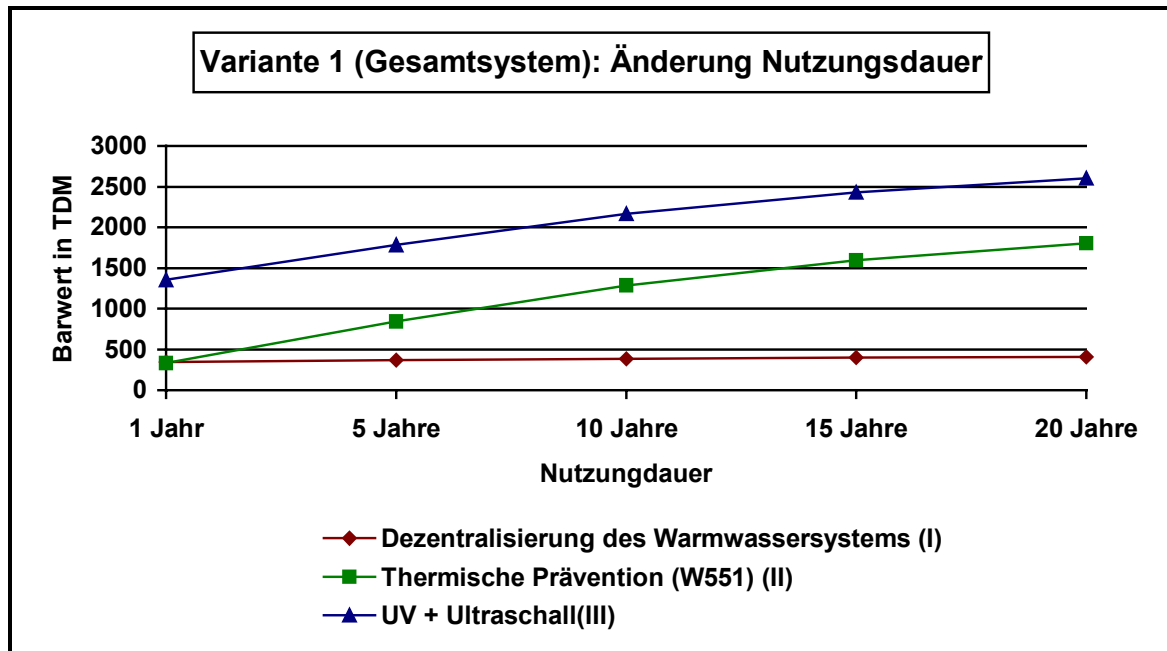


Abbildung 10: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem

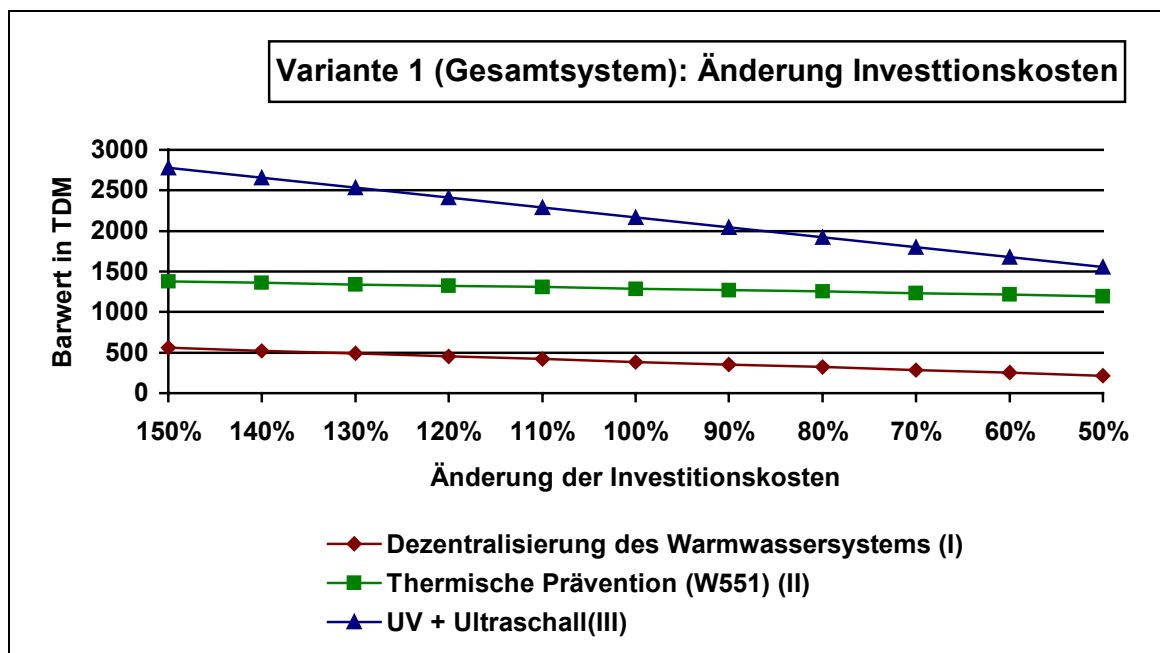


Abbildung 11: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem

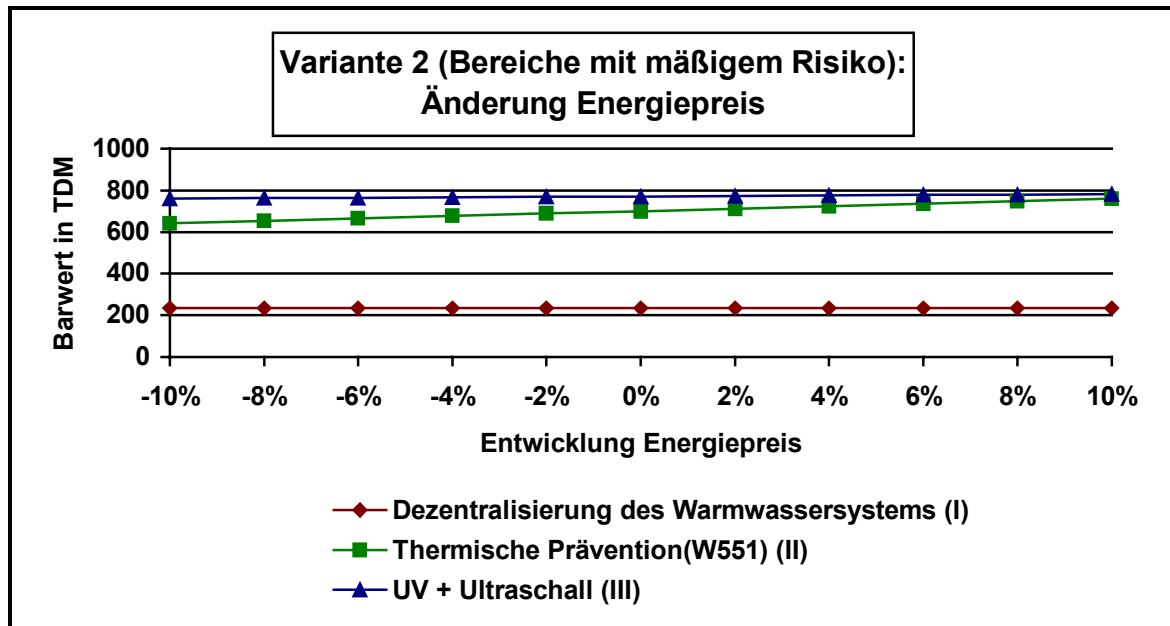


Abbildung 12: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko

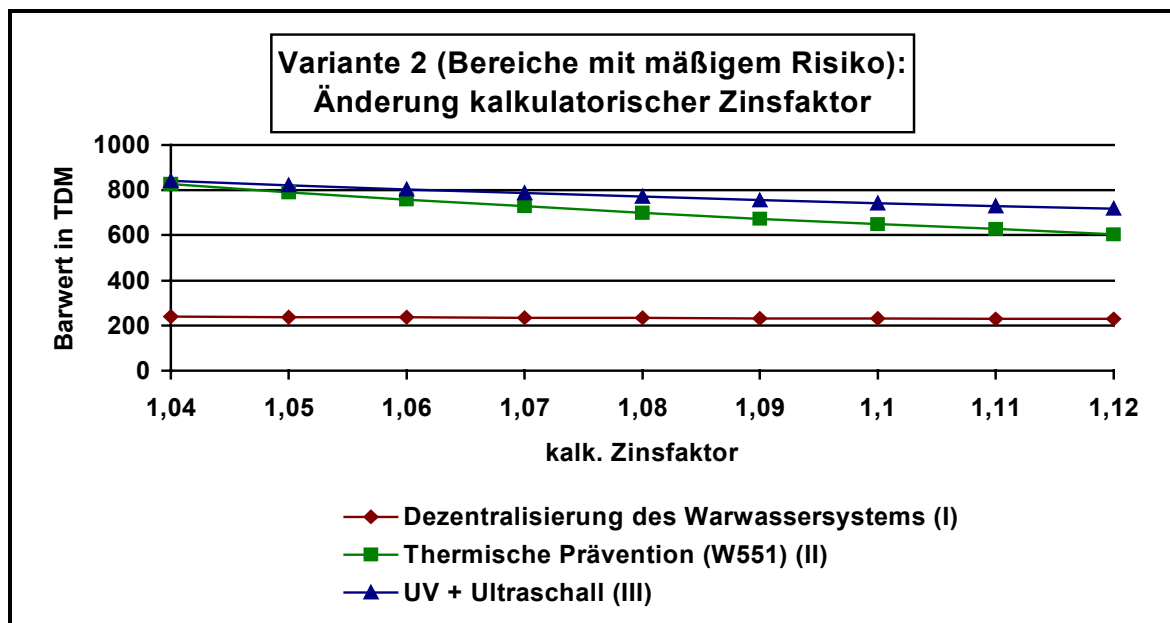


Abbildung 13: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko

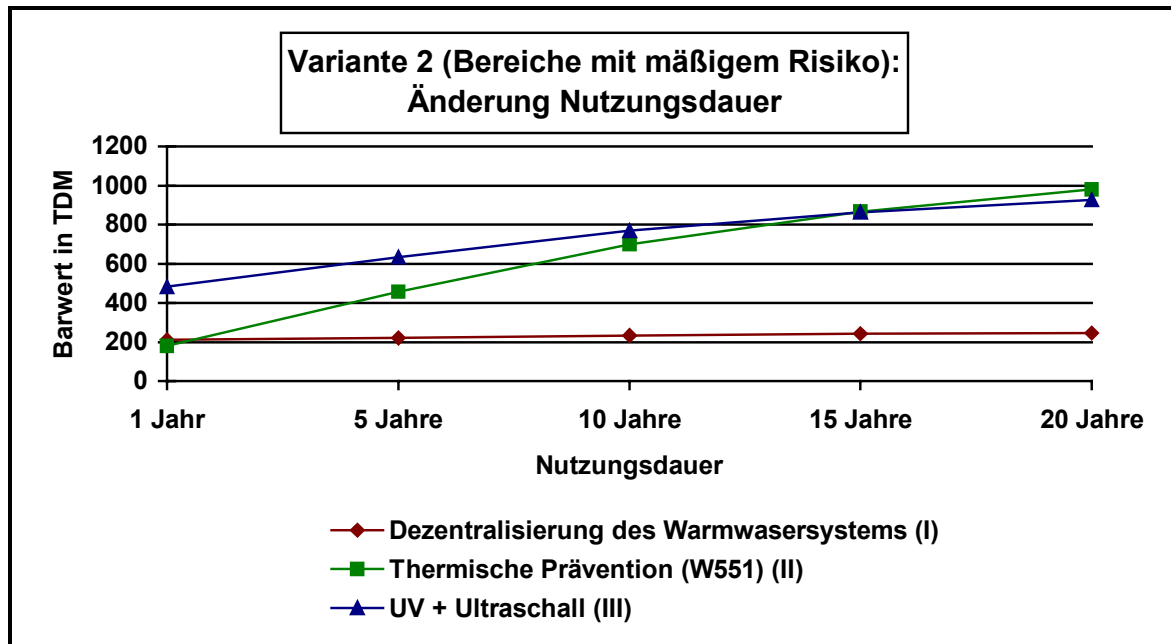


Abbildung 14: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko

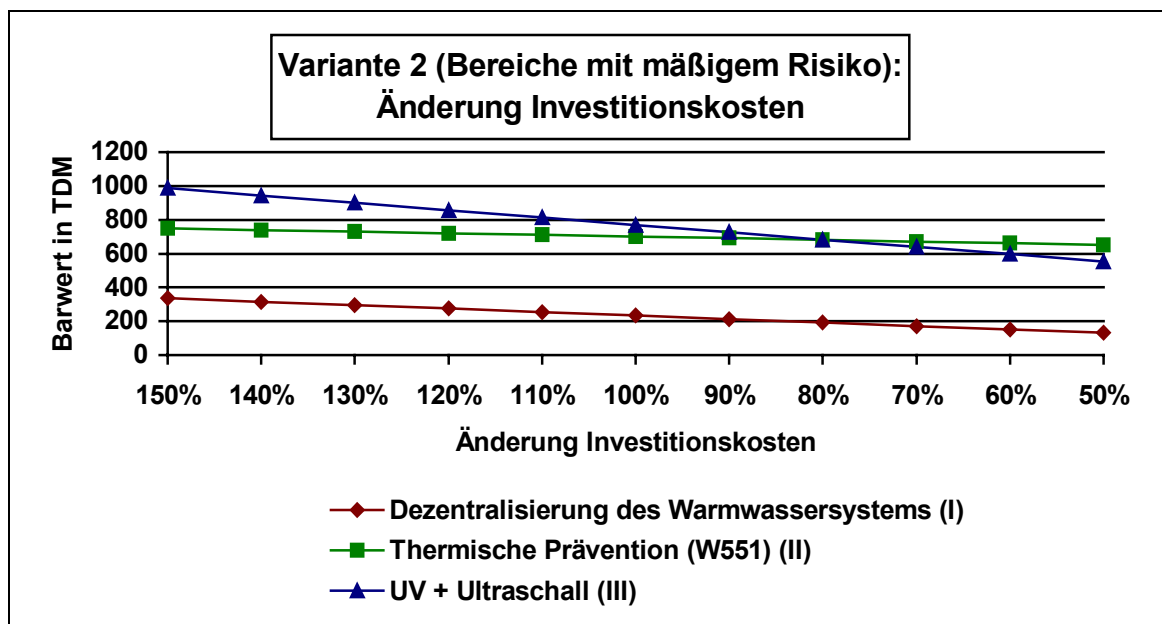


Abbildung 15: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko

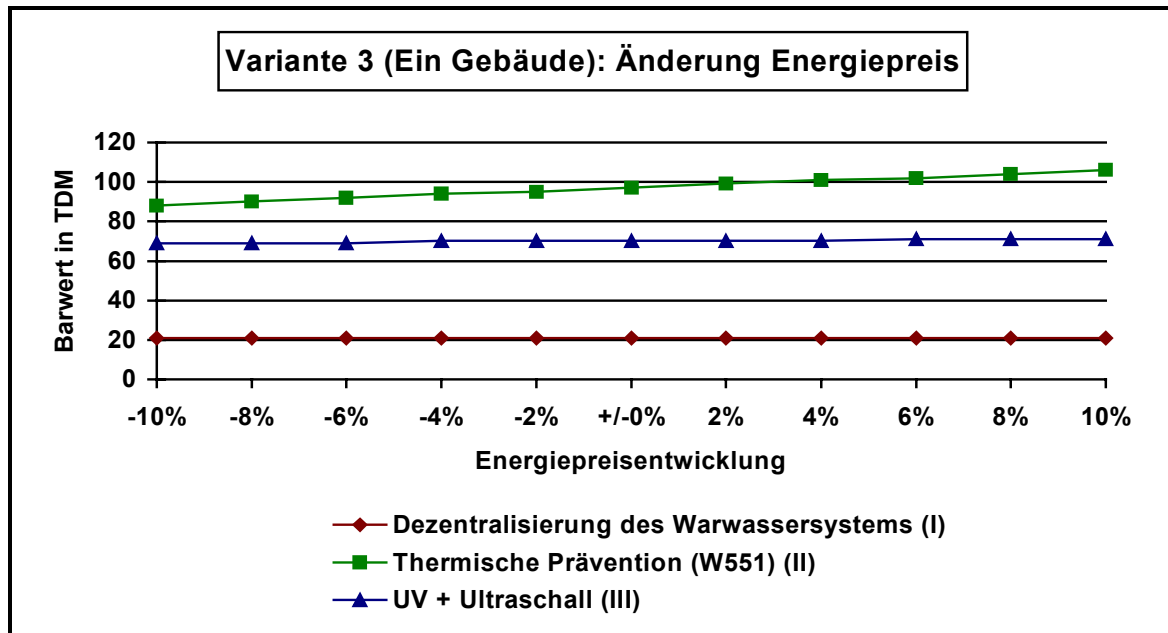


Abbildung 16: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude

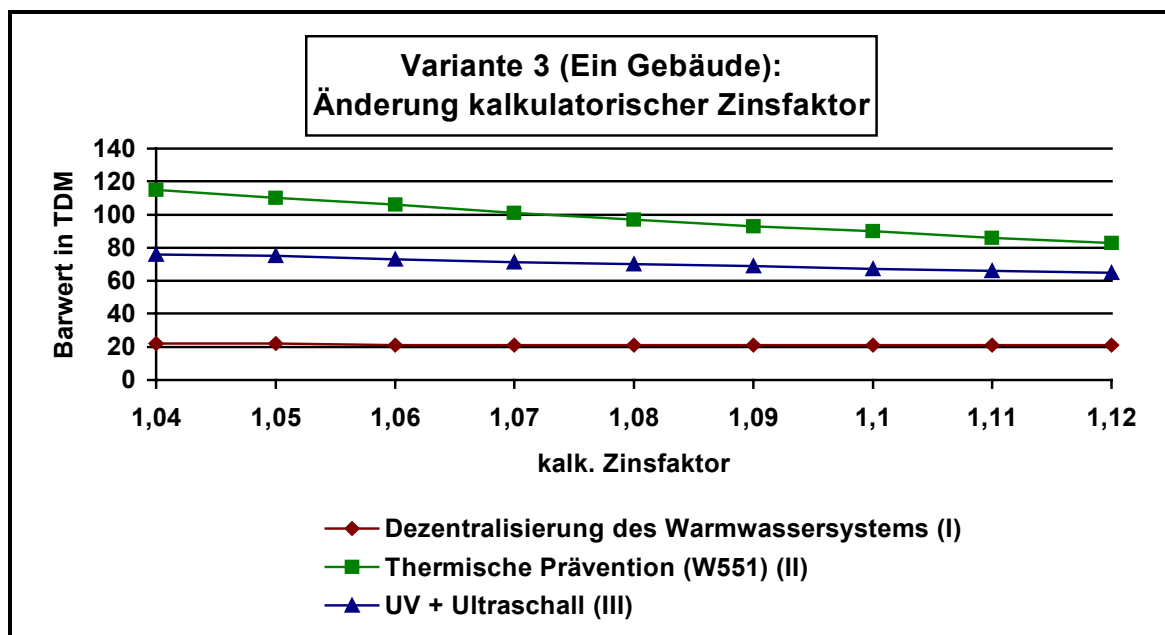


Abbildung 17: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude



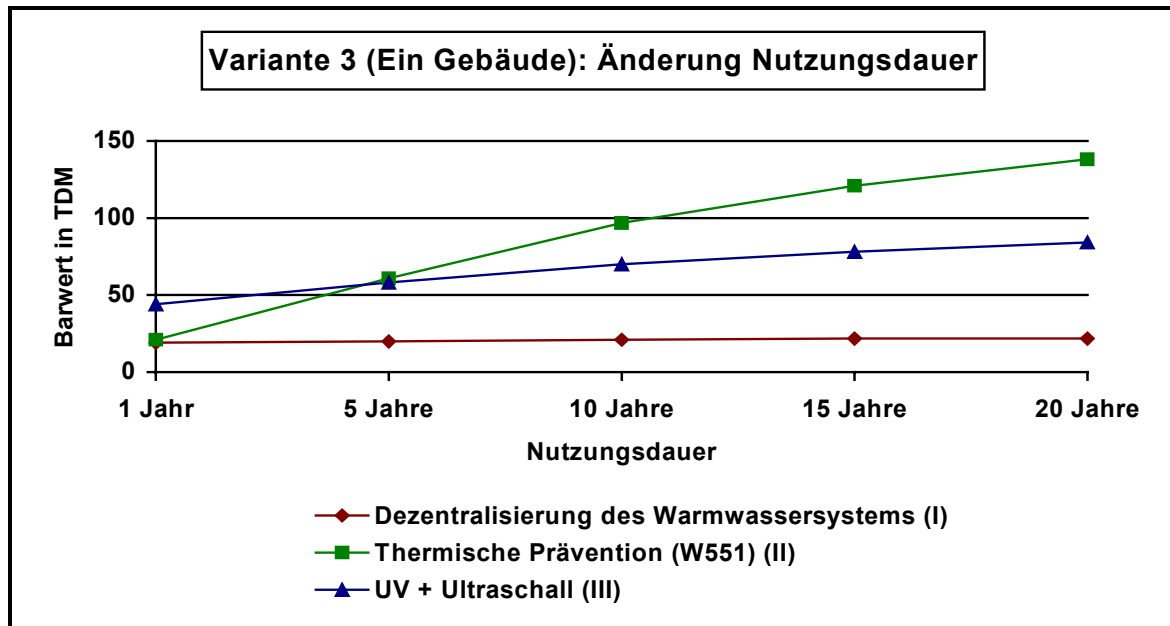


Abbildung 18: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude

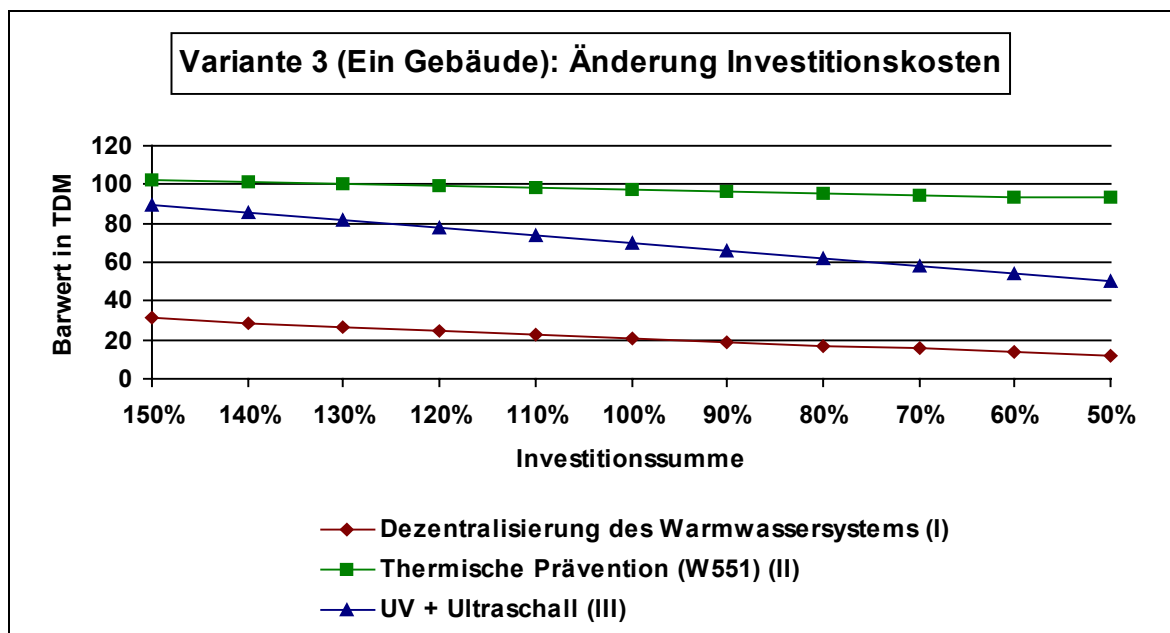


Abbildung 19: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude

## 4 Diskussion

### 4.1 Legionellenmessungen und Grenzwerte

Es ist nicht bekannt, welche Keimdosierung nach Aufnahme durch den Menschen mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Erkrankung führt. Entsprechend unterschiedlich angegeben und kontrovers diskutiert werden daher in der Literatur Hinweise auf Schwellenwerte, mit deren Überschreiten ein erhöhtes Infektionsrisiko verbunden ist. Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß in der Regel Mikrobiologen als verantwortliche Hygienebeauftragte im Krankenhaus höhere Grenzwerte (100 KBE/ ml für Bereiche mit mäßigem Risiko) akzeptieren, als dies im technischen Bereich durch die Vorgaben z.B. des DVGW (10 KBE/ ml für Bereiche mit geringem Risiko) der Fall ist (siehe Tabelle 9: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit geringem Risiko, Seite 31 und Tabelle 10: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit mäßigem Risiko, Seite 32).

Der Mikrobiologe hat im Krankenhaus täglich mit pathogenen Keimen und den durch sie hervorgerufenen Krankheiten zu tun. Die Bedrohung durch Legionellen relativiert sich dadurch für ihn erheblich. Daß Legionellen, anders als z.B. Pseudomonaden oder Pneumokokken, in nennenswerten Konzentrationen ausschließlich in durch den Menschen geschaffenen Warmwassersystemen vorkommen, ist für ihn von untergeordneter Wichtigkeit.

Im Gegensatz dazu ist, für die im technischen Bereich verantwortlichen Betreiber solcher Warmwassersysteme, gerade diese Tatsache von immenser Bedeutung. Wenn es in ihren Systemen Bakterien gibt, die sonst in der Umwelt quasi keine Rolle spielen, liegt genau hier das Problem. Die Zielsetzung der verantwortlichen Techniker ist es, ihre Systeme so legionellenarm wie möglich zu machen, um bei evtl. dennoch auftretenden Erkrankungen nicht haftbar gemacht zu werden.

Für den Bereich der Technik hat der DVGW 1996 das Arbeitsblatt W552 zur Legionellenprävention in älteren Großanlagen herausgegeben, das als technische Regel anerkannt ist. Eine technische Regel ist nicht verbindlich im Sinne eines Gesetzes, hat jedoch für den ausführenden Gas- und Wasserinstallateur etwa dieselbe Verbindlichkeit wie ein in der Medizin als Goldstandard bezeichnetes Verfahren. Wer sich darüber hinwegsetzt, riskiert gegebenenfalls zu Schadensersatzleistungen herangezogen zu werden, da es im Schadensfall bei Nichtbeachtung einer solchen technischen Regel zur Beweislastumkehr kommt.

Das Arbeitsblatt W 552 des DVGW regelt, wann und wo Legionellenmessungen durchzuführen sind, und ab welchem Grenzwert das System saniert und präventiv behandelt werden muß. Es gilt für alle Wassererwärmungsanlagen, die eine bestimmte Größe überschreiten (Speicher > 400 Liter und Leitungsnetz > 3 Liter) und nicht den Anforderungen für Neuanlagen gemäß Arbeitsblatt W 551 entsprechen. Die Anforderungen des Arbeitsblattes W551 entsprechen hauptsächlich einer thermischen Prävention. Ausdrücklich einbezogen in die Empfehlungen zu Grenzwerten und Messungen ist die Situation in Krankenhäusern, Altenheimen, Hotels etc. aufgrund des großen Risikos für die Gesundheit /32/, /49/.

Nach Exner /39/ müssen die mit der Bewertung der Grenzwerte verbundenen Empfehlungen bezüglich weitergehender Maßnahmen in einem sinnvollen und realistischen Verhältnis zu dem erzielten Nutzen, nämlich der Minimierung von potentiellen Infektionsrisiken, stehen. Es stellt sich die Frage, warum für Anlagen, für die Gas- und Wasserinstallateure nach ihrem Regelwerk verantwortlich zeichnen (z.B. in Industriebetrieben, Hotels, ggf. auch in Krankenhäusern,...), strengere Maßstäbe gesetzt werden als für Anlagen, die zusätzlich von einem verantwortlichen Hygienebeauftragten z.B. nach den Empfehlungen der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene des Landes Brandenburg überwacht werden. Aus mikrobiologischer Sicht ist diese Diskrepanz nicht logisch, wenn auch aus psychologischer Sicht verständlich: Wer Verantwortung trägt, neigt dazu in Bereichen, von denen er wenig versteht, übervorsichtig zu sein, während mit zunehmender Kompetenz das Verhältnis von Aufwand und Nutzen immer mehr in den Blick gerät.

Die in dem Regelwerk der Gas- und Wasserinstallateure gegebenen Empfehlungen zu regelmäßigen Messungen und Grenzwerten gelten allerdings nur für ältere Anlagen und solche neuere Anlagen, die nicht den Anforderungen des Arbeitsblattes W551 für Neuanlagen entsprechen. Die Anlagen, die entsprechend dem Arbeitsblatt W551 ausgelegt sind, werden neben einigen bautechnischen Vorschriften im wesentlichen mit einer thermischen Prävention betrieben. Hier wird das Risiko einer unkontrollierten Legionellenvermehrung als so gering eingestuft, daß regelmäßige Messungen nicht erforderlich sind. Im Angesicht der sehr strengen Maßstäbe für Grenzwerte und Messungen in älteren Anlagen erscheint der Verzicht auf jedwede Messung bei Einhaltung der Maßgaben für Neuanlagen zumindest verwunderlich.

Die Empfehlungen in der Literatur bezüglich der Häufigkeit von Messungen, tolerabler Grenzwerte und daraus resultierender erforderlicher Maßnahmen differieren nicht nur „allgemein“, sondern auch hinsichtlich des jeweils betrachteten Risikobereiches. So sind z.B. in Verwaltungs- und Versorgungsbereichen maximal jährliche, z.T. überhaupt keine Messungen vorgesehen, während in Bereichen mit hohem Risiko in vierteljährlichen bis maximal monatlichen Kontrollen Legionellenkonzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze in 1 Liter gefordert werden. In Anbetracht einer solchermaßen differenzierten Sichtweise halte ich es für richtig, die regelmäßige Beprobung und gegebenenfalls Prävention nicht gleichmäßig über das gesamte Warmwassernetz zu erstrecken, sondern die Bereiche mit höherem Risiko häufiger zu betrachten, während Bereiche mit geringem Risiko nur sehr selten berücksichtigt werden müssen. Dazu werden verschiedene Risikobereiche definiert. Die Einteilung orientiert sich an den Empfehlungen der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg /2/ mit den Unterschieden, daß der Bereich „ohne Risiko“ hier als Bereich mit geringem Risiko benannt wird und daß in den Bereichen „mit mäßigem Risiko“ *sämtliche* Pflegestationen aufgenommen worden sind, da meiner Ansicht nach gerade im Krankenhaus auch auf Stationen wie der Allgemeinchirurgie oder Augenheilkunde heute zu einem größeren Prozentsatz ältere und multimorbide Patienten mit eingeschränkter Immunabwehr behandelt werden. Ähnliches gilt für die Situation in Alters- und sonstigen Pflegeheimen.

### 4.2 Präventionsmaßnahmen

Ist eine Prävention aufgrund einer hohen bis sehr hohen **Legionellenbelastung** des Warmwassersystems bzw. nach einer Epidemie unstrittig, stehen nach erfolgreicher Sanierung verschiedene **Präventionsmaßnahmen** zur Verfügung. Die Vielschichtigkeit des Marktes ist auch von erfahrenen Ingenieuren nur schwer zu überblicken. Sehr plastisch schildert z.B. Herr Dipl. Ing. R. Siegismund, Leiter der Fachgruppe Technische Ausrüstung (Verband beratender Ingenieure in Deutschland) eine Situation im Sommer 1999 in der er für Kliniken und Hotels mit befallenen Warmwassersystemen Systemlösungen suchte. Er hatte mit Rundbriefen an Hersteller das Problem geschildert und Lösungen angefragt. Er bekam die unterschiedlichsten Maßnahmen vorgeschlagen. Die Vertreter der verschiedenen Systeme waren in der Regel überzeugt, das richtige Konzept zu haben, und meist auch der Meinung, daß alle anderen Konzepte weniger gut wären /103/. Unter Berücksichtigung der Herstellerinteressen eine verständliche Situation. Nur gingen in der anschließenden Diskussion innerhalb der Fachgruppe die Meinungen der Ingenieure mindestens ebenso auseinander. Belegen lassen sich die jeweiligen Meinungen fast alle mit Einzelbeobachtungen und kleineren Studien zur Wirksamkeit der verschiedenen Präventionsmaßnahmen mit denen die einzelnen Hersteller ihr Konzept hervorheben. Groß angelegte prospektive Studien, die einen sicheren Vergleich der Wirksamkeit der verschiedenen auf dem Markt angebotenen Maßnahmen zulassen, sind bisher nicht durchgeführt worden. Auch fehlen eindeutige epidemiologische Daten darüber, ob eine konsequente Prävention statistisch gesehen überhaupt von Nutzen ist. Die wichtigsten der heute angewandten Maßnahmen, einschließlich derer, die nicht in dieser Arbeit am Beispiel des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus untersucht wurden, sind in der Literaturlauswertung im Kapitel 3.5 (Seite 35) dargestellt und werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

#### 4.2.1 Bautechnische Präventionsmaßnahmen

##### Allgemeine Maßnahmen

Die beschriebenen allgemeinen Maßnahmen sollten ungeachtet weiterer Präventionsmaßnahmen beachtet und durchgeführt werden. Allerdings handelt es sich hier um allenfalls flankierende Maßnahmen, die eine weitere Präventionsmaßnahme bei vorhandenem Legionellenbefall nicht ersetzen können.

##### Dezentralisierung des Warmwassersystems (Anwendungsbeispiel I)

Die bautechnische **Prävention** durch Einbau dezentraler Plattenwärmetauscher für die Trinkwasserversorgung in das bestehende zentrale Heiznetz kann gewissermaßen als Ursachenbekämpfung angesehen werden. Es ist bekannt, daß es in kleineren Warmwasseranlagen, wie sie zum Beispiel für Ein- und Zweifamilienhäuser üblich sind, kein nennenswertes Legionellenproblem gibt. Erst durch die Größe einer zentralen Warmwasserversorgung mit erheblichem Speichervolumen und langen Rohrnetzlängen entstehen optimale Bedingungen für die Vermehrung von Legionellen. Durch den dezentralen Umbau wird das Trinkwasser im Durchflußprinzip erst unmittelbar vor dem Gebrauch erhitzt und direkt verteilt. Die relativ kleinen Bereiche, die mit je einem Gerät versorgt werden, gewährleisten, daß jederzeit ausreichend Warmwasser zur Ver-

fügung steht. Gleichzeitig wird durch Beibehaltung des zentralen Heiznetzes die praktische und kostengünstige zentrale Erwärmung und Speicherung des Heizwassers beibehalten und auch weiterhin zur Erwärmung des Trinkwassers im Gegenstromprinzip genutzt.

### 4.2.2 Thermische Präventionsmaßnahmen

Zur Hitzeresistenz der Legionellen finden sich in der Literatur widersprüchliche Angaben, wobei Stämme, die im Labor gezogen wurden eine niedrigere Hitzetoleranz zu besitzen scheinen als freilebende Stämme /17/, /26/, /56/, /72/, /80/, /96/. Eine grundsätzliche Schwierigkeit für die Übertragung von Studienergebnissen in die Praxis besteht darin, daß in der Regel mit Bakterien suspensionen gearbeitet wird. Die mögliche Schutzwirkung eines Biofilms und der möglichen intrazellulären Lebensweise (Amöben), die unter Umständen auch gegenüber erhöhten Temperaturen wirksam ist, kann dabei nicht berücksichtigt werden. Ergebnisse die an realen Systemen gewonnen wurden, sind uneinheitlich. Bei einer Dauertemperatur von 60°C scheint eine exzessive Vermehrung von Legionellen weitgehend ausgeschlossen zu sein, wenngleich beschrieben wurde, daß Legionellen bei dieser Temperatur durchaus in Einzelfällen überleben können. Der Wert von 60°C wird vom ehemaligen Bundesgesundheitsamt, jetzt Robert-Koch-Institut und dem Deutschen Verband der Gas- und Wasserinstallateure (DVGW) in Übereinstimmung mit entsprechenden Richtlinien im westlichen Ausland als ein Kompromiß zwischen den Sicherheitsanforderungen und den mit der Temperatur steigenden technischen Schwierigkeiten empfohlen. Die 60°C markieren die Grenze, die von der Korrosionstechnik gerade noch toleriert wird. Das gilt sowohl für die Ausfällung von Calciumcarbonat als auch für das Löslichwerden von verzinkten Eisenrohren /71/.

#### Nach den Richtlinien des DVGW (W551) (Anwendungsbeispiel II)

Die Richtlinie W551 des DVGW favorisiert die **thermische Prävention**, wie im Kapitel „Ergebnisse“ ausgeführt. Sie gilt an sich nur für Neuanlagen, unter anderem deshalb, weil eine thermische Prävention, wie sie gefordert wird, ohne erheblichen Umbau an Altanlagen in der Regel nicht durchführbar ist. Die alleinige Anhebung der Speicherauslaßtemperatur ist in weit verzweigten Systemen nicht ausreichend, was bedeutet, daß in größerem Umfang mit einer elektrischen Rohrbegleitheizung gearbeitet werden muß. Werden dennoch Altanlagen mit dem gegebenen Aufwand nach den Anforderungen des Arbeitsblattes W 551 für Neuanlagen betrieben, wird damit eine ausgedehnte thermische Prävention betrieben, die bei konsequenter Ausführung sicherlich wirksam ist.

### **Thermische Desinfektion im Warmwasserspeicher /29/**

Die thermische Desinfektion im Warmwasserspeicher wird von den Herstellern fast als Sterilisationsmaßnahme beschrieben. Sie sprechen von vollständiger Legionellenfreiheit nach der Behandlung, das heißt das Warmwasser kann nach der Behandlung beliebig gespeichert und zum Verbraucher geführt werden. Aus mikrobiologischer Sicht ist dieses Verfahren zumindest fragwürdig. Durch die sogenannte thermische Desinfektion kann die Keimbelastung sicherlich erheblich reduziert werden, aber von einer absoluten Legionellenfreiheit zu sprechen, ist nicht möglich. Es besteht in der nachfolgenden Speicherung und Verteilung die Gefahr der Wiederverkeimung, die um so größer ist, je länger und verzweigter das nachfolgende Rohrsystem ist. Da es sich bei dem Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus um ein solches sehr langes und weit verzweigtes System handelt, kommt diese Präventionsmaßnahme aufgrund der hygienischen Bedenken für die weitere Betrachtung nicht in Frage. Auch ausgefeiltere Systeme, die diesen Bedenken Rechnung tragen, indem die Zirkulationstemperatur nachts für ein bis zwei Stunden auf 70°C angehoben wird, kommt für das Krankenhaus schon wegen der Problematik des Verbrühungsschutzes, aber auch unter korrosionstechnische Gesichtspunkten nicht infrage.

### **Intermittierende Desinfektion**

Unter intermittierender Desinfektion wird das regelmäßige Aufheizen des Gesamtsystems auf mind. 70°C und Spülung jedes Warmwasserauslasses mit 70°C über 3 Minuten verstanden. Durch das relativ langsame Wachstum von Legionellen ist auch hier eine ausreichende Keimreduktion zu erzielen /99/. In Großanlagen mit sehr vielen Warmwasserauslässen wie z.B. in Krankenhäusern, ist diese Maßnahme allerdings nicht sinnvoll im laufenden Betrieb zu realisieren. /51/.

### **4.2.3 Chemische Präventionsmaßnahmen**

#### **Kontinuierliche Zugabe chemischer Mikrobiozide (Chlor, Texid, elektrolytische Desinfektion)**

Die Wirksamkeit einer Chlorung des Trinkwassers auf Legionellen wird kontrovers diskutiert. Zur Abtötung von Legionellen ist eine Chlorung  $\geq 2$  mg/l notwendig. Allerdings stellten Kuchta et al. 1985 /62/ eine Adaptation der Legionellen an Gehalte von 2 mg/l Chlor fest. Eine Kultur, die in Trinkwasser gezogen worden war und aus einem Wassersystem stammte, das 3 Wochen lang dauerhaft Gehalte von 2 mg/l Chlor aufwies, zeigte keinerlei Empfindlichkeit gegenüber dem Biozid in dieser Konzentration. Die Wirksamkeit einer Chlorung kontaminierter Wasserproben ist von einigen Begleitfaktoren abhängig. So sind schnell wachsende Kulturen empfindlicher als langsam wachsende. Das Wachstum unter nährstofflimitierten Bedingungen führt zu Bakterien, die gegenüber der Einwirkung von Chlorverbindungen weniger empfindlich sind. Weitere Faktoren sind der pH-Wert, Temperatur und intrazelluläres Vorkommen, z.B. innerhalb von Amöben oder innerhalb von Biofilmen. Alle aufgezählten Faktoren treffen auf Legionellen in besonderem Maße zu. So konnten Legionellen spp. auch durch die Anwendung von bis zu 24 mg/l freiem Chlor bei pH 6.8 nicht aus einem Warmwassersystem entfernt werden /62/. Hier

liegt der Verdacht nahe, daß die in einem Biofilm lokalisierten Legionellen dem **Mikrobiozid** nicht zugänglich waren. Ähnliche Argumente gelten auch für andere Methoden, wie z.B. die elektrolytische Desinfektion, bei der im behandelten Wasser bevorzugt Chlor und unterchlorige Säure entstehen, bzw. den Einsatz von TEXID /30/. Der sinnvolle Einsatz solcher Verfahren muß in der Nutzen/ Risikoabwägung bezogen auf Legionellen als zumindest fraglich angesehen werden. Neben der Diskussion um die Wirksamkeit der beschriebenen **chemischen Präventionsmaßnahmen** und ihre technische Durchführbarkeit, sind außerdem die Belästigung der Nutzer durch Veränderungen im Geruch und Geschmack des Trinkwassers zu berücksichtigen.

### **Intermittierende Hochchlorung**

Die Meinungen über Wirksamkeit und Risiken einer kurzfristigen Hochchlorung zur intermittierenden Desinfektion eines kontaminierten Trinkwassersystems sind umstritten. Man benötigt eine Chlorkonzentration von 4-6 mg/l über mindestens 3 Stunden, um eine Verminderung der Keimzahl um den Faktor  $10^5$  zu erreichen. Problematisch ist außerdem die Reaktion des Chlors mit organischen Inhaltsstoffen des Wassers, was zu einer erhöhten Trihalogenmethanbildung führen kann. Diese Stoffe gelten als krebserregend. Weiterhin konnte beobachtet werden, daß es bei der mehrfachen Verwendung von Chlor zu erhöhten Lochkorrosionen im Rohrleitungsnetz gekommen ist /79/. Für die praktische Durchführung einer Hochchlorung müßte die gesamte Warmwasserversorgung regelmäßig über mehrere Stunden gesperrt werden, was im laufenden Krankenhausbetrieb im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus nicht durchführbar ist. Gleichzeitig müssen sämtliche Zapfstellen mitbehandelt werden, so daß auch eine Behandlung des Systems in den Nachtstunden nicht in Betracht kommt.

### **4.2.4 Physikalische Präventionsmaßnahmen**

#### **Tarne-Pure-Verfahren**

Auch der dauerhafte Erfolg durch den Einsatz neuer **physikalischer Präventionsmaßnahmen**, wie z.B. des Tarne-Pure-Verfahrens, konnte bisher nicht nachgewiesen werden. Das Verfahren erfüllt europäische Trinkwassernormen, ist geruchs- und geschmacksneutral, benötigt keine chemischen Desinfektionsmittel und führt nicht zu Augen- oder Hautreizungen bzw. Entzündungen. Die deutsche Trinkwasserverordnung verbietet allerdings das aktive Einbringen von Kupferionen grundsätzlich, auch wenn die Konzentrationen im Wasser unter den Grenzwerten bleibt. Daher darf das Tarne-Pure-Verfahren hierzulande nur mit Ausnahmegenehmigung eingesetzt werden. Seit 1993 wird es an der Universität Bochum, KH Bergmannsheil getestet. Da zudem nach anfänglich euphorischen Berichten zunehmend auch kritische Stimmen laut werden, die die Wirksamkeit auf längere Sicht bei Einhaltung der gegebenen Grenzwerte für Kupfer- und Silberionen im Trinkwasser anzweifeln, gilt dieses Verfahren als noch nicht ausgereift /88/. Bei längerer Anwendung scheint es zu einer Toleranzentwicklung der Legionellen zu kommen /89/.

### **Endständige Filtersysteme (Anwendungsbeispiel IV)**

Nach Daschner /25/ reduzieren endständige Filtersysteme die Keimzahl im Wasser ganz erheblich, eliminieren sie sogar in den meisten Fällen. Daher hat sich der Einsatz eines solchen Filtersystems im Krankenhaus in bestimmten Bereichen, z.B. in denen Pflege und Behandlung von erheblich abwehrgeschwächten Patienten stattfindet, als praktikabel herausgestellt. Die Methode hat mithin den Vorteil, daß sie bei korrekter Anwendung alle Keime zurückhält (z.B. Pseudomonas, Pilze etc.). Aufgrund des sehr hohen Aufwands durch die regelmäßig notwendige Sterilisation der Filter, ist diese sehr effektive Methode nur für ausgewählte, besonders gefährdete Bereiche einzusetzen (z.B. Transplantationseinheiten...etc.).

### **UV-Bestrahlung**

Die grundsätzliche Möglichkeit, suspendierte Legionellen in fließendem Wasser mittels UV-Bestrahlung abzutöten, konnte von mehreren Arbeitsgruppen nachgewiesen werden /43/, /56/, /72/, /101/. Während des Betriebes über mehrere Monate tritt eine Einlagerung von Quecksilber in der Quarzwand auf. Die Durchlässigkeit des Quarzes wird damit herabgesetzt. Auch beeinträchtigt Sauerstoff, der an den Elektroden eindiffundiert, die Entladungsvorgänge in der Röhre. Als Folge ist die nutzbare Lebensdauer der Strahler auf ca. 1 Jahr begrenzt. Nach dieser Zeit vermindert sich der Strahlungsfluß so stark, daß ein längerer Betrieb unwirtschaftlich wird. Eine Funktionskontrolle ist nur über die Kontrolle der elektrischen Funktionen zu erreichen. Sie erfolgt über die UV-Strahlungsmessung mit Hilfe UV-selektiver Photosensoren. Diese messen als Summensignal sowohl die Bestrahlungsstärke als auch Verluste durch einen evtl. Belag auf dem Quarzschutzrohr oder schlechtere Wasserqualität.

Wesentlich für die Funktionstüchtigkeit der Anlage ist außerdem die Trübung des zu behandelnden Wassers. Als Bewertungsgröße für die Eignung eines Wassers zur UV-Desinfektion ist der spektrale Absorptionskoeffizient nach DIN 38404 T1.3. zu verwenden. Wasser mit einem spektralen Absorptionskoeffizienten oberhalb von 10 /m kann nur nach Vorbehandlung (Filtration) bestrahlt werden.

Die alleinige UV-Bestrahlung des Warmwassers erreicht nur frei im Wasser suspendierte Keime. In Amöben oder anderen Einzellern sowie in Inkrustationen lebende Bakterien werden nicht erreicht. Daher wird die UV-Bestrahlung in der Regel in Kombination mit anderen Verfahren eingesetzt.

### **4.2.5 Kombinierte Präventionsmaßnahmen**

#### **UV+Ultraschall (Anwendungsbeispiel III)**

Durch die Kavitationswirkung der Ultraschallenergie werden die im Wasser befindlichen Amöben, Ciliaten und Korrosionspartikel aufgeschlossen bzw. in Fragmente zerlegt. Die darin befindlichen Legionellen werden freigesetzt. Im nachfolgenden UV-Reaktionsbereich werden alle freiliegenden Keime durch die hochenergetische UV-Strahlung abgetötet. Die Strahler sind so angeordnet, daß an jeder Stelle des Systems die garantierte Mindestbestrahlung von 100 mJ/cm<sup>2</sup> vorliegt. Der Energieaufwand wird zum größten Teil wieder in Wärme umgewandelt und geht somit nicht verloren. Allerdings ist die durch den Betrieb der Anlagen eingesparte Heize-



nergie minimal und wird deshalb in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung vernachlässigt. Durch die eingetragene Ultraschallenergie wird eine permanente Reinigung der Quarzschutzrohre erzielt. Ablagerungen von Kalk, Eisen und Mangan werden durch diesen Selbstreinigungseffekt verhindert. Somit werden Reinigungsmaßnahmen, die üblicherweise für die Aufrechterhaltung der UV-Strahlungsintensität notwendig sind, auf ein Minimum reduziert. Durch die kontinuierliche Behandlung des Wassers von bis zu 8 Kubikmeter pro Stunde werden die Gesamtkeimzahlen im System drastisch reduziert und permanent niedrig gehalten.

Die Wasserinhaltsstoffe verändern sich bei richtiger Auslegung des Systems nicht. Außerdem gibt es keine Kalkausfällungen, keine Korrosionsprobleme, der personelle und der energetische Aufwand sind gering. Das Gerät ist in bestehende Anlagen jederzeit einsetzbar.

Der Einbau erfolgt nach dem Heißwasserspeicher und ist nur möglich, wenn eine Zirkulationsleitung vorhanden ist. Hohe Konzentrationen an Wasserinhaltsstoffen wie Eisen, Mangan, Carbonate, Nitrat, Nitrit und organische Säuren können den Einsatz des Systems behindern /44/. Bei Betrieb in einer Altanlage sind meistens mehrere Geräte notwendig, da eine Gewährleistung für die Funktion aufgrund einer möglichen Wiederverkeimung im anschließenden Rohrnetz nur unmittelbar nach dem Gerät übernommen wird.

### **UV + Chlor - das Aachener Konzept /61/:**

Die UV-Desinfektion ist in diesem Anwendungsfall als eine desinfizierende Zone zu verstehen. Die Erfahrung am Klinikum Aachen hat gezeigt, daß eine geringe Rekontamination frühestens nach ca. 4 Betriebsmonaten auftrat. In diesem Fall wurde das dezentrale Versorgungsnetz kurzfristig für ca. 1 Stunde für den Abnehmer gesperrt und eine Hochchlorung (ca. 10 mg/l freies Chlor) durchgeführt. In älteren Versorgungsnetzen kann eine höhere Konzentration erforderlich werden. Nach Abschluß der Chlorung wird das Netz mit UV-bestrahltem Wasser chlorfrei gespült. Für die Durchführbarkeit der Hochchlorung in Verbindung mit der Ultraschallbehandlung im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus gelten dieselben Argumente wie für die alleinige Hochchlorung.

## **4.3 Konzept für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus**

### **4.3.1 Messungen und Grenzwerte**

In dem Kapitel 3.4 (Seite 33) werden das vorgeschlagene Meßkonzept, sowie die entsprechend empfohlenen Grenzwerte tabellarisch dargestellt.

Für Bereiche mit mäßigem Risiko (d.h. für Bereiche der direkten Patientenversorgung) wird in dieser Arbeit die Prävention bei Werten >100 KBE/ ml gefordert, da eine Gefährdung von potentiell abwehrgeschwächten Patienten nach der Mehrzahl der zu diesem Thema von hygienisch-mikrobiologischer Seite erschienen Publikationen als wahrscheinlich gelten muß. Diese Forderung steht im Einklang mit der Empfehlung der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene des Landes Brandenburg. Verschiedene Autoren /3/, /39/ fordern eine Sanierung schon bei geringeren Werten. Da diese Forderungen nicht unumstritten sind, ist die Prävention bei niedrigeren Werten (z.B. ab 10 KBE/ ml) im Einzelfall zu erwägen, kann jedoch nicht grundsätzlich gefor-

dert werden. Anders stellt sich die Situation bei nachgewiesener nosokomialer Erkrankung dar. Ist ein erhebliches Immundefizit des Patienten, welches eine Versorgung in einem Bereich für Patienten mit hohem Risiko erforderlich gemacht hätte, ausgeschlossen, so ist davon auszugehen, daß es sich um einen besonders hoch pathogenen Legionellenstamm handelt. Entsprechend werden die hier vorgeschlagenen allgemeinen Richtlinien einer solchen Situation nicht gerecht, und strengere Werte sollten angesetzt werden. Für diesen Fall wird in dieser Arbeit bei nosokomialer Erkrankung ein Grenzwert von 1 KBE/ ml empfohlen.

In den Bereichen mit hohem Risiko werden Legionellenkonzentrationen kleiner 1 KBE/ l in mindestens vierteljährlichen Kontrollen gefordert. Um diese Vorgabe zu erreichen, ist es sinnvoll, diese Bereiche generell mit endständigen Filtersystemen auszustatten. Sollten dennoch Legionellen nachgewiesen werden, müssen die betroffenen Zapfstellen für besonders gefährdete Patienten gesperrt werden, bis die Filtersysteme ausgetauscht und das Wasser nach dem Filter wieder in einem Liter legionellenfrei ist.

Für Bereiche mit geringem Risiko wird in dieser Arbeit die Prävention ab Werten von 1000 KBE/ ml gefordert. Dieser Wert ist ein Kompromiß zwischen den sehr kontroversen Forderungen in der Literatur. So sind nach den Angaben der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene des Landes Brandenburg nicht einmal Messungen vorgesehen, damit überhaupt kein Grenzwert festgelegt, während Autoren aus dem technischen Bereich /32/ Sanierungsmaßnahmen für Werte ab 10 KBE/ml fordern.

Die Messungen sollten mindestens einmal jährlich erfolgen, bei erhöhten Werten in kürzeren Abständen. Bei nachgewiesener Häufung von Erkrankungsfällen exponierter Personen sollte unabhängig von den gemessenen Werten die Infektionsquelle analysiert und das System saniert werden. In der Kontrolle sollten zunächst keine Legionellen in einem Milliliter nachweisbar sein.

Da bis heute aber keine Untersuchungen vorliegen, die eine definitive Grenzwertkonzentration angeben können, von der an es grundsätzlich oder zumindest mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer Infektion oder gar zu einer Epidemie kommt, kann nicht gefordert werden, das Warmwassersystem - außer für besonders gefährdete Patienten - für den Gebrauch zu sperren. Immer wieder werden hohe und sehr hohe Konzentrationen gemessen, ohne daß es zu Legionelosen an dem betreffenden Warmwassersystem kommt. Andererseits konnten nach Auftreten von Erkrankungen z.T. Warmwassersysteme mit relativ geringem Befall eindeutig als Infektionsquelle nachgewiesen werden /18/, /24/, /37/, /47/, /53/, /59/, /85/, /105/. Die Pathogenität der isolierten Stämme kann also sehr verschieden sein. Bei Nachweis eines hoch virulenten Stammes mit Auftreten mehrerer zeitgleicher Erkrankungsfälle bis hin zur Epidemie muß das betreffende Warmwassersystem unabhängig von der gemessenen Legionellenkonzentration gesperrt, saniert und anschließend präventiv behandelt werden.

Betrifft eine mögliche Legionellenbelastung nur bestimmte Bereiche des Warmwassersystems, ist es ausreichend, nur diese Bereiche präventiv zu behandeln.

### 4.3.2 Auswahl der möglichen Präventionsmaßnahmen

Nicht alle der erläuterten Präventionsmaßnahmen sind für jedes Warmwassersystem gleichermaßen sinnvoll einzusetzen. Aus den o.a. Erläuterungen lassen sich vier der beschriebenen Präventionsmaßnahmen als für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus sinnvoll und durchführbar herausgreifen (siehe auch Tabelle 18: Wirksamkeit und technische Realisierbarkeit der beschriebenen Präventionsmaßnahmen im CTK, Seite 40). Das sind im einzelnen: Die bautechnische Prävention durch Dezentralisierung des Warmwassersystems unter Beibehaltung des zentralen Heiznetzes durch Einbau dezentral angeordneter Plattenwärmetauscher (Anwendungsbeispiel I), die thermische Prävention nach den gültigen Anforderungen für den Betrieb von Neuanlagen des DVGW (Arbeitsblatt W551 – Anwendungsbeispiel II), die kombinierte Prävention mit UV+Ultraschall (Anwendungsbeispiel III) und die Anwendung von endständigen Filtern in ausgewählten Bereichen (Anwendungsbeispiel IV).

### 4.3.3 Wirtschaftlichkeitsanalyse

In dem Kapitel 3.4 wurden Grenzwerte festgelegt, bei deren Überschreiten die Anwendung von Präventionsmaßnahmen zu erwägen bzw. dringend erforderlich ist. Im Carl-Thiem-Klinikum wurden diese Werte bislang nicht erreicht (Tabelle 18: Wirksamkeit und technische Realisierbarkeit der beschriebenen Präventionsmaßnahmen im CTK, Seite 40), d.h. die praktische Durchführung einer Präventionsmaßnahme ist nicht notwendig. Daher können in dieser Arbeit nur theoretische Überlegungen angestellt und die verschiedenen Präventionsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung ihrer Wirtschaftlichkeit für die Anwendung im Carl-Thiem-Klinikum untersucht werden.

Die untersuchten Methoden unterscheiden sich erheblich in den Investitionskosten und die durch den laufenden Betrieb entstehenden Aufwendungen. Um beides adäquat zu berücksichtigen, wurde ein dynamisches Verfahren der Wirtschaftlichkeitsrechnung, die Barwertmethode, für den Vergleich herangezogen. Für die Anwendung dieses Verfahrens der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden Annahmen über Zinssatz, Energiekosten, Nutzungsdauer oder auch Investitionskosten getroffen, die teilweise nur schwer genau anzugeben sind. Niemand weiß, wie sich z.B. Energiepreise über die Nutzungsdauer einer Investition verändern oder, insbesondere im Stadium der Vorplanung, wie hoch eine Investition letztendlich ist. Auch politische Entscheidungen, wie z.B. die Einführung der Ökosteuer sind nur schwer im Voraus zu kalkulieren. Dennoch sind aufgrund einer Wirtschaftlichkeitsrechnung, Investitionsentscheidungen zu treffen. Die **Sensitivitätsanalyse** dient dazu, das Verhalten des Ergebnisses der Wirtschaftlichkeitsrechnung bzw. der Investitions-Entscheidung bei Variation der einzelnen Annahmen zu untersuchen (siehe Kapitel 3.6.4 Sensitivitätsanalyse zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung, Seite 47). Mit welchem Erwartungswert welche Veränderung der Annahmen tatsächlich eintritt muß durch den Investor jeweils selbst entschieden werden. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung mit der Sensitivitätsanalyse liefert das verlässliche Zahlenmaterial zur fundierten Entscheidung. In der Grundvariante wird ein Nutzungszeitraum von 10 Jahren, ein mittlerer Zinssatz von 8% und ein konstanter Energiepreis von 80,-DM/ MWh für die Fernwärme sowie 200,-DM/ MWh für Strom zugrunde gelegt.

Tabelle 26: Barwerte der untersuchten Anwendungsbeispiele für die untersuchten Anwendungsvarianten

<b>Anwendungsbeispiele</b> (Angabe der Barwerte über 10 Jahre bei einem Zins von 8% in TDM)	<b>Gesamtsystem</b>	<b>Bereiche mit mäßigem Risiko</b>	<b>Ein Gebäude</b>
<b>I, Dezentralisierung</b>	386	234	21
<b>II, Thermische Prävention</b>	1.290	701	98
<b>III, UV + Ultraschall</b>	2.190	774	70
<b>IV, Versorgung der Hochrisikobereiche mit 8 Sterilfiltern</b>	95		
<b>Regelmäßige Messungen, entsprechend den Vorgaben dieser Arbeit</b>	28	11	Keine Angabe

### Dezentralisierung des Warmwassersystems

Bei der Betrachtung der Barwerte über den gegebenen Nutzungszeitraum stellt sich die bautechnische Prävention durch Dezentralisierung des Warmwassersystems als die mit Abstand günstigste Methode der Legionellenprävention im CTK dar (Abbildung 9: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem, Seite 48). Dabei ist es unerheblich, ob das Gesamtsystem, nur die Bereiche mit mäßigem Risiko oder sogar nur ein Gebäude präventiv behandelt werden. Der nach den o.a. Parametern ermittelte Barwert liegt bei einem Drittel bis einem Fünftel der für die anderen Methoden ermittelten Werte. Der Grund ist in den sehr niedrigen verbrauchsgebundenen Jahreskosten zu sehen, die mit lediglich 2% der Investitionssumme für Wartung und kleinere Reparaturen angesetzt werden. Erhöhte Wärmeverluste oder zusätzliche Energiekosten entstehen nicht. Trotz der am Wärmeübertrager auftretenden Temperaturunterschiede zwischen Primärkreis (Heiznetz) und Sekundärkreis (Trinkwarmwassernetz) ist keine Anhebung der Vorlauftemperatur im Heiznetz erforderlich. Gegenüber der physikalischen Prävention mit UV+Ultraschall ist auch die Investition deutlich niedriger. Die gegenüber der thermischen Prävention höhere Investition rentiert sich schon nach wenigen Jahren (Abbildungen 10, 14, 18). In der **Sensitivitätsanalyse** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die angenommenen Investitionskosten variiert (Abbildungen 11, 15, 19). Selbst bei einem Anstieg der Investitionskosten für die Dezentralisierung und einem gleichzeitigen Rückgang der Investitionskosten für die thermische bzw. kombinierte Prävention mit UV+Ultraschall, bleibt die Dezentralisierung die wirtschaftlichste Lösung. Auch die Variation des Energiepreises bzw. des zugrundegelegten Zinssatzes kann an diesem Ergebnis nichts ändern (Abbildungen 8, 9, 12, 13, 16, 17).

### Thermische Prävention (W551) und UV+Ultraschall

Im Vergleich zwischen der thermischen Prävention und der Prävention mit UV+Ultraschall liegen die Gesamtkosten (Barwerte) dichter beieinander. Bei der Betrachtung des Gesamtsystems gleichen sich die Jahreskosten nahezu, während allerdings die Investition für die Prävention mit UV+Ultraschall um das siebenfache höher liegt (Abbildung 4). Damit sind auch die Gesamtkosten deutlich höher. In der **Sensitivitätsanalyse** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung reagiert die thermische Prävention bei höheren energiegebundenen Jahreskosten deutlich sensibler auf die Variation des Energiepreises, es bleibt jedoch selbst bei einem 10%igen Anstieg ein Unterschied im Barwert von mehr als 500.000,- DM über den Zeitraum von 10 Jahren (Abbildung 8). Die Variation des Zinssatzes wirkt sich naturgemäß nicht auf die Investition, sondern nur auf die in der Zukunft zu leistenden Zahlungen aus. Da die Jahreskosten für beide Präventionsmaßnahmen sehr eng beieinander liegen, verwundert es nicht, daß ein variabler Zinssatz keine Änderung des Ergebnisses nach sich zieht (Abbildung 9). Bei Änderung der Investitionskosten reagiert der Barwert für die Prävention mit UV+Ultraschall deutlich sensibler als der Barwert der thermischen Prävention. Trotzdem die Prävention mit UV+Ultraschall selbst bei Halbierung der angenommenen Investitionskosten die teurere Variante.

Anders ist die Situation bei Betrachtung der Prävention nur für Gebäude mit mäßigem Risiko (Abbildung 5). Um eine gezielte thermische Prävention durchzuführen, müssen in jedem Fall die Speicher und die Kollektoren thermisch behandelt werden. Man kann lediglich auf die elektrische Rohrbegleitheizung in den nicht zu behandelnden Gebäuden verzichten. Dadurch reduzieren sich die Jahreskosten nicht in dem Maß, in dem sich die Aufwendungen für die Prävention mit UV+Ultraschall verringern. Hier wird wirklich nur das betreffende Gebäude behandelt. Auch bei den Investitionen verringern sich die Kosten in unterschiedlichem Maße. Während mit der Prävention mit UV+Ultraschall nur 11 von 31 Gebäuden behandelt werden, werden mit der thermischen Prävention mehr als 5 km Rohrlänge von zuvor 10 km Rohrlänge behandelt, da die Gebäude zur Patientenversorgung über größere Netze verfügen als die übrigen Häuser. Somit sind bei Betrachtung der gegebenen Grundvarianten (s.o.), die Barwerte nur noch unwesentlich verschieden (Abbildung 5). Bei sinkenden Energiepreisen wird der Unterschied etwas deutlicher zugunsten der thermischen Prävention, bei steigenden Energiepreisen geringer (Abbildung 12). Ähnliches gilt für die Variation des Zinssatzes. Bei einem kalk. Zinsfaktor von 1,04 nivellieren sich die Unterschiede fast vollständig, bei steigendem Zinsfaktor werden sie deutlicher (Abbildung 13). Ebenso ist die Situation bei variiertem Nutzungsdauer (Abbildung 14). Betrachtet man einen geringeren Zeitraum als die veranschlagten 10 Jahre, wird die thermische Prävention im Vergleich günstiger, betrachtet man einen längeren Zeitraum nivellieren sich die Unterschiede vollständig. Die Variation der Investitionskosten wirkt sich stärker auf die Prävention mit UV+Ultraschall aus. Bei steigenden Investitionskosten erscheint die Prävention mit UV+Ultraschall wirtschaftlich immer ungünstiger, bei fallenden Investitionskosten sogar wirtschaftlich günstiger als die thermische Prävention (Abbildung 15).

Zu einer Umkehr der Verhältnisse kommt es bei der Betrachtung der Prävention nur eines Gebäudes (Abbildung 6). Hier liegt der Barwert in der Grundvariante für die Prävention mit UV+Ultraschall 30% unter dem Barwert für die thermische Prävention. Bei sinkenden Energiepreisen, steigendem Zins oder steigender Investition verringern sich diese Unterschiede, bleiben aber deutlich bestehen (Abbildungen 16, 17, 19). Lediglich bei einer Verringerung der Nutzungsdauer kommt es zu einer Nivellierung, bzw. bei einer sehr kurzen Nutzungsdauer < 5 Jahre sogar zur Umkehr der Verhältnisse (Abbildung 18).

### Zusammenfassung

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß falls nach den vorliegenden Messungen eine Legionellenprävention angestrebt wird, aus wirtschaftlicher Sicht - auch unter Einbeziehung der **Sensitivitätsanalysen** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung - der komplette Umbau des Warmwassersystems in ein dezentrales System unter Beibehaltung des zentralen Heiznetzes die mit Abstand günstigste Variante darstellt. Auch aus hygienischer Sicht bietet dieses System Vorteile, denn die Warmwasserkreisläufe sind für jeden präventiv behandelten Bereich vollständig getrennt.

Durch die differenzierte Anwendung der Prävention in ausgewählten Bereichen werden die Kosten insgesamt nicht unerheblich reduziert und auf den wirklich notwendigen Bereich konzentriert (Abbildung 4 - Abbildung 6). Natürlich werden dadurch nur Teile des Systems behandelt, d.h. ein kontinuierlicher Legionelleneintrag aus nicht behandelten Teilen des Warmwassersystems kann nicht ausgeschlossen werden. Jedoch bieten auch Präventionsmaßnahmen, die auf das gesamte Warmwassersystem angewandt werden, nur eine scheinbare Sicherheit. Eine absolute Legionellenfreiheit kann auch hier nicht erreicht werden. Gerade in weit verzweigten älteren Warmwassersystemen kommt es trotz aller Sorgfalt immer wieder zu Nischen, die der Prävention entgehen und ein Reservoir für die stetige Wiederverkeimung sein können.

In Abbildung 7 sind außerdem zum Vergleich die entstehenden Kosten der hier empfohlenen regelmäßigen Messungen, sowie die derzeit entstehenden Kosten durch die Versorgung der Bereiche mit hohem Risiko mit endständigen Filtern angegeben. Daran wird deutlich, daß eine blinde Präventionsmaßnahme nicht nur hygienisch fragwürdig, sondern auch ökonomisch bedenklich ist. Die Kosten für eine Prävention liegen bei Betrachtung des Barwertes für das Gesamtsystem - je nach Maßnahme - um das 2,5-fache bis 17-fache höher als die Kosten für regelmäßige Messungen in dem Gesamtsystem zuzüglich der Versorgung der Hochrisikobereiche mit endständigen Filtern. Das Verhältnis von Aufwand und Nutzen steht außer bei nachgewiesener Notwendigkeit durch nosokomiale Erkrankungen oder gemessener erheblicher Belastung des Systems in keinem Verhältnis zueinander. Etwas günstiger stellt sich die Situation bei Betrachtung nur der Bereiche mit mäßigem Risiko dar. Allerdings liegen auch hier die Aufwendungen für eine hygienisch sinnvolle Prävention bei Betrachtung des Barwertes je nach Maßnahme noch um das 1,9- bis 6,3-fache über den Kosten für regelmäßige Messungen zuzüglich endständiger Filter für Hochrisikobereiche.

### 4.4 Fazit

In der derzeitigen Situation des Carl-Thiem-Klinikums erscheint die Einführung einer grundsätzlichen Maßnahme zur Legionellenprävention nicht erforderlich. Das Warmwassersystem sollte in der Zukunft regelmäßig entsprechend dem vorgeschlagenen Konzept beprobt werden (Tabelle 12: Vorschlag für Messungen im CTK, Seite 34). Bei Auftreten erhöhter Werte, die nach den angegebenen Grenzwerten die Einführung einer Präventionsmaßnahme als ratsam erscheinen lassen, sollte aus wirtschaftlichen, technischen und hygienischen Gesichtspunkten wie folgt entschieden werden:

Prävention des Gesamtklinikums:	Dezentralisierung des Warmwassersystems (I)
Prävention in Risikobereichen:	Dezentralisierung des Warmwassersystems (I)
Prävention in einem Gebäude:	Dezentralisierung des Warmwassersystems (I)
Prävention in Hochrisikobereichen:	Endständige Filtersysteme (IV)

Auch nach Einführung einer Präventionsmaßnahme muß natürlich mindestens zur Qualitätssicherung das Warmwassersystem weiterhin beprobt werden.

Die Hochrisikobereiche, das heißt Bereiche zur Versorgung von Patienten mit erheblich eingeschränkter Immunabwehr, sollten grundsätzlich unabhängig von gefundenen Meßwerten - wie schon üblich - mit endständigen Filtersystemen ausgestattet werden, um die sehr strengen Vorgaben an die Legionellenfreiheit des Trinkwassers zu jeder Zeit zu gewährleisten.

### 4.5 Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein konkretes Konzept zur Legionellenprävention vorgestellt, das sowohl mikrobiologische als auch technische und ökonomische Aspekte berücksichtigt. Jede Festlegung von Grenzwerten, die Wahl der Präventionsmaßnahme, sofern erforderlich, und die Häufigkeit von Kontrollen bleiben dennoch immer Kompromißlösungen. Darum sollte auch die Frage nach dem Sinn gestellt werden. Also: Was *soll* mit der Legionellenprävention und was *kann* mit den jeweiligen Methoden erreicht werden? Geht es darum, jede einzelne Infektion zu verhindern, oder soll lediglich das ohnehin eher geringe Epidemierisiko noch weiter reduziert werden? Und welchen finanziellen und personellen Aufwand sind wir bereit, dafür zu tragen? In einer Zeit, in der technisch vieles machbar ist aber auch ökonomische Aspekte der Gesundheitsfürsorge immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses rücken, sollte auch die generelle Frage gestellt werden dürfen: Lohnt sich die Legionellenprävention? In wieweit lassen sich überhaupt Erkrankungen bzw. Epidemien durch eine konsequente Prävention verhindern? Diese Fragen sind bis heute nicht abschließend beantwortet worden.

Immer wieder gestellte Forderungen nach einer vollständigen und dauerhaften Eliminierung von Legionellen aus weitverzweigten Warmwassersystemen sind praktisch nicht realisierbar bzw. finanzierbar. Bauhygienische und hygienetechnische Maßnahmen, wie in dieser Arbeit beschrieben, können eine Kontamination des Warmwassers nicht vollständig verhindern, sondern nur zahlenmäßig begrenzen.

Groß angelegte Studien, die multizentrisch und prospektiv ausgelegt sind, die die gemessenen Legionellenkonzentrationen mit und ohne Prävention zu dem Auftreten von sporadischen und/oder epidemischen Legionelosen in Bezug setzen, fehlen bis heute. Mit einer solchen Studie könnte evtl. dem schon Jahre andauernden Streit vor allem im Bereich der Sanitärtechnik, wann eine Prävention nötig ist, und welche Grenzwerte unterschritten werden müssen, ein Ende gesetzt werden. Bis heute können Hygiene und Mikrobiologie den verantwortlichen Technikern keine verlässlichen Daten zur Verfügung stellen, anhand derer sich feststellen läßt, ob die bisher durchgeführten Maßnahmen aus epidemiologischer Sicht ausreichen bzw. überhaupt als sinnvoll zu erachten sind. Zur Optimierung von Aufwand und Nutzen wäre es wünschenswert, ein allgemeingültiges, für alle Beteiligten akzeptables Konzept zur Legionellenprävention zu entwickeln, das zum Beispiel als Anlage zur Trinkwasserverordnung bindenden Gesetzescharakter haben könnte. Eine solche verbindliche Verordnung würde nicht nur für die notwendige Sicherheit der Nutzer von Warmwasseranlagen sorgen, sondern auch Betreiber vor unsinnigen und teuren Präventionsmaßnahmen bewahren.

Auf dem Weg zu einem solchen Konzept einen Brückenschlag zwischen Mikrobiologie, Hygiene, Technik und Ökonomie zu versuchen und damit die Diskussion zwischen den Berufsgruppen einfacher zu gestalten, war das Anliegen dieser Arbeit. Wenn es gelungen ist, die hygienischen Zusammenhänge und die sich daraus ergebenden Empfehlungen dem Techniker und dem Ökonomen transparenter zu machen, die technischen Probleme der Legionellenprävention und die verschiedenen Lösungsmöglichkeiten dem Hygieniker bzw. Mikrobiologen und dem Ökonomen zu verdeutlichen und nicht zuletzt die ökonomischen Implikationen der durchgeführten Maßnahmen dem Techniker und dem Hygieniker vor Augen zu führen, dann ist ein wesentliches Ziel dieser Arbeit erreicht.



### 5 Zusammenfassung

Legionellen sind stäbchenförmige Bakterien, die in nennenswerten Konzentrationen und als Krankheitserreger vorrangig in technischen Systemen in Erscheinung treten. Nach erfolgter Infektion werden zwei Krankheitsbilder beobachtet, das Pontiac-Fieber und die Legionellenpneumonie, welche eine Letalität bis zu 20% aufweist. Für den Bereich der Krankenhäuser des Landes Brandenburg existiert eine Empfehlung der Arbeitsgruppe „Krankenhaushygiene Brandenburg“ zur Legionellenprävention bezüglich der Untersuchung des Warmwassers im Krankenhaus und der Beurteilung der gefundenen Ergebnisse /2/. Eine allgemeinere, derzeit für Gas- und Wasserinstallateure außerhalb von Krankenhäusern verbindliche Empfehlung wird in dem Regelwerk (Arbeitsblätter W551 und W552) des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs e.V. gegeben /32/. Hierin finden sich sowohl Aussagen zur Untersuchung des Warmwassers in Großanlagen, zur Beurteilung der gefundenen Ergebnisse als auch eine Beschreibung möglicher Sanierungsmaßnahmen. Interessant ist, daß im Regelwerk des DVGW für in der Regel gesunde Nutzer der Warmwassersysteme deutlich strengere Richtlinien gelten (10 KBE/ ml für in der Regel gesunde Nutzer), als sie von der Arbeitsgruppe „Krankenhaushygiene“ für die Brandenburger Krankenhäuser gefordert werden (100 KBE/ ml für Patienten mit eingeschränkter Immunkompetenz). Diese Diskrepanz ist beispielhaft für die derzeitige Diskussion zur Legionellenprävention und schafft eine große Unsicherheit bei Betreibern von größeren zentralen Wassererwärmungsanlagen, wie sie in nahezu allen älteren größeren Gebäuden bzw. Gebäudekomplexen üblich sind, seien es Industriebetriebe, Mehrfamilienwohnanlagen, Pflegeheime oder auch Krankenhäuser. Somit ist es Ziel dieser Arbeit, die bisher erschienene Literatur sowohl aus dem mikrobiologisch-hygienischen Bereich als auch aus dem technischen Bereich zu sichten, zu vergleichen und auf dieser Basis, unter Berücksichtigung der ökonomischen Konsequenzen an dem konkreten Beispiel des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus, ein sinnvolles Konzept zur Legionellenprävention vorzuschlagen. Das Konzept ist so aufgebaut, daß es durch Betrachtung verschiedener Risikobereiche leicht auf andere Pflegeeinrichtungen oder auch Wohnanlagen bzw. Industriebetriebe übertragbar ist. Die Einteilung orientiert sich an den für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus gültigen Empfehlungen der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg /2/ mit den Unterschieden, daß der Bereich „ohne Risiko“ hier als Bereich „mit geringem Risiko“ aufgeführt ist und daß hier in den Bereich „mit mäßigem Risiko“ sämtliche Pflegestationen aufgenommen wurden (Kapitel 0).

#### Kontrolluntersuchungen

Regelmäßige Messungen werden von verschiedenen Arbeitsgruppen alternativ oder zusätzlich zu Präventionsmaßnahmen gefordert. Die Angaben der Literatur werden entsprechend den Risikobereichen tabellarisch dargestellt und miteinander verglichen. Die in dieser Arbeit gegebenen Empfehlungen für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus orientieren sich an diesen Angaben, besonders wiederum an den Empfehlungen der Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene Brandenburg und an den Vorgaben des Bundesgesundheitsamtes für Krankenhäuser. Im einzelnen bedeutet dies jährliche Messungen in jedem Kollektor zur Beurteilung des Gesamtsystems, 1/2-

jährliche Kontrollen in den Gebäuden, in denen sich Pflegestationen befinden, und 1/4-jährliche Kontrollen in Bereichen mit hohem Risiko, wie zum Beispiel den Isolierzimmern der Hämatologie oder der Gebärbadewanne.

### **Präventionsmaßnahmen**

Ist eine Prävention aufgrund der Legionellenbelastung des Warmwassersystems erforderlich, stehen verschiedene Präventionsmaßnahmen zur Verfügung. Für das Carl-Thiem-Klinikum Cottbus werden drei verschiedene Maßnahmen dargestellt und in der theoretischen Anwendung genauer betrachtet. Das ist zum einen die Dezentralisierung des Systems durch den Einbau von Plattenwärmetauschern für die Warmwasserversorgung in das zentrale Heiznetz, zum zweiten die thermische Prävention gemäß dem Arbeitsblatt W551 des DVGW und zum dritten die kombinierte Behandlung des Systems mit UV+Ultraschall.

Unabhängig von der gewählten Präventionsmaßnahme sind die Bereiche mit hohem Risiko zusätzlich mit endständigen Filtersystemen auszustatten.

### **Theoretische Anwendung im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus**

Das Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum ist ein weit verzweigtes System, welches von einer zentralen Warmwasserbereitung nach dem Speichersystem versorgt wird.

In der theoretischen Anwendung im Carl-Thiem-Klinikum Cottbus werden drei Varianten betrachtet; zum einen die Anwendung der Maßnahmen in dem gesamten Warmwassersystem, zum zweiten die Anwendung nur für Bereiche mit mäßigem Risiko und zum dritten die Anwendung in einem Gebäude. Neben der Darstellung der technischen Realisierbarkeit für jede der Varianten werden die finanziellen Aufwendungen für die jeweils nötigen Investitionen sowie die durch den Betrieb zusätzlich entstehenden Aufwendungen pro Jahr angegeben. Anschließend wird bezogen auf einen Nutzungszeitraum von 10 Jahren und einem postulierten konstanten Zinssatz von 8% der Barwert der Maßnahme berechnet mit dem Ergebnis, daß sich für jede der drei Varianten die bautechnische Prävention durch Dezentralisierung des Warmwassersystems als die ökonomisch mit Abstand günstigste Präventionsmaßnahme herausstellt. Dieses Ergebnis hält auch der **Sensitivitätsanalyse** zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeitsrechnung, in der die getroffenen Annahmen über Energiepreis, Zinssatz, Nutzungsdauer und Investition variiert werden, stand. Zum Vergleich werden die Aufwendungen für die in dieser Arbeit geforderten regelmäßigen Messungen, sowie die Versorgung der Hochrisikobereiche mit endständigen Filtersystemen gegenübergestellt.

### **Fazit**

Das in dieser Arbeit am Beispiel des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus dargestellte Präventionskonzept ist ein differenziertes, nahezu allgemeingültig anwendbares Verfahren, das im wesentlichen auf regelmäßigen Kontrollen beruht und die Durchführung einer differenziert angewandten Präventionsmaßnahme nur bei nachgewiesener erhöhter Belastung des Systems durch Legionellen vorsieht.

Die Sinnhaftigkeit einer blinden Prävention, welcher Art auch immer, ist bis heute in keiner Studie nachgewiesen. Auch aufgrund der ökonomischen Implikationen sollten sich Betreiber von großen Warmwasseranlagen nicht eine scheinbare Sicherheit mit einer solchen blinden Prävention erkaufen. Sinnvoller ist es, regelmäßige Kontrollmessungen durchzuführen, wie sie in dieser Arbeit vorgeschlagen sind, und nur bei einer tatsächlich erhöhten Legionellenbelastung eine vernünftige, nach Risikobereichen differenzierte Prävention durchzuführen. Hier hat sich die Dezentralisierung des Warmwassersystems mit Hilfe dezentral installierter Plattenwärmtauscher in das zentrale Heiznetz als die wirtschaftlichste Variante herausgestellt. Aber auch diese Art der Prävention entbindet nicht von den weiterhin durchzuführenden Kontrollmessungen - mindestens zur Qualitätssicherung.

### Literaturverzeichnis

- /1/ ABE GmbH (1997): Wasserdeseinfektion durch das neue Ionisierungsverfahren Tarn-Pure, Prospektmappe Verl 1997
- /2/ Arbeitsgruppe Krankenhaushygiene beim Ministerium für Arbeit, Soziales, Gesundheit und Frauen (1997): Maßnahmen gegen Legionelleninfektionen in Krankenhäusern des Landes Brandenburg, Brandenburgisches Ärzteblatt 2/97 (7): 78-81
- /3/ Anonymus (1991): Marburger Gespräche zur Krankenhaushygiene - Mikrobiologische Untersuchungen auf Legionellen in Wassersystemen und Bewertung von Legionellenbefunden, Hyg. + Med. 16: 374-375
- /4/ Arnow, PM et al (1985): Prevalence and significance of Legionella pneumophila contamination of residential hot tap water systems, J. infect. Disease 153: 145-151
- /5/ Axt, W (1990): Legionellengefahr bei der solaren Warmwasserbereitung, Sonnenenergie 4/90: 15-16
- /6/ Bartlett CLR et al (1984): Recurrent Legionnaires' disease from a hotel water system, in Thornsberry C et al (Hrsg): Legionella, Proc 2nd Int Symposium, American Society for Microbiology, Washington DC: 237-239
- /7/ Baumann, HH (1990): Neue Erkenntnisse über Legionellen, IKZ-Haustechnik, Heft 23: 50-53
- /8/ BBC (1999): Ibiza Legionnaires Scare Hits Britons, <http://news2.this.bbc.co.uk/hi/english/health/newsid%5F417000/417396.stm>, 9/1999
- /9/ Bangor daily news (1999): Bacteria Blamed in Death, Bangor Daily News vom 09.11.99
- /10/ Bechem, H. (1993): Temperaturschichtungen in Serienspeichern in WaBoLu Band 91: Legionellen II, Gustav Fischer Verlag 1993: 83-98
- /11/ BGA (1987): Empfehlungen des BGA zur Verminderung eines Legionellen-Infektionsrisikos, BGBl. 30: 252-253
- /12/ BGA (1991): BGBl. I: S.227
- /13/ BGA - Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (1993): Hygienische Untersuchungen in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen, BGBl. 6/
- /14/ BGA - Pressedienst (1992): Legionellen - Ein Problem auch für Betreiber von „Klimaanlagen“, bga-pressedienst 2/92
- /15/ Bösenberg H et al (1990): Krankenhaushygienische Aspekte der Legionella-Infektion, Z gesamte Hyg 36: 102-104
- /16/ Borella P et al (1999): Surveillance of legionellosis within a hospital in Northern Italy: May 1998 to September 1999, Euro Surveillance 4: 119-120
- /17/ Botzenhart K et al (1986): Bacterial colonization and occurrence of Legionella pneumophila in warm and cold water, in faucet aerators, and in drains of hospitals, Zbl. Bakt. Hyg. B 183: 79-85
- /18/ Brady MT (1989): Nosokomial Legionnaires Disease in a childrens hospital, J. Pediatr. 115 (1): 46-50
- /19/ Breimann RF et al (1990): Role of air sampling in investigation of an outbreak of legionnaires disease associated with exposure to aerosols from an evaporative condensor, J Infect Dis 1990; 161/6: 1257-61
- /20/ Brown CM et al (1999): A community outbreak of Legionnaires disease linked to hospital cooling towers: an epidemiological method to calculate dose of exposure, Int. J. Epidem.; 28;2: 353-9
- /21/ Cayla JA et al (1989): A community outbreak of Legionnaires' disease in Barcelona: epidemiologic and environmental study, Med Clin (Barc) 93: 526-530

- /22/ Centers for Disease Control (1989) Epidemiologic Notes and Reports Legionnaires Disease Outbreak Associated with a Grocery Store Mist Machine – Louisiana 1989, <http://www.cdc.gov/epo/mmwr/preview/mmwrhtml/00001563.htm>, 09.2001.
- /23/ Christopher PJ et al (1987): Epidemic of Legionnaires' disease in Wollongong, Med J Aust 147: 127-128
- /24/ Colville A et al (1993): Outbreak of Legionnaires disease at University hospital, Nottingham, Epidemiology, microbiology and control, Epidemiol. Infect. 110: 105-116
- /25/ Daschner F (1991): Gutachten über die praktische Anwendbarkeit des Pall-Aquasafe- Filtersystems zur Bakterienelimination aus Trinkwasser in Kliniken, Klinikum der Albert-Ludwigs- Universität Freiburg - Klinikhygiene
- /26/ Dennis PJL et al (1984): Legionella pneumophila in aerosols from shower baths, J.Hyg Camb 93: 349-353
- /27/ DEVI Comfort Heat Döbeln GmbH (1997): deviheat Kompendium Teil 3 Rohrbegleitheizung
- /28/ (1984): DIN 19643 - Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser, Deutsches Institut für Normung. Beuth-Verlag, Berlin
- /29/ DMS Wasser- Wärmetechnik GmbH (1996): Funktionsbeschreibung der Systeme DMS-HORNE- Legiokill und DMS-Legiokill System- Thermodesor. Produktinformation. Oststeinbek
- /30/ DP Wasseraufbereitung (1991): TEXID - Der neue Weg in der Legionellenbekämpfung - Original- prospekt
- /31/ Dünndleder W (1993): Legionellen in Warmwasserversorgungsanlagen, 700 TAB 4/93: 363-376
- /32/ Deutscher Verein des Gas und Wasserfaches e.V. DVGW (1996): Arbeitsblatt W552: Trinkwas- serwärmungs- und Leitungsanlagen; technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellen- wachstums - Sanierung und Betrieb, Regelwerk - Technische Regel, Bonn, April 1996
- /33/ Edelstein PH (1986): Control of Legionella in hospitals, J hosp Inf 8: 109-115
- /34/ Ehret W et al (1991): Identifikation des Trinkwassernetzes als Quelle eines nosokomialen Aus- bruchs der Legionärskrankheit mittels Analyse genomischer Fragmente und anderer Typisie- rungsverfahren, Arbeitstagung der DGHM, Berlin 14.-15. März, Abstract Nr.: 43
- /35/ Ehret W (1993): Legionärskrankheit und Wasserversorgung, Management & Krankenhaus 10, Heft 9/10
- /36/ Euro Surveillance (1996): Outbreak of Legionnaires disease in two groups of tourists staying at camp sites in France and Spain, June 1996, <http://www.ceses.org/eurosurv/v2n6/en12-223.htm>, 09.2001
- /37/ Exner M et al (1990): Nosokomiale Legionellen-Infektionen im Zusammenhang mit einer syste- matischen Legionellen-Kontamination des Hausinstallationssystems und Erfahrungen zur Sanie- rung, Forum Städte Hygiene 41: S. 289-296
- /38/ Exner M et al (1991): Verhütung, Erkennung und Bekämpfung von Legionellen-Infektionen im Krankenhaus. Forum Städte Hygiene 42:178-192
- /39/ Exner M et al (1993): Vorkommen und Bewertung von Legionellen in Krankenhäusern und ande- ren Großgebäuden, WaBoLu 91: 105-130
- /40/ Farrel ID, Holmes E (1993): Überwachung und Kontrolle der Legionärskrankheit in England und Wales, WaBoLu 91, G.-Fischer Verlag Stuttgart
- /41/ Frankfurter Rundschau vom 01.09.98, Nr. 202: 27
- /42/ Fünfgeld C (1996): Legionella pneumophila - Das lungenliebende Legionärsbakterium Teil 1 und 2. Sonnenenergie Nr.2 und 3 /96
- /43/ Gilpin RV et al (1985): Disinfection of circulating water systems by ultraviolet light and haloginati- on, Water Res. 19: 839-848

- /44/ Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH (1996): Verfahren zur Bekämpfung von Legionellen. Das Geno-Break-System. Informationsmappe. Höchstädt a.d. Donau
- /45/ Guiget M et al (1987): Epidemiological survey of a major outbreak of nosocomial legionellosis, *Int J Epidemiol* 16: 232-234
- /46/ Hahne S et al (2000): Legionellosis outbreak linked to humidifier in a hotel in Cardiff, UK. Poster 5th International Conference on Legionella, September 26-29/2000 Ulm, Germany, poster session P83, Abstracts: 70
- /47/ Hanrahan JP et al (1987): A community hospital outbreak of Legionellosis - Transmission by potable hot water, *Am.J.Epid.* 125: 447-53
- /48/ Hapke HJ (1990): Toxikologisches Sachverständigen Gutachten zum Präparat DESOZID 2000. Inst. für Pharmakologie, Toxologie und Pharmazie der Tierärztlichen Hochschule Hannover
- /49/ Heinrichs FJ, Waider D (1993): Arbeitsblatt W551 und Kommentar, Heizungsj. Verlags-GmbH, Winnenden
- /50/ 2. Heizungsanlagenverordnung, novelliert am 20.1.89. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland
- /51/ Herden (1999): Mündliche Auskünfte Herr Herden, Abteilung Technik Carl-Thiem-Klinikum Cottbus.
- /52/ Hiller (1991): Legionärskrankheit in Niedersachsen, Antwort auf eine kleine Anfrage Kopie aus Niedersächsischer Landtag - zwölfte Wahlperiode - Drucksache 12/1169
- /53/ Horbach I et al (1990): An outbreak of Legionnaires disease in a West-German Hospital, Report of the 5th meeting of the European Working Group On Legionella Infections, Moscow
- /54/ Horbach I., Fehrenbach F.J (1993): Diagnostik der Legionellose - aktueller Stand. Schr. Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav Fischer Verlag: 23-39
- /55/ Horntrich J, Christ S (1989): Carl Thiem - ein bedeutender Chirurg und Begründer des Cottbusser Krankenhauses, *Zentralblatt Chirurgie* 114: 800-803
- /56/ Kayser G / Flemming HC (1989): Legionellen in Warmwassersystemen Sonderdruck.
- /57/ Kemmerich B et al (1989): Ambulant erworbene Pneumonien, *Dtsch med. Wschr.* 114:1471 - 1477
- /58/ Keevil CW (2000): Biofilms and Legionella, Vortrag 5th International Conference on Legionella, September 26-29/2000 Ulm, Germany, oral session O17, Abstracts S. 11
- /59/ Kramer M et al (1992): Kasuistik einer Legionella-Epidemie in einer Rehabilitationsklinik, *Zbl. Hyg.* 193: 262-271
- /60/ Kryschi R (1988): Chemikalienfreie Trinkwasserdesinfektion durch UV-Bestrahlung in gi 109/4: 190-195
- /61/ Kryschi R (1991): Das Aachener Konzept. Sonderdruck aus „sbz“ 46.Jahrgang 1991 *Heft 17*: 44-48.
- /62/ Kuchta JM et al (1985): Enhanced chlorine resistance of tap water-adapted Legion. pneumophila as compared with agar medium-passaged strains. *Appl. Environ. Microbiol.* 50: 21-26
- /63/ L'age M et al (1983): Legionärskrankheit bei einer Inland-Reisegruppe. *Dtsch Med Wochenschrift* 108: 288-292
- /64/ Logotherm Haustechnik (1997): LOGO-Warmwasserbereiter. Dezentrale Durchlauferhitzer im Heiznetz, Warmwasserbereiter WTPM26 - Beschreibung und Preisliste
- /65/ Lausitzer Rundschau vom 16.03.99, Seite 12
- /66/ Lück PC (2000): Erkrankungen und Diagnostik von Legionellen-Infektionen. Vortrag zum VBI-Seminar „Legionellenproblematik“ am 18.02.00 in Frankfurt am Main (Manuskript)

- /67/ Lück PC et al (1993): Prevalence of Legionella species, serogroups, and monoklonal subgroups in hot water systems in South-Eastern Germany, Zbl. Hyg. 193: 450-460
- /68/ Maiwald M (1994): Legionellen: Teil1+2. BIOforum 17: 340-43 + 394-97
- /69/ Mathys W, Junge-Mathys E (2000): Wasserassoziierte Infektionskrankheiten. Vortrag zum VBI-Seminar „Legionellenproblematik“ am 18.02.00 in Frankfurt am Main (Manuskript)
- /70/ Müller HE (1988): Legionellen - ein klinisches und hygienetechnisches Problem
- /71/ Müller HE(1990): Strategien zur Bekämpfung von Legionellen, Teil 1+2 sbz 13+14: 918-923 + 988-990
- /72/ Muraca P et al (1987): Comparative assesment of chlorine, heat, ozone and UV light for killing Legionella pneumophila in a model plumbing system. Appl. Environ. Microbiol. 53 (2): 447-453
- /73/ Nordström K et al (1983): An outbreak of legionnaires' disease in Sweden: report of sixty-eight cases, Scand J Infect Dis 15: 43-55
- /74/ O'Mahony MC et al (1990): The Stafford outbreak of Legionnaires' disaese. Epidemiol Infect 104: 361-380
- /75/ Olfen; E. van (1988): Warmwasserversorgung und Legionella. Gi 109 Heft 5: 253-255
- /76/ Osterholm MT et al (1983): A 1957 outbreak of Legionnaires' disease associated with a meat packaging plant, Am J Epidemiol 117: 60-67
- /77/ Pietsch M. et al (1988): Vorkommen und Bedeutung von Legionellen im Trinkwasser von Krankenhäusern, Hyg. Med. 13: 265-268
- /78/ Pietsch / Werner (1991):Bewertung positiver Legionellen-Befunde in leitungswasser, Hygiene und Medizin 16: 353-356 und 374-375
- /79/ Pitter I (1993): Wachstum und Bekämpfung von Legionellen in wasserführenden Systemen, IKZ-Haustechnik Heft 8: 85-96
- /80/ Plouffe JF et al (1983): Subtypes of Legionella pneumophila serogroup 1 associated with different attack rates, Lancet 2 (8351): 649-650
- /81/ Pokrovskii VI et al (1988): An outbreak of Legionella infection in Armavire, Zh Microbiol Epidemiol Immunobiol 10: 24-27
- /82/ Recknagel - Sprenger - Hönnemann (1992): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. Herausgeber Prof. Dr.-Ing. E.-R. Schramm. R. Oldenburg Verlag München Wien
- /83/ Redd SC et al (1990): A rural outbreak of Legionnaires'disease linked to visiting a retail store, Am J Public Health 80: 431-434
- /84/ Reid D et al (1978): Illness associated with „package tours“: a combined Spanish-Scottish study, Bull WHO 56: 117-122
- /85/ Ribeiro C et al (1987): Legionella pneumophila in a hospital water system following a nosokomial outbreak: prevalence, monoclonal antibody subgrouping and effect of control measures, Epidem. Inf. 98: 253 - 262
- /86/ Richards NC et al (1989): A severe case of Legionnaires' disease connected to the BBC outbreak in 1988, J R Nav Med Serv 75:117-120
- /87/ Risse CH et al (1990): Maßnahmen zur Vermeidung eines Legionella-Infektionsrisikos im Krankenhaus, Sonderdruck aus Gesundheitsingenieur - gi 111/6: 257-263
- /88/ Rohr, U et al (1998): Legionellenreduktion in Trinkwasseranlagen durch Ag-/ Cu-Ionisation - Erfahrungsbereichte und Stellungnahme aus drei Hygieneinstituten, Hygiene und Mikrobiologie 3/98: 82-85

- /89/ Rohr U et al (1999): Four Years of experience with Silver Copper Ionization for control of Legionella in a German University hospital hot water plumbing system, Clinical Infectious Disease 29: 1507-11
- /90/ Rowbotham TJ (1983): Isolation of Legionella pneumophila from clinical specimens via amoebae, and the interaction of those and other isolates with amoebae, J Clin Pathol 36: 978
- /91/ Ruckdeschel G., Ehret W (1993): Die Legionelleinfektion. Ergebnisse der Inneren Medizin und der Kinderheilkunde 6: 207-302
- /92/ Ruf B. et al (1989): The incidence of Legionella pneumonia: a 1 year prospective study in a large community hospital, Lung 167 (1): 11-22
- /93/ Ruf B (1993): Klinik und Therapie der Legionella-Infektion, Schr.Reihe Verein WaBoLu 91, Gustav Fischer Verlag. 13-21
- /94/ Saefkow (1992): Bericht zur Legionellenproblematik und ein alternatives Konzept zur Eliminierung von Legionellen aus dem Trinkwasser, Forum Städte Hygiene
- /95/ Schoenen Prof Dr. D (1993): Vorkommen und Bedeutung von Legionella pneumophila im Wasser, Original DVGW Informationsveranstaltung IV W 7.5.2 Trinkwassererwärmungsanlagen, Vermeidung von Legionellose-Erkrankungen
- /96/ Schulze-Röbbke R et al (1987): Vermehrungs- und Abtötungstemperaturen natürlich vorkommender Legionellen, Zbl. Hyg. B. 184: 495-500
- /97/ Schulze-Röbbke R et al (1990): Sanierung eines mit Legionella pneumophila kontaminierten Krankenhaus-Warmwassersystems, Zentralbl. Hyg. Umweltmed. 190 (1-2): 84-100
- /98/ Seidel K (1987): Vorkommen von Legionella pneumophila in Trinkwässern und in Warmsprudelbeckenwässern in: WaBoLu 72, G. Fischer Verlag: 67-75
- /99/ Seidel K / Grohmann A (1987): Zur Frage der Bekämpfung des Vorkommens von Legionellen in kontaminierten Warmwassersystemen in: WaBoLu 72 G. Fischer Verlag: 91-102
- /100/ Seidel K et al (Hrsgb.) (1987): Legionellen. Beiträge zur Bewertung eines hygienischen Problems. G. Fischer Verlag Stuttgart.
- /101/ Seidel K, Martiniy H (1988): Use of UV irradiation for disinfection of Legionellae in drinking water, Zbl. Hyg. B 136: 428-429
- /102/ Selenka F et al (1995): Untersuchungen zur Dekontamination eines legionellenbelasteten Warmwasserkreislaufs in einem Krankenhaus unter Einsatz des Tarn-Pure-Verfahrens, Hyg. Med. 20: 292-302
- /103/ Siegismund R (2000): Die Legionellen-Problematik. Berichte aus der Praxis, Richtlinien und Regelwerke, Technische Lösungen. Begrüßung VBI-Seminar „Legionellenproblematik“ am 18.02.00 in Frankfurt am Main (Manuskript).
- /104/ The Sydney Morning Herald (1998) Legionnaires alert after five cases, <http://www.smh.com.au/news/9805/28/text/local4.html>, 09.2000.
- /105/ Stout JE et al (1992): Potable water as a source of community acquired legionnaires disease, N Engl. J. Med 326: 151-155
- /106/ Tallis G et al (2000): A descriptive analysis of the Melbourne aquarium outbreak of legionnaires disease. Vortrag 5th International Conference on Legionella, September 26-29/2000 Ulm, Germany, oral session O36, Abstracts S. 20
- /107/ Trouwborst T (1987): Gibt es eine Strategie zur Verhinderung von Legionella-Infektionen? - Erfahrungen aus den Niederlanden - in WaBoLu 72, G.Fischer Verlag: 49-65
- /108/ (1990) Trinkwasserverordnung - Neufassung 91, BGBl.
- /109/ Van Steenberghe, JE et al (1999): The first 48 hours of investigation and intervention of an outbreak of legionellosis in the Netherlands, Euro Surveillance 4: 112-114



- /110/ (1977): VDI-Wärmeatlas. Herausgeber: VDI-Ges. Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen. 8. Auflage, Springer Verlag, 1977
- /111/ Warnecke HJ et al (1991): Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure. Carl Hanser Verlag München Wien
- /112/ Wendt C et al (1995): Feldversuch zur Gewinnung legionellen freien Wassers aus Duschen und Waschbecken einer Transplantationsstaion durch ein Filtersystem, Zbl. Hyg. 196; 515-531
- /113/ Werner HP (1989): Legionellengefahr bei der solaren Warmwasserbereitung. Vortrag bei der Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie - Sektion Rheinland-Pfalz am. Zusammenfassung von W. Axt in Sonnenenergie 4/90: 15-16
- /114/ Werner HP, Pietsch M (1990): Stellenwert der Maßnahmen zur Legionellenprophylaxe, Öff. Gesundheitswesen 52: 226-231
- /115/ (1986): Environmental aspects of the control of Legionellosis, WHO. Regional office for Europe. Copenhagen
- /116/ (1990): Epidemiology, prevention and control of legionellosis, Bull. World Health Organ. 68 (2): 155-164
- /117/ (1999) Legionnaires disease Eyled in Deaths Cases, <http://www.who.int/emc/outbreak/news/n1999/nov/18nov1999b.html>, 09.2001
- /118/ Yu VL (1998): Resolving the Controversy on environmental cultures for Legionella. Infect. Contr., Hosp. Epidemiol.: 893-897
- /119/ (2000): Kalkulation – Leistungen der ZSVA für Dritte, Angaben für 2000 zur Dampfsterilisation (Filterkerzen) vom 19.04.2000, Carl Thiem Klinikum Cottbus: Kosten-Leistungsrechnung und Controlling, Fax vom 20.10.00 ID +49 355 462386
- /120/ Steinbrecher E et al (2000): Die häufigsten Erreger bei Intensivpatienten mit nosokomialen Infektionen. Ergebnisse des Krankenhaus-Infektions-Surveillance-Systems (KISS), Chemoth J 9: *Heft 5/2000* 179-183

**Anhang**

**Abkürzungen und Formelzeichen**

a	Jahr
A	Fläche
$B_0$	Barwert bezogen auf den Zeitpunkt 0 der Investition
BGA	Bundesgesundheitsamt
BRD	Bundesrepublik Deutschland
C	Celsius
CTK	Carl-Thiem-Klinikum Cottbus
d	Tag
d	Wandstärke
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DM	Deutsche Mark
DVGW	Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
$\Delta$	Differenz
$\gamma$	Radius
GB	Great Britain
h	Stunde
I	Investion
ITS	Intensivstation
K	Kelvin
k	Wärmeverlustkoeffizient
KBE	koloniebildende Einheit
l	Länge
$\lambda$	Wärmeleitkoeffizient
L.	Legionella
m	Meter

mJ	Millijoule
ml	Milliliter
mg	Milligramm
MWh	Megawattstunde
n	Natürliche Zahl
p	Zinssatz
q	Zinsfaktor
Q	Leistung
s	Sekunde
spp.	Subspezies
T	Temperatur
t	Zeit
TC	Technologie Concept (Firmenbezeichnung)
TDM	tausend Deutsche Mark
USA	United States of America
UV	ultraviolett
W	Watt
Z	Zahlung
ZOP	Zentraler Operationssaal

## Glossar

Barwert	Finanzieller Gesamtaufwand aus Investition und laufenden Kosten über einen definierten Zeitraum (siehe Seite 24)
Barwertmethode	Dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung, die die vergleichende Bewertung verschiedener Investitionsalternativen bzw. Varianten miteinander anhand der investitionskosten und der laufenden Kosten über einen definierten Zeitraum beschreibt.
Kollektoren	Rohrleitungen, die das Trinkwasser vom Warmwasserspeicher in das Klinikgelände verteilen
Sensitivitätsanalyse	In der Wirtschaftlichkeitsrechnung werden Schätzungen über Investitionskosten, Preisentwicklungen, Zinssätze und Nutzungsdauern vorgenommen. In der Sensitivitätsanalyse werden diese Schätzungen variiert und die Ergebnisse daran geprüft und validiert (siehe Seite 26)
Verlustleistung	Energieeinheit, abhängig von der Größe der wärmeübertragenden Fläche und der Temperaturdifferenz zwischen beiden Seiten dieser Fläche (siehe Seite 22)
W551	Technische Regel, herausgegeben vom Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches 1993: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums
W552	Technische Regel, herausgegeben vom Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches 1996: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Vermeidung des Legionellenwachstums; Sanierung und Betrieb
Wärmeverlust	Produkt von Verlustleistung und Zeiteinheit, z.B. MWh/a (siehe <seite 22 ff.)
Zinsfaktor	Aktueller Zinssatz plus eins, z.B. bei einem Zinssatz von 8% ist der Zinsfaktor 1,08

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Legionella Spezies und Serogruppen .....	5
Tabelle 2: Nachweis von Legionellen in warmem Trinkwasser .....	7
Tabelle 3: Publierte Ausbrüche der Legionärskrankheit 1957 - 2000 .....	9
Tabelle 4: Wärmeverlustrechnung, Bemerkungen und Parameter .....	20
Tabelle 5: Netzlänge Kollektoren .....	26
Tabelle 6: Netzlänge Gebäude und Gesamtnetzlänge .....	27
Tabelle 7: Nachweis von Legionellen im Warmwassersystem des Carl-Thiem-Klinikum Cottbus .....	29
Tabelle 8: Empfehlungen zur Legionellenprävention ungeachtet des Risikobereiches .....	31
Tabelle 9: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit geringem Risiko .....	31
Tabelle 10: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit mäßigem Risiko .....	32
Tabelle 11: Empfehlungen zur Legionellenprävention für Bereiche mit hohem Risiko .....	33
Tabelle 12: Vorschlag für Messungen im CTK .....	34
Tabelle 13: Bautechnische Präventionsmaßnahmen .....	35
Tabelle 14: Thermische Präventionsmaßnahmen .....	36
Tabelle 15: Chemische Präventionsmaßnahmen .....	37
Tabelle 16: Physikalische Präventionsmaßnahmen .....	38
Tabelle 17: Kombinierte Präventionsmaßnahmen .....	39
Tabelle 18: Wirksamkeit und technische Realisierbarkeit der beschriebenen Präventionsmaßnahmen im CTK .....	40
Tabelle 19: Systembeschreibung (Varianten) .....	41
Tabelle 20: Geschätzte Kosten Dezentralisierung des Warmwassersystems (Anwendungsbeispiel I) .....	41
Tabelle 21: Geschätzte Kosten thermische Prävention nach DVGW Arbeitsblatt W 551 (Anwendungsbeispiel II) .....	42
Tabelle 22: Geschätzte Kosten der Prävention mit UV+Ultraschall (Anwendungsbeispiel III) .....	43
Tabelle 23: Geschätzte Kosten endständige Filtersysteme .....	43
Tabelle 24: Tatsächliche Kosten endständige Filtersysteme (Anwendungsbeispiel IV) .....	44
Tabelle 25: Kosten für regelmäßige Messungen .....	45
Tabelle 26: Barwerte der untersuchten Anwendungsbeispiele für die untersuchten Anwendungsvarianten .....	64

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Stehender Warmwasserspeicher.....	14
Abbildung 2: Durchfluß-Wassererwärmung in einem stehenden Heizspeicher .....	14
Abbildung 3: Übersichtsplan Carl-Thiem-Klinikum Cottbus .....	25
Abbildung 4: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Variante 1 (Gesamtsystem) .....	45
Abbildung 5: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Bereiche mit mäßigem Risiko ....	46
Abbildung 6: Ökonomischer Vergleich der Anwendungsbeispiele I - III, Ein Gebäude .....	46
Abbildung 7: Ökonomischer Vergleich, Versorgung der Bereiche mit hohem Risiko mit acht endständigen Filtern (Anwendungsbeispiel IV) und regelmäßige Messungen gemäß den Vorgaben dieser Arbeit (Kap. 3.4.) .....	47
Abbildung 8: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem .....	48
Abbildung 9: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem .....	48
Abbildung 10: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem .....	49
Abbildung 11: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf das Gesamtsystem .....	49
Abbildung 12: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko .....	50
Abbildung 13: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko .....	50
Abbildung 14: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko .....	51
Abbildung 15: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf Bereiche mit mäßigem Risiko .....	51
Abbildung 16: Veränderung des Barwertes bei Änderung des Energiepreises für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude.....	52
Abbildung 17: Veränderung des Barwertes bei Änderung des kalkulatorischen Zinsfaktors für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude.....	52
Abbildung 18: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Nutzungsdauer für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude.....	53
Abbildung 19: Veränderung des Barwertes bei Änderung der Investitionskosten für die Anwendungsbeispiele I – III bezogen auf ein Gebäude.....	53

**Firmenverzeichnis**

ABE GmbH: Körnerweg 8, 33415 Verl

DEVI Comfort Heat Döbeln GmbH: Naußlitzer Str. 27, 04741 Haßlau

DMS Wasser- Wärmetechnik GmbH: Im Hegen 14a, 22113 Oststeinbek

dp-Wasseraufbereitung: Rayener Kirchweg 18, 41333 Neukirchen-Vluyn

Grünbeck Wasseraufbereitung: Industriestr. 1, 89420 Höchstädt a.d. Donau

Logotherm Haustechnik GmbH: Demmeringstr. 143, 04179 Leipzig

PALL GmbH Biomedizin: Philipp- Reis Straße 6 D-63303 Dreieich

SARTORIUS AG. Weender Landstraße 94-108, D-37070 Göttingen

**Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre hiermit an Eides statt, daß die vorliegende Dissertation von mir selbst und ohne die unzulässige Hilfe Dritter verfaßt wurde, auch in Teilen keine Kopie anderer Arbeiten darstellt und die benutzten Hilfsmittel sowie die Literatur vollständig angegeben sind.

Cottbus im Jahr 2001