KOMPETENZBROSCHÜRE

LEGIONELLA, PSEUDOMONAS UND CO.

FAKULTATIVE OPPORTUNISTISCHE KRANKHEITSERREGER IN TRINKWASSER-INSTALLATIONSSYSTEMEN VON GEBÄUDEN

Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys

KEMPER
FORTSCHRITT MACHEN

Zum Autor

Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys

Berufliche Tätigkeiten

1976 – 2013	Leiter des Bereichs Umwelthygiene/Umweltmedizin am Institut für Hygiene der WWU Münster Mitglied im TK 3.7 des DVGW Forschungsschwerpunkt: Fakultative Krankheitserreger in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden mit Schwerpunkt Legionella
1994	Habilitation/Lehrbefugnis für das Gesamtgebiet Hygiene
1990	Anerkennung als Krankenhaushygieniker durch den Präsidenten des Bundesgesundheitsamtes (heute RKI)

Akademische Ausbildung

1975	Promotion zum Dr. rer. nat.
1967 – 1975	Studium der Naturwissenschaften (Biologie, Chemie) an der WWU Münster

Prof. Dr. rer. nat. Werner Mathys
Telgterstr. 18
48268 Greven
Tel: 02571 3658 / 02571 2133
E-Mail: Dr.Werner.Mathys@t-online.de

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG 2

FAKULTATIVE OPPORTUNISTISCHE KRANKHEITSERREGER – OPPP 4
// Aeromonas hydrophila 5
// Legionella, Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien (NTM), *P.aeruginosa* 5
// Methoden zum Nachweis von OPPP 6
// Fazit 7

PSEUDOMONAS AERUGINOSA 8
// Allgemeines, Ökologie 8
// Quellen / Gründe für eine Besiedlung mit *P.aeruginosa* 8
// Wachstumsfördernde Bedingungen 8
// Erkrankungen 9
// Untersuchungen auf *P.aeruginosa* im Trinkwasser von Gebäuden 10
// Maßnahmen zur Behebung einer Kontamination durch *P.aeruginosa* 11
// Gesetzliche / Normative Regelungen 12
// Internationale / Nationale Regelungen 13
// Fazit 13

NICHT-TUBERKULÖSE MYKOBAKTERIEN – NTM – DIE UNBEKANNTE GRÖSSE 14
// Allgemeines, Ökologie 14
// Erkrankungen durch NTM 15
// Klinik und Therapie 17
// Infektionen im Krankenhaus 17
// Maßnahmen zur Reduktion von NTM 18
// Internationale / Nationale Regelungen 18
// Fazit 19

LEGIONELLEN – SIE BRAUCHEN RUHE, WÄRME UND NAHRUNG 20
// Eigenschaften und Ökologie 20
// Infektionsweg, Übertragungsmodus 22
// Erkrankungen 23
// Krankheitsbild 24
// Faktoren für den Erwerb einer Legionellose 24
// Diagnostik klinischer Fälle 25
// Therapie 26
// Epidemiologie 26
// Ausbruchmanagement 27
// Stammunterschiede, Fingerprinting, Feintypisierung 27
// Wettereinflüsse, jahreszeitliche Verläufe 29
// Infektionsquellen 29
// Grundwasser 29
// Trinkwasser-Installationen in Gebäuden 30
// Trinkwasser Warm PWH 30
// Dusche 30
// Trinkwasser Kalt PWC 31
// Thermostatische Mischer 31
// Rückkühlwerke / Verdunstungskühlanlagen 31
// Böden, Regenwasser 32
// Dachablaufwasser, Grauwasser 32
// Kläranlagen 32
// Unbekannte Quellen und Reservoire 32
// Gesetzliche, normative Anforderungen national und international – Primäre oder sekundäre Prävention – Umweltkontrolle oder Patienten-Surveillance 32
// Nationale Gesetze, Empfehlungen, Regelwerke 41
// Fazit, Ausblick 43

SCHUTZMECHANISMEN VON BAKTERIEN – WIE WERDE ICH STARK? 45

AMÖBEN – TRANSPORTVEHIKEL UND AMME FÜR BAKTERIEN 45
// Fazit 46

BIOFILME – WIR LEBEN IM SCHLARAFFENLAND UND BAUEN EINE FESTUNG 47
// Ablöseprozesse von Biofilmen 48
// Schwarze Biofilme 49
// Fazit 49

VBNC – WIR MACHEN UNS UNSICHTBAR – DIE TARNKAPPE DER BAKTERIEN 50
// Auswirkungen des VBNC-Zustandes auf den Betrieb von Trinkwasser-Installationen 51
// Fazit, Ausblick 51

MIKROBIOM – DER WEG ZU EINER GANZHEITLICHEN BETRACHTUNG DES MIKROKOSMOS 52
// Fazit 53

FAKTOREN FÜR WACHSTUM UND VERMEHRUNG VON MIKROORGANISMEN 54

FAKTOR NAHRUNGSANGEBOT 64
// Kommunaler Versorger 64
// Wasserverteilung und Trinkwasser-Installation in Gebäuden 64
// Eigenproduktion organischer Masse (autotrophe Mikroorganismen) 66
// Fazit 66

FAKTOR TEMPERATUR – OHNE WÄRME GEHT NICHTS 68
// Allgemeines 68
// *Pseudomonas aeruginosa* 68
// Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien 69
// Legionellen 69
// Zwischenfazit 1 70
// Temperaturgesteuerte Kontrollstrategien von OPPPs in Trinkwasser-Installationen 70
// a) Thermische Desinfektion 71
// Zwischenfazit 2 72
// b) Anforderungen an die Temperaturhaltung in Trinkwasser-Installationen (PWC und PWH) 72
// Fazit 74

FAKTOR STAGNATION – IN DER RUHE LIEGT DIE KRAFT FÜR DEN MIKROKOSMOS 76
// Fazit 78

AUSBLICK UND VISIONEN 80

RESÜMEE 81

EINLEITUNG

Trinkwasser wird in der gesamten Versorgungskette systematisch und intensiv kontrolliert und liegt in seiner Qualität europaweit in der Regel innerhalb der gesetzlichen Anforderungen – allerdings nur bis zur Übergabestelle innerhalb von Gebäuden. Dahinter beginnt eine undurchsichtige Grauzone, gestaltet durch eine Vielzahl Bakterien-Wachstum begünstigender Faktoren wie Stagnation, lauwarme Temperaturen, hoher Nährstoffgehalt, mangelnder Erhaltungszustand und nicht bestimmungsgemäßer Betrieb. Dazu kommen chemische Veränderungen des Trinkwassers durch Kontakt mit Rohren und Geräten. Die Trinkwasser-Installation kann betrachtet werden als ein Bioreaktor, ein Fünfsternehotel für Bakterien, der durch eine Vielzahl von Fehlern im System angeheizt wird.

Zwischen öffentlichem Versorgungsnetz und der Trinkwasser-Installation in Gebäuden besteht eine Reihe von grundlegenden Unterschieden:[1]

// wesentlich höherer Temperaturbereich und steilere Temperaturgradienten, Kalt- und Warmwasser Wärmeaustausch zwischen Warm- und Kaltwasser

// lange Verweilzeiten (Tage bis Wochen) mit Stagnationsperioden, stark wechselndem Nutzerverhalten; kein bestimmungsgemäßer Betrieb, hohes Wasseralter

// komplexe Installationen mit Totsträngen oder stark wechselnden Strömungs-Bedingungen

// Vielzahl von Materialien und installationsspezifischen Materialien, die bei der öffentlichen Versorgung keine Verwendung finden und mikrobielles Wachstum begünstigen.

// ungünstiges Oberflächen- Volumen-Verhältnis, das Biofilm-Bildung begünstigt

// Vielzahl von Apparaten (z.B. Enthärtungsanlagen, Korrosionsschutz)

// unzulässige Verbindung mit Nicht-Trinkwasser

// günstige Bedingungen für hygienisch relevante Mikroorganismen (*Legionella, P.aeruginosa,* NTM), die im öffentlichen Netz keine ausreichenden Wachstumsbedingungen finden

// oft Unklarheit über Leitungsführung und sonstige Konstruktionsmerkmale

// ständige Veränderungen im Design durch Bau- und Reparaturmaßnahmen

// starke Variabilität im Design durch unterschiedlichste Nutzung (Krankenhaus, Hotel, Wohnungen, Sportstätten etc.)

// Verbindung (bzw. auch unzulässige Verbindung) mit wasserbetriebenen Anlagen mit bedenklichem Hygieneniveau (Dachablaufwasser, Rückkühlwerke etc.)

// Verantwortung häufig bei sachlich und fachlich Unkundigen

// effektive Überwachung auf Grund der Komplexität und wechselnder Verantwortung wesentlich schwieriger oder gar unmöglich

Trinkwasser ist ein leicht verderbliches Lebensmittel, das besonders im Bereich der Trinkwasser-Installation in Gebäuden aus den oben dargestellten Gründen durch mikrobielle und chemische Kontaminationen in seiner Güte nachhaltig beeinträchtigt werden kann, hin bis zu akut gesundheitsschädigenden Wirkungen. Mit einer Vielzahl von Regelungen (national, international) versucht man, dieses Problem zu minimieren.[2]

Trinkwassersysteme in Gebäuden stellen auf Grund ihrer hohen Komplexität einen besonderen Lebensraum/Ökosystem dar, der/das durch eine Vielzahl von sehr speziellen Faktoren gekennzeichnet ist und in dem sich ein perfekt an diese Bedingungen angepasstes Mikrobiom entwickelt hat. Jedes Gebäude hat dabei seine Eigenarten und besonderen Bedingungen.

Die komplexen Strukturen der Trinkwasser-Installationen Kalt und Warm können zwischen Einspeisung und Verbraucher hunderte von Metern betragen. Toträume, Totleitungen, ungenutzte Bereiche, selten genutzte Entnahmestellen mit der Folge ausgedehnter Stagnationen finden sich überall. Es sind vor allem die drei Faktoren Nährstoffe, Temperatur, Stagnation, die das Mikrobiom Trinkwasser-Installation von dem der kommunalen Versorgung unterscheiden (siehe Details im Kapitel Faktoren) und die wachstumsfördernd für OPPPs[3] und Biofilme sind.

Auch Trinkwasser, das allen gesetzlichen Ansprüchen genügt, ist nicht keimfrei oder gar steril. Vielmehr enthält jeder Tropfen Wasser, den wir nutzen oder trinken, eine hohe Anzahl

von Mikroorganismen (bis zu >1 Million/ml). Diese Mikroorganismen sind für den Menschen völlig unschädlich und werden mit den üblichen Untersuchungsmethoden bewusst nicht erfasst. Ein gesundheitliches Problem kann jedoch durch Eindringen unerwünschter pathogener oder fakultativ pathogener bakterieller Krankheitserreger in das Trinkwasser von Gebäuden entstehen, die dort optimale Wachstumsbedingungen finden.[4]

Gemäß Trinkwasserverordnung muss Trinkwasser so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit insbesondere durch Krankheitserreger nicht zu besorgen ist. Es muss rein und genusstauglich sein. Diese Anforderung gilt als erfüllt, wenn bei der Wasseraufbereitung und der Wasserverteilung mindestens die allgemein anerkannten Regeln der Technik und die Anforderungen der TrinkwV eingehalten werden.

Dies gilt zwingend auch für Trinkwasser in der Trinkwasser-Installation in Gebäuden.

In Deutschland, der EU und zunehmend auch in anderen Ländern gilt beim Schutz des Trinkwassers das Vorsorgeprinzip. In der Trinkwasserverordnung und dem IfSG[5] besitzt der „Besorgnisgrundsatz" eine hohe Bedeutung. Dieser Grundsatz folgt dem Prinzip, wonach fehlende wissenschaftliche Gewissheit über eine konkrete Gefahr keine Begründung für die Unterlassung von risikomindernden Maßnahmen sein darf. Kritiker des Vorsorgeprinzips fordern immer wieder einen nur evidenzbasierten Umgang mit Risiken und ein evidenzbasiertes Management.[6]

Wasserbürtige fakultative Krankheitserreger haben wegen der speziell in Gebäuden auftretenden Umgebungsbedingungen einen optimalen Lebensbereich außerhalb ihrer natürlichen Quellen gefunden, von denen sie leicht auf den Menschen übertragen werden können. Von besonderer Bedeutung sind hier Legionellen, Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien (NTM), *Pseudomonas aeruginosa*. Sie sind nach der weitgehenden Ausschaltung der fäkalen Übertragungswege nun die primäre Quelle für wasserbürtige Infektionen in entwickelten Ländern. Die Prävention und Kontrolle dieser Fakultativen Krankheitserreger in der Trinkwasser-Installation in Gebäuden ist die neue Herausforderung für alle, die Verantwortung für Gesundheit und Sicherheit tragen, eine Herausforderung, die Teambildung von Behörden, Bauherren, Planern, Herstellern, ausführenden Betrieben und Nutzern erfordert.

Entgegen einer weit verbreiteten Meinung sind die für das Wachstum, die Vermehrung und die Übertragung auf den Menschen entscheidenden Faktoren unter den komplexen Bedingungen der Trinkwasser-Installation noch keineswegs ausreichend verstanden, mit der Folge, dass häufig Risikoanalysen und Kontrollmaßnahmen nicht „maßgeschneidert", sondern ungezielt ergriffen werden.

Schwerpunkt dieses Beitrages ist die Darstellung des Mikrobioms „Trinkwasser in Gebäuden" und seiner vielfältigen, oft noch unverstandenen Interaktionen verschiedenster Mikroorganismen miteinander, von mikrobiologischen Veränderungen/Verschlechterungen die unter den spezifischen Bedingungen der Trinkwasserversorgung innerhalb von Gebäuden auftreten und ihre Auswirkungen auf die Hygiene und die Gesundheit der Nutzer. Eine ganzheitliche Sichtweise steht dabei im Vordergrund. Als Ausblick für die Zukunft sollen auch Fragen behandelt werden, die eine andere Sichtweise auf Mikroorganismen erlauben: Können wir das Mikrobiom als Verbündeten gegen den Aufwuchs von fakultativen Krankheitserregern nutzen? Können wir protektive Biofilme produzieren? Welche Faktoren sind bestimmend für das Auftreten von fakultativen Krankheitserregern?

Wie lassen sich das Design und der Betrieb von Trinkwasser-Installationen so verbessern, dass Gesundheitsgefahren durch fakultative Krankheitserreger vermindert werden? Welche Bedeutung haben die drei Wirkfaktoren Nahrungsangebot, Temperatur und Stagnation und wie müssen wir sie steuern?

FUSSNOTEN

1 *Microbial Growth in Drinking Water Supplies. van der Kooij, D et al. 2014, IWA Publishing*
2 *Environ. Sci.: Water Res.Technol. 2016: 2, 614. DOI: 10.1039/c6ew00039h.*
3 *OPPP = Opportunistic Pathogens Premise Plumbing = faktultative Krankheitserreger in Trinkwasserinstallationen in Gebäuden*
4 *Front. Microbiol. 2016: 7:45. doi: 10.3389/fmicb.2016.0004*
5 *Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheitenbeim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG). Zuletzt geändert durch Art. 1 G v. 17.7.2017 I 2615*
6 *Krankenhaushygiene up2date 2017: 12: 159–175*

FAKULTATIVE OPPORTUNISTISCHE KRANKHEITSERREGER – OPPP

Infektionen durch fakultativ pathogene / opportunistische Bakterien werden durch Erreger verursacht, die ubiquitär in der Umwelt vorkommen und die nur unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. Personen mit Immuninsuffizienz, verstärkte Erreger-Virulenz, lokale Faktoren) eine Erkrankung auslösen. Hohes Alter, Immunsuppression und Immunschwäche und das Auftreten besonders aggressiver Stämme stellen die wesentlichen Risikofaktoren dar.

Gerade im Mikrobiom von Trinkwässern in Gebäuden finden fakultative / opportunistische Krankheitserreger optimale Lebens- und Vermehrungsbedingungen und können von dort über vielfältige Wege auf den Menschen übertragen werden.[7] Die US-Amerikaner haben für diese Erreger den Begriff **OPPP** (**O**pportunistic **P**athogens **P**remise **P**lumbing) geschaffen, der im Weiteren auch in diesem Artikel Verwendung finden wird. OPPPs sind nicht fäkaler Natur. Die meisten sind normaler Bestandteil der Umwelt in Böden, Substraten undWasser.[8 9]

Methoden, die man zur Bekämpfung fäkaler Erreger im Trinkwasser etabliert hat, z.B. Chlorung, haben möglicherweise mit dazu geführt, dass Trinkwasser-Mikrobiome Mechanismen entwickelt haben, die fakultativen Krankheitserregern Selektionsvorteile und verbesserte Möglichkeiten für ein Überleben, ein Wachstum und eine Vermehrung verschaffen. OPPPs teilen sich eine Reihe von gemeinsamen Eigenschaften (Tab. 1). So sind alle deutlich resistenter gegen Chlor (Tab. 2) als *E.coli*, insbesondere *Mycobacterium avium*, ertragen höhere Temperaturen, haben unter Stagnationsbedingungen Wachstumsvorteile, werden von Amöben und anderen Einzellern nicht verdaut (ARM=Amoeba Resistant Microorganisms), sind Bestandteil von Biofilmen und reichern sich stark in Aerosolen an.[11 12]

Einige Arten, z.B. etliche NTM, wachsen nur sehr langsam, ein Vorteil; denn langsames Wachstum bedeutet später Tod. Der schnell wachsende *P.aeruginosa* kann unter sauerstofffreien Bedingungen wachsen. Diese Eigenschaften verschaffen den OPPPs Wachstumsvorteile in der Gebäudeinstallation, die für sie einen idealen Lebensraum darstellt.

Im Gegensatz zu fäkalen Erregern wie *E.coli*, die sich im Trinkwasser nicht vermehren können und deren Konzentration von der Eintragsquelle (z.B. Wassergewinnung) bis zum Verbraucher abnimmt, vermehren sich alle OPPPs im Trinkwasser.[15] Ihre Konzentration nimmt mit Entfernung vom Wasserwerk bis zum Verbraucher, insbesondere in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden, stark zu. Die üblicherweise in der Trinkwassermikrobiologie untersuchten Indikatorbakterien (*E.coli*, Enterokokken, Coliforme, Allgemeine Koloniezahl) erweisen sich als Indikatoren für OPPPs als unbrauchbar.
Bei den gesundheitlich relevanten OPPPs handelt es sich in erster Linie um Legionellen, Nicht-Tuberkulöse-Mykobakterien (NTM) und *Pseudomonas aeruginosa.*[16] OPPPs sind heute die primäre Quelle für wasserbürtige Infektionen in entwickelten Ländern. Es besteht ein großer Bedarf zur Entwicklung verlässlicher Nachweismethoden, Überwachungsstrategien und Methoden zur Risikoanalyse. Grundlegende Untersuchungen zum Verständnis ihres Verhaltens in Trinkwasser-Installationen, ihrer Lebensformen und ihrer Wachstumsansprüche zur Entwicklung von gezielten Kontrollmaßnahmen sind dringend notwendig.[17]

Tabelle 1:
Gemeinsame Eigenschaften von OPPPs

Übertragung/Infektionen über Trinkwasser
hohe Persistenz im Trinkwasser
Vermehrung innerhalb der Trinkwasserverteilungssysteme
hohe Anreicherung in Aerosolen[10]
Chlor-Resistenz
Temperatur-Resistenz
Amöben-Resistenz (ARM)
langsames Wachstum einiger Arten (NTM)
Stagnationsresistenz
Biofilmbildung, Wachstum in Biofilmen
Wachstum bei niedrigen Sauerstoffgehalten
geringe Wachstumsansprüche
Ausbildung von VBNC-Stadien

Tabelle 2: Chlorresistenz von OPPPs relativ zu *E.coli*[13 14]

Legionella Laborstamm	83x
Legionella Umweltstamm	580x-1050x
Mycobacterium avium	567x->2000x
Pseudomonas aeruginosa	21x-40x
Acinetobacter baumanii	658x-1000x

Tabelle 3: Opportunistische Krankheitserreger in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden (OPPP)

fakultativer Krankheitserreger	Erkrankungen	Übertragungsweg	Nationale Regelung DE	Internationale Regelung

Legionellen	// Legionellosen:
	a) atypische Lungenentzündung
	b) Pontiac Fieber
		// Inhalation von Aerosolen
		// Aspiration
			// TrinkwV
			// Maßnahmewert
			// Meldepflicht IfSG
				// vielfältig in fast allen Ländern

Nicht Tuberkulöse Mykobakterien (NTM)	// Lungenerkrankungen
	// Abszesse
	// Lymphadenitis
		// Inhalation
		// Wund- / Schmierinfektionen
		// Hautkontakt
			// keine
			// Besorgnisgrundsatz
				// US EPA Microbial
				// Contaminants -CCL 4[21]

Pseudomonas aeruginosa	// Infektionen des Urogenitaltraktes
	// Dermatitis
	// Wundinfektionen
	// Pneumonien
	// Sepsis
		// Inhalation
		// Wund- / Schmierinfektionen
		// Hautkontakt
			// keine
			// Besorgnisgrundsatz
			// Empfehlung UBA 2006/2017
				// F, GB und EI für Hospitäler

Aeromonas hydrophila	gastrointestinale Symptome, Wundinfektionen, Meningitis	// Ingestion
		// Schmierinfektionen
			// keine	// NL: <1000
				// KBE/100ml bei 30°C;
				// <100 KBE/100ml bei 37°C[22]
				// (Betriebstechnischer Parameter)[23 24]

Acinetobacter, Stenotrophomonas, Burkholderia, Elisabethkingia Sphingomonas u.a.	// vielfältig
	// besonders krankenhausbedingte Infektionen
	// Sepsis
		// Inhalation
		// Wund- / Schmierinfektionen
			// IfSG bei besonderen Resistenzen	// keine

Weitere Vertreter dieser ubiquitär vorkommenden Bakterien sind *Aeromonas* und speziell in medizinischen Einrichtungen eine Vielzahl weiterer Arten. Das Risiko einer Infektion wird umso größer, je höher der Anteil immunschwacher oder immunsupprimierter Nutzer ist. Dies bedeutet, dass das größte Risiko in Krankenhäusern, Pflegeheimen, Altenheimen oder im Bereich der häuslichen Pflege zu suchen ist. Bei Gebäuden mit immunschwachen Nutzern vergrößert sich auch das Spektrum möglicher wasserbürtiger Krankheitserreger beträchtlich (z.B. *Elisabethkingia*,[18] *Stenotrophomonas*, *Burkholderia*, *Acinetobacter*[19 20]), auch weil in diesen Einrichtungen viele Übertragungswege vorhanden sind (z.B. Inhalation, Ingestion, Hautkontakt, indirekt über Apparate). Wegen der steten Zunahme der gefährdeten Bevölkerungsgruppen sind in Zukunft vermehrt Infektionen zu besorgen und Präventivmaßnahmen zu verstärken.

Aeromonas hydrophila[25]

Aeromonas hydrophila ist Bestandteil vieler Wassermikrobiome und ist regelmäßig in Oberflächenwässern anzutreffen. In letzter Zeit wird gehäuft über das Auftreten von *A.hydrophila* auch in aufbereiteten Trinkwässern berichtet. In den Niederlanden wurden Richtwerte als betriebstechnische Parameter definiert (Tab.3). Wie andere OPPPs kann er sich im Verteilungsnetz einschließlich der Trinkwasser-Installation vermehren („regrowth") und von dort auf den Menschen übertragen werden. Nur einige Stämme (bevorzugtes Wachstum bei 37°C) sind für den Menschen pathogen.

Sie können bei Personen mit vermindertem Immunstatus, älteren Personen und Kleinkindern Wundinfektionen, Meningitis und gastrointestinale Infektionen hervorrufen.[26] Nicht immer korrelieren klinische Stämme mit Umweltisolaten. Eine eindeutige Bewertung des Vorkommens von *A.hydrophila* ist deswegen schwierig. Häufig sind Infektionen mit Naturkatastrophen korreliert (Tsunami etc.).[27]

Legionella, Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien (NTM), *P.aeruginosa*

Das Spektrum der möglichen Infektionen umfasst alle Organe, besonders gravierend sind aber Lungenentzündungen, die sowohl von Legionellen (Legionärskrankheit) und NTM als auch von *P.aeruginosa* verursacht werden können. Schätzungen aus den USA gehen von 40.000 wasserbürtigen Infek-

FUSSNOTEN

7 *In-Premise Water System Educational Symposia 2017. Summary. MIAMI / ATLANTA / LOS ANGELES / IRVINE*
8 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2015: 12, 4533-4545. doi:10.3390/ijerph120504533*
9 *State of the Science and Research Needs for Opportunistic Pathogens in Premise Plumbing. 2013 Water Research Foundation*
10 *PNAS 2009: 106 (38) 16393-16399. doi:10.1073/pnas.0908446106*
11 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2015: 12, 4533-4545. doi:10.3390/ijerph120504533*
12 *Guidance on Waterborne Bacterial Pathogens. Prepared by the Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment. Health Canada Ottawa, Ontario. February 2013*
13 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2015: 12, 4533-4545. doi:10.3390/ijerph120504533*
14 *Pathogens 2015: 4, 373-386. doi:10.3390/pathogens4020373*
15 *Int J Environ Res Public Health. 2015: 12(5): 4533–4545. doi: 10.3390/ijerph120504533*
16 *Journal of Medical Microbiology 2014: 63: 1247-1259. doi: 10.1099/jmm.0.075713-0*
17 *Water Research 2017: 117 68e86. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.03.046*
18 *Indian J Crit Care Med. 2013: Sep-Oct; 17(5): 304–307. doi: 10.4103/0972-5229.120323* **UND** *Emerging Infectious Diseases 2018: Vol. 24, No. 9, 1730. DOI: https://doi.org/10.3201/eid2409.171843*
19 *Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2017: 16: 59. doi: 10.1186/s12941-017-0229-6*
20 *A Guide to Infection Control in the Hospital. An official publication of the International Society for Infectious Diseases (ISID) Fifth Edition 2014*
21 *US EPA Microbial Contaminants - CCL 4 Final CCL 4 Microbial Contaminants. https://www.epa.gov/ccl/microbial-contaminants-ccl-4*
22 *Inspectierichtlijn Harmonisatie Meetprogramma Drinkwaterkwaliteit. Artikelcode: 5074. März 2005*
23 *Drink. Water Eng. Sci. 2009: 2, 1–14, www.drink-water-eng-sci.net*
24 *Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 14 juni 2011, nr. BJZ2011046947 houdende nadere regels met betrekking tot enige onderwerpen inzake de voorziening van drinkwater, warm tapwater en huishoudwater (Drinkwaterregeling)*
25 *Int J Environ Res Public Health. 2015: May; 12(5): 4533–4545. doi: 10.3390/ijerph120504533*
26 *Journal of Pure and Applied Microbiology 2012: Vol. 6(3), 1209-1218*
27 *Clin Microbiol Rev. 2010: Jan; 23(1): 35-73. doi: 10.1128/CMR.00039-09*

tionen pro Jahr aus.[28] Berechnungen zeigen, dass die durch OPPP-Infektionen verursachten Behandlungskosten die Kosten der fäkalstämmigen wasserbürtigen Infektion weit überschreiten und in einem Bereich von ca. 1 Milliarde US$ jährlich liegen (Tab.4.). Diese Kosten repräsentieren wahrscheinlich nur einen kleinen Teil der Gesamtkosten, die durch wasserbürtige Infektionen wirklich verursacht werden. Dies unterstreicht die dringende Notwendigkeit für weitere Investitionen für ein Erregermonitoring, ökonomische und ökologische Analysen und Schätzungen der wirklichen Krankheitslast.

Ein weiterer Faktor im Infektionsgeschehen, der international immer mehr Beachtung bei Risikoanalysen findet, ist die Aggressivität = Virulenz einzelner Stämme innerhalb der Gruppe der fakultativen Krankheitserreger. Bei einigen besonders virulenten Stämmen von *L.pneumophila* Sg 1 (z.B. Sequenztyp 47, siehe Kap. Legionellen) kann man im eigentlichen Sinne nicht mehr von fakultativen Krankheitserregern sprechen, da hier Infektionen in allen Bevölkerungsgruppen auftreten können. Hochvirulente Stämme können endemisch werden und ein andauerndes Infektionsrisiko darstellen.[30]

Methoden zum Nachweis von OPPP

// **kulturell:** Wachstum auf speziellen Nährböden (immer noch Goldstandard)
- *Legionella:* ISO 11731:2017-05 ab 1.3.2019; bis zum 28.2. 2019 ISO 11731:1998-05, DIN EN ISO 11731-2:2008-06; Legiolert™/ Quanti-Tray®[31]; Amöben-Kokultur (the amoebae plate test, APT)[32]
- *P.aeruginosa*: DIN EN ISO 16266:2008-05; Pseudalert® / Quanti-Tray®
- NTM: Anzucht auf Tuberkuloseerreger-Nährböden (Middlebrook 7H10 agar, Tsukamura minimal agar)

// **molekularbiologische Methoden:**
- PCR (Polymerase-Kettenreaktion)
  - qPCR: herkömmliche PCR mit zusätzlicher Quantifizierung der DNA
  - EMA-qPCR mit Unterscheidung tot-lebendig durch Zusatz von Ethidiumbromidmonoazid
  - Viability qPCR mit Unterscheidung tot-lebendig[33]

// Direktzählung (Durchflusszytometrie) mit Unterscheidung tot-lebendig

// direkte Darstellung in Substraten (Biofilm) mit Unterscheidung tot-lebendig (FISH)

// *Legionella* Chip[34]

// LegioTyper, eine vollautomatische und schnelle Methode zur differenzierten Bestimmung von Legionellen (Serogruppen, mAb-Typen)[35], in Entwicklung

// DNA-Mikroarray (heterogeneous asymmetric recombinase polymerase amplification -haRPA) zur Bestimmung lebender und toter Legionellen[36]

Wegen der methodischen Vorgaben in der TrinkwV sind zurzeit nur die kulturellen Methoden gerichtsfest. Bei vielen Untersuchungen zeigten sich große Unterschiede zwischen Kultur und qPCR. In den meisten Fällen ergab die qPCR wesentlich höhere Ergebnisse als die Kultur. Wegen der unterschiedlichen Messgrößen (Kultur = KBE; qPCR = GU/GE, Genome Units/Equivalents) sind unabhängige Bewertungsmatrixes notwendig, wie sie z.B. in Kanada angegeben werden (Tab.14). Dringend notwendig ist auch die Weiterentwicklung einer standardisierten, robusten Methode mit Unterscheidung tot-lebendig für die einzelnen Erreger.[37]
In Ausbruchsituationen oder anderen zeitkritischen Situationen ist die parallele Anwendung kultureller und molekularbiologischer Methoden die beste Vorgehensweise, die leider noch nicht häufig genug angewendet wird. Die qPCR ist auch gut geeignet für eine schnelle Risikoanalyse zur Beurteilung der Effizienz einer durchgeführten Kontrollmaßnahme, da der prädiktive Wert von negativen Nachweisen sehr hoch ist.[38]

Mit der weiteren Entwicklung der „Next Generation Sequenzierung" („High throughput DNA sequencing") und anderer innovativer genetischer Methoden auch für routinemäßige Untersuchungen von klinischen Materialien und Umweltproben werden sich die Kenntnisse über bisher nicht entdeckte Mikroorganismen, verschiedene Lebensformen von Bakterien, mikrobielle Gemeinschaften und ihr Zusammenspiel deutlich vergrößern.[39]

Tabelle 4:
Durch wasserbürtige Infektionen verursachte Kosten in den USA[29] bei Medicare/ Medicaid Patienten

Erkrankungen	jährliche Kosten
Kryptosporidiose (fäkal)	46 Millionen USD
Giardiasis (fäkal)	34 Millionen USD
Legionellen-Pneumonie	434 Millionen USD
NTM-Infektionen / Lungeninfektionen	426 Millionen USD / 195 Millionen USD

Tabelle 5: Vor- und Nachteile kultureller und molekularbiologische Methoden	
kulturelle Methoden	
Vorteile:	**Nachteile**
sehr gut standardisiert, immer noch Goldstandard	keine Nachweise von VBNC und anderen Lebensformen
epidemiologische Verfolgung möglich (Quellensuche mittels Fingerprinting)	langwierig (10 Tage Bebrütung bei Legionellen, >20 Tage bei einigen NTM)
gerichtsfest, Methoden definiert in TrinkwV	bevorzugt möglicherweise bestimmte Arten/Stämme
molekularbiologische Methoden	
Vorteile:	**Nachteile**
sehr schnell, innerhalb von Stunden	nicht alle Methoden ausreichend standardisiert, besondere Techniken zur Unterscheidung tot-lebendig notwendig
VBNC-Stadien werden miterfasst	matrixabhängig
PCR zwar keine Unterscheidung lebendig-tot, aber neuere Methoden mit Diskriminierung vorhanden: schnellere und bessere Risikoanalyse	Bewertungsschema der Kultur kann nicht übernommen werden.

FAZIT

Man muss davon ausgehen, dass mit Zunahme immunschwacher Menschen in unserer Gesellschaft die Gefahr trinkwasserbürtiger Infektionen durch OPPPs in den nächsten Jahren stetig wachsen wird.[40] Dies zeigt die Notwendigkeit der Entwicklung gezielter Maßnahmen zur Begrenzung / Reduktion des Wachstums dieser Erreger in Trinkwassersystemen von Gebäuden und der Übertragung auf den Menschen auf. Die grundlegende Bedeutung der Faktoren Temperatur, Stagnation, Nahrung kommt besonders innerhalb der komplexen Struktur der Trinkwasserversorgung innerhalb von Gebäuden und ihrer Mikrobiome zum Ausdruck. Unser Verständnis der interaktiven Zusammenhänge zwischen Mikrobiom und OPPPs, der Übertragungswege auf den Menschen, der Erreger-Wirtsbeziehungen und der gravierenden Art-/Stammunterschiede sind jedoch noch begrenzt und erfordern dringend weitere ganzheitliche Untersuchungskonzepte, die sich loslösen von der Fokussierung auf einzelne Arten. Sie betrachten vielmehr immer die Reaktion des gesamten Mikrobioms. Alle Konzepte müssen auf präventiver Basis beruhen. Auch die weitere Entwicklung molekularbiologischer Methoden/DNA Sequenzierung wird unsere Sichtweise bei der Bewertung der Effektivität und Nachhaltigkeit von Maßnahmen zur Reduzierung von OPPPs stark verändern.[41]

FUSSNOTEN

29 *Epidemiol Infect. 2012: Nov; 140(11): 2003–2013. doi: 10.1017/S0950268811002858*
30 *Emerg Infect Dis. 2017: 23(11):1776. https://dx.doi.org/10.3201/eid2311.161584*
31 *J Water Health. 2018 Feb;16(1):25-33. doi: 10.2166/wh.2017.118*
32 *J Clin Microbiol. 2018: Feb 21. pii: JCM.01361-17. doi: 10.1128/JCM.01361-17*
33 *International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017: 220 1318–1324. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.08.007*
34 *Detectiemethoden voor legionella in water. Rapport 703719063/2010. J.A.C. Schalk | A.M. de Roda Husman 2010*
35 *LegioTyper: a Fully Automated and Rapid Detection Method for Serotyping of Legionella pneumophila. Gründel A., Kober C., Petzold M.,Herr C., Heese C., Lück C., Seidel M. Abstract Book The 9th International Conference on Legionella Rome, 26th - 30th September 2017*
36 *Biosensors & Bioelectronics 2018: 100 49-55. DOI: 10.1016/j.bios.2017.08.053*
37 *Critical Reviews in Microbiology 2016: Vol. 42, Iss. 1. http://dx.doi.org/10.3109/1040841X.2014.885930*
38 *J Appl Microbiol. 2017: Jun; 122(6): 1692-1703. doi: 10.1111/jam.13461*
39 *Curr Environ Health Rep. 2015: 2(1): 95–106. doi: 10.1007/s40572-014-0037-5*
40 *Environ Health Perspect 2015: 123:749–758. http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408692*
41 *Curr Envir Health Rpt 2015: 2:95–106. DOI 10.1007/s40572-014-0037-5*

PSEUDOMONAS AERUGINOSA

Allgemeines, Ökologie

P.aeruginosa ist in der vom Menschen geschaffenen Umwelt ein weit verbreitetes gramnegatives stäbchenförmiges bewegliches Bakterium, das praktisch alle feuchten Lebensräume besiedeln kann und so regelmäßig in Böden, Oberflächengewässern, Pfützen anzutreffen ist („Pfützenkeim"). Es tritt regelmäßig auf in Pflanzen, Früchten, Lebensmitteln, Putzutensilien und sogar in konzentrierten Desinfektionsmittellösungen. Auf Nährböden wächst es unter Bildung eines kennzeichnenden grünblauen Pigmentes (Pyocyanin).[42 43] Es ist ein äußerst genügsames Bakterium mit sehr geringen Nährstoffansprüchen, Wachstum in einem breiten Temperaturbereich (10°C-42°C) und einer ausgeprägten Neigung zur Bildung von widerstandsfähigen, schleimigen Biofilmen. Es kann sich perfekt seiner Umwelt anpassen, sogar in destilliertem Wasser[44] überleben und Stickstoff und Energie aus den unterschiedlichsten Quellen gewinnen.[45]

Innerhalb von Umweltstämmen unterscheiden sich die Nährstoffansprüche stark. Dies weist auf eine gute Anpassungsfähigkeit an die jeweiligen Umweltbedingungen hin.[46] *P.aeruginosa* gehört zwar nicht zur normalen Darmflora, kann aber bei bis zu 25% der Bevölkerung als symptomloser Besiedler des menschlichen Darms, häufig bei Vegetariern, analysiert werden.[47 48]

Die Trinkwasser-Installation in Gebäuden ist für *P.aeruginosa* geradezu eine Luxusherberge, in der er nach einer Erstinfektion schnell sekundäre Lebensräume findet. Wegen der vielfältigen Wege, auf denen *P.aeruginosa* in Trinkwassersysteme eindringen kann, sind Nachweise des Erregers im Trinkwasser keine große Überraschung, bedürfen aber immer Kontrollmaßnahmen.

Quellen / Gründe für eine Besiedlung mit *P.aeruginosa*

Sauberkeit in allen Phasen der Erstellung einer Trinkwasser-Installation oder bei Reparaturarbeiten mit Eingriff in die Installation ist eine der wichtigsten Voraussetzungen, um Einträge in das Trinkwassersystem zu vermeiden.

Quellen/Gründe für einen Eintrag von *P.aeruginosa:*

// kommunaler Versorger (Hausanschlussleitung, Hydranten)

// Rohrbrüche, Kontakt mit Bodenbestandteilen

// nicht sachgerechte Planung (z. B. Überdimensionierung, lange Stichleitungen)

// Unsauberkeit in allen Phasen der Erstellung oder Reparatur einer TW-Installation (z.B. fehlerhafte Lagerung von Bauteilen, fehlende Endkappen)

// mangelhafte, nicht fachgerechte Installation

// nicht fachgerechte Inbetriebnahme (Gebäude „sieht" zu früh Wasser)

// nicht fachgerechte Dichtigkeitsprüfung vor Inbetriebnahme[50]

// kontaminierte Bauteile (z.B. fabrikneue Wasserzähler, komplexe Apparate, komplexe Entnahmearmaturen)

// alle Arbeiten an der Trinkwasser-Installation mit Öffnung/Kontakt zum Leitungsinneren

// Anlagen zur Trinkwasserbehandlung (Enthärtung, Korrosionsschutz, Filter)

// Druckausgleichsysteme

// unzulässige Verbindung zu Nicht-Trinkwasser-Systemen (z.B. Dachablaufwasser)

// Trinkwasserspender, leitungsgebunden[51]

// Abflüsse, Siphons, Geruchsverschluss (Rückspritzen auf Entnahmearmaturen)

Untersuchungen zeigen, dass das Vorkommen von *P. aeruginosa* für den Bereich der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland eher von untergeordneter Bedeutung ist. Es kann jedoch im Fall von neu verlegten Rohrleitungen mit einer erhöhten Befundhäufigkeit gerechnet werden.

Wachstumsfördernde Bedingungen

// Verwendung ungeeigneter Materialien und Bauteile, z.B. nicht DVGW-W270 geprüftes EPDM[52]

// Installationssysteme ohne vorhandenen Biofilm (Zustand z.B. nach Reinigung/Desinfektion) [53]

// Bereiche mit nicht-bestimmungsgemäßem Betrieb (z.B. Notduschen, ungenutzte Räume)

Tabelle 6: Eigenschaften von *P.aeruginosa*

ubiquitär in der feuchten menschlichen Umwelt	Biofilmbildner (schleimige Biofilme)
hohe Antibiotikaresistenz	amöbenresistent (ARM)[49]
niedrige Wachstumstemperaturen (ab >10°C)	hoher Temperaturbereich für Wachstum (>40°C-50°C)
hohe Desinfektionsmittelresistenz einiger Stämme	anaerobes Wachstum möglich

// erhöhte Temperatur im Kaltwasserbereich von mehr als 20°C

// Warmwassertemperaturen <55°C

// Stagnation, nicht regelmäßig genutzte Leitungsteile

// geringe Fließgeschwindigkeiten

Die Untersuchung von unterschiedlichen Materialien wie Edelstahl, PE, Polypropylen, PVC sowie verschiedene Dichtmaterialien u. a. Ethylen-Propylen-Dien-Monomer-Kautschuk (EPDM) und Weich-PVC zeigten, dass alle Materialklassen besiedelt werden. Systeme ohne natürlichen – schützenden – Biofilm werden leichter besiedelt.

Erkrankungen

P.aeruginosa kann insbesondere bei Personen mit prädisponierenden Faktoren schwere Infektionen auslösen. Der Erreger befällt ein breites Spektrum an Organen und verursacht Pneumonien, Sepsis, Harnwegsinfekte, Wund- und Hautinfektionen.[54] Im besonderen Maße betroffen sind Einrichtungen des Gesundheitswesens und der Pflege.[55] Für immunkompetente Personen stellt *P.aeruginosa* kein besonderes Infektionsrisiko dar. Selbst sehr hohe Konzentrationen des Bakteriums (>10^7 KBE) konnten bei gesunden Personen keine Erkrankung auslösen.[56 57]

Trinkwasserassoziierte *P.aeruginosa* -Infektionen in medizinischen Einrichtungen sind gut dokumentiert und konnten durch Sanierung bzw. den präventiven und dauerhaften Einsatz von endständigen bakteriendichten Filtern unter Kontrolle gebracht werden.[58] Als Erreger sporadischer Infektionen und aufgrund der hohen Antibiotikaresistenz sind die Infektionen so gravierend, dass alle Möglichkeiten der Prävention ergriffen werden müssen. In den USA war *P.aeruginosa* in den zwei letzten Jahrzehnten der häufigste Erreger für eine Lungenentzündung durch gramnegative Erreger. 8-11% aller nosokomialen Infektionen wurden in Europa und den USA durch diesen Erreger verursacht.[59]

Faktoren, die eine Infektion mit *P.aeruginosa* in medizinischen Einrichtungen begünstigen sind:

// Harnwegskatheter

// Venenkatheter, Shunts

// Beatmungstuben

// akute Wunden, verletzte Haut

// Verbrennungen

// bestimmte Erbkrankheiten wie Mukoviszidose

// chronische Lungenerkrankungen (COPD)

// Immunsuppression (z.B. Transplantation, Chemotherapie)

// Immunschwäche (z.B. hohes Alter)

// Antibiotikatherapie (Zerstörung der physiologischen Darmflora)

Nosokomiale Infektionen durch *P.aeruginosa* sind wegen seiner von Haus aus hohen Antibiotikaresistenz[60 61] und der Fähigkeit, weitere Resistenzen zu entwickeln, oft nur schwer therapierbar und führen häufig zum Tode.[62] Wegen ihrer hohen Mortalität stellen Infektionen durch Carbapenem-resistente *P.aeruginosa* (CRPsA) im Umfeld von Krankenhäusern ein besonderes Problem dar, das vielfältiger Präventionsmaßnahmen bedarf.[63] Einige Stämme weisen eine sehr hohe Virulenz auf, z.B. ST309, der ein besonders gravierendes Gesundheitsrisiko darstellt.[64] Folgenschwer sind Ausbrüche auf Neu- oder Frühgeborenenstationen, die häufig mit vielen Todesfällen verbunden sind und praktisch immer zur Schließung der Abteilungen führen (z.B. ein Ausbruch in einem Krankenhaus in Bristol mit 12 Erkrankten und einem Todesfall bei Frühgeborenen im Jahr 2012[65] oder der Tod von vier Neugeborenen in Nordirland 2012[66]). Besonders gefährdet für Lungenentzündungen sind - auch im ambulanten - Bereich Personen mit ererbter Mukoviszidose (Cystische Fibrose). 60-90% aller Patienten mit dieser Krankheit sind mit *P.aeruginosa* besiedelt. Die Besiedlung kann Jahrzehnte persistieren und ist entscheidend für den Verlauf der Erkrankung.[67]

Der Erreger kann über vielfältige Wege übertragen werden: Einatmen von Aerosolen, direkter Kontakt mit Haut oder Wunden oder Verbrennungen, beim Baden, indirekt über Schmierinfektionen und über sekundär kontaminierte medizinische Geräte.

Bei Expositionen gegenüber sehr hohen Konzentrationen von P.aeruginosa können auch bei gesunden immunstarken Personen Infektionen außerhalb des Krankenhauses auftreten, häufig im Zusammenhang mit stark besiedelten Badewässern:

FUSSNOTEN

42 *Crit Rev Microbiol. 1997: 23(1): 47-75. https://doi.org/10.3109/10408419709115130*
43 *Rev Environ Contam Toxicol. 2009: 201: 71-115. doi: 10.1007/978-1-4419-0032-6_3.*
44 *Science 1971: Aug 27; 173(3999): 836-8*
45 *MicrobiologyOpen 2016 : Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
46 *Appl. Environ. Microbiol. 1982: 44, 1086-1095*
47 *Pediatr Neonatol. 2009: Feb; 50(1):1 3-7. doi: 10.1016/S1875-9572(09)60024-3*
48 *http://slideplayer.com/slide/4685468/*
49 *MicrobiologyOpen 2016: Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
50 *energie | wasser-praxis 3/2009*
51 *Journal of Hospital Infection 2015: 91, 3 ,271 – 274. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2015.07.010*
52 *Hambsch B, Hügler M, Korth A, Petzoldt H (2016) Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen - Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen. In: Veröffentlichungen aus dem DVGW-Technologiezentrum Wasser Band 73: Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen. TZW: DVGW-Technologiezentrum Wasser, Karlsruhe, S. 1-100*
53 *Water Science & Technology 2016: Water Supply | 16.4 |. doi: 10.2166/ws.2016.040*
54 *Int J Hyg Environ Health. 2017: Nov; 220(8): 1199-1206. DOI: 10.1016/j.ijheh.2017.07.011*
55 *Journal of Hospital Infection 2014: 86 , 1 , 7 – 15. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2013.09.010*
56 *Crit Rev Microbiol. 1997: 23(1): 47-75. https://doi.org/10.3109/10408419709115130*
57 *Rev Environ Contam Toxicol. 2009: 201: 71-115. doi: 10.1007/978-1-4419-0032-6_3.*
58 *American Journal of Infection Control 2005: 33, 5, Supplement, S41-S49. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2005.03.006*
59 *MicrobiologyOpen 2016: 5: 937–956. DOI:10.1002/mbo3.391*
60 *Front Microbiol. 2011: 2: 65. doi: 10.3389/fmicb.2011.00065*
61 *J Med Microbiol. 2009: Sep; 58(Pt 9): 1133-48. doi: 10.1099/jmm.0.009142-0.*
62 *Hyg Med 2016: 41 – 4*
63 *Guidelines for the prevention and control of carbapenem-resistant Enterobacteriaceae, Acinetobacter baumannii and Pseudomonas aeruginosa in health care facilities. ISBN 978-92-4-155017-8. © World Health Organization 2017*
64 *Front Microbiol. 2017 Mar 1;8:313. doi: 10.3389/fmicb.2017.00313*
65 *http://www.bbc.com/news/uk-england-bristol-19888357*
66 *Journal of Hospital Infection 2015: 89, 4, 324-327. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.11.019*
67 *GB- HTM 04-01 - Addendum: Pseudomonas aeruginosa – advice for augmented care units. Estates & facilities. Publication Date March 2013*

// Ohrinfektionen (Otitis externa), „swimmers ear", in USA 2,4 Millionen Fälle/Jahr[68]

// Hot Foot Syndrom[69] [70] (sehr schmerzhafte, noduläre Rötung der Fußsohle nach Kontakt mit kontaminiertem Wasser)

// Whirlpool Dermatitis, Folliculitis (Entzündung der Haarbälge)[71]

// Entzündungen der Augenbindehaut durch kontaminierte Kontaktlinsen (Keratitis)

// Wundinfektionen

// chronische Wunden (z.B. bei Diabetes, Dekubitus)

// Infektionen bei zystischer Fibrose (Mukoviszidose)

// Endokarditis bei Drogensüchtigen mit intravenöser Applikation[72]

Für die meisten dieser Infektionen sind hohe Keimdosen nötig, die in Trinkwassersystemen in der Regel nicht erreicht werden. Ein normal gesunder Mensch trägt ein nur geringes Risiko, durch eine Infektion mit *Pseudomonas aeruginosa* zu erkranken.

Mit Zunahme der häuslichen Pflege bei der Betreuung von Pflegebedürftigen werden sich in Zukunft die Grenzen zwischen Krankenhaus und häuslicher Pflege zunehmend verwischen und die Anforderungen an die Wasserqualität auch im häuslichen Bereich ansteigen.

Untersuchungen auf *P.aeruginosa* im Trinkwasser von Gebäuden

Die Untersuchung auf *P.aeruginosa* gehört nicht zum Umfang der routinemäßigen Untersuchung gemäß TrinkwV. Sie muss dezidiert in Auftrag gegeben werden. Auch der kommunale Versorger untersucht sein Trinkwasser nicht obligat auf *P.aeruginosa* und kann so in der Regel keine Daten liefern.

Wann sollte Trinkwasser auf *P.aeruginosa* untersucht werden?

// Untersuchung des Wassers, mit dem eine Trinkwasser-Installation zum ersten Mal gefüllt werden soll (Neubau, Erweiterung): Das kann Trinkwasser des kommunalen Versorgers oder auch Trinkwasser aus schon vorhandenen Bauabschnitten sein. *P.aeruginosa* sollte in das allgemeine Untersuchungsspektrum aufgenommen werden. Dies geschieht nicht automatisch.

// Untersuchungen vor der Übergabe eines Gebäudes an den Nutzer: Diese Untersuchung dient der Feststellung, dass zum Zeitpunkt der Übergabe des Gewerkes an den Kunden die Trinkwasserqualität unter Einschluss von *P.aeruginosa* einwandfrei war. Die Anzahl der Proben richtet sich nach der Komplexität des Gebäudes. Die Beprobung sollte möglichst die gesamte Installation einschließlich möglicher Schwachstellen abbilden. Durch eine solche Untersuchung kann auch Rechtssicherheit geschaffen werden. Diese Untersuchungen sollten bevorzugt in Trinkwasser-Installationen in Medizinischen Einrichtungen und Pflegeeinrichtungen vorgenommen werden. Empfehlenswert wäre, dies grundsätzlich bei allen Objekten durchzuführen.

// anlassbezogene Untersuchungen: Dies wären z.B. Untersuchungen nach Baumaßnahmen, bei denen die Besorgnis besteht, dass es zu einer Kontamination des Trinkwassers gekommen ist. Proben sind gezielt zu gewinnen.

// Untersuchungen im Kontaminationsfall: Bei einer festgestellten Kontamination sind engmaschige Untersuchungen notwendig, um die Quelle der Kontamination aufzuspüren. Ohne die Lokalisierung der Quelle(n) ist eine nachhaltige Sanierung nicht möglich. Die Proben sind gezielt an Hand der vorhandenen Pläne vor und nach möglichen Schwachstellen zu gewinnen. Eventuell sind die Probenvolumina auf 1 Liter zu erhöhen.

// routinemäßige Kontrolluntersuchungen im Rahmen eines Water Safety Plans: Insbesondere bei Medizinischen Einrichtungen, Arztpraxen mit invasiven Eingriffen und Pflegeeinrichtungen sollten mindestens jährlich Stichproben untersucht werden. Sie dienen der Verifikation der durchgeführten präventiven Maßnahmen und sind Bestandteil der wiederkehrenden Qualitätssicherungsmaßnahmen im Rahmen des WSP. Eine Ausdehnung der routinemäßigen Untersuchungen auf den Bereich der häuslichen Pflege ist empfehlenswert. Hier sind auch die Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention des Robert Koch-Institutes zu berücksichtigen.

// Untersuchungen als Ergebnis einer Risikoabschätzung durch die Gesundheitsämter: Auf Grundlage des Besorgnisgrundsatzes dürfen bei konkretem Anlass die Gesundheitsämter die Untersuchungen ausweiten auf z.B. Hotels, Beherbergungsbetriebe, Heime, Ferienlager, Gemeinschaftsunterkünfte, Justizvollzugsanstalten.[73]

Festlegung von Probenahmestellen

Probenahmestellen sollten so gewählt werden, dass sie die Situation in der gesamten Installation abbilden und der jeweiligen Fragestellung gerecht werden. Die Anzahl der Proben sollte nicht zu gering bemessen werden, um eine Beurteilung zu erleichtern. Zu beproben sind z.B.

// Übergabestelle des Trinkwassers vom Wasserversorger

// Übergabestellen innerhalb der jeweiligen Einrichtung

// vertikale Verteilung

// vor- und nach vermuteten Schwachstellen (z.B. Enthärtung, Korrosionsschutz)

// in Bereichen mit Temperaturanomalien (z.B. erwärmte Schächte, Vorwände, abgehängte Decken)

// in Bereichen mit vermuteter / nachgewiesener Stagnation

// in besonderen Risikobereichen (Transplantation, ITS, Onkologie, Verbrennungsstationen)

Die Probenahme darf grundsätzlich nur durch erfahrene von den Landesbehörden gemäß §15 TrinkwV zugelassene Labore an Probenstellen und mit Techniken durchgeführt werden, die eine eindeutige Unterscheidung zwischen einer lokalen und systemischen Besiedlung erlauben. Es sind mindesten die Vorgaben der DIN EN ISO 19458 einzuhalten.

Zu beachten ist, dass *P.aeruginosa* schon bei geringen Kupferkonzentrationen in das VBNC-Stadium wechseln kann und damit möglicherweise falsch negative Befunde erzeugt werden, die zu einer Unterschätzung des Vorkommens von *P.aeruginosa* führen.

Maßnahmen zur Behebung einer Kontamination durch *P.aeruginosa*

Grundsätzlich sind präventive Konzepte immer reaktiven Maßnahmen vorzuziehen. Beim Erstellen eines WSP muss *P.aeruginosa* mit in den Prozess der Gefährdungsanalyse aufgenommen werden und im Verifikationsprozess kontinuierlich untersucht werden.

Einmal in Trinkwassersystemen etabliert ist *P. aeruginosa* oft nur mit langwierigen und aufwändigen Maßnahmen zu eliminieren. Die Minimierung des Risikos einer Kontamination mit *P.aeruginosa* erfolgt durch die Vermeidung von Fehlern bei Planung, Installation, Inbetriebnahme und Betrieb von Trinkwassersystemen unter Beachtung der allgemein anerkannten Regeln der Technik.[74]

Vorgehensweise:

// Erstellen einer Risikoanalyse (Gefährdungsbeurteilung) bezüglich der Gefährdung der menschlichen Gesundheit im speziellen Fall

// Vorbereitende Maßnahmen:
- Wichtigster Schritt ist die Unterscheidung zwischen einer nur lokalen (distalen) Kontamination von einer systemischen (die gesamte oder Teilbereiche der Installation betreffende) Kontamination. Daraus resultieren grundsätzlich andere Sanierungskonzepte.
- Bei lokalen Kontaminationen stehen persönliche Hygiene (Händehygiene) sowie die Sanierung einzelner Entnahmearmaturen (z.B. durch Desinfektion/Ersatz von Strahlbegrenzern einschließlich der Dichtungen, eventuell ganzer Armaturen) im Vordergrund.
- Bei systemischer Kontamination ist die Aufdeckung der Kontaminationsquelle(n) von entscheidender Bedeutung. Bei komplexen Gebäuden empfiehlt sich eine detaillierte Probenahme vor dem Einleiten von Maßnahmen. Im Vorfeld ist eine Kontamination durch den kommunalen Versorger auszuschließen. Dabei empfiehlt sich die Probenahme von größeren Probevolumina (1 Liter).

// Beseitigung der Kontaminationsquellen (z.B. Bauteile, Apparate, Dichtungsmaterialien). Dies ist grundsätzlich immer die beste und nachhaltigste Maßnahme und sollte ungezielten Maßnahmen wie Spülen oder Desinfektion vorgezogen werden.

// Spülung des Systems gemäß dem DVGW-Arbeitsblatt W 557[75]

// Anlagendesinfektion gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 557

// Trinkwasserdesinfektion gemäß den Anforderungen von §11 TrinkwV bis sich ein Erfolg einstellt. Dies kann längere oder sehr lange Zeiträume umfassen.

// präventive Maßnahmen zur Verhinderung einer Kontamination (WSP):
- Etablierung eines Water Safety Plans für komplexe Gebäude unter Einschluss von *P.aeruginosa*
- Optimierung der Herstellung von Apparaten mit Kontakt zu Trinkwasser unter dem Gesichtspunkt der Hygiene
- Verhinderung jeglichen primären Eintrags von *P.aeruginosa*
- Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik
- Vermeidung von Stagnationen
- regelmäßiger Wasseraustausch (mind. alle 24 h)
- Vermeidung von Temperaturen im Wachstumsoptimum (30-42°C)
- Auswahl von Materialien unter dem Aspekt der Nicht-Förderung mikrobiellen Lebens
- Anlagenteile mit Dichtungsmaterialien, wie z.B. Schieber oder Klappen, sollten vor dem Einbau desinfiziert werden
- bei Risikopatienten (z.B. ITS) präventiver Einbau von bakteriendichten point-of-use Filtern an allen Wasserauslässen[76]

FUSSNOTEN

68 *Environ Health Perspect 2015: 123:749–758. http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1408692*
69 *Klin Padiatr 2012: 224(04): 252-255. DOI: 10.1055/s-0031-1297949*
70 *http://www.schleswigholstein.de/DE/Fachinhalte/G/gesundheitsschutz_umweltbezogen/Badewasser/Downloads/bericht_HotFootSyndrom_2013.pdf;jsessionid=3F3E2218E590A36906C2467B4A89F09C?__blob=publicationFile&v=4*
71 *hautnah dermatologie (2016) 32: 8. https://doi.org/10.1007/s15012-016-2101-3*
72 *Journal of Microbiology, Immunology and Infection 2016: 49, 4, 516-522. https://doi.org/10.1016/j.jmii.2014.08.019*
73 *Empfehlung des Umweltbundesamtes 2017. Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser.*
74 *DVGW energie | wasser-praxis 3/2009, 60-66*
75 *DVGW Arbeitsblatt W 557 2012-10 Wasser. Reinigung und Desinfektion von Trinkwasser-Installationen*
76 *Am J Infect Control. 2008: Aug; 36(6): 421-9. doi: 10.1016/j.ajic.2007.09.012.*

Bei allen Maßnahmen ist zu berücksichtigen, dass ein vorhandener Biofilm (autochthoner Biofilm) die Ansiedlung von *P.aeruginosa* erschwert und auch deshalb der Lokalisation und Beseitigung der Kontaminationsquelle eine entscheidende Bedeutung zukommt. Durch Desinfektionsmaßnahmen kann der autochthone Biofilm zerstört und dadurch eine spätere Besiedlung mit dem Erreger erleichtert werden. Die vom Umweltbundesamt vorgeschlagene Abfolge der Maßnahmen sollte deshalb mit großer Vorsicht umgesetzt werden.[77]

An vielen Beispielen konnte in der Praxis gezeigt werden, dass die Entfernung der – flächenmässig oftmals nur sehr kleinen Kontaminationsquellen – zu einer nachhaltigen Beseitigung von systemischen Kontaminationen führen kann. Fallbeispiele, die Martin Exner, Bonn, anführt, belegen, dass auch Einträge aus der kommunalen Wasserversorgung ursächlich für eine Besiedlung mit *P.aeruginosa* waren und hier die Sanierung der Trinkwasser-Installation nur durch Kontrolle des Eintrags aus der zentralen Wasserversorgung gelang. Als Quellen innerhalb der TW-Installation beschrieben werden z.B. Feinfilter, Magnetventile, Dosieranlagen, Ionenaustauscher, Wasserzähler.

Der bundesweite Eintrag von *P.aeruginosa* in Trinkwasseranlagen über fabrikneue Wasserzähler hat zu einer Diskussion über die Optimierung von Herstellungsprozessen von Apparaten in Hinblick auf die Hygiene und zur Erstellung von etlichen technischen Empfehlungen geführt.[78] [79] [80] Die hier gewonnenen Erkenntnisse müssen grundsätzlich auf die Produktion aller Apparate in Kontakt mit Trinkwasser übertragen werden.

Bei jeder Kontamination ist mit erheblichen Problemen bei der Sanierung zu rechnen, die bis zur vollständigen Neuinstallation mit damit verbundenen ökonomischen Konsequenzen führen kann.[81] Der Prävention kommt somit eine zentrale und erhebliche Bedeutung zu.[82]

Anlagenteile mit Dichtungsmaterialien, wie z.B. Schieber oder Klappen, sollten vor dem Einbau intensiv desinfiziert werden. Im Rahmen der Versuche mit EPDM konnte z.T. in einem Arbeitsgang keine vollständige Beseitigung der Oberflächenkontamination erreicht werden. Bei solchen Bauteilen erhöhen mehrfache Desinfektionen die Chance auf eine vollständige Beseitigung von *Pseudomonas aeruginosa*.[83]

Gesetzliche / Normative Regelungen

Gesetzliche Regelungen für eine Untersuchung auf *P.aeruginosa* im Trinkwasser gibt es weder in Deutschland noch in anderen Ländern. In Deutschland existiert lediglich ein Grenzwert (0/250 ml) für abgepackte Wässer (TrinkwV). Die Gesundheitsämter können jedoch nach §20 TrinkwV Untersuchungen auf *P.aeruginosa* anordnen, wenn sie im konkreten Fall die Besorgnis haben (§4/5 TrinkwV), dass durch die Verwendung des Trinkwassers die menschliche Gesundheit gefährdet werden kann. Solche Besorgnisse könnten z.B. Baumaßnahmen (Neubau, bauliche Veränderungen, Reparaturen, Auffälligkeiten bei einer Ortsbegehung) oder unerklärliche Infektionen sein.

Das Umweltbundesamt hat 2006[84] und 2017[85] Richtwerte (0/100 ml) mit Schwerpunkt für Medizinische Einrichtungen empfohlen. Die WHO hält eine Regelung für Trinkwasser wegen des geringen Infektionsrisikos für die Allgemeinbevölkerung für nicht notwendig, sieht jedoch Handlungsbedarf in Einrichtungen des Gesundheitswesens.[86] In Großbritannien und Irland wurden Richtwerte speziell und nur für Bereiche mit erhöhtem Infektionsrisiko[87] („Augmented Care"[88]) erstellt, die eingebunden sind in einen proaktiven Water Safety Plan, und gestufte Maßnahmen vorgeben (Tab.7).[89]

Tabelle 7: Internationale Anforderungen an *Pseudomonas aeruginosa* im Trinkwasser

FR	Eaux Des Établissements De Santé Qualité De L'eau Aux Points D'usage Groupe Eau Santé Laboratoire d'Hydrologie-Environnement Université Victor Ségalen - Bordeaux II 2003	// <1KBE/100ml	// Gebäude Gesundheitswesen
FR	Les catégories d'eau dans les établissements de santé. Typologie - Traitements complémentaires – Référentiels. Juin 2015	// <1 KBE/100ml	// Gebäude Gesundheitswesen
GB / IE	Water systems. Health Technical Memorandum 04-01: Addendum. Pseudomonas aeruginosa – advice for augmented care units. GB Department of Health 2013	// Gebäude // Gesundheitswesen mit erhöhtem Infektionsrisiko	// Stationen mit Patienten, die ein erhöhtes Risiko für Infektionen zeigen: Untersuchung alle 6 Monate Sofort- und Ablaufproben. Etablierung Water Safety Plan (WSP) und Water Saftety Group (WSG)
		// 1-10 KBE/100ml	// Risikobeurteilung für betroffene Station durch WSG. Nachuntersuchungen

		// >10 KBE/100 ml	// Nicht zufriedenstellender Befund.
			// Risikoanalyse.
			// Schließung?
			// Weitere engmaschige Beprobung mit technischer Analyse der TW-Installation zur Quellensuche und Beseitigung. Bewertung Sofort- u. Ablaufproben

DE	Empfehlung des Umweltbundesamtes 2017. Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser.	// <1 KBE/100 ml	// Empfohlener Wert mit Schwerpunkt Medizinische Einrichtungen // Pflegeeinrichtungen

FAZIT

Im Trinkwasser muss das Vorkommen von *P.aeruginosa* immer als sanierungsbedürftiger Störfall betrachtet werden. Dies gilt insbesondere für Krankenhäuser, medizinische Einrichtungen und Pflegeeinrichtungen. Routinemäßige Untersuchungen auf *P.aeruginosa* sind in allen Phasen der Entstehung und des Betriebs von Trinkwasser-Installationen anzuraten. Wichtigste Maßnahme ist die Prävention eines Ersteintrages in die Trinkwasser-Installation mit der häufigen Folge der Besiedlung sekundärer Reservoire. Wesentliches Erfordernis für eine erfolgreiche Sanierung nach stattgefundener Kontamination ist eine vollständige Erfassung aller, oft nur kleinräumiger, Kontaminationsquellen und deren Beseitigung. Hersteller von Apparaten und Bauteilen innerhalb der Trinkwasser-Installation sollten ihre Fertigung so optimieren, dass Kontaminationen über fabrikneue Bauteile ausgeschlossen werden.

FUSSNOTEN

77 *Water Science & Technology 2016: Water Supply | 16.4 |. doi: 10.2166/ws.2016.040*
78 *Auftreten von Pseudomonas aeruginosa in Wasserzählern –Gemeinsame Erklärung von BDEW, DVGW und VDDW (3. August 2015).*
79 *twin Nr. 10 Anleitung zur Probennahme aus Wasserzählern zwecks mikrobiologischer Untersuchung auf Pseudomonas aeruginosa.*
80 *twin Nr. 11 Information des DVGW zur Trinkwasser-Installation 2015. Wasserzähler – hygienischer Transport zum Montageort und hygienischer Einbau.*
81 *Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasser-assoziierter Pseudomonas aeruginosa-Infektionen. Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene. Hyg Med 2016; 41 – Suppl. 2 DGKH*
82 *Empfehlung des Umweltbundesamtes Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser 2017*
83 *Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen-Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen. Abschlussbericht. DVGWFörderkennzeichen W6-02-09 + W6-02-09-ERW. 2014*
84 *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 2005: 49:693–696. DOI 10.1007/s00103-006-1294-8*
85 *Empfehlung des Umweltbundesamtes 2017. Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser.*
86 *WHO 2011: Guidelines for drinking-water quality - 4th ed. ISBN 978 92 4 154815 1*
87 *J Antimicrob Chemother 2013: 68: 2697–2700. doi:10.1093/jac/dkt288*
88 *Augmented Care: Pflege, bei der Patienten empfänglich für Infektionen sind auf Grund z.B. invasiver Eingriffe. Generell Patienten mit starker Immunsuppression*
89 *Journal of Hospital Infection 2015: 89, 4, 324-327. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2014.11.019*

NICHT-TUBERKULÖSE MYKOBAKTERIEN – NTM – DIE UNBEKANNTE GRÖSSE

Allgemeines, Ökologie

Nicht-tuberkulöse Mykobakterien (NTM) oder auch Atypische Mykobakterien genannt, sind Bakterien, die weit verbreitet in der aquatischen Umwelt anzutreffen sind.[90 91] Der Name NTM ist eine Sammelbezeichnung für alle Arten mit Ausschluss von *Mycobacterium tuberculosis/bovis*, dem Erreger der Tuberkulose. Von den bis heute bekannten ca. 150 Arten sind die meisten für den Menschen ungefährliche Umwelt-Bewohner von Boden und Wasser. Sie werden in zwei Gruppen unterschieden: die langsam wachsenden Arten wie *M.avium, M.intracellulare, M.kansasii, M.marinum, M.malmoense* und die schnell wachsenden Arten wie *M.abscessus, M.chelonae*. Einige Arten, insbesondere *M.avium, M.intrazellulare* oder *M.abscessus* können bei Mensch und Tier schwere Infektionen der Lunge und anderer Organe verursachen. Die schnell wachsenden NTM sind häufig assoziiert mit nosokomialen Infektionen. Hauptmerkmal der NTM ist die extrem hydrophobe lipidreiche äußere Zellmembran, die ein perfektes Anhaften an Kunststoffen ermöglicht.[92]

NTM sind gekennzeichnet durch eine sehr hohe Chlor- und Temperaturresistenz, die deutlich ausgeprägter sind als bei Legionellen. NTM sind die Pioniere bei der Bildung von Biofilmen, haften auf Grund ihrer stark hydrophoben Zellwand extrem gut und fest besonders auf Kunststoffen[93 94] und bilden so die Grundlage für einen Multispecies-Biofilm. Im Biofilm befindliche Zellen zeigen eine höhere Gesamtresistenz als planktonische Zellen. Ihre hohe Resistenz für Schwermetalle können sie sogar auf das gesamte Mikrobiom, in dem sie ein Teil sind, übertragen.[95] Sie bilden resistente VBNC Stadien aus[96] und besiedeln wie Legionellen Amöben. Im Gegensatz zu Legionellen vermehren sich NTM aber auch außerhalb von Einzellern, z.B. bei der Bildung von Biofilmen. Einige Arten bilden nach neueren Untersuchungen widerstandsfähige Sporen und überleben so sehr lange Zeiträume in der Umwelt.[97]

Ein erheblicher Prozentsatz von AIDS-Patienten entwickelt(e) tödlich verlaufende Infektionen durch NTM; eine Infektion aus der Umwelt bzw. erwärmtem Trinkwasser gilt als wahrscheinlich.[98]

Es bestehen aber noch Unsicherheiten bei der Abschätzung relevanter Infektionsquellen und wirksamer Präventionsmaßnahmen sowie der Bedeutung der NTM für die Allgemeinheit.

Mykobakterien werden in hohen Konzentrationen aus Torfsubstraten, Blumenerden, Oberflächenwässern und auch aus Trinkwässern in Haushalten, Apartments und Krankenhäusern isoliert.[100 101] Hohe Konzentrationen finden sich in küstennahen Brackwässern sowie einer Vielzahl von Sumpfgebieten weltweit.[102] Grundwässer sind in der Regel nicht oder nur gering besiedelt.

Im Verteilungssystem von Trinkwasser steigen die Konzentrationen von NTM vom Wasserwerk bis zu den Entnahmestellen im Haushalt stetig an. In Trinkwasser-Installationen von Gebäuden finden die NTM ideale Vermehrungsbedingungen und Möglichkeiten der Biofilmbildung auf Rohrwandungen und Speichern. Hohe Temperaturresistenz, Stagnationsresistenz sowie ihre hohe Neigung zur Adhärenz an Kunststoffmaterialien machen sie zu idealen Pionieren einer Besiedlung mit OPPPs. Besonders starke Besiedlungen finden sich in niedertemperierten Warmwassersystemen. Über vielfältige Aerosolbildung (Dusche, Armaturen, Befeuchtungsgeräte) und direkten Kontakt können sie auf den Menschen übertragen werden.

Allgegenwärtige Amöben in Trinkwassersystemen können hohe Konzentrationen von NTM enthalten, die dort gut persistieren und die Amöbe – vergleichbar mit Legionellen – als Vehikel für Schutz und Vermehrung nutzen. Amöben sind Schutzschild für NTM zum Überleben unter widrigen Umweltbedingungen.[103] Intrazelluläre Lagerung und Wachstum in Biofilmen erhöht die Virulenz der NTM.[104 105]

Pathogene NTM werden regelmäßig in Trinkwasser, Biofilm und Aerosolen in Haushalten von Patienten mit NTM-Infektionen nachgewiesen.[106] Umwelt-

Tabelle 8: Eigenschaften Nicht-Tuberkulöser-Mykobakterien - NTM

Pioniere der Biofilmbildung, hohe und stabile Anheftung an Oberflächen	Hydrophobe, undurchlässige Zellwand, extrem gute Adhärenz an Kunststoffen
bevorzugtes Wachstum in Trinkwasser-Installationen	stagnationsresistent, mikroaerophil
hohe Temperaturresistenz, Überleben bei >50°C	hohe Chlorresistenz
Aufkonzentrierung bei Aerosolbildung	einige Arten extrem langsam wachsend
höchste Konzentrationen distal, z.B. Duschköpfe	geringe Nährstoffansprüche
Ausbildung von VBNC Stadien	Wachstum durch Humin- und Fulvinsäuren begünstigt
säureresistent, magensaftresistent	Wachstum in Amöben
UV-resistent?	hohe Schwermetallresistenz einiger Arten[99]

und Patientenisolate zeigten sich als identisch beim DNA Fingerprinting.[107] Die Evidenz für Trinkwasser als Infektionsquelle war am größten bei *M.avium, M.abscessus, M.lentiflavum* und *M.kansasii*. Bei Untersuchungen in dänischen Pflegeheimen wurde eine hohe flächendeckende Besiedlung mit NTM festgestellt. Als Risikofaktoren wurden die Wassertemperatur und die Verwendung von Kunststoff (PEX) als Leitungsmaterial herausgestellt.[108] Häufige Besiedlungen (>70%) mit NTM werden in Italien in Krankenhäusern und Haushalten gefunden.[109] Lungenentzündungen durch *M.xenopi* konnten auf Leitungswasser als Quelle zurückgeführt werden.[110]

Man vermutet, dass durch globale Reise- und Handelstätigkeiten NTM weltweit verfrachtet werden. Bestimmte Arten und Stämme werden über diesen Weg praktisch in alle Regionen der Welt transportiert, werden dort endemisch und lösen Infektionen aus. Diese Übertragungsdynamik bedarf weiterer Aufklärung.[111]

NTM werden besonders häufig in komplexen Trinkwasser-Installationen,[112] z.B. von Krankenhäusern[113], isoliert, von wo sie über vielfältige Transmissionswege – nicht nur beim Duschen - auf den Menschen übertragen werden.[114] Die Nutzung von unsterilisiertem Leitungswasser zum Spülen von Medizinischem Gerät war ursächlich für Infektionen mit *M.xenopi* und *M.chelonae.* Jedes medizinische Instrument, das nach einer Desinfektion mit unsterilem Leitungswasser in Berührung kommt, kann mit NTM besiedelt werden und Infektionen verursachen (z.B. Bronchoskope, Laparoskope).[115] Normative Anforderungen umfassen bei der Aufbereitung dieser Produkte deshalb auch die Untersuchung auf NTM in den Prozesswässern.[116]

Eine hohe Anreicherung findet sich distal in Duschköpfen.[117] Die Übertragung auf den Menschen über Trinkwässer, z.B. beim Duschen, gilt als gesichert und wird durch eine Vielzahl von Untersuchungen bestätigt.[118 119 120]

„Singen in der Dusche wird nicht mehr das gleiche Gefühl sein. Beim Trällern Deiner Lieblingssongs hat ein Auditorium von fakultativen Krankheitserregern einen Logenplatz in Deinem Duschkopf."[121 122]

Die ökologischen Nischen für *M.avium* und *M.interazellulare* scheinen unterschiedlich zu sein.[123] *M.intrazellulare* findet sich selten im Wasserkörper, sondern vermehrt im Biofilm.[124] Für *M.intrazellulare* ist jedoch Boden/Blumenerde eine wichtige Infektionsquelle. Infektionen über Trinkwasser werden nicht beschrieben.[125 126] Kommerzielle Blumenerden weisen, vor allem wenn sie Torfsubstrate enthalten, sehr hohe Konzentrationen an NTM auf. Auch diese Quellen konnten als Ursache für Infektionen beim Menschen identifiziert werden.

Quellen für NTM:

// torfreiche Substrate

// natürliche Wässer (Sümpfe, Küstengewässer)

// Verdunstungskühlanlagen[127]

// Trinkwasserbehandlungsanlagen (Wasserwerke), Wasserwerkschlamm[128]

// Aktivkohlefilter[129]

// Trinkwassersystem:
- Duschköpfe
- Aerosole
- Abflüsse
- Warmwasserbereiter
- Warmwasserzirkulation
- Befeuchter
- Eismaschinen

// Abwasser-Reinigungs-Anlagen[130]

// Therapiebäder, Swimmingpools, Whirlpools[131]

// medizinisches Gerät:
- Katheter
- wässrige Lösungen
- Desinfektionsmittellösungen
- Wärme/Kältemaschinen
- Endoskope/Bronchoskope
- Heiz-/Kühlsysteme bei operativen Eingriffen

Erkrankungen durch NTM

NTM infizieren in erster Linie Personen mit prädisponierenden Faktoren wie hohes Alter, Immunschwäche oder zu Grunde liegenden chronischen Erkrankungen. Infektionen durch mehrere Stämme sind nicht selten, Reinfektionen mit dem gleichen Stamm oder anderen Arten häufig.

Am häufigsten werden bei ambulanten Infektionen beschrieben:

FUSSNOTEN

90 Pathogenic Mycobacteria in Water. A Guide to Public Health Consequences, Monitoring and Management. WHO 2004
91 Front. Med. 201: 4:27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027
92 Journal of Applied Microbiology 2009: 107 356–367. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04161.x
93 Semin Respir Crit Care Med. 2013: Feb; 34(1): 95-102. doi: 10.1055/s-0033-1333568
94 Emerg Infect Dis. 2011: Mar; 17(3): 419–424. doi: 10.3201/eid1703.101510
95 Environmental Microbiology Reports 2009: 1(6), 477–487 doi:10.1111/j.1758-2229.2009.00054.x
96 Tuberculosis (Edinb). 2005: May; 85(3): 147-58.
97 PNAS 2009: June 30, vol. 106 no. 26 10781-10786. doi: 10.1073/pnas.0904104106
98 The Lancet 1994: 343, No. 8906, p1137–1141. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(94)90239-9
99 Environmental Microbiology Reports 2009: 1(6), 477–487. doi:10.1111/j.1758-2229.2009.00054.x
100 Int J Mycobacteriol. 2015: Jun; 4(2): 81-91. doi: 10.1016/j.ijmyco.2015.03.002
101 J Water Health. 2017: Oct; 15(5): 766-774. doi: 10.2166/wh.2017.046
102 https://www.nationaljewish.org/getattachment/professionals/Newsletters/NTM-TB-Insights-Newsletter/NTM-TB-INSIGHTS-September-2015.pdf.aspx
103 Environ Sci Technol. 2014: Oct 21; 48(20): 11872-82. doi: 10.1021/es5036255.
104 Semin Respir Crit Care Med. 2013: Feb; 34(1): 95-102. doi: 10.1055/s-0033-1333568
105 Infect Immun. 1997: Sep; 65(9): 3759-67.
106 Tubercle. 1980: Mar; 61(1): 21-6.
107 Emerg Infect Dis 2011: 17: 419–424. DOI: 10.3201/eid1703.101510
108 Curr Microbiol. 2014: Apr; 68(4): 428-39. doi: 10.1007/s00284-013-0493-4
109 Front. Med. 2017: 4:27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027
110 J Hyg Epidemiol Microbiol Immunol. 1986: 30(4): 405-9.
111 Front. Med. 2017: 4:27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027
112 Ann Ist super sanità 2010: Vol. 46, no. 3: 54-258. DoI: 10.4415/Ann_10_03_05
113 International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017: 220 3 611-620. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.12.002
114 Biofouling 2013: 29:2, 147-162. DOI: 10.1080/08927014.2012.757308
115 THIEMEs Endoskopieassistenz. 2009: Uwe Gottschalk et al. ISBN: 9783131530912
116 DIN EN ISO 15883-4:2009-09.
117 PNAS 2009: 106 38 6393–16399. doi 10.1073pnas.0908446106.
118 Pathogens 2015: 4(2), 373-386. doi:10.3390/pathogens4020373
119 Ann Ist Super Sanita. 2010: 46(3): 254-8. DOI: 10.4415/ANN_10_03_05.
120 J Water Health. 2008: Jun; 6(2): 209-13. doi: 10.2166/wh.2008.032.
121 PNAS 2009: September 22, vol. 106 no. 38 16393-16399: doi:10.1073/pnas.0908446106
122 Emerg Infect Dis. 2011: Sep; 17(9): 1760–1761. doi: 10.3201/eid1709.101929
123 Appl Environ Microbiol. 2001: Mar; 67(3): 1225-31. DOI: 10.1128/AEM.67.3.1225-1231.2001
124 Appl. Environ. Microbiol. 2001: 67 3 1225-1231. doi: 10.1128/AEM.67.3.1225-1231.2001
125 Journal of Clinical Microbiology 2013: 51 9 3006–3011. doi:10.1128/JCM.00899-13.
126 Appl Environ Microbiol. 2006: Dec; 72(12): 7602–7606. doi: 10.1128/AEM.00930-06
127 APMIS. 2014: 122(4): 353-8. doi: 10.1111/apm.12153.
128 Antonie Van Leeuwenhoek. 2015: May; 107(5): 1165-79. doi: 10.1007/s10482-015-0408-4
129 Ann Am Thorac Soc. 2013: Aug; 10(4): 378-82. doi: 10.1513/AnnalsATS.201301-013FR
130 Folia Microbiologica 2015: 60 6 531-539. DOI: 10.1007/s12223-015-0396-9
131 Microchemical Journal 2014: 113 48-52. DOI: 10.1016/j.microc.2013.11.003

// Lungenerkrankungen

// chronische Nasen-Nebenhöhlenentzündungen

// Wund/Hautinfektionen (Granulome)

// Entzündungen der Lymphgefäße (Nacken) bei Kindern (Lymphadenitis)

Man schätzt die Zahl von NTM Patienten in den USA auf ca. 30.000 pro Jahr mit einer Steigerungsrate von 5-10%.

Während noch vor einigen Jahren Infektionen durch NTM besonders häufig bei AIDS-Patienten auftraten (> 50% der AIDS-Patienten hatten NTM-Infektionen durch *M.avium*), hat sich das Spektrum der Infizierten mit einer Dominanz von MAC deutlich verschoben.[132] Weltweite Erhebungen zur Häufigkeit von NTM Infektionen fehlen. Einige Berichte aus Kanada und Asien speziell für den *Mycobacterium avium complex* (MAC) geben Inzidenzen von 1-8/100.000 Personen an.[133] In vielen Regionen der Welt – Nord- und Südamerika, Afrika und Asien - nehmen die Infektionen durch NTM stark zu. Deshalb wird vermutet, dass Infektionen durch NTM weltweit ein ernsthaftes gesundheitliches Problem werden oder schon sind.[134] Die weltweite Zunahme von NTM des MAC-Komplexes wird als Hauptgrund für die Zunahme pulmonaler NTM Erkrankungen angesehen.[135]

Die Häufigkeit von durch NTM verursachten Lungenerkrankungen steigt weltweit auch in Gebieten mit niedriger Tuberkuloseinzidenz.[136] [137] In der Mehrzahl der Fälle werden die Infektionen durch den langsam wachsenden *M.avium-Komplex* (MAC) hervorgerufen, in geringerem Masse durch die schnell wachsenden NTM wie *M.abscessus*.[138] [139] Besonders bei Patienten mit Mukoviszidose nehmen Infektionen mit *M. abscessus* zu.[140] In den Niederlanden wird die Zunahme von Infektionen von Personen >40 Jahre auf eine deutliche Zunahme von Personen mit COPD zurückgeführt.[141]

Betroffen sind vorwiegend ältere Personen mit dieser chronischen Lungenerkrankung. Auch in Deutschland nehmen die Infektionen durch NTM, besonders bei älteren Personen mit COPD, kontinuierlich zu.[142] [143] Die häufigste Art in Deutschland ist *M.avium ssp. hominissuis*. Die Übertragungswege sind noch weitgehend unbekannt, aber Wasser wird in vielen Fällen als Infektionsquelle diskutiert. Neuere Untersuchungen zeigen, dass Böden und Stäube virulente Stämme von *M.avium ssp. hominissuis* enthalten können und als Infektionsquelle ebenfalls in Betracht gezogen werden müssen.[144]

Vor 1970 wurden die meisten Fälle von Lymphadenitis durch *M.scrofulaceum* verursacht, während heute die Mehrzahl der Fälle durch *M.avium* ausgelöst wird.[145]

Risikofaktoren für den Erwerb einer NTM-Infektion sind[146]:

// hohes Alter

// HIV Infektionen, besonders Stadium AIDS (auf Grund der therapeutischen Möglichkeiten deutlicher Rückgang)

// Immunsuppression bei Transplantation, Krebstherapie

// Anti TNF-α Rezeptor Therapie (rheumatoide Arthritis)

// Erbkrankheiten wie Zystische Fibrose (Mukoviszidose), α-1-Antitrypsin Mangel (Gewebeschäden an der Lunge und an der Leber)[147]

// reduzierte Lungenfunktion durch COPD (Chronisch obstruktive Lungenerkrankung), Bronchiektasie (irreversible Ausweitungen der Bronchien)

// besondere Berufsgruppen mit häufigem Kontakt zu Fischen/Meeresgetier/Aquarien

// größere, schlanke mittelalte Frauen und Männer ohne bekannte Risikofaktoren

Weitere Risikofaktoren sind Refluxerkrankungen (Aspiration). Jüngere Kinder können besonders in der Zahnungsphase eine zervikofaziale Lymphadenitis durch *M.avium* entwickeln. Jüngst wurden auch chronische Rhinosinusitiden auf NTM aus Trinkwasser in Haushalten zurückgeführt.[148]

Infektionen der Haut durch NTM, vorwiegend *M.marinum*, sind häufig assoziiert mit Arbeiten bei der Verarbeitung von Fischen oder mit Expositionen bei der Pflege von Aquarien. Die Erreger dringen hier durch kleine Wunden in den Körper ein (Fischtank oder Swimming pool Granulom).[149]

Auffällig ist die Steigerung von Infektionen durch NTM bei mittelalten schlanken, größeren weißen Frauen und Männern. Hier treten – ohne dass Risikofaktoren bekannt wären - bei ansonsten gesunden und fitten weißen Frauen nach der Menopause schwere Lungeninfektionen auf, die wegen ihres vor der Öffentlichkeit versteckten und unterdrückten Hustens als „Lady Windermere[150] Syndrom" bezeichnet wurden.[151] Untersuchungen aus Australien zeigen hier einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Trinkwasser (z.B. Duschen) und Infektionen durch *M.abscessus, M.avium* und *M.kansasii*. Umweltisolate und Patientenisolaten waren genomisch identisch. In Queensland sind Infektionen bei Personen älter als 65 durch NTM häufiger als Typ 1 Diabetes. Es wird vermutet, dass die Reduzierung der Warmwassertemperaturen in den Wohnhäusern ursächlich für das verstärkte Wachstum der NTM war.[152] [153] Auch bei Untersuchungen in Pennsylvanien erwiesen sich die Stämme bei 30 infizierten schlanken, großen Frauen als identisch mit den Stämmen aus dem Trinkwasser.[154]

Die Gründe für die weltweit beobachtete Zunahme von Infektionen durch

NTM sind noch nicht völlig verstanden. Zum einem wird mit Zunahme des Anteils älterer Personen und immunschwacher Personen in der Gesellschaft eine Erhöhung der Infektionsrate durch NTM aus der Umwelt immer wahrscheinlicher. Zum anderen tragen auch ein vermehrtes Bewusstsein und eine verbesserte Diagnostik zur Steigerung bei. Auch geänderte Umweltbedingungen (z.B. Interaktionen mit dem Wassermikrobiom, Selektion von *M.avium* durch Chlorung) begünstigen möglicherweise häufigere Expositionen und Infektionen.[155] Da durch die Desinfektion konkurrierende Organismen ausgeschaltet werden, die pathogenen NTM aber auf Grund ihrer hohen Chlorresistenz überleben, finden sie hier bessere Vermehrungsbedingungen. Niederländische Untersucher finden *M.avium* nur in gechlorten Wässern und machen die verbesserte Konkurrenzfähigkeit der hoch-chlorresistenten *M.avium* dafür verantwortlich.[156] Vergleichbare Ergebnisse zeigen amerikanische Studien zum Einsatz von Chloraminen zur Kontrolle von Legionellen. Chloramine reduzieren zwar die Konzentrationen der Legionellen, führen aber zu einer Erhöhung der Nachweise von NTM.[157] Die Dunkelziffer der Infektionen durch NTM dürfte weltweit sehr hoch sein.

Klinik und Therapie

Die Identifizierung dieser Organismen in der Lunge zeigt nicht immer eine aktive Infektion an. In der Regel müssen weitere diagnostische Mittel (Bildgebende Verfahren, Klinik) für eine Diagnose heran gezogen werden. Die Therapie ist ausgesprochen schwierig.[158] Lange Therapieintervalle (bis >12 Monate) mit wechselnden Antibiotikakombinationen aus der Tuberkulosetherapie sind häufig notwendig und verursachen oft schwere Nebenwirkungen. Unglücklicherweise sind Neu- bzw. Reinfektionen sehr häufig. Chirurgische Resektionen lokal infizierter Gewebe sind indiziert bei Therapieresistenz oder Abszessbildung.[159 160]

Infektionen im Krankenhaus[161]

Ein erhöhtes Infektionsrisiko im Krankenhaus besteht bei:

// Dialyse

// Nierentransplantation

// Knochenmarktransplantation

// Eingriffe am Herzen

// Patienten auf der Intensivtherapiestation

// Brustinfektionen nach Brustvergrößerung

// Infektionen der Lunge durch kontaminierte Bronchoskope

// Gelenkinfektionen durch NTM-kontaminierte Arthroskope

// Gelenkinfektionen nach Injektion von Steroiden

Besonders spektakulär waren postoperative Infektionen z.B. von künstlichen Herzklappen mit *M.chimaera*, die zu den *MAC (Mycobacterium avium Complex)* gehören, bei Patienten nach operativen Eingriffen am offenen Herzen.[162 163] Wegen der teilweise extrem langen Inkubationszeit von mehreren Jahren ist die Aufklärung der Infektionskette eine große Herausforderung.[164] 2015 und 2016 traten in etlichen Ländern (Schweiz, Niederlande, Deutschland, England, USA) schwere Infektionen bei Patienten nach Operationen am Herzen auf, die durch hohe Konzentrationen von *M.chimaera* in Wässern aus Kühl/Heizungsapparaten zur Stabilisierung der Körpertemperatur bei der Operation verursacht wurden.[165] Die Übertragung erfolgte offensichtlich durch Aerosole, die trotz Sterilluftversorgung ins Operationsfeld gelangten. Neuere Untersuchungen schätzen die Zahl der Infektionen auf 156-282 Fälle in 10 internationalen Herzkliniken.[166]

Hohe Besiedlungen mit *M.chimaera* konnten in Birmingham auch in Betriebswässern von Geräten zur extrakorporalen Sauerstoffzufuhr (ECMO) analysiert werden, die ein spezielles Management dieser Apparate notwendig machte.[167]

Weitere wasserbürtige Infektionen in Zusammenhang mit medizinischen Eingriffen waren z.B.: [168 169]

// **2013-2015:** 95 Fälle von *M.abscessus* Infektionen in einem Krankenhaus in North Carolina, verursacht durch Leitungswasser

FUSSNOTEN

132 Pathogens 2017: 6, 42. doi:10.3390/pathogens6030042
133 Biofouling 2013: 29:2, 147-162. DOI: 10.1080/08927014.2012.757308
134 International Journal of Mycobacteriology 2016: 5, 2, 244-247. DOI: 10.1016/j.ijmyco.2016.04.001
135 Front Med (Lausanne) 2017: Mar 7; 4: 27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027
136 Der Pneumologe2011: Vol. 8, No. 6. 396-400. DOI 10.1007/s10405-011-0483-9
137 Microbiol Spectrum 2016: 5(1): TNMI7-0024-2016. doi:10.1128/microbiolspec.TNMI7-0024-2016.
138 J Thorac Dis 2014: 6(3): 210-220. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2013.12.24
139 Microbiol Spectrum 2017: 5(1): TNMI7-0024-2016. doi:10.1128/microbiolspec.TNMI7-0024-2016.
140 Environmental Microbiology Reports 2009: 1(6), 477–487. doi:10.1111/j.1758-2229.2009.00054.x
141 The International Journal of Tuberculosis and Lung Disease 2010: Volume 14, Number 9 1176-1180(5)
142 BMC Infectious Diseases 2013: 13: 231. http://www.biomedcentral.com/1471-2334/13/231
143 Emerg Infect Dis. 2016: 22(6): 1102-1105. https://dx.doi.org/10.3201/eid2206.15164
144 Letters in Applied Microbiology 2014: 59, 65--70. doi:10.1111/lam.12243
145 Semin Respir Crit Care Med. 2013: Feb; 34(1): 95-102. doi: 10.1055/s-0033-1333568
146 J Thorac Dis. 2014: Mar; 6(3): 210–220. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2013.12.24
147 Pediatr Pulmonol. 2017: Nov; 52(S48): S29-S36. doi: 10.1002/ppul.23825
148 Emerg Infect Dis. 2012: 18(10): 1612-1617. https://dx.doi.org/10.3201/eid1810.120164
149 Der Pneumologe 2011: 8(6): 396-403. DOI 10.1007/s10405-011-0483-9
150 Gestalt aus einem Bühnenstück von Oscar Wilde, die ihren Bluthusten (TBC) hinter einem Fächer verbirgt.
151 The Southwest Respiratory and Critical Care Chronicles 2017: 5(20): 22–32. DOI: 10.12746/swrccc.v5i20.402
152 https://www.qut.edu.au/news/news?news-id=69439; Thomson et al. BMC Microbiology 2013, 13:89 Page 6 of 8. http://www.biomedcentral.com/1471-2180/13/89
153 http://www.brisbanetimes.com.au/queensland/brisbane-water-bacteria-linked-to-lung-disease-20140228-33r3z.html; Characteristics of Nontuberculous Mycobacteria from a Municipal Water Distribution System and Their Relevance to Human Infections. Rachel Thomson. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. Faculty of Health Queensland University of Technology 2013
154 https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiVtpiDrvLWAhUFLFAKHTLfBzkQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fwaterinstitute.unc.edu%2Ffiles%2F2015%2F06%2FEnvironmental-Sources-of-Nontuberculous-Mycobacteria.pptx&usg=AOvVaw01f-A6NrhXeM707tk8XEI3
155 Pathogens 2015: 4(2), 373-386. doi:10.3390/pathogens4020373
156 Microbial Growth in Drinking-Water Supplies. IWA Publishing London, New York 2014
157 Environ. Sci. Technol. 2017: 51, 7065−7075. DOI: 10.1021/acs.est.6b05616
158 J Thorac Dis. 2014: Mar; 6(3): 210–220. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2013.12.24
159 J Thorac Dis. 2014: Mar; 6(3): 210–220. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2013.12.24
160 Biofouling 2013: Vol. 29, No. 2, 147–162. http://dx.doi.org/10.1080/08927014.2012.757308
161 International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017: 220 3 611-620. DOI: 10.1016/j.ijheh.2016.12.002
162 Curr Environ Health Rep. 2016: Jun; 3(2): 161-7. doi: 10.1007/s40572-016-0086-z
163 Emerg Infect Dis. 2016: 22(6): 1008-1013. https://dx.doi.org/10.3201/eid2206.160045
164 https://www.cdc.gov/hai/pdfs/outbreaks/cdc-notice-heater-cooler-units-final-clean.pdf
165 Emerging Infectious Diseases 2017: Vol. 23, No. 5, May 2017
166 Emerging Infectious Diseases 2018: 24(3): 576-578. doi:10.3201/eid2403.171554
167 Infect Control Hosp Epidemiol 2017: 38: 1244-1246. DOI: 10.1017/ice.2017.163
168 Berger SA, 2017. Gideon Guide to Outbreaks. 1181 pages; 5170 tables; 47 454 references. Gideon e-books
169 http://www.ada.org/en/science-research/science-in-the-news/nontuberculosis-mycobacterial-infection-linked-to-pulpotomy-procedures

// **2014-2014:** 39 Fälle von *M.abscessus* Infektionen unter Transplantatempfängern in Kalifornien, verursacht durch eine Wasserquelle in der Umwelt

// **2014:** 15 Fälle von *M.abscessus* Infektionen in einem Krankenhaus in South Carolina durch Kontakt von medizinischem Equipment und Leitungswasser

// **2015:** 2 Fälle von *M.chelonae* Keratitis in Ohio durch eine kontaminierte Befeuchtungseinrichtung in einem Augen-Laser (LASIK)

// **2015:** 9 Fälle von *M.abscessus* bei Kindern nach einer Pulpotomie (Entfernung infizierter Kronenpulpa eines Zahns)

// **2016:** 58 (500?) Fälle von Wundinfektionen durch *M.abscessus* nach Pulpotomie bei Kindern in Kalifornien assoziiert mit kontaminiertem Wasser in einer Zahnarztpraxis.

Maßnahmen zur Reduktion von NTM

// Erhöhung der Warmwassertemperatur auf >55°C

// Reduktion von Partikeln und Nährstoffen

// regelmäßige Entfernung von Sedimenten/Ablagerungen in Speichern

// regelmäßige Reinigung und Desinfektion von Duschköpfen

// keine Befeuchter, vor allem keine Ultraschallbefeuchter

// bei chemischer Desinfektion mechanisches Zerreißen von Biofilmen essentiell (Spülen)

// Bakteriendichte „point of use" Filter

// Verzicht auf den Einsatz von Aktivkohlefiltern im Haushalt[170] [171]

// Hyperoxigenierung auf mehr als 21% Sauerstoff im Wasser

// Maßnahmen müssen Resistenz der VBNC Stadien berücksichtigen (Nachhaltigkeit)

// Auswirkung der Maßnahmen auf andere OPPP und resistente Stämme muss immer überprüft werden

// Bildung eines NTM resistenten Biofilms durch Modulation eines normalen Biofilms (z.B. mit *Methylobacterium*)

Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Reduzierung von NTM in Trinkwasser-Installationen ist die konstante Anhebung der Warmwassertemperatur auf Werte oberhalb von 55°C (siehe dazu Kapitel „Faktor Temperatur").

Die hohe Temperaturresistenz von NTM muss auch bei Überlegungen zur Reduzierung der Warmwassertemperaturen bei der Prävention von Legionellen berücksichtigt werden und eine Temperaturreduktion auch unter diesem Gesichtspunkt sorgsam abgewogen werden.

Viele Fragen bezüglich von NTM bleiben noch offen. Eine valide Risikobewertung ist vor allem in Deutschland zurzeit sehr schwer, wenn nicht gar unmöglich. In Deutschland liegen so gut wie keine Untersuchungen zum Vorkommen von NTM in Trinkwasser-Installationen vor. Nach den grundlegenden Analysen von Schulze-Röbbecke[172] [173] in der 90er Jahren sind NTM weitgehend in Vergessenheit geraten. Hier besteht erheblicher Nachholbedarf, insbesondere unter dem Aspekt einer ganzheitlichen Sichtweise des Mikrobioms von Trinkwasser in Gebäuden. Ein besseres Verständnis der Ökologie von NTM und ihrer Einbindung in das Mikrobiom Trinkwasser mit dem Ziel, ein für Menschen komfortables, aber für NTM unkomfortables Milieu zu schaffen, ist dringend notwendig.[174]

Internationale / Nationale Regelungen

Es gibt keine nationale oder internationale Regelungen. Lediglich in den USA ist *Mycobacterium avium* zusammen mit Legionellen in die Gruppe der mikrobiellen Kontaminanden der EPA aufgenommen worden (US EPA Microbial Contaminants - CCL 4[175]).

FAZIT

NTM – Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien – sind ubiquitär im Trinkwasser vorkommende hochresistente fakultative Krankheitserreger, die als Pioniere der Biofilmbildung gelten. Sie werden in Deutschland zurzeit aber noch nicht in eine Bewertung der Gesundheitsgefahren durch den Betrieb einer Trinkwasser-Installation einbezogen. International gelten sie jedoch als wichtiger Organismus für eine Auslösung wasserbürtiger Infektionen und werden in ihrer Bedeutung den Legionellen gleich gestellt. Die Infektionshäufigkeit – bei wahrscheinlich sehr hoher Dunkelziffer - nimmt in allen entwickelten Ländern zu. Dies verdeutlicht, dass der Überwachung und Kontrolle von NTM mehr Beachtung geschenkt werden muss, auch weil Spezies-basierende Kontroll-Maßnahmen möglicherweise das Wachstum von Desinfektions- und Temperaturresistenten NTM begünstigen. Wegen der hohen Krankheitslast und der gesicherten Übertragung aus dem Trinkwasser muss auch in Deutschland diesem Erreger erheblich mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden. Zurzeit ist hier eine Risikoabschätzung wegen fehlender Daten nicht möglich.

FUSSNOTEN

170 *Emerg Infect Dis. 2011: Mar; 17(3): 419–424. doi: 10.3201/eid1703.101510*
171 *J Clin Pathol. 1999 Aug;52(8):629. PMID: 10645237*
172 *Zentralbl Hyg Umweltmed. 1991: Sep; 192(2): 154-8*
173 *Tuber Lung Dis. 1992: Jun; 73(3): 141-4.*
174 *Front. Med. 2017: 4:27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027*
175 *US EPA Microbial Contaminants - CCL 4 Final CCL 4 Microbial Contaminants. https://www.epa.gov/ccl/microbial-contaminants-ccl-4*

LEGIONELLEN – SIE BRAUCHEN RUHE, WÄRME UND NAHRUNG

Am 14.Januar 1977 – vor mehr als 40 Jahren – gelang dem Mikrobiologen Joseph E. McDade vom CDC die Isolierung eines bis dahin unbekannten Bakteriums aus den Lungengeweben von Mitgliedern der American Legion of Philadelphia, die einer mysteriösen spektakulären Epidemie im Bellevue Stratford Hotel in Philadelphia im Juli 1976 zum Opfer gefallen waren.[176] Von den insgesamt 4000 älteren männlichen Teilnehmern erkrankten 189 an einer schweren Lungenentzündung. 29 Kriegsveteranen verstarben trotz aller Therapiemaßnahmen an den Folgen der Infektion.[177] Die Entdecker tauften das Bakterium auf den Namen *„Legionella pneumophila"*. Es war der Beginn einer Ära, die zunehmend die wesentliche Rolle der Gebäudetechnik für die Gesundheit der Nutzer deutlich macht.

Obwohl wir seit der Entdeckung unser Verständnis zur Epidemiologie und Übertragung der Legionellen stark verbessern konnten, verbleiben immer noch viele ungelöste Fragen, speziell zu Aspekten der Luft-Wasser-Übertragung, der Virulenz von Stämmen und der unterschiedlichen Lebensformen dieser Bakterien, z.B. VBNC Stadien, sowie zu Beurteilungskriterien für die Nachhaltigkeit von Bekämpfungsmaßnahmen. Es wird auch immer mehr deutlich, dass bei Legionellen die Herausforderung in der Prävention der Erkrankung besteht.

Eigenschaften und Ökologie

Legionellen sind gramnegative, stäbchenförmige, intrazellulär wachsende bewegliche Bakterien aus der Gruppe der Gammaproteobacteria. Bis heute sind mehr als 60 Arten (http://www.bacterio.net/legionella.html; https://www.dsmz.de) mit vielen Untergruppen bekannt. Legionellen kommen ubiquitär in allen Oberflächenwässern und vom Menschen gemachten Wassersystemen vor. Sie wachsen bevorzugt bei Temperaturen von 30-42°C und finden damit in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden optimale Wachstumsvoraussetzungen. Durch Wachstum in Biofilmen und insbesondere in einzelligen Lebewesen wie etlichen Arten von Amöben, Ziliaten, Schleimpilzen sind sie perfekt an Bedingungen mit geringem Nährstoffangebot angepasst. Im Gegensatz zu vielen anderen Bakterien werden sie von Amöben nicht verdaut, sondern nutzen die hohe Widerstandskraft des Einzellers als Schutzmechanismus und Ort der Vermehrung. Für eine Vermehrung sind Legionellen auf eine Interaktion mit Amöben angewiesen, eine Vermehrung außerhalb von Einzellern ist in der Natur die Ausnahme, wenn überhaupt möglich. Mehr als die Hälfte aller Arten sind pathogen für den Menschen. Die Mehrheit aller Infektionen in Europa, USA, Kanada und Japan werden durch *L.pneumophila* der Serogruppe 1 (Sg1) – Lp1 - hervorgerufen. Weitere häufige Serogruppen sind Sg 4 und Sg 6. Bei den *non-pneumophila* Arten sind am häufigsten *L.micdadei, L.longbeachae, L.dumoffii, L.jordanis* und *L.bozemanii. L.micdadei* gilt in Europa und USA als die Nummer 2 bei Infektionen.[178]

Methodisch bedingt könnte der Anteil von non-Lp1 jedoch deutlich unterschätzt werden. In anaerobem Milieu sind sie nicht vermehrungsfähig. Zum Wachstum auf künstlichen Nährböden benötigen sie spezielle Medien mit L-Cystein (schwefelhaltige Aminosäure) und Eisensalzen.

Typisch ist ein mindestens zweiphasiger Lebenszyklus (Abb.1), der durch eine relativ friedliche und sensible Vermehrungsform (replikative Form) und eine transmissive, aggressive, wi-

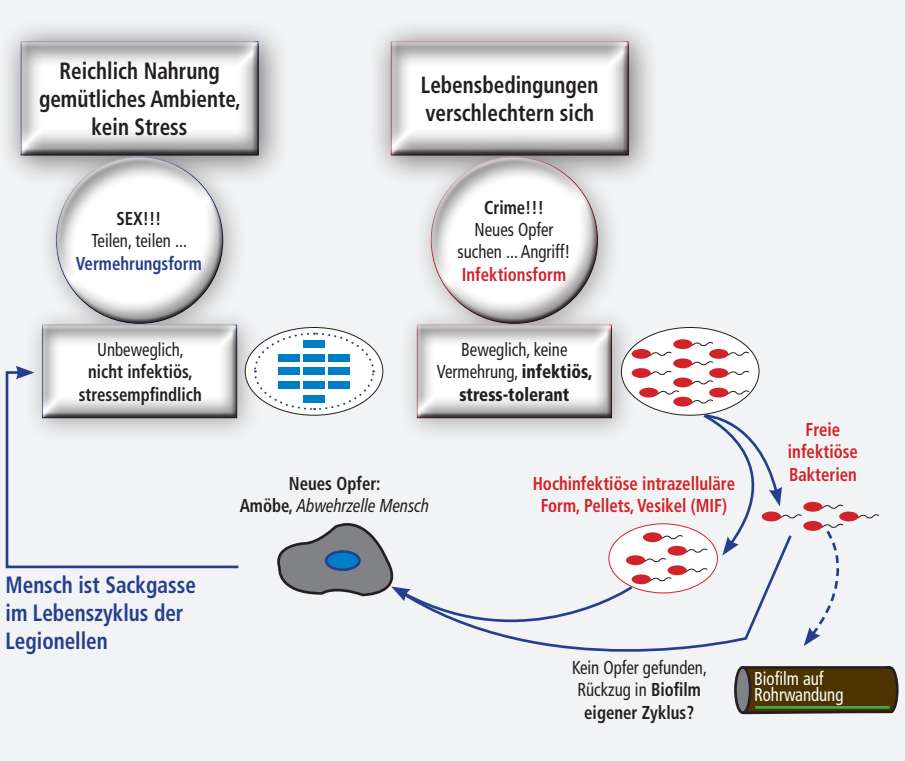

Abbildung 1: Vereinfachter Lebenszyklus von Legionellen innerhalb von Amöben. MIF=Mature Intracellular Form. In Anlehnung an[181]

derstandsfähige und infektiöse Lebensform innerhalb von Einzellern gekennzeichnet ist.[179] [180]

Legionellen benötigen für ihre Vermehrung die Interaktion mit einem Wirtsorganismus (Amöbe). Ob sie in der Lage sind, sich außerhalb, etwa in Biofilmen zu vermehren, wird diskutiert. Im Zyklus zwischen der friedlichen vermehrungsfähigen Form und der virulenten nicht mehr vermehrungsfähigen Infektionsform können menschliche Abwehrzellen, die Amöben ähneln, „versehentlich" infiziert werden. Für die Legionellen ist dies eine Sackgasse, da keine neuen Wirte mehr besiedelt werden können.[182]

Nicht dargestellt sind die (unterschiedlichen) VBNC Stadien, in die die Bakterien übergehen können (siehe dazu Kapitel VBNC). Es wird vermutet, dass der Wechsel von der Vermehrungsform in die Infektionsform durch Bedingungen im Lebensraum gesteuert wird, z.B. Temperatur, Nahrungsangebot. Nach Vermehrung und Differenzierung in die „transmissive" Form werden Legionellen aus der Wirtszelle entlassen und sind dann in der Lage, den nächsten Wirt zu infizieren. Gelingt dies nicht in kurzer Zeit, gehen Legionellen in das VBNC-Stadium über. Dieser Übergang ist nur in der Umwelt möglich.

Für den Infektionsweg besonders bedeutsam ist die hochinfektiöse intrazelluläre Form (MIF, Abb.1), mit der eine Vielzahl virulenter Legionellen in Vesikeln über weite Strecken aerogen verfrachtet werden können. Die Größe der Vesikel beträgt 1-10 µm. Sie enthalten mehr als 100 Bakterien, sind mechanisch belastbar und resistent gegen Austrocknen. Legionellen bleiben innerhalb eines Vesikels lange Zeit lebensfähig. In der Umwelt stehen Legionellen unter einem starken Selektionsdruck, in die hochinfektiöse MIF über zu gehen. MIFs werden dann in komplexe infektiöse Partikel (pellets) gepackt.

Die unterschiedlichen Lebensformen stellen stark unterschiedliche Risiken für eine Infektion des Menschen dar, werden aber bei einer Risikoabschätzung noch nicht berücksichtigt.[183]

Die enge Beziehung zu Einzellern wird unsere Sichtweise bei der Beurteilung von Desinfektionsmaßnahmen und auch die Anforderungen an die Betriebsführung von Trinkwassersystemen verändern. So kann z.B. unter Stagnationsbedingungen ein Wechsel von der replikativen in die infektiöse Form stattfinden und bei gleichbleibender Erregerkonzentration dadurch die Risiken für den Nutzer erhöht werden.

Neuere Untersuchungen weisen darauf hin, dass auch spezielle Pilze Legionellen in ihren resistenten Sporen beherbergen und schützen.[184]

Lauwarme Wassertemperaturen und ausreichend Nahrung ermöglichen Legionellen Wachstum im Trinkwasser. Bei Bezug eines biologisch stabilen kommunalen Wassers sind die Nährstoffe für ein Wachstum oft nicht ausreichend. Diesen Nahrungsengpass überwinden Legionellen durch intrazelluläres Wachstum in Amöben und anderen Einzellern und überleben so in Wasser und Boden. Die Assoziation mit Amöben findet insbesondere bei erhöhten Temperaturen statt. Intrazelluläre Legionellen besitzen offensichtlich auch eine höhere Virulenz, sind resistenter gegen Austrocknung, Desinfektionsmittel und hohe Temperaturen. Geschützt im Inneren der Amöbe oder von widerstandsfähigen Zysten (Vesikel) können dann die Legionellen ins Aerosol übergehen und in die Lunge des Menschen gelangen.[185] Es wird vermutet, dass die Interaktion von Legionellen mit Biofilm und Einzellern auf Oberflächen des Trinkwassersystems besonders widerstandsfähige und infektiöse Stämme selektiert.

Legionella longbeachae[186] - das schwarze Schaf der Legionellen

L.longbeachae, ein Bewohner von Böden, Erden und Substraten ist in Australien und Neuseeland für die Mehrzahl der Erkrankungen durch Legionellen verantwortlich. Anders als bei *L.pneumophila* erfolgt die Infektion nicht über aerolisiertes Wasser, sondern über Staubaerosole aus Böden und Komposten, z.B. beim Gärtnern/Arbeiten im Garten. In Australien wurden in ca. 50% der Blumenerden *L.longbeachae* nachgewiesen. Nachweise im Wasser gelingen nur selten. Auch in Quebec, Kanada, werden zwei Infektionen von Arbeitern in einem Recyclingbetrieb für Metalle beschrieben, die sich auf Boden als Quelle zurückführen ließen.[187]

Aber auch in Europa nehmen Infektionen durch *L.longbeachae* zu. Sie sind u.U. durch Methoden (z.B. Urin-Antigentest), die vorwiegend Lp1 nachweisen, möglicherweise übersehen worden, so dass das ganze Ausmaß der Infektionen noch unklar ist und erst langsam durch Nutzung molekularbiologischer Methoden zu Tage tritt.[188] Über Infektionen wird in Europa z.B. in England und Schottland berichtet. Hier traten seit 2008 ca. 30 Fälle auf.[189] 2013 gab es 6 bestätigte Fälle in Schottland. Bei allen handelte es sich um Amateur-Gärtner mit häufigem Kontakt zu Gartenerden.[190] [191]

Auch ein wasserbürtiger Ausbruch, der auf ein industrielles Rückkühlwerk in Neuseeland zurückgeführt wurde, könnte durch *L.longbeachae* parallel mit Lp1 verursacht worden sein. In Südafrika wurde in nicht pasteurisier-

FUSSNOTEN

176 N Engl J Med 1977; 297:1197-1203. DOI: 10.1056/NEJM197712012972202
177 N Engl J Med 1977: 297:1189-1197. DOI: 10.1056/NEJM197712012972201
178 J Appl Microbiol. 2009: Aug; 107(2): 368-78. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04208.x
179 FEBS Letters 2016: 590 3868–3886. doi:10.1002/1873-3468.12326
180 Front Cell Infect Microbiol. 2018 Jan 19;8:3. doi: 10.3389/fcimb.2018.00003.
181 Molecular Microbiology 2004: 53 (1), 29–40. doi:10.1111/j.1365-2958.2004.04129.x
182 Front. Cell. Infect. Microbiol. 2017: 7:477. doi: 10.3389/fcimb.2017.00477
183 Clin Microbiol Rev. 2010: Apr; 23(2): 274–298. doi: 10.1128/CMR.00052-09
184 American Journal of Infection Control 2016: 44 9 Supplement: S S138-S143
185 Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks. Steven L. Percival, Marylynn V. Yates, David Williams, Rachel Chalmers, Nicholas Gray. Academic Press, 08.11.2013
186 Emerg Infect Dis. 2011: Apr; 17(4): 579–583. doi: 10.3201/eid1704.100446
187 Ann Work Expo Health. 2018: Jan 3. doi: 10.1093/annweh/wxx109
188 Perspectives in Public Health 2015: 309 Vol 135 No 6. https://doi.org/10.1177/1757913915611162
189 Emerg Infect Dis. 2011: 17(4): 579–583. doi: 10.3201/eid1704.100446
190 Euro Surveill. 2013: Dec 12; 18(50): 20656. PubMed PMID: 24342515.
191 Epidemiol Infect. 2017: Aug; 145(11): 2382-2389. doi: 10.1017/S0950268817001170.

tem Wasser aus Sammeltanks von Regenwasser *L.longbeachae* als vorherrschende Art isoliert.[192]

Infektionsweg, Übertragungsmodus

Die Legionellose ist das klassische Beispiel einer umweltbedingten Infektion. Eine Übertragung von Mensch zu Mensch ist sehr unwahrscheinlich. In der neueren Literatur wird nur ein Fall als Folge extrem nahen Körperkontaktes bei der Pflege eines Angehörigen beschrieben.[193]

Inhalation von Aerosolen

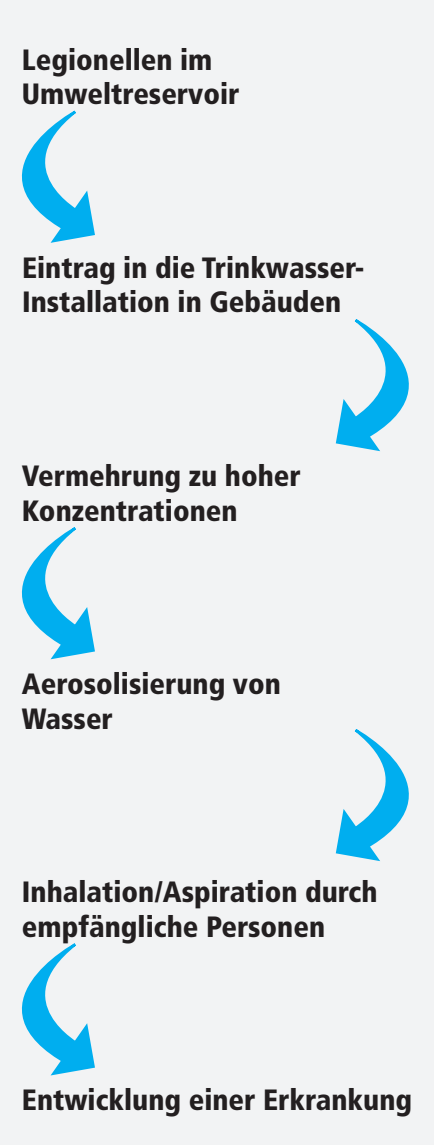

Abbildung 2: Infektionskette einer Infektion durch Legionellen aus dem Trinkwasser

Als Hauptübertragungsmodus für eine Infektion durch Legionellen wird bei ambulanten Fällen eine Inhalation bakterienhaltiger Aerosole (5-10 µm) aus dem technischen Umfeld des Menschen tief in die Lunge angesehen.

Bis heute konnte keine Konzentration / Anzahl von Legionellen im Trinkwasser /Aerosol definiert werden, die zur Auslösung einer Erkrankung führt. Dass die Etablierung eines medizinisch abgeleiteten Grenzwertes prinzipiell quasi unmöglich ist, lässt sich unschwer aus Abb.3 erkennen. In einigen Publikationen werden Konzentrationen von 1.000-10.000 KBE/100 ml als Größenordnung für eine mögliche Gefährdung angesehen.[194] Große Unterschiede lassen sich auch bei Analysen von Ausbrüchen finden: Ausbrüche mit Beziehung zu Rückkühlwerken waren in der Regel immer assoziiert mit hohen Konzentrationen an Legionellen – 100.000 KBE/100 ml oder mehr. In Wassersystemen lagen bei Ausbrüchen die Konzentrationen zwischen 1.000 und 150.000/100 ml.[195] Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Bestimmung der Kontamination immer retrograd erfolgte.

Modelle zur Ermittlung einer Infektionsdosis durch Legionellen kommen zu sehr unterschiedlichen Werten und zeigen große Diskrepanzen je nach verwendeter Methode (Kultur, Molekularbiologie). Dies macht die Etablierung eines QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) schwierig, wenn nicht unmöglich. Laborexperimente mit Meerschweinchen weisen eine erhebliche Spannbreite von 1.200 bis 1.000.000 KBE auf. Andere Autoren beschreiben Infektionen schon bei sehr geringen Konzentrationen im Tiermodell.[196] QMRA Modelle aus Ausbrüchen kommen zu Werten zwischen 1-50 KBE. Verbesserungen dieser Situation sind prinzipiell schwierig wegen des multifaktoriellen Geschehens: ausgeprägte Virulenzunterschiede bei einzelnen Stämmen, Einfluss von Einzellern und von Umweltfaktoren wie der Temperatur[197] sowie der Empfänglichkeit des Infizierten.[198] [199] Amöben können bei 22-40°C Wassertemperatur Vesikel in lungengängiger Form freisetzen, die mehr als 800 Legionellen enthalten können. Ein einzelnes Vesikel kann so eine Infektion auslösen. Auch dieses Phänomen wird durch Kultur-basierte QMRA-Modelle nicht abgebildet und führt möglicherweise zu einer deutlichen Unterschätzung des Infektionsrisikos.[200]

Der Verfasser hat große Zweifel, ob für wasserbürtige Krankheitserreger mit einer Vielzahl infektionsrelevanter Faktoren ein QMRA überhaupt ein sinnvolles Instrument innerhalb einer Risikoanalyse sein kann. Diese Sicht wird auch in einem gerade publizierten Kommetar vertreten.[201]

Aspiration

Besonders im Krankenhaus und bei bettlägerigen Patienten oder bei Patienten nach bestimmten chirurgischen Eingriffen (z.B. Hals-Kehlkopf) gelangen Legionellen durch Aspiration oder Mikroaspiration („Etwas in die falsche Röhre bekommen", sich verschlucken) in die Lunge des Menschen und lösen dort eine Erkrankung aus.[202]

Dieser Übertragungsmodus muss in Krankenhäusern und auch Altenheimen/Pflegeheimen oder allgemein bei bettlägerigen Personen[203] als wichtigster Faktor angesehen werden. Das bedeutet, dass Schutzmaßnahmen in diesen Bereichen deutlich ausgeweitet werden müssen. Eine Fokussierung etwa auf Duschen ist hier nicht zielführend. Alle Nutzungen von Trinkwasser sind relevant.

Die Bedeutung der Aspiration für eine Übertragung von Legionellen wird offensichtlich stark unterschätzt. Dieser Aspekt muss bei der Erstellung zukünftiger Strategien dringend mehr Berücksichtigung finden, allein schon deshalb weil sich die Grenzen zwischen Krankenhaus und häuslichem Umfeld zu-

nehmend verwischen (Zunahme häuslicher Pflege).

Erkrankungen

„Legionärskrankheit" (LD) ist der Trivialname für eine schwere durch Legionellen ausgelöste Erkrankung – die Pneumonie. Daneben kann das Bakterium eine Erkrankung mit grippeähnlichem Verlauf verursachen – das Pontiac-Fieber. Mit hoher Wahrscheinlichkeit bestehen zwischen den beiden klinischen Bildern fließende Übergänge. Die Legionärskrankheit gilt weithin immer noch als seltene Infektionskrankheit, aber das wirkliche Ausmaß ist weltweit nur unzureichend bekannt. In vielen Ländern stehen keinerlei validen Daten zur Verfügung. Der Großteil der Fälle bleibt unentdeckt. Möglicherweise lässt sich die Situation zukünftig durch routinemäßige Verwendung molekularbiologischer Methoden und eine gesteigerte Surveillance verbessern.[204]

Weltweit wird in den letzten 10 Jahren von einer Zunahme der Häufigkeit von Legionellenpneumonien (LD) berichtet, wobei man immer noch davon ausgehen muss, dass insbesondere Fälle ambulant erworbener Legionellosen sehr selten entdeckt werden.[205] [206] Die Gründe für die trotz vieler präventiver Maßnahmen und der Erstellung von Richtlinien beobachteten Zunahme der Infektionen sind weitgehend unklar. Bessere Untersuchungstechniken, verstärkte Aufmerksamkeit, Zunahme von Bevölkerungsgruppen mit verminderter Abwehrkraft oder auch eine Zunahme der Klimatisierung von Gebäuden und das Vorhandensein noch unbekannter Reservoire werden diskutiert.[207] Erschwerend bei der Beurteilung ist die Ableitung von Trends allein aus den gemeldeten/erkannten Infektionen und die ausschließliche Betrachtung nur der schweren Verlaufsform, der Pneumonie, während die Fälle von Pontiacfieber, Übergangsformen und nicht Krankenhauspflichtigen Erkrankungen unberücksichtigt bleiben.[208]
Schätzungen in den USA gehen von 56.000 bis 113.000 Fällen der LD aus, von denen die weitaus größte Zahl nicht erkannt wird. Weltweit ist eine ganz erhebliche Untererfassung der Infektionen zu verzeichnen. Eine korrekte Diagnose der LD dürfte nur bei 10% oder weniger der wirklich auftretenden Fälle gestellt werden. In Studien aus den USA wird die Todesrate der LD bei nosokomialen Fällen mit 38-53%, bei ambulant erworbener LD mit 20% angegeben.[209]

Die Legionellose ist nach Erhebungen des Centers for Disease Control (CDC, USA) die häufigste Form einer wasserbürtigen Infektion. [210]

Auch das CDC hat keine wirkliche Erklärung für die über Jahre verzeichnete graduelle Zunahme der (gemeldeten) Infektionen. Legionellen scheinen sich nicht in Richtung auf eine höhere Übertragbarkeit verändert zu haben. Ein Artefakt der Beobachtung wird für möglich gehalten, das durch ein gesteigertes Bewusstsein und vermehrte Meldungen und verbesserte Nachweismethoden hervor gerufen werden könnte. Auch eine reale Zunahme verursacht durch Änderungen der Altersstruktur, klimatische Veränderungen und die Einbeziehung von epidemischen Verläufen wird nicht ausgeschlossen.[211] Es mehren sich deswegen auch in den USA die Stimmen, die eine Primärprävention und proaktive Untersuchungen für eine bessere Beurteilbarkeit der Situation für notwendig halten.[212]

Französische Untersucher finden keine Abnahme der LD in den letzten Jahren trotz aller eingeleiteten Maßnahmen. Allerdings verhinderten vermehrte Untersuchungen und die Erstellung von etlichen Richtlinien das Auftreten epidemischer Verläufe. Intensivierte Analysen der räumlichen und zeitlichen Verteilung der Erkrankungen werden ebenso für notwendig erachtet wie Forschungen zum Einfluss von Umweltfaktoren, Expositionsquellen, Stammunterschieden und der Immunlage des Menschen.[213] Unerklärt bleibt zurzeit auch der sprunghafte Anstieg von gemeldeten Legionellosen in der Schweiz.[214] Mit einer Taskforce will der Schweizer Bund die (mögliche) Epidemie stoppen.[215] Erhöhte Meldungen von Legionellosen werden 2018 ebenfalls aus Österreich berichtet.[216]

Legionärskrankheit in Deutschland

Das RKI führt aus, dass die im Rahmen der Meldeplicht erfassten Fälle nur einen Bruchteil der tatsächlichen Erkrankungen repräsentieren. Es ist von einer erheblichen Untererfassung auszugehen, da bei einer Pneumonie nicht immer eine spezifische Legionellen-Diagnostik veranlasst wird und das klinische Bild allein keine Rückschlüsse auf den ursächlichen Erreger der Pneumonie zulässt. Nach Schätzungen des Kompetenznetzwerkes für ambulant erworbene Pneumonien (CAPNETZ) geht man für Deutschland bei ca. 700-900 dem RKI gemeldeten Fällen real von jährlich etwa 15.000 bis 30.000 Erkrankungen (Inzidenz ca. 4% der Pneumonien) aus.[217] [218]

FUSSNOTEN

192 *Legionella Species Persistence Mechanisms in Treated Harvested Rainwater. Penelope Heather Dobrowsky. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Stellenbosch. Department of Microbiology. Faculty of Science March 2017*
193 *N Engl J Med 2016: 374:497-498 February 4, 2016. DOI: 10.1056/NEJMc1505356*
194 *Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks. Steven L. Percival, Marylynn V. Yates, David Williams, Rachel Chalmers, Nicholas Gray. Academic Press, 08.11.2013*
195 *J Occup Environ Hyg. 2017: Feb; 14(2): 124-134. doi: 10.1080/15459624.2016.1229481.*
196 *Risk Analysis 2007: Vol. 27, No. 6. DOI: 10.1111/j.1539-6924.2007.00990.x*
197 *Letters in Applied Microbiology 2011: 53, 217–224. DOI: 10.1111/j.1472-765X.2011.03072.x*
198 *Front Microbiol. 2014: 5: 501. doi: 10.3389/fmicb.2014.00501*
199 *Building and Environment Volume 2017: 123, October, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.024*
200 *Expo Health 2017. DOI 10.1007/s12403-017-0255-9*
201 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2018, 15, 1150; doi:10.3390/ijerph15061150*
202 *Cleve Clin J Med. 2001: Apr; 68(4): 318-22. PMID: 11326811*
203 *Respir Care. 2005: Jun; 50(6): 725-39. PMID: 15913465*
204 *Clin Microbiol Rev. 2002: Jul; 15(3): 506–526. doi: 10.1128/CMR.15.3.506-526.2002*
205 *Front Microbiol. 2014: 5: 501. doi: 10.3389/fmicb.2014.00501*
206 *Curr Opin Infect Dis 2018, 31:000–000. DOI:10.1097/QCO.0000000000000468*
207 *J Public Health Manag Pract. 2015: Sep; 21(5): E17–E26. doi: 10.1097/PHH.0000000000000123*
208 *Lancet 2016: 387: 376–85. DOI:10.1016/S0140-6736(15)60078-2*
209 *Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2017: 16: 59. doi: 10.1186/s12941-017-0229-6*
210 *JAMA. 2017: 318(24): 2420. doi:10.1001/jama.2017.19202*
211 *https://www.ahcmedia.com/articles/136353-as-legionella-infections-surge-cdc-revises-healthcare-guidance*
212 *Emerging Infectious Diseases 2017: Vol. 23, No. 11. DOI: https://doi.org/10.3201/eid2311.171429*
213 *Médecine et maladies infectieuses 2015: 45 65–71. http://dx.doi.org/10.1016/j.medmal.2015.01.015*
214 *https://www.shn.ch/region/kanton/2018-01-31/toedliche-lungenkrankheit-auf-dem-vormarsch*
215 *https://www.blick.ch/news/schweiz/bund-gibt-zu-wir-haben-die-lage-nicht-mehr-im-griff-lungenkrankheit-breitet-sich-in-der-schweiz-aus-id7902027.html*
216 *http://noe.orf.at/news/stories/2897268/; https://www.ages.at/themen/krankheitserreger/legionellen/*
217 *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung–Gesundheitsschutz 2011: 54 (6), 688–692*
218 *http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2015/13/Art_01.html;jsessionid=AA98C8C23A6EBCE7E1978DAAE46E-AA22.2_cid298*

Ein überraschendes Ergebnis der CAPNETZ-Studie zur Häufigkeit von Legionellosen in Deutschland war der große Unterschied zwischen hospitalisierten und ambulant betreuten Legionellosepatienten. Ältere Männer mit chronischen Erkrankungen waren in der Studie bei hospitalisierten Patienten die am meisten betroffene Gruppe. Demgegenüber waren die ambulanten Patienten jünger, zeigten eine ausgeglichene Geschlechtsverteilung und einen unkomplizierten klinischen Verlauf ohne Todesfälle. Insgesamt spricht dies dafür, dass Legionellenpneumonien nicht immer schwer verlaufen und die Übergänge zur nicht-pneumonischen Form der Legionellose fließend sind. [219]

Krankheitsbild

Die Legionellose unterteilt sich in klinisch völlig unterschiedliche Verlaufsformen:

1. **Legionärskrankheit (LD)** = schwere atypische Lungentzündung mit hoher Todesrate

2. **Pontiac-Fieber** = leichte Verlaufsform mit grippeähnlichen Symptomen, benannt nach einem Ausbruch in einem Gesundheitsamt in Pontiac, Michigan, 1968.

3. In seltenen Fällen **Wundinfektionen** (z.B. Sternalwunden) oder auch Sepsis

Erkrankungen durch Legionellen sind in vielen Ländern meldepflichtig, so auch in Deutschland, wo der Erregernachweis im Zusammenhang mit einer Infektion an das RKI gemeldet werden muss.[220]

Zurzeit gibt es keinen Konsens darüber, welche Faktoren zur schweren Verlaufsform (Lungenentzündung) oder leichten Verlaufsform (Pontiac Fieber) führen.[221] Etliche Berichte zeigen, dass beide Formen bei Ausbrüchen parallel auftreten können. Es wird vermutet, dass Pontiac Fieber durch einzelne oder auch abgestorbene / im VBNC Stadium befindliche Legionellen verursacht wird oder eine bessere Immunlage des Infizierten den leichten Verlauf ermöglicht, die Pneumonie dagegen durch Eindringen intrazellulärer Erreger (Amöbe) in die Lunge hervorgerufen wird (small particles-large particles Theorie, Lück, Dresden). [222]

Für eine Übertragung durch Amöbenpartikel bei der LD spricht weiterhin, dass intrazellulär gewachsene Legionellen virulenter sind. Die intrazelluläre Lebensweise erschwert eine Korrelation zwischen Legionellenzahl (KBE) im Wasser und einem Infektionsrisiko (Dosis-Wirkungsparadox)[223]. Legionellenhaltige Partikel werden, besonders von Kühltürmen oder Belüftungsbecken von Kläranlagen ausgehend, offensichtlich bis zu mehreren Kilometern weit verfrachtet.

Faktoren für den Erwerb einer Legionellose

Die Auslösung einer Erkrankung nach einer Infektion mit Legionellen wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt, deren jeweiligen Anteile nur schwer abschätzbar sind. Zurzeit findet eine Risikobewertung fast ausschließlich nur durch die Anzahl der Legionellen im Trinkwasser statt (siehe dazu auch nationale/internationale Regelungen Tab.14). Die Virulenz der Stämme (mAb, SBT) oder auch intrazelluläre Lagerung werden nicht ausreichend berücksichtigt. Dies muss in Zukunft dringend geändert werden, da durch eine Vielzahl neuerer Untersuchungen deutlich wird, dass die Virulenz einzelner Stämme möglicherweise entscheidender ist als die Anzahl der Organismen, die ohnehin in der Regel nur durch kulturelle Methoden dargestellt wird.

Tabelle 9: Symptome/Kennzeichen bei beiden Verlaufsformen der Legionellose

Legionellen-Pneumonie (LD)	Pontiac Fieber
Inkubationszeit 2-10 (21) Tage	Inkubationszeit 1-2 (5) Tage
geringe Befallsrate (Risikofaktoren)	extrem hohe Befallsraten (>90%)
Inzidenz 1-4% aller Pneumonien	Inzidenz unbekannt, bis >1000x LD?
ganz plötzlicher Beginn der Erkrankung	keine Risikofaktoren bekannt
Anfangsphase mit Unwohlsein, Schlappheit, Kopf- und Gliederschmerzen	befällt vorwiegend Jüngere (30-40 Jahre)
Fieber bis zu 40°C, Schüttelfrost	grippeähnlichen Beschwerden wie Fieber, Halsschmerzen, Schwindel, Kopf- und Gliederschmerzen
trockener Reizhusten, Brustschmerzen und Atemnot	keine Lungenentzündung
schnell fortschreitende Lungenentzündung	keine Behandlung notwendig
Bauchschmerzen mit Durchfall und Erbrechen	vollständige Erholung innerhalb weniger Tage
neurologische Ausfälle (schwere Verwirrtheitszustände)	wird extrem selten, meist nur bei Ausbrüchen entdeckt
Komplikationen: • Versagen der Atmung • akutes Nierenversagen • Endokarditis • Sepsis / septischer Schock	Erkrankung durch einzelne Bakterien / Zellwandbestandteile/VBNC Stadien verursacht (small particles)?
hohe Todesrate	
unter geeigneter Therapie Besserung innerhalb einiger Tage	
langanhaltende Spätfolgen	
Infektion durch intrazelluläre Legionellen (large particles)?	

Ob an den Auslassstellen, wo Legionellen aerosolisiert und auf den Menschen übertragen werden können, überhaupt konstante Verhältnisse herrschen, muss bezweifelt werden. Die Betrachtungen berücksichtigen nicht kurzfristig auftretende Ereignisse, wie z.B. die Ablösung von Biofilmteilen (mit inkorporierten Legionellen) nach einem Druckstoß oder Leitungsbruch.[224] Bei voluminösen Biofilmen kann es so zu kurzzeitigen starken Erhöhungen der aufgenommenen Bakterienmenge (sloughing) kommen. Voraussetzung ist auch hier, dass im System günstige Wachstumsbedingungen für Biofilme/Legionellen vorliegen. Reparaturarbeiten am häuslichen Trinkwassersystem gelten als signifikanter Risikofaktor für eine Übertragung von Legionellen.[225]

Ein ganz wesentlicher Faktor – die Immunlage des Menschen – ist bei einer Risikoanalyse außerhalb des Krankenhauses nur sehr schwer zu fassen, ist aber neben der Virulenz der Stämme der wichtigste Risikofaktor für die Entwicklung einer Erkrankung. Bei hoch–immunsupprimierten Patienten (z.B. Zustand nach Transplantation) ist er der einzige Faktor, der darüber entscheidet, ob ein Kontakt mit Legionellen zu einer Erkrankung führt. Deswegen sind bei diesen Personen immer besondere Maßnahmen zur Abschirmung gegenüber Trinkwasser in jeder Form auf präventiver Basis unerlässlich, z.B. der Einbau von bakteriendichten Point-of-Use-Filtern.[226]

Typische allgemeine Risikofaktoren sind männliches Geschlecht, Alter >50 und chronische Erkrankungen wie COPD (Tab.10).

Das multifaktorielle Geschehen (Abb.3) macht deutlich, dass die zurzeit gemäß TrinkwV vorgenommenen Gefährdungsanalysen, die bei ambulanten Infektionen weitgehend nur die Anzahl der Legionellen im Trinkwasser berücksichtigen, unscharf bleiben müssen und kein reales Bild der Gesundheitsgefährdung erbringen. Sie müssen auf jeden Fall im Krankenhaus immer durch Patienten-basierte Risikoanalysen ergänzt werden. Hier werden sich in der Zukunft mit verfeinerter Analytik hoffentlich verbesserte Konzepte für eine fokussiertere Risikobetrachtung ergeben.

Diagnostik klinische Fälle

Vom RKI wurde eine Falldefinition für die Legionärskrankheit entwickelt, die bei der Beurteilung zwingend beachtet

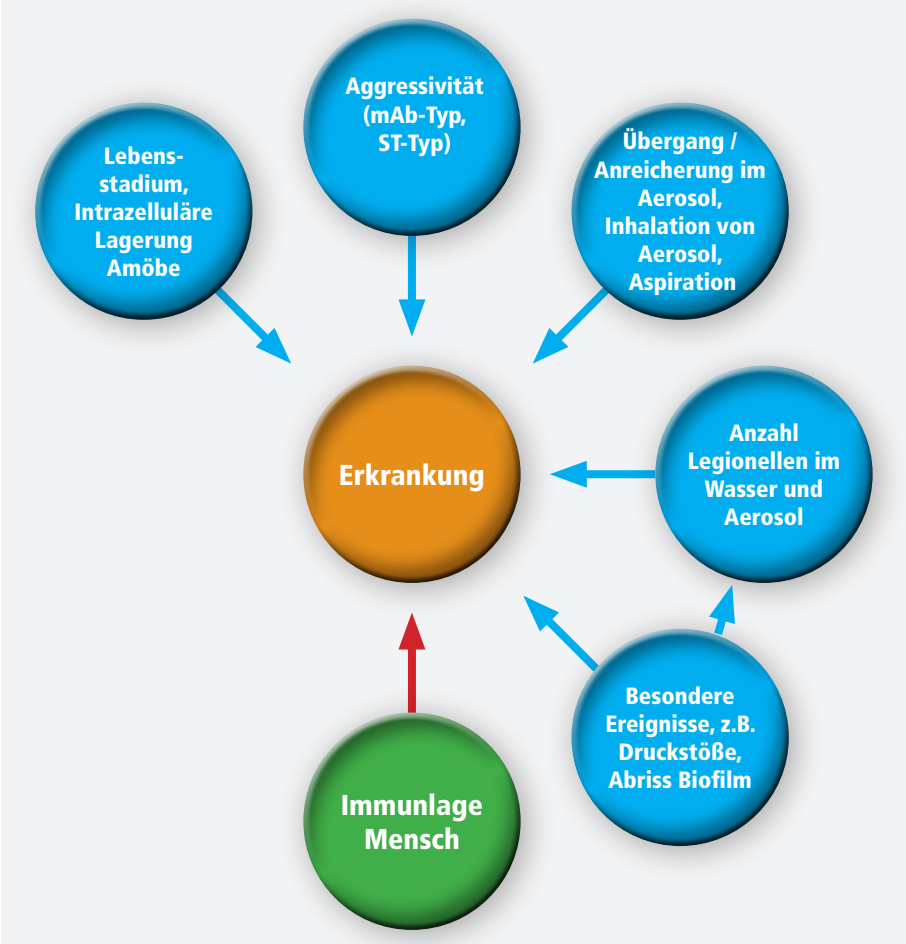

Abbildung 3: Faktoren, die bestimmend sind für die Entwicklung einer Legionellose

Tabelle 10:
Risikofaktoren für den Erwerb einer Legionellenpneumonie

Erkrankungen
// männliches Geschlecht
// Alter >50
// rauchen
// chronische Erkrankungen der Lunge (COPD, Asthma)
// Diabetes
// Autoimmunerkrankungen
// Frühgeborene/Neugeborene[227 228]
// Immunschwäche, Immunsuppression
// Organtransplantation, Knochenmark-transplantation
// Krebserkrankung, Krebstherapie
// Patienten unter Kortisontherapie
// Patienten unter bestimmten neuen biologischen Therapien (TNF-α Antikörper)[229]

FUSSNOTEN

219 *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung–Gesundheitsschutz 2011: 54 (6), 688–692*
220 *Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG) § 7 Meldepflichtige Nachweise von Krankheitserregern*
221 *Front Microbiol. 2014: 5: 501. doi: 10.3389/fmicb.2014.00501*
222 *Krankenh.hyg. up2date 2010: 5(4): 265-275. DOI: 10.1055/s-0030-1256001*
223 *The Lancet 1993: 342, 8862, , 5-6*
224 *Developing a Water Management Program to Reduce Legionella Growth & Spread in Buildings. A Practical Guide to Implementing Industry Standards. CDC 2017*
225 *Arch Intern Med. 1996: Aug 12-26; 156(15): 1685-92.*
226 *J Hosp Infect. 1999: Nov;43(3):242-6. PMID: 10582192*
227 *Lab Med. 2017: Nov 28. doi: 10.1093/labmed/lmx073*
228 *Pediatrics. 2015: Oct; 136(4): e1043-6. doi: 10.1542/peds.2014-3291.*
229 *Chest. 2013: Sep; 144(3): 990-998. doi: 10.1378/chest.12-2820.*

werden sollte. Sie entspricht weitgehend auch den Definitionen des ECDC (European Centre for Disease Prevention and Control).[230 231]

Klinisch sind Lungenentzündungen verursacht durch Legionellen nicht von anderen Pneumonien zu unterscheiden. Deswegen kommt der mikrobiologischen Diagnostik – auch in Hinblick auf eine gezielte und wirksame Antibiose - eine herausragende Bedeutung zu.[232 233 234 235]

Kultureller Nachweis

Goldstandard für die Diagnostik einer Legionellose ist nach wie vor der kulturelle Nachweis, der jedoch nur in seltenen Fällen und praktisch nie nach eingeleiteter Antibiose gelingt. Dieser ermöglicht durch molekularbiologisches Fingerprinting der Kulturen eine Zuordnung zur jeweiligen Infektionsquelle und gezielte Abwehrmaßnahmen. Wichtig ist die Wahl des korrekten Untersuchungsmaterials – BAL, Trachealsekret, Lungenbiopsie.[236]

Urin-Antigentest

Am häufigsten verwendet wird der Urin-Antigentest, entweder als ELISA oder mit weniger empfindlichen Schnelltests, da der Test einfach durchzuführen ist und keinen invasiven Eingriff verlangt. Sein weiterer Vorteil ist die hohe Spezifität, die falsch positive Resultate weitgehend ausschließt. Großer Nachteil ist die Beschränkung auf Lp1. Damit ist der Einsatz nur dann wirklich erfolgreich, wenn die Infektion auch durch Lp1 stattgefunden hat. Da insbesondere in Krankenhäusern auch andere Serogruppen und *non-pneumophila* Typen Infektionen auslösen, ist hier der diagnostische Wert eher beschränkt. Möglicherweise führte die starke Verbreitung des Urin-Antigentests zu einer Überschätzung des Anteils von Lp1, und andere Infektionen wurden übersehen. Bei der Legionellen-Epidemie in Flint, Michigan, wurden die Infektionen durch Lp Sg6 ausgelöst, die im Urin-Antigentest nicht nachweisbar war.[237] Dies ist eine der vielen Untersuchungen, die deutlich machen, dass der Anteil der Infektionen durch non-Sg1 Typen stark unterschätzt wird. Insbesondere auch zum Nachweis von *L.longbeachae* müssen die klinischen Nachweismethoden grundlegend geändert werden.[238]

Molekularbiologische Untersuchungen, PCR, LAMP

Zumindest bei negativem Ausfall des Tests sollten weitere diagnostische Möglichkeiten, wie z.B. die PCR verwendet werden. Die PCR hat sich als sehr schnell, empfindlich und erfolgreich erwiesen und kann parallel zu anderen Methoden bei Sputum, Trachealsekret, Bronchiallavage und Gewebe eingesetzt werden. In Entwicklung ist die Anwendung einer etwas robusteren Methode, der LAMP (loop-mediated isothermal amplification).[239 240]

DFA – Direkter Fluoreszenztest

Dies ist ein aufwändiger Test, bei dem fluoreszierende Antikörper Legionellen in Untersuchungssubstraten anfärben, die dann mikroskopisch dargestellt werden müssen. Der Test erfordert eine hohe Expertise und ist sehr zeitintensiv.

Antikörperbestimmung im menschlichen Serum

Durch den indirekten Immunfluoreszenztest im Serum lassen sich nach einer durchgemachten – auch inapparenten – Infektion Antikörper gegen Legionellen bestimmen. Notwendig ist die Testung von gepaarten Seren und ein mindestens 4-facher Titeranstieg. Wegen der nur geringen Spezifität und Empfindlichkeit und, weil stark immunsupprimierte Personen keine Antikörperbildung zeigen, wird dieser Test nur sehr eingeschränkt empfohlen, aber in praxi leider immer noch durchgeführt.

Therapie

Legionellosen lassen sich wegen des intrazellulären Wachstums der Erreger nur durch sehr wenige Antibiotika therapieren.[241] Mittel der ersten Wahl sind Fluorchinolone in hoher Dosierung (Ciprofloxacin, Levofloxacin) oder Makrolide (Azithromycin, Clarythromycin, Roxythromycin). Bei frühzeitiger Anwendung sind die Erfolgsaussichten sehr hoch. Über Resistenzen wird nur vereinzelt berichtet.[242]

Forscher der Goethe-Universität Frankfurt haben ein neues Konzept zur Bekämpfung von Bakterien entwickelt, ohne auf Antibiotika zurückgreifen zu müssen. Ihre Methode basiert nicht auf dem direkten Ausschalten von Legionellen, sondern in dem Unschädlichmachen bakterieller Enzyme.[243]

Epidemiologie

Erkrankungen des Menschen treten vereinzelt (sporadisch) ohne erkennbare Quelle oder im Rahmen von Ausbrüchen (epidemisch) auf. Die weitaus größte Zahl der Erkrankungen ist sporadischer Natur und entzieht sich weitgehend der Beobachtung. Ausbrüche sind spektakulärer, können hunderte Personen (siehe Tab.11) in weitem Umfeld der Quellen betreffen und werden in der Regel mit großer Akribie untersucht, gehen in die Meldestatistik ein, haben aber der Gesamtzahl der tatsächlichen Infektionen nur einen geringen Anteil (geschätzt 4% in den USA[244]).

Anhand des Infektionsortes unterteilt man die aufgetretenen Erkrankungen in vier Expositionsbereiche[245]:

1. Nosokomiale (krankenhausbedingte) Erkrankungen, die während eines Aufenthaltes in einer medizinischen Einrichtung (Krankenhaus, Kurklinik, Rehabilitationseinrichtung) erworben wurden.

2. Erkrankungen, die im Zusammenhang mit dem Aufenthalt in einer Pflegeeinrichtung (Seniorenheim, Behindertenheim) stehen.

3. Reiseassoziierte Erkrankungen, die im Zusammenhang mit den damit verbundenen Übernachtungen in Hotels und anderen Unterkünften (Pension, Campingplatz, Kreuzfahrtschiff) aufgetreten sind.

4. Ambulant erworbene Erkrankungen (community acquired), bei denen der Infektionsort im privaten bzw. beruflichen Umfeld des Erkrankten zu suchen ist.

Das RKI berichtet 2016, dass die Quellen für den Erwerb einer LD zu >79% aus dem privaten und beruflichen Umfeld stammen, 16,7% (ohne Epidemie Warstein >20%) reiseassoziiert sind und 4% im Krankenhaus/Pflegeeinrichtung zu suchen sind. Europaweit wird von 70% ambulant erworbener, 10% nosokomial erworbenen und ca. 20% touristisch akquirierter LD berichtet.[246] Auffällig hohe Infektionsraten werden 2017 europaweit bei Reisenden aus Dubai ermittelt.[247]

Ausbruchmanagement

Stammunterschiede, Fingerprinting, Feintypisierung

L.pneumophila und andere Arten lassen sich in verschiedene Serogruppen (z.B. Sg1, Sg2...Sg17) unterteilen, die sich in ihrer Virulenz stark unterscheiden. So verursacht die Sg1 von *L.pneumophila* (Lp1) erheblich mehr Infektionen als die anderen Serogruppen. Für epidemiologische Fragestellungen reicht die Diskriminierung jedoch nicht aus, so dass neuere, höher auflösende Methoden entwickelt wurden.[248] Neuere Untersuchungen zeigen, dass *L.pneumophila* in 4 Unterarten aufgesplittet werden kann: *L.pneumophila pneumophila, L. pneumophila fraseri, L. pneumophila pascullei, L.pneumophila raphaeli,* die sich wiederum in verschiedene Subtypen (ST, siehe unten) aufteilen lassen.[249]

L.pneumophila Sg 1 lässt sich mit diesen modernen Methoden sehr weit aufsplitten, so dass Infektionsquellen sich im Sinne eines „Fingerprinting" durch Vergleich von Ausbruchstamm mit Umweltstämmen mit hoher Wahrscheinlichkeit identifizieren lassen.

Tabelle 11: Typisierungsmethoden für Legionellen

monoklonale Antikörper (mAb) Typisierung	Antikörper gegen Epitope[250] auf Zellwand (z.B. Dresdner Panel)
Sequenz basierte Typisierung (STB)	Sequenzierung von 7 Genfragmenten
Gesamt-Genom-Sequenzierung	Darstellung des gesamten Erbgutes
MLST	„multilocus sequence typing" Methode zur genotypischen Analyse
wgMLST	„whole genome Multilocus Sequence Typing" Neuere Molekularbiologische Technik zur Erstellung einer genotypischen Analyse
PFGE	Pulsed-Field-Gelelektrophorese Hochdiskriminierende molekularbiologische Technik zur Erstellung eines Genetischen Fingerabdrucks
AFLP	„amplified fragment-length polymorphism" Molekularbiologische Technik zur Erstellung eines Genetischen Fingerabdrucks
RAPD-PCR	„randomly amplified polymorphic DNA" Molekularbiologische Technik zur Erstellung eines Genetischen Fingerabdrucks
MALDI TOF[251]	„matrix-assisted laser desorption/ionization time-of-flight massspectrometry" Laser-basierende Massenspektrometrie

a) Typisierung durch Monoklonale Antikörper (mAb)

Hier erfolgt eine Subtypisierung mit monoklonalen Antikörpern gegen Lipopolysaccharid Epitope auf der Zellwand von Legionellen (mAb-Subtyp, z.B. mAb 2 oder mAb 3-1) aus der sich dann Stämme wie Lp 1 knoxville oder Lp 1 benidorm ableiten lassen.

Stämme die mAb 2(3-1) positiv sind, zeigen eine höhere Virulenz und sind für praktisch alle epidemischen Ausbrüche in Europa verantwortlich (Tab.12). Möglicherweise weisen diese Stämme eine höhere Überlebensrate im Aerosol auf, wodurch ihre Virulenz gesteigert werden kann.[252] Die Verwendung von monoklonalen Antikörpern zeigt eine hohe Heterogenität in Lp1. Die größte Anzahl klinischer Isolate ist MAb 2 (3-1) positiv, während in Umweltproben dieser Typ nur sehr selten isoliert wird. 85% der Stämme, die in den USA Ausbrüchen zugeordnet werden, gehören zum mAb Typ 2 (3-1).[253]

FUSSNOTEN

230 https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_Legionellose.html
231 https://legionnaires.ecdc.europa.eu/?pid=202
232 Clin. Microbiol. Rev. 2015: vol. 28 no. 1 95-133. doi: 10.1128/CMR.00029-14
233 Journal of Medical Microbiology 2017: 66: 485-489. doi: 10.1099/jmm.0.000454
234 Infect Dis Clin North Am. 2017: 31(1): 95-109. doi: 10.1016/j.idc.2016.10.008.
235 Clin Microbiol Rev 2015: 28:80–118. doi:10.1128/CMR.00029-14.
236 Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2017: 16: 59. doi: 10.1186/s12941-017-0229-6
237 MBio. 2018: Feb 6; 9(1). pii: e00016-18. doi: 10.1128/mBio.00016-18
238 Journal of Medical Microbiology 2016: 65: 142-146. DOI 10.1099/jmm.0.000215.
239 Ann Clin Microbiol Antimicrob. 2017: 16: 59. doi: 10.1186/s12941-017-0229-6
240 J Biomed Nanotechnol. 2018: Jan 1; 14(1): 198-205. doi: 10.1166/jbn.2018.2524
241 http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/General_documents/Legionella_guidance_document_20160909.pdf
242 J Antimicrob Chemother. 2017 Nov 9. doi: 10.1093/jac/dkx386
243 Naturevolume 2018: 557, pages729–733. (doi: 10.1038/s41586-018-0147-6
244 PLoS One 2015: 10(10): e0141646. Doi 10.1371/journal.pone.0141646
245 Legionellose. RKI-Ratgeber für Ärzte. Aktualisierte Fassung vom Februar 2013
246 Emerging Infectious Diseases 2017: 23(11): 1776. doi:10.3201/eid2311.161584
247 Euro Surveill. 2017: Sep 21; 22(38). doi: 10.2807/1560-7917.ES.2017.22.38.30618.
248 Journal of Medical Microbiology 2010: 59: 653-659. doi: 10.1099/jmm.0.017509-0
249 Infect Genet Evol. 2018 Feb 7;59:172-185. doi: 10.1016/j.meegid.2018.02.008.
250 Das Epitop, auch antigene Determinante genannt, ist die spezifische Region eines Antigens, die mit dem Antigen-bindenden Teil eines Antikörpers (Immunglobulin) in Wechselwirkung tritt.
251 J Microbiol Methods 2006: 66(3): 399-409. DOI: 10.1016/j.mimet.2006.01.006
252 MC Infectious Diseases 2014: 14:483. http://www.biomedcentral.com/1471-2334/14/483
253 PLoS One 2015: 10(10): e0141646. doi: 10.1371/journal.pone.0141646

b) Typisierung durch Sequenztypen (ST)

Eine weitere noch stärker diskriminierende Möglichkeit insbesondere zur Aufklärung von Ausbrüchen ist die Typisierung mittels DNA-Sequenztypen (ST), bei der 7 Gene sequenziert werden. Die Ergebnisse fließen in eine zentrale europäische Datenbank[255] ein und dienen zur Analyse von europaweiten (weltweiten) Ausbrüchen. 2018 liegen Daten für 2550 Stämme vor. Am häufigsten weltweit ist ST1. Tab.12 zeigt, dass die meisten Ausbrüche von unterschiedlichen ST-Typen verursacht wurden, so z.B. die Epidemie in Warstein durch den sehr seltenen Typ ST 345. Eine weitere Aufspaltung der ST-Typen, z.B. durch MLST, ist möglich.[256]

Auffällig und Gegenstand vieler Diskussionen ist die offensichtliche Diskrepanz zwischen den Umweltstämmen und den Stämmen, die aus Patienten isoliert wurden. Tab.13 veranschaulicht, dass von den vielen in der Umwelt vorkommenden Stämmen von Lp1 nur sehr wenige bei Erkrankten gefunden werden.

Dies bedeutet, dass einige wenige Stämme von Lp1 mit höherer Wahrscheinlichkeit Infektionen auslösen als andere. Internationale Untersuchungen in 36 Ländern zeigten, dass 46% nicht zusammenhängende klinische Fälle von lediglich fünf ST hervorgerufen wurden (ST1, ST23, ST37, ST47, ST62). ST47, auch bekannt als der „Lorraine" Stamm, war der klinisch hauptverantwortliche Stamm in GB, NL, FR und BE, der sich jedoch in Umweltproben nur selten analysieren lässt.[257 258]

Dieser besonders in Europa auftretende Stamm hat sich offensichtlich durch Kombination aus ST62 und ST109 neu gebildet und sich im nordwestlichen Europa ausgebreitet. Von dort wurde er nach Kanada exportiert. Er zeigt eine hohe Affinität zu Whirlpools/Spa-Pools und kommt wohl in nur sehr geringen Konzentrationen in der Umwelt vor.

Tabelle 12: Auswahl von Legionellen-Epidemien in Europa (nach C. Lück, Dresden)

Ort	Quelle	Jahr	Fälle	Tote	Erreger/ Stamm	mAb2 (3-1)
Stafford, GB	Rückkühlwerk Hospital	1985	103	22	Lp1 Knox ST27	positiv
Kapellen, NL	Whirlpool	1999	93	5	Lp1 ?	positiv
Bovenkarspel, NL	Whirlpool in Ausstellung	1999	188	21	Lp1 Phil ST46	positiv
Murcia, SP	Rückkühlwerk Krankenhaus	2001	800	4	Lp1 Phil ST36	positiv
Barrow in Furness, GB	Rückkühlwerk Forum 28	2002	87	7	Lp1 Beni ST78	positiv
Lens, FR	petrochemischer Betrieb	2003	86	18	Lp1 Beni ST15	positiv
Sarpsborg, NO	Belüftungsteich Papierindustrie	2005	56	10	Lp1 ST 15[254]	positiv
Ulm, DE	Rückkühlwerk Neubau	2010	64+	5	Lp1 Knox ST62	positiv
Warstein, DE	Rückkühlwerk Kläranlage	2013	159	2	Lp 1 Knox ST345	positiv

Tabelle 13:
Legionellen-Stämme (ST = Sequenztyp, 7 Gene) in Umwelt und bei Erkrankungen. in Anlehnung an Claressa Lukas, CDC 2016

>60 Arten Legionellen
Legionella pneumophila Sg 1 (Lp1) verursacht mehr als 85% der Infektionen in USA, 20-50% der Umweltisolate sind Lp1
mAb2+ Stämme verursachen mehr als 80% der Infektionen, <20% von Umweltisolaten gehören zu mAb2+
ca. 1700 STs bekannt in USA. 170 Sts verursachten Infektionen in USA

lediglich 16 STs verursachen >80% der Infektionen in USA

Die Infektionsdosis wird als sehr niedrig beschrieben.[259] Über welche Wege sich Stämme weltweit ausbreiten, ist unbekannt. Vermutet wird u.a. dass der Export durch den Menschen selbst erfolgt.

Phylogenetische Analysen zeigen, dass Großgebäude wie z.B. Krankenhäuser durch einen oder auch mehrere distinkte Stämme besiedelt werden. Teilweise ist eine Zuordnung sogar zu Abteilungen / Gebäudeteilen möglich.[260 261] Die Stämme erweisen sich in ihren Lebensräumen über Jahre als stabil.[262 263]
ST62 war verantwortlich für den verheerenden Ausbruch auf der Flora Blumenshow in den Niederlanden 1999 mit mehr als 30 Todesfällen, für die Epidemie in Ulm 2010 mit 5 Todesfällen und einen großen Ausbruch in Quebec, Kanada, 2012 mit 13 Todesfällen. Die hohe Todesrate bei diesen Ausbrüchen zeigt die sehr hohe Virulenz dieses Stammes.

Die Gründe für die Abwesenheit klinisch relevanter STs in Umweltproben sind noch nicht völlig verstanden. Möglich sind geringere Wiederfindungsraten in Umweltproben, ein verändertes Verhalten gegenüber Kontrollmaßnahmen, z.B. Temperatur, oder auch noch unbekannte oder für wenig relevant gehaltene Reservoire, z.B. Böden.[264]
Es wird beschrieben, dass virulente STs höhere Optimal- und Maximaltemperaturen haben als Umweltstämme und auf die Vergesellschaftung mit thermotoleranten Amöben zwingend

angewiesen sind. Damit besteht für diese STs möglicherweise ein nur sehr schmaler optimaler Temperaturbereich in der Umwelt.

Der folgenschwere Ausbruch von LD in New York 2015 mit 138 Fällen und 16 Todesfällen konnte auf eine einzige Infektionsquelle (Rückkühlwerk in der Bronx) zurückgeführt werden. Analysen klinischer und Umweltisolate zeigten, dass sich diese, vorangegangene und nachfolgende sporadische Infektionen auf einen sich langsam entwickelnden Ursprungsstamm zurückführen ließen. Damit könnte sich in dieser Region ein sesshafter virulenter endemischer Stamm gebildet haben, der immer wieder zu Ausbrüchen führt und für diese Region ein besonderes und dauerhaftes Risiko darstellt.[265] Das plötzliche Auftreten eines neuen virulenten Klons (Lp1 ST211), der bislang nur in Kanada bekannt war, wurde in Sydney für persistierende Infektionen im Stadtgebiet verantwortlich gemacht.[266]

Die Kenntnis des Stammes und seiner Virulenz ist damit für eine Risikoabschätzung (Infektionsrisiko) von gleicher oder wahrscheinlich sogar größerer Wichtigkeit als die Anzahl der Legionellen in einem Umweltmedium.[267]

Wettereinflüsse, jahreszeitliche Verläufe

Untersuchungen zum Zusammenhang von sporadischen Infektionen mit Wetterereignissen oder Jahreszeiten zeigen für *L.pneumophila* eine Häufung in den Sommer- bis frühen Herbstmonaten, bei *L.longbeachae* im Frühling[268].

Bei den meisten Fällen wird ein Bezug zu Regenfällen und Luftfeuchtigkeit, nicht zur Lufttemperatur, beschrieben. Beim Aufprall von Regentropfen auf den Boden können infektiöse Aerosole entstehen.[269 270] Eine Erhöhung der Regenfälle durch klimatische Veränderungen führt zu vermehrten Infektionen.

Infektionsquellen

Legionellen sind Bestandteil des natürlichen aquatischen Mikrobioms in Teichen, Seen, Flüssen und können durch eine – noch nicht in allen Einzelheiten bekannte – große Anzahl von Umweltreservoiren auf den Menschen übertragen werden.[271]

Häufigste Quellen für eine Übertragung von Legionellen sind:

// lauwarme Trinkwassersysteme

// Verdunstungskühlanlagen / Rückkühlwerke

// Naturzugkühltürme???

// Whirlpools, Hydrotherapie, Spas

// Wasserspiele (Springbrunnen, Wasserwände etc.)

// Aerosol produzierende industrielle Prozesse

// häusliche Klimageräte?

// Abwasserbehandlungsanlagen

// Böden, Gartenerde, Blumenerden, Komposte

// Pfützen nach Regenfällen[272]

// natürliche heiße Quellen[273]

// Kreuzfahrtschiffe, Fähren, Frachter[274]

// Scheibenreiniger-Wasser, Autos und LKW[275]

// Straßenreinigungs-Fahrzeuge[276]

// Gartenschläuche[277]

// Autowaschanlagen[278]

// medizinische Geräte

// Inhalationsgeräte[279]

// Unterwassergeburten, beheizte Geburtswannen[280]

// Dentaleinheiten[281 282]

// Dachablaufwasser, Grauwasser[283 284]

// unbekannte Quellen?

Grundwasser

Geringe Konzentrationen verschiedener Legionellenarten finden sich auch im Grundwasser,[285 286] insbesondere in Thermalgebieten.[287] Dort können sie über Jahre/Jahrzehnte persistieren. Aktuelle Untersuchungen weisen darauf hin, dass Legionellen durch den Prozess der künstlichen Grundwasseranreicherung aktiv in den Grundwasserträger eingetragen werden.[288 289]

FUSSNOTEN

253 PLoS One 2015: 10(10): e0141646. doi: 10.1371/journal.pone.0141646
254 Genome Announc. 2016: Dec 15;4(6). pii: e01367-16. doi: 10.1128/genomeA.01367-16
255 http://bioinformatics.phe.org.uk/legionella/legionella_sbt/php/sbt_homepage.php
256 PLoS One. 2018 Feb 1;13(2):e0190986. doi: 10.1371/journal.pone.0190986.
257 Clin Microbiol Infect. 2017: 23(4): 264.e1-264.e9. doi: 10.1016/j.cmi.2016.11.019
258 J Clin Microbiol. 2014: 52(1): 201–211. doi: 10.1128/JCM.01973-13
259 Clin Microbiol Infect. 2017: 23(4): 264.e1-264.e9. doi: 10.1016/j.cmi.2016.11.019
260 Clin Infect Dis. 2017: 64(9): 1260-1262. doi: 10.1093/cid/cix156.
261 Appl Environ Microbiol 2017: 83: e03295-16. https://doi.org/10.1128/AEM.03295-16
262 Int. J. Environ. Res. Public Health 2017: 14, 222. doi:10.3390/ijerph14030222
263 Water Research Volume 2015: 77, 119-132. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.010
264 Appl Environ Microbiol 2016: 82: 6691– 6700. doi:10.1128/AEM.01107-16
265 Emerging Infectious Diseases 2017: 23, No. 11. DOI: https://doi.org/10.3201/eid2311.170308
266 Appl Environ Microbiol. 2017: Dec 15. pii: AEM.02020-17. doi: 10.1128/AEM.02020-17
267 Eur J Clin Microbiol Infect Dis. 2009: 28(7): 781-91. doi: 10.1007/s10096-009-0705-9
268 Lancet Infect Dis 2014: 14: 1011–21. http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(14)70713-3
269 Bull World Health Organ 2015: 93: 435–436. doi: http://dx.doi.org/10.2471/BLT.14.142299
270 Building and Environment Volume 2017: 123, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.024
271 Building and Environment Volume 2017: 123, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.024
272 J Appl Microbiol. 2014 Sep;117(3):882-90. doi: 10.1111/jam.12559
273 Biocontrol Sci. 2013;18(3):169-73. PMID: 24077541
274 Epidemiol Infect. 2017: 145(4): 647-655. doi:10.1017/S0950268816002715
275 Sci Total Environ. 2015: 526: 271-7. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.03.122.
276 Emerging Infectious Diseases 2017: Vol. 23, No. 11. DOI: https://doi.org/10.3201/eid2311.161390
277 Environ. Sci. Technol. 2014: 48, 10456–10464. dx.doi.org/10.1021/es502652n
278 Ann Ig. 2018: Jan-Feb; 20(1): 57-65. doi: 10.7416/ai.2018.2196
279 Med Clin (Barc). 2014: Jan 21;142(2):70-2. doi: 10.1016/j.medcli.2013.02.042.
280 Euro Surveill. 2014: 19(29): pii=20857. https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES2014.19.29.20857
281 J Hosp Infect. 2017: May; 96(1): 89-92. doi: 10.1016/j.jhin.2017.01.009
282 J Biol Regul Homeost Agents. 2018: Jan-Feb; 32(2 Suppl. 1):1 39-142.
283 Water Research 2017: 125 410-417. DOI: 10.1016/j.watres.2017.08.068
284 Water Res. 2017: Aug 1; 119: 288-303. doi: 10.1016/j.watres.2017.04.004
285 Water Res. 1997: 31:287-293
286 Water Sci Technol. 2001: 43(12): 99-102
287 Appl Environ Microbiol. 2005: 71(2): 663–671. doi: 10.1128/AEM.71.2.663-671.2005
288 Lauren Rae McBurnett. Thesis 2014. Arizona State University. Legionella-A Threat to Groundwater Pathogen Transport through Recharge Basin Media Columns.
289 Sci Total Environ. 2017. pii: S0048-9697 (17) 32783-3. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.10.080

Trinkwasser-Installationen in Gebäuden

Trinkwasser Warm PWH

Die Mehrheit aller durch Legionellen verursachten Ausbrüche wird auf Warmwassersysteme in Gebäuden zurückgeführt: Krankenhäuser, Alten/Pflegeheime, Wohngebäude. Die Bedingungen in den weit verzweigten Installationssystemen mit vielfältigen Nischen (Totleitungen, Stagnationsbereiche, Biofilme, Ablagerungen) sind für das Wachstum von Legionellen ideal. Eine besondere Bedeutung im System haben Warmwasserspeicher, vor allem wenn sich Temperaturschichtungen ausbilden und Sedimente vorhanden sind.[290]

Bei Analysen von 718 Gebäuden in Deutschland wurden in ca. 33% positive Nachweise von Legionellen erzielt, von denen 94% Nachweise von *L.pneumophila* waren.[291] Neuere Untersuchungen in Deutschland an 76.200 Warmwasserproben ergab in >20% einen positiven Legionellennachweis.[292] >80% wurden durch *L.pneumophila*, 10% durch *L.anisa* und der Rest von 13 weiteren *Legionella Species* verursacht, wobei die Artenverteilung in den untersuchten geographischen Regionen unterschiedlich war. Italienische Untersuchungen analysieren hohe Besiedlungen von Legionellen in Wohngebäuden, besonders in Gebäuden mit zentraler Warmwasserversorgung oder mit einer Warmwasserbereitung über Solarenergie.[293]

Auch in Trinkwassersystemen von Ein- und Zweifamilienhäusern wurden hohe Konzentrationen von Legionellen nachgewiesen, so dass diese ebenfalls als mögliche Infektionsquelle betrachtet werden müssen.[294]

Legionellen in Trinkwasser-Installationen sind die häufigsten Erreger wasserbürtiger Infektionen – noch vor den klassischen fäkalen Erregern. 57,6% aller wasserbürtigen Erkrankungen wurden vom CDC 2013 bei Untersuchungen von 27 Ausbrüchen auf Legionellen in Trinkwasser-Installationen in Gebäuden zurückgeführt,[295] gefolgt von 20% verursacht durch Rückkühlwerke. Verdunstungskühlanlagen (Rückkühlwerke, Cooling Towers) sind vor allem für eine Vielzahl epidemischer Ausbrüche verantwortlich (Tab.12). Andere Quellen wie Wasserspiele, Luftbefeuchter spielen eine eher untergeordnete Rolle. Andere Untersucher finden Rückkühlwerke als vorherrschende Quelle und Trinkwassersysteme an zweiter Stelle. Nicht immer lässt sich die Quelle identifizieren.[296]

Untersuchungen aus GB führen 19 von 20 Ausbrüchen in Krankenhäusern auf das Trinkwassersystem zurück[297]. Bei etlichen Ausbrüchen wurde das Trinkwassersystem durch Typisierungsmethoden als Infektionsquelle sicher identifiziert. Trinkwasser, speziell in Krankenhäusern und anderen Gebäuden mit komplexen Trinkwassersystemen ist nach Stout 2016 die wichtigste Quelle für eine Übertragung von Legionellen.[298] Auch andere Ausbrüche in Krankenhäusern konnten auf das Trinkwassersystem zurückgeführt werden.[299] Das Trinkwassersystem eines Krankenhauses in der Nähe von Lissabon war verantwortlich für einen großen Ausbruch im Herbst 2017 mit 50 Erkrankten und 5 Todesfällen.[300] 16 Patienten erkrankten 2017 in einem Krankenhaus in Mülheim, 4 verstarben.[301] Auch hier war die Ursache das mängelbehaftete Trinkwassersystem der Klinik. Falsches Design, ungenügende Wartung, Fehler im Betrieb, Nicht-Einhaltung der Vorgabewerte waren die häufigsten Gründe für eine Kontamination mit Legionellen.[302]

Zunehmend wird über Ausbrüche in Alten/Pflegeheimen berichtet, in denen die Faktoren Immunschwäche und komplexe Installationstechnik mit System bedingten Stagnationsphasen wie in Krankenhäusern risikosteigernd wirken.[303] Ein folgenschwerer Ausbruch in einem Altenheim in Illinois, USA, mit 10 Todesfällen konnte auf die dortige Trinkwasser-Installation zurückgeführt werden.[304] Unterbrechung der Wasserversorgung, Sedimente, zu niedrige Wassertemperaturen wurden als Fehlerquellen angeführt.[305]

Von der Vielzahl von Ausbrüchen in Hotels weltweit zeigt das Beispiel eines Hotels in Las Vegas, dass Infektionen über Jahre hinweg verursacht durch das Trinkwassersystem persistieren können, was die Notwendigkeit von proaktiven Kontrollmaßnahmen im Trinkwasser deutlich macht. [306]

Wenige Berichte liegen vor über Ausbrüche/Infektionen in Wohngebäuden. Bei einem Ausbruch in einer Mietswohnung in Kopenhagen wurde das Warmwassersystem als Quelle identifiziert.[307] Ein weiterer Bericht beschreibt eine Infektion eines Bewohners einer Wohnung eines Apartmentkomplexes, die auf das Warmwasser zurückgeführt wurde.[308]

Alternative Methoden (Solar, Wärmepumpen) zur Erzeugung von Warmwasser erhöhen möglicherweise das Risiko einer Besiedlung und müssen als potentielle Quellen für ambulant erworbene Infektionen betrachtet werden.[309]

Dusche

Über die Bedeutung von Duschen für eine Übertragung von Legionellen auf den Menschen wird kontrovers diskutiert. Etliche Untersucher messen ihnen eine große Bedeutung zu (z.B.[310]), andere bezweifeln dies,[311] da nur geringe Mengen an Legionellen ins Aerosol verfrachtet werden.[312] Eine Epidemie von Pontiac Fieber in einem Altenheim zeigte jedoch signifikante Zusammenhänge zwischen Duschen und Erkrankungen.[313] Ob die beim Duschen auftretenden Legionellenzahlen ausreichend für eine Infektion sind, erscheint bei Zugrundelegung eines konstanten Expositionsmodells fraglich.

Viele Fälle von Pontiac Fieber, die keinen Besuch zum Arzt erfordern, treten

offensichtlich vermehrt im häuslichen Umfeld auf und könnten dort durch Aerosol produzierende Bauteile wie Duschen, Entnahmearmaturen, Inhalationsgeräte o.ä. verursacht werden.[314]

Es wird aber deutlich, dass neben Duschen immer auch andere Quellen wie Handwaschbecken, Zahnputzgeräte als Aerosolbildner bei einer Risikoabschätzung mit beachtet werden müssen. Legionellen sind hier oft nur mit molekularbiologischen Methoden nachweisbar, nicht aber kulturell.[315]

Berücksichtigt werden muss auch, dass virulente Stämme im Aerosol lebensfähiger sind als avirulente Stämme.[316] Die Anwendung molekularbiologischer Methoden wird die Bewertung der Übertragungswege verbessern, da damit aerosolisierte Bakterien reproduzierbarer erfasst werden.[317]

Spontane Änderungen der Wasserqualität bleiben bei allen Modellen unberücksichtigt.[318] Als Risikofaktoren für den Erwerb einer LD im häuslichen Umfeld werden neben der Immunlage der Bewohner insbesondere auch Reparaturarbeiten am System beschrieben. Während Bau- und Reparaturarbeiten können unreproduzierbare Druckschwankungen und andere Ereignisse auftreten, die zum Abreißen von Biofilmen führen. Bauarbeiten sind aus infektiologischer Sicht immer als sehr kritisch zu betrachten.[319] [320]

Trinkwasser Kalt PWC

Da die deutsche TrinkwV im §14b nur Untersuchungspflichten für Legionellen im Warmwasser definiert, wird das Gefährdungspotential von Trinkwasser Kalt deutlich unterschätzt. Wachstum von Legionellen wird nur mit Trinkwasser Warm verbunden und fälschlicherweise vermutet, dass für Kaltwasser keine Untersuchungspflichten und keine Untersuchungsnotwendigkeiten bestehen. International wird in den meisten Regularien aber kein Unterschied zwischen PWC und PWH gemacht. Technische Regeln/Informationen oder allgemeine Vorgaben wie Arbeitsstättenverordnung, Hygienevorschriften, Fürsorgepflichten, Verkehrssicherungspflichten stellen aber auch in Deutschland Anforderungen an Trinkwasser Kalt.

Berichte über hohe Belastungen >1.000 KBE/100ml im Kaltwasser von Krankenhäusern zeigen die Bedeutung von Trinkwasser Kalt für den Aufwuchs von Legionellen.[321]

Etliche Infektionen über Kaltwasser belegen, dass durch Stagnationen, fehlende thermische Trennung und Wärmeübergang auf das Kaltwasser dort Vermehrungstemperaturen entstehen, die erhebliche Kontaminationen mit Legionellen zur Folge haben (siehe dazu auch die Kapitel Temperatur und Stagnation). Ein klassisches Beispiel ist eine REHA Klinik in NL, in der es während der betriebsfreien Wochenenden durch lange Stagnationszeiten zu signifikanten Wärmebelastungen des Kaltwassers mit der Folge erhöhten Legionellenwachstums kam, wodurch sich 2 Patienten eine tödliche LD zuzogen.[322] Ein weiteres Beispiel ist die tödlich verlaufende Infektion eines 2-jährigen Mädchens in einem Krankenhaus. Ursache war eine Erwärmung des Kaltwassers durch Überströmen von Warmwasser.[323]

Untersuchungen in den USA zeigen, dass sich bei Verwendung molekularbiologischer Nachweismethoden in ca. 50% der Kaltwasserproben *L.pneumophila* Sg1 (Lp1) detektieren lassen.[324]

Thermostatische Mischer

In vielen nationalen Regelwerken wird der Konstruktion und Betriebsweise von thermostatischen Mischern verstärkte Aufmerksamkeit geschenkt (z.B. Großbritanien[325]), da sie mögliche Nischen für einen Aufwuchs von Legionellen sind. Felduntersuchungen in den Niederlanden ergaben teilweise hohe Besiedlungen mit Legionellen mit dem höchsten Bewuchs auf Gummiteilen im Inneren des Bauteils.[326]

Rückkühlwerke / Verdunstungskühlanlagen

Rückkühlwerke – Verdunstungskühlanlagen - sind neben Trinkwasser nach heutigem Wissensstand die häufigste Quelle für Infektionen[327] [328] und sind ebenfalls Gegenstand nationaler und internationaler Regelungen. Sie sind verantwortlich für eine Vielzahl von Epidemien (Tabelle 12) weltweit. Infektionen treten oft in weiter Entfernung (mehrere km) entfernt von der Quelle auf. Molekularbiologische Untersuchungen von Rückkühlwerken aus dem Gesamtgebiet der USA weisen in mehr als 20% aller Anlagen *Legionella pneu-*

FUSSNOTEN

290 *Appl Environ Microbiol. 1991: 57(8): 2360–2367.*
291 *Am. J. Infect. Control 2016: 4, 470–474. http://dx.doi.org/10.1016/j.ajic.2015.10.025*
292 *International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.011*
293 *Int J Environ Res Public Health. 2017: 14(11). pii: E1296. DOI 10.3390/ijerph14111296*
294 *Int J Hyg Environ Health. 2008: 211(1-2): 179-85. DOI: 10.1016/j.ijheh.2007.02.004*
295 *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR) September 6, 2013 / 62(35);7 14-720*
296 *Environmental Research 2017: 152 485–495. https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.09.018*
297 *Epidemiol Infect 1994: 112:329-345*
298 *Legionnaires' Disease. From Philly to Flint and Beyond. 2016. https://de.slideshare.net/MarcRaymondMarc/legionnaires-disease-from-philly-to-flint-and-beyond-72217193*
299 *Clinical Infectious Diseases 2015: 60(11): 1596–602. doi: 10.1093/cid/civ153*
300 *https://www.dn.pt/sociedade/interior/dgs-confirma-quinta-vitima-mortal-do-surto-de-legionella-8912781.html*
301 *https://www.derwesten.de/staedte/muelheim/todesfaelle-durch-legionellen-das-aendert-sich-jetzt-im-evangelischen-krankenhaus-in-muelheim-id212109103.html*
302 *MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2016: 65:576 – 584. DOI: http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6522e1*
303 *Jour Nursing Home Res 2015: 1:28-32. http://dx.doi.org/10.14283/jnhrs.2015.6*
304 *http://www.chicagotribune.com/news/local/breaking/ct-legionnaires-quincy-20150909-story.html*
305 *http://www.daytondailynews.com/news/local/legionnaires-outbreak-linked-water/Sk2cFsTAXQaXYIdO6SmrmK/*
306 *Epidemiol Infect. 2012: 140(11): 1993-2002. DOI: 10.1017/S0950268811002779*
307 *EuroSurveill. 2011: 16(1): pii=19759. http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19759*
308 *J Prev Med Public Health. 2017: 50(4): 274–277. doi: 10.3961/jpmph.17.066*
309 *Balkan Med J. 2016: 33(3): 350–353. doi: 10.5152/balkanmedj.2016.150529*
310 *Int J Hyg Environ Health 2017: 220, 2, Part B, 401-406. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.12.001*
311 *PLoS One 2014: 9(12): e11433. doi:10.1371/journal.pone.0114331*
312 *PLoS OnE 2014: 9(12): e114331. doi:10.1371/journal.pone.011433*
313 *BMC Infectious Diseases 2013: 13: 291. http://www.biomedcentral.com/1471-2334/13/291*
314 *Building and Environment 2017: 123, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.024*
315 *Journal of Hospital Infection 2013: 85 308e311. http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2013.08.001*
316 *J Appl Bacteriol. 1988: 65(2):135-41.*
317 *Applied and Environmental Microbiology 1985: p. 1128-1131*
318 *PLoS One 2014: 9(12): e114331. doi: 10.1371/journal.pone.0114331*
319 *Arch Intern Med. 1996: Aug 12-26; 156(15): 1685-92.*
320 *Infect Control Hosp Epidemiol. 1995: Feb; 16(2): 76-81.*
321 *Euro Surveill. 2011: Apr 21;16(16).*
322 *Supply. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 1998: 17: 740–749. https://doi.org/10.1007/s100960050173*
323 *Scand J Infect Dis. 2006: 38(11-12): 1023-7. DOI: 10.1080/00365540600827558*
324 *Environ Sci Technol. 2014: Mar 18; 48(6): 3145-52. doi: 10.1021/es4055115*
325 *HSE Legionnaires' disease Part 2: The control of legionella bacteria in hot and cold water systems*
326 *Building Serv. Eng. Res. Technol. 2014: Vol. 35(6) 600–612. DOI: 10.1177/0143624414527097*
327 *Environ Sci Technol. 2015: Apr 21; 49(8): 4797-815. doi: 10.1021/acs.est.5b00142.*
328 *PLoS One. 2017: Dec 20; 12(12): e0189937. doi: 10.1371/journal.pone.0189937.*

mophila Sg1 (Lp1) nach und sehen hier ein ständiges Potential für Ausbrüche. Nur 47% der PCR-positiven Befunde zeigten auch Wachstum in der Kultur.[329] Dies macht deutlich, dass Risikobetrachtungen nur unter Einbeziehung molekularbiologischer Techniken ein umfassendes Bild ermöglichen. Eine proaktive Vorgehensweise wird zunehmend auch in den USA für notwendig erachtet.[330]

Ausbrüche in Deutschland in Ulm 2010[331] und Warstein 2013[332] führten zur Etablierung von technischen Regeln (VDI 2047-2[333] und Verabschiedung der BImSch 42[334]), durch die das Risiko einer Übertragung verringert werden soll. Beurteilungskriterium ist hier ausschließlich der kulturelle Nachweis. Erste Untersuchungen zeigen hohe Befallsraten bei Verdunstungskühlanlagen und teilweise sehr hohe Legionellenkonzentrationen.

Böden, Regenwasser

In einer Reihe neuerer Untersuchungen aus den Niederlanden wird über die Isolierung der klinisch relevanten Sequenztypen ST47 aus Gartenböden berichtet. Von diesen kam es offensichtlich zu einer Kontamination eines Whirlpools, über den ein Ausbruch von Pontiac-Fieber und LD ausgelöst wurde. Lp1 ST47 wird in den Niederlanden häufig bei Patienten isoliert, aber praktisch nie aus Umweltproben wie Trinkwasser. Dies könnte bedeuten, dass Böden als Infektionsquelle eine deutlich höhere Bedeutung zugemessen werden muss, als dies zurzeit geschieht.[335] Bei Untersuchungen von 6 Gärten in NL wurden wiederkehrend *L.pneumophila* isoliert, so dass auch für diese Species Böden als Infektionsquelle in Zukunft berücksichtigt werden müssen.[336] [337] Untersuchungen aus der Schweiz weisen vor allem Torf-haltige Substrate als hoch mit Legionellen besiedelt aus.[338]
Neben Böden wird auch Regenwasser in Pfützen[339] für eine Übertragung diskutiert, da dort virulente Stämme analysiert wurden.[340] Der häufige Nachweis von Lp1 in Pfützen auf Straßen vor allem bei warmen Wetterlagen und damit zusammenhängende Erkrankungen weisen auf diese noch weitgehend unbeachtete Quelle hin und machen deutlich, dass Legionellen in der Umwelt viel verbreiteter sind als heute angenommen wird.[341] [342]

Dachablaufwasser, Grauwasser

Die Nutzung nicht desinfizierten Grauwassers oder Dachablaufwassers kann das Risiko für einen Aufwuchs von Legionellen[343], aber auch NTM[344] signifikant erhöhen und bedarf einer besonderen Aufmerksamkeit.

Kläranlagen

Auch Biologische Abwasserbehandlungsanlagen wurden in Deutschland lange als Infektionsquellen unterschätzt. Erst durch den Ausbruch in Warstein 2013 mit 160 Infizierten und 2 Todesfällen gelang diese Quelle wieder in den Fokus der Experten[345], obwohl es vor Warstein schon etliche Berichte über teilweise extreme Belastungen von Kläranlagenabläufen und dadurch ausgelöste Infektionen gab.[346] In Abwasserreinigungsanlagen von Papiermühlen mit 37°C Abwassertemperatur wurden extreme Konzentrationen von 10^9 KBE/ Liter analysiert. Ähnliche Verhältnisse werden von anderen Untersuchern berichtet von Kläranlagen, in die Lebensmittel verarbeitende Betriebe, Papierherstellung oder Holzverarbeitung einleiten.[347]

In Sarpsborg (Norwegen) wurden schon 2005-2008 drei Ausbrüche durch $>10^{10}$ KBE/L Lp1 ST15 und ST462 beschrieben, die durch industrielle Belüftungsteiche emittiert wurden.[348] Wie bei Rückkühlwerken können die Erreger über weite Strecken (>10 km) – wahrscheinlich intrazellulär in Amöben oder Vesikeln – verfrachtet werden.

Unbekannte Quellen und Reservoire

Viele Quellen von Ausbrüchen blieben und bleiben unentdeckt. Dies weist auf bis jetzt noch nicht bekannte Reservoire hin, die möglicherweise mit kulturellen Methoden nicht darstellbar sind.[349] [350] Beispiele dafür in Deutschland sind die Ausbrüche in Jülich 2014 mit 39 Fällen LD und einem Todesfall und Bremen 2015/2016 mit 45 Fällen LD und 3 Todesfällen, wo trotz intensiver Suche die Quellen nicht gefunden wurden.

Gesetzliche, normative Anforderungen national und international – Primäre oder sekundäre Prävention – Umweltkontrolle oder Patienten-Surveillance

In einer Vielzahl nationaler und internationaler Regelwerke sind zur Prävention von Legionellosen Richtwerte/ Grenzwerte/Maßnahmewerte für Trinkwässer definiert worden (Tab.14). Eine einheitliche Vorgehensweise ist dabei nicht erkennbar. Vielmehr differieren die Schwellenwerte, die zu Aktionen führen, von Land zu Land, beziehen sich teilweise nur auf Hoch-Risiko-Installationen wie Hospitäler, umfassen alle Legionellen oder nur Lp1 oder bestimmte Arten (NL). Eine routinemäßige Kontrolle von Trinkwasser auf Legionellen wird in den meisten Ländern empfohlen oder gefordert (siehe Tab.17). Untersuchungen werden sowohl präventiv (proaktiv) als auch zur Verifizierung von Maßnahmen im Rahmen eines Water Safety Plans gegen das Aufwachsen von Legionellen durchgeführt.

In Deutschland und vielen anderen Ländern wird ein primärpräventiver Ansatz bevorzugt. Auch in den USA stößt die ablehnende Haltung des CDC dazu zunehmend auf Kritik. Ein proaktiver Ansatz verbunden mit einem Konzept zur Etablierung von Präventivmaßnahmen im Trinkwassersystem wird als beste Strategie zur Vermeidung von In-

fektionen angesehen. Hierzu gehört die Kontrolle möglicher Umweltreservoire auf präventiver Basis. Das CDC sieht jedoch in Umgebungsuntersuchungen die Gefahr, dass durch Verwendung von „Aktionswerten / Maßnahmewerten" ein falsches Gefühl der Sicherheit vermittelt wird. Methodische Unterschiede bei Probengewinnung und Analyse könnten das Ergebnis stark beeinflussen. Das CDC hält aber eine intensive Patienten-Surveillance für unverzichtbar.
Von einigen Organisationen wird ein direkter Zusammenhang zwischen der Legionellenkonzentration im Trinkwasser und einem Erkrankungsrisiko jedoch bezweifelt. So wird in Norwegen sowie den USA in einigen Counties/States die Häufigkeit eines positiven Nachweises als Risiko-Kriterium verwendet.[351] [352] Wenn mehr als 30% der Auslässe *Legionella*-positiv sind, wird von einem erhöhten Infektionsrisiko ausgegangen (siehe dazu auch Tab.14).

CDC und WHO sind der Meinung, dass die Bestimmung der Anzahl/ Konzentration an Legionellen allein nicht die Wahrscheinlichkeit einer Infektion abbilden kann.

Es gibt keinen weltweiten Konsens über die Definition „kritische Konzentrationen". Die „Grenzwerte" variieren von Land zu Land, ebenso die daraus abzuleitenden Maßnahmen. In der Regel sind „Aktionswerte – action level" definiert, die keine medizinische Ableitung haben.

Mikrobiologische Kontrollen sollten als hilfreiches Werkzeug angesehen werden, Bedingungen im Trinkwassersystem, die das Wachstum fördern, auszumachen. Ein einzelnes negatives Ergebnis hat wenig Aussagekraft. Kontrollen sind in keinem Fall ein Ersatz für fehlerhafte Betriebsweise und fehlende Instandhaltungsarbeiten. Mikrobiologische Untersuchungen sind lediglich Bestandteil einer Gesamt-Kontroll-Strategie.

Leider ist weltweit das völlige Fehlen eines standardisierten Protokolls für die Auswahl von Probenahmestellen, Probenahmetechniken, Untersuchungsfrequenzen und die Bewertung von Befunden vorhanden (siehe Tab.14 und 17), was eine Vergleichbarkeit zwischen den Ländern sehr erschwert. Beachtet werden muss dabei auch, dass die jeweils definierten Schwellenwerte nur in Zusammenhang mit der vorgegebenen Probenahmestrategie betrachtet werden dürfen. Dieses reduziert weiter eine Vergleichbarkeit.

Unbestritten ist jedoch die Notwendigkeit von proaktiven Umweltkontrollen in Bereichen, in denen Hoch-Risiko-Patienten vorhanden sind, z.B. Transplantatempfänger (WHO, CDC, HSE GB). Trinkwasser muss hier absolut frei sein von Legionellen.

Größeren Konsens finden mikrobiologische Untersuchungen als Bestandteil eines WSP (Water Safety Plan) zur Verifizierung der Einhaltung von Zielwerten und der Wirksamkeit von Maßnahmen.

In Tab.14 sind exemplarisch internationale Anforderungen an die Trinkwasserqualität in Hinblick auf das Vorkommen Legionellen in Trinkwasser-Installationen Kalt und Warm aufgeführt.

FUSSNOTEN

329 *PLoS ONE 2017: 12 (12): e0189937. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189937*
330 *Public Health Reports 2017: 132, 2, 133 – 135. https://doi.org/10.1177/0033354916689612*
331 *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2011 Nov; 54(11):1161-9. doi: 10.1007/s00103-011-1362-6*
332 *Euro Surveill. 2015: 20(46). doi: 10.2807/1560-7917*
333 *VDI 2047 Blatt 2 – Rückkühlwerke - Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln) Januar 2015*
334 *Zweiundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissions-schutzgesetzes (Verordnung über Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider - 42. BImSchV) 42. BImSchV 12.07.2017*
335 *International Journal of Infectious Diseases 2014: 27 e18–e19. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijid.2014.05.009*
336 *Appl Environ Microbiol 2016: 82:5125–5131. doi:10.1128/AEM.00595-16.*
337 *Journal of Applied Microbiology 2014: 117, 882—890. doi:10.1111/jam.12559*
338 *Euro Surveill. 2010: 15(8): pii=19497. http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19497*
339 *Appl Environ Microbiol. 2012: 78(12): 4519–4521. doi: 10.1128/AEM.00131-12*
340 *Journal of Applied Microbiology 2014: 117, 882—890. DOI: 10.1111/jam.12559*
341 *Emerg Infect Dis. 2009: 15(8): 1295-1297. https://dx.doi.org/10.3201/eid1508.090317*
342 *Journal of Medical Microbiology 2010: 59: 653-659. doi: 10.1099/jmm.0.017509-0*
343 *Water Research 2017: 125 410-417. DOI: 10.1016/j.watres.2017.08.068*
344 *Water Res. 2017: Aug 1; 119: 288-303. doi: 10.1016/j.watres.2017.04.004*
345 *Water Sci Technol. 2016: 74(4): 816-23. doi: 10.2166/wst.2016.258*
346 *In Cianciotto N, Kwaik Y, Edelstein P, Fields B, Geary D, Harrison T, Joseph C, Ratcliff R, Stout J, Swanson M (ed), Legionella. ASM Press, 2006, Washington, DC. doi: 10.1128/9781555815660.ch119*
347 *J Environ Manage. 2017: Dec 1; 203(Pt 3): 1126-1136. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.05.068.*
348 *Environ. Sci. Technol. 2010: 44 (22), 8712–8717. DOI: 10.1021/es1007774*
349 *Emerg Infect Dis. 2015: 21(7): 1167-1173. https://dx.doi.org/10.3201/eid2107.141130*
350 *Environ Sci Technol. 2015: 49(8): 4797-815. doi: 10.1021/acs.est.5b00142.*
351 *Infect Control Hosp Epidemiol. 1999: Dec; 20(12): 798-805. DOI: 10.1086/501587*
352 *The Lancet 2000: June 17, 355, 2093–2094. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02374-6*

Tabelle 14:
Übersicht über internationale Regelungen über Richtwerte/Maßnahmenwerte/Grenzwerte von Legionellen in Trinkwasser aus Trinkwasser-Installationen in Gebäuden. Alle Werte umgerechnet auf Bezugsbasis 100 ml (umgerechnet: *= von 1 ml; **= von 1 Liter)

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

CH	Bundesamt für Gesundheit BAG Abteilung Übertragbare Krankheiten Bern März 2009. Legionellen und Legionellose	// Normalgebäude:
		Zielwert <100 KBE**
		akute Maßnahmen/Risikobewertung bei >1.000 KBE**
		// Krankenhäuser:
		Zielwert <10 KBE**
		>1.000 KBE** oder mehr als 30% d. Proben positiv: Nutzungsverbot
			// nein, nur beim Auftreten von Infektionen
			// Surveillance in Krankenhäusern empfohlen
			// 1-2x/Jahr

AT	Verordnung des Bundesministers für soziale Sicherheit und Generationen über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TWV) StF: BGBl. II Nr. 304/2001 [CELEX-Nr.: 398L0083]	// Besorgnisgrundsatz	// keine speziellen Anforderungen für Legionellen

AT	ÖNORM B 5019 Ausgabe: 2017-02-15
	Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen
		// Zielwerte Risikogestaffelt:
		Klasse 4[353]: 10 KBE
		Klasse 1-3: 100 KBE
		// Staffelung dekadisch:
		>10.000 KBE Nutzungseinschränkungen
			// Erstuntersuchung
			(bis 4 Wochen nach Inbetriebnahme)
			// regelmäßige Untersuchung
			Speicher (unteres Drittel), Zirkulation in WW-Bereiter, Versorgungsnetz, evt. Kaltwasser
			// weitergehende Untersuchung
			Zusätzliche Proben, Intervall je nach Kontamination, mind. 1x/Jahr (1x/alle 4 Jahre), Probenahme nach 15 Sekunden Ablauf ohne Abschrauben von Duschköpfen oder Strahlreglern und ohne Abflammen, zur Klärung systemische-distale Kontamination bei weitergehenden Untersuchungen an Entnahmestellen Proben sofort oder nach zumindest 1-minütigem Abrinnenlassen von Wasser nach T-konstanz, differenzierte Temperaturmessung und Protokollierung

GB	Legionnaires' disease: The control of legionella bacteria in hot and cold water Systems
	HSG274 Part 2 Published 2014.
	HSE (Health and Safety Executive)
		// Normalrisiko:
		10 KBE** -100 KBE**
		Kontrollmaßnahmen, wenn die Mehrheit der Proben positiv ist
		>100 KBE**
		Neubeprobung, Risikoanalyse, Maßnahmen abhängig von Risikoanalyse, Desinfektion möglich
		// Hoch-Risiko-Bereiche:
		<=10 KBE**
		Zielwert
		10-100**
		Mehrheit Proben positiv, dann Review Kontrollmaßnahmen, Risikoanalyse, Desinfektion angeraten
		>100 KBE
		Nachproben, Review, Risikoanalyse, Desinfektion?
			// bei Bedarf, Auftreten von Auffälligkeiten
			// Ausbruchsituationen
			// Hoch-Risiko-Bereiche
			// gemäß WSP
			// PWC und PWH
			// spezielle Entnahmeventile verwenden
			// Probenahme zentral und Peripherie

GB	Health and safety in care homes. HSE 2nd edition London 2014	// >10 KBE**
		Maßnahmewert
		// sonst wie HSG274
			// Untersuchung nach WSP
			// siehe HSG274, Part 2
			// Risikoabschätzung durch Sofort- und Ablaufproben, Serogruppenbestimmung SG1
			// jedem positiven Befund muss nachgegangen werden

GB	CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers). TM13: 2013: Minimising the risk of Legionnaires' disease	// wie HSG274	// bei Bedarf, bei Auffälligkeiten PWC und PWH

353 Die Risikogruppe 4 umfasst Krankenanstalten oder Bereiche von Krankenanstalten mit immunsupprimierten Patienten.

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

GB	BSI Standards Publication BS 8580:2010
	Water quality – Risk assessments for Legionella control – Code of practice
			// bei Bedarf, bei Auffälligkeiten
			// Verifizierung
			// Risiko-Scoring unter Einbeziehung der Immunlage der Nutzer
			// PWC und PWH

EI	Health Protection Surveillance Centre: National Guidelines for the Control of Legionellosis in Ireland, 2009 Report of Legionnaires' Disease Subcommittee of the Scientific Advisory Committee	// wie in UK	// bei Bedarf, Auffälligkeiten
EI	National Disease Surveillance Centre Dublin 2002: The Management of Legionnaires' Disease in Ireland	// wie in UK // >10 - <100 KBE** // >100 KBE**	// Kontrolluntersuchung wenn 1 oder 2 Proben positiv, sonst zusätzlich Überprüfung der Kontrollmaßnahmen // Kontrolluntersuchung, sofortige Überprüfung der Kontrollmaßnamen, Desinfektion des Systems

DK	Legionella, i varmt brugsvand. Over Vågning,
	Udredning Og Forebyggelse Af Legionærsygdom
	1. UDGAVE 2000
	Den Centrale Afdeling for Sygehushygiejne
	Statens Serum Institut
		// 1- <100 KBE/**
		// 1.00 - < 1000 KBE**
		// 1000 - < 10.000 KBE**
		// > 10.000 KBE**
			// keimarm, jedoch weiteres Wachstum möglich
			// moderate Besiedlung: Betriebstemperaturen und Stagnationen überprüfen
			// relativ hohe Keimzahl: Verbesserung des Systems und / oder der Desinfektion überprüfen, die Situation wird überwacht
			// sehr hohe Bakterienzahl: Das System auf unterstützende Maßnahmen überprüfen

NO	Vannrapport 123 Forebygging av legionellasmitte – en veiledning 4. Utgave 2015. Nasjonalt folkehelseinstitutt Divisjon for miljømedisin Avdeling for mat, vann og kosmetikk	// kein Zusammenhang zwischen Anzahl Legionellen und Infektion
		// keine Grenzwertbildung für Maßnahmen
		// Anteil positiver Proben bei Messreihen wichtiger als Konzentration
		// positiver Befund muss durch ergänzende Untersuchungen und Betriebsprüfung verifiziert werden
			// Betreiber muss prüfen, ob Befund Gesundheitsbehörde gemeldet werden muss
			// Elemente des WSP, ausführliche Risikoanalyse im multisdisziplinären Team
			// Bildung von 3 Risikogruppen mit der Frage, ob viele oder wenige Personen Aerosolen ausgesetzt werden
			// Gefährdungsanalyse notwendig unter Berücksichtigung des Gebäudetyps (Risikoklasse) und Vorkommen L.p. SG1
			// Entnahme von Sofort- und Ablaufproben (1 Minute). Bewertungsschema zur Identifikation von lokaler und systemischer Besiedlung
			// Untersuchung auf Legionellen gibt nur ergänzende Hinweise, wesentlich Systemanalyse

FR	Arrêté du 1er février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire	// *L.pneumophila* <100 KBE** an allen Auslass-Stellen
		// bei Risikogruppen unterhalb der Nachweisgrenze
			// Überwachungspflicht für Legionellen
			// Krankenhäuser: 1xjährlich Speicher, Rücklauf, repräsentative Stellen Peripherie, zusätzlich nach Störfällen, in Patientenbereichen mit Hoch-Risiko-Patienten 1xjährlich
			// Andere Gebäude: 1xjährlich Speicher, Rücklauf, repräsentative Stellen Peripherie, zusätzlich nach Störfällen
			// Wenn die Schwellenwerte nicht erfüllt sind, müssen unverzüglich Maßnahmen durch den Betreiber durchgeführt werden, um den Schutz der Nutzer wieder herzustellen.

FR	Cirulaire DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n° 2002/243 du 22 avril relative a la prevention du risque lie aux legionelles dans les etablissements de sante. Bulletin Officiel n°2002-18	// <=100 KBE** *L.pneumophila*	// systemische und periphere Untersuchungen auf Legionellen
			// halbjährlich-jährlich
			// bei Überschreitung von Zielwert Analyse des Systems

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

FR	Circulaire DGS/EA4 no 2010-448 du 21 décembre 2010 relative aux missions des agences régionales de santé dans la mise en oeuvre de l'arrêté du 1er février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire MINISTÈRE DU TRAVAIL, DE L'EMPLOI ET DE LA SANTÉ. MINISTÈRE DES SOLIDARITÉS ET DE LA COHÉSION SOCIALE	// <=100 KBE** *L.pneumophila*	// 1 x pro Jahr verpflichtend
			// Probenahmestellen repräsentativ für Nutzung
			// in Bereichen mit High-Risk-Patienten
			// Probenahme nach 2-3 Minuten Ablauf

FR	EAUX DES ÉTABLISSEMENTS DE SANTÉ QUALITÉ DE L'EAU AUX POINTS D'USAGE
	Groupe Eau Santé
	Laboratoire d'Hydrologie-Environnement
	Université Victor Ségalen - Bordeaux II 2003
		// Speicher, Rücklauf <5 KBE**
		// Dusche Normal-Patient: <100 KBE**
		// Dusche Hoch-Risiko 0 KBE/L
			// Untersuchung 1-4x/Jahr

FR	Les catégories d'eau dans les établissements de santé Typologie - Traitements complémentaires – Référentiels Juin 2015	// <1 KBE** *L.pneumophila* bei Hoch-Risiko-Patienten // <100 KBE** *L.pneumophila* in anderen Bereichen	// PWH: 1 x jährlich 2-3 Proben an Verbrauchsorten // vor Wiederinbetriebnahme nach längeren Stillstandzeiten

FR	Établissements de tourisme Éléments pour la gestion du risque de prolifération de légionelles dans les réseaux d'eau. Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie Associative / Juillet 2008	// <100 KBE** Zielwert
		// >100 KBE** Warnwert
		// >1000 KBE**Aktionswert
			// alles ok
			// Überwachungsmassnahmen verstärken
			// Schließen der Anlage, Sanierungsmaßnahmen

PT	PREVENÇÃO E CONTROLO DE LEGIONELLA NOS SISTEMAS DE ÁGUA Instituto Português da Qualidade, Ministério da Economia. Comissão Setorial para Água (CS/04). 2º Edição 2014	// <10 KBE** System in Ordnung // >100 KBE** Warnstufe	

NL	Drinkwaterbesluit Hoofdstuk 4 Besluit van 23 mei 2011, houdende bepalingen inzake de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterbesluit). Wij Beatrix, bij de gratie Gods, Koningin der Nederlanden, Prinses van Oranje-Nassau, enz. enz. enz.	// <10 KBE** Zielwert
		// >100 KBE** Meldung an Inspekteur Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM)
			// Trinkwasser und Warmwasser
			// Risikoanalyse durch zertifizierten Betrieb (BRL 6010)
			// Managementplan (Beheersplan)

NL	ISSO-publicatie 55.1
	Handleiding legionellapreventie in leidingwater
	Richtlijnen voor prioritaire installaties
		// <10 KBE** oder keine Aerosolbildung = ok
		// >100 KBE** Meldung ILT
			// Risikoinstallationen
			// Probenahme wie Drinkwaterbesluit Warm und Kalt
			// gestaffelt nach Anzahl der Entnahmestellen
			// Probenahme an Aerosol produzierenden Stellen

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

NL	Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 27 juni 2011, nr. BJZ2011046957, houdende nadere regels met betrekking tot enige onderwerpen inzake legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater (Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater) Staatscourant Nr. 10828, 2011	// <10 KBE**
		(öffentliche Gebäude mit Risikopotential (Hospitäler, Hotels etc.)
			// auch Wasservorgungsunternehmen untersuchungspflichtig
			// Anzahl in Abhängigkeit von abgegebener Wassermenge
			// halbjährliche Untersuchung Trinkwasser WW
			// *L. anisa, L. birminghamensis, L. bozemanii, L. cincinnatiensis, L. dumoffii, L. erythra, L. feeleii, L. gormanii, L. hackeliae, L. jordanis, L. lansingen-sis, L. longbeachae, L. maceachernii, L. micdadei, L. oakridgensis, L. parisiensis, L. pneumophila, L. sainthelensi, L. tusconensis, L. wadsworthii en L. waltersii*
			// obligate Durchführung einer Risikoanalyse und Durchführung geeigneter Maßnahmen durch zertifizierten Betrieb
			// Anzahl Proben in Abhängigkeit von Größe des Systems

IT	Linee Guida recanti indicazioni sulla legionellosi per i gestori di strutture turistico-ricettive e termali", Provvedimento del 13 Gennaio 2005. Pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale N° 51 del 3 Marzo 2005.	// <10 KBE** Maßnahmewert abgestuft bis zu 1.000 KBE**	// >100 KBE** WSP Maßnahmen kontrollieren // >1000 KBE** Desinfektion, Risikobewertung, Korrekturmaßnahmen
CZ	Metodické doporučení Státního zdravotního ústavu – Oddělení hygieny vody ke kontrole jakosti teplé vody (zvláště s ohledem na riziko přítomnosti legionel) podle § 3 odst. 3 zákona č. 258/2000 Sb. v platném znění 2014 STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV CENTRUM ZDRAVÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	// <100 KBE Grenzwert für medizinische und Unterkunftseinrichtungen // sonst Maßnahmewert // 0 KBE/100ml für Hoch-Risiko-Bereiche KH	
AU	South Australian Public Health (Legionella) Regulations 2013 under the South Australian Public Health Act 2011	// >1000 KBE*	// bei Überschreitung Schließen der Anlage oder Dekontamination // jährliche Untersuchung

AU	Guidelines for Legionella control in the operation and maintenance of water distribution systems in health and aged care facilities. Australian Government, Canberra. 2015	// keine Festlegung von Werten
		// Bewertung durch Risikoanalyse
			// Untersuchungen obligat
			// Probenstellen im Nutzungsbereich
			// ausreichende Anzahl festlegen
			// auch Tupferproben
			// Festlegung durch WSP
			// Betriebskontrollen
			// Verifizierung

AU	Guidelines for the control of legionella in manufactured water systems in South Australia / Health Protection Programs. Revised 2013. South Australia. Department for Health and Ageing. Health Protection Program. South Australian Public Health (Legionella) Regulations 2013. Version: 1.7.2017	// >1000 KBE*	// Anzeigepflicht für Warmwasserinstallationen
			// im Zusammenhang mit Systemüberprüfung
			// bei begründeten Anlässen oder Verifizierung
			// Ausbruchsituationen
			// bei Überschreitung Dekontamination des Systems oder unverzügliche Stilllegung
			// Meldepflicht

AU	Water – Requirements for the Provision of Cold and Heated Water NSW Government Health Procedures 2015	// <1000 KBE*	// Untersuchungspflicht für Hospitäler,
			// Probenanzahl gestaffelt nach Bettenanzahl,
			// 1-2x jährlich je nach Performance des Systems, Risikostaffelung, Patienten, Anzeigepflicht
			// Probenahme nach mind. 30 sek Ablauf (Armaturen, Duschen)

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

AU	Guidelines for Managing Microbial Water Quality
	in Healthcare Facilities 2013
	Published by the State of Queensland (Queensland Health), October, 2013
		// Normalbereiche KH
		<500 KBE* mittleres Risiko
		>500 KBE* hohes Risiko
		// Hoch-Risiko-Bereiche KH:
		// jeder positive Nachweis hohes Risiko
			// Warm- und Kaltwasser
			// 3 fach Probenahme: sofort,
			Kalt n. 15 sec und Warm n. 15 sec
			// alle Probenstellen gemäß WSP
			// alle Speicher
			// repräsentative Stellen in jedem Stockwerk
			// Häufigkeit nach Risikoeingruppierung

NZ	The Prevention of Legionellosis in New Zealand
	Guidelines for the Control of Legionella Bacteria
	Revised October 2012. Ministry of Health
		// keine Wertebereiche	// routinemäßige Kontrolle nur in Einrichtungen des Gesundheitswesens/Altenpflege mit immungeschwächten Personen
			// halbjährlich
			// sofort- und Ablaufprobenahme in genutzten Bereichen

CA	MD 15161 – 2013
	Control of Legionella in Mechanical Systems
	Standard for Building Owners, Design Professionals, and Maintenance Personnel
	Public Works and Government Services Canada
		// kulturell:
		L.pneumophila SG1 und/oder *Legionella pneumophila* <100 KBE*: System ok
		
		L.pneumophila SG1 100-1000 KBE* oder *L.pneumophila* 100-10.000 KBE*: Desinfektion innerhalb 48 h, Speicher 60°C. Review WSP, Nachkontrolle
		
		L.pneumophila SG1 >1000 KBE* oder *L.pneumophila* >10.000 KBE*: System stilllegen und sofort desinfizieren. Speicher 60°C. Nachkontrolle
		
		// qPCR ISO/TS 12869 Test:
		Legionella pneumophila < 10 GE/mL: System ok
		
		Legionella pneumophila 10 - 100 GE/mL:
		Review WSP, Speicher 60°C
		
		Legionella pneumophila >100 GE/mL:
		Desinfektion des Systems innerhalb 48h
		Review WSP, Speicher 60°C, Nachkontrolle
			// kulturelle Untersuchung auf *Legionella pneumophila Serogruppe1* , *L.pneumophila* non SG1, non-*L.pneumophila*
			// alle 6 Monate
			// entfernteste Duschen

CA	Environmental Investigation of Legionella in Health Care Institutional Settings. Public Health Policy and Programs Branch Population and Public Health Division . Ministry of Health and Long-Term Care June, 2016	// <10 KBE**: System ok // >10 KBE**– 100 KBE**: wenn Mehrheit der Proben positiv Review WSP, Risikoanalyse, weitere Maßnahmen nach Ergebnis Risikoanalyse // >100 KBE**: sofortige Kontrolle WSP, Risikoanalyse zur Etablierung von Maßnahmen, Desinfektion?, engmaschige Nachkontrollen	

US	A Guide to Infection Control in the Hospital. International Society of Infectious Diseases. 5th edition. Boston 2014	// >30% positive Auslässe Aktionswert	// Untersuchung auf Legionellen bei Auftreten von Infektionen
			// Follow up alle 14 Tage für 3 Monate
			// Dekontamination 65°C für 5 Minuten
			// WSP obligatorisch

US	New York Codes, Rules and Regulations, Title 10 Interpretation of Routine Legionella Culture Results from Covered Facilities. 07/06/2016	// >30% positive Nachweise: Nachkontrolle, sofort Maßnahmen prüfen	// routinemäßige Untersuchungen nach Festlegung WSP emfpohlen // Häugigkeit und Orte gemäß Risikobewertung

US	Developing a Water Management Program to Reduce Legionella Growth & Spread in Buildings
	A PRACTICAL GUIDE TO IMPLEMENTING INDUSTRY STANDARDS.
	CDC Juni 2015 Vers. 1.0
		// keine	// keine proaktive Routineuntersuchung
			// nur bei Vorliegen von Fällen von LD
			// prädiktiver Wert von Routineuntersuchungen gering
			// möglich als Bestandteil von WSP

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

US	CDC: Sampling Procedure and Potential Sampling Sites Protocol for collecting environmental samples for Legionella culture during a cluster or outbreak investigation or when cases of disease may be associated with a facility	// keine sichere Konzentration vorhanden	// keine routinemässige proaktive Kontrolle
			// Biofilmentnahme aus Entnahmearmatur
			// Probenahme nach einigen Minuten Ablauf (Armatur, Dusche)
			// Probenahme aus Speicher, Rücklauf

US	EPA 2012 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories EPA 822-S-12-001 Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency Washington, DC	// kein Wert, EPA hält es für gegeben, dass wenn Viren und Giardia unter Kontrolle sind, auch Legionellen kontrolliert sind	

US	VHA: PREVENTION OF HEALTHCARE-ASSOCIATED LEGIONELLA DISEASE AND SCALD INJURY FROM POTABLE WATER DISTRIBUTION SYSTEMS.
	Department of Veterans Affairs VHA Directive 1061 Veterans Health Administration Transmittal Sheet Washington, DC 20420 August 13, 2014
		// jeder positive Befund L.pneumophila erfordert Maßnahmen (Kontrolle, differenzierte Untersuchung, Sanierung) gemäß Ergebnis
		// Risikoanalyse, zusätzliche Nachkontrollen
		// fallweise auch für non-pneumophila L.
			// Primärprävention Infektionskontrolle/Umgebungsuntersuchungen
			// Untersuchungen zur Validierung/Verifikaton von Maßnahmen/WSP
			// vierteljährige Untersuchungen aus 10 Warm- und 10 Kaltwasserstellen, bei Bedarf mehr
			// Differenzierung von L.pneumophila Sg1 für Risikoanalyse notwendig

US	Updated Guidelines for the Control of Legionella in Western Pennsylvania. Issued by: Allegheny County Health Department Pittsburgh Regional Health Initiative 2014	// >30% positive Proben Aktionswert	// für Hospitäler
			// Primärprävention
			// für High-Risk-Patienten nicht ausreichend

US	OSHA Legionnaires Disease. .Section II:C-1. Domestic Hot-Water Systems. https://www.osha.gov/dts/osta/otm/legionnaires/hotwater.html	// <1000 KBE*
		und kein Wachstum auf Tupfer:
		System ok, weiter WSP
		// >1000 KBE*
		oder Tupfer positiv: Quellensuche und Systembehandlung
		// <1000 KBE*
		monatliche Kontrollen bis 3 Monate
			// Sofortproben
			// Tupferproben
			// Temperaturmessung bei Probenahme und nach T-Konstanz und Zeit bis zum Erreichen

US	Recognition, Evaluation, and Control of Legionella in Building Water Systems. AIHA American Industrial Hygiene Association 2014	// <100 KBE*
		Zielwert
		// <1000 KBE*
		akzeptabel, Monitoring fortführen
		// 1000-10.000 KBE*
		Maßnahmen in Abhängigkeit vom Auftreten von Fällen; Systembedingungen überprüfen, Kontrolluntersuchungen, bei LD Fällen Sofortmaßnahmen notwendig
		// >10.000 KBE*
		umfangreiche Sofortmaßnahmen (z.B. Desinfektion) notwendig
			// proaktiver Ansatz
			// WSP, Risikoanalyse
			// kulturelle Untersuchungen Legionella zur Verfikation der ergriffenen Maßnahmen unabdingbar
			// Sofortproben und Proben nach Ablauf (2 Minuten) zur Unterscheidung lokal-systemisch
			// Tupferproben möglich, keine Aerosolproben wegen falsch negativer Resultate
			// System und Peripherie alle 6 Monate

US	Guidelines For Preventing Health-Care-Associated Pneumonia, 2003
	Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee
		// Angabe einer Infektionsdosis unmöglich	// routinemäßig bei Tranplantatempfängern möglich
			// ansonsten nur Fallbezogen oder speziellen Umständen
			// bei High Risk Patienten muss Nachweis negativ verlaufen.

US	New York State Department Of Health Prevention And Control Of Legionnaires' Disease Guidance For Clinicians: Background And Diagnosis. State Of New York Department Of Health 2005	// nicht nachweisbar bei High Risk Patienten	// in Tranplantationsabteilungen 4x jährlich Untersuchungen auf Legionellen // ansonsten nach Maßgabe des WSP

Land	Vorschrift / Regel / Gesetz	Empfehlung / Maßnahmewert / Grenzwert	Untersuchungspflicht

EU	ECDC Gesundheitsinformationen. Informationen zur Legionärskrankheit für Leiter von Reiseunterkünften. 2016		// differenziertes Probenstellenprogramm System und Peripherie
			// Sofortproben (Typ c) und Ablaufproben nach Temperaturkonstanz + 1 Minute
			// Abstriche
			// sowohl Warm- wie Kaltwasser beproben.
			// bei PWC <20°C kann Probenzahl reduziert werden

EU	ECDC: European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation, of Infection Caused by Legionella species. Juni 2017	// 0 KBE/L:
		akzeptabel
		// <10-100 KBE**:
		WSP/Systemüberprüfung
		// >100-<1000 KBE**:
		wenn Mehrheit Proben positiv: Kontrolle Maßnahmen, Sofortige Risikoanalyse, Desinfektion?
		// >=1000 KBE**:
		Kontrolluntersuchungen, Gefährdungsanalyse u. Ableitung weiterer Maßnahmen (z.B. Desinfektion)
			// Kontrollen nur bei besonderen Umständen (z.B. Temperaturen nicht im Sollbereich, Ausbruchsituationen, Bioziddosierung nicht im Sollbereich)
			// Kontrolle dann von Kaltwasser und Warmwasser systemisch und an problematischen Stellen (Temperatur)
			// Anzahl der Proben in Abhängigkeit von der Komplexität des Systems
			// Abstrichproben möglich

DE	Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 8. Januar 2018	// >100 KBE Maßnahmewert	// Untersuchungspflicht für Großanlagen zur Trinkwassererwärmung öffentlich und gewerblich (§14b)
			// Anzeigepflicht für Anlagen bei öffentlichen Einrichtungen
			// Probenahme nach ISO 19458b; spezifiziert durch Empfehlung UBA
			// Intervall 1xjährlich
			// für gewerbliche Gebäude max. alle 3 Jahre
			// zusätzlich Besorgnisgrundsatz §4 TrinkwV

DE	Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen Technische Regel. Arbeitsblatt W 551 April 2004. DVGW Bonn
	DVGW-Information WASSER Nr. 90 Juli 2016. Informationen und Erläuterungen zu Anforderungen des DVGWArbeitsblattes W 551
		// <100 KBE/100 Zielwert
		abgestufte Vorgehensweise
		// -10.000 KBE
		(Gefahrenwert, sofortige Maßnahmen notwendig)
			// orientierende und Weitergehende Untersuchung im Warmwasser (mind. Speicher, Rücklauf Zirkulation, Peripherie)
			// Intervall in Abhägigkeit von Befunden
			// mind. alle 3 Jahre
			// Untersuchungen Kaltwasser bei Auffälligkeiten (z.B. PWC >25°C)
			// Probenahme ISO 19458b, UBA: Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung Empfehlung des Umweltbundesamtes v. 23.8.2012
			// 1 L Vorlauf vor Probenahme

DE	Empfehlung des Umweltbundesamtes Periodische Untersuchung auf Legionellen in zentralen Erwärmungsanlagen der Hausinstallation nach § 3 Nr. 2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereit gestellt wird	// Hoch-Risiko-Bereiche KH:
		Zielwert 0 KBE/100ml
		Gefahrenwert >=1 KBE: Point of Use Filter
		// andere Bereiche:
		Zielwert <100 KBE
		Gefahrenwert >10.000KBE:
		Gefahrenabwehr unverzüglich
			// Untersuchung nach Empfehlung UBA
			// Probenahmestellen wie DVGW W551
			// in Krankenhäusern sofort weitergehende Untersuchung
			// zusätzlich Proben in Risikobereichen

WHO	LEGIONELLA and the prevention of legionellosis.
	World Health Organization 2007
		// High Risk Bereiche 0 KBE/L	// keine Risikoabschätzung durch Ergebnisse kultureller Untersuchungen
			// zur Validierung Effektivität WSP
			// alle 6 Monate

Nationale Gesetze, Empfehlungen, Regelwerke

Die Tabellen 15a-15d fasst die für Deutschland wichtigsten Quellen für einen Eintrag von Legionellen und die dafür relevanten Regelwerke zusammen.

Die nationalen Anforderungen/Regelwerke, die sich mit einer Kontamination von Trinkwasser durch Legionellen beschäftigen, sind in Tabelle 15b-d in aller Kürze zusammengefasst.

Wesentliche Elemente der nationalen Regelungen sind in der TrinkwV in §14b mit einer Untersuchungspflicht für Großanlagen zur Trinkwassererwärmung bei öffentlicher oder gewerblicher Nutzung, im §15/16 mit einer Anzeigepflicht beim Überschreiten des Technischen Maßnahmewertes, im §16-7 mit der Verpflichtung zur Ursachenermittlung, Gefährdungsanalyse und Sanierung sowie durch Definition eines „Technischen Maßnahmewertes" von 100 KBE *Legionella* spec./100 ml festgelegt worden (Tab.15b).

Tabelle 15a:
Normative / Gesetzliche Regelungen in Deutschland bezüglich des Vorkommens von *Legionella* – Nicht-Trinkwasserbereiche

Titel / Inhalt	
Badewasser	DIN 19643: Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser 2012-11
Badewasser	Umweltbundesamt: Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung. Bundesgesundheitsbl 2014. 57:258–279. DOI 10.1007/s00103-013-1899-7
Raumluftqualität	VDI 6022. Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Hygieneanforderungen an raumlufttechnische Anlagen und Geräte (VDI-Lüftungsregeln). 2018-01
Einzelgeräte zur gezielten und punktuellen Luftbefeuchtung sowie dekorative Wasser führende Einrichtungen	VDI 6022 Blatt 6: Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Luftbefeuchtung über dezentrale Geräte - Hygiene in Planung, Bau, Betrieb und Instandsetzung. 2018-1
Verdunstungskühlanlagen (Rückkühlwerke)	VDI 2047-2. Rückkühlwerke - Sicherstellung des hygienegerechten Betriebs von Verdunstungskühlanlagen (VDI-Kühlturmregeln). 2015-01
Verdunstungskühlanlagen (Rückkühlwerke)	Verdunstungskühlanlagen. Hygienegerechtes Planen, Installieren, Betreiben und Instandhalten - Kommentar zu VDI 2047 Blatt 2 und Blatt 3. 2018-10
Verdunstungskühlanlagen (Rückkühlwerke)	Zweiundvierzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung überVerdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider - 42.BImSchV). 42. BImSchV Ausfertigungsdatum: 12.07.2017. „Verordnung über Verdunstungskühlanlagen, Kühltürme und Nassabscheider vom 12. Juli 2017 (BGBl. I S. 2379; 2018 I S. 202)"

Tabelle 15b: Gesetzliche Regelungen in Deutschland an Trinkwasser bezüglich des Vorkommens von *Legionella*

Titel / Inhalt	
Trinkwasserverordnung (TrinkwV) Stand: 2018	Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 8. Januar 2018
TrinkwV §14b	Untersuchungspflichten in Bezug auf *Legionella* spec. „Die Proben für die Untersuchungen nach Absatz 1 müssen an mehreren repräsentativen Probenahmestellen entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik entnommen werden. Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik bei der Probenahme wird vermutet, wenn DIN EN ISO 19458, wie dort unter Zweck b beschrieben, eingehalten worden ist." UBA-Empfehlung soll beachtet werden.
TrinkwV §15	Untersuchungsverfahren und Untersuchungsstellen 6. für *Legionella* spec.: a) längstens bis zum 28. Februar 2019 ISO 11731:1998-05, DIN EN ISO 11731-2:2008-06 b) spätestens ab dem 1. März 2019 ISO 11731:2017-05
TrinkwV §15a	Anzeigepflicht für Untersuchungsstellen Untersuchungsstelle (Labor) muss Überschreitung des Technischen Maßnahmewertes dem zuständigen Gesundheitsamt unverzüglich anzeigen.
TrinkwV §16-7	Besondere Anzeige- und Handlungspflichten Anforderungen an Maßnahmen beim Überschreiten des Technischen Maßnahmewertes: 1. Untersuchungen zur Aufklärung der Ursachen (inkl. Ortsbegehung) 2. eine Gefährdungsanalyse zu erstellen 3. die Maßnahmen durchzuführen..., die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik zum Schutz der Gesundheit der Verbraucher erforderlich sind
TrinkwV §21	Information der Verbraucher und Berichtspflichten Der „USI" hat den betroffenen Verbrauchern mindestens jährlich geeignetes und aktuelles Informationsmaterial über die Qualität des bereitgestellten Trinkwassers zu übermitteln...
TrinkwV Anlage 3 Teil II Spezieller Indikatorparameter für Anlagen der Trinkwasser-Installation	technischer Maßnahmewert *Legionella* spec. >100 KBE/100ml

Begriffsdefinitionen TrinkwV §3	
Wasserversorgungsanlagen „e"	Anlagen zur ständigen Wasserverteilung: Anlagen der Trinkwasser-Installation, aus denen Trinkwasser ... an Verbraucher abgegeben wird.
technischer Maßnahmenwert	Ein Wert, bei dessen Überschreitung eine von der Trinkwasser-Installation ausgehende vermeidbare Gesundheitsgefährdung zu besorgen ist und eine hygienisch-technische Überprüfung der Trinkwasser-Installation eingeleitet wird, die als Grundlage einer Gefährdungsanalyse dient.
Gefährdungsanalyse	Die systematische Ermittlung von Gefährdungen der menschlichen Gesundheit sowie von Ereignissen oder Situationen, die zum Auftreten einer Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch eine Wasserversorgungsanlage führen können, unter Berücksichtigung: a) der Beschreibung der Wasserversorgungsanlage b) von Beobachtungen bei der Ortsbesichtigung c) von festgestellten Abweichungen von den allgemein anerkannten Regeln der Technik d) von sonstigen Erkenntnissen über die Wasserbeschaffenheit, die Wasserversorgungsanlage und deren Nutzung sowie e) von Laborbefunden und deren örtlicher Zuordnung
Großanlage zur Trinkwassererwärmung	Eine Anlage mit: a) Speicher-Trinkwassererwärmer oder zentralem Durchfluss-Trinkwassererwärmer jeweils mit einem Inhalt von mehr als 400 Litern oder b) einem Inhalt von mehr als 3 Litern in mindestens einer Rohrleitung zwischen dem Abgang des Trinkwassererwärmers und der Entnahmestelle; wobei der Inhalt einer Zirkulationsleitung nicht berücksichtigt wird; entsprechende Anlagen in Ein- und Zweifamilienhäusern zählen nicht zu Großanlagen zur Trinkwassererwärmung

Tabelle 15c: Regelwerke/Empfehlungen in Deutschland an Trinkwasser bezüglich des Vorkommens von *Legionella*

Allgemein	
BMG 2018 Erläuterungen zur TrinkwV	Stammtext Trinkwasserverordnung und Legionellen (Stand 25. April 2018); https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/T/Trinkwasserverordnung/Stammtext_TrinkwV_und_Legionellen_250418.pdf
Probenahme	
DIN EN ISO 19458:2006-12	Wasserbeschaffenheit - Probenahme für mikrobiologische Untersuchungen (ISO 19458:2006)
UBA Empfehlung 23.8.2012	Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung
DVGW Arbeitsblatt W551 2004-04	Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen
DVGW Wasser-Information Nr. 90 2017-03	Informationen und Erläuterungen zu Anforderungen des DVGW-Arbeitsblattes W 551
DVGW Twin 06. 11/2011	Durchführung der Probennahme zur Untersuchung des Trinkwassers auf Legionellen (ergänzende systemische Untersuchung von Trinkwasser-Installationen)
DVGW Wasserinformation 74: 01/2012	Hinweise zur Durchführung von Probennahmen aus der Trinkwasser-Installation für die Untersuchung auf Legionellen
Gefährdungsanalyse	
UBA 17.12.2012	Empfehlungen für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse gemäß Trinkwasserverordnung. Maßnahmen bei Überschreitung des technischen Maßnahmenwertes für Legionellen
VDI/BTGA/ZVSHK 6023 Blatt 2: 2018-01	Hygiene in Trinkwasser-Installationen-Gefährdungsanalyse
Sanierung	
DVGW Arbeitsblatt W 556 2015-12 Wasser	Hygienisch-mikrobielle Auffälligkeiten in Trinkwasser-Installationen; Methodik und Maßnahmen zu deren Behebung
DVGW Arbeitsblatt W 557 2012-10 Wasser	Reinigung und Desinfektion von Trinkwasser-Installationen
DVGW Twin 05. 4/09	Desinfektion von Trinkwasser-Installationen zur Beseitigung mikrobieller Kontaminationen
DVGW Twin 08. 12/13	Vorübergehende Desinfektion des Trinkwassers in kontaminierten Trinkwasser-Installationen
DVGW Twin 12. 3/17	temporärer Einsatz endständiger Filter in mikrobiell kontaminierten Trinkwasser-Installationen
Umweltbundesamt Stand: 2017	Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung – 19. Änderung – (Stand: Dezember 2017) (wird mit jeder Änderung der TrinkwV ebenfalls verändert)

Tabelle 15d: Zusammenstellungen von Maßnahmen zur Kontrolle von *Legionella spec.* in Trinkwassersystemen international	
Allgemein	
EPA USA	Technologies for *Legionella* Control in Premise Plumbing Systems: Scientific Literature Review. Office of Water (4607M). EPA 810-R-16-001. September 2016
HollandWater	The efficacy of various disinfection methods against Legionella pneumophila in water systems. A literature review. Dr. N. Walraven and Dr. C. Chapman (version 22-09-2016)

FAZIT, AUSBLICK

Obwohl Legionellen seit über 40 Jahren bekannt sind, sind die Kenntnisse über den wichtigsten Erreger wasserbürtiger Infektionen immer noch unzureichend. Bei Erkrankungen sind sowohl die Diagnose wie die Meldungen der Legionellosen weltweit unbefriedigend. Korrekte Diagnosen gelingen nur bei 5-10% der tatsächlich auftretenden Fälle. Ein verstärktes Bewusstsein in der Ärzteschaft ist dringend notwendig. Bessere diagnostische Tests müssen entwickelt werden, sowohl für Lp1 als auch für andere Serogruppen und vor allem für non-pneumophila Arten. Solche Tests sollten standardisiert werden und Einsatz in der Routine finden.[354]

Die noch bestehenden Unsicherheiten lassen sich gut an einem aktuellen Forschungsprojekt der National Academies of Sciences in Washington erkennen, bei dem folgende Fragestellungen beantwortet werden sollen, von denen man eigentlich annimmt, dass sie schon längst bekannt sind: [355]

- // Notwendigkeit der Darstellung der mikrobiellen Ökologie von Wasserversorgungs- und –verteilanlagen („from source to tap")
- // Welche Arten und Stämme sind von besonderer Relevanz und Bedeutung und kann deren Diagnostik verbessert werden?
- // Wie kann die Diagnose der Legionellose verbessert werden in Hinblick auf Spezifität, Einfachheit und Schnelligkeit?
- // Was sind die primären Quellen und Routen für eine Exposition gegenüber Legionellen? Welche Eigenschaften und Charakteristika von Trinkwasseranlagen fördern besonders das Wachstum von Legionellen?
- // Was wissen wir über die Konzentrationen von Legionellen in Wassersystemen und die Prävalenz der Legionellose der letzten 20 Jahre? Wie kann die quantitative Risikobeurteilung verbessert werden? Gibt es eine niedrigste Konzentration für die Auslösung einer Erkrankung?

Die erheblichen Unterschiede in der Virulenz, der Überlebensfähigkeit in der Umwelt und im Resistenzverhalten einzelner Stämme weisen darauf hin, dass eine Risikoanalyse in Zukunft verstärkt auf die Bestimmung von Art und Stamm der analysierten Erreger abheben muss und weniger auf die Anzahl aller Legionellen. In Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen ist die Immunlage der Nutzer die alles entscheidende kritische Größe für die Entstehung einer Erkrankung. Sie bestimmt auch über den Grad der präventiven Abschirmung.

Das gegenwärtige reaktive Riskassessment (Gefährdungsbeurteilung nach TrinkwV) ist unzureichend. Ein verbessertes Verständnis der Epidemiologie der LD ist dringend notwendig zur Darstellung aller Umweltreservoire und zur Priorisierung von Maßnahmen zur Gewährleistung eines ausreichenden Gesundheitsschutzes. Änderungen in der Altersstruktur und Änderungen bei den Risikofaktoren der Bevölkerung in entwickelten Ländern vergrößern

FUSSNOTEN

354 *Lancet 2016: Jan 23; 387(10016): 376-385. doi: 10.1016/S0140-6736(15)60078-2*

355 *The National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine Washington DC. Management of Legionella in Water Systems. DELS-WSTB-16-02. 2017-2019.*

den Anteil immuninkompetenter und damit gefährdeter Personen. Schnelle molekularbiologische Methoden mit hochauflösendem Fingerprinting sind wichtige Bausteine für ein zukünftiges Verständnis der Virulenz und des Krankheitsrisikos durch die unterschiedlichen Stämme und Lebensformen der Bakterien. Maßnahmen gegen einen Aufwuchs von Legionellen müssen als robuste Dauermaßnahme ausgeführt werden und müssen sicher verhindern, dass Legionellen sich z.B. aus dem VBNC Stadium durch Kontakt mit Amöben in eine infektiöse Lebensform zurück entwickeln.[356]

Die Entwicklung und Umsetzung verbesserter und gezielter Präventionskonzepte z.B. in Trinkwassersystemen müssen weiter betrieben werden und das Bewusstsein des hohen Gefährdungspotentials selbst geringster Legionellenkonzentrationen für immunsupprimierte Personen muss gestärkt werden. Eine schematische, ausschließlich an festen Zielwerten orientierte Vorgehensweise ist nicht mehr zielführend.

Alle Maßnahmen müssen als oberste Priorität die Prävention von Legionellosen (Water Safety Plan) zum Ziel haben und dürfen nicht erst als Reaktion auf stattgefundene Kontaminationen oder Infektionen eingeleitet werden.

Die jüngste Bewertung der Situation in den USA durch das CDC kommt zu folgendem Statement[357]:

1. Zwischen 2000 und 2014 haben sich die Fälle der LD vervierfacht.

2. Eine von zehn Infektionen verläuft tödlich

3. Neun von zehn Ausbrüchen ließen sich durch ein verbessertes Wassermanagement (z.B. entsprechend den ASHRAE Guidelines) vermeiden.

Prävention ist die Herausforderung bei der Bekämpfung von Legionellosen!

FUSSNOTEN

356 Biofouling 2009: Vol. 25, No. 4, 345–351. DOI: 10.1080/08927010902803305.
357 https://www.cdc.gov/vitalsigns/pdf/2016-06-vitalsigns.pdf

SCHUTZMECHANISMEN VON BAKTERIEN – WIE WERDE ICH STARK?

AMÖBEN – TRANSPORTVEHIKEL UND AMME FÜR BAKTERIEN

Einzellige Lebewesen, insbesondere freilebende Amöben (FLA), spielen eine zentrale Rolle bei der Verbreitung von OPPPs. Sie fungieren als „Trojanische Pferde", als Vehikel für die Kolonisierung neuer Lebensräume und Verbreitung in der Umwelt. Amöben und andere Einzeller sind allgegenwärtig in feuchten Böden und Oberflächenwässern und auch in Trinkwässern. Sie sind wichtiger Bestandteil des Trinkwasser-Mikrobioms und grasen wie die Kühe auf der Weide auf dem Biofilmrasen. Sie fressen und verdauen Mikroorganismen und sorgen dafür, dass der Biofilm immer wieder erneuert wird. Einige wenige Arten können auch beim Menschen in seltenen Fällen Erkrankungen hervorrufen, z.B. die thermotolerante Naegleria (Meningoenzephalitis) oder Acanthamöben (Keratokonjunktivitis bei Linsenträgern).

Etliche Bakterien, auch die OPPPs, haben aber im Laufe der Evolution effektive Mechanismen gegen das Verdauen entwickelt und nutzen die Amöben für ihre eigenen Zwecke. Sie überleben in den Amöben, vermehren sich dort und sind im großen widerstandsfähigen Zellleib der Amöbe gut geschützt gegen widrige Lebensumstände. Sie werden als „Endocytobionten" oder als „ARM" (**A**moeba **R**esistant **M**icroorganisms) bezeichnet. [358] [359] [360] Es ermöglicht ihnen ein Leben in sehr nährstoffarmen Milieus, da sie von der Amöbe – ihrer Amme - mit Nährstoffen versorgt werden.

Amöben stellen vor allem für Legionellen ein bedeutendes Reservoir dar. Im Inneren des Zellkörpers können sie sich vermehren und auch unter ungünstigen, nährstoffarmen Bedingungen überleben.[361]

Man vermutet, dass die Fähigkeit zum intrazellulären Leben Bakterien im besonderen Maße ertüchtigt, beim Menschen Erkrankungen auszulösen, indem sie durch ihre Eigenschaft, innerhalb von menschlichen Abwehrzellen zu überleben, den Infektionsprozess starten können. Amöben sind sozusagen der „Sparringspartner" für den eigentlichen Kampf. Zwischen Legionellen und Amöben besteht eine besonders enge Beziehung.[362] (siehe auch Kapitel Legionellen, biphasische Lebensweise). Es ist sehr wahrscheinlich, dass sie Amöben zwingend für Vermehrung, Auftauchen aus dem VBNC-Zustand und als Infektionsvehikel benötigen. Die Konzentration von Amöben beeinflusst so auch die Konzentration von Legionellen und deren Virulenz. Mehr als 20 Amöbenarten und ein Schleimpilz sowie Cyanobakterien[363] werden als Herberge für Legionellen beschrieben.

Amöben sind gegen Umwelteinflüsse wesentlich resistenter als Bakterien und übertragen ihre Eigenschaften auf die intrazellulären Bakterien, die die Kraft der Amöbe für sich nutzen. Extrem resistent werden Amöben durch die Ausbildung von dickwandigen Cysten, die ebenfalls OPPPs im Inneren beherbergen können. Damit sind Amöben auch vom Standpunkt der Epidemiologie und für die Gesundheit des Menschen wichtige Bestandteile des Mikrobioms und müssen bei der Etablierung von ganzheitlichen Abwehrstrategien mehr als bis jetzt einbezogen werden.[364] Amöben, vor allem die Cysten, lassen sich nur durch extrem hohe Gaben an Desinfektionsmitteln (z.B. Chlor >50 mg/l)[365] abtöten, sind teilweise thermotolerant und auch widerstandsfähig gegenüber UV-Licht. Die Übertragung dieser Eigenschaften auf die intrazellulären Bakterien verschafft diesen einen erheblichen Selektionsvorteil und ermöglich ihnen das Leben unter extrem ungünstigen Bedingungen, die für planktonische Bakterien absolut unzuträglich wären. [366]

Bei der Beurteilung der Effektivität von Desinfektionsverfahren/-mitteln oder auch bei der Temperaturhaltung muss diese Fähigkeit zur Endocytobiose berücksichtigt werden.[367] Amöben überstehen in enystierter Form hohe Temperaturen über längere Zeiträume (siehe Kapitel Faktoren-Temperatur).[368] Deswegen erfordern effektive Desinfektionsmaßnahmen ein besseres Verständnis der Interaktion von Einzeller und Bakterium.[369] Weitere Untersuchungen zur Ökologie von Biofilm-Amöben-Legionellen sind eben-

FUSSNOTEN

358 *Viruses 2017: 9, 65. doi:10.3390/v9040065*
359 *Arch Med Vet 2016: 48, 1, 1-10.*
360 *Abstract Book 9th International Conference on Legionella. Rome 2017. Moreno A. B., Guy L.*
361 *Abstract Book 9th International Conference on Legionella. Rome 2017. Moreno A. B., Guy L.*
362 *The Risk To Human Health From Free-Living Amoebae Interaction With Legionella In Drinking And Recycled Water Systems. Dissertation Submitted By Jacqueline Marie Thomas. In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Award Of Doctor Of Philosophy In Environmental Engineering. School Of Civil And Environmental Engineering Faculty Of Engineering New South Wales. May 2012*
363 *Appl Environ Microbiol. 1980: Feb; 39(2), 456-9*
364 *J Hosp Infect. 2014: Jul; 87(3): 131-40. doi: 10.1016/j.jhin.2014.05.001*
365 *Journal of Applied Microbiology 2009: 107, 368–378. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04208.x*
366 *Parasitol Res 2014: 113: 2407–2414. DOI 10.1007/s00436-014-3932-7*
367 *Front. Microbiol. 2016: 7:486. doi: 10.3389/fmicb.2016.00486*
368 *FEMS Microbiol Rev 2010: 34: 231–259. DOI:10.1111/j.1574-6976.2009.00190.x*
369 *Appl. Environ. Microbiol. 2012: vol. 78 no. 19 6850-6858*

falls erforderlich.[370] Der Biofilm muss eine bestimmte Stärke haben, damit Amöben auf ihm leben können, die wiederum die Vermehrung von Legionellen ermöglichen.[371]

FAZIT

Ubiquitär vorkommende Amöben/Einzeller sind für OPPPs wichtige Partner zum Überleben in der Umwelt; für Legionellen ist die Partnerschaft sogar unverzichtbar. Amöben bilden einen Schutzraum für OPPPs und ermöglichen Wachstum in einer Umgebung, die für planktonische Bakterien lebensfeindlich wäre. Die hohe Resistenz der Amöben, besonders ihrer Cysten, gegen Desinfektionsmittel und hohe Temperaturen kann auf die intrazellulären Bakterien übertragen werden und verbessert so deren Überlebenschancen in der Umwelt. Bei der Beurteilung der Effektivität von Desinfektionsverfahren/-mitteln oder auch bei der Temperaturhaltung muss die Fähigkeit zur Endocytobiose in Betracht gezogen werden. Auch vom Standpunkt der Epidemiologie und für die Gesundheit des Menschen sind Amöben wichtige Bestandteile von Mikrobiomen und bei der Etablierung von ganzheitlichen Abwehrstrategien mehr als bis jetzt zu berücksichtigen.

FUSSNOTEN

370 *Appl Environ Microbiol 2017: 83: e02737-16. https://doi.org/10.1128/AEM.02737-16*
371 *Appl Environ Microbiol 2017: 83: e02737-16. https://doi.org/10.1128/AEM.02737-16*

BIOFILME –
WIR LEBEN IM SCHLARAFFENLAND UND BAUEN EINE FESTUNG

Biofilme sind die älteste und erfolgreichste Lebensform auf der Erde. Erste Hinweise finden sich schon vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren in Stromatoliten[372]. Sie stellen frühe Formen mehrzelliger Lebewesen mit sozialer Struktur und effizienter Arbeitsteilung dar. In ihrem Multispecies-Verbund können sie auch Extremstandorte mit niedrigem Säuregrad (pH <1), hohen Salzgehalten (Totes Meer), niedrigen Temperaturen (Gletscher) oder hohen Temperaturen (>70°C) besiedeln und überleben selbst in konzentrierten Desinfektionsmitteln.[373]

Vorteile von Biofilmen gegenüber „Einzelkämpfern":[374]

// verbesserte Möglichkeiten der Nahrungsgewinnung aus Wasser und Substrat

// physiologische Veränderungen:
- erhöhte Wachstumsraten
- höhere Produktion von Erbsubstanzen, höherer Durchsatz
- erhöhte Toleranz
- erhöhte Virulenz
- erhöhte Vielfalt
- verbesserter Informationsaustausch

// physikalischer Schutz und örtliche Stabilisierung --> Bildung einer Trutzburg

// höhere Zelldichte, die den Rahmen für ein koordiniertes und soziales Verhalten bildet

Alle wasserbenetzten Oberflächen in der Trinkwasser-Installation sind von Biofilmen besiedelt. Trinkwasserbiofilme werden in der Regel durch die natürliche aquatische Mikroflora gebildet, die keine unmittelbare Relevanz für die menschliche Gesundheit hat. Sie können jedoch OPPPs Unterschlupf gewähren und so für diese als noch effektiveres Schutzschild als die Einzeller dienen. Die Reifung eines Biofilms kann mehrere Jahre betragen.[375] Trinkwassersysteme nachhaltig von Biofilmen zu befreien, ist nur mit sehr hohem Aufwand zu erreichen. Bildet sich ein kompakter Biofilm auf einem Werkstoff aus, überleben die fakultativ pathogenen Bakterien im Biofilm eine Kombination aus Reinigung und chemischer Anlagen-Desinfektion selbst mit hohen Wirkstoff-Konzentrationen. In den Biofilmen überlebende Bakterien vermehren sich wieder und kontaminieren erneut das Trinkwassersystem.

Je mehr Species in einem Biofilm vorhanden sind, desto größer ist seine Widerstandskraft. Viele Bakterien liegen im Biofilm im VBNC-Stadium vor. Auf Grund der hohen Zelldichte lassen sich Erbinformationen aus einem großen Genpool austauschen (horizontaler Gentransfer) und Nukleinsäuren recyceln.

Die Bildung von Biofilmen verläuft in folgenden Schritten:[376]

1. Konditionierung von Oberflächen, z.B. Rohrwandung (Filmbildung mit organischen Molekülen, Partikelauflagerung)[377], dadurch Veränderung der Substrat-Charakteristik.

2. Primäre Anheftung von Bakterien, Austausch von Informationen („quorum sensing"[378]).

3. Bildung von Mikrokolonien, Produktion von EPS (Extrazelluläre Polymere Substanzen), Schleim, Glibber.
4. Entwicklung eines zusammenhängenden Biofilms mit Einzellern und mehrzelligen Organismen.

5. Einwandern von OPPPs, (teilweiser) Übergang in VBNC.

6. Weitere Reifung mit Bildung voluminöser Biofilme in Abhängigkeit von Scherkräften, Ausbildung von Stoffgradienten, Einlagerung von Partikeln, Bildung einer Trutzburg.

7. Verteilung und Abreißen von voluminösen, lockeren Bestandteilen (Druckstoß).

8. Bildung von Biofilmflocken, Verteilung im System.

9. Wiederbesiedlung

Die Extrazellulären Polymere (EPS) vermitteln dem Biofilm Stabilität, füllen die Hohlräume aus und immobilisieren die eingelagerten Zellen. Sie speichern Wasser und Nährstoffe und bilden das unmittelbare Lebensumfeld der Mikroorganismen im Biofilm. Über niedermolekulare Moleküle kommunizieren die Organismen im Biofilm („quorum sensing"), um so gezielte Aktionen über Artgrenzen hinaus auszulösen. Besonders die voluminösen Biofilme, die innerhalb von Stagnationsphasen gebildet werden und Stoffgradienten ausbilden, tragen zur Toleranzsteigerung gegenüber ungünstigen Lebensbedingungen bei, da z.B. Desinfektionsmittel nur an der Oberfläche wirken. Im Gegensatz zu einer genetisch bedingten „Resistenz" vermittelt der Biofilm lediglich eine „Toleranz", die nach Verlassen oder Auflösen der Strukturen verloren geht. Die hohe Toleranz gegen Umwelteinflüsse besteht also nur

FUSSNOTEN

372 *Nature Reviews Microbiology 2016: 14, 563. doi:10.1038/nrmicro.2016.94*
373 *Nat Rev Microbiol. 2010: 8(9): 623-33. doi:10.1038/nrmicro2415*
374 *Pathogens. 2015: 4(2): 390–405. doi: 10.3390/pathogens4020390*
375 *Applied and Environmental Microbiology 2003: 69 (11), 6899e6907*
376 *Pathogens 2015: 4, 390-405. doi:10.3390/pathogens4020*
377 *Webinar Pall 2017: Biofilms - The Way Microorganisms Organize Their Social Life in Drinking Water, Hans-Curt Flemming*
378 *Als Quorum sensing wird die Fähigkeit von Einzellern bezeichnet, über chemische Kommunikation die Zelldichte der Population messen zu können. Sie erlaubt den Zellen bestimmte Gene nur dann zu aktivieren, wenn eine bestimmte Zelldichte über- oder unterschritten wird. Quorum sensing wird von Bakterien benutzt, um Prozesse zu koordinieren, die ineffizient wären, wenn sie nur von einzelnen Zellen durchgeführt würden, z.B. die Bildung von Biofilmen oder die Sekretion von Pathogenitätsfaktoren.*

in der intakten geschlossen Formation des Biofilms: Antibiotikatoleranz, Temperaturtoleranz, Desinfektionsmitteltoleranz, Schwermetalltoleranz.

Der Biofilm fungiert wie eine Festung, die den Einwohnern Schutz vor feindlichen Angriffen bietet. Verlassen sie den Biofilm, sind sie auf sich alleine gestellt.

Eigenschaften / Wirkungen von Biofilmen:

// Quelle für Wiederverkeimung (regrowth)

// Herberge von OPPPs

// Bildung von Geruch, Trübung, Verfärbung[379]

// hohe Toleranz gegen Desinfektionsmittel Legionellen im Biofilm werden selbst durch 50 mg Cl_2/l nicht abgetötet[380]

// Zehrung von Desinfektionsmitteln

// Biokorrosionen (anaerobe Zonen)

// Erhöhung des Strömungswiderstandes

Der Biofilm bildet jedoch kein Gefängnis. Bakterien wie OPPPs gehen aus dem Biofilm in den freien Wasserkörper über und führen so zu einer konstanten Kontamination und Übertragung auf den Menschen. Im freien Wasserkörper machen die dort lebenden Mikroorganismen (planktonische Form) lediglich 2-5% der gesamten Biomasse im System aus. Der überwiegende Anteil findet sich im Biofilm auf Grenzflächen, Partikeln („loose particles") oder Flocken.

Die Bildung der Biofilme wird durch eine Reihe von Faktoren (Abb.4) beeinflusst, deren gezielte Kontrolle ein wesentliches Merkmal einer erfolgreichen Reduzierungsstrategie darstellt. Eine vollständige Eliminierung von Biofilmen ist weder möglich noch wünschenswert.

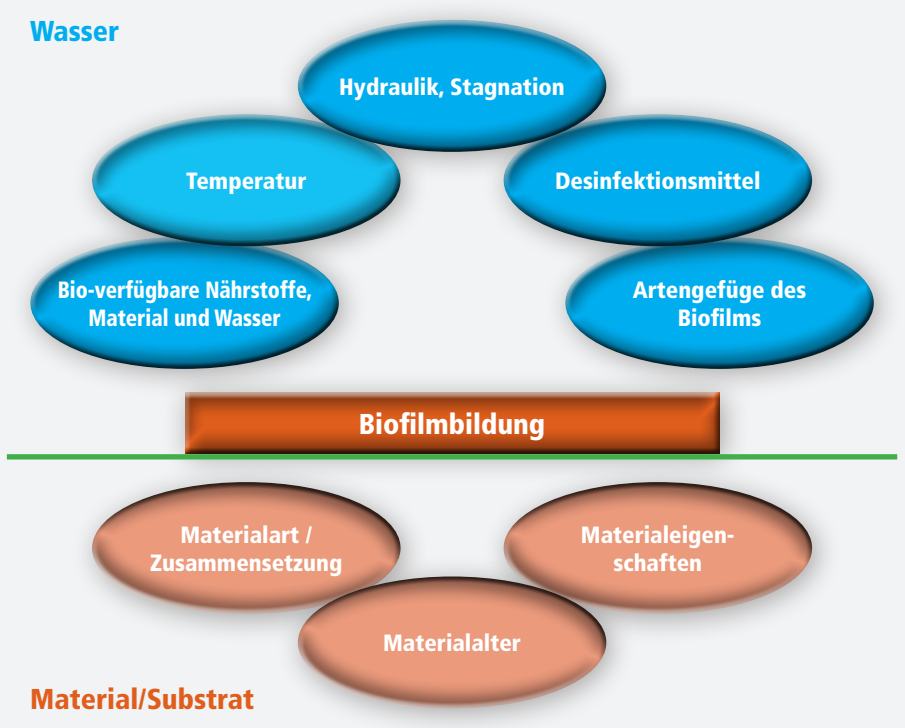

Abbildung 4: Faktorenmatrix für die Bildung von Biofilmen auf Grenzflächen[381]

Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Faktoren unterschiedlich auswirken:[382]

// Die Biofilmbildung war stark von der Temperatur, dem biologisch verfügbaren Nährstoffgehalt des Wassers und dem Werkstoffalter abhängig.

// Der zur Verfügung stehende biologisch verfügbare Nährstoffgehalt stellte den wesentlichen Faktor bei der Biofilmbildung dar.

// Alte Werkstoffe (EPDM, HD-PEXb) wiesen ein geringeres Biofilmbildungspotenzial auf.

// Wenn der Werkstoff wenig Nährstoffe abgab, kam der Nährstoffgehalt des Wassers deutlich mehr zum Tragen.

// Die Qualität des Werkstoffes wirkte sich bei Wässern mit niedrigem Nährstoffgehalt stärker aus als bei einem Wasser mit hohem Nährstoffgehalt.

// Die Temperatur hatte einen Einfluss; dieser war besonders dann gegeben, wenn Nährstoffe entweder aus dem Wasser oder dem Werkstoff zur Verfügung standen.

// Eine höhere Temperatur führt dann zu einer stärkeren Biofilmbildung.

Ablöseprozesse von Biofilmen

Die – teilweise spontane und unkontrollierte – Ablösung von Biofilmen gehört zu den noch wenig erforschten Prozessen, hat aber für die Trinkwasserqualität und das Trinkwassermanagement eine große Bedeutung. Kontinuierliche geringe Ablösungen kleiner Bestandteile (Erosion) führen zu einem ständigen Eintrag geringer, meist unbekannter Mikroorganismen in das nachfolgende Mikrobiom mit der Bildung von Biofilmen mit ähnlicher Art-Zusammensetzung. Das Abreißen größerer Bestandteile erfolgt nicht auf einer regelmäßigen Basis, sondern als Folge von „Störfällen" im System, z.B. Druckstößen. Dieser Prozess stellt für die Wasserqualität ein viel größeres Risiko dar, da dabei große Mengen von Mikroorganismen, auch OPPPs, assoziiert an den Biofilm, in den freien Wasserkörper gelangen und mit diesem zum Verbraucher transportiert werden.[383]

Die Hydraulik der Trinkwasseranlage beeinflusst zwar nicht die Arten-Zusammensetzung der Biofilme, hat aber einen entscheidenden Einfluss auf ihre mechanische Stabilität.[384] EPS (Schleim) bietet Schutz und eine gewisse physikalische Stabilität gegenüber Scherkräften. Bei Stagnation oder geringen Fließgeschwindigkeiten des Trinkwassers erfolgt das Wachstum sehr unregelmäßig mit Bildung von Poren und Kanälen mit der Folge geringer mechanischer Stabilität. Bei hohen konstanten Scherkräften wird der Biofilm in seiner Mächtigkeit begrenzt und wächst sehr kompakt und fest auf den Grenzflächen, was ein Abreißen stark erschwert. Im Sinne einer optimalen Betriebsführung sind hohe Strömungsgeschwindigkeiten bzw. hohe Scherkräfte anzustreben, da dadurch ein unkontrolliertes Abreißen von Biofilmbestandteilen stark reduziert wird. Ein weiterer Faktor ist die Beeinflussung der Kommunikation der Bakterien untereinander durch Botenstoffe, die durch einen forcierten Wasseraustausch/höhere Fließgeschwindigkeiten möglicherweise beeinflusst wird.

Schwarze Biofilme

Schwarze Biofilme an Entnahmearmaturen, Toiletteneinspülkästen und Duschen wurden in den letzten Jahren in vielen Wasserversorgungsbereichen von Deutschland beschrieben, und haben beim Verbraucher Besorgnis ausgelöst. Sie bestehen aus dunklen/schwarzen Pilz-Biofilmen (*Exophiala equina*, *E.lecanii-corni,* schwarze Hefen und anderen Pilzen), die nach heutigem Kenntnisstand kein gesundheitliches, sondern lediglich ein ästhetisches Problem darstellen.[385] [386] Es besteht offensichtlich ein Zusammenhang mit der Phosphatierung des Trinkwassers und dem Auftreten leichtflüchtiger organischer Substanzen in Badezimmer (Parfum, Deo). Die Besiedlung erfolgt nicht aus dem Trinkwasser, sondern retrograd über die Raumluft. „Sanierung" geschieht durch regelmäßige Reinigung der bewachsenen Teile.

FAZIT

Im Mikrobiom der Trinkwasser-Installation nehmen Biofilme eine zentrale Rolle ein. Alle mit Wasser benetzten Oberflächen sind von Biofilmen besiedelt, die sich an die spezifischen Bedingungen in ihrer Umgebung angepasst haben. Sie ermöglichen Einzellern Wachstum, bieten OPPPs einen sicheren Unterschlupf, verhindern Abtransport und wirken so als hoch effektiver Schutzschild gegen widrige Lebensumstände und Maßnahmen zur Kontrolle von OPPPs. Sie weisen eine hohe Toleranz gegen Desinfektionsmittel und auch höheren Temperaturen auf. Ihre Mächtigkeit wird stark durch verwertbare Nährstoffe und die Hydraulik beeinflusst. In Stagnationsphasen können sehr voluminöse Biofilme gebildet werden, die als Folge von „Störfällen" im System, z.B. Druckstößen, abgelöst und auf den Nutzer übertragen werden können. Die Reduzierung des Nahrungsangebotes, z.B. durch gezielte Auswahl von Materialien in Kontakt mit Wasser, und regelmäßiger Wasseraustausch/Flow sind wichtige Maßnahmen zur Begrenzung von Biofilm-Wachstum und damit auch von OPPPs.

FUSSNOTEN

379 *Appl Microbiol Biotechnol 2017: 101: 3537-3550. DOI 10.1007/s00253-017-8223-7*
380 *J Hosp Infect. 2010: 74(2): 152-9. doi: 10.1016/j.jhin.2009.07.005*
381 *Nach einer Vorlage von Curt Flemming. Webinar Pall 2017: Biofilms - The Way Microorganisms Organize Their Social Life in Drinking Water, Hans-Curt Flemming*
382 *Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation" Version 2.1 - mit Glossar. Projektdauer: 01.10.2006 – 30.04.2010. Koordination: Prof. Dr. Hans-Curt Flemming*
383 *Environ. Sci.: Water Res.Technol. 2016: 2, 614. DOI: 10.1039/c6ew00039h.*
384 *J Appl Microbiol 2014: 117: 286–301. doi:10.1111/jam.12516*
385 *Mycopathologia 2013: 175:387–397. DOI 10.1007/s11046-013-9618-3*
386 *Mycopathologia 2013: 175:399–412. DOI 10.1007/s11046-013-9619-2*

VBNC – WIR MACHEN UNS UNSICHTBAR – DIE TARNKAPPE DER BAKTERIEN

Die Empfindlichkeit eines Organismus gegen Umwelteinflüsse sinkt mit Abnahme seiner Stoffwechselprozesse. Eine zumindest zeitweise Reduzierung der Stoffwechselaktivitäten war deshalb im Laufe der Evolution ein probates Mittel, lebensungünstige Perioden zu überstehen, z.B. der Übergang in den Winterschlaf bei Igel, Bär und vielen anderen. Als erste Lebewesen haben jedoch die Bakterien die Vorteile eines Winterschlafstadiums für sich entdeckt.

Dieses Winterschlafstadium der Bakterien wird bezeichnet als VBNC-Stadium: „Viable But Not Culturable" – Lebend, aber mit kulturellen Methoden nicht nachweisbar. In diesem Stadium reduzieren Bakterien ihren Stoffwechsel auf ein absolutes Minimum, wenn die Lebensumstände sich verschlechtern. In dieser Lebensform sind sie erheblich widerstandsfähiger gegen Stressfaktoren. Bei verbesserten Umweltbedingungen gehen sie wieder in eine kulturell nachweisbare und vermehrungsfähige Form über. Im Mikrobiom Trinkwasser liegen in der Regel immer beide Lebensformen parallel vor. Für die überwiegende Mehrheit der Bakterien im Mikrobiom Trinkwasser ist das VBNC-Stadium der Normalzustand („schweigende Mehrheit"). Sie entziehen sich dem kulturellen Nachweis und werden erst in jüngster Zeit durch neuere Methoden (z.B. „Next Generation Sequencing") entdeckt.

Eine Bakterienzelle im VBNC-Zustand kann definiert werden als eine, die nicht mehr unter den mikrobiologischen kulturellen Routinebedingungen (z.B. Vorgabe TrinkwV) wächst. Sie lebt aber immer noch und weist geringe Stoffwechsel-Aktivität auf. Ihre Zellmembran ist intakt und sie behält die Fähigkeit, wieder in einen vermehrungsfähigen Zustand zurück zu kehren.

Mit Hilfe von Standard-Kultivierungsverfahren ist man in der Lage, eine Vielzahl von hygienisch relevanten Bakterien nachzuweisen. Diese standardmäßigen Verfahren haben sich in der Vergangenheit in der Trinkwassermikrobiologie bewährt, aber sie haben auch ihre Schwächen. Sie erfassen die bereits erwähnten VBNC-Organismen nicht und zeigen nur die „Spitze des Eisbergs". Dies könnte eine Erklärung für das Phänomen sein, dass in der Praxis gelegentlich zeitlich schwankende Befunde erhoben werden, da die Ziel-Organismen sich mal in einem kultivierbaren und dann wiederum in einem nicht kultivierbaren Zustand befinden.[387]

Alle hier angesprochenen OPPPs (*Legionellen, P.aeruginosa*, NTM) können VBNC-Stadien ausbilden.

Faktoren, die den Übergang in das VBNC-Stadium bewirken, sind:[388]

// Nahrungsmangel

// Leben im Biofilm
// andere Mikroorganismen

// Desinfektionsmittel

// ungünstige Temperaturbereiche

// hohe Temperatur

// UV-Licht

// Schwermetalle (Kupfer, Silber)

Besonders leicht gelingt die Überführung in das VBNC-Stadium bei *P.aeruginosa*, der schon bei geringen Kupferkonzentrationen im Trinkwasser (0,5-1,0 mg Cu/l) in den Winterschlaf abtaucht. Nach Inaktivierung des Kupfers kehrt er schnell wieder in die kulturelle Form zurück. Dieses Verhalten könnte bedeuten, dass es bei Untersuchungen in Kupferinstallationen bei Verwendung allein der kulturellen Methode verbreitet zu „falsch negativen" Ergebnissen gekommen ist und das Vorkommen von *P.aeruginosa* unterschätzt wurde. Die Bestimmung der kultivierbaren Bakterien reicht so alleine nicht immer aus, um den hygienischen Status von Trinkwasser zu erfassen.

Legionellen können nach langen Hungerperioden (30-40 Tage) in einen desinfektionsresistenten VBNC Zustand übergehen.[389] In diesem Zustand können sie mehr als 200 Tage überleben.[390] Verschiedene Stressoren und auch die verschiedenen Lebensformen der Legionellen führen zu unterschiedlichen Formen des VBNC-Zustandes, die un-

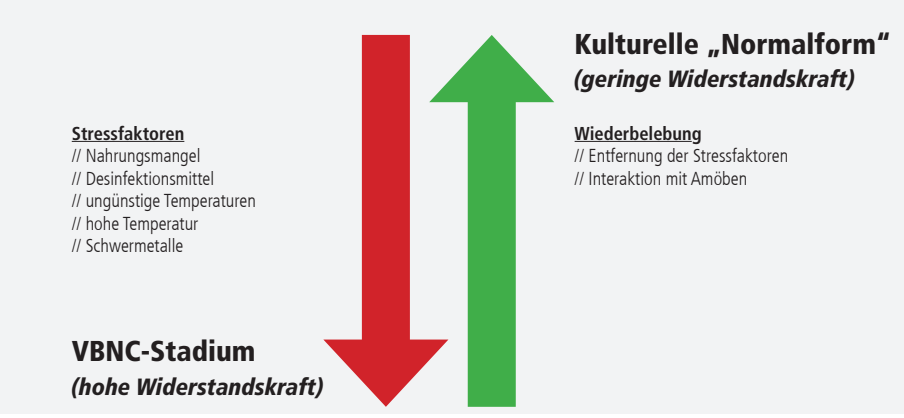

Abbildung 5: Wechsel zwischen kultureller Lebensform und Winterschlafform (VBNC-Stadium)

terschiedliche Rückbildungsmechanismen erfordern.[391] Bei Zugabe von Desinfektionsmitteln (hier: Monochloramin) überleben VBNC-Stadien über mehrere Jahre. Nur eine konstante unterbrechungsfreie Aufrechterhaltung einer wirksamen Desinfektionskapazität verhindert eine Rückkehr in die Normalform.[392]

Die Rückführung in den „Normalzustand" ist ein Prozess, der nach Verbesserung der Lebensumstände in Gang gesetzt wird. Bei Legionellen ist eine Passage durch Amöben offensichtlich notwendig, um von der VBNC-Form in die kulturelle Lebensform zurückkehren zu können.

Die Frage, ob Bakterien im VBNC-Zustand für den Menschen infektiös sind, ist noch nicht abschließend geklärt. Es ist wahrscheinlich, dass die Erreger im VBNC-Zustand entweder für den Menschen nicht infektiös[393] oder aber stark abgeschwächt infektiös sind.[394 395]

Auswirkungen des VBNC-Zustandes auf den Betrieb von Trinkwasser-Installationen

// **Unterschätzung des Vorkommens von OPPPs.**

// **Hohe Toleranz gegen Desinfektionsmittel** Überschätzung der Effektivität und Nachhaltigkeit von Desinfektionsmaßnahmen: Bei Desinfektionsversuchen mit Legionellen überlebten die VBNC-Stadien selbst bei ClO_2-Konzentrationen von 4-5 mg/L über 1 Stunde und waren für Amöben weiterhin infektiös. Zwischen einzelnen Stämmen traten erhebliche Unterschiede auf.[396]

// **Hohe Temperaturtoleranz:** Bei 55°C und 60°C bleiben Legionellen im VBNC Stadium bis zu 75 Tagen lebendig und infektiös für Amöben und im geringeren Maß für Makrophagen-ähnliche Zellen. Der Verlust der kulturellen Anzüchtbarkeit erfolgte schon nach wenigen Stunden. Legionellen überstehen im VBNC Stadium thermische Desinfektionsversuche von 70°C für 30 Minuten vital. Dabei treten erhebliche Unterschiede zwischen Labor- und Umweltstämmen auf.[397] Bei Pasteurisierungsversuchen von gesammeltem Regenwasser überlebten Legionellen im VBNC-Stadium selbst Temperaturen >90°C in Vergesellschaftung mit Acanthamoeben.[398]

// **Ursache für immer wieder kehrende Kontaminationen:** In Bereichen, in denen keine konstant lebensfeindlichen Bedingungen herrschen, können VBNC Stadien wieder in die kulturelle Lebensform wechseln und so von dort aus ganze Systemen rekontaminieren. Dies gilt sowohl für eine nicht konstante Temperaturhaltung als auch für einen nur kurzfristigen Zusatz von Desinfektionsmitteln.

// **Ursache für Sanierungsmisserfolge:** Die Beurteilung eines Sanierungserfolges allein durch kulturelle Methoden überschätzt regelhaft die Nachhaltigkeit von kurzfristigen Maßnahmen wie thermische oder chemische Anlagendesinfektion. Aus den überlebenden VBNC-Stadien kann es immer wieder zu Rekontaminationen und damit zu einem Versagen dieser Aktionen kommen.

FAZIT

Alle OPPPs sind in der Lage, Winterschlafstadien (VBNC) zu bilden und überstehen so selbst extreme Umweltbedingungen über längere Zeiträume. Unter Normalbedingungen kehren sie wieder in die infektiöse Normalform zurück. Unsere Bewertungskonzepte zur Beurteilung von Kontrollmaßnahmen zur Verminderung der Gesundheitsgefahren durch OPPPs müssen grundlegend geändert werden, da VBNC durch kulturelle Verfahren nicht dargestellt werden. Die hohe Desinfektionsmitteltoleranz und Temperaturtoleranz der VBNC-Stadien muss bei Kontrollstrategien verstärkt Berücksichtigung finden. Zur Ermittlung der Effektivität und dauerhaften Wirkung von Maßnahmen gegen den Aufwuchs von OPPP sowie im Rahmen der Aufklärung von Kontaminations- bzw. Infektionsquellen muss die Gesamtheit der Lebensformen mittels geeigneter Methoden ermittelt werden. Die heute noch überwiegend angewandten Risikobeurteilungen auf Grund allein der Anzahl kultivierbarer Mikroorganismen enthält eine Vielzahl von Unwägbarkeiten und ist dringend auf die Einbeziehung zumindest der VBNC-Stadien zu erweitern.[399]

FUSSNOTEN

387 *Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation" Version 2.1 - mit Glossar. Projektdauer: 01.10.2006 – 30.04.2010. Koordination: Prof. Dr. Hans-Curt Flemming*
388 *Water Res. 2016: April 15; 93: 276–288. doi:10.1016/j.watres.2016.02.016*
389 *Journal of Applied Microbiology 2007: 102 1636–1644. doi:10.1111/j.1365-2672.2006.03195.x*
390 *Water Research xxx (2018) 1e11; https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.04.027*
391 *Water Res. 2016: April 15; 93: 276–288. doi:10.1016/j.watres.2016.02.016*
392 *Journal of Hospital Infection 2018: 98 1, 46-52. DOI: 10.1016/j.jhin.2017.09.006*
393 *Res Microbiol. 2015: Apr; 166(3): 215-9. doi: 10.1016/j.resmic.2015.01.004.*
394 *Water Res. 2013: Nov 1; 47(17): 6606-17. doi: 10.1016/j.watres.2013.08.032.*
395 *Water Res. 2018: Feb 3. pii: S0043-1354(18)30072-1. doi: 10.1016/j.watres.2018.01.058*
396 *Res Microbiol. 2015: Apr; 166(3): 215-9. http://dx.doi.org/10.1016/j.resmic.2015.01.004*
397 *Microb Ecol 2015: 69: 215. https://doi.org/10.1007/s00248-014-0470-x*
398 *Legionella Species Persistence Mechanisms in Treated Harvested Rainwater. Penelope Heather Dobrowsky. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Stellenbosch. Department of Microbiology. Faculty of Science March 2017*
399 *Water Res. 2016: April 15; 93: 276–288. doi:10.1016/j.watres.2016.02.016*

MIKROBIOM – DER WEG ZU EINER GANZHEITLICHEN BETRACHTUNG DES MIKROKOSMOS

Wir beobachten nicht mehr einzelne Bakterienarten, sondern den komplexen Gesamtorganismus.

Mit der Entwicklung hochauflösender und innovativer neuer Sequenzierungsmethoden – „Next Generation DNA Sequencing", „High Throughput DNA Sequencing" haben sich ganz neue – ganzheitliche - Sichtweisen bei der Beurteilung mikrobiellen Lebens, von Lebensgemeinschaften und ihren Interaktionen ergeben. Als Mikrobiom bezeichnet man die Gesamtheit aller in einem bestimmten Bereich (Darm des Menschen, Haut des Menschen, Wohngebäude, Trinkwasser-Installation) lebenden Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Pilze, Einzeller, Biofilm). Das Mikrobiom Trinkwasser umfasst alle Bereiche wie freier Wasserkörper, Biofilme, Partikel und alle Lebensformen. Im engeren Sinn wird hier die Gesamtheit aller mikrobiellen Gene bzw. des Erbmaterials im jeweiligen Bereich erfasst.

Die Mikrobiomforschung hat sich zu einem wirklichen Senkrechtstarter entwickelt und erlaubt völlig neue Sichtweisen hin zu einer ganzheitlichen Betrachtung des Mikrokosmos. Sie verändert auch die Sichtweise gegenüber Bakterien oder auch Krankheitserregern. Bei Betrachtung aller möglichen Interaktionen im menschlichen Mikrobiom erweisen sich Bakterien zunehmend als Partner des Menschen und nicht als Feinde, die es gilt durch Antibiose abzutöten. Besonders im Bereich der Mikrobiomforschung des menschlichen Darms ergeben sich bereits sehr erfolgreiche revolutionäre klinische Anwendungen. Wir bewegen uns weg von der „Germophobie" zu einem vertieften Verständnis des Nutzens der Mikroben für den Menschen.

Als ein Beispiel wäre dabei zu nennen die Therapie von schweren, teilweise lebensbedrohlichen Durchfallerkrankungen nach einer Infektion mit *Clostridium difficile*. Diese Erkrankung wurde jahrelang mit Antibiotika behandelt, Rezidive waren jedoch häufig. Der neue Weg, das Darmmikrobiom durch eine Transplantation von menschlichem Stuhl wieder herzustellen, hat sich als außerordentlich erfolgreich, nachhaltig und einer Antibiotikagabe überlegen erwiesen.[401]

Könnten sich solche Sichtweisen nicht auch auf unser Verständnis von Trinkwasser/ Trinkwasser-Installationen übertragen lassen und unser Denken über Konstruktion und Betrieb von Trinkwasser-Installationen verändern?

Tabelle 16:
Klassifikation und Charakteristik von Phasen im Mikrobiom der Trinkwasser-Installation[400]

freier Wasserkörper	Transportvehikel für Nährstoffe, Mikroben und Partikel, Quelle für mikrobielles Wachstum und Akkumulation von Partikeln
suspendierte Festkörper	suspendiert im freien Wasserkörper führen sie zu einer Vergrößerung der besiedelbaren Oberfläche für Bakterien, vermitteln Schutz und Nahrung für die angehefteten Bakterien
Biofilm auf (Rohr)wandung	Ort für die Hauptmasse der Bakterien, Schutz gegen Desinfektionsmaßnahmen, Voraussetzung für Einzeller
loses Ablagerungen	aufgelagert am Boden von Rohren/Behältern, möglicher Übergang in den freien Wasserkörper während bestimmter hydraulischer Prozesse. Bietet Bakterien Schutz und Nährstoffe

Der Mensch ist mehr als 20 Stunden am Tag in Kontakt mit dem Gebäudemikrobiom, auch mit dem Trinkwassermikrobiom. Über die komplexen Lebensgemeinschaften und ihrer Interaktion mit dem menschlichen Mikrobiom ist noch wenig bekannt. Forschungen stehen hier erst am Anfang, erbringen aber schon erstaunliche Ergebnisse, die unser Denken in der Zukunft verändern werden.[402] [403] Das jetzige Verständnis von Trinkwasserverteilungssystemen ist begrenzt auf den Biofilm auf Rohrwandungen und die Mikroorganismen im freien Wasserkörper. Die Bedeutung von Mikroorganismen auf Partikeln (lose Ablagerungen oder suspendierte Partikel) ist lange Zeit nicht beachtet worden. Es zeigt sich aber, dass ein ganz erheblicher Anteil der Biomasse mit Partikeln assoziiert ist. Zwischen den einzelnen Kompartimenten finden lebhafte Interaktionen statt.[404]

Jede Trinkwasseranlage, jede Stufe der Wassergewinnung und Verteilung hat ihr spezifisches Mikrobiom, das sich permanent verändert und sich jahreszeitlichen, betriebstechnischen oder operationellen Bedingungen immer perfekt anpasst.[405] Mikrobielle Gemeinschaften unterscheiden sich zwischen Wasser und Biofilm und zwischen Trinkwasser Kalt und Warm, zwischen verschiedenen Gebäudeteilen und unterschiedlichen Betriebsbedingungen (z.B. Stagnation). [406]

Schon lange beeinflussen wir unbewusst durch Aufbereitungsprozesse, Materialauswahl oder Temperaturhaltung die Zusammensetzung der Mikrobiome. In Zukunft müssen diese Einflüsse gezielt in einer ganzheitlichen Sichtweise untersucht und bewertet werden.[407] Wir wissen mittlerweile, dass Desinfektion nicht zu einer Abtötung aller Mikroorganismen führt, sondern lediglich die Zusammenset-

zung des Mikrobioms verändert. Der Nachteil durch unerwünschte Veränderungen des Mikrobioms überwiegt dabei die Vorteile, die in der Reduktion eines einzigen Zielorganismus, meist nur für kurze Zeiträume, erzielt werden. Von Janet Stout, USA, wurde dies sehr kennzeichnend als „Shortterm gain, but longterm pain" bezeichnet. Keine Einzelmaßnahmen mit unkontrollierbarer Veränderung des Mikrobioms, sondern Dauermaßnahmen bei stabiler Sicherung von Mikrobiomen, die nicht die optimalen Bedingungen für OPPPs bieten, sind die bevorzugte Strategie der Zukunft.

Wir erkennen, dass Stagnation in der Trinkwasser-Installation nicht nur chemische Veränderungen verursacht, sondern auch die Zusammensetzung des Mikrobioms beeinflusst, möglicherweise in eine Richtung, die das Wachstum von OPPPs erleichtert.

Diskutiert werden schon völlig neue Konzepte, die von den traditionellen Vorstellungen z.B. der Desinfektion abgehen. Wir wissen, dass eine Desinfektion – ganz gleich in welcher Konzentration – niemals das Mikrobiom als Ganzes auslöschen kann, sondern lediglich die Zusammensetzung verändert. Anstelle dieser „germophoben" Sichtweise werden probiotische Konzepte[408] diskutiert, mit denen versucht werden soll, das Mikrobiom gezielt so zu formen, dass es für die unerwünschten OPPPs keine optimalen Bedingungen mehr liefert.[409]

FAZIT

Die Mikrobiomforschung zeigt eindrucksvoll die Notwendigkeit einer ganzheitlichen Betrachtung des Mikrokosmos, welcher nicht mehr nur als Feind, sondern auch als Helfer gesehen werden kann. Jede Trinkwasseranlage, jede Stufe der Wassergewinnung und Verteilung hat ihr spezifisches Mikrobiom, das sich permanent verändert und sich jahreszeitlichen, betriebstechnischen oder operationellen Bedingungen immer perfekt anpasst. Alle im Bereich der Trinkwasser-Installation durchgeführten Maßnahmen zur Kontrolle von OPPPs müssen in Hinblick auf ihre Auswirkungen im gesamten Mikrobiom betrachtet werden, eine Fokussierung nur auf einzelne Spezies kann an anderer Stelle zu nicht vorhersehbaren Veränderungen führen. Nicht sinnvoll sind Einzelmaßnahmen mit unkontrollierbarer Veränderung des Mikrobioms, sondern die bevorzugte Strategie der Zukunft sind robuste Dauermaßnahmen bei stabiler Sicherung und Schaffung von Mikrobiomen, die den OPPPs keine optimalen Bedingungen bieten.

FUSSNOTEN

400 *Appl Microbiol Biotechnol 2013: 97: 9265–9276. DOI 10.1007/s00253-013-5217-y*
401 *Aliment Pharmacol Ther. 2017: 00:1–9. https://doi.org/10.1111/apt.14443*
402 *https://sloan.org/programs/science/microbiology-of-the-built-environment*
403 *Microbial Biotechnology 2017: 10(1), 11–13. doi:10.1111/1751-7915.12430*
404 *Environ Sci Technol. 2014: May 20; 48(10): 5467-76. doi: 10.1021/es5009467*
405 *Water research 2014: 54 10 e114. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.049*
406 *Journal of Applied Microbiology 2016: 120, 1723—1738. DOI: 10.1111/jam.13144*
407 *PLoS One 2015: 10(10): e0141087. doi:10.1371/journal. pone. 0141087*
408 *Environ. Sci. Technol. 2013: 47 (18), 10117–10128. DOI: 10.1021/es402455r*
409 *Pathogens 2015: 4, 390-405. doi:10.3390/pathogens4020*

FAKTOREN FÜR WACHSTUM UND VERMEHRUNG VON MIKROORGANISMEN

Wie schon in der Einleitung dargestellt weist Trinkwasser in Trinkwasser-Installationen im Vergleich zur kommunalen Versorgung längere Verweilzeiten/ Stagnationen, höhere Temperaturen und erhöhtes Nahrungsangebot auf.[410]

Das Wachstum („regrowth") von Mikroorganismen in Trinkwasser-Installationen von Gebäuden wird im Wesentlichen durch drei Faktoren beeinflusst.[411] (Beeinflussungen durch den Faktor Desinfektionsmittel bleiben bei dieser Betrachtung unberücksichtigt.)

1. **Menge verfügbarer Nährstoffe, insbesondere von verwertbarem organischen Kohlenstoff (C)**

2. **Temperatur des Trinkwassers (Minimaltemperatur, Optimaltemperatur, Maximaltemperatur)**

3. **Stagnation, Hydraulik, Scherkräfte, Betriebsweise, Betriebsfrequenz**

Alle Faktoren sind in komplexen Zusammenhängen miteinander verbunden. So kommt z.B. in Stagnationsphasen zum einem der Wärmeübergang von Warm nach Kalt verstärkt zum Tragen. Zum anderen steigen in Stagnationsphasen die Konzentrationen verwertbarer organischer Verbindung aus Materialien und aus Selbstproduktion stark an. Ohne ausreichendes Nahrungsangebot können Mikroorganismen auch bei Optimaltemperatur und Stagnation nicht wachsen und sich vermehren, sondern werden in das VBNC-Stadium übergehen.

Steuerung mikrobiellen Lebens gelingt nur durch intelligente Steuerung aller drei Komponenten und eine möglichst konstante Betriebsführung der Trinkwasser-Installation und Befolgung lang bekannter Grundprinzipien:[412 413]

// Trinkwasser muss fließen, keine Stagnation

// bestimmungsgemäße Nutzung der Trinkwasser-Installation

// regelmäßiger (mindestens alle 24 h) Austausch des Trinkwassers

// kaltes Wasser <25°C (besser <20°C) und Warmwasser >55°C im gesamten System

// regelmäßige Überprüfung und Instandhaltung

In Tabelle 17 sind internationale Regelwerke aufgeführt, die Anforderungen an Konstruktion und Betriebsführung von Trinkwasser-Installationen in Gebäuden stellen.

Abbildung 6: Einflussgrößen für mikrobielles Wachstum („regrowth) in Trinkwasser-Installationen

FUSSNOTEN

410 Drinking Water Distribution Systems. Assessing and Reducing Risks. The National Academies Press Washington 2006
411 Int J Hyg Environ Health. 2016: Jan; 219(1): 101-9. doi: 10.1016/j. ijheh.2015.09.007
412 Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation" Version 2.1 - mit Glossar. Projektdauer: 01.10.2006 – 30.04.2010. Koordination: Prof. Dr. Hans-Curt Flemming
413 Fazit der Fortbildungstagung für Wasserfachleute vom 3.-5.1.2015 in Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/161115_bericht_wasserkurs2015.pdf

Tabelle 17:
Zusammenstellung internationaler Regelwerke über Anforderungen an Trinkwasser in Gebäudeinstallationssystemen zur Verminderung des Wachstums von Legionellen

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

CH	Schweizerischer Verein des Gas- und Wasserfaches
	SVGW: Legionellen in Trinkwasser-Installationen – Was muss beachtet werden? W10002d
		// Gebäude risiko-gestaffelt	// <=20°C	// Speicher >= 60°C
				// Peripherie >= 50°C
				// Verteil- und Steigleitungen >= 55°C
					// kein stagnierendes Wasser
					// tägliche Erneuerung Wasser-erwärmerinhalt
					// optimale Fliessgeschwindigkeiten
					// gute Durchspülung
					// kurze Leitungslängen
					// Werkstoffe mit glatten Oberflächen und Temperaturbeständigkeit
					// einmal täglich mindestens einer Stunde >60°C

CH	Bundesamt für Gesundheit BAG Abteilung Übertragbare Krankheiten Bern März 2009 Legionellen und Legionellose	// Gebäude risiko-gestaffelt	// <=20°C	// Wassererwärmer 60 °C // Verteilsystem 55°C nach zwei Minuten	// Risikoanalyse // gute Dämmung zwischen den Warm- und Kaltwasserleitungen unerlässlich
CH	FEA Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz: Legionellen im Warmwasser		// <=20°C	// Wasserer-wärmer / Speichersystem >=60 °C // Peripherie >= 55 °C	

AT	ÖNORM B 5019 Ausgabe: 2017-02-15 Hygienerelevante Planung, Ausführung, Betrieb, Überwachung und Sanierung von zentralen Trinkwasser-Erwärmungsanlagen. Österreichisches Normungsinstitut	// zentrale Warmwasser-Versorgungs-anlagen unter Ausschluß von Ein- u. Zweifamilien-häusern
		// Risikostaffe-lung: Kran-kenhäuser bis Wohn-anlagen
				// Eintritt in das Verteilsystem >= 60 °C ganzjährig
				// Warmwasser-bereiter >=55°C an jeder Stelle bei Stillstand
				// >=55 °C Zirkulations-system
				// Temperatur-verlust im gesamten Verteilsystem inkl. Zirkulation max 5 K
					// Kalt- und Warmwasserleitungen bevorzugt in getrennten Steigschächten
					// bei horizontal geführten Rohrlei-tungstrassen Kaltwasserleitungen nicht oberhalb der Warmwasserlei-tungen anordnen
					// Abschalten der Zirkulationspumpe nicht zulässig
					// Länge von Einzelzuleitungen bis Auslaufarmatur maximal 6 m
					// hydraulischer Abgleich
					// Temperaturmessen an definierten Stellen
					// Maßnahmen bei Unterbrechungen

AT	Fachverband Gastronomie: Merkblatt über die Verminderung des Risikos von Legionella-Infektionen Mai 2010	// Beherber-gungsbetriebe		// Speicher 60°C // Zirkulations-leitungen 55°C	

AT	Hygieneplan für österreichische Schu-len. Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft und Kultur. 2005	// Schulen			// Warmwasserspeicher regelmäßig entkalken und reinigen. Duschen vor Wiederinbetriebnahme mit Heißwas-ser (mind. 60° C) ca. 5 min. spülen.
					// Totleitungen nahe am Hauptstrang abtrennen
					// Brauseköpfe möglichst aerosolfrei
					// jährliche Untersuchung Legionellen (vor Schulbeginn)

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

GB	Legionnaires' disease: The control of legionella bacteria in hot and cold water Systems HSG274 Part 2 Published 2014. HSE (Health and Safety Executive)
	
	INDG458, published 04/12
	Legionnaires' disease: Technical Guidance
	A brief guide for dutyholders
	
	Legionnaires' disease. The control of legionella bacteria in other risk systems HSG274 Part 3 2013
		// rechtlich Verantwortlicher für Gesundheit und Sicherheit wie Arbeitgeber und alle mit Verantwortung für gewerbliche Gebäude (Vermieter)	// <=20°C nach 2 Minuten	// Speicher >=60°C
				// Verteilung >50°C
				// bei Hospitälern >55°C
				// nach 1 Minute Laufzeit
					// Risikoanalyse
					// keine Stagnation im gesamten System
					// Leitungslängen so kurz wie möglich
					// Entfernung von redundanten Teilen und Totleitungen
					// kein Einsatz von Materialien, die Mikroorganismen enthalten oder Nährstoffe ans Wasser abgeben (Water Fittings and Materials Directory), getestet nach BS 6920
					// Monitoring aller Kontroll-Maßnahmen
					// regelmäßige Wasserbewegung
					// alle 12 h Austausch gesamt Kaltwasser
					// WSP für Risikobereiche

GB	HSE: Legionnaires' disease. The control of legionella bacteria in water systems. Approved Code of Practice and guidance on regulations
	L8 (Fourth edition) 2013w
		// rechtlich Verantwortlicher für Gesundheit und Sicherheit wie Arbeitgeber und alle mit Verantwortung für gewerbliche Gebäude (Vermieter)		// siehe HSG part 2	// Risikoanalyse
					// Präventivmaßnahmen zur Verhinderung von Legionellenwachstum
					// Reduzierung der Exposition gegenüber Aerosolen
					// keine Temperaturen zischen 20°C und 45°C und keine Bedingungen, die das Wachstum von Legionella begünstigen
					// keine Stagnation
					// keine Materialien, die Nährstoffe abgeben

GB	Water systems: Health Technical Memorandum The control of Legionella, hygiene, "safe" hot water, cold water and drinking water systems
	04-01 The control of Legionella etc – Part A: Design, installation and testing Department of Health 2006
		// Krankenhäuser, Gebäude Gesundheitswesen	// <25°C, besser <=20°C nach 2 Minuten	// Speicher 60°C
				// Verteilung 55°C
				// 50°C Minimum Eintritt Zirkulation nach 1 Minute
					// Wasseraustausch alle 24 h PWC
					// alle Materialien nach „Water Fittings and Materials Directory"
					// Vermeidung von Temperaturgradienten im Speicher

GB	CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers). TM13: 2013: Minimising the risk of Legionnaires' disease	// allgemein	// <=20°C
			// >25°C unbefriedigend
			// >30°C Kritisch
				// Speicher 60°C
				// Zirkulation 55°C
				// mind. 50°C
					// keine Stagnation Kaltwasser
					// Wärmeübergänge vermeiden
					// Speicherung in kühlen Räumen
					// monatliche Temperaturkontrollen PWC, PWH
					// PWC Temperaturmessung nach 1 Minute

GB	Health and safety in care homes. HSE 2nd edition London 2014	// Krankenhäuser, Heime	// <=20°C	// Speicher 60°C
				// Periphierie 50°C
					// monatliche Temperaturkontrolle
					// keine Stagnation
					// wöchentliche Spülung

GB	Guidance on Legionella in Fire Fighting Systems and Equipment. FIA Guidance for the Fire Protection Industry January 2013	// Feuerlöschanlagen	// <=20°C		// Risikomatrix für Geräte und Tätigkeiten

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

GB	BSI Standards Publication BS 8580:2010
	Water quality – Risk assessments for Legionella control – Code of practice
		// allgemein	// möglichst <=20°C
			nach 2 Minuten
				// Speicher 60°C
				// Verteilung >= 50°C
				nach 1 Minute
					// präventive Risikoanalyse
					// Risikomatrix:
					Temperatur >20°C und <50°C risikosteigernd
					// Wachstumsbedingungen für allgemeine Bakterienflora und deren Konzentration
					// Wachstumsbedingungen für Legionellen und deren Konzentration
					// Menge und Zeit Aerosolproduktion
					// Übergang Aerosol in Atmosphäre
					// Anzahl betroffener Personen und deren Immunlage
					// erhöhtes Risiko:
					// alle Systemteile mit Wachstums-temperaturen
					// Totleitungen
					// wenig genutzte Auslässe, Duschen, Thermostate
					// Quellen für Wärmetransfer (Heizung, gemeinsame Kanalführung)

EI	Health Protection Surveillance Centre: National Guidelines for the Control of Legionellosis in Ireland, 2009. Sub-committee of the Scientific Advisory Committee	// allgemein mit Schwerpunkt Risiko-Installa-tionen		// wie in UK	// Risikoanalyse
					// Wasseraustausch alle 24 h
					// monatliche Temperaturkontrolle

EI	National Disease Surveillance Centre Dublin 2002: The Management of Legionnaires' Disease in Ireland	// Arbeitgeber und Eigen-tümer von Gebäuden	// <=20°C	// 50-60°C	// alle Auslässe in ungenutzen Zimmern mehrere Minuten mindestens 1x wöchentlich spülen // Grundsätzlich vor jeder Neunutzung

EI	HSE HPSC Check List for Hotels and other Accommodation Sites including Hostels. 2016
	
	Checklist for Hostels and Day Centres providing accommodation (including centres providing showering facilities) for people who are Homeles
	
	Checklist for the Prevention of Legi-onnaires' Disease in Leisure Centres
		// öffentliche Gebäude, Be-herbergungs-betriebe, Freizeitge-bäude	// <=20°C	// Warmwasser 50-60°C	// alle Auslässe und Duschen in Gäste-Räumen und anderen Stellen solange spülen, bis Solltemperaturen erreicht sind.
					// Spüldauer mehrere Minuten
					// 1x wöchentlich bei Nichtnutzung
					// vor jeder Neubelegung

DK	LEGIONELLA Installationsprincipper og bekæm-pelsesmetoder Rørcenter-anvisning 017 April 2012 Rørcentret, Teknologisk Institut für Danish Energy Agency	// allgemein	// <20°C	// Speicher 55°C (ausgelegt auf 60°C) // Minimum 50°C	// Risikofaktoren: falscher Hydraulischer Abgleich zu kleine Umwälzpumpe zu großer Speicher Korrosion

NO	Vannrapport 123 Forebygging av legi-onellasmitte – en veiledning 4. Utgave 2015. Nasjonalt folkehelseinstitutt Divisjon for miljømedisin Avdeling for mat, vann og kosmetikk	// allgemein, gestaffelt nach Risikobe-reichen	// <20°C
			nach 2 Minuten
				// Speicher >=70
				// Rücklauf >=60
				// Entnahme-stellen >=60 nach 1 Minute
					// Risiko Wärmeübergang auf Kaltwas-ser (beheizte Räume)
					// Risiko Stagnation-zu geringe Ent-nahme
					// gute Dokumentation des Systems wesentlich
					// Speicher muss zirkulieren

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung
FR	Arrêté du 1er février 2010 relatif à la surveillance des légionelles dans les installations de production, de stockage et de distribution d'eau chaude sanitaire	// Gemeinschaftseinrichtungen für Produktion, Lagerung und Verteilung von Warmwasser in Gebäuden: // Gesundheitseinrichtungen, soziale und medizinisch-soziale, Einrichtungen, Gefängnisse, Hotels und Ferienwohnungen, Campingplätzen und andere öffentlichen Einrichtungen mit Risikopotential			// in Krankenhäusern: tägliche Temperturkontrolle Erwärmer und Rücklauf, 1xwöchentlich Peripherie // andere öffentliche Gebäude: Temperturkontrolle, 1x im Monat Erwärmer und Rücklauf, Peripherie

FR	Cirulaire DGS/SD7A/SD5C/DHOS/E4 n° 2002/243 du 22 avril relative a la prevention du risque lie aux legionelles dans les etablissements de sante. Bulletin Officiel n°2002-18	// Gebäude Gesundheitswesen	// <20°C nach 2-3 Minuten		// Temperaturmessung Speicher täglich
					// monatlich Peripherie
					// Kaltwasser wöchentlich

FR	Eaux Des Établissements De Santé Qualité De L'eau Aux Points D'usage Groupe Eau Santé Laboratoire d'Hydrologie-Environnement Université Victor Ségalen - Bordeaux II	// Gebäude Gesundheitswesen	// <25°C	// Speicher 55°C // Peripherie Minimum 50°C	// Risikofaktoren: Keine Temperaturkontrolle im System Stagnation und unzureichende Zirkulation Ablagerungen

FR	Risque lié aux légionelles Guide d'investigation et d'aide à la gestion 11 juillet 2013
	
	Haut Conseil de la santé publique 14 avenue. Duquesne 75350 Paris 07 SP
		// Behörden des Öffentlichen Gesundheitswesens, Umweltschutz, Epidemiologen, Inspektionspersonal	// <25°C	// Speicher >55°C
				// Peripherie >50°C
				// Risiko bei 60°C = Null
					// Risikofaktoren:
					• Stagnation oder schlechte Zirkulation
					• Wassertemperatur
					• Ablagerungen
					• Korrosionsprodukte (Fe, Zn)
					• Bestimmte Polymere
					• Biofilm, Amöben

FR	Établissements de tourisme Éléments pour la gestion du risque de prolifération de légionelles dans les réseaux d'eau. Ministère de la Santé, de la Jeunesse, des Sports et de la Vie Associative / Juillet 2008	// Gebäude des Tourismus		// Speicher >55°C	// bei Speicher >400 Liter
					// alternativ tägliches Hochheizen
					// besondere Maßnahmen bei saisonalem Betrieb (Spülprotokolle etc.)

FR	Principale regles de lutte contre le developpment de legionelles dans les reseaux d'eau chaude Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Bas-Rhin, d'Alsace, du Haut-Rhin	// öffentliche Gebäude		// 55°C
				// Speicher täglich auf 60°C
					// jährliche Reinigung und Desinfektion Speicher
					// Isolierung von PWH und PWC
					// Leitungsführung bis möglichst nahe an Auslässe
					// Temperaturmonitoring
					// präventive Risikoanalyse

FR	Les catégories d'eau dans les établissements de santé. Typologie - Traitements complémentaires – Référentiels. Juin 2015	// Gesundheitswesen			// regelmäßige Temperaturmessungen (2-3 Minuten Ablaufzeit)

FR	Maîtrise du risque de développement des légionelles dans les réseaux d'eau chaude sanitaire. Défaillances et préconisations, Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) 2012	// öffentliche Gebäude
		// Mehrfamilienhäuser
		// Arbeitsstätten
			// <25°C	// >50°C	// wie Arrêté du 1er février 2010
					// Risikofaktoren
					// unzureichende Zirkulation/Hydraulik
					// Ablagerungen, Korrosionsprodukte

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

NL	Drinkwaterbesluit Hoofdstuk 4. Besluit van 23 mei 2011, houdende bepalingen inzake de productie en distributie van drinkwater en de organisatie van de openbare drinkwatervoorziening (Drinkwaterbesluit). Wij Beatrix, bij de gratie Gods, Koningin der Nederlanden, Prinses van Oranje-Nassau	Risikoinstallationen nach Uitvoeringsbesluit WTZi Geldend van 19-05-2017
		// Einrichtungen Gesundheitswesen
		// Beherbergungsbetriebe
		// Asylunterkunft, Gefängnis
					// zusätzliche Anforderungen an Warmwasser bereitet aus Trinkwasser
					// Risikoanalyse
					// Managementplan
					// Sanierungsmaßnahmen
					// Dokumentation

NL	Regeling van de Staatssecretaris van Infrastructuur en Milieu van 27 juni 2011, nr. BJZ2011046957, houdende nadere regels met betrekking tot enige onderwerpen inzake legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater (Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater) Staatscourant Nr. 10828, 2011	// prioritäre Installationen (Hospitäler, Altenheime, Hotels etc.)	// <20°C kein Risiko
			// 20-25°C max 1 Woche Stillstand
			// 25-45°C max 2 Tage
				// >50°C kein Risiko	// monatliche Temperaturkontrollen
					// zur Risikobeherrschung präventive thermische Desinfektion: 60°C: 20 Minuten, 65°C: 10 Minuten, 70°C: 5 Minuten
					// gute Durchströmung, kurze Verweilzeiten
					// nach 1 Woche Stillstand 10 Sekunden nach Erreichen Konstanztemperatur spülen

NL	Regeling legionellapreventie in drinkwater en warm tapwater. Geldend van 01-07-2011 Informatieblad. Legionella, uw zorg?! Wettelijke taak voor prioritaire instellingen 2013 Advies ten aanzien van verandering legionellaregelgeving ten behoeve van kleine overzichtelijke prioritaire leidingwaterinstallaties IENM/BSK-2017/39521 2017	// prioritäre Installationen z.B. Krankenhäuser, Beherbergungsbetriebe // Schwimmbäder, Saunen, Wellness	// <25°	// Warmwasser 60°C	// Risikoanalyse,Managementplan immer verpflichtend // vereinfacht bei kleinen übersichtlichen Installationen

NL	ISSO-publicatie 55.1. Handleiding legionellapreventie in leidingwater. Richtlijnen voor prioritaire installaties		// <20°C optimal
			// 20-25°C wöchentlicher Austausch
			// 25°C kritische Wert
					// begrenzte und umfassende Risikoanalyse, WSP
					// Aerosolbildung wichtiger Punkt
					// Risikofaktoren:
					• 20-50°C
					• Wasseralter
					• Stagnation, Totleitungen
					• Sediment, Biofilm
					• präventive thermische Desinfektion
					• monatliche Temperaturmessungen

IT	Linee guida per la prevenzione ed il controllo della legionellosi. 2015".	// Tourismus	// Kaltwasser <20°C	// Speicher >60°C // Peripherie >50°C	

PT	PREVENÇÃO E CONTROLO DE LEGIONELLA NOS SISTEMAS DE ÁGUA. Instituto Português da Qualidade, Ministério da Economia. Comissão Setorial para Água (CS/04). 2º Edição 2014	// Schwerpunkt öffentliche Gebäude, Touristik	// <20°C	// Speicher 60°C,
				// Peripherie >=50°C
					// Warmwasserleitung über Kaltwasser
					// Stagnation als zentrales Problem
					// Risikoanalyse

ES	Manual para la Prevención de la Legionelosis en Instalaciones de Riesgo. Documentos de Sanidad Ambiental Instituto de Salud Publica 2006	// öffentliche Gebäude	// <20°C	// Speicher 60°C // >=50°C	// strikte räumliche Trennung Warm-Kalt // monatliche Temperaturkontrolle

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung
CZ	Metodické doporučení Státního zdravotního ústavu – Oddělení hygieny vody ke kontrole jakosti teplé vody (zvláště s ohledem na riziko přítomnosti legionel) podle § 3 odst. 3 zákona č. 258/2000 Sb. v platném znění 2014 STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV CENTRUM ZDRAVÍ A ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ	// allgemein	// <20°C nach 2 Minuten	// Speicher 60°C // Peripherie 50°C, besser 55°C nach 1 Minute	
AU	Code of practice. Prevention and control of Legionnaires' disease. 2010. Government of Western Australia. Department of Commerce. Department of Mines and Petroleum. Commission for occupational safety and health	// Arbeitsstätten		// Speicher >60°C // Verteilung 60°C	// Kaltwasser muss alle 24h ausgetauscht werden
AU	South Australian Public Health (Legionella) Regulations 2013 under the South Australian Public Health Act 2011			// Speicher >60°C	// monatliche Temperaturmessungen im Netz // alle 6 Monate Dekontamination

AU	Guidelines for Legionella control in the operation and maintenance of water distribution systems in health and aged care facilities. Australian Government, Canberra. 2015	// Gesundheitswesen und Pflegeeinrichtungen	// <20°C	// >=60°C
				// Rücklauf >=55°C unter allen Betriebsbedingungen
					// Grundlage für WSP
					// Risikoanalyse
					// maximale Stagnation 7 Tage

AU	Guidelines for the control of legionella in manufactured water systems in South Australia / Health Protection Programs. Revised 2013. South Australia. Department for Health and Ageing. Health Protection Program
	South Australian Public Health (Legionella) Regulations 2013. Version: 1.7.2017
		// allgemein		// Speicher >=60°C	// WW-System monatlich inspizieren
					// Temperaturen messen
					// wenig genutzte Auslässe wöchentlich für 15 sec spülen
					// keine Totleitungen
					// niedertemperierte Leitungen max. 6 m
					// System alle 6 Monate bei 70°C 5 Minuten

AU	NSW Code of Practice for the Control of Legionnaires' Disease 2nd edition June 2004	// allgemein mit Ausnahme von Einfamilienhäusern		// Speicher >=70°C // Auslässe >=60°C	
AU	Water – Requirements for the Provision of Cold and Heated Water NSW Government Health Procedures 2015	// Hospitäler			// monatliche Temperaturmessungen // undurchströmte Leitungen max. 10m oder <2 Liter

AU	Guidelines for Managing Microbial Water Quality in Healthcare Facilities 2013
	Published by the State of Queensland (Queensland Health), October, 2013
		// Gesundheitswesen			// WSP
					// Risikoanalyse
					// Risikostaffelung
					// Systemmanagement und Prävention

NZ	The Prevention of Legionellosis in New Zealand Guidelines for the Control of Legionella Bacteria Revised October 2012. Ministry of Health	// Gebäude allgemein	// <20°C	// Speicher 60°C // Peripherie 55°C	// Speicher alle 6 Monate Messung Temperatur // unbenutzte Stellen alle 14 Tage spülen

CA	MD 15161 – 2013
	Control of Legionella in Mechanical Systems. Standard for Building Owners, Design Professionals, and Maintenance Personnel. Public Works and Government Services
		// Bundeseinrichtungen	// <20°C	// Speicher >60°C
				// Verteilung >=50°C
					// WSP
					// Risikoanalyse
					// Stagnation vermeiden
					// automatisierte Spülprozesse
					// Kaltwasserleitungen unterhalb von Warmwasserl.

CA	Health Canada. 2013. Guidance on waterborne bacterial pathogens.
	Water, Air and Climate Change Bureau, Health Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario (Catalogue No. H129-25/1-2014E-PDF
		// allgemein		// >60°C	// Kontrollmaßnahmen in größeren Gebäuden
					// Mehrbarrierenprinzip
					// Temperaturkontrolle
					// Biofilmkontrolle
					// Nährstoffkontrolle

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

CA	Environmental Investigation of Legionella in Health Care Institutional Settings. Public Health Policy and Programs Branch Population and Public Health Division. Ministry of Health and Long-Term Care June, 2016	// Hospitäler, Heime	// <20°C	// Speicher 60°C
				// Peripherie 55°C
					// WSP
					// Risikoanalyse
					// differenziertes Programm für Probenahme Warm und Kalt
					// Sofortproben und Ablaufproben, Tupferproben

US	State of New York DEPARTMENT OF HEALTH Hospital-associated LEGIONELLOSIS (LEGIONNAIRES' DISEASE) 2005	// Hospitäler	// 20°C	// Speicher 60°C // Peripherie >51°C	// besondere Maßnahmen bei Eingriffen (Reparatur) ins System
US	A Guide to Infection Control in the Hospital. International Society of Infectious Diseases. 5th edition. Boston USA 2014	// Hospitäler	// <20°C	// Speicher >60°C // Mind. 50°C	

US	Minimizing the Risk of Legionellosis Associated with Building Water Systems. ASHRAE Guideline 12-2000. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)	// alle Gewerke eines Gebäudes (Trinkwasser, Bäder, Rückkühlwerke, Zierbrunnen etc.)
		// Ausnahme: Einfamilien-Wohnhäuser, jedoch Mehrfamilienhäuser mit zentraler Versorgung
		// Hospitäler, öffentliche Gebäude, Hotels, Gewerbebetriebe, Industrieanlagen
				// Speicher 60°C
				// Minimum 51°C
					// keine routinemässige Untersuchung auf Legionellen, nur bei begründeten Anlässen
					// Temperatur
					// Stagnation
					// Material
					// Aerosole
					// besondere Vorsicht bei Reparaturen

US	Legionellosis: Risk Managment for Building Water Systems. ANSI/ASHRAE Standard 188-2018. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)	// alle von Menschen bewohnten Gebäude (gewerblich, öffentlich, industriell, Mehrfamilienwohnungen, Gebäude des Gesundheitswesens) mit Ausnahme von Einfamilienhäusern; für Eigentümer und Verwalter von menschlich genutzten Gebäuden			// WSP // Mindestanforderungen an das Legionellen-Risikomanagement für Planung, Bau, Inbetriebnahme, Betrieb, Wartung, Reparatur, Austausch und Erweiterung von neuen und bestehenden Gebäuden und den dazugehörigen (Trink- und Brauchwasser-) Systemen und Komponenten; Managementplan

US	Developing a Water Management Program to Reduce Legionella Growth & Spread in Buildings
	A Practical Guide to Implementing Industry Standards. CDC Juni 2015 Vers. 1.0
		// Gebäude mit erhöhtem Risiko wie ASHRAE			// Toolkit zur Implementierung eines WSP
					// Risikofaktoren:
					Bauarbeiten, Druckschwankungen (Biofilmabriss)
					Änderungen der Wasserversorgung
					Wärmeübergang auf Kaltwasser
					Stagnation
					zu geringer Gehalt an Desinfektionsmitteln

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

US	EPA: Technologies for Legionella Control in Premise Plumbing Systems: Scientific Literature Review. EPA 810-R-16-001 September 2016	// Review für Kontrollmaßnahmen Gewerbliche und instutionelle Gebäude, nicht Wohnungsbau			// Bedeutung WSP
					// keine Totleitungen
					// Optimierung Temperaturniveau

US	VHA: Prevention Of Healthcare-Associated Legionella Disease And Scald Injury From Potable Water Distribution Systems.
	Department of Veterans Affairs VHA Directive 1061 Veterans Health Administration Transmittal Sheet Washington, DC 20420 August 13, 2014
		// Wassersysteme in Gebäuden des VHA mit erhöhtem Risiko (Hospitäler, Altenheime etc.)	// <20°C	// >51°C	// WSP
					// Totleitungen entfernen
					// mindestens 2x/Woche wenig genutzte Bereiche spülen
					// Leitungsisolierung
					// Verminderung Wärmeübergang auf Kaltwasser
					// kontinuierliche Temperaturkontrolle

US	Updated Guidelines for the Control of Legionella in Western Pennsylvania. Issued by: Allegheny County Health Department Pittsburgh Regional Health Initiative 2014	// Hospitäler	// <=20°C	// Speicher 60°C // Peripherie >=50°C	// 2x pro Woche alle Auslässe für 3 Minuten spülen, die nicht regelmäßig genutzt werden

US	LEGIONELLA 2003: An Update and Statement by the Association of Water Technologies - ©2003, Association of Water Technologies, Inc		// <=20°C	// Speicher 60°C
				// Peripherie >=50°C
					// reglmäßiger Wasseraustausch
					// keine Stagnation, keine Totleitungen
					// Risiko: Sedimente, Ablagerungen, Biofilm, Mikrobiom mit Algen

US	Guidelines for Preventing Health-Care-Associated Pneumonia, 2003. Recommendations of CDC and the Healthcare Infection Control Practices. Advisory Committee		// <20°C	// Speicher 60°C >51°C	// erhöhte Infektionskontrolle // keine routinemässige Umgebungsuntersuchungen
EU	ECDC Gesundheitsinformationen. Informationen zur Legionärskrankheit für Leiter von Reiseunterkünften. 2016	// Reiseunterkünfte	// dauerhaft <20°C	// gesamtes System 50-60°C	// mind 1 x wöchentlich alle Auslässe spülen // tägliche Messung von Parametern wie Temperatur

EU	ECDC: European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation, of Infection Caused by Legionella species. Juni 2017	// touristische Einrichtungen	// <25°C besser <20°C nach 2 Minuten	// an Auslässen >50°C, besser >55°C nach 1 Minute	// 15 Punkte WSP
					// Risikoanalyse präventiv von grösster Bedeutung
					// Temperatur
					// Stagnation
					// regelmässige Temperaturmessungen
					// wöchentliches Spülen aller Auslässe mehrere Minuten bis zur Temperaturkonstanz
					// bei Nichteinhaltung der Temperaturen laufende Desinfektion notwendig
					// Materialauswahl

WHO	LEGIONELLA and the prevention of legionellosis.
	World Health Organization 2007
			// <25°C, besser <20°C nach 2 Minuten
			// wenn Kaltwasser dauerhaft >20°C, dann als Warmwasser betrachten
				// Speicher>60°C
				// Peripherie >50°C nach 1 Minute
					// keine Stagnation oder geringe Fließgeschwindigkeit
					// periodische Spülungen
					// Reduzierung Biofilm/Protozoen
					// geeignete Materialien
					// kein Wärmeübergang auf Kaltwasser durch Isolierung und räumliche Trennung Warm-Kalt
					// regelmässige Messung der Temperatur

DE	Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. (Trinkwasserverordnung), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2018 Teil I Nr. 2, ausgegeben zu Bonn am 8. Januar 2018				// reaktive Überprüfung Einhaltung a.a.R.d.T.
					// reaktive Risikoanalyse (Gefährdungsanalyse)
					// Sanierungsmaßnahmen

Land	Regel	Regelbereich	PWC	PWH, PWH-C	Maßnahmewert / Empfehlung

DE	Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen Technische Regel Arbeitsblatt W 551 April 2004. DVGW Bonn
	DVGW-Information WASSER Nr. 90 Juli 2016. Informationen und Erläuterungen zu Anforderungen des DVGWArbeitsblattes W 551
		// Großanlagen Trinkwassererwärmung:
		// öffentlich und privat genutzten Gebäuden (Wohn-, Büro- und Verwaltungsgebäuden, Arbeits- und Sportstätten, Hotels sowie Krankenhäuser).
		// Nicht: Hoch-Risiko-Bereiche, Kleinanlagen
			// <=20°C optimal
			// <=25°C nach 1L
				// Speicher >=60°C
				// Vorwärmstufe 1x/d 60°C
				// Peripherie >=55°C
				// Temperaturabfall im System max. 5K
					// Anforderungen an Trinkwassererwärmer, Werkstoffe, Leitungsanlagen, Armaturen
					// Temperaturmessungen bei Probenahme
					// erweiterte Temperaturmessung bei Sanierung
					// Risikofaktoren: Wärmeübergang Kaltwasser
					// unzureichender Wasseraustausch Kaltwasser

DE	DIN 1988-200. Technische Regeln für Trinkwasser-Installationen –Teil 200: Installation Typ A (geschlossenes System) –Planung, Bauteile, Apparate, Werkstoffe; Technische Regel des DVGW, Mai 2012	// allgemein	// <=25°C nach 30 Sek	// Speicher >=60°C
				// Peripherie >=55°C
				// Temperaturabfall im System max 5K
				// Vorwärmstufen 1x/d 60°C
				// Ein- und Zweifamilienhäusern unter besonderen Bedingungen >=50°C
					// bestimmungsgemäßer Wasseraustausch
					// Verminderung Wärmeübergang
					// Einzelzuleitung PWC u. PWH möglichst kurz, max. 3 L Inhalt
					// hydraulischer Abgleich notwendig

DE	DIN EN 806-2. Specifications for Installations inside Buildings conveying water for human consuption. Part 2 Design. June 2005	// allgemein	// möglichst <=25°C nach 30 Sek	// <=60°C	// möglichst räumliche Trennung PWC und PWH // Wärmeübergänge vermeiden

DE	CEN: Empfehlungen zur Verhinderung des Legionellenwachstums in Trinkwasser-Installationen. DIN CEN/TR 16355 (DIN SPEC 19810): 2012-09	// allgemein	// <=25°C	// Rücklauf Zirkulation in jedem Kreis >=55°C
				// Entnahmestelle 60°C nach 30 Sek
					// Risikofaktoren: Wassertemperatur zwischen 25 °C und 50 °C Stagnation des Wassers Nährstoffe, Biofilm und Sediment Kaltwasserleitungen und Endstränge von Warmwasserleitungen, nicht zirkulierend, nicht in Räumen, an Stellen mit Temperatur >=25 °C
					// von Wärmestrahlungsquellen (z. B. unterhalb von Glaskuppeln, in Technikräumen und Messkammern mit Wärmequellen) fernhalten
					// Wasseraustausch mindestens wöchentlich
					// nicht zirkulierendes Wasservolumen möglichst klein, keine Dämmung
					// Potential von Materialien zur Biofilmbildung wichtig
					// Sediment regelmäßig entfernen

FAKTOR NAHRUNGSANGEBOT

Wie alle lebenden Organismen benötigen Bakterien für Wachstum und Vermehrung ausreichend Nährsubstrate. Von besonderer Wichtigkeit sind neben Phosphor (P) und Stickstoff (N) Kohlenstoffverbindungen (C) in Form organischer Moleküle, da die meisten Bakterien CO_2 oder anorganisches C nicht selber nutzen können (heterotrophe Organismen). Für Bakterien verfügbarer organischer Kohlenstoff ist in den meisten Fällen der das Wachstum limitierende Faktor. Diese von Bakterien verwertbaren organischen Kohlenstoffverbindungen werden als „assimilierbarer organischer Kohlenstoff – AOC oder BDOC=biodegradable dissolved organic carbon"[414] bezeichnet, umfassen ein große Gruppe von Substanzen und machen einen je nach Umständen wechselnden Anteil am TOC (Gesamt-organischer-Kohlenstoff) oder DOC (gelöster organischer Kohlenstoff) aus. Nicht alle Bakterien können alle Stoffe nutzen. Im Mikrobiom können Spezialisten vorhanden sein, die spezifische organische Verbindungen in für andere Bakterien nutzbare Komponenten zerlegen.

Bei den OPPPs ist besonders *P.aeruginosa* extrem genügsam und durch Nahrungsentzug kaum zu beeinflussen. Selbst bei geringsten Konzentrationen kann er sich vermehren und stirbt selbst in nährstofffreien Medien (z.B. deionisiertes Wasser) über Monaten nicht ab. Diese Fähigkeit, sowohl bei hohen wie niedrigen Nährstoffkonzentrationen zu leben, erklärt, warum sein Wachstum in Trinkwasser-Installationen nicht direkt mit dem AOC korreliert ist. [415]

Auch NTM sind sehr genügsam und konkurrieren bei sehr niedrigen AOC-Gehalten von 50 µg/L effektiv im Mikrobiom.[416] Zwischen NTM und TOC wurde keine Korrelation gefunden.[417]

Quellen für den Eintrag mikrobiell verwertbarer, organischer Stoffe sind im gesamten Weg der Trinkwassergewinnung und –verteilung vorhanden: Kommunaler Versorger, Transport, Trinkwasser-Installation, Apparate, Armaturen etc. sowie Selbstproduktion organischer Substanz durch Spezialisten im Mikrobiom Trinkwasser.[418]

Die Nährstoffversorgung über den (kommunalen) Versorger bildet sozusagen den Grundpegel, der nicht unterschritten werden kann. Je nach Herkunft sind die Konzentrationen jahreszeitlichen Veränderungen unterworfen. Je höher diese „Grundlast" ist, desto geringer sind die Einflüsse der anderen Quellen. Auf diesen Grundpegel pfropfen sich dann Substanzen auf, die aus Kontakt von Wasser mit Materialien aus dem Verteilungssystem herrühren, sowie organisches Material aus der Selbstproduktion des Mikrobioms. Die Konzentrationen der organischen Stoffe werden dabei stark durch Austauschprozesse und Stagnation gesteuert. In Stagnationsphasen können die Konzentrationen stark ansteigen und Bakterienwachstum („regrowth") begünstigen.

Unter nährstoffreichen Bedingungen spielt die Temperatur eine wesentlich wichtigere Rolle als unter nährstoffarmen Bedingungen.[419]

Kommunaler Versorger

Bei einer reinen Grundwassergewinnung sind die Anteile des AOC am Gesamtkohlenstoff von Natur aus gering. Hier liegt organisch C in der Regel als natürliche Humin- oder Fulvinsäure vor. Mit zunehmender Nutzung von Oberflächenwasser wächst der Anteil von Substanzen, die mikrobiell verwertbar sind. Ziel der Trinkwasseraufbereitung beim kommunalen Versorger muss es deshalb sein, durch gezielte Aufbereitungsschritte ein „biologisch stabiles" Trinkwasser zu produzieren, das mikrobielles Wachstum nicht unangemessen fördert.[420] Die Anforderungen sind allerdings sehr hoch, da einige OPPPs schon bei Gehalten um 50 µg AOC/l ausreichende Wachstumsbedingungen finden.[421] Auch unmittelbar nicht nutzbare Verbindungen wie Huminsäuren können durch Adsorption an Eisenoxid, Filtermaterialien oder an Sedimente bioverfügbar gemacht werden.[422]

Die Bedeutung des AOC für das Wachstum von Legionellen wird kontrovers gesehen. So vermuten Untersucher, dass Legionellen durch das Angebot von Nährstoffen stark beeinflusst werden, da sie Biofilme und Einzeller für ihre Lebensprozesse zwingend benötigen. Sie finden Legionellen häufiger und in höheren Konzentrationen in Trinkwässern, die aus einer Nutzung von Oberflächenwasser stammen, als in Trinkwässern, die aus reinem Grundwasser hergestellt werden.[423] Andere Untersuchungen kommen zum Ergebnis, dass der AOC des Versorgerwassers gegenüber der Temperatur nur eine untergeordnete Rolle spielt.[424]

Wasserverteilung und Trinkwasser-Installation in Gebäuden

Trinkwasser lässt sich ohne geeignete Werkstoffe und Materialien nicht nutzen: Bei Gewinnung, Transport und Verteilung, insbesondere im Bereich der Trinkwasser-Installation, werden unterschiedlichste Werkstoffe verwendet. Schon lange ist bekannt, dass bestimmte Materialien in Kontakt mit Trinkwasser Stoffe freisetzen, die mikrobielles Wachstum teilweise extrem begünstigen. Gummi und Gummibestandteile (z.B. Stearinsäure, Eisenverbindungen) können das Wachstum von Legionellen um den Faktor 100.000 fördern und die Schnelligkeit des Wachstums dramatisch erhöhen.[425] Auch flexible Anschlussschläuche für Armaturen aus Gummi führten zu massiver Biofilmbil-

dung.[426] Duschköpfe oder auch noch so kleine Gummidichtungen können von Bakterien besiedelt werden und Orte starker Vermehrung werden.[427]

Deswegen ist es eines der vorrangigen Ziele, bei der Materialauswahl von Stoffen in Kontakt mit Trinkwasser nur solche auszuwählen, die keine Substanzen in das Trinkwasser mit der Folge einer negativen Veränderung abgeben. Eine wesentliche negative Veränderung ist die Förderung mikrobiellen Wachstums, insbesondere des Biofilms.

Hierzu sind weltweit Richtlinien erarbeitet worden, durch die der Eintrag mikrobiell verwertbarer Stoffe in das Trinkwasser so weit wie technisch möglich reduziert werden soll. In Tab.17 sind die Anforderungen aufgeführt, die von unterschiedlichen Staaten für notwendig erachtet werden. Fast übereinstimmend wird hier die hohe Bedeutung einer richtigen Materialauswahl bestätigt.

Materialien, Werkstoffe und Produkte im Kontakt mit Trinkwasser müssen seit 2000 die Anforderungen nach Artikel 10 der EG-Trinkwasserrichtlinie erfüllen.[428] Seit dem Inkrafttreten der Richtlinie haben sich diverse nationale Ansätze/ Regelungen zur Umsetzung dieses Artikels entwickelt.[429] Ferner gelten in Europa für bestimmte Produkte auch noch die Anforderungen der EU-Bauproduktenverordnung. Im Rahmen der Warenverkehrsfreiheit darf letztendlich jedes Produkt, das in einen Mitgliedsstaat der EU eingeführt worden ist, auch ohne jegliches angemessenes Qualitäts- und Schutzniveau vor allem in Bezug auf die Hygiene innerhalb der gesamten EU verkauft werden.[430] Für die hygienische Unbedenklichkeit werden die Werkstoffe und Produkte im Hinblick auf die Migration chemischer Substanzen und das Wachstum von Mikroorganismen geprüft.[431]

Am 1. Februar 2018 hat die Europäische Kommission ihren Legislativvorschlag zur Novellierung der EU-Trinkwasserrichtlinie (98/83/EG) vorgelegt.[432] Bezüglich Materialien und Produkte in Kontakt mit Trinkwasser (ehemals Artikel 10) verweist der Kommissionsvorschlag lediglich auf die Bauproduktenverordnung (Nr. 305/2011).[433] Diese soll sicherstellen, dass mit harmonisierten Normen die notwendige Eignung für Bauprodukte in der Wasserversorgung gewährleistet wird und der Handel im internen Markt problemlos funktioniert. Die Kommission hat die Gelegenheit nicht genutzt, hygienische Anforderungen an Materialien und Produkte, die in Kontakt mit Trinkwasser stehen, in ihrem Kompetenzbereich zu regeln. Konkrete hygienische Vorgaben in der neuen Trinkwasserrichtlinie im Zusammenspiel mit den technischen Belangen der Bauproduktenverordnung hätten sowohl dem Gesundheitsschutz wie auch dem freien Warenverkehr in Europa dienen können.

Daneben dürfen entsprechend der AVB-WasserV[434] nur Materialien verwendet werden, die den allgemein anerkannten Regeln der Technik entsprechen.

In Deutschland ist das zentrale Steuerungselement der §17 TrinkwV, in dem festgelegt ist, dass nur Materialien aus einer vom UBA zu erstellenden Positivliste im Bereich der Trinkwasser-Installation Verwendung finden dürfen. Zentrales Beurteilungskriterium ist hier die Freisetzung mikrobiell verwertbarer Stoffe in das Trinkwasser. Hierzu hat das UBA Leitlinien erarbeitet, die Prüfungen zu den chemischen Eigenschaften der Werkstoffe und Materialien vorsehen. Hier werden Summenparameter, aber auch für den jeweiligen Werkstoff spezifische Parameter abgeprüft. Zudem wird die Rezeptur auf unzulässige Ausgangssubstanzen überprüft. Der DVGW hat mit dem Arbeitsblatt W270[435] (Überführung in DIN EN 16421[436]) eine Prüfmethode erarbeitet, mit der die Förderung des mikrobiellen Wachstums / der Biofilmbildung durch Materialien und Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser beurteilt werden kann.

Es ist geplant, dass das Umweltbundesamt (UBA) die Kennwerte in seine UBA-Leitlinien aufnimmt. Die UBA-Leitlinien müssen in den nächsten Jahren in Bewertungsgrundlagen nach § 17 TrinkwV überführt werden.[437] Neben der KTW-Leitlinie des Umweltbundesamtes werden auch die anderen Leitlinien (Beschichtungsleitlinie, Schmierstoffleitlinie, Elastomerleitlinie) in Bewertungsgrundlagen überführt. In den Bewertungsgrundlagen wird es keine Vorgaben zur Konformitätsbestätigung[438] geben. Die Vorgaben dazu werden in einer eigenen Empfehlung aufgeführt. Die Empfehlung und die Bewertungsgrundlage für die organischen Materialien werden voraussichtlich 2018 veröffentlicht werden, ein erster Entwurf liegt seit November 2017 vor.[439]

FUSSNOTEN

414 *Water Sci Technol 1991: 24 (2) 95-101*
415 *MicrobiologyOpen. 2016: Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
416 *Journal of Applied Microbiology 2009: 107 356–367. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04161.x*
417 *Pathogens 2015: 4(2), 355-372. doi:10.3390/pathogens4020355*
418 *Prest, E.I., 2015: Biological Stability in Drinking Water Distribution Systems: a Novel Approach for Systematic Microbial Water Quality Monitoring. PhD thesis. Delft. University of Technology, Delft, The Netherlands*
419 *Executive Summary: results of the joint research project "Biofilms in Drinking Water installations". version 2.1 HC Flemming 2010*
420 *Microbioal Growth in Drinking-Water Supplies. Edited by D.van der Kooji, P.W.J.J. van der Wielen, IWA Publishing 2014*
421 *Water Research 2015: 87 347e355. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.043.*
422 *Organic Carbon Generation Mechanisms in Main and Premise Distribution Systems. Amanda K. Martin Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science In Environmental Science and Engineering 2012*
423 *Canadian Journal of Microbiology 1994: Volume: 40: 993-999*
424 *Microbiome 2017: 5:130. DOI 10.1186/s40168-017-0348-5*
425 *The Lancet 1986: Volume 328, Issue 8500, 180-184. https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)92486-4*
426 *Bundesgesundheitsbl -Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 2002: 45:514–51*
427 *Microbioal Growth in Drinking-Water Supplies. Edited by D.van der Kooji, P.W.J.J. van der Wielen, IWA Publishing 2014*
428 *energie | wasser-praxis 2 /2015*
429 *Positionspapier Umweltbundesamt 1. Dezember 2017: Wie erreichen wir eine harmonisierte Europäische Regelung für Materialien und Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser?*
430 *https://www.dvgw.de/themen/wasser/wasserqualitaet/materialien-und-produkte/*
431 *Support to the implementation and further development of the Drinking Water Directive (98/83/EC): Study on materials in contact with drinking water. Specific contract No. 07.0201/2015/716466/SFRA/ENV.C.2 implementing Framework Service Contract ENV.D2/FRA/2012/0013 February 2017*
432 *Vorschlag für eine Richtlinie Des Europäischen Parlaments und des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Neufassung). Brüssel 1.Februar 2018. https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-bdew-presseinformation-vom-01022018-eg-trinkwasserrichtlinie/*
433 *VERORDNUNG (EU) Nr. 305/2011 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 9. März 2011 zur Festlegung harmonisierter Bedingungen für die Vermarktung von Bauprodukten und zur Aufhebung der Richtlinie 89/106/EWG des Rates. 4.4.2011 Europäisches Amtsblatt*
434 *Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser vom 20. Juni 1980 (BGBl. I S. 750, 1067), die zuletzt durch Artikel 8 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010) geändert worden ist" Zuletzt geändert durch Art. 8 V v. 11.12.2014 I 2010*
435 *Arbeitsblatt W 270 2007-11 Wasser. Vermehrung von Mikroorganismen auf Werkstoffen für den Trinkwasserbereich - Prüfung und Bewertung*
436 *Wasserfachliche Norm DIN EN 16421 2015-05. Einfluss von Materialien auf Wasser für den menschlichen Gebrauch – Vermehrung von Mikroorganismen*
437 *energie | wasser-praxis 2 /2013*
438 *Eine Konformitätsbestätigung ist eine Bestätigung einer unabhängigen Zertifizierungsstelle nach dem 1+-System (entsprechend Anhang V der Verordnung (EU) Nr. 305/2011), dass die Anforderungen an die hygienische Eignung erfüllt sind.*
439 *Empfehlung Umweltbundesamt 2018. Konformitätsbestätigung der trinkwasserhygienischen Eignung von Produkten Umweltbundesamt 2018. BEWERTUNGSGRUNDLAGE. Bewertungsgrundlage für organische Materialien im Kontakt mit Trinkwasser. Allgemeiner Teil*

Mit der Empfehlung zur Konformitätsbewertung wird ein Verfahren beschrieben, wie für Produkte die Einhaltung der hygienischen Anforderungen an die enthaltenen Werkstoffe und Materialien, die Kontakt mit Trinkwasser haben, bestätigt werden kann. Dies ermöglicht dem Hersteller den Nachweis, dass die von ihm vertriebenen Produkte den Anforderungen des § 17 Absatz 2 und Absatz 3 der TrinkwV entsprechen. Die Prüfung und Bewertung der hygienischen Eignung ist europäisch noch nicht harmonisiert und fällt deshalb in den nationalen Regelungsbereich. Die EU-Kommission hat festgelegt, dass die Konformitätsbestätigung der hygienischen Eignung bei einer zukünftigen CE-Kennzeichnung nach dem 1+ -System[440] zu erfolgen hat.

Metallene Werkstoffe[441]

Metallene Werkstoffe müssen in der Positivliste der trinkwasserhygienisch geeigneten metallenen Werkstoffe aufgeführt sein, die Teil der Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser ist. Zusätzlich gelten die in der Positivliste aufgeführten Einsatzbeschränkungen (Produktgruppen, Verwendung mit bestimmten Trinkwässern).

Email/Keramik-Werkstoffe:

Für Email- und Keramikwerkstoffe liegt ein 1.Entwurf des UBA für eine Bewertungsgrundlage vor.[442]

Organische Materialien:

// Kunststoffe

// Beschichtungen

// Schmierstoffe
// Elastomere

// thermoplastische Elastomere

// Silikone

müssen den Anforderungen der Bewertungsgrundlage für organische Materialien einschließlich den darin enthaltenen Anforderungen an die Ergebnisse der Prüfung nach DIN EN 16421 entsprechen. Bewertete Ausgangsstoffe werden in materialspezifischen Positivlisten aufgeführt. Die Positivlisten werden regelmäßig entsprechend den Vorgaben des § 17 Absatz 4 TrinkwV aktualisiert. In den Positivlisten wird in der Regel zwischen Monomeren, Additiven, Hilfsstoffen und Polymerisationshilfsmitteln für die Herstellung der organischen Materialien unterschieden. Weiter enthalten die Positivlisten eventuelle Beschränkungen oder Spezifikationen, die sich aus der Bewertung ergeben haben.

Folgende Normen finden Anwendung:

// DIN EN 16421:2015-05: Einfluss von Materialien auf Wasser für den menschlichen Gebrauch - Vermehrung von Mikroorganismen; Deutsche Fassung EN 16421:2014 EN 1420

// DIN EN 12873-1:2014-09: Einfluss von Materialien auf Trinkwasser - Einfluss infolge der Migration - Teil 1: Prüfverfahren für fabrikmäßig hergestellte Produkte aus oder mit organischen oder glasartigen Materialien (Emails/Emaillierungen); Deutsche Fassung EN 12873-1:2014

// DIN EN 1420:2016-05: Einfluss von organischen Werkstoffen auf Wasser für den menschlichen Gebrauch - Bestimmung des Geruchs und Geschmacks des Wassers in Rohrleitungssystemen; Deutsche Fassung EN 1420:2016

Auch sehr nährstoffarmes, biologisch stabiles Trinkwasser enthält eine Vielzahl von Mikroorganismen, die sich bei gesteigerter Zufuhr von Nährstoffen schnell vermehren. Als Nährstoff-Quelle für diese dienen biologisch verwertbare Additive wie Weichmacher, Antioxidationsmittel oder Reste von Trennmitteln aus polymeren fabrikneuen Werkstoffen. Die wichtigsten und am häufigsten eingesetzten Additive sind Stabilisatoren gegen thermischen oder durch UV-Licht induzierten Molekülkettenabbau. Die Stabilisatoren werden im Laufe des „Lebens" eines Kunststoffproduktes verbraucht, indem sie sich zersetzen und dadurch die Polymerketten stabilisieren. Dabei entstehen auch Zersetzungsprodukte, die als freie Moleküle im Polymer verbleiben. Manche Zersetzungsprodukte sind wasserlöslich und gehen in das Trinkwasser über.[443] Bei hohen Wassertemperaturen kann der Austrag von verwertbaren Substanzen deutlich vergrößert sein.

Unter praxisnahen Bedingungen bildet sich auf fabrikneuen Werkstoffen innerhalb von 1-2 Wochen bereits ein Biofilm, der nach weiteren 6-10 Wochen (je nach Werkstoff und Nährstoffkonzentration im Wasser) einen mehr oder weniger quasi-stationären Zustand erreicht. Die Besiedlungsdichte ist im Wesentlichen von der Werkstoffbeschaffenheit abhängig. Im BMBF-Verbundprojekt[444] wurde dies bei einem Vergleich innerhalb der Polymer-Werkstoffe und auch auf Kupfer beobachtet. Besonders stark war die Biofilm-Bildung auf dem synthetischen Gummiwerkstoff Ethylen-Propylen-Dien-Monomer (EPDM) mit einer geringen Qualität, die weder den Anforderungen nach DVGW-Arbeitsblatt W 270 noch denen der KTW-Empfehlung entsprach.

Pseudomonas aeruginosa besiedelt ausgehend vom Wasserkörper die Oberfläche aller getesteten Materialien als Biofilm. Somit ist davon auszugehen, dass grundsätzlich alle Materialien besiedelt werden, sofern diese keine bakteriziden Verbindungen abgeben. Die stärkste Besiedlung zeigte auch hier neues EPDM. Offensichtlich besitzt dieses Material spezifische Oberflächeneigenschaften, die eine Anheftung von *Pseudomonas aeruginosa* gegenüber anderen Materialien begünstigt. Dieser Effekt wird durch einen bereits vorhandenen Trinkwasserbiofilm, der die Oberflächeneigenschaften gegenüber einem neuen EPDM-Material verändert, ausgeschaltet.

Nach einer Anheftung von *Pseudomonas aeruginosa* auf Materialoberflächen liegt bei einem bereits vorhandenen natürlichen Trinkwasserbiofilm oder durch eine voraus gegangene Besiedlung eines neuen Materials mit Trinkwasserbakterien ein Konkurrenzdruck auf das nicht autochthone Bakterium *Pseudomonas aeruginosa* vor. Sofern vom Oberflächenmaterial keine derart hohe Nährstoffabgabe erfolgt, dass neben dem Wachstum der autochthonen Bakterien auch ein Wachstum von nicht autochthonen Bakterien wie *Pseudomonas aeruginosa* ermöglicht wird, kommt es zu einer sukzessiven Abnahme von *Pseudomonas aeruginosa. Pseudomonas aeruginosa* geht eine derart hohe Haftung auf Oberflächen ein, dass eine kurzfristige vollständige Beseitigung durch Wasserspülungen oder Luft/Wasser-Spülungen nicht erreichbar ist.[445]

Legionella pneumophila kann sich besonders gut an verzinktem Stahl, PVC und PEX-c anheften, wobei eine deutliche Beziehung zur Rauigkeit der Oberfläche besteht.[446] Wasserwerksseitige Reduzierung des AOC durch Biofiltration, die zwar zu einem Rückgang der heterotrophen Bakterien (allgemeine Koloniezahl) führte, erwies sich als unwirksam, das Wachstum von *L.pneumophila* in Trinkwassersystemen zu reduzieren.[447]

Eigenproduktion organischer Masse (autotrophe Mikroorganismen)

Weitgehend unbekannt ist die Tatsache, dass unter bestimmten Voraussetzungen Spezialisten im Mikrobiom Trinkwasser bakteriell verwertbare organische Stoffe produzieren. Diese werden als APC (Autotroph produzierter Kohlenstoff) bezeichnet. Von Bedeutung ist vor allem die autotrophe Oxidation von Wasserstoff, der durch Korrosionsprozesse oder auch durch Opferanoden aus Magnesium oder Aluminium gebildet werden kann. Einige NTM sind in der Lage, Wasserstoff zu verwerten und autotroph zu wachsen.[448] Auch pathogene NTM wachsen und vermehren sich bei Nutzung von Wasserstoff ohne jede zusätzliche Kohlenstoffquelle.[449] Weiterhin sind Nitrifikanten in der Lage, organischen Kohlenstoff aus anorganischem C zu generieren (z.B. bei der Oxidation von Chloraminen).

Neuere Untersuchungen[450] auf Mikrobiom-Ebene zeigen, dass besonders auch *L.pneumophila* von autotropher C-Produktion durch H_2-Bildner profitiert (Korrosion von Magnesium-Opferanoden) und durch das freigesetzte Magnesium weiter im Wachstum gefördert wird.[451]

Durch Selbstproduktion können Maßnahmen zur Reduktion von Nährstoffen im Verteilungssystem zu Nichte gemacht oder in ihrer Leistung deutlich vermindert werden.

Nekrotrophie von Mikroorganismen – die Totenesser

Legionellen und andere Bakterien sind in der Lage, ihren Nahrungsbedarf durch Verwertung abgestorbener Biomasse zu decken. Solch abgestorbene Biomasse wird regelmäßig produziert, wenn Anlagen ohne ausreichende Reinigung desinfiziert werden oder nach einer Desinfektion nicht dafür gesorgt wird, dass abgetöteter Biofilm beseitigt / herausgespült wird. Dies bedeutet, dass eine Reduzierung von Biofilm nicht notwendigerweise auch mit einer Reduzierung von Legionellen oder anderen OPPPs verbunden sein muss.[452] So kann es nach einer unter diesen – falschen – Bedingungen durchgeführten Desinfektion (siehe auch DVGW W557) auch bei geringer Nährstoffzufuhr aus dem Wasserkörper zu einem erheblichen Wachstum von Legionellen kommen.

FAZIT

Der Faktor Nahrungsangebot ist sehr vielschichtig und für die verschiedenen Bakterienarten und auch für Einzeller von unterschiedlicher Bedeutung. Bei den OPPPs finden wir Arten mit einem sehr geringen (*P.aeruginosa*, NTM) Nahrungsanspruch. Konzepte zur Reduzierung verwertbarer Nahrungsbestandteile müssen auf mehreren Ebenen gleichzeitig verlaufen (Versorger, Installations-Materialien, Mikrobiom). Von besonderer Bedeutung ist die Auswahl geeigneter hygienisch sicherer Werkstoffe im Gesamtbereich der Trinkwasser-Installation, die Biofilmwachstum nicht begünstigen. Stagnationen können die Konzentration verfügbarer Nährstoffe durch Migration aus Materialien in Kontakt mit Wasser deutlich erhöhen. Nekrotrophie und autotrophe Selbstproduktion bewirken, dass andere Schritte zur Reduktion von Nährstoffen zu Nichte gemacht werden und speziell das Wachstum von Legionellen gefördert wird.

FUSSNOTEN

440 *https://arm.vdma.org/documents/105662/13741363/Basisinfos%20Konformit%C3%A4tsbest%C3%A4tigung.pdf/abedf0bf-7e1a-4c61-8c82-97c07c0dd283*
441 *Umweltbundesamt. Bewertungsgrundlage für metallene Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser (Metall-Bewertungsgrundlage). Version vom 15. März 2017 unter Berücksichtigung der ersten und zweiten Änderung*
442 *Umweltbundesamt Entwurf Stand: 21. Juli 2016: Bewertungsgrundlage für Emails und keramische Werkstoffe im Kontakt mit Trinkwasser (Email/Keramik-Bewertungsgrundlage)*
443 *EMPFEHLUNG Umweltbundesamt vom 13.05.2014. Beurteilung materialbürtiger Kontaminationen des Trinkwassers*
444 *Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt „Biofilme in der Trinkwasser-Installation" Version 2.1 - mit Glossar. Projektdauer: 01.10.2006 – 30.04.2010. Koordination: Prof. Dr. Hans-Curt Flemming*
445 *Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen-Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen. Abschlussbericht. DVGW-Förderkennzeichen W6-02-09 + W6-02-09-ERW. 2014*
446 *VII International Conference on Environmental, Industrial and Applied Microbiology – BioMicroWorld. 2017 Madrid (Spain), 18-20 October 2017. Seite 297, Abdelwahid Assaidi et al.*
447 *Environ. Sci.: Water Res.Technol. 2018: 4, 183. DOI: 10.1039/c7ew00301c*
448 *Int J Syst Evol Microbiol. 2008: Dec; 58(Pt 12): 2769-73*
449 *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 2008: (58) 2769–277*
450 *Environ. Sci.: Water Res.Technol. 2018: 4, 183. DOI: 10.1039/c7ew00301c*
451 *J Clin Microbiol. 1981: Apr; 13(4): 688–695. PMCID: PMC273860*
452 *Appl Environ Microbiol. 2006: Jun; 72(6): 4323-8. DOI: 10.1128/AEM.00070-06*

FAKTOR TEMPERATUR – OHNE WÄRME GEHT NICHTS

Allgemeines

Bakterien haben im Laufe ihrer Evolution gelernt, in einem weiten Temperaturbereich zu überleben und zu wachsen. So findet sich mikrobielles Leben sowohl im Eis wie in vulkanischen Quellen mit kochendem Wasser. Die Temperatur ist für die Zusammensetzung von Mikrobiomen der Hauptfaktor.[453] Für den Menschen wichtige Krankheitserreger, auch die OPPPs, haben sich den Temperaturverhältnissen ihrer Wirte angepasst und haben Wachstumsoptima im Bereich von 37°C, einer Temperatur, die auch zur Anzucht der Organismen auf festen Nährböden verwendet wird.

Die Temperatur von PWC in der Trinkwasser-Installation ist eine Funktion der Temperatur des Versorgerwassers und eine Funktion von Installationsdesign und Stagnation, die Wärmetransfer auf das Kaltwasser begünstigen. In vielen Regionen ist die Temperatur des Versorgerwassers deutlichen jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Berichte aus Süddeutschland zeigen, dass sogar Temperaturen von 25°C überschritten werden. Mit Zunahme der Temperaturen steigt das Risiko für einen Aufwuchs, möglicherweise schon im Versorgungsnetz selber.

Untersuchungen in kommunalen Netzen der Niederlande weisen Temperaturen von ca. 20°C in den Sommermonaten auf. Innerhalb der Gebäudeinstallation geht man von einem Temperaturübergang von ca. 0,1°C pro Minute bis zum Equilibrium aus (ca. 20-23,5°C im Winter, ca. 23-26°C im Sommer).[454]

Zu unterscheiden ist bei Mikroorganismen:

// **Minimaltemperatur:** Geringste Temperatur, bei der noch Vermehrungsprozesse ablaufen.

// **Wachstumstemperatur:** Ein je nach Species breites oder enges Temperaturband, in dem sich Mikroorganismen gut vermehren können. Die Vermehrungstätigkeit der Mikroorganismen steigt innerhalb dieses Temperaturbereiches bis zur Optimaltemperatur stetig an und fällt bei Überschreiten wieder stetig ab bis zur Maximaltemperatur.

// **Optimaltemperatur:** Temperatur des stärksten Wachstums und der Vermehrung. Bei den OPPPs liegt diese im Bereich von ca. 30°C-42°C.

// **Maximaltemperatur:** Maximale Temperatur, bei der noch Wachstum und Vermehrung stattfinden.

Bis auf die Optimaltemperatur unterscheiden sich die anderen Temperaturbereiche zwischen einzelnen OPPPs, zwischen Stämmen (z.B. klinisch, Umwelt) und vielen anderen biotischen und abiotischen Einflussgrößen gravierend.

OPPPs sind in der Regel (Ausnahme *P.aeruginosa*) nicht in der Lage bei Temperaturen unterhalb von 15°C zu wachsen.

Pseudomonas aeruginosa

P.aeruginosa überlebt und wächst in einem weiten Temperaturbereich von 4°C bis 42°C,[458] Vermehrung wird beschrieben ab 10°C[459], die Optimaltemperatur liegt bei 37°C. Unterhalb von 30°C werden einige Virulenzmechanismen inaktiviert.[460] Er ist relativ thermotolerant, wächst noch bei 42°C und übersteht Temperaturen >50°C.

Bei Versuchen zeigte sich ein Wachstum von *P.aeruginosa* schon ab 10°C, allerdings nur bei Abwesenheit der natürlichen Mikroflora. Bei 10°C und 15°C wurde das Wachstumsplateau erst nach 10-20 Tagen, bei 20°C jedoch schon nach 3 Tagen erreicht. Offensichtlich ist bei Temperaturen unterhalb 20°C *P.aeruginosa* als „Fremdkeim" nicht konkurrenzfähig im Mikrobiom Trinkwasser. Die Konkurrenzfähigkeit erreicht er erst ab einer Temperatur von 20°C. Zwischen Labor- und Umweltstämmen bestehen jedoch deutliche Unterschiede. So konnten sich Umweltstämme schon bei 10°C in Konkurrenz mit dem Mikrobiom langsam vermehren. Dies zeigt, dass das Bakterium sich den jeweiligen Umweltbedingungen

Tabelle 18:
Faktoren, die das Temperaturverhalten von OPPPs gegenüber höheren Temperaturen beeinflussen

Art, Serogruppe	*L.longbeachae* -, *L.pneumophila* +
Stamm	unterschiedliches Verhalten
Virulenz[455 456]	virulente Stämme +
Herkunft (klinisch, Umwelt)	klinisch + bei 37°C
Dauer der Hungerphase	ausgehungerte L. +
Lebensform (kulturell, VBNC)	VBNC +++
intrazelluläre Lagerung	innerhalb Amöben +++
Häufigkeit thermischer Vorbehandlung	++
Wachstum im Biofilm	++
vorhandene Besiedlung / Mikrobiom	*P.aeruginosa* konkurriert bei niedrigen Temperaturen schlechter[457]

(niedriger Nährstoffgehalt, niedrige Temperatur) anpassen kann.[461]

Die Wassertemperatur hat auch einen deutlichen Einfluss auf die Adhäsionsfähigkeit von *P.aeruginosa* an Kunststoffmaterialien durch Veränderungen der hydrophoben Oberfläche des Bakteriums. Bei 47°C nimmt die Adhäsionsstärke z.B. auf Polystyren deutlich zu, bei 15°C nimmt sie deutlich ab.[462]

Nicht-Tuberkulöse Mykobakterien (NTM)

NTM, insbesondere auch das für den Menschen gefährliche *M.avium*, wachsen in einem weiten Temperaturbereich von 15-45°C[463] und finden sich sowohl im Kaltwasser wie im Warmwasser, jedoch mit einer eindeutigen Präferenz in lauwarmen Wässern.

Bei den langsam wachsenden NTM ist die Temperatur für das Wachstum entscheidender als die Verfügbarkeit von Nährstoffen. Ab ca. 15°C und verstärkt ab 20°C wird die Überlebensfähigkeit von *M.avium* im Biofilm gegenüber niedrigeren Temperaturen gesteigert. In natürlichen Wässern finden ab ca. 20°C Vermehrungsprozesse statt. Dies erklärt auch, warum in den wärmeren Monaten des Jahres höhere Zahlen an NTM gefunden werden als in den kalten.[464] Daraus ist zu folgern, dass die Trinkwassertemperatur so niedrig gehalten werden muss wie möglich.

M.avium ist thermotolerant, vermehrt sich noch bei Temperaturen >42°C und überlebt 53°C. In Kombination mit Amöben wird die Überlebensfähigkeit bei hohen Temperaturen deutlich gesteigert und übersteigt diejenige der Legionellen,[465] mit denen die Bakterien möglicherweise konkurrieren.[466] Innerhalb von Biofilmen kann *M.avium* sich noch bei 44°C vermehren und erträgt Temperaturen bis 54°C.[467]

M.avium zeigt bei höheren Temperaturen (>42°C) eine höhere Virulenz, die durch Wachstum im Biofilm oder Protozoen noch weiter gesteigert werden kann.[468]

Zwischen den einzelnen NTM Species bestehen sehr große Unterschiede in der Thermotoleranz/Thermoresistenz. Stämme von *M.avium, M.chelonae* u.a. erweisen sich als deutlich thermoresistenter als Legionellen, die höchste Resistenz besitzt *M.xenopi.* Kulturelle Nachweise gelingen bis 70°C. Auch in anderen Untersuchungen wird die hohe Hitzebeständigkeit der NTM bestätigt. Sie liegt in der Regel oberhalb von 55°C und stellt damit höhere Anforderungen an die Temperaturhaltung von Warmwassersystemen als die Legionellen.[469] [470] [471] [472] Extrem thermotolerante NTM lassen sich aus vulkanischen Quellen isolieren.[473] Im Vergleich zu Legionellen, bei denen Einstellen des Wachstum bei >46°C beschrieben wird, erfolgt bei NTM dieses erst ab >53°C.[474]

Legionellen

Legionellen überleben in einem weiten Temperaturbereich. So gelingen positive Nachweise selbst im antarktischen Eis.[475] Wachstum von Legionellen wird beschrieben in einem Temperaturbereich von 19°C[476] bis 45°C mit einem Optimum bei ca. 36°C-42°C. In einigen Untersuchungen werden Legionellen noch bei 54° in Biofilmen analysiert.[477] Ihre hohe Temperaturtoleranz ermöglicht ihnen langfristiges Wachstum in erwärmtem Trinkwasser. Unter Laborbedingungen wurde Wachstum schon bei 15°C erzielt, man geht aber allgemein davon aus, dass 25°C die Minimaltemperatur für eine Vermehrung in der Umwelt darstellt.[478] In Wässern mit Temperaturen <20°C persistieren Legionellen längere Zeit. In Reinkulturen wird Wachstum von klinischen Isolaten (Lp1 und Lp6) noch bei 45°C beobachtet, ein Umweltstamm zeigte Vermehrung in Verbindung mit Cyanobakterien *(Fischerella)* bei 45°C.

Diese Beobachtungen machen deutlich, dass sich Temperaturbereiche für ein Wachstum bei Legionellen nicht klar definieren lassen, sondern sich je nach Art und Stamm in einem mehr oder weniger breiten Bereich bewegen.[479]

Viele Untersuchungen zeigen, dass zwischen verschiedenen Stämmen von Lp1 erhebliche Variationen innerhalb der Temperaturbereiche auftreten, die für ein Wachstum genutzt werden können, und dass die Interaktion mit Amöben dabei ein sehr wichtiger Faktor ist.[480] Darüber hinaus muss berücksichtigt werden, dass Laborexperimente sich erheblich von realen Umweltbedingungen unterscheiden und Interaktionen mit dem Mikrobiom einen großen Einfluss haben.

Auch Untersuchungen in Kläranlagen zeigen, dass die Temperatur bei hohem Nährstoffgehalt der entscheidende Faktor für das Vorkommen von *L.pneumophila* oder anderer Legionellenspecies ist. Bei 35°C wird das Wachstum von *L.pneumophila* am stärksten gefördert, bei 15°C dominieren andere Arten.[481]

FUSSNOTEN

453 *Microbial Biotechnology 2017: 10(4), 773–788. doi:10.1111/1751-7915.12457*
454 *Water Research 2017: 123 761e772. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.019*
455 *Microbial Pathogenesis 1989: 7: I-I 0*
456 *Infection And Immunity 1987: 2701-2705*
457 *Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen –Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen Abschlussbericht DVGW-Förderkennzeichen W6-02-09 + W6-02-09-ERW*
458 *Microbiol Immunol. 1982: 26(1): 15-24*
459 *MicrobiologyOpen 2016: Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
460 *Curr Protoc Microbiol. 2012: May; Chapter 6: Unit 6E.1: doi 10.1002/9780471729259.mc06e01s25*
461 *Pseudomonas aeruginosa in Trinkwassersystemen-Wachstumsansprüche und nachhaltige Gegenmaßnahmen. Abschlussbericht. DVGW-Förderkennzeichen W6-02-09 + W6-02-09-ERW. 2014*
462 *Braz. J. Microbiol. 2006: vol.37 no.3 São Paulo July/Sept. http://dx.doi.org/10.1590/S1517-83822006000300001*
463 *Water Res. 2004: Mar; 38(6): 1457-66.*
464 *Appl Environ Microbiol. 2007: 7 3(19): 6201-7. DOI: 10.1128/AEM.00828-07*
465 *Appl Environ Microbiol. 1992: Jun; 58(6): 1869-73.*
466 *Environ Sci Pollut Res 2017: 24: 2326–2336. DOI 10.1007/s11356-016-7921-5*
467 *Curr Microbiol. 2014: Apr; 68(4): 428-39. doi: 10.1007/s00284-013-0493-4*
468 *Journal of Applied Microbiology. 2009: 107 356–36. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04161.x*
469 *EPA Mycobacteria: Health Advisory. EPA-822-B-01-007. 1999*
470 *JAMA. 1988: Sep 16; 260(11): 1599-601.*
471 *Water Res. 2004: Mar; 38(6): 1457-66.*
472 *Appl Environ Microbiol. 1992: Jun; 58(6): 1869-73.*
473 *Appl. Environ. Microbiol. 2007: vol. 73 no. 15 5071-5073. doi:10.1128/AEM.00353-07*
474 *Water Research Volume 2015: 77, 15 119-132. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.03.010*
475 *Curr Microbiol. 2008: Oct; 57(4): 294-300. doi: 10.1007/s00284-008-9192-y.*
476 *Environ Sci Pollut Res 2017: 24: 2326–2336. DOI 10.1007/s11356-016-7921-5*
477 *Curr Microbiol. 2014: Apr; 68(4): 428-39. doi: 10.1007/s00284-013-0493-4*
478 *Applied and Environmental Microbiology 2016: 82(22). DOI: 10.1128/AEM.01107-16*
479 *Appl Environ Microbiol 2016: 82: 6691– 6700. doi:10.1128/AEM.01107-16.*
480 *Letters in Applied Microbiology 2011: 53, 217–224. doi:10.1111/j.1472-765X.2011.03094.x*
481 *Int J Hyg Environ Health. 2017: Dec 14. pii: S1438-4639(17)30463-7. doi: 10.1016/j.ijheh.2017.12.003*

Um im menschlichen Körper gut wachsen zu können, ist Wachstumsfähigkeit bei 37°C eine Grundvoraussetzung. Deswegen wird vermutet, dass virulente Stämme ein höheres Temperaturoptimum und –maximum haben als Umweltstämme, die eher an niedrigere Temperaturen angepasst sind. Klinische Stämme wachsen besser bei 37°C und 42°C.[482]

Hochvirulente Stämme von Lp1 wie ST37, ST47 und ST62 benötigen zum Wachstum bei höheren Temperaturen (>41°C) in Biofilmen thermotolerante Amöben als Wirt. Bei ca. 40-41°C findet ein Übergang von üblicherweise vorkommenden Amöben zu thermotoleranten Amöben statt. Man vermutet, dass das Wachstum der hochvirulenten Stämme von einer Kombination von Faktoren abhängt: a) einer Temperatur nahe der Optimaltemperatur, b) der Anwesenheit eines Einzellers, der sich bei dieser Temperatur vermehren kann. Ihre Konkurrenzfähigkeit mit anderen Stämmen ist damit auf einen relativ engen Temperaturbereich begrenzt.[483]

Lp1 konkurriert nur schlecht mit non-pneumophila Arten unterhalb von 30°C, hat aber deutliche Wachstumsvorteile bei 38°C in Biofilmen. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass durch die Wassertemperatur das Vorkommen von *Legionella species* bzw. Stämmen gesteuert werden kann. [484] So lassen sich innerhalb von Gebäuden mit unterschiedlichen Temperaturbereichen jeweils an die Temperaturen angepasste Stämme isolieren. Temperaturen zwischen 37°C und 42°C erhöhen die Infektiosität von *L.pneumophila*.[485] [486] Ab ca. 44°C scheint eine Vermehrung nicht mehr möglich zu sein.[487] Assoziiert mit Biofilmen entwickeln Legionellen jedoch eine höhere Temperaturtoleranz.

Die Temperatur hat auch großen Einfluss auf das Wachstum von Wirtsorganismen wie Amöben.[488] Offensichtlich werden Legionellen bei 20°C von Amöben gefressen und verdaut, bei höheren Temperaturen als 25°C fungiert die Amöbe als Wirtsorganismus, in dem sich die Bakterien vermehren.[489] [490] 24°C ist die untere Grenze für intrazelluläres Wachstum.[491]

Die Temperatur beeinflusst auch andere Wachstumsfaktoren, z.B. die Adhäsionsfähigkeit an Substrate.[492] Am höchsten war sie bei 36°C, am geringsten bei 15°C.

Optimales Wachstum von Legionellen in Trinkwassersystemen von Gebäuden findet in einem Temperaturbereich etwa zwischen 30 und 42°C statt und wird ab ca. 50°C deutlich eingeschränkt.[493]

Eine weitere neuere Studie kommt zum Ergebnis, dass die Temperatur für Legionellen den mit Abstand wichtigsten Faktor für Wachstum und Vermehrung darstellt. 41°C werden für *L.pneumophila* als Optimaltemperatur beschrieben. Bei NTM lag diese bei 49°C. Ab 53°C ist kein Wachstum von Legionellen mehr messbar, bei einem gleichzeitigen Wechsel in der Zusammensetzung des Mikrobioms. Schon Temperaturänderungen von 4°C haben großen Einfluss auf das Mikrobiom.[494]

ZWISCHENFAZIT 1

Die Temperatur, der Bakterien in Trinkwasser-Installationen in Gebäuden ausgesetzt sind, bestimmt nicht nur die Vermehrungsfähigkeit, sondern darüber hinaus eine ganze Reihe von weiteren gesundheitlich relevanten Faktoren, die insbesondere dann deutlich werden, wenn wir das Gesamtsystem des Mikrobioms betrachten:

// Wachstum

// Vermehrung

// Dauer der Lag-Phase[495]

// Artenzusammensetzung des Mikrobioms

// Konkurrenzfähigkeit im Mikrobiom

// Bevorzugung bestimmter Stämme/ Species

// Adäsionsfähigkeit an Materialien

// Virulenz/Infektiosität[496]

// Überleben/Vermehrung in Einzellern

// Bildung infektiöser Vesikel[497]

// Induktion von VBNC-Stadien

Die einzelnen Arten zeigen ein unterschiedliches Temperaturverhalten. *P.aeruginosa* wächst schon bei sehr niedrigen Temperaturen > ca. 15°C. NTM weisen artabhängig die größte Temperaturresistenz/-toleranz auf, die deutlich über der der Legionellen liegt.

Das untere Temperaturniveau sollte idealerweise bei <20°C liegen, das obere Temperaturniveau ist stark art- und stammspezifisch und von Interaktionen mit Einzellern oder Biofilmen abhängig. Ein hygienisch sicheres Niveau unter Einbeziehung eines Sicherheitszuschlages ist erst ab >55°C zu gewährleisten. Temperaturen zwischen 30°C und 42°C sind strikt zu vermeiden.

Temperaturgesteuerte Kontrollstrategien von OPPPs in Trinkwasser-Installationen

a) Thermische Desinfektion

In vielen Ländern gilt die thermische Desinfektion als probates Mittel, um insbesondere das Wachstum von Legionellen in Trinkwasser-Installationen zu kontrollieren. Sie vermag, große Teile des Biofilms ohne Zusatz von Chemikalien zu entfernen, fördert aber gleichzeitig einen Wiederaufwuchs und kann zur Toleranzbildung führen.

Die geforderten Grenzbereiche (Temperatur, Haltezeit) unterscheiden sich international jedoch beträchtlich. Sie reichen von 60°C bis 80°C und Haltezeiten von 3 Minuten bis 30 Minuten

und länger. Es gibt jedoch eine Reihe von Gründen, welche die Effektivität und Nachhaltigkeit dieser Maßnahme insgesamt in Frage stellen, wenn sie nicht eingebettet ist in ein Konzept einer Systemoptimierung:

// Einzeller und Biofilme erhöhen Thermo-Toleranz[498]

// starke Art- und Stammunterschiede
// VBNC-Stadien[499] überleben 70°C über längere Zeiträume

// längere Hungerperioden erhöhen Thermotoleranz

// Legionellen können konditioniert werden – je häufiger die Maßnahme, desto wahrscheinlicher („Trainingslager")

// tolerante Stämme können selektiert werden

// Effekt nur von kurzer Dauer, keine Nachhaltigkeit

// Kollateralschäden an Material und Mikrobiom

// ohne vorausgegangene Optimierung der Hydraulik nur unvollständig wirksam

// verstärkter Wärmeübergang auf Kaltwasser

// hohe Gefahr folgenschwerer Verbrühungen (bei 70°C Verbrennung 3.Grades in 1 Sekunde!)

Die Beurteilung der Effektivität einer thermischen Desinfektion ausschließlich auf Grundlage kultureller Untersuchungen führt zu einem völlig falschen Ergebnis, da durch die thermotoleranten VBNC-Stadien jede Nachhaltigkeit zu Nichte gemacht wird. So zeigen Untersuchungen eindrucksvoll, dass

a) zwischen Legionellenstämmen erhebliche Unterschiede in der Thermotoleranz bestehen und
b) VBNC-Stadien 70°C für mehr als 60 Minuten oder sogar 90°C (Solar-Pasteurisierung)[500] überstehen und nach Beendigung der Maßnahme in Kontakt mit Amöben wieder infektiös für den Menschen werden.[501] VBNC Stadien sind leicht durch Erhöhung der Wassertemperatur zu induzieren.

Innerhalb der Arten und Stämme treten große Unterschiede auf. So reagiert *L.longbeachae* wesentlich empfindlicher auf hohe Temperaturen als *L.pneumophila*. Regelmäßige Temperaturerhöhung (Pasteurisierung) kann zur Selektion thermotoleranter Stämme – unter Umständen nur in bestimmten Bereichen einer Trinkwasser-Installation[502] [503] führen, stellt also geradezu ein Trainingslager speziell für *L.pneumophila* dar, welche die größte Thermotoleranz besitzt.[504] [505] [506] Durch längere Hungerperioden kann die Toleranz weiter gesteigert werden (Stagnation ohne Nährstoffzufuhr).[507]

Es erweist sich so als unmöglich, durch eine thermische Desinfektion Legionellen vollständig und dauerhaft aus Trinkwassersystemen zu entfernen.[508]

Erschwerend kommt hinzu, dass mehrere zeitlich hintereinander geschaltete Maßnahmen zu einer Toleranzsteigerung auch der Amöben führen können und möglicherweise virulente Stämme selektieren.[509]

Ein weiterer Schutzmechanismus, der eine thermische Desinfektion beeinträchtigen kann, ist Wachstum in

Tabelle 19:
Anforderungen an eine thermische Desinfektion

Großbritannien	60°C für 5 Minuten
Niederlande	60°C 20 Minuten, 70°C 5 Minuten
Deutschland	70°C 3 Minuten
Australien	70°C 5-10 Minuten
Italien	70-80°C 30 Minuten
Neuseeland	70°C 1h Speicher, Auslässe 70°C 5 Minuten
Kanada	70°C, Speicher 24h, Peripherie >20 Minuten 71° – 77°C >30 Minuten
USA VHA AESHRAE	71-76 °C für 5 Minuten 70°C Für 30 Minuten 71-77°C für 5 Minuten
ECDC	70-80°C im System für 3 Tage, an Auslässen >65-70°C für 5 Minuten
Spanien	70°C im Speicher 2h, Auslässe 5 Minuten
Frankreich	70°C für 30 Minuten

FUSSNOTEN

482 *Appl Environ Microbiol. 2017: Mar 31; 83(8), pii: e03295-16. doi: 10.1128/AEM.03295-16*
483 *Applied and Environmental Microbiology 2016: 82(22). DOI: 10.1128/AEM.01107-16*
484 *l Environ Microbiol 2016: 82:2959–2965. doi:10.1128/AEM.03873-15.*
485 *Appl Environ Microbiol. 2017: Apr 15; 83(8): e03295-16*
486 *Infect. Immun. 1994: vol. 62 no. 7 2995-2997*
487 *Journal of Bioscience and Bioengineering 2006: Vol. 101, No. 6, 478–484. DOI: 10.1263/jbb.101.478*
488 *J Water Health. 2010: Mar; 8(1): 71-82. doi: 10.2166/wh.2009.129.*
489 *Applied and Environmental Microbiology 2008: Vol. 74, No. 14 p. 4585–4588. doi:10.1128/AEM.00083-08*
490 *J. Hyg. Camb. 1983: 91: 167-178.*
491 *FEMS Microbiology Letters 2016: 363, fnw022. doi: 10.1093/femsle/fnw022*
492 *Front Microbiol. 2017: Jul 19; 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330.*
493 *Water Res. 2016: Mar 1; 90: 71-8. doi: 10.1016/j.watres.2015.12.004.*
494 *Microbiome 2017: 5:130. DOI 10.1186/s40168-017-0348-5*
495 *Der Zeitraum, in der Bakterien „Kräfte" sammeln für den eigentlichen Vermehrungsprozess (log-Phase).*
496 *Infect. Immun. 1994: vol. 62 no. 7 2995-2997*
497 *Expo Health 2017. DOI 10.1007/s12403-017-0255-9*
498 *Water Sci Technol. 2005: 52(8): 15-28*
499 *Pathogens. 2015: Jun 19; 4(2): 390-405. doi: 10.3390/pathogens4020390.*
500 *Legionella Species Persistence Mechanisms in Treated Harvested Rainwater. Penelope Heather Dobrowsky. Dissertation presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy at the University of Stellenbosch. Department of Microbiology. Faculty of Science March 2017*
501 *Microb Ecol 2015: 69: 215–224. DOI 10.1007/s00248-014-0470-x*
502 *Front Microbiol. 2017: Jul 19; 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
503 *Appl Environ Microbiol. 2011: Feb; 77(4): 1268–1275. doi: 10.1128/AEM.02225-10*
504 *Front Microbiol. 2017: 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330. eCollection 2017*
505 *PLoS ONE 2014: 9(12): e114331. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114331*
506 *Applied and Environmental Microbiology 2011: p. 1268–1275 Vol. 77, No. 4 0099-2240/11/$12.00. doi:10.1128/AEM.02225-10.*
507 *Journal of Applied Microbiology 2007: 102 1636–1644. doi:10.1111/j.1365-2672.2006.03195.x*
508 *Front Microbiol. 2017: Jul 19; 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
509 *Appl. Environ. Microbiol. 2012: vol. 78 no. 19 6850-6858. doi:10.1128/AEM.00831-12*

thermotoleranten Amöben,[510] die bei hohen Temperaturen den intrazellulären Bakterien Schutz bieten selbst bei Temperaturen >60°C. Auch hier selektiert eine häufige Anwendung dieser Methode thermotolerante Stämme.[511] Erneuter Aufwuchs nach Beendigung der Maßnahme erfolgt nach kürzester Zeit. Cysten von Amöben sind besonders thermotolerant [512] und überstehen selbst 80°C für 10 Minuten.[513 514]

Bei Laboruntersuchungen wurde gezeigt, dass in Kombination mit Amöben *L.pneumophila* Temperaturen von 71°C für 10 Minuten oder 72°C für 5 Minuten intrazellulär überlebt.[515]

Beim Vergleich wiederholter Thermischer Desinfektionen mit einer kontinuierlich hohen Betriebstemperatur erwies sich im Labormaßstab die konstante Temperaturhaltung als eindeutig wirkungsvoller.[516]

Als Resumee bleibt fest zu halten, dass eine konstante Temperaturhaltung >55°C sich einer kurzfristigen Thermischen Desinfektion als deutlich überlegen erweist.[517]

ZWISCHENFAZIT 2

Eine thermische Desinfektion beseitigt einen Aufwuchs von OPPPs in Trinkwasser-Installationen nicht dauerhaft. Sie hat nur eine eng begrenzte und unvollständige Kurzzeitwirkung.[518] Ein Einsatz ist allenfalls bei kleinen, übersichtlichen Trinkwasser-Installationen sinnvoll. Ansonsten muss der Einsatz dieser Methode grundsätzlich in Frage gestellt werden.[519 520] Sie bedarf zumindest immer der Einbindung in ein Konzept der Systemoptimierung.

Toleranzmechanismen (z.B. Übergang ins VBNC-Stadium, Assoziation mit Einzellern/Biofilmen) erhöhen die Toleranz erheblich und verhindern eine Nachhaltigkeit dieser Maßnahme. Eine moderne Risikoanalyse/ Bewertung muss diese Toleranzmechanismen adäquat berücksichtigen.[521] Eine Beurteilung der Effektivität nur an Hand kulturelle Ergebnisse ist nicht mehr zeitgemäß. Wegen der extrem hohen Gefahr schwerwiegender Verbrühungen bei Temperaturen >70°C verbietet sich der Einsatz im laufenden Betrieb bei Anwesenheit von Nutzern.

Zielführender ist immer eine konstante Betriebsführung >55° im Gesamtsystem PWH.

b) Anforderungen an die Temperaturhaltung in Trinkwasser-Installationen (PWC und PWH)

Um das Wachstum von OPPPs möglichst gering zu halten, sind Trinkwasser-Installationen dauerhaft so zu betreiben, dass im Kaltwasser Temperaturen unterhalb der Minimaltemperatur und im Warmwasser Temperaturen deutlich oberhalb der Maximaltemperatur vorliegen. Vorrangiges Ziel ist es, Temperaturbereiche zu vermeiden, die im Wachstumsoptimum der OPPPs liegen (ca. 30-42°C). In diesem Bereich werden auch bei Felduntersuchungen die höchsten Vermehrungsraten beschrieben.[522 523 524]

Wie aus Tab.20 und detailliert aus Tab.17 zu ersehen ist, stellen nationale und internationale Richtlinien/Normen darauf ab, hygienisch sichere Temperaturbereiche für PWC und PWH vorzugeben. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Betriebstemperaturen im PWH praktisch ausschließlich unter dem Gesichtspunkt der Vermehrung und Bekämpfung von Legionellen definiert wurden und dem Kaltwasser nicht immer der nötige Stellenwert beigemessen wurde.

International liegen die normativen oder gesetzlichen Anforderungen im Kaltwasser überwiegend bei <20°C als optimale Temperatur. Als Maximaltem-

Tabelle 20:
Empfohlene Temperaturen in Trinkwasser-Installationen

Land	Kaltwasser °C	Warmwasser	
		Speicher °C	Peripherie °C
DE	20-25	60	55
CH	20	60	50-55
AT	20	60	55
GB, EI	20	55	50-55 (Hospitäler)
DK		55	50
FR	20-25		50
NL	20-25	60	50-60
IT	20	60	50
PT	20	60	50
CZ	20	60	55
AU	20	60	60
NZ	20	60	55
CA	20	60	50
US	20	60	51
ECDC	20-25		50
WHO	20-25	60	50

peratur gilt einheitlich ein Wert von 25°C, z.B. auch normativ in Deutschland, bei dem jedoch schon Vermehrungsprozesse stattfinden. Temperaturen >20°C und <60°C gelten als Risikofaktoren.[525]

In Deutschland findet zurzeit wegen der Untersuchungspflicht auf Legionellen nach §14b TrinkwV für Großanlagen zur Trinkwassererwärmung eine starke Fixierung nur auf das Warmwasser statt. Dies hat zur Konsequenz, dass Kontaminationen des Kaltwassers häufig übersehen werden. International wird in der Regel bei der Beurteilung eines Gefährdungspotentials nicht zwischen PWH und PWC unterschieden (siehe Tab.17).

Für Legionellen existiert eine große Fülle internationaler Arbeiten über die optimale Temperaturhaltung in Trinkwasser-Installationen. In der überwiegenden Mehrheit werden Temperaturen von 60°C im Speicher und 55°C in der Peripherie für notwendig erachtet. Dieses Temperaturregime konnte in einer großen Anzahl von Untersuchungen unter realen Bedingungen als sichere Basis bestätigt werden, wobei insbesondere eine Speichertemperatur von >60°C allgemein akzeptiert ist. Eine Verringerung der Temperatur wird mit vermehrtem Auftreten von Legionellen auch in der Peripherie in Zusammenhang gebracht.[526]

Amöben können bei Temperaturen <60°C ihre Thermotoleranz auf Legionellen übertragen, darüber nimmt die Schutzwirkung dramatisch ab. [527]

Bei einer Bewertung ist zu berücksichtigen, dass erhebliche Stammunterschiede auftreten, die das Erfordernis eines „Sicherheitszuschlages" deutlich machen, da sich keine exakte allgemeingültige „Grenztemperatur" definieren lässt. Wie oben schon dargestellt erschweren weitere Faktoren (Biofilm, Amöben) die Festlegung sicherer Temperaturbereiche unterhalb von 55°. Systeme mit Temperaturhaltung >55° erwiesen sich frei von Legionellen auch bei Anwendung der qPCR.[528] 55°C scheint eine Grenztemperatur zu sein, bei deren Unterschreitung das Risiko für einen Aufwuchs von Legionellen deutlich vergrößert wird. [529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539]

55°C führen auch im Bereich nicht ständig durchströmter Leitungsteile zur Reduzierung von Legionellen und zeigen, dass bei dieser Temperatur offensichtlich ein ausreichender Sicherheitsabstand und schnelle Wirksamkeit in den endständigen Installationsbereichen gegeben ist.[540] Temperaturen von nur >50°C, wie sie z.B. die WHO[541] oder das ECDC[542] (mit dem Vermerk besser >55°C) empfehlen, stellen Kompromisse für eine internationale Praxis dar, bei der hohe Temperaturen nicht immer realisierbar sind.

Entsprechende nationale Regelungen mit Temperaturempfehlungen <55°C werden aber zunehmend kritisiert.[543 544 545] Untersuchungen zeigen, dass die in dem ASHRAE-Standard 188P geforderte Temperatur von 51°C (Peripherie) hart an der Grenze der Wirksamkeit liegt und schon ein nur geringes Unterschreiten des Temperaturniveaus zum Wachstum von Legionellen führen kann.[546] Eine neuere deutsche Studie findet bei Felduntersuchungen die höchste Zahl von *Legionella Species* im Temperaturbereich zwischen 50-59°C. In einer umfangreichen spanischen Langzeitstudie wird überzeugend belegt, dass eine konstante Temperaturhaltung von 55°C im Gesamtsystem einer Temperaturhaltung von 50°C signifikant überlegen ist und ein deutlich höheres Maß an Sicherheit bietet. Ein täglicher Wasseraustausch wird dabei zusätzlich für erforderlich gehalten.[547] Eine italienischen Studie in Krankenhäusern belegt die Effizienz von Temperaturen nahe 60°C für die Reduktion von *Legionella*.[548]

Maßnahmen zur Reduzierung der Warmwassertemperaturen auf Werte kleiner 55°C z.B. aus Energieeinspargründen können so das Wachstum verschiedener Legionellenarten, besonders *L.pneumophila* Sg1 fördern.[549]

Eine ausführliche Risikobewertung unter Berücksichtigung von Erwärmer, Rücklauf, Peripherie und Temperaturabfall im System findet ein sehr geringes Risiko für eine Vermehrung von Legionellen unter folgenden Bedingungen: Erwärmer konstant >60°C, Rücklauf >55°C, 55°C nach 1 Minute bei der Entnahme und maximaler Temperaturabfall im System von <5 K (Tab.21).

Ein hohes Risiko besteht bei peripheren Temperaturen <50°C und hohen Temperaturabfällen im System (>10°C).

Bei der Entscheidung, welche Temperaturverhältnisse optimale Sicherheit bieten, sind aber neben dem Temperaturverhalten der Legionellen auch

FUSSNOTEN

510 *FEMS Microbiol Rev 2010: 34 231–259. DOI:10.1111/j.1574-6976.2009.00190.x*
511 *PLoSONE 2015: 10(8): e0134726. doi: 10.1371/ journal.pone.0134726*
512 *Journal of Applied Microbiology 2013: 116, 728--736. doi:10.1111/jam.12379*
513 *Scand J Infect Dis. 2004: 36(9): 656-62. DOI: 10.1080/00365540410020785*
514 *Front. Microbiol. 2017: 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
515 *FACH.JOURNAL 2005/06 Kramer et al.*
516 *Ji et al. Microbiome (2018) 6:30. DOI 10.1186/s40168-018-0406-7*
517 *Microbiome. 2018: Feb 9; 6(1):30. doi: 10.1186/s40168-018-0406-7*
518 *APMIS 2005: Jan;113(1): 45-53. DOI: 10.1111/j.1600-0463.2005. apm1130107.x*
519 *PLoS ONE 2014: 9(12): e114331. https://doi.org/10.1371/journal. pone.0114331*
520 *Front. Microbiol. 2017: 8:1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
521 *Front. Microbiol. 2017: 8:1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
522 *Annals of Agricultural and Environmental Medicine 2009: 16 1, 115-119*
523 *Int J Hyg Environ Health 2008: 211: 179–185*
524 *Journal of Applied Microbiology 2014: 117, 882—890. doi:10.1111/jam.12559*
525 *Abstract Book 9th International Conference on Legionella. Rome 2017. Marinelli L. et al.*
526 *Environmental Technology, 2015: Vol. 36, No. 16, 2138–2147. http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2015.1022231*
527 *PLoSONE 2015: 10(8): e0134726. doi: 10.1371/ journal.pone.0134726*
528 *Water Res. 2015: Mar 15; 71: 244-56. doi: 10.1016/j.watres.2015.01.006.*
529 *Water research 2015: 71 244 e256. https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.006*
530 *Front Microbiol. 2017: Jul 19; 8: 1330. doi: 10.3389/fmicb.2017.01330*
531 *Journal of Hospital Infection 2002: 50: 213-219*
532 *J Hosp Infect. 2002: Mar; 50(3): 213-9. DOI: 10.1053/jhin.2002.1185*
533 *Ann Agric Environ Med 2009: 16, 115–119*
534 *Water Res. 2016: Mar 1; 90: 71-8. doi: 10.1016/j.watres.2015.12.004.*
535 *Environ Sci Pollut Res Int. 2013: Aug; 20(8): 5534-44. doi: 10.1007/s11356-013-1557-5*
536 *Building and Environment 2017: 123, 684-695. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.06.024.*
537 *Pathogens 2016: 5, 35. doi: 10.3390/pathogens5020035*
538 *Building and Environment 2016: 108 230e239. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.038*
539 *Water Sci Technol. 2005: 52(8): 15-28*
540 *Environmental Toxicology and Water Quality: An International Journal 1991: Vol. 6, 249-257*
541 *World Health Organization 2007. Legionella and the prevention of legionellosis. ISBN 92 4 156297 8*
542 *ECDC: European Technical Guidelines for the Prevention, Control and Investigation, of Infection Caused by Legionella species. Juni 2017*
543 *Ann Agric Environ Med. 2009: 16(1): 115-9.*
544 *The 9 th International Conference on Legionella Rome, 26th-30th September 2017. Abstractband. Stenico A et al.*
545 *Environ Sci Pollut Res 2015: 22: 6610. https://doi.org/10.1007/s11356-014-3839-y*
546 *Environ Eng Sci. 2013: Oct; 30(10): 617–627. doi: 10.1089/ees.2012.0514*
547 *Long-term effectiveness of temperature as a control method for Legionella in hospital hot water systems. Thesis · February 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.14091.39207*
548 *Ig Sanita Pubbl. 2018 Jan-Feb; 74(1): 25-34. PMID: 29734320*
549 *International Journal of Hygiene and Environmental Health 2017: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.011*

Tabelle 21:
Risikobewertung für eine Kontamination mit *Legionella* anhand von Temperaturverteilungen[550]

Vermehrungsrisiko	Erwärmer	Rücklauf	Entnahme	T-Abfall mittel	T-Abfall max.
sehr gering	**>60°C immer**	**>55°C**	**>55°C nach 1 min**	**<5°C**	**<5°C**
gering	>60°C in >90%	>55°C	>55°C nach 1 min	<5°C	<10°C
risikobehaftet	>60°C in <90%	>50°C	>50°C nach 2 min	<10°C	>10°C
hohes Risiko	**>60°C in <50%**	**<50°C**	**<50°C nach 5 min**	**>10°C**	**>10°C**

die Wachstumseigenschaften anderer OPPPs zu beachten, damit nicht durch Fixierung auf nur eine Species anderen Fakultativen Krankheitserregern Wachstumsvorteile verschafft werden, die zu neuen gesundheitlichen Risiken führen = Problemverlagerung.

Zu berücksichtigen sind bei einer Neubewertung:

// thermotolerante Amöben[551]

// *P.aeruginosa*

// NTM

// VBNC-Stadien[552]

// Biofilm, Mikrobiom

// Stammunterschiede

Wie schon bei der Thermischen Desinfektion geschildert, können thermotolerante Amöben ihre Toleranz auf intrazelluläre Bakterien, z.B. Legionellen, übertragen und so höhere Anforderungen an die Temperaturhaltung erforderlich machen, insbesondere wenn hochtemperaturresistente Cystenformen ausgebildet werden.[553] Vitale Amöben werden noch oberhalb von 55°C nachgewiesen. Oberhalb von 60°C lässt die Schutzwirkung dramatisch nach.

Nicht nur für Legionellen, sondern auch für *P.aeruginosa* wird eine Schutzwirkung durch Amöben oberhalb von 55°C beschrieben.[554] Zur Kontrolle von *P.aeruginosa* werden Temperaturen von 60°C für notwendig gehalten.[555 556]

NTM weisen eine höhere Temperaturresistenz auf als Legionellen (s.o.). Ihr Temperaturverhalten ist bei allen Maßnahmen im Bereich des Temperaturregimes mit zu berücksichtigen. Dies findet zurzeit aber so gut wie nicht statt, so dass offen bleiben muss, welchen Effekt temperaturgesteuerte Maßnahmen auf diese Organismen haben. Viele Untersucher vermuten aber, dass Maßnahmen zur Reduzierung einer Legionellenbesiedlung nicht immer ausreichend sind, auch das Wachstum von NTM zu vermindern, sondern höhere Temperaturbereiche anzustreben sind.[557 558 559]

In Haushalten mit Warmwassertemperaturen von <55°C ließen sich signifikant höhere Konzentrationen an NTM analysieren.[560] Viele NTM Species überstehen auf Grund ihrer Thermoresistenz Temperaturen zwischen 50°C und 55°C.[561 562] Eine deutliche Verringerung der Besiedlung findet sich erst ab ca. 55°C, so dass Temperaturen im gesamten System von >55°C anzustreben sind.[563 564 565 566 567] Diese Maßnahme erwies sich in der Praxis als sehr effektiv.[568]

FAZIT

Die Ermittlung von Temperaturbereichen, die für OPPPs ungünstige Lebensbedingungen bieten und damit eine Grundlage für einen präventiven Gesundheitsschutz bilden, ist sehr schwierig und von vielen Faktoren abhängig. Neben den Eigenschaften der Legionellen, dem üblichen Zielorganismus, sind auch das Verhalten anderer OPPPs sowie vermehrt Interaktionen mit dem Mikrobiom, Einzellern, die Rolle von Stamm- und Speciesunterschieden sowie Adaptationsprozesse mit zu berücksichtigen.

Als optimal und durch eine Vielzahl von Untersuchungen abgesichert ergeben sich Kaltwassertemperaturen <20°C und Warmwassertemperaturen von >55°C in der Peripherie und von >60°C in Speichern.

Auch in dem 2018 publizierten Forschungsprojekt „Energieeffizienz und Trinkwasserhygiene in der Trinkwasser-Installation" erweisen sich erst Temperaturen >55°C als sicher in Verhinderung des Wachstums von Legionellen.[569]

Bestrebungen, die Warmwassertemperaturen zu senken, um die Effizienz alternativer Warmwasserbereitungen (Wärmepumpen, Solar) zu verbessern, sollten – wenn überhaupt - nur mit äußerster Zurückhaltung durchgeführt werden.[570]

Sie sind in jedem Fall mit einer Verringerung des Sicherheitsabstandes und einer erhöhten Fehleranfälligkeit verbunden.

Bereiche mit Defiziten in der Hydraulik kommen möglicherweise mehr zum Tragen, die Peripherie wird anfälliger. Bei der Diskussion um die Absenkung der Vorlauftemperaturen ist zwingend eine Reihe von wichtigen Aspekten zu berücksichtigen:

// Notwendigkeit für eine weitere stringente Optimierung der beiden Faktoren Nahrung und Stagnation

// ständiger und ausreichender Wasseraustausch in allen Bereichen

// automatisierte Entnahmesysteme, die täglichen Wasserwechsel gewährleisten

// Etablierung eines WSP

// intensivierte Kontrolle (Verifikation)

// automatische Messeinrichtungen (Volumenströme, Temperaturen) mit Übermittlung an Gebäudeleittechnik

// Berücksichtigung des Verhaltens anderer OPPPs (NTM)

// Berücksichtigung der Verhältnisse im Mikrobiom

Für die Betriebsführung von Trinkwasser Kalt und Trinkwasser Warm ergeben sich aus Sicht der Hygiene folgende Grundanforderungen:

Trinkwassersysteme müssen thermisch entkoppelt werden. Wärmeübergänge auf das Kaltwasser sind im gesamten Gebäude so effektiv wie möglich zu vermeiden. Eine hohe Betriebskonstanz ist anzustreben. Eine aktive Kühlung von Kaltwasser sollte in bestimmten Fällen diskutiert werden. Temperaturbereiche zwischen 30°C und 42°C sind grundsätzlich zu vermeiden.

Grundanforderungen an einen optimalen Betrieb sind:

// Vermeidung von Stagnationen

// keine Übermischung in Entnahmearmaturen oder Mischarmaturen

// regelmäßiger Austausch des Trinkwassers (täglich), auch in Zeiten ohne Nutzerentnahme

// getrennte Schachtführung Warm / Kalt

// innovative und angepasste Leitungsführung und Dimensionierung

// keine Leitungsführung durch thermisch belastete Bereiche (Heizzentrale oder Schacht mit hoher thermischer Belastung, abgehängte Decke)

// bei Anlagen, bei denen eine thermische Entkopplung nicht realisiert werden kann oder wo das Temperaturniveau des Versorgerwassers schon >20°C ist, sind Möglichkeiten einer aktiven Kühlung von PWC zu etablieren

// Temperatur im Kaltwasser <25°C, besser <20°C

// Temperatur im Warmwasser >60° im Speicher, >55°C in der Peripherie

// die Bedingungen in der TW-Installation sollten eine **möglichst hohe Konstanz** aufweisen. Wechsel zwischen Phasen mit guten und Phasen mit schlechten Wachstumsbedingungen sind zu vermeiden (z.B. wegen Bildung von VBNC, Selektion toleranter Organismen/Biofilm/Einzeller)

// **unkontrollierte Bestandteile** von Trinkwasseranlagen (z.B. Stichleitungen) sind so weit wie möglich zu **reduzieren**

// das **Wasservolumen** und die **benetzte Oberfläche** müssen **so klein wie möglich** sein

// Beurteilung der Effektivität von Maßnahmen nicht allein mit kulturellen, sondern verstärkt mit molekularbiologischen Methoden

Optimal ist ein System, das über einen gewissen Sicherheitsabstand verfügt und robust auf Fehlfunktionen reagieren kann.

Mögliche Fehlerquellen und die Vielzahl relevanter Faktoren dürften sich in Laborversuchen kaum realistisch abbilden lassen. Die komplexen Reaktionen des Mikrobioms und seiner Interaktionen lassen noch viele Fragen offen, die es nicht als sinnvoll erscheinen lassen, Ergebnisse aus Laborversuchen 1:1 auf die Praxis zu übertragen.

Bei jeder Entscheidung muss der Gesundheitsschutz oberste Priorität behalten.

FUSSNOTEN

550 *Water Res. 2015: Mar 15; 71: 244-56. doi: 10.1016/j.watres.2015.01.006*
551 *Microbiome 2015: 3: 67. DOI 10.1186/s40168-015-0134-1*
552 *I Environ Microbiol 2016: 82: 2959–2965. doi:10.1128/AEM.03873-15*
553 *Environ Sci Pollut Res 2015: 22: 6610. DOI 10.1007/s11356-014-3839-y*
554 *MicrobiologyOpen 2016: Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
555 *Water Research 2006: 40, 6, 1326-1332. doi:10.1016/j.watres.2006.01.032*
556 *MicrobiologyOpen. 2016: Dec; 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
557 *Appl Environ Microbiol. 1992: Jun; 58(6): 1869-73.*
558 *Curr Environ Health Rep. 2015: 2(1): 95–106. doi: 10.1007/s40572-014-0037-5*
559 *Journal of Applied Microbiology 2009: 107 56–367. doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04161.x*
560 *Emerg Infect Dis. 2011: Mar; 17(3): 419–424. doi: 10.3201/eid1703.101510*
561 *Semin Respir Crit Care Med. 2013: Feb;34(1):95-102. doi: 10.1055/s-0033-1333568*
562 *Emerg Infect Dis. 2011: Mar; 17(3): 419–424. doi: 10.3201/eid1703.101510*
563 *EPA 1999: Mycobacteria: Health Advisory. EPA-822-B-01-007*
564 *EPA 1999: Mycobacteria: Health Advisory. EPA-822-B-01-007*
565 *JAMA. 1988: Sep 16; 260(11): 1599-601.*
566 *Front. Med. 2017: 4:27. doi: 10.3389/fmed.2017.00027*
567 *Water Research 2004: 38 1457–1466. doi:10.1016/j.watres.2003.07.008*
568 *Reducing Exposure to Nontuberculous Mycobacteria. 2015: NTM-TB Insights. National Jewish Health*
569 *Kongress „Energieeffizienz und Trinkwasserhygiene in der Trinkwasser-Installation". Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) | GWT-TUD GmbH. Berlin 19./20. März 2018 TU Dresden | Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung*
570 *Abstractband 9th International Conference on Legionella, Rome September 2017. Lück et al.*

FAKTOR STAGNATION – IN DER RUHE LIEGT DIE KRAFT FÜR DEN MIKROKOSMOS

Im Vergleich zum kommunalen Wasserverteilungssystem weisen Trinkwasser-Installationen in Gebäuden ungünstigere Verhältnisse in Hinblick auf Stagnationen und damit verbundene negative Effekte auf. Häusliche Trinkwassersysteme sind die letzte Stufe beim Transport des Wassers zum Verbraucher. Unter dem Einfluss von Temperatur, Verweilzeit/Stagnation und Rohrmaterial kann sich die Wasserqualität dramatisch verändern. Stagnation ist dabei der Hauptfaktor auch für das Temperaturniveau des Kaltwassers, das dann 25°C überschreiten kann. Die Einflüsse unterliegen dem Einfluss der Jahreszeiten.[571]

Das Verhältnis Oberfläche zu Volumen ist hoch, das Wasser ist warm und steht auf Grund vielfältiger Einflüsse längere Zeit in den Leitungen. Stagnation ist der wohl kritischste Faktor des Wirkdreiecks Nahrung-Temperatur-Stagnation (Abb.6), da dieser Faktor unmittelbare Auswirkungen auch auf die beiden anderen Stellgrößen haben kann und somit eine Schlüsselrolle einnimmt.

Stagnationen haben somit eine direkte und über Temperatur und Material eine indirekte Wirkung auf das Mikrobiom.

Da in Deutschland und vielen anderen Ländern Trinkwasser nicht kontinuierlich desinfiziert wird, wird der Faktor Desinfektion bei den weiteren Ausführungen nicht mit betrachtet.

Stagnationen und ungünstige hydraulische Verhältnisse werden durch das Gebäudedesign, durch die installierte Technik und sehr stark durch das Nutzerverhalten beeinflusst. Letzteres muss oft durch automatisierte Wasserentnahme-Konzepte kompensiert werden.

Zum Erreichen biologischer Stabilität ist eine angemessene Konstruktion (Design) und Betriebsweise unerlässlich. Neben den schon geschilderten Anforderungen an die Materialauswahl spielt hier eine möglichst geringe Verweilzeit von Trinkwasser und ein effizientes hydraulisches Regime eine entscheidende Rolle. Regelmäßiges Spülen zum Austausch von Wasser und zum Lösen und zum Entfernen partikulärer (mikrobiell besiedelter) Stoffe sind ebenfalls wichtige Maßnahmen zur Aufrechterhaltung einer guten Trinkwasserqualität.[572]

Stagnation, durchschnittliche Verweilzeit und Fließbedingungen sind Faktoren, welche die Bildung von Biofilmen und das Risiko für eine Vermehrung von OPPPs beeinflussen. Höhere Fließgeschwindigkeiten und turbulente Strömung können die Bildung voluminöser Biofilme reduzieren und einen verstärkten Austrag von Bakterien bewirken.[573] Ein weiterer Schlüsselfaktor ist das Verhältnis Oberfläche zu Volumen (S/V). Je größer das Verhältnis, desto mehr Biofilm kann produziert werden. Es bestehen nahezu lineare Verhältnisse.

Die Vermeidung schon von kurzzeitigen Stagnationen (<24 Stunden) spielt bei allen nationalen und internationalen Regelwerken eine zentrale Rolle (siehe dazu Tab.17). Durch Vorgabe regelmäßiger Spülprozesse wird versucht, die Dauer der Stagnation so weit wie möglich zu reduzieren.
Wasser verändert sich bei seiner Reise durch die Trinkwasser-Installation.[574] Bakterienwachstum hat eine direkte Beziehung zum Wasseralter, zur Transportstrecke und zur Verweilzeit im System.[575]

Während Stagnationsphasen dominieren dann Mikroorganismen den Biofilm, die selber wenig zur Biofilmbildung befähigt sind.[576] 72 Stunden Stagnation führen zu signifikanten Änderungen in der Mikrobiologie des Trinkwassers.[577]

Lange Verweilzeiten von mehreren Tagen fördert mikrobielles Wachstum in Leitungen. Wasseralter als Folge von Stagnationsprozessen formt signifikant das Mikrobiom und hat Einfluss auf etliche chemische Parameter. Je nach Lage im Installationssystem und Wasseralter ergeben sich für einzelne Entnahmestellen Verschiebungen in der Zusammensetzung des Mikrobioms. Dabei führen schon Stagnationsperioden von ca. 8 Stunden bzw. über Nacht zu erheblichen Veränderungen in der Zusammensetzung des Mikrobioms.[578] Nach Stagnation lassen sich deutlich mehr Bakterien-Abteilungen (Phyla) beobachten als beim Versorgerwasser, vornehmlich eine Folge des verstärkten Einflusses von Biofilmen in der Gebäudeinstallation.

Über Nacht-Stagnation führt in Abhängigkeit vom Rohrmaterial und der Temperatur sowohl zu einer Erhöhung der Zellzahlen als auch zu einer Veränderung der Artenzusammensetzung. Mit Zunahme der Stagnationszeit nimmt der TOC im Trinkwasser ab. Dabei nimmt die Zahl der heterotrophen Bakterien um den Faktor 100-200 zu.
Unregelmäßiger Wasseraustausch hat großen Einfluss auf die Bakteriengemeinschaften. So etablieren sich in einer Trinkwasser-Installation unterschiedliche Biofilmgemeinschaften.[579] Stagnation führt zu erheblichen mikrobiologischen Veränderungen und macht auch die Bedeutung einer guten Materialauswahl deutlich. Kurzes Ablaufen lassen des Wassers vor Gebrauch verbessert die Qualität signifikant.[580] Wasser aus Entnahmestellen mit sehr seltener Nutzung zeigt die höchsten Bakterienzahlen und die höchsten Raten intakter Zellen. Bei häufig genutzten

Entnahmestellen hat Stagnation die größten Auswirkungen auf eine Erhöhung der Bakterienkonzentrationen. Je länger Wasser abläuft, desto geringer werden die Bakterienzahlen.[581] [582]

Ein Problem wird bei nächtlichen Stagnationen auch in den endständigen Teilen einer Installation gesehen (Stichleitungen)[583] und Aufwuchs z.B. in Entnahmearmaturen, wo diese Stagnationsphasen zu einer erhöhten Belastung führen.[584] Die Temperatur und die Konzentration an Nährstoffen stagnierenden Wassers erhöhen sich signifikant über Nacht mit der Folge verstärkten Bakterienwachstums, das bis zur Geschmacks- und Geruchsbeeinträchtigung führen kann.[585] Verlängerte Verweilzeit und Temperaturen um 25°C waren die Hauptursachen für Wiederaufwuchs (regrowth). Eine deutliche Verbesserung wurde durch Änderung der Fließ-Regime und Verminderung der Verweilzeiten erreicht.[586]

Es spricht vieles dafür, dass kurze Stagnationsphasen (Stunden bis wenige Tage) kritischer für einen Aufwuchs von OPPP sind als eine sehr lange Stagnationsdauer, innerhalb der die zur Verfügung stehenden Nährstoffe aufgebraucht werden, das Bakterienwachstum dann stagniert oder VBNC-Stadien gebildet werden. Biologisch stabiles Wasser ist durch Stagnation offensichtlich weniger betroffen.
Wenig genutzte Entnahmestellen mit 51°C selektieren offensichtlich für *L.pneumophila* (mehr als 100x höhere Zahlen als in häufig genutzten). Die Nutzungsfrequenz beeinflusst auch das Vorkommen von Amöben.[587] Strahlbegrenzer in Entnahmearmaturen können ein sekundäres Reservoir für einen Aufwuchs von Legionellen darstellen.[588]

In Totsträngen findet eine deutliche Konzentrationssteigerung von OPPPs statt.[589] Selbst kontinuierlicher Zusatz von Desinfektionsmitteln verhindert in Totsträngen eine Vermehrung von Legionellen nicht. Erst der Einbau von automatischen Spüleinrichtungen verbessert die Situation.[590]

Stagnation Speicher

Eine Vermeidung von Stagnationsphasen in Warmwassertanks ist besonders effektiv bei der Reduzierung der Konzentration von *L.pneumophila*.[591]

Besiedlungen mit Legionellen konnten durch Vermeidung von Stagnationen in Warmwasserspeichern verhindert werden.[592] Besonders bedenklich sind im Speicher Temperaturschichtungen[593] sowie die Bildung von Sedimenten, die als ständiges Reservoir für OPPPs fungieren.[594]

Zur Behebung konstruktiver Mängel werden u.a. folgende Maßnahmen empfohlen: [595]

// Warmwassertemperatur am Erwärmer >60°C

// 55°C nach 1-2 Minuten Flow an Entnahmestellen

// hydraulischer Abgleich

// Fließgeschwindigkeiten von >0,2 m/s

// Vermeidung von Totsträngen

Auch in den Empfehlungen der WHO werden Fliessgeschwindigkeit und Stagnation als essentielle und wichtige Faktoren bezeichnet. Systeme müssen so konzipiert werden, dass Bereiche mit Stagnationen so klein wie möglich gehalten werden, auch bei Modifikationen des Systems. Auslässe sollen möglichst nahe an thermostatischen Mischern sein. Die Installationen müssen regelmäßig gespült werden bei Vermeidung von Temperaturen, die im Optimalbereich von OPPPs liegen. Dies gilt sowohl für PWC wie für PWH.

Hydraulik

Die Hydraulik hat entscheidenden Einfluss auf die Verweilzeit von Trinkwasser (von Minuten bis Tagen) und das Wasseralter und damit auf die Biofilmbildung.

Wenn die Scherkräfte Normalwerte übersteigen, kann in Stagnationsphasen angehäuftes biologisches Material in den freien Wasserkörper übergehen und bis zu den Entnahmestellen transportiert werden. Neben Partikeln, die als Trübung sichtbar werden, können dabei große Mengen an Mikroorganismen vom Biofilm und von den Partikeln mobilisiert werden. Dies geschieht besonders als Folge von Druckstößen, z.B. bei einem Leitungsbruch. Durch regelmäßige Entnahme werden Wasser, Biofilm, suspendierte Feststoffe und lose Ablagerungen gezielt und präventiv ausgetragen.[596] Reduzierte Fließgeschwindigkeiten und geringe Austauschmengen werden auch bei komplexen Armaturen (Touch Fittings) für eine Biofilmbildung innerhalb der Armaturen verantwortlich gemacht.[597]

Die Hydraulik (Scherkräfte) wirkt auch auf die Struktur des Mikrobioms. Biofilme, die sich unter geringen Scherkräften ausbilden, sind leicht ablösbar. Hohe Scherkräfte und turbulente Fliessbedingungen begünstigen die Formation eines dichten, kompakten und

FUSSNOTEN

571 *Procedia Engineering Volume 2014: 89, 143-150. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.170*
572 *Appl Microbiol Biotechnol 2017: 101:3537-3550. DOI 10.1007/s00253-017-8223-7*
573 *Arh Hig Rada Toksikol. 2017 Jun 27;68(2):109-115. doi: 10.1515/aiht-2017-68-2904*
574 *Brazos, B. J., J. T. O'Conner, and S. Abcouwer. 1985. Kinetics of chlorine depletion and microbial growth in household plumbing systems. Pp.239–274 (Paper 4B-3) In: Proceedings of the American Water Works Association Water Quality Technology Conference. Houston, Texas*
575 *Engineering 2013: 5, 449-457. http://dx.doi.org/10.4236/eng.2013.54054*
576 *Environ. Sci. Water Res. Technol. 2016: 2, 614-630. DOI: 10.1039/c6ew00039h*
577 *Chemosphere 2018: Mar;195: 80-89. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.11.070*
578 *PLoS ONE 2015: 10(10): e0141087. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141087*
579 *Water Research 2017: 123 761e772. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.019*
580 *Water Res. 2010: 44 (17), 4868-4877. doi:10.1016/j.watres.2010.07.032*
581 *Environmental Technology 2014: Vol. 35, No. 5, 620–628. http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2013.839748*
582 *Environmental Technology 2014: Vol. 35, No. 5, 620–628. http://dx.doi.org/10.1080/09593330.2013.839748*
583 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2015: 12, 13649-13661. doi:10.3390/ijerph121013649*
584 *Applied and Environmental Microbiology 1984: p. 984-987*
585 *Water Res. 2014: Feb 1; 49: 83-91. doi: 10.1016/j.watres.2013.11.013*
586 *Int. J. Food Microbiol. 2004: 92(3), 317-325. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2003.08.010*
587 *Microbiome 2015: 3:67. DOI 10.1186/s40168-015-0134-1*
588 *Applied and Environmental Microbiology 1984: 984-987*
589 *Int. J. Environ. Res. Public Health 2014: 11, 7393-7405. doi:10.3390/ijerph110707393*
590 *J Hosp Infect. 2018: Jan; 98(1): 60-63. doi: 10.1016/j.jhin.2017.08.021*
591 *Applied and Environmental Microbiology 1984: p. 984-987*
592 *Applied and Environmental Microbiology 1984: 984-987*
593 *Environmental Engineering Science 2013: 30, 10. DOI: 10.1089/ees.2012.0514*
594 *Pathogens 2017: Oct 26; 6(4). pii: E54. doi: 10.3390/pathogens6040054.*
595 *Building and Environment 2016: 108 230e239. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.08.038*
596 *Water research 2014: 54 10 e114. http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.049*
597 *J Hosp Infect. 2001: Oct; 49(2): 117-21. DOI: 10.1053/jhin.2001.1060*

mechanisch stabilen Biofilms, der sehr resistent gegen Ablösen ist.[598] (Siehe auch Kapitel Biofilm.)

Die Bildung von Sedimenten ist das Resultat einer Ablagerung von Partikeln unter geeigneten hydraulischen Verhältnissen, z.B. Stagnation. Abgelagerte Partikel erlauben auf Grund ihrer großen Oberfläche und meist guten Nährstoffbedingungen optimale Wuchsbedingungen für Bakterien. Sedimentation in Kombination mit der Bildung von Biofilmen und Produktion von extrazellulärer Matrix verfestigt die Sedimentstruktur, bis eine Wiederauflösung durch hydraulische Stöße erfolgt. Die Rolle der Sedimente im Mikrobiom Trinkwasser wird häufig übersehen. Sedimente können aber erhebliche Anteile am Gesamt-Mikrobiom ausmachen.[599]

Für *P.aeruginosa* wurde der Effekt der Fließ-Regime auf die Kommunikation der Zellen untereinander untersucht. Man fand, dass eine größere Menge an Biofilm benötigt wurde, um eine optimale Kommunikation innerhalb des Biofilms zu ermöglichen, wenn die Fließgeschwindigkeiten hoch waren. Das hydraulische Regime hat Auswirkungen auf das „quorum sensing" von *P.aeruginosa* Biofilmen, das durch hohe Fließgeschwindigkeiten deutlich erschwert wird.[600]

Erhöhung der Scherkräfte verändert die Architektur der *P.aeruginosa*-Biofilme. Höhere Scherkräfte vergrößern die Adhäsion mit einem Maximum von 3,5 bis 5 mN/m^2. Darüber hinaus nahm die Adhäsion wieder ab.

Messbar sind auch Effekte wechselnder hydraulischer Verhältnisse (periodische Stagnationen). Bei etablierten Biofilmen führt Stagnation zur Erhöhung der Bakterienzahlen sowohl im Biofilm wie im Wasserkörper. Bei Wiederaufnahme des Wasserflusses werden diese Bakterien weiter transportiert. Empfehlungen zur Vermeidung von Bereichen mit geringer Fließgeschwindigkeit und besonders von Totsträngen stehen in Zusammenhang mit dem Auftreten von OPPPs und sind in Europa Gegenstand vielfältiger Regelungen.[601]

Energiesparmaßnahmen

Sogenannte nachhaltige Konstruktionsprinzipien (Energiesparhäuser) reduzieren den Wasserverbrauch durch verschiedenste Techniken (Spar-Duschköpfe, Sensor-Entnahmearmaturen etc.). Wenn dies ohne gleichzeitige Reduzierung der Rohrdurchmesser und des gespeicherten Wasservolumens geschieht, erhöht sich die Verweilzeit des Trinkwassers signifikant (Stunden bis Tage) und das Wasseralter steigt mit der Folge eines vermehrten mikrobiellen Aufwuchses und Schaffung von Nischen für OPPPs. Eine Verbesserung kann nur durch Änderungen im Gebäudedesign und Installation automatisierter Spülsysteme erreicht werden, die zu einem regelmäßigen Austausch des Wassers führen. Dabei können bei hoher Frequenz die ausgetauschten Wassermengen klein bleiben.[602]

FAZIT

Stagnation ist der wohl kritischste Faktor für die für die Vermehrung von Fakultativen Krankheitserregern, hat vielfältige Auswirkungen auf das Mikrobiom Trinkwasser und bedarf differenzierter Aktionen:

// fakultative Krankheitserreger sind stagnationsresistent: Förderung von OPPPs in Stagnationszeiten

// Anhäufung von Nährstoffen aus Materialien oder Selbstproduktion

// ungünstige Veränderungen im gesamte Mikrobiom (z.B. Amöbenwachstum)

// mögliche Anhäufung von bakteriellen Botenstoffen, die zur Bildung von Biofilmen auf Wandungen und Ablagerungen aufrufen

// Begünstigung voluminöser instabiler Biofilme, die bei Wiederinbetriebnahme leicht abreißen

// hohe Scherkräfte günstig, um kompakten Biofilm zu erzeugen

// fehlende Verdünnung und dadurch Konzentrationssteigerung von Mikroorganismen im Trinkwasser

// fehlende Verdünnung und dadurch Konzentrationssteigerung von Migrationsprodukten aus Materialien in Kontakt mit Trinkwasser

// Konzentrationssteigerung gesundheitlich relevanter Wasserinhaltsstoffe (organische Komponenten, Cu etc.)

// Temperaturerhöhung des Kaltwassers durch Wärmeübergang

// Veränderung des Chemismus, z.B. Sauerstoffschwund

// Sedimentbildung, Partikelsedimentation

// schon 12 Stunden Stagnation sind ausreichend, um Veränderungen im Mikrobiom und signifikante Erhöhungen der Bakterienzahlen zu verursachen

// Zeitintervalle im Regelwerk (3, 7 Tage) für Hygiene nicht optimal

// optimal kontinuierlicher Austausch, optimal einmal alle 12 Stunden

Grundlegende Maßnahmen zur Verhinderung von Stagnationen, der 7 Punkte Plan:

1. **Totstränge** müssen radikal entfernt werden, ohne Ausnahme. Dazu muss

ein Konzept erstellt werden und in eine Renovierungsplanung implementiert werden.

2. **"Back up"** Installationen, Überbrückungsinstallationen müssen vermieden werden.

3. **Nicht regelmäßig durchströmte Bestandteile** von Trinkwasseranlagen (z.B. Stichleitungen) sind so weit wie möglich zu reduzieren.

4. **Speicherung** von Trinkwasser für maximal 24 Stunden

5. Jedes **Bauteil** ist auf seine zwingende Notwendigkeit zu überprüfen.

6. TW-Systeme sind so zu konzipieren, dass ein regelmäßiger Wasseraustausch auch bei Nichtbenutzung gewährleistet ist. **Zwangsdurchströmte Systeme**, die ohne Zutun des Nutzers einen Wasserwechsel gewährleisten, bieten aus Sicht der Hygiene Vorteile. In Hoch-Risiko-Installationen sind **automatisierte Spüleinrichtungen** einzusetzen, die einen mindestens täglichen Wasserwechsel sicherstellen.

7. Speicher und Leitungen sind so klein wie möglich zu dimensionieren, um Fließgeschwindigkeiten und Austausch zu optimieren. Das Wasservolumen und die benetzte Oberfläche müssen so klein wie möglich sein. Zielrichtung muss die **Schaffung schlanker Systeme** sein. Dazu müssen moderne Rechenverfahren verwendet werden.

FUSSNOTEN

598 *Water Research 2013: 47 2, 503-516. https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.09.053*
599 *Front Microbiol. 2016: 7: 45. doi: 10.3389/fmicb.2016.00045*
600 *Journal of Bacteriology 2007: Vol. 189, No. 22, p. 8357–8360. doi:10.1128/JB.01040-07*
601 *MicrobiologyOpen. 2016: 5(6): 937–956. doi: 10.1002/mbo3.391*
602 *Water Res. 2012: Mar 1; 46(3): 611-21. doi: 10.1016/j.watres. 2011.11.006.*

AUSBLICK UND VISIONEN

Die historische Sichtweise von Technikern und Verbrauchern ist das Missverständnis, dass Trinkwasser keimfrei oder nahezu keimfrei ist. Dieser Mythos wird durch Grenzwerte, welche die Abwesenheit bestimmter Organismen im Wasser fordern, und die Vorstellung, durch Desinfektion könne man alle Mikroorganismen beseitigen, weiter verstärkt. In Wirklichkeit enthält jedes Trinkwasser aber eine erstaunliche Vielzahl und Vielfalt von Mikroorganismen in Mikrobiomen, selbst in Gegenwart hoher Konzentrationen an Desinfektionsmitteln.

Alles was wir im Bereich der Trinkwasserversorgung tun, hat mikrobielle Konsequenzen. Ein besseres Verständnis der Dynamik von Trinkwasser-Mikrobiomen wird neue Möglichkeiten für das Management von Kontaminationsrisiken ermöglichen. Ziel ist die Schaffung eines Mikrobioms, das speziell für fakultative Krankheitserreger dauerhaft keine guten Überlebensmöglichkeiten bietet. Unter der Vorstellung, dass fakultative Krankheitserreger sich als Teil des mikrobiellen Ökosystems von Trinkwasser-Installationen etabliert haben, könnte sich als neuer Handlungsrahmen eine "probiotische" Denkweise und Entwicklung einer komplett neuen Strategie zur Kontrolle dieser Erreger herausbilden.[603]

Viele Fragen sind noch ungelöst und müssen in Zukunft beantwortet werden: Wer ist im Mikrobiom? Warum ist er dort? Wie ändert sich das Mikrobiom im Laufe von Zeit und Ort? Was machen die Mikroben dort? Wer macht was? Wie reagiert das Mikrobiom auf Einflüsse bei Desinfektion oder Sanierung?[604] Welche Faktoren (Temperatur, Stagnation, Nährstoffe) beeinflussen das Mikrobiom am nachhaltigsten? Sind Maßnahmen gezielt gegen einzelne OPPPs möglich, ohne das Mikrobiom in seiner Gesamtheit zu gefährden? Wäre ein probiotischer Ansatz denkbar?

Die intelligente Nutzung ökologischer Interaktionen wie Konkurrenz, Antagonismus oder Parasit-Wirtsbeziehungen und ein möglicher probiotischer Ansatz eröffnen neue Wege und Ziele für eine gezielte Kontrolle fakultativer Krankheitserreger und/oder ihrer Wirtsorganismen.

Der probiotische – noch teilweise visionäre Ansatz – verfolgt einen ganzheitlichen Gedanken und betrachtet das gesamte Mikrobiom, welches bewusst und gezielt manipuliert werden soll durch Veränderungen von Konstruktion/Design, physikalischen Faktoren, Wasserchemismus, Materialauswahl oder sogar durch die bewusste Zugabe von Bakterien mit günstigen Eigenschaften (z.B. nach dem Vorbild der „Fäkaltransplantation" bei Darminfektionen). Diese Vorgehensweise wäre absolut innovativ, präventiv und nachhaltig – und sogar ökologisch wertvoll. Dabei müssen aber erhebliche ästhetische und psychologische Hürden überwunden werden. Sie erfordert ein radikales Umdenken.

Erste Ansätze einer solchen Sichtweise sind bereits vorhanden. Noch begrenzt auf den Einsatz bei Verdunstungskühlanlagen ist ein Verfahren entwickelt worden, dass gezielt sessile und planktonische Legionellen und ihre Wirtsamöben durch Zugabe einer „Fressamöbe" (Willaertia magna C2 Maky, eine Amöbe aus heißen Quellen) bekämpfen will, ohne die Gesamtstruktur des Mikrobioms zu zerstören, wie dies bei Zugabe von Desinfektionsmitteln zwangsläufig die Konsequenz wäre.[605]

Auch im Bereich Trinkwasser werden verschiedene innovative Vorgehensweisen diskutiert, etwa die Nutzung natürlicher Stoffe wie z.B. antimikrobieller Peptide mit spezifisch anti-*Legionella* Eigenschaften ohne Veränderung des Gesamtmikrobioms.[606] Denkbar wäre auch ein gezielter Einsatz von Bakterien gegen einen Zielorganismus, z.B. von *Bacillus subtilis* gegen Legionellen, der schon erfolgreich bei Rückkühlwerken durchgeführt wurde.[607] *Methylobacterium*, ein pinkfarbene Kolonien bildendes und häufig auf Duschvorhängen anzutreffendes Bakterium, und *Mycobacterium* vermögen nicht in einem gemeinsamen Mikrobiom zu existieren. Biofilme, die *Methylobacterium* enthalten, werden nicht von NTM besiedelt. Dieses Verhalten könnte als probiotische Kontrollmaßnahme genutzt werden.[608]

Konkurrenz um Nahrung ist ein weiterer Faktor, der Einflüsse auf das Mikrobiom erlaubt. Viele OPPPs wachsen gut in Reinkultur. Innerhalb von Bakteriengesellschaften kann ihr Wachstum aber stark beeinträchtigt sein. So können vorhandene natürliche Biofilme das Aufwachsen von OPPPs, etwa *P.aeruginosa*, vermindern. Die gezielte Zugabe einer mikrobiellen Gemeinschaft, die mit OPPPs um Nahrung konkurriert, wäre so ein weiterer probiotischer Ansatz. Gezielte Elimination von Schlüsselorganismen, speziell freilebenden Amöben (FLA) könnte zur Verminderung des Wachstums von NTM und ins-

besondere *Legionella* genutzt werden. Auch der Einsatz von Bakteriophagen,[609] die selektiv bestimmte OPPPs eliminieren könnten, wäre ein denkbarer Weg für eine gezielte Kontrolle von OPPPs ohne die Gesamtheit des Mikrobioms zu beeinträchtigen.[610]

Zukünftige Studien unter Nutzung der „Next Generation DNA Sequencing" Technologien müssen die Sicherheit und gesundheitliche Unbedenklichkeit dieser neuartigen und ungewohnten Konzepte nachweisen, bevor an einen routinemäßigen Einsatz in Trinkwassersystemen gedacht werden kann. Die Forschung befindet sich da auf einem guten und hoffnungsvollen Weg.

RESÜMEE

Wasserbürtige fakultative opportunistische Krankheitserreger stellen ein stetig wachsendes Gesundheitsproblem dar, vornehmlich in entwickelten Ländern. Die Zahl wasserbürtiger Ausbrüche ausgehend von Trinkwassersystemen innerhalb von Gebäuden nimmt weltweit weiter zu, führt zu vermehrten Erkrankungen und Todesfällen und stellt darüber hinaus eine soziale und wirtschaftliche Last für die Allgemeinheit dar.

Ein erhöhtes Risiko besteht besonders dort, wo Trinkwasseranlagen schlecht konzipiert, erbaut und betrieben werden, ungeeignete Materialien verwendet werden und lange Stagnationsphasen auftreten, z.B. bei nur saisonaler Nutzung. Weitere Risikofaktoren für einen schlechten Hygienezustand des Trinkwassers sind Maßnahmen zur Energieeinsparung, ein zu unfokussiertes Risikomanagement, nicht zielgerichtete Sanierungskonzepte und schlechter Wartungs- und Erhaltungszustand. Energieeinsparung zum Schutz der Umwelt und des Klimas darf keinen Vorrang vor dem Schutz der menschlichen Gesundheit haben.

Ein essentieller Schritt zur Verbesserung des Gesundheitsschutzes ist die längst überfällige Umsetzung präventiver/proaktiver Konzepte zu Gunsten reaktiver Vorgehensweisen, z.B. in Form des HACCP-Konzeptes[611] bzw. der Implementierung der Water Safety Pan Strategie der Weltgesundheitsorganisation (WHO)[612 613] auch im Bereich der Trinkwasser-Installation in Gebäuden, vor allem im Bereich des Gesundheitswesens und der Pflege. Eine im Rahmen eines WSP durchgeführte präventive Gefährdungsanalyse hat zum Ziel, Mängel zu verhindern und ist damit einer reaktiven Vorgehensweise zur Behebung bereits aufgetretener Mängel deutlich überlegen.

Bei der Entwicklung von Strategien zur Kontrolle von OPPPs in Trinkwasser-Installationen in Gebäuden müssen ganzheitliche Sichtweisen, die Einbeziehung des Mikrobioms und seiner Reaktionen und Interaktionen wesentlich mehr be-

FUSSNOTEN

603 *Environ. Sci. Technol. 2013: 47, 10117−10128. dx.doi.org/10.1021/es402455r*
604 *Environmental Microbiology 2017: 19: 3163–3174. Doi 10.1111/1462-2920.13800*
605 *Amoéba, Frankreich, 69680 CHASSIEU; http://www.amoeba-biocide.com*
606 *Front. Microbiol. 2016: 08 April, https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00486*
607 *Eng. Life Sci. 2007: 7: 497–503. doi: 10.1002/elsc.200620212*
608 *Pathogens 2017: Sep 14;6(3). pii: E42. doi: 10.3390/pathogens6030042*
609 *Bakteriophagen sind Viren, die selektiv bestimmte Bakterienarten mit hoher Spezifität zerstören können*
610 *Environ. Sci. Technol., 2013: 47 (18), pp 10117−10128. DOI: 10.1021/es402455r*
611 *Pathogens 2015: 4(3), 513-528. doi:10.3390/pathogens4030513*
612 *WHO 2014: Water safety in distribution systems. WHO 2011: Water safety in buildings*
613 *WHO 2009. Water safety plan manual (WSP manual). Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*

rücksichtigt und in den Vordergrund gestellt werden. Ein komplexes Geflecht von Wirkfaktoren, die sich gegenseitig beeinflussen, bestimmt über die Zusammensetzung und Mächtigkeit der Mikrobiome, speziell der Biofilme als zentrale Voraussetzung für das Wachstum von OPPPs: Günstige Bedingungen für Biofilmbildung führt zu vermehrter Biofilmproduktion. Dieser fördert als Nahrungsgrundlage die Entwicklung von Einzellern. Diese wiederum erlauben OPPPs insbesondere Legionellen, eine optimale Vermehrung (Abb.7).

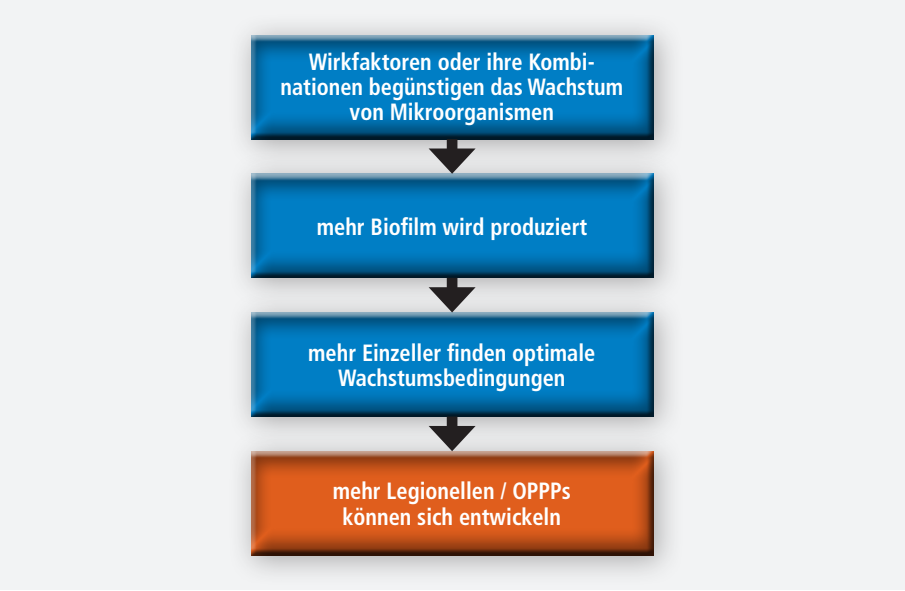

Abbildung 7: Wirkkaskade für die Vermehrung von OPPPs

Zur Erzielung eines möglichst umfassenden und nachhaltigen Erfolges bei der Kontrolle von OPPPs in Trinkwasser-Installationen Warm und Kalt sind Optimierungen in der gesamten Maßnahmenkaskade notwendig (Abb.8).

Die Aufgabe des Versorgers ist die Bereitstellung eines biologisch stabilen und möglichst kalten Wassers zu allen Jahreszeiten. Die größten Herausforderungen an die Beibehaltung eines sicheren Hygieneniveaus stellen sich jedoch im Bereich der Trinkwasser-Installation in Gebäuden. Beim Design und der Konstruktion der Anlagen müssen die drei Wirkfaktoren Nährstoffe (Materialauswahl), Temperaturhaltung Kalt und Warm und die Hydraulik, vor allem Vermeidung von Stagnationen, so optimiert und aufeinander abgestimmt werden, dass Mikrobiome entstehen, die ein Wachstum von OPPPs nicht begünstigen.

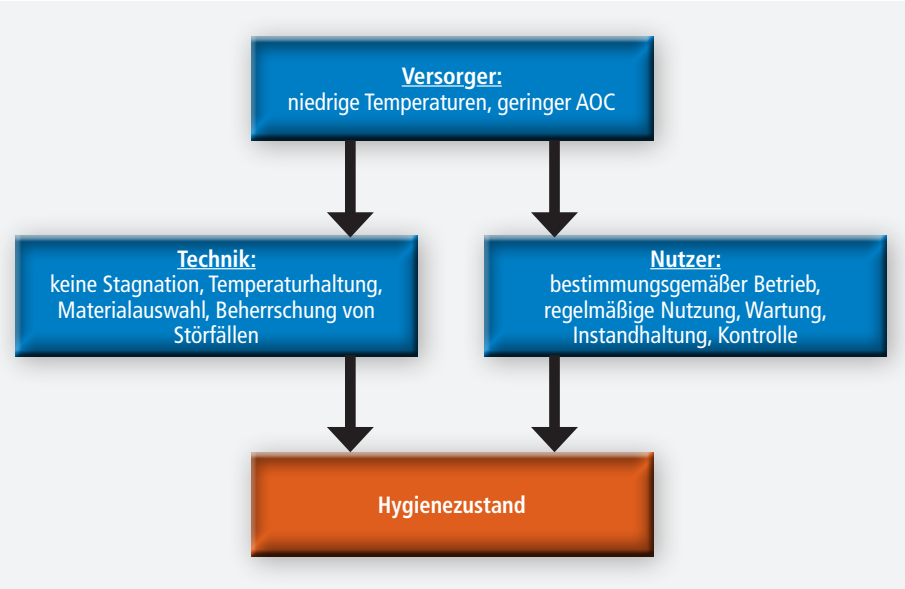

Abbildung 8: Maßnahmenkaskade zum Erreichen eines optimalen Hygienezustandes

Die Erreichung dieses Optimalzustandes wird durch das Nutzerverhalten möglicherweise erschwert oder zu Nichte gemacht. Deswegen muss durch stringente Einbeziehung der Nutzer und durch Implementierung innovativer Konstruktions- und Betriebskonzepte sichergestellt werden, dass ein regelmäßiger, möglichst täglicher Wasserwechsel gewährleistet wird. Präventive Wartung und Instandhaltung sind weitere wichtige Bausteine für einen störungsfreien Betrieb.[614]

Die Grundanforderungen an den technischen/betriebstechischen Zustand sind zusammengefasst:

// Prävention ist Reaktion deutlich überlegen

// keine Stagnationen, wo immer möglich
- Vermeidung von Leitungsteilen, in denen Trinkwasser stagniert, insbesondere in kritischen Temperaturbereichen
- Reduzierung des im System vorhandenen Wasservolumens
- keine Totleitungen

// regelmäßiger möglichst täglicher Wasseraustausch.

// Kalt- und Warmwassersysteme müssen durchgehend bis zur Entnahmearmatur thermisch entkoppelt werden

// Kaltwasser <25°C (besser <20°C)

// Warmwasser >55°C, Speicher 60°C

// keine Temperaturen im System im Bereich 30°C-42°C

// keine isolierten Maßnahmen, wie z.B. thermische Desinfektion

// die Bedingungen in der TW-Installation müssen eine möglichst hohe Konstanz aufweisen (z.B. Fließgeschwindigkeit, Temperatur)

// die Betriebsbedingungen müssen robust und fehlertolerant sein

// Systeme müssen auch bei nicht-bestimmungsgemäßen Betrieb einen guten Hygienezustand behalten

// Materialien in Kontakt mit Wasser dürfen Biofilmbildung nicht fördern

// Eingriffe ins System, z.B. bei Reparaturen, sind immer als Störfall zu betrachten

// Störfälle, z.B. auch Druckstöße, müssen so weit wie möglich vermieden werden und sind immer als kritische Situation zu bewerten. Sie müssen mit einem entsprechenden Störfallmanagement in einen WSP aufgenommen werden

Hygienisch/Mikrobiologische Grundanforderungen unter Berücksichtigung der Reaktionen des Mikrobioms sind:

// ganzheitliche Sichtweise bei Änderungen von Betriebsparametern
- Abkehr von Beurteilungen/Risikoanalysen, die nur auf eine Species, z.B. Legionellen ausgerichtet sind

// Beurteilung von Maßnahmen (Desinfektion) nur unter Würdigung der Reaktion des gesamten Mikrobioms (z.B. Einzeller, VBNC-Stadien, Biofilm). Vermeidung von „Kollateralschäden"

// Verwendung von Nachweismethoden, welche alle Lebensformen von Mikroorganismen erfassen und - optimal - Veränderungen im Mikrobiom sichtbar machen

// Entwicklung neuer, möglicherweise probiotischer, Konzepte zur gezielten Beeinflussung des Mikrobioms oder auch zur gezielten Kontrolle einzelner OPPPs

Sowohl die Entwicklung innovativer, noch ungewohnter präventiver technischer Konzepte als auch die Einführung neuer Denkweisen, das Mikrobiom als Partner und nicht als Gegner zu betrachten, könnten die Kontrollstrategien in den nächsten Jahrzehnten von Grund auf verändern. Die intelligente Nutzung ökologischer Interaktionen wie Konkurrenz, Antagonismus oder Parasit-Wirtsbeziehungen und ein möglicher probiotischer Ansatz eröffnen neue Wege und Optionen für eine gezielte Kontrolle fakultativer Krankheitserreger. Diese Vorgehensweise wäre absolut innovativ, präventiv und nachhaltig und sogar ökologisch wertvoll. Sie erfordert allerdings ein radikales Umdenken. Erhebliche psychologische Hürden müssen überwunden werden. Alle Kontrollmaßnahmen müssen präventiv und nicht als Reaktion auf einen Missstand durchgeführt werden. Die Implementierung eines Water Safety Plans zumindest in Risikobereichen wäre ein wichtiger Schritt in diese Richtung.

FUSSNOTEN

614 Fazit der Fortbildungstagung für Wasserfachleute vom 3.-5.1.2015 in Berlin. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/161115_bericht_wasserkurs2015.pdf

MILLIONEN KEIME
bilden sich in Trinkwasser, das nicht ausreichend genutzt wird.
ODER AUCH NICHT.
www.kemper-olpe.de/trinkwasserhygiene
KEMPER
FORTSCHRITT MACHEN

KEMPER

FORTSCHRITT MACHEN

Gebr. Kemper GmbH + Co. KG
Harkortstraße 5
D-57462 Olpe
www.kemper-olpe.de

Tel. +49 2761 891-0
Fax +49 2761 891-175
info@kemper-olpe.de

KEMP 8000 01/19