

Wachstum und Bekämpfung von Legionellen in wasserführenden Systemen

Dipl.-Ing. Irene Pitter*

Die Legionellen-Erkrankung ist erstmals bei einem Legionärstreifen in Florida durch verseuchte Luft in Klimaanlage aufgetreten. Mehrere hundert Erkrankte und einige Tote haben die Mikrobiologen und die Mediziner auf den Plan gerufen. In der Bundesrepublik hat man durch das Bundesgesundheitsamt erste Untersuchungen anlaufen lassen und geschätzt, daß jährlich etwa 1200 bis 1500 Menschen an dieser Krankheit sterben.

Der Bundestag hat sich in einer interfraktionellen Arbeitsgruppe mit der Problematik beschäftigt – dies ist aber ohne verwertbares Ergebnis geblieben. Der DVGW hat sich dankenswerterweise um eine Lösung des Problems bemüht. Aber das erste Ergebnis – nämlich das Wasser auf 70 °C zu erwärmen und damit alle Legionellen-Bakte-

rien abzutöten – ist umstritten. Nicht nur die werkstoffseitige Belastung von verzinkten Boilern und Rohrleitungen, sondern auch die energiepolitischen negativen Effekte sind bedenklich.

Nunmehr hat ein namhafter Hersteller in Zusammenarbeit mit zwei bayerischen Universitäten, aber auch mit Tuchföhrung nach England und in die USA ein Verfahren entwickelt, das die Lösung des Problems darstellt. Die wissenschaftlich fundierten Untersuchungen werden in den nächsten Wochen veröffentlicht. Das Verfahren beruht auf der Kombination von Ultraschall und UV-Strahlung und hat in der internationalen Fachwelt Aufsehen erregt.

Die vor 20 Jahren erstmals durch Joseph Mc Dade [1] beschriebenen Legionellen sind verantwortlich für einen erheblichen Anteil aller schweren Pneumonien. Intensive Forschungsarbeiten haben gezeigt, daß die Legionärskrankheit weltweit auftritt und keineswegs Seltenheitswert besitzt. Wie eine Vielzahl von Studien belegt, rechnen die Legionellen auch in verschiedenen Ländern Europas einschließlich der Bundesrepublik zur Spitzengruppe der bakteriellen Erreger schwerer Lungenentzündungen [2]. Nach einer Schätzung von Yu et al [3] sind 22,5% aller Pneumonien in Pittsburg den Legionellen zuzuordnen. In England fanden Macfarlane et al. [4] Legionellen bei „community acquired“ Pneumonien mit 15% als zweithäufigste bakterielle Erreger von Lungenentzündun-

gen nach den Pneumokokken. Etwa 40% aller durch Legionellen verursachten Pneumonien sind auf die Infizierung der Warmwasserbereitung sowie der Klimatisierung der betreffenden Gebäude zurückzuführen.

Die von Legionellen verursachte Legionellose hat offenbar zwei Verlaufsformen [5]:

Die Legionärskrankheit

Das Krankheitsbild der Legionärskrankheit ist eine akute, schwer bakterielle Lungenentzündung. Die Infektiosität der Legionärskrankheit beträgt bis zu 5% der exponierten Personen [6]. Die Symptome zeigen sich in der Regel zwei bis zehn Tage nach der Ansteckung. Diese Infektion macht einen schnellen Klinikaufenthalt mit Intensivtherapie und Antibiotika-Einnahme notwendig. Die Lethalität der Legionellose liegt mit 15 bis 20% relativ hoch.

Das Pontiakfieber

Die zweite mildere Form der Legionelleninfektion ist das sogenannte Pontiakfieber, welches das Krankheitsbild einer fiebrigen Erkältung aufweist. Die Infektiosität beträgt bis zu 95% der exponierten Personen. Die Symptome treten ein oder zwei Tage nach der Infektion auf, sind in der Regel nicht sehr ausgeprägt und bilden sich spontan innerhalb weniger Tage zurück. Durch das Pontiakfieber verursachte Todesfälle sind nicht bekannt.

Untersuchungen haben gezeigt, daß Legionelleninfektionen auf völlig unterschiedlichen Wegen erworben werden können:

Zum einen können vollkommen gesunde Personen durch das Einatmen von legionellenbehafteten Aerosolen infiziert werden und nach kurzer Zeit die oben beschriebenen Symptome einer schweren Pneumonie zeigen.

Zum anderen kann eine Infektion durch Legionellen auch nosokomial erworben werden. Diese Patienten haben bereits eine krankheits- oder therapiebedingte Schwächung ihrer Immunabwehr und sind für eine weitere Infektion besonders empfänglich. Die Mortalität bei Patienten mit noso-

*) Dipl.-Ing. Irene Pitter, Jg. 1966, Studium des Chemieingenieurwesens in Emden und Leicester; 1991 Leiterin des Zentralen Analytik- und QS-Labors der Friesland Milch GmbH; 1992 Leiterin Verfahrenstechnik und Labor der Grünbeck Wasseraufbereitung GmbH.

komialer Legionellose kann bis zu 70% ansteigen [7].

Bislang wurden über 100 epidemische Ausbrüche der Legionärskrankheit beschrieben. Während epidemisch auftretende Legionellen durch ihre hohe Letalität großes öffentliches Interesse findet, tritt die Mehrzahl der Fälle sporadisch auf. Ein Großteil bleibt sicher unerkannt und entgeht somit statistischer Erfassung.

Vorkommen, Wachstum und Nachweis von Legionellen

Vorkommen

Legionellen sind in wäßrigen Habitaten ubiquitär nachweisbar. Sie sind dabei in Grundwasser und in kaltem Trinkwasser, wenn es eine kontinuierlich niedrige Temperatur hat, sehr selten. In Meerwasser und anderen salzhaltigen Wässern sind Legionellen nicht nachweisbar [8].

Schwimmbeckenwässer, besonders Warmsprudelbeckenwässer und Wässer aus raumlufttechnischen Anlagen können dagegen sehr hohe Konzentrationen an Legionellen enthalten.

Wachstumsbedingungen

Legionellen sind strikte Aerobier, die in Wässern mit höherem Sauerstoffgehalt (6–10 mg/l) besser und in Wässern mit weniger als 2,2 mg/l nicht mehr wachsen können. Bei einem Sauerstoffgehalt unter 2 mg/l, wie in Grundwässern aus Tiefen unter 20 m vorkommend, können Legionellen nicht mehr existieren. Entsprechend sind auch bei Grundwässern aus diesen Tiefen keine Legionellen mehr zu erwarten [10].

Der pH-Bereich für Wachstum in natürlichen Ökosystemen liegt zwischen 5,5 – 9,2. Der Temperaturbereich, in dem Legionellen zu finden sind, ist extrem breit. Bei günstigem Nährstoffangebot vermehren sie sich bereits bei 10°C, doch ihre optimale Vermehrungstemperatur liegt zwischen 35°C und 42°C. Bei einer Temperatur von 60°C sind Legionellen nur noch kurzzeitig lebensfähig, bei Temperaturen von 70°C werden sie sofort zerstört [13].

Wachstum als Kolonie

Legionellen sind gramnegative Stäbchen, die in Größe und Form den Colibakterien ähneln. Sie sind nicht in der Lage, Dauerformen wie z. B. Sporen zu bilden. Neben dem aeroben Wachstum sind als weitere gemeinsame Merkmale der Legionellen ihre fehlende Fähigkeit auf Schafblutagar zu wachsen, sowie ihr essentielles Nährstoffbedürfnis nach löslichen Eisensalzen zu nennen [12].

Unter Wachstumsbedingungen im Temperaturoptimum und beim pH-Optimum von 6,9 in Kulturmedien stellt man Verdopplungszeiten von ca. 4 Stunden fest. Diese langen Generationszeiten führen dazu, daß man nach Inokulation der Kulturmedien erst nach 10 bis 14 Tagen Bebrütungsdauer eine deutliche Koloniebildung erhält.

Wachstum in Parasiten

Legionellen besitzen hochaktive Proteasen, mit denen sie Eiweißstoffe abbauen und als Nahrungsgrundlage verwenden können [10]. Aus diesem Grund findet man Legionellen häufig in ökologischer Assoziation lebend mit anderen Wasserorganismen wie z. B. frei lebenden Amöben [14, 15], Ciliaten [16] oder aquatischen Bakterien [17].

Einerseits leben sie von abgestorbenen Mikroorganismen, andererseits werden sie wie alle Bakterien von Protozoen wie Amöben, Geißel- oder Wimperntierchen aufgefressen. Aus bisher noch nicht geklärten Gründen können die Legionellen intrazellulär in den Protozoen überleben und sich hier sogar vermehren [18]. Dabei gehen die Protozoen zugrunde.

In der Lunge spielt sich in etwa der gleiche Vorgang ab wie im Wasser. Die virulenten Legionellen gelangen über Aerosole in die Lunge, wo sie von Markophagen aufgenommen werden. Ein Schutzmechanismus bewirkt, daß die allermeisten Bakterien hier enzymatisch abgebaut werden. Bei den virulenten Legionellen funktioniert dieser Mechanismus allerdings nicht. Vielmehr vermehren sie sich intrazellulär und die menschliche Freßzelle geht dabei zugrunde [10].

Die klinisch-mikrobiologische Diagnostik der Legionellen wird durch die mangelnde Fähigkeit der Legionellen, auf den üblichen bakteriologischen Nährmedien zu wachsen, erschwert. Kulturelle Verfahren zur Anzucht stehen zwar zur Verfügung, ihre Nutzbarkeit für die Diagnostik humaner Erkrankungen ist jedoch eingeschränkt. Während positiven Kulturergebnissen ein hoher diagnostischer Stellenwert zukommt, besitzen negative Kulturen keinesfalls krankheitsausschließende Bedeutung. Gegenwärtig sind 35 Legionellenspezies bekannt, von denen mindestens 17 als humanpathogen gelten [9].

Bekämpfung von Legionellen

Grundsätzlich ist zu sagen, daß das von den Wasserwerken gelieferte Wasser in chemischer und hygienischer Hinsicht allen Anforderungen der Trinkwasserver-

ordnung entspricht. Trinkwasser enthält, auch wenn es den mikrobiologischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung entspricht, stets geringe Konzentrationen an Keimen, unter denen sich auch Legionellen befinden können. Da es sich bei den Legionellen um ubiquitär in wäßrigen Medien vorkommende Keime handelt, ist die Anwesenheit einiger weniger Keime im Trinkwasser noch kein Anzeichen für eine schlechte Wasserqualität. Bei einer geringen Konzentration von Legionellen im Wassersystem von Gebäuden ist die Gefahr einer Infektion äußerst gering. Durch geeignete Maßnahmen ist allerdings dafür zu sorgen, daß im wasserführenden System der Gebäude keine Bedingungen geschaffen werden, in denen sich Legionellen schnell vermehren können und somit zu einer Gefahr werden.

Besondere Beachtung muß hierbei den raumlufttechnischen Anlagen (Klimaanlagen) mit offenen Rückkühlwerken gelten. Die gefährdeten Stellen in den RLT-Anlagen sind die Kühltürme sowie die Umlauf-Sprühbefeuchter. An beiden Stellen kann der Wasserkreislauf mit Leitungswasser nachgefüllt werden, wodurch ein ständiger Nachschub an Legionellen erfolgen kann. Durch die offenen Kühltürme können organische Substanzen in den Kreislauf eingeschleust werden, die als Nahrungsgrundlage dienen. Zusätzlich herrschen aufgrund der Rückkühlung ständig optimale Wachstumstemperaturen von 30 bis 35°C [37].

Da ein Teil des Kühlwassers in Tröpfchenform in die Atmosphäre gelangt, können die RLT-Anlagen die Ursache für Legionellen-Infektionen werden [38]. Es sollte unbedingt verhindert werden, daß sich Außenluft-Ansaugstellen in der unmittelbaren Umgebung eines Kühlturms befinden, da die Gefahr eines Kurzschlusses mit dessen Abluft besteht.

In Umlaufsprühbefeuchtern können sich bei schlechter Wartung ebenfalls Verschmutzungen ansammeln, die ein günstiges Milieu für die Vermehrung von Legionellen bilden. Dampf-befeuchter sind hier wegen des geringeren bakteriellen Risikos von Vorteil [39].

Überblick über die auf dem Markt zur Verfügung stehenden Methoden

Lineare Leitungsführung

Schon in der BGA-Empfehlung zur Verminderung eines Legionella-Infektionsrisikos vom Juni 1987 [19] ist auf die Notwendigkeit einer linearen, geradlinigen

Leitungsführung hingewiesen worden. Das gesamte Rohrnetz sollte schon bei der Planung so ausgelegt werden, daß es keine sehr langen und/oder sehr selten gezapfte Leitungsstränge gibt, in denen sich Legionellen aufgrund hoher Verweilzeiten und optimaler Temperaturbedingungen stark vermehren können. Prinzipiell sollten periphere Warmwasserleitungen so kurz wie möglich sein.

Handelt es sich bei dem infizierten System um ein älteres Gebäude, so sollte zumindest sichergestellt werden, daß alle nicht genutzten Toträume der Warmwasserinstallationen, wenn möglich, abgetrennt und entleert werden.

Temperaturführung und Warmwasserspeicherung

Das Warmwasser sollte auf mindestens 60°C erwärmt werden und kontinuierlich auch in den Leitungen auf mindestens 55°C gehalten werden [20]. Zu diesem Zweck sollte bei Neuinstallationen eine Zirkulationsleitung gelegt werden, die so nah wie möglich an die Entnahmestellen herangeführt wird. Als Verbrühungsschutz muß an den Mischbatterien eine Zwangsbeimischung von Kaltwasser erfolgen.

Bei der Auslegung der Warmwasserspeicher kommt es in erster Linie auf eine bedarfsgerechte Dimensionierung an. Da es vor allem die großen Warmwassersysteme sind, die hygienische Probleme bereiten, sollte der Warmwasserspeicher so dimensioniert sein, daß das vorhandene Volumen mindestens einmal täglich umgewälzt wird [21].

Zusätzlich sollte eine Zirkulationspumpe installiert sein, die das Wasser kontinuierlich umwälzt und somit auch in der Peripherie des Leitungsnetzes eine Mindesttemperatur von 55°C garantiert [20]. Bei selten benutzten Entnahmestellen ist die Installation von dezentralen Durchlauf-erhitzern zu überlegen.

Die Kalt- und Warmwasserleitungen müssen gut voneinander isoliert sein, damit es nicht zu Wärmeübertragungen kommen kann. Die Erwärmung des Trinkkaltwasserstranges kann dort zu Keimwachstum, also auch zu Legionellenwachstum führen.

Materialauswahl und Oberflächenbeschaffenheit

Die Materialauswahl der Rohr-, Leitungs- und sonstigen Materialien hat sich zunächst nach ihrer Beständigkeit bei der geforderten Temperatur von 60°C zu richten. Weiterhin ist darauf zu achten, daß die eingesetzten Materialien nicht das Wachstum von Legionellen begünstigen

dürfen. So dürfen z.B. Gummi und bestimmte Kunststoffe nur dann in Warmwasserleitungen als Dichtungen, Flansche oder Ventile eingesetzt werden, wenn eine Wassertemperatur von 60°C sichergestellt ist. Es konnte nachgewiesen werden, daß Legionellen, wie andere Mikroorganismen, lösliche organische Komponenten als Nahrungsgrundlage verwerten können [22]. Sie können daher auf einigen Gummi- oder Kunststoffoberflächen einen Biofilm bilden.

Die ausgewählten Materialien sollten eine glatte Oberfläche besitzen, um die Ausbildung von Inkrustationen zu erschweren.

Wartung und Instandhaltung des Systems

Nachdem die Ergebnisse der Untersuchungen über Legionellenvorkommen in Trinkwarmwassernetzen gezeigt haben, daß sich Legionellen vor allem in grob verschmutzten Teilen des Speichers und der Rohrleitungen sowie in Inkrustationen und volumigen Korrosionsprodukten aufhalten und vermehren können [23], ist eine der grundlegenden Forderungen zur Verminderung des Infektionsrisikos die regelmäßige Entschlammung, Reinigung und Wartung der Wassersysteme.

Das Verkeimungsrisiko läßt sich durch Korrosionsschutz, Steininhibierung, Einsatz von Mikrobioziden sowie Biodispersatoren zu Schleimablösung deutlich vermindern [24].

Desinfektion

Das Wissen über den Einsatz und die Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln kommt vor allem im Bereich der Schwimmbäder und bei Raumlufttechnischen Anlagen zum Tragen.

In Schwimmbädern sind die Duschen einer der Hauptgefahrenpunkte. Beim Benutzen der Duschen kommt es zu einer starken Aerosolbildung. Ist das Warmwassernetz mit Legionellen infiziert, können sich die Keime an die feinen Tröpfchen anhaften und werden so über die Atmung in die Lunge transportiert, wo sie eine Pneumonie auslösen können.

Ein weiterer Gefahrenpunkt ist die Verkeimung des Badewassers, vor allem wenn damit Whirlpools und andere Badeattraktionen betrieben werden. Bei diesen Einrichtungen ist die Aerosolbildung ebenfalls sehr groß. In der in Kürze erscheinenden Neufassung der DIN 19643 Teil 1 ist der Grenzwert für Legionellen im Augenblick auf „nicht nachweisbar in 10 ml“ festgelegt.

Die Hauptverkeimungsquelle bei Badewässern sind die Filter. Bei auftretenden,

niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten von 20 m/h und den vorherrschenden Temperaturen von 27°–37°C können die Filter wie ein Bioreaktor funktionieren [24], in dem sich Legionellen und andere Mikroorganismen stark vermehren können.

Chlorierung

Die Desinfektion in Schwimmbädern erfolgt oft durch Chlordosierung. Die Konzentration muß am Ausgang des Schwimmbeckens noch 0,4 mg/l freies Chlor betragen. Eine bessere Desinfizierung durch Erhöhung der Chlordosierung zu erreichen ist nicht möglich, da es neben vermehrten Beschwerden seitens der Badegäste aufgrund der Chlorzehrung zu einer verstärkten Trihalogenmethan (THM) Bildung kommt.

Zur Desinfektion der Badewasserfilter sollten diese periodisch rückgespült werden, wobei das Filterbett angehoben werden muß, damit sich die einzelnen Filterkörner aneinanderreiben können und dadurch der mikrobielle Belag mechanisch gelöst wird. Diese Rückspülungen sollten mit Chlorkonzentrationen von 2–6 mg/l durchgeführt werden, da erst ab dieser Konzentration eine abtötende Wirkung auf Legionellen festgestellt werden konnte [26].

Die Hochchlorung kann ebenfalls in raumlufttechnischen Anlagen und in Trinkwasserinstallationen eingesetzt werden. Bei der Desinfizierung von Trinkwassersystemen mit Chlor sollte man sich allerdings darüber bewußt sein, daß man keine 100%ige Abtötung der Legionellen durch die einmalige Durchführung erreichen kann. Wie vorher schon ausgeführt, können Verunreinigungen des Systems oder aber auch in Zellagglomeraten überleben und zur Reinfizierung führen.

Bei einer kontinuierlichen Hochchlorung mit 4–6 mg/l über eine Zeit von 6 h ist eine Keimreduzierung von 99,999% zu erreichen [27]. Durch eine Temperaturerhöhung kann die Abtötungszeit verringert werden, allerdings wird auch der Verbrauch an Chlor stark erhöht.

Ozonisierung

Mit einer Ozonkonzentration von 1–2 mg/l kann die Legionellenkonzentration um 99,999% innerhalb von 3 Stunden reduziert werden. Eine vollständige Abtötung aller Legionellen ist allerdings auch mit dieser Methode nicht gegeben [27].

Thermische Desinfektion

Die thermische Desinfektion von legionellenkontaminierten Wassersystemen ist ▶

die am weitesten verbreitete und auch am einfachsten durchzuführende Methode. Das System muß so lange mit heißem Wasser gespült werden, bis an allen Auslässen 70° warmes Wasser gemessen wird [19]. Alle Legionellen, die direkt dieser thermischen Belastung ausgesetzt sind, sterben innerhalb weniger Minuten ab. Die thermische Desinfektion ist die Methode der Wahl bei der Sanierung von infizierten Trinkwassersystemen.

Biozide

Der Einsatz von Bioziden zur Bekämpfung von Legionellen kann nur in Systemen erfolgen, deren Inhalt weder als Trinkwasser genutzt werden soll, noch direkt mit Menschen in Berührung kommt. Der einzige Einsatzbereich, der für Biozide in Frage kommt, sind raumluftechnische Anlagen. Es ist darauf zu achten, daß nur solche Biozide eingesetzt werden, deren Allergiepotezial beim Menschen relativ gering ist.

UV-Entkeimung

Es ist eine bereits seit langem bekannte Tatsache, daß Legionellen gegen UV-Licht sehr empfindlich sind [28, 29]. Erst seit ca. 5 Jahren wird dieser Effekt aber auch im praktischen Anwendungsfeld überprüft [30]. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Bestrahlung mit UV-Licht bei einer Wellenlänge von 254 nm und einer Dosis von 30 mWs/cm² die Legionellenkonzentration um einen Faktor 10⁵ reduziert werden kann [27].

Wirkungsweise der einzelnen Methoden

Lineare Leitungsführung

Befinden sich in einem Warmwassersystem eines Gebäudes viele selten genutzte oder gar tote Sticleitungen, so können sich hier aufgrund der Stagnation sowie der optimalen Temperaturbedingungen regelrechte Brutstätten der Legionellen ausbilden, die dann immer wieder zur Infizierung eines ansonsten gut betriebenen und gewarteten Warmwassersystems führen können.

Werden die für solche Brutstätten geeigneten Leitungsteile beseitigt, kann das Risiko einer Reinfektion nach einer erfolgreich durchgeführten Sanierungsmaßnahme deutlich gesenkt werden.

Temperaturführung und Warmwasserspeicherung

Der Risikobereich für die Legionellenvermehrung liegt zwischen 25°-55°C. Hält

man die Temperatur in einem Warmwassersystem kontinuierlich darüber, so kann man eine Keimvermehrung wirksam vermeiden. Durch eine richtig dimensionierte Warmwasserspeicherung und den Einbau einer Zirkulationsleitung verhindert man längere Stagnationszeiten und den peripheren Abfall der Temperatur. Die sogenannten „Brutschrankbedingungen“ für Legionellen werden vermieden.

Materialauswahl und Oberflächenbeschaffenheit

Wird bei der Materialauswahl darauf geachtet, daß keine Stoffe freigesetzt werden können, die als Nahrungsgrundlage für Legionellen oder andere Mikroorganismen dienen könnten, verschlechtert man die Wachstumsbedingungen für eventuell vorhandene Keime.

Kommt es an der Oberfläche der Leitungsmaterialien zu Ablagerungen aus eingetragenen Schmutzpartikeln, Kalkausfällungen oder zu Biofilmbildung, wird den Mikroorganismen Schutz vor extremen Umweltbedingungen wie z. B. Temperatur oder Desinfektionsmitteln geboten. Die Effektivität von Sanierungsmaßnahmen wird vermindert und das Risiko einer Reinfektion durch nicht abgetötete Legionellen bleibt hoch.

Zum Schutz vor eingetragenen Schmutzpartikeln sollte beim Eintritt des Trinkwassers ins Wassersystem des Gebäudes ein Feinfilter eingebaut werden.

Wartung und Instandhaltung

Durch die regelmäßige Reinigung der Warmwasserspeicher werden Ablagerungen und Inkrustationen, in denen sich Legionellen und andere Bakterien bevorzugt ansiedeln, beseitigt. Es wurde festgestellt, daß die bei der Korrosion auftretende Eisensalze, Härteablagerungen, organische und biologische Ablagerungen (Fouling) sowie mikrobiologische Schleim-Biofilme als potentielle Nährböden für Legionellen einzustufen sind [24]. Die Ablagerungsneigung im Trinkwassersystem wird noch durch zu geringe Strömungsgeschwindigkeiten unterstützt. Die Strömungsgeschwindigkeit im System sollte nicht unter 0,3 m/s liegen [25].

Hält man das System von Ablagerungen, Korrosionsprodukten und Ausfällungen frei, entzieht man den Legionellen zum einen die Nahrungsgrundlage und zum anderen den Schutzbereich in denen sie Sanierungsmaßnahmen unbeschadet überleben und ein erfolgreich saniertes System wieder reinfizieren konnten.

Desinfektion

Die Desinfektion von infizierten Wassersystemen hat immer zum Ziel, die Keimzahlen durch den geringstmöglichen Einsatz von chemischen, thermischen oder physikalischen Mitteln um den größtmöglichen Faktor zu reduzieren. Dabei muß immer berücksichtigt werden, daß gleichzeitig keine Schädigung des zu desinfizierenden Systems durch die ergriffenen Maßnahmen auftritt.

Chlorung

Chlor ist ein starkes Oxidationsmittel. Durch die Oxidation verschiedener Verbindungen in der Zellwand der Bakterien wird deren Lebensfähigkeit verringert bzw. vollständig verhindert. Nicht alle Bakterien sind gleich empfindlich gegen die Desinfektion mit Chlor. Legionellen gehören zu den Bakterienarten, die relativ resistent gegen Chlor sind, deshalb wird auch mindestens eine Konzentration von 2-6 mg/l Chlor zur sicheren Desinfektion benötigt. Ein nicht zu vernachlässigendes Problem bei der Chlorierung von Badewasser ist die Bildung von Trihalogenmethanen, die als krebserregend eingestuft werden. Auf dieses Problem stößt man vor allem bei der Desinfektion von Badewasser. Durch die Erhöhung der Temperatur kann die Desinfektionswirkung von Chlor verstärkt und die Einwirkzeit verkürzt werden. Nachteilig hierbei ist der erhöhte Chlorverbrauch [27].

Ozonisierung

Ozon ist ebenso wie Chlor ein starkes Oxidationsmittel, welches die Mikroorganismen an der Zellwand angreift und dort durch Oxidation von Verbindungen die Lebensfähigkeit verringert, bzw. völlig beseitigt. Bei der Desinfizierung durch Ozon können zwar keine Trihalogenmethane gebildet werden, es kommt aber trotz allem zu der Bildung von toxischen Nebenprodukten mit einer Epoxidstruktur, deren Wirkung auf den menschlichen Körper nicht in allen Fällen bekannt sind. Ein weiteres Problem ist die geringe Depotwirkung von Ozon. Aufgrund der hohen Zerfallsgeschwindigkeit von Ozon ist es schwierig, wenn nicht gar unmöglich, über eine längere Wegstrecke die benötigte Ozonkonzentration von 1-2 mg/l aufrechtzuerhalten. Eine Desinfizierung von weitläufigen Trinkwassersystemen durch Ozon ist aus diesem Grunde kaum möglich.

Sowohl der Einsatz von Chlor als auch der Einsatz von Ozon als Desinfektionsmittel ist davon abhängig, inwiefern die Legio-

nellen zugänglich sind. Haben sie sich in Inkrustation oder Ablagerung eingenistet, so können sie durch die genannten Desinfektionsmittel nicht abgetötet werden. Weiterhin ist hier zu bedenken, daß Legionellen häufig in Symbiose mit Protozoen wie Amöben und Ciliaten leben. Durch diese Symbiose sind sie vor dem direkten Angriff der Oxidationsmittel geschützt. Aber auch in Protozoen gewachsene und freigesetzte Legionellen reagieren anders als ständig frei vorliegende Bakterienzellen. Es konnte festgestellt werden, daß in Amöben gewachsene Legionellen resistenter gegen die Einwirkung von Chlor sind als frei im Wasser gewachsene Legionellen [31].

Thermische Desinfektion

Alle Bakterienarten haben ein Temperaturoptimum, bei dem sie optimal wachsen und Stoffwechsel betreiben können. Für Legionellen liegt dieses Temperaturoptimum zwischen 35 und 42°C. Wird dieses Temperaturoptimum überschritten, so sind diese Zellen nur noch bedingt lebensfähig. Ab einer bestimmten Temperatur sterben die Keime fast sofort ab. Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Temperatureinwirkung von 70° über mehrere Minuten mit einer sehr großen Sicherheit alle im System vorhandenen Legionellen abtötet.

Die thermische Desinfektion erfaßt sowohl die im Wasser vorhandenen Protozoen als auch die darin wachsenden Legionellen. Bei ausreichender Einwirkzeit werden zunächst die schützenden Hüllen der Protozoen zerstört und anschließend die freigesetzten Legionellenkeime. Dies ist der Grund, warum sich die thermische Desinfektion von verkeimten Systemen als so wirksam herausgestellt hat. Einziger die in Inkrustation oder Ablagerungen vorhandenen Legionellen können durch diese Abtötungsmethode nicht vollständig erfaßt werden. Nach der thermischen Sanierung von verkeimten Wassersystemen werden nach unterschiedlich langen Perioden immer wieder Rekontaminationen durch überlebende Legionellenkeime festgestellt.

Biozide

Die Wirksamkeit von Bioziden beruht auf chemischen Mitteln, die in den Stoffwechsel der Bakterien eingreifen. Am häufigsten wird die Produktion von intermediären Stoffwechselprodukten behindert, wodurch der Organismus nicht mehr die zum Wachstum und zum Überleben notwendigen Energien synthetisieren kann.

Die Bakterien sterben kurzfristig ab. Die Gefahr beim Einsatz von Bioziden ist die mögliche Resistenzbildung innerhalb der Bakterienflora. Aufgrund von Mutationen können sich Bakterienarten entwickeln, bei denen die Biozide nicht mehr in den Stoffwechsel eingreifen können. Hier sind die eingesetzten Mittel nicht mehr wirksam und müssen ausgetauscht werden, um eine erhöhte Kontamination der Systeme zu vermeiden. Da Biozide bei der Einnahme mit Wasser auf den Menschen giftig wirken, ist ihre Anwendung auf die Kühlkreisläufe von raumluftechnischen Anlagen beschränkt. Hier besteht allerdings die Gefahr des Übertritts an die Raumluft, weshalb durch ein toxikologisches Gutachten sichergestellt werden muß, daß die chemischen Inhaltsstoffe der Biozide keine allergischen Reaktionen oder sonstige Nebenwirkungen bei Menschen hervorrufen.

UV-Entkeimung

Ultraviolette Strahlung bei einer Wellenlänge von 254 nm wird von den Nucleinsäuren der DNA und RNA stark absorbiert. Es kommt zu chemischen Veränderungen der DNA bzw. RNA, wodurch die Duplikation der Nucleinsäuren und damit die Vermehrung der Mikroorganismen verhindert wird. Ist die Dosis an ultraviolettem Licht nicht hoch genug, bzw. sind die Schädigungen innerhalb der DNA, bzw. der RNA nicht groß genug, so sind Mikroorganismen und auch Legionellen in der Lage, die durch UV-Licht hervorgerufenen Schäden über einen enzymatischen Mechanismus wieder rückgängig zu machen und so zu überleben [29]. Um das Verkeimungsrisiko durch Legionellen stark zu minimieren, muß sichergestellt werden, daß eine ausreichend hohe UV-Dosis kontinuierlich in das System gelangen kann.

In einem Langzeitversuch zur Sicherheit der Trinkwasserdesinfektion mit UV-Strahlung konnte nachgewiesen werden, daß durch UV-Bestrahlung keine makromolekularen organischen Substanzen zu niedermolekularen und damit leicht verwertbarem Material abgebaut wurde. Es kommt daher nicht zu einer Verbesserung des Nahrungsangebotes für eventuell noch im Trinkwassersystem vorhandene Mikroorganismen, was eine Reinfektion begünstigen würde [32]. Die gleichen Untersuchungen haben aber auch gezeigt, daß nur unzureichende Abtötungsraten trotz höherer UV-Bestrahlung zu erreichen sind, wenn eine Aggregatbildung vorliegt oder wenn hohe Zelldichten von Plankton im

Wasser vorliegen. Diesen Effekt zeigten auch schon die Untersuchung von Calzon [33] und Hässelbarth [34] zur Desinfektion mit oxidativ wirkenden chemischen Desinfektionsmitteln.

Kombinierte Bekämpfungsmethoden

Alle bisher aufgeführten Methoden zur Bekämpfung von Legionellen, bzw. zur Sanierung von legionelleninfizierten Wassersystemen haben den Nachteil, daß sie entweder nur kurzfristig wirken oder nur als langfristiger Schutz gegen eine erneute Infizierung eingesetzt werden können. Die Problemstellung einer sofortigen Sanierung eines infizierten Wassersystems sowie dessen langfristiger Schutz vor einer erneuten Rekontamination mit Legionellen kann nur durch die optimale Kombination der auf dem Markt zur Verfügung stehenden Methoden gelöst werden. Die meisten bekannt werdenden Legionellenkontaminationen treten in Gebäuden auf, die nicht die DVGW-Forderung nach einem linearen Leitungssystem sowie einer mit 60° gefüllten Zirkulationsleitung erfüllen können. In solchen Fällen bewirkt der Einsatz von thermischen und chemischen Desinfektionsmethoden eine kurzfristige Sanierung des Systems, das Risiko einer zukünftigen Reinfektion kann nur durch die Installation von UV-Strahlern gering gehalten werden. Praxisversuche haben jedoch gezeigt, daß es selbst bei einer optimalen Leitungsführung sowie der Installation von UV-Entkeimungsgeräten immer wieder zu erhöhten Legionellenzahlen kommt, welche eine erneute chemische oder thermische Desinfizierung nötig machen.

Ziel einer noch zu entwickelnden optimalen Bekämpfungsmethode zur kurzfristigen und langfristigen Sanierung von legionellenkontaminierten Wassersystemen muß es sein, alle die im System vorhandenen Legionellen abzutöten, d.h. auch die, die sich in Zellaggregaten, Inkrustationen oder Amöben befinden und durch diese geschützt werden. Diese Forderungen könnten durch die Kombination von Ultraschallgeräten mit UV-Geräten erfüllt werden. Durch den Einsatz von Ultraschall werden Zellaggregate aufgeschlossen, Inkrustationen von Rohrwänden entfernt und zerkleinert sowie Amöben abgetötet. Durch diese mechanische Zerstörung der Schutzräume, bzw. Schutzorganismen der Legionellen werden alle im System befindlichen Keime freigesetzt und so für die nachfolgende UV-Behandlung zugänglich ▶

gemacht. Es ist seit langem bekannt, daß Ultraschall in hohen Dosen die Legionellen selbst aufschließen kann [35, 36]. Durch die Kombination von Ultraschall mit UV-Licht ist zu erwarten, daß die durch Ultraschall freigesetzten Legionellen bereits sensibilisiert sind, so daß die nachgeschaltete UV-Bestrahlung eine höhere Wirkungsintensität zeigt.

Eine denkbare Verfahrenskombination bei dem akuten Problem der Sanierung eines legionellenkontaminierten Warmwassersystems könnte folgendermaßen aussehen:

1. Reduktion der hohen Legionellenkonzentration durch thermische oder chemische Desinfektionsmittel.
2. Aufschluß der schützenden Zellaggregate und Protozoen durch Ultraschall sowie gleichzeitige Ablösung von Inkrustationen durch Ultraschall.
3. Abtötung der durch Maßnahme 2 zusätzlich freigesetzten Legionellenkeime durch UV-Strahlung.

Die Maßnahmen 2 und 3 sollten als ständige Installation im System verbleiben um zukünftige Rekontaminationen zu verhindern.

Technische Durchführbarkeit der Bekämpfungsmaßnahmen

Die Forderung, wie lineare Leitungsführung, die Installation einer Zirkulationsleitung mit einer Wassertemperatur von mindestens 60°C, die bedarfsgerechte Dimensionierung von Warmwassersystemen sowie die optimale Materialauswahl mit Rücksicht auf die Oberflächenbeschaffenheit der Materialien, können nur bei Neuinstallationen verwirklicht werden. Die genauen Anforderungen sind in dem DVGW Arbeitsblatt W 551 „Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums“ detailliert aufgeführt. Bei der regelmäßigen Wartung und Instandsetzung des Systems sollten Boiler und Warmwasserspeicher regelmäßig vom Wartungspersonal entschlammt und gereinigt werden. Alle neueren Speicher, bzw. Trinkwassererwärmer, haben hierfür eine ausreichend große Reinigungs- und Wartungsöffnung, so daß die Entschlammung ohne große Probleme durchgeführt werden kann.

Chlor

Eine Hochchlorung des Systems ist durch Zugabe von Natriumhypochlorid zum Trinkwasser möglich. Es ist darauf zu achten, daß das System so lange gespült

wird, bis an allen Entnahmestellen eine Chlorkonzentration von 6 mg/l festgestellt wird. Das chlorhaltige Wasser sollte mindestens 3 Stunden in dem System verbleiben um eine Abtötungsrate von mindestens 10^5 zu erreichen [27]. Während der Sanierung muß regelmäßig die Chlorkonzentration im System überprüft werden. Sie darf nicht unter 4 mg/l absinken, da sonst die Wirksamkeit der Methode nicht mehr gesichert ist. Nach Abschluß der Sanierung ist das System so lange zu spülen, bis es chlorfrei ist.

Erst dann darf der allgemeine Zugang wieder freigegeben werden. Problematisch bei dieser Sanierung ist 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 zur Desinfektion zu erhöhten Lochkorrosionen im Rohrleitungsnetz gekommen ist.

Im Badewasserbereich ist eine Hochchlorung des ganzen Systems nicht möglich, da es zu Beschwerden seitens der Badegäste kommen wird. Zur Vorsorge gegen Legionelleninfektion sollte aber sichergestellt sein, daß der in der Badewasserordnung geforderte Wert von 0,4 mg freies Chlor am Ausgang des Beckens sowie im Warmsprudelbecken von 0,7–1 mg Chlor/l kontinuierlich eingehalten wird.

Die Desinfektion von kontaminierten Luftwäschern von Klimaanlage mit Chlor ist ebenfalls möglich. Doch auch hier besteht die Gefahr der Chlorentweichung in das Luftsystem mit Korrosionsgefahr und Belästigung der betroffenen Menschen.

Ozon

Benutzt man zur Desinfektion Ozon, hat man den Vorteil, daß man keine zusätzlichen chemischen Stoffe in das Trinkwassersystem einbringt, welche zur Beeinträchtigung der Qualität des Wassers führen kann. Ozon hat bezüglich der Legionellenabtötung eine zu Chlor vergleichbare Wirkungsintensität und Einwirkzeit. Die Vorgehensweise ist vergleichbar mit der Desinfektion mit Chlor. Da Ozon aber keine Depotwirkung hat, muß kontinuierlich nachgespeist werden. Ein Problem bei der Verwendung von Ozon zur Desinfektion ist die Reaktion des Ozons mit organischen Wasserinhaltsstoffen, welche zur Verbesserung des Nahrungsangebotes für die die Desinfektion des Systems überle-

benden Mikroorganismen darstellt. Durch ein erhöhtes Nahrungsangebot wird der Wiederverkeimung Vorschub geleistet. Die Herstellung von Ozon ist im Vergleich zu Chlor sehr kostspielig und bedingt zusätzlich ein nicht einfach zu handhabendes System. Es ist daher zu überlegen, ob die Vorteile des Ozons die erhöhten Kosten rechtfertigen.

Temperaturerhöhung

Die Keimreduktion durch Temperaturerhöhung ist das technisch einfachste Verfahren. Die Temperatur des Trinkwassererwärmers wird hochgestellt und das System mit dem so erhitzten Wasser gespült. Es ist darauf zu achten, daß an jeder Auslaßstelle die Temperatur von 70°C erreicht wird. Diese Temperatur muß über die Dauer von mehreren Stunden konstant gehalten werden um eine wirksame Reduktion der Keime zu erreichen. Probleme können bei der thermischen Desinfektion durch eine erhöhte Korrosionsanfälligkeit der Rohrmaterialien auftreten, da diese nicht bis zu Temperaturen von 70°C beständig sind.

Bei der chemischen und thermischen Desinfektion ist sicherzustellen, daß während der Durchführung der Sanierungsmaßnahme das gesamte Warmwassersystem nicht allgemein zugänglich ist, da es zu Reizungen aufgrund des hohen Chlorgehaltes, bzw. zu Verbrühungen aufgrund der hohen Temperatur kommen kann.

Biozide

Biozide werden bisher ausschließlich in den Luftwäschern von Klimaanlage eingesetzt, da nur dort sichergestellt ist, daß das biozidhaltige Wasser nicht direkt mit Menschen in Berührung kommen kann. Die Behandlung des Wassers mit Bioziden ist relativ einfach, es wird lediglich das Biozid dem Wasser zugesetzt, wobei man zwischen einer kontinuierlichen Dosierung und einer Stoßdosierung unterscheiden kann. Bei einer kontinuierlichen Dosierung wird eine geringe Konzentration im Wasser stets aufrechterhalten. Die Keimzahlen werden insgesamt gering gehalten, es besteht jedoch die Gefahr von Resistenzenbildung. Bei der Stoßdosierung wird je nach Bedarf mit einer erhöhten Biozidkonzentration desinfiziert, um aufgetretene Keimzahlen zu reduzieren. Die Anwendung von Stoßdosierung erfordert die kontinuierliche Überprüfung des Systems auf die Keimzahlen, da nur aufgrund dieser Untersuchung entschieden werden kann, ob wann desinfiziert werden muß. ▷

UV-Strahlung

Der Einsatz von UV-Geräten zur Sanierung von infizierten Wassersystemen ist bereits in einigen Praxisversuchen erfolgreich eingesetzt worden [30]. Bei dieser Methode können Probleme auftreten aufgrund von strahlungsmindernden Abscheidungen auf der UV-Strahlungsquelle. Diese können sein: Eisen, Hydroxide, Manganhydroxide oder auch Kalkabscheidungen [32]. Wird allerdings sichergestellt, daß das UV-Licht immer in ausreichend hohen Dosen in das Wasser gelangt, was über Intensitätsmessungen festgestellt werden kann, so ist diese Methode im Vergleich zu Temperatur, Chlor und Ozon am anwenderfreundlichsten. Es wird nur ein geringer Überwachungs- und Wartungsaufwand benötigt, um eine kontinuierliche, relativ sichere Betriebsweise zu garantieren. Von Nachteil ist allerdings auch hier, daß trotz einer kontinuierlichen Bestrahlung des Wassers eine Reinfektion durch Legionellen nicht über längere Zeit vermieden werden kann, da die in Amöben eingeschlossenen Keime nicht vom UV-Licht erreicht und daher auch nicht abgetötet werden können.

Die Kombination von Ultraschall und UV erfordert keinen höheren Wartungsaufwand als UV alleine. Es ist zu erwarten, daß nach Installation einer solchen Kombination die langfristige Kontaminationsfreiheit von Legionellen im Trinkwassersystem gesichert werden kann. Die geschilderte Kombination und Verfahrensweise dürfte als einzige den am Markt geforderten Bedingungen noch am ehesten gerecht werden. □

Literatur:

- [1] Mc Dade, J.E., C.C. Shepard, D.W. Fraser, T.F. Tsai, M.A. Redus und W.R. Dowdle. Legionnaires' Disease. Isolation of a bacterium and demonstration of its role in other respiratory diseases. N. Engl. J. Med. 297: 1197-1203, 1977.
- [2] Prof. W. Ehret, Legionärskrankheit und Wasserversorgung, Sonderdruck Management und Krankenhaus, 1991.
- [3] Yu, V.L., F.J. Kroboth und J. Shonnard. Legionnaires disease: new clinical perspective from a prospective pneumonia study. Am. J. Med. 73: 357-361, 1982.
- [4] Macfarlane, J.T., M.J. Ward, R.G. Finch and A.D. Macrae. Hospital study of adult community acquired pneumonia. Lancet ii: 255-258, 1982.
- [5] Fraser, D.W. and J.F. Mc Dade. Legionellose. Spektrum der Wissenschaft 12 (1979): 13-21.
- [6] Althaus et al. Untersuchungen zum Vorkommen von Legionellen im Trink- und Warmwasserbereich. Hygiene-Institut des Ruhrgebietes, Gelsenkirchen. Dez. 1985.
- [7] Helms, C.M., J.P. Viner and D.D. Weisenburger. Sporadic legionnaires disease. Clinical observations on 87 nosokomial and community acquired cases. Am. J. Med. Science 288: 2-12, 1984.
- [8] Dr. K. Seidel. Legionellose - Maßnahmen zur Verhütung und Bekämpfung. IKZ-HAUSTECHNIK (20/90).
- [9] Prof. W. Ehret. Mikrobiologische Legionellendiagnostik. Immun. Infekt. 20 (2/92).
- [10] Prof. H.E. Müller. Strategien zur Bekämpfung von Legionellen Teil 1, SBZ 13, 1990.
- [11] Fehrenbach et al. Die Legionärskrankheit, Nachweis von Legionellen-Antigenen diagnostisch entscheidend. Dt. Ärzteblatt 86 (1989) H 16, 730-733.
- [12] Brenner, D.J., Introduction to the family Enterobacteriaceae. In: Starr, M.P., H. Stolp, H.G. Trüper, A. Balows and H.G. Schlegel (Eds.). The prokaryotes. Springer Verlag, New York, pp. 1105-1127, 1981.
- [13] Prof. med. Schiek. Die Legionärskrankheit. Krankenhaus-Technik, Juli 1987.
- [14] Rowbotham, T.J. (1983). Isolation of Legionella pneumophila from clinical specimens via amoebae, and the interaction of those and other isolates with amoebae. J. Clin. Pathol. 36: 978-986.
- [15] Barbaree, J.M., Fields B.S., Feely J.C., Gorman G.W. and Martin W.T. (1986). Isolation of protozoa from water associated with a Legionellosis outbreak and demonstration of intercellular multiplication of Legionella pneumophila. Appl. Environ. Microbiol. 51: 422-424.
- [16] Fields B.S., Shotts E.G.Jr., Feeley J.C., Gorman G.W. and Martin W.T. (1984). Proliferation of Legionella pneumophila as an intracellular parasite of the ciliated protozoan Tetrahymena pyriformis. Appl. Environ. Microbiol. 47: 467-471.
- [17] Tison, D.L., Pope D.H., Cherry W.B. and Fliermans C.B. (1980). Growth of Legionella pneumophila in association with blue-green algae (Cyanobacteria). Appl. Environ. Microbiol. 39: 456-459.
- [18] Wadowsky R.M. and Yee R.B. (1985). Effect of non-Legionellaceae bacteria on the multiplication of Legionella pneumophila in potable water. Appl. Environ. Microbiol. 49: 1206-1210.
- [19] BGA - Empfehlung zur Verminderung des Legionella-Infektionsrisikos, Bundesgesundheitsblatt 30 Nr. 7, Juli 1987, S. 252-253.
- [20] DVGW Arbeitsblatt W 551
- [21] Prof. H.E. Müller. Strategien zur Bekämpfung von Legionellen Teil 2, SBZ 14 (1990).
- [22] Niedevelde J., Fred M. Pet. and Meenhorst P.L. (1986). Effect of rubbers and their constituents on proliferation of Legionella pneumophila in naturally contaminated hot water. The Lancet July 26.
- [23] SHT - Diskussion Legionellen. Sanitär- und Heizungstechnik 1, 1988.
- [24] Dipl.-Ing. Sylvia Schädlich. Zentrale Erfassung der Legionellenerkrankungen empfehlenswert. Haustechnische Rundschau 1/92.
- [25] DIN 1988 Teil 3
- [26] Shands K., Ho J., Meyer H., Gorman G., Mallison G., Finegold S. and Fraser D. (1985). Potable water as a source of Legionnaires Disease. J. Am. Med. Assoc. 253: 1412-1416.
- [27] Muraca P., J.E. Stout and V.L. Yu (1987). Comparative assessment of chlorine, heat, ozone and UV-light for killing Legionella pneumophila within a model plumbing system. Appl. Environ. Microbiol. Feb. 1987, 53 (2): 447-453.
- [28] Antopol S.C. and P.C. Ellner (1979). Susceptibility of Legionella pneumophila to ultraviolet radiation. Appl. Environ. Microbiol. 38: 347-348.
- [29] Knudson G.B. 1985. Photoreaction of UV-irradiated Legionella pneumophila and other Legionella species. Appl. Environ. Microbiol. 49: 975-980.
- [30] Kryschi R. Das Aachener Konzept (1991). Sonderdruck aus der SBZ, Heft 17: 44-48.
- [31] Navratil J.S. et al. 1990. Increased chlorine resistance of Legionella pneumophila released after growth in Amoeba Hartmannella. Department of Water, Pittsburgh P.A. and the University of Pittsburgh, Pittsburgh, P.A.
- [32] Bernhard H. et al. 1992. Desinfektion aufbereiteter Oberflächenwässer mit UV-Strahlen - erste Ergebnisse des Forschungsvorhabens. GWF Wasser-Abwasser 133 Nr. 12: 632-643.
- [33] Carlson S., U. Häßelbarth und W. Langer. Abtötung von Bakterien in Aggregaten bei der Wasserdesinfektion durch Chlor. Zbl. Bakt. Hyg., I Abt. Org. B 161 (1975), 233-247.
- [34] Häßelbarth U. Auswirkungen primär nicht gesundheitsschädlicher Stoffe im Oberflächenwasser auf die Trinkwasserbeschaffenheit. Z. Wasser Abwasser Forsch. 15 (1982). 151-156.
- [35] Prof. W. Ehret. Persönliche Mitteilung.
- [36] Exner et al. 1992. Vorkommen und Bewertung von Legionellen in Krankenhäusern und anderen Großgebäuden. Forum Städte-Hygiene 43: 130-140.
- [37] Miller R.P. Cooling towers and evaporative condensers. Ann. Intern. Med. 90 (1979): 667-670.
- [38] Dr. W. Mühlberg. Legionellen in raumlufttechnischen Anlagen und Whirlpools Teil 1. SBZ 23/1990.
- [39] Schmidt R. RLT-Anlagen. Darstellung aus Sicht des Anlagenbauers. Fachtagung „Legionellen - ein hygienetechnisches Problem“ in Berlin am 13./14. 10. 1986. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene. G. Fischer Verlag (1987), Heft 72: 117-134.



Die in 20 Jahren tausendfach bewährte

Schwimmbad-Abdeckung für Frei- u. Hallenbäder

- spart bis 90 % Energie
- verhindert Algenbildung und Wasserverdunstung
- bietet Unfallsicherheit durch Sicherheitsunterstützung
- Vielseitige Einbaumöglichkeiten bei Neuplanung und Nachrüstung



Robert Granderath GmbH + Co. KG · De-Gasperi-Str. 6 · 5060 Berg. Gladbach 2 · Tel. 0 22 02 / 3 20 48