

Trinkwasser-Desinfektion

Trinkwasserhygiene



1.1 Anforderungen an das Trinkwasser

Von den Wasserwerken Deutschlands wird Trinkwasser als Lebensmittel in der gesetzlich vorgeschriebenen Qualität (Trinkwasserverordnung) bis zur Übergabestelle (i. d. R. Wasserzähler) innerhalb eines Gebäudes geliefert.

Das Trinkwasser der Wasserwerke wird kontinuierlich allen erforderlichen laboranalytischen Tests unterworfen, um die Einhaltung der Grenzwerte der TrinkwV (Trinkwasserverordnung) zu garantieren.

Die Gewährleistung, insbesondere der hygienisch einwandfreien Beschaffenheit des Trinkwassers innerhalb der wasserführenden Systeme in Gebäuden bis zur letzten Zapfstelle, liegt jedoch in der Verantwortung des Unternehmers oder sonstigen Inhabers einer Wasserversorgungsanlage und ist im Rahmen der Trinkwasserverordnung auch geregelt. Die Übergabestelle von den Wasserversorgern zu den Gebäudebetreibern ist i. d. R. durch den Wasserzähler definiert. Dies bedeutet im Wesentlichen, dass der Unternehmer/Inhaber dafür Sorge tragen muss, Wasser mit Trinkwasserqualität in seinem Gebäude zu erhalten. Dies ist durch mikrobiologische Beprobungen zu kontrollieren. Im Falle erwiesener gebäudeinterner Kontamination ist er verpflichtet, das aufgenommene Wasser mittels betriebs- und/oder verfahrenstechnischer Maßnahmen (Desinfektion) wieder in Trinkwasserqualität zu überführen. Während der gesamten Betriebszeit ist das Wasser in diesem hygienisierten Zustand zu halten.

In weit ausgedehnten Leitungssystemen öffentlich-gewerblicher Gebäude, wie sie in Krankenhäusern, Altenheimen, Schwimmbädern, Hotels u. ä. vorkommen, ist der ursprüngliche Hygienezustand des Trinkwassers infolge mikrobiologischer Kontamination nicht immer an allen Zapfstellen vorhanden.

Die mikrobiologische Kontamination in diesen gebäudeinternen Leitungssystemen wird u. a. durch höhere Temperaturen im Kaltwasser ($> 20^{\circ}\text{C}$), hohe Leitungsquerschnitte mit langen Wegstrecken, Stagnationsphasen sowie Kurzschlüsse Kaltwasser/Warmwasser usw. begünstigt. Die daraus resultierende Belastung des Trinkwassers mit wassergängigen pathogenen Keimen ist unübersehbar. Zum Schutz der Trinkwasserverbraucher (Badegäste, Patienten, Altenheimbewohner usw.) vor solchen Krankheitserregern (wie Legionellen, Pseudomonaden, atypische Mykobakterien, Cryptosporidien usw.) sind entsprechende gebäudeangepasste regelmäßige Untersuchungen und ggf. Desinfektionsmaßnahmen erforderlich.

1.2 Keimbelastungen

Mit dem Trinkwasser aus dem Versorgungsnetz gelangen für den Menschen zunächst ungefährliche (apathogene) Mikroorganismen in die sanitären Rohrleitungssysteme von Gebäuden. Diese zulässige Keimbelastung des Trinkwassers ist durch Richtwerte der Trinkwasserverordnung geregelt. Innerhalb eines Gebäudes können sich jedoch unter installationstypischen, strömungstechnischen, thermischen und anderen Einflüssen beträchtliche Populationen entwickeln. Dies trifft auch auf möglicherweise vereinzelt in das System eingeschwemmte pathogene Keime zu.

Diese Populationen besiedeln die wasserbenetzten Innenoberflächen des Installationssystems und wachsen im Laufe der Zeit zu so genannten Biofilmen auf. Aus diesem Biofilm werden ständig Keime in das fließende Wasser abgegeben und gelangen somit auch zu den Entnahmestellen und letztlich zu den Verbrauchern.

Zur Einschätzung einer gesundheitlichen Gefährdung durch z. B. Duschen, Filter u. ä. müssen an den relevanten Orten Proben genommen und mikrobiologische Untersuchungen durchgeführt werden. Die ermittelte Koloniezahl ist ein Maß für die mikrobiologische Belastung.

Als Koloniezahl (Anzahl koloniebildender Einheiten, KBE) wird die Zahl der mit 6- bis 8-facher Lupenvergrößerung sichtbaren Kolonien bezeichnet, die sich aus den in einem Probevolumen des zu untersuchenden Wassers befindlichen Mikroorganismen in Plattengusskulturen bei einer entsprechenden Bebrütungstemperatur nach einer vorgegebenen Bebrütungszeit bilden.

1.3 Der Biofilm

Wassergängige Mikroorganismen neigen zur Besiedelung von wasserkontaktierten Oberflächen. Je rauer diese sind (korrodierte Eisenrohre, Verkalkung) und je größer deren spezifische Oberfläche ist, desto leichter erfolgt die Besiedelung und desto stabiler ist die Haftung der sich bildenden Kolonien auf dem Untergrund. Materialien, die über ihre Oberfläche bioverwertbare

◀ Übergabestelle Wasserzähler

◀ Verantwortlichkeit für Trinkwasser beim Unternehmer/Inhaber

◀ Kontamination in Leitungssystemen

◀ Temperaturen $> 20^{\circ}\text{C}$ gefährlich

◀ Installationstypische Keimbelastungen

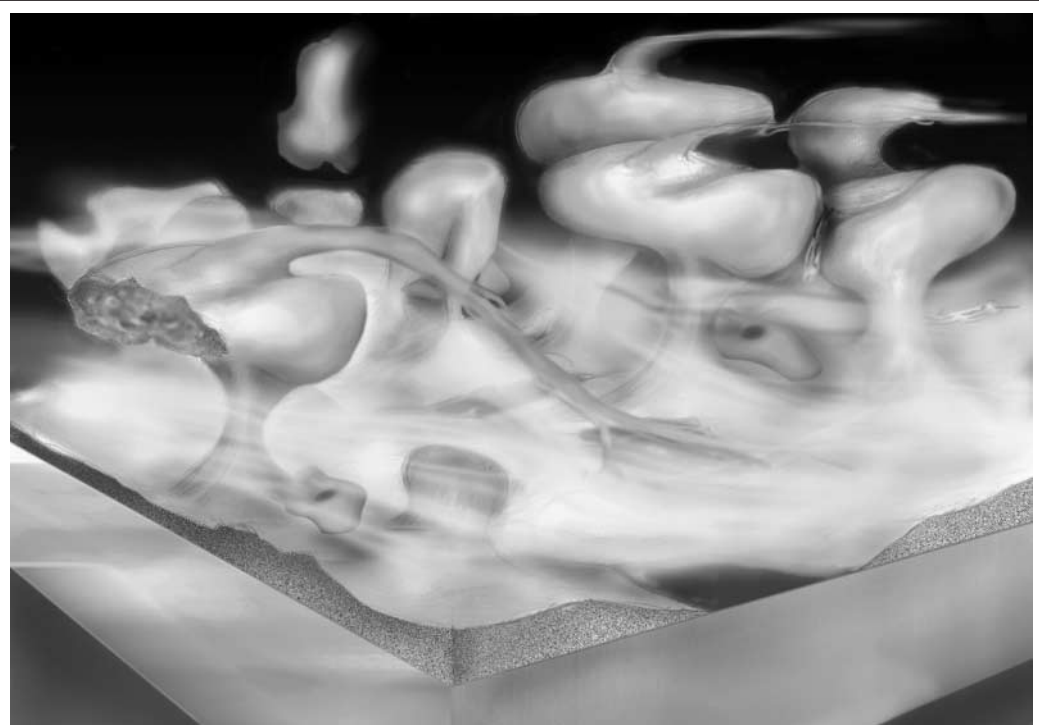
◀ Aufwachsen zu Biofilmen

◀ mikrobiologische Beprobungen

◀ Definition Koloniezahl

◀ Gründe für die Bildung eines Biofilms

Stoffe abgeben bzw. die selbst bioverwertbar sind (organische Stoffe wie eine Reihe Gummi- und Kunststoffsorten, pflanzliche Fasern, Fett usw.), begünstigen diesen Effekt enorm. Aufwachsungen aus Kalkablagerungen und Rost (Eisenoxidhydrate) sind ein geradezu idealer Untergrund für mikrobielle Besiedelungen. Wasserinhaltsstoffe wie Kohlendioxid, Sauerstoff, Härtebildner und sonstige Mineralien, Eigenschaftsparameter wie pH-Wert, Leitfähigkeit, biologisch verwertbare Wasserinhaltsstoffe (BSB-Wert), sauerstoffzehrende Stoffe (CSB-Wert), Temperatur usw. beeinflussen ebenfalls die Art, das Ausmaß und die Geschwindigkeit solcher Besiedelungen.



Mit Biofilmen lebt es sich gefährlich.

In allen Trinkwasser-Installationssystemen besteht grundsätzlich die Gefahr der Ansiedelung von wassergängigen Mikroorganismen. Aufwachsungen durch Kalk und Korrosion sind geradezu ein idealer Untergrund für mikrobielle Besiedelungen.

Bild 1: Der Biofilm

Der Biofilm – ►
ein lebender Organismus

Oberflächenstruktur ►
von Biofilmen

Biofilm als Nahrungsquelle ►
für Mikroorganismen

Ein Biofilm besteht aus einheitlichen oder gemischten Kolonien von Mikroorganismen, die miteinander verbunden sind, aber insgesamt an einem Substratum anhaften und vollständig oder teilweise in eine von dem Organismus produzierte polymere organische Masse (Schleim), so genannte extrazelluläre Polymersubstanz (EPS), eingebunden sind. Die Schichtdicke beträgt einige μm .

Der Biofilm hat keine gleichmäßige Oberflächenstruktur und kann neben den Mikroorganismenzellen abiotische (nicht lebende) und anorganische Bestandteile in größeren Mengen enthalten, die ebenfalls durch die von den Bakterien gebildeten Schleime (EPS) im Gesamtverband zusammengehalten werden.

Einzellern und kleineren Tieren (Amöben, Ciliaten, Flagellaten usw.) dient der Biofilm als Nahrungsgrundlage und Schutz, wobei sich auch bei optimalen Bedingungen immer mehr Zysten (Dauerformen) dieser Organismen auf oder in dem Biofilm bilden bzw. niederlassen.

Resistentere Spezies werden bevorzugt an der Oberfläche aufwachsen, schleimschichtbildende Arten können dabei darunterliegende Populationen sogar schützend bedecken. Im entwickelten Stadium ist die Gesamtheit der vegetierenden Spezies und Kolonien zu einem einheitlichen, die fragliche Oberfläche bedeckenden Film, dem „Biofilm“, zusammengewachsen und muss als ein einziger „quasi-Organismus“ betrachtet werden, der in sich selbst und mit seiner Umgebung kollektiv wechselwirkt und darin eine hohe Anpassung und Existenzdynamik entwickelt.

Trinkwasser-Desinfektion

Trinkwasserhygiene

Im Biofilm siedelnde Spezies, darunter auch pathogene, emittieren sowohl Vital- wie auch Dauerformen ständig in das Wasser und sind damit eine permanent aktive Kontaminationsquelle für die Beeinträchtigung der ursprünglich einwandfreien hygienischen Qualität des Wassers.

Der Biofilm ist in seiner Entstehung, Vegetationsspezifität, Resistenz gegenüber stoffwechselinhibierenden Stoffen usw. in vielfältiger Weise abhängig. So z. B. von der Art und Menge primär eingeschleppter Spezies, dem Material und der Beschaffenheit der besiedelbaren Oberfläche (Rohrleitungen, Dichtungen, Behälter usw.), von Wasserbestandteilen bzw. sonstigen Eigenschaftsparametern des Wassers. Daher ist derzeit keine Vorhersage möglich, in welchem Maße und mit welchen hygienischen Auswirkungen eine „Altinstallation“ besiedelt ist, eine „Neuinstallation“ Gefahr läuft, besiedelt zu werden bzw. welcher Reinfektionsgefahr ein System nach vorangegangener Grunddesinfektion ausgesetzt ist.

Mit einer gesundheitlichen Gefährdung durch Biofilme in Installationssystemen muss prophylaktisch immer gerechnet werden. Relevant für solche gesundheitlichen Gefährdungen sind in erster Linie die aus den (von unterschiedlichen wassergängigen Bakterien, Pilzen, Protozoen usw. gebildeten) in Biofilmen vegetierenden Kolonien emittierten Spezies. Hierzu zählen u. a. Legionella spec. (Legionellose, Pontiac-Fieber, Wundinfektionen), Pseudomonas aeruginosa, Aeromonas hydrophila und atypische Mykobakterien. Weiterhin auch parasitäre Erreger wie Giardia und Cryptosporidien (in letzter Zeit als Auslöser gefährlicher durch Trinkwasser verursachter Epidemien detektiert). Viruserreger (Hepatitis A und E, Poliomyelitis, Rota- und Norwalk-Viren) sowie weitere Bakterien (Salmonellen, Shigellen, Yersinien, Erreger von Cholera, Typhus, Paratyphus usw.) können unter besonderen saisonalen, regionalen, klimatischen und sanitären Bedingungen in Biofilmen vegetieren und daraus emittiert werden.

Die Gewährleistung der hygienischen Sicherheit von Trinkwasser erfordert folglich, die Entstehung von Biofilmen im jeweiligen Installationssystem zu verhindern bzw. bereits aufgewachsene zu inhibieren bzw. zu beseitigen.

Im Falle einer Neuinstallation kann mit der Auswahl der Konstruktionswerkstoffe und bei Wahrung der gebotenen Sorgfalt bei den Installationsarbeiten die Gefahr der Biofilmbildung im Verlaufe des späteren Betriebes beträchtlich minimiert werden. Eine Grunddesinfektion bei Inbetriebnahme sowie gegebenenfalls in regelmäßigen Abständen kann dieses Risiko weiter reduzieren oder – besser noch – permanente Desinfektion kann Infektionsrisiken ausschließen. Bestehende ältere und seit längerer Zeit betriebene Installationssysteme sind vielfach hochgradig von Biofilmen besiedelt. In solchen Fällen muss mit umfassenden Sanierungsmaßnahmen ein Gesundheitsrisiko ausgeschaltet werden.

Wenn man von mikrobiell bedingten gesundheitlichen Gefährdungspotentialen innerhalb gebäudeinterner Trinkwasser-Installationssysteme spricht, meint man in vielen Fällen das Problem der von Legionellen ausgehenden Infektionsgefahr, welches aber lediglich als „Spitze eines Eisberges“ anzusehen ist.

Tabelle 1: Legionella pneumophila

Legionella pneumophila	
Beschreibung:	
Legionella pneumophila, gramnegativ (spezieller Färbungstest), strikt aerob (sauerstoffabhängig). Stäbchenform 2–20 µm lang, Durchmesser 0,3–0,9 µm, begeißelt (kleine Fäden) zur Fortbewegung, polar oder lateral, nicht säurefest.	
Existenzbedingungen:	
Lebensfähig bei 6–65 °C, pH zwischen 5–8,5; ausgeprägtes Wachstum bei 25–48 °C, optimal bei 36 °C und pH 6,8–7,0.	
Nährsubstrat:	
Kohlenstoff-Quelle sind Aminosäuren, lebensnotwendig Cystein; darüber hinaus Zusatzstoffe wie Kalzium, Magnesium, Eisen, Zink.	
Generationszeiten:	
Optimum (Labor) bei	(2,8 ... 3,9) Std.
nativ, vergesellschaftet mit Algen	(5,0 ... 13,0) Std.
natürliche Gewässer	(22,0 ... 72,0) Std.

- ◀ permanente Kontaminationsquelle
- ◀ keine Vorhersagen über die Besiedelung möglich
- ◀ vielfältige Erkrankungsmöglichkeiten
- ◀ geeignete Werkstoffe können Gefahr verringern
- ◀ Legionellen sind die Spitze des Eisberges

Entdeckung der Legionellen ►

1.4 Legionellen

Bis 1976/77 waren Legionellen und die von diesem Bakterium ausgehenden Gefahren für die menschliche Gesundheit unerkannt. Erst als zunächst rätselhaft erscheinende Erkrankungen unter Teilnehmern eines Legionärstreffens in den USA auftraten, begann die Historie der Entdeckung dieser Bakterienart und der durch sie verursachten Krankheiten, der Legionellose-Pneumonie und des Pontiac-Fiebers.

Die Epidemie in Philadelphia:

- ❑ 22.07. bis 24.07.1976: Veteranentreffen der „US American Legion“ in Philadelphia/USA, 4.000 Teilnehmer;
- ❑ 26.07.1976: erste „rätselhafte“ Krankheitssymptome, insgesamt 182 Erkrankte;
- ❑ 27.07.1976: erster Todesfall, nach wenigen Tagen insgesamt 29 Tote;
- ❑ 02.08.1976: als „epidemischer Ausbruch“ zunächst unklaren Ursprungs deklariert;
- ❑ 18.01.1977: Erreger gefunden, „Legionella pneumophila“, bisher bekannt: über 40 Arten, > 66 Serogruppen.

gefährlich beim Einatmen ►

Legionellen werden hauptsächlich durch Einatmen kontaminierter lungengängiger Wasser-Aerosole ($\leq 5 \mu\text{m}$) vom Menschen aufgenommen und können damit die Legionellose-Pneumonie (so genannte Legionärskrankheit) oder in einer anderen Ausprägungsform, z. B. das Pontiac-Fieber (Sommergrippe), erzeugen.

Lungenentzündung als Symptom ►

Die Symptome der Legionärskrankheit ähneln denen einer Lungenentzündung, sind aber durch zusätzliche für eine Pneumonie atypische Beschwerden wie Herzbeschwerden, Sehstörungen, Bewusstseinstörungen usw. überlagert. Daher wird eine sehr hohe Dunkelziffer an Legionellose-Erkrankungen als Ursache bei Todesfällen durch angebliche Lungenentzündung vermutet.

Risikogruppen ►

Die Gefährdung durch Legionellen ist von dem gesundheitlichen Zustand der Betroffenen abhängig. Besonders immungeschwächte Personen wie frisch Operierte, AIDS-Patienten, ältere Menschen, durch Alkohol- oder Nikotin-Abusus geprägte Menschen, aber auch Hochleistungssportler sind für die Legionärskrankheit prädisponiert.

Tabelle 2: Verteilung der Legionellen-Pneumonie nach Altersgruppen

Lebensalter der Erkrankten		Anteil (%)
<	1	0,5
1	... 4	0,2
5	... 9	0,3
10	... 14	0,5
15	... 19	0,7
20	... 24	1,0
25	... 29	3,7
30	... 39	12,3
40	... 49	15,6
50	... 59	15,4
>	59	49,6

Legionellen in Gewässern ►

Legionellen sind wassergängige aerobe (sauerstoffabhängige) Bakterien, die in geringer Zahl in allen Grund- und Oberflächengewässern zu finden sind. Es existieren verschiedene Typen von Legionellen mit zahlreichen Serotypen, die zum Teil humanpathogen sind. Aufgrund dieser Typisierung sind entsprechend qualifizierte Laboratorien in der Lage, mit Hilfe einer Population auf befallenem Gewebe, in Sputum oder auf sonstigen kontaminierten Trägern bei einer Erkrankung den Infektionsweg und -ort zu reproduzieren. Dies kann wegen des Verursacher-Prinzips bei Haftungsfragen und Schadenersatzansprüchen sehr bedeutsam sein.

Tabelle 3: Legionellen-Arten/Serogruppen (Auswahl)

L. pneumophila *	L. jamestoniensis
L. micdadei *	L. rubrilucens
L. gormanii *	L. erythra
L. bozemanii *	L. hackeliae *
L. dumoffii *	L. spiritensis
L. longbeachae *	L. parisiensis
L. jordanis *	L. cherii
L. oakridgensis *	L. santacrusis
L. wadsworthii *	L. steigerwaltii
L. feeleii *	L. israelensis *
L. sainthelensis *	L. birminghamensis *
L. anisa *	L. cincinnatensis
L. maceachernii *	L. brunensis
L. moravica *	L. quinlivanii
L. tucsonensis *	

* Humanpathogenität nachgewiesen.

Während Legionellen in der freien Natur nur vereinzelt vorkommen, können sie in Gebäuden, bevorzugt in Warmwasser-Installationen, in beträchtlichen Mengen nachgewiesen werden. Für die Gesundheit wird diese Population dann zur ernsthaften Gefahr, wenn der Wasseraustritt aus kontaminierten Systemen mit der Bildung legionellenhaltiger lungengängiger Aerosole (Partikelgröße $\leq 5 \mu\text{m}$) verbunden ist oder kontaminiertes Wasser großflächige, offene Wunden kontaktiert.

Legionellen können bei Wassertemperaturen bis mindestens 65°C überleben und befinden sich sowohl in verzinkten Eisen- sowie auch Kupfer- und Kunststoffrohrsystemen. Das Alter der Leitungssysteme spielt hinsichtlich Legionellen-Befalls wahrscheinlich kaum eine Rolle; sie können sowohl in 2- bis 3-jährigen wie auch in über 30-jährigen Rohrleitungen in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen. Auch das „Nährstoff“-Angebot (ausgedrückt im Messwert für den organisch gebundenen Kohlenstoffgehalt eines Wassers, TOC) spielt keine wesentliche Rolle. Im System mit oder ohne Korrosionsschutzmittel können sie sich gleichermaßen vermehren. Auch der Einsatz von Enthärtern oder diversen standardmäßigen Filtersystemen haben keinerlei Einfluss auf das Wachstum von Legionellen, wobei jedoch bei falscher Auslegung von Enthärtungsanlagen in warmen Räumen bei hohen Stagnationszeiten Wachstum von Legionellen begünstigt wird.

◀ Legionellen überleben bei Temperaturen unterhalb von 65°C