



Mikrobiologische Überwachung der Trinkwasserqualität

I. Feuerfeil, A. Hummel

Umweltbundesamt, Bad Elster

■ Einleitung

Krankheitserreger können über das Trinkwasser wie durch kein anderes Medium in großen Teilen der Bevölkerung verbreitet werden. Durch die Schaffung großer, zentraler Wasserversorgungen können gleichzeitig viele Menschen erkranken, wenn ein mit Krankheitserregern belastetes Trinkwasser verteilt wird. Daher sind Trinkwasserepidemien seit alters her gefürchtet.

► Tab. 1 zeigt eine Auswahl trinkwasserbedingter Epidemien in den Jahren 1850 bis 1950, deren Ursachen vorwiegend Cholera- und Typhuserreger waren, die über unzureichend aufbereitetes Trinkwasser verteilt worden waren [1].

Mit dem Erkennen der Ursachen der Epidemien vor mehr als 100 Jahren setzte auch eine gezielte Bekämpfung ein. Vor allem durch die bahnbrechenden Arbeiten von Robert Koch wurden die wissenschaftlichen Grundlagen für eine wirksame Seuchenbekämpfung geschaffen. Nach der Entdeckung des Cholera-Erregers im Stuhl von Choleraerkrankten 1883 wurde der Erreger erstmals auch aus Wasserproben nachgewiesen. Während der Cholera-Epidemie 1893 war R. Koch ebenfalls mit der Aufklärung dieses Ausbruches beschäftigt. Aufgrund seiner Beobachtungen formulierte er seine – bis heute gültigen – hygienischen Anforderungen an die Trinkwasserversorgung »Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwässern durch Sandfiltration«.

Am 16. Juni 1906 veröffentlichte das kaiserliche Gesundheitsamt die »Anleitung für die Errichtung, den Bau und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen«. Damit wurde bereits vor über 100 Jahren ein Ordnungsrahmen für die Trinkwasserhygiene in Deutschland geschaffen, der nicht an Aktualität eingebüßt hat. In der dazu entwickelten Strategie spielte bereits die bakteriologische Untersuchung des Trinkwassers eine hervorragende Rolle.

Trinkwasser – Überwachung – Mikrobiologie

internistische praxis 56, 1–11 (2016)
Mediengruppe Oberfranken –
Fachverlage GmbH & Co. KG

In ► Tab. 2 sind weitere trinkwasserbedingte Epidemien ab 1955 aufgelistet. Hier wird deutlich, dass sich mit der Weiterentwicklung der

Jahr	Ort	Krankheit (Erreger)	Zahl der Erkrankten	Zahl der Todesfälle
1854	London	Cholera		616
1885/88	Hamburg	Typhus	15.804	1.214
1888	Chemnitz	Typhus	2.516	
1889	Berlin	Typhus	632	
1891	Altona	Typhus	685	47
1892	Hamburg	Cholera	16.956	8.605
1894	Paris	Typhus	1.116	454
1897	Maidstone (Engl.)	Typhus	1.748	143
1900	Bochum	Typhus	ca. 500	43
1901	Gelsenkirchen	Typhus	ca. 3.200	ca. 350
1908	St. Petersburg	Cholera	ca. 9.000	ca. 4.000
1926	Hannover	Typhus	ca. 40.000	282
1928	Lyon (Frankreich)	Typhus	ca. 3.000	ca. 300
1944	Philadelphia (USA)	Hepatitis A	350	
1949	Waldbröl	Typhus	127	11

Tab. 1 | Auswahl trinkwasserbedingter Epidemien (1850–1950) aus [1]

mikrobiologischen Nachweistechnik das Spektrum der wasserübertragbaren Krankheitserreger wesentlich erweitert hat [1]. In den letzten Jahren wurde außerdem bekannt, dass es durch das »Medium« Trinkwasser – nicht nur durch orale Aufnahme, sondern auch bei Inhalation von Aerosolen und nach Hautkontakt – zu Erkrankungen kommen kann. ► Tab. 3 zeigt eine Zusammenstellung der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zu den Krankheitserregern und möglichen Übertragungswegen durch das Trinkwasser [2].

Um derartige Gesundheitsgefährdungen auszuschließen, wurden strenge Anforderungen an die Gewinnung, die Aufbereitung, die Verteilung und die Untersuchung des Trinkwassers festgelegt. Vor allem die hygienisch-mikrobiologische Untersuchung und Überwachung der Trinkwasserqualität wird deshalb mit dem Ziel durchgeführt, mögliche Gesundheitsgefahren zu erkennen und zu vermeiden.

■ Gesetzliche Anforderungen zur hygienisch-mikrobiologischen Überwachung der Trinkwasserqualität

Nach den Vorgaben der EG-Richtlinie [3], des Infektionsschutzgesetzes [4] und der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001) [5] darf das Trinkwasser Krankheitserreger nicht in Konzentrationen enthalten, welche die menschliche Gesundheit gefährden können. ► Tab. 4 zeigt die derzeit wichtigsten bekannten bakteriellen, viralen und parasitären Krankheitserreger, die über das Trinkwasser übertragen werden können. Auf diese Vielzahl von Krankheitserregern kann in der Routineüberwachung der Trinkwasserqualität nicht untersucht werden; es wäre zu aufwendig und zu teuer, außerdem fehlen oft noch entsprechende, hinreichend sichere Nachweisverfahren. Deshalb beruht die Praxis der Qualitätsabsicherung des Trinkwassers seit etwa 100 Jahren auf dem Nachweis bestimmter »Anzeige«- oder Indikatorpara-

Jahr	Ort	Krankheit (Erreger)	Zahl der Erkrankten	Zahl der Todesfälle
1955	Drolshagen	Typhus	92	
1955	Neu Dehli	Hepatitis A	28.745	73
1965	Riverside (Calif.)	Salmonellose	ca. 16.000	3
1969	Colorado (USA)	Giardiasis	123	
1976	Philadelphia (USA)	Legionellose	182	29
1978	Ismaning	Ruhr	2.450	
1980	Georgetown (USA)	u. a. Rota-Virus	ca. 8.000	
1980	Jena	Typhus	ca. 65	
1989	Swindon (Engl.)	Cryptosporidiosis	516	
1993	Milwaukee (USA)	Cryptosporidiosis	ca. 400.000	
2000	Neuwied (D)	Giardiasis	8	
2000	Walkerton (Kanada)	E. coli 0157:H7 (EHEC)	ca. 2.300	7
2010	Östersund (Schweden)	Cryptosporidiosis	ca. 27.000	

Tab. 2 | Auswahl trinkwasserbedingter Epidemien (1950–2010) aus [1]

meter, welche auf Verunreinigungen des Wassers durch Fäkalien und damit fäkal ausgeschiedenen Krankheitserregern von Mensch oder Tier hindeuten. Die regelmäßige Überprüfung der in der TrinkwV 2001 angegebenen Grenzwerte und Anforderungen für diese Indikatororganismen soll gewährleisten, dass das Trinkwasser eine mikrobiologisch einwandfreie Qualität hat.

Die hygienische Sicherheit des Trinkwassers wird in erster Linie durch die Verwendung von qualitativ gutem »Rohwasser« – möglichst Grundwasser aus tiefen Bodenschichten – gewährleistet, das durch Trinkwasserschutzgebiete gegen Kontaminationen geschützt wird. Wenn die Grundwasservorkommen nicht ausreichen, muss auf anderes Wasser, z. B. aus Trinkwassertalsperren oder aus Flüssen, zurückgegriffen werden. Wird solcherart Wasser verwendet, sind höhere Anforderungen an die Technologie der Wasseraufbereitung in den Wasserwerken erforderlich. Die mikrobiologische Überwachung des Trinkwassers gibt Auskunft darüber, ob diese Mechanismen – Schutzgebiete

und Aufbereitung – optimal funktionieren und zum Ergebnis regelgerechtes Trinkwasser führen.

Um in der EG und in Deutschland vergleichbare Untersuchungsergebnisse zu erhalten, wurden in der EG-Richtlinie [3] und in der TrinkwV 2001 [5] für die mikrobiologischen Parameter die Untersuchungsverfahren, die Untersuchungsvolumina, die Untersuchungshäufigkeit und die Stelle der Einhaltung der Parameterwerte verbindlich vorgeschrieben. Die Häufigkeit der Untersuchungen – häufige routinemäßige und seltenere umfassende – ist in der Anlage 4 der TrinkwV 2001 vorgegeben. Diese Untersuchungen sind Stichproben aus einem kontinuierlichen Prozess der Trinkwasserversorgung.

Nach den Vorgaben der TrinkwV 2001 werden mikrobiologische Untersuchungen der Überwachungsparameter durch die Wasserversorger selbst (als Eigenkontrolle) und durch das Gesundheitsamt (oder in dessen Auftrag) von Trinkwasseruntersuchungsstellen durchgeführt.

Orale Aufnahme, Trinken			Inhalation und Aspiration (Aerosole)	Kontakt (Baden)
↓			↓	↓
Gastrointestinal			Einatmen	Hautkontakt, Wunden, Augen, Schleimhäute
↓			↓	↓
Bakterien	Viren	Protozoen und Würmer	L. pneumophila Mycobacteria (nicht tuberkulös) Naegleria fowleri Diverse virale Infektionen	Acantham. spp. Aeromonas spp. Burkholderia pseudomallei Mycobacteria (nicht tuberkulös) Leptospira spp. P. aeruginosa Schistosoma mansoni
Camp. spp. E. coli Salm. spp. Shigella spp. Vibrio cholerae Yersinia spp.	Adenoviren Astroviren Enteroviren Hep. A virus Hep. E virus Noroviren Rotaviren Sapoviren	Cryptosp.parvum Dracunculus medinensis Entamoeba histolytica Giardia intestinalis Toxoplasma gondii		

Tab. 3 | Übertragungsmöglichkeiten für Krankheitserreger aus Wasser (WHO Guidelines for Drinking-Water, 3. edit., 2004) Microbiological Aspects [2]

Zusätzliche Untersuchungen aus besonderem Anlass (z. B. bei der Aufbereitung oder Verteilung, Störfall, Erkrankungen im Versorgungsgebiet) auf die Überwachungsparameter lt. TrinkwV 2001 und auf weitere Parameter, auch Krankheitserreger, sind auf Anweisung des Gesundheitsamtes durchzuführen (§ 20 TrinkwV 2001). Die Untersuchungen auf die mikrobiologischen Überwachungsparameter lt. TrinkwV 2001 dürfen nur von dafür qualifizierten (akkreditierten) Untersuchungsstellen durchgeführt werden. Diese Untersuchungsstellen werden von der zuständigen Behörde in jedem Bundesland in einer Liste bekanntgegeben (§ 15 Abs. 4 TrinkwV 2001).

Für die mikrobiologischen Untersuchungen müssen vorgeschriebene, vorzugsweise genormte Nachweisverfahren eingesetzt werden (Anlage 5, TrinkwV 2001), um vergleichbare Ergebnisse in den Untersuchungsstellen zu erzielen. Seit 2001 dürfen in Deutschland auch alternative Nachweisverfahren nach Prüfung der Gleichwertigkeit zu den Verfahren nach Anlage 5 TrinkwV

2001 eingesetzt werden (§ 15 Abs. 1 TrinkwV 2001). Diese Verfahren werden nach aufwendigen Vergleichstests [6] durch das Umweltbundesamt (UBA, [7]) auf der UBA Website bekanntgegeben.

Werden mikrobiologische Untersuchungen auf Krankheitserreger aus besonderem Anlass durch das Gesundheitsamt angeordnet, sind in der TrinkwV 2001 dafür keine Nachweisverfahren angegeben. Deshalb bleiben solcherart Untersuchungen in der Regel Speziallaboratorien (Landesuntersuchungsstellen, Universitäts- und Hygieneinstitute) vorbehalten, die Nachweisverfahren nach dem neuesten Kenntnisstand in der Literatur einsetzen. Da für diese Krankheitserreger auch kein Grenzwert in der TrinkwV 2001 angegeben ist, muss das Gesundheitsamt den vom Labor gelieferten Befund im Sinne einer Risikobetrachtung interpretieren und Maßnahmen zur Abhilfe anordnen. In diesen Fällen kann auf die »Leitlinien zu Maßnahmen im Fall nicht eingehaltener Grenzwerte und Anforderungen nach § 9 und § 10 TrinkwV 2001« des Bundesministeriums

Bakterien	Viren	Protozoen
Salmonella Typhi Salmonella Paratyphi Enteritis-Salmonellen Shigellen E. coli, pathogene Varianten Campylobacter Pseudomonas aeruginosa* Legionellen* atyp. Mykobakterien* Aermonas hydrophila*	Hepatitis A und E (Gelbsucht) Rotaviren Adenoviren Noroviren	Giardia lamblia Cryptosporidium parvum Toxoplasma gondii Acanthamoeba spp.

* können sich im Verteilernetz vermehren, kein fäkaler Ursprung

Tab. 4 | Für Mitteleuropa relevante Krankheitserreger, die über das Wasser übertragen werden können (vorwiegend Durchfall-Erreger)

für Gesundheit (BMG) und des UBA zurückgegriffen [8] oder ein entsprechendes Hygieneinstitut mit fachlicher Kompetenz zur Befundinterpretation und zur Beseitigung des Störfalls einbezogen werden.

■ Die mikrobiologischen Überwachungsparameter laut TrinkwV 2001

Als Kriterium für die mikrobiologische Qualität von Trinkwasser haben sich als »Indikatororganismen« die Keimzahlen fakultativ aerober, mesophiler Bakterien, E. coli und Enterokokken durchgesetzt. Das Auftreten pathogener Bakterien korreliert in der Regel mit dem Nachweis von E. coli und Enterokokken. Die Verwendung von Indikatorbakterien stößt an ihre Grenzen, wenn die genannten Korrelationen nicht gegeben sind, nicht-fäkale Quellen der Krankheitserreger bekannt sind (z. B. Legionellen) oder längeres Überleben der Krankheitserreger als das der Indikatoren möglich ist (z. B. Parasitendauerformen Giardiacysten und Cryptosporidienocysten nach Desinfektionsverfahren). Trotz dieser Einschränkungen wurde zur routinemäßigen mikrobiologischen Überwachung der Trinkwasserqualität das »Indikatorprinzip« beibehalten. Für chlorresistente Parasitendauerformen wurde durch die EG und auch in der TrinkwV 2001 als Indikatorparameter C. parvum eingeführt, dessen Sporen

so widerstandsfähig wie die Dauerformen von Gardien und Cryptosporidien sein sollen. Zur Vermeidung von Verunreinigungen des Trinkwassers mit Krankheitserregern, die nicht durch das Indikatorprinzip erfasst werden, wurden in der TrinkwV 2001 spezielle Vorschriften (z. B. § 5 Abs. 5 TrinkwV 2001) und UBA-Empfehlungen gegeben [9].

Im Falle der Legionellen wurde erstmals 2001 in der TrinkwV 2001 die direkte Untersuchung auf diese Krankheitserreger vorgeschrieben.

E. coli

E. coli ist als natürlicher Bestandteil der Darmflora vom Menschen und warmblütigen Tieren der wichtigste Indikator für fäkale Kontaminationen. Er kommt in der Darmflora in Konzentrationen von 10⁸–10⁹/g Fäzes vor. Deshalb ist der Nachweis von E. coli im Trinkwasser ein direkter Hinweis auf eine stattgefundene fäkale Kontamination. Die TrinkwV 2001 regelt daher den Parameter E. coli in der Anlage 1 (Teil 1) als wichtigsten mikrobiologischen Überwachungsparameter mit einem Grenzwert von 0/100 ml Trinkwasservolumen. Die Überschreitung des Grenzwertes, also ein Nachweis von E. coli in 100 ml Untersuchungsvolumen, lässt eine »Schädigung der

menschlichen Gesundheit insbesondere durch Krankheitserreger« besorgen (§ 4 Abs. 1 TrinkwV 2001). Daher ist eine Grenzwertüberschreitung nicht tolerierbar, fordert eine sofortige Meldung an das Gesundheitsamt und die Einleitung sofortiger Abhilfemaßnahmen nach § 9 TrinkwV 2001 (z. B. Abkochempfung des Trinkwassers, [8]).

E. coli ist seitens der Wasserversorger (§ 14 TrinkwV 2001) und des Gesundheitsamtes (§ 19 TrinkwV 2001) im Rahmen der routinemäßigen Untersuchungen des Trinkwassers in Abhängigkeit von der abgegebenen Wassermenge gemäß Anlage 4 TrinkwV 2001 zu überwachen. Zum Nachweis für *E. coli* gibt es ein genormtes Referenzverfahren (Anlage 5 TrinkwV 2001), DIN EN ISO 9308-1 – ein Membranfiltrationsverfahren – und nach UBA-Liste ein alternatives Nachweisverfahren durch Flüssiganreicherung (DIN EN ISO 9308-2, Colilert®-18) [7].

Enterokokken

Enterokokken können nicht nur aus dem Darm von Menschen und von Tieren stammen, sondern auch von Pflanzen oder Pflanzenteilen. Als Indikator für fäkale Belastung werden die sog. intestinalen Enterokokken, im wesentlichen die 4 Arten *E. avium*, *E. durans*, *E. faecalis* und *E. faecium*, zur Überwachung der Trinkwasserqualität mit einem entsprechenden Nachweisverfahren (DIN EN ISO 7899-2) untersucht. Als alternative Nachweismethoden wurden 2 weitere Verfahren (Chromocult®-Enterokokken-Agar, Enterolert®-DW) vom UBA zugelassen [7].

Beim Menschen finden sich vor allem *E. faecalis* und *E. faecium* als sog. Kommensalen im Darm, in der Mundhöhle und der Vagina. Die Anzahl intestinaler Enterokokken im menschlichen Fäzes ist in der Regel geringer als die Anzahl von *E. coli*. Enterokokken sind durch ihren Zellwandaufbau widerstandsfähiger gegen chemische Desinfektionsmittel als *E. coli* und können auch länger in der Umwelt überleben. Damit ist der Nachweis von Enterokokken auch ein möglicher Hinweis auf eine länger zurückliegende fäkale Kontamination.

Enterokokken sind als mikrobiologische Überwachungsparameter mit einem Grenzwert von 0/100 ml in der Anlage 1 der TrinkwV 2001 angegeben. Ihre Bestimmung hat für die mikrobiologische Überwachung im Rahmen der »umfassenden« Untersuchungen (Anlage 4 TrinkwV 2001) zu erfolgen. Damit wird auf Enterokokken seltener untersucht als auf *E. coli*. Beim Nachweis von Enterokokken in 100 ml Trinkwasserprobe ist der Grenzwert überschritten und eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch das Trinkwasser nicht auszuschließen. Eine sofortige Meldung an das Gesundheitsamt hat zu erfolgen. Nach § 9 TrinkwV 2001 sind sofortige Maßnahmen zur Abhilfe einzuleiten. Diese Maßnahmen sind genauso streng wie bei Grenzwertüberschreitungen für *E. coli* [8].

Coliforme Bakterien

Coliforme Bakterien sind eine physiologische Gruppe innerhalb der Enterobacteriaceae. Zu den coliformen Bakterien zählen außer der Gattung *Escherichia* vor allem die Gattungen *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* und *Serratia*. Je nach verwendeter Definition bzw. eingesetzter Nachweismethode (DIN EN ISO 9308-1 oder DIN EN ISO 9308-2) werden verschiedene Gattungen bzw. Arten neben *E. coli* mehr oder weniger vollständig erfasst. Dabei ist es möglich, dass vermehrt auch sog. Umweltcoliforme mit nicht fäkalem Ursprung bestimmt werden wie z. B. Vertreter der Gattungen *Rhanella* oder *Pantoea*. Damit ist der alleinige Nachweis coliformer Bakterien kein eindeutiger Beweis für eine fäkale Verunreinigung, aber immer ein Hinweis auf eine nicht ordnungsgemäße Aufbereitung oder Mängel im Trinkwasserverteilungssystem. Daher sind coliforme Bakterien auch analog zur EG-Richtlinie in der TrinkwV 2001 den sog. Indikatorparametern (§ 7 Anlage 3 TrinkwV 2001), Grenzwert 0/100 ml, zugeordnet worden.

Damit sind die Maßnahmen bei Grenzwertüberschreitung weniger strikt als bei *E. coli*. Ihr Auftreten wird nicht immer als eine direkte Gesundheitsgefahr für die Normalbevölkerung gesehen, sondern zeigt eine allgemeine Verschlechterung

der Wasserqualität an. Bei abwehrgeschwächten Personen sind beim Nachweis bestimmter coliformer Bakterien, wie z. B. Klebsiella, allerdings gesundheitliche Gefährdungen möglich. Deshalb muss das Gesundheitsamt eine Risikobetrachtung durchführen und ebenfalls Abhilfemaßnahmen anordnen. Weitere Hinweise sind der Empfehlung des UBA »Coliforme Bakterien im Trinkwasser« [10] zu entnehmen.

Koloniezahl

Die Koloniezahl hat sich als wichtige Kenngröße für die Herkunft, die Aufbereitung und die Verteilung von Trinkwasser erwiesen. Sie ist von Robert Koch [11] für die Charakterisierung der Leistung von Langsandsfiltern eingeführt worden. Er verweist darauf, dass bei guter Funktion eines Filters erfahrungsgemäß weniger als 100 entwicklungsfähige Mikroorganismen in 1 ml Wasserprobe nachzuweisen sind.

Der auch bis heute noch geltende Parameterwert ist von der Art des Nährbodens und der Bebrütungstemperatur abhängig. Die Koloniezahlbestimmung erfolgt nach verschiedenen Bebrütungstemperaturen (22 °C; 36 °C), um ein möglichst breites Spektrum an hygienisch relevanten Bakterien anzüchten zu können. Die nach EG-Richtlinie in die TrinkwV 2001 übernommene Anforderung für die Koloniezahlbestimmung »ohne anormale Veränderung« ist nicht praktikabel, vor allem wenn nur wenige Einzelwerte zur Auswertung vorliegen. In der Praxis wird deshalb die Koloniezahlbestimmung vorwiegend nach dem Nachweisverfahren der TrinkwV von 1990 und der dafür angegebenen Auswertung vorgenommen (Anlage 5 TrinkwV 2001).

Ein Nachweis von Krankheitserregern erfolgt durch die Koloniezahlbestimmung nicht, erhöhte Werte für Koloniezahlen (über 100 in 1 ml, über 20 in 1 ml desinfiziertem Trinkwasser bei 22 °C) haben keine direkte gesundheitliche Bedeutung. Jede Grenzwertüberschreitung ist aber ein Hinweis auf einen nicht korrekten Zustand des Wasserversorgungssystems und nicht dauerhaft tolerierbar.

Clostridium perfringens

Clostridium perfringens (*C. perfringens*) sind grampositive, stäbchenförmige, anaerob wachsende Bakterien der Gattung Clostridium. Sie produzieren Endosporen mit extremer Resistenz gegenüber Hitze, pH-Wert-Extremen, UV-Licht und Desinfektionsverfahren wie z. B. Chlorung oder Ozonung. Sie kommen im Darm von Mensch und Tier als normale Darmflora vor. Außerhalb des Darmes überleben die Bakterien sehr lange in Form ihrer resistenten Sporen (z. B. im Staub, Boden und Wasser). Da sie durch die bei der Trinkwasseraufbereitung angewendeten Desinfektionsverfahren nicht abgetötet werden, können sie nur durch Filtration entfernt werden. Insofern sind sie den Dauerformen von Giardien und Cryptosporidien vergleichbar und wurden deshalb sowohl in die EG-Richtlinie als auch in die TrinkwV 2001 als Indikatoren für desinfektionsmittelresistente Krankheitserreger aufgenommen (§ 7 Anlage 3 TrinkwV 2001). Sie sind nur bei der Aufbereitung von Oberflächenwässern (aus Talsperren, Seen, Flüssen) zu bestimmen und dürfen in 100 ml nicht enthalten sein. Obwohl sie auch von der WHO ausdrücklich als Indikator für die Effizienz der Desinfektion und der Entfernung von Protozoendauerformen empfohlen werden, korreliert ihr Vorkommen im Rohwasser und der Umwelt nicht mit dem Vorkommen der bereits erwähnten Parasitendauerformen. Die Indikatorfunktion der *C. perfringens*-Sporen ist deshalb nicht unumstritten.

Trotzdem ist eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit beim Nachweis von *C. perfringens* wegen der Möglichkeit des Vorhandenseins von Cryptosporidien- und/oder Giardiadauerformen nicht auszuschließen. Aus diesem Grund muss bei einer Überschreitung des Grenzwertes immer sofort eine Ursachenforschung erfolgen. Das Gesundheitsamt hat abzuklären, unter welchen Bedingungen für welche Zeiträume eine Weiterführung der Wasserversorgung zuzulassen ist.

Legionellen

Legionellen können das grippeähnliche Pontiac-Fieber oder eine schwere Lungenentzündung

(Legionellose) hervorrufen. Alle Arten der Gattung *Legionella* gelten als humanpathogen. Sie kommen autochthon im Wasser in geringen Konzentrationen vor und vermehren sich bei für sie günstigen ökologischen Bedingungen in der Trinkwasserinstallation von Gebäuden im Temperaturbereich von etwa 25–55 °C.

Für Legionellen ist derzeit keine minimale Infektionsdosis bekannt. Ihre Übertragung erfolgt hauptsächlich durch Einatmen kontaminierter Aerosole. In der öffentlichen Diskussion um Erkrankungen, die über das Trinkwasser übertragen werden und auch zu Todesfällen führen können, wird Legionellen eine immer größere hygienische Bedeutung beigemessen. Deshalb enthält die TrinkwV 2001 eine Pflicht zur Untersuchung von Warmwasseranlagen in öffentlichen und gewerblich betriebenen Trinkwasserinstallationen (§ 14 Abs. 3 TrinkwV 2001).

Als gesetzliche Anforderung dürfen nicht mehr als 100 Kolonien in 100 ml Wasserprobe enthalten sein. Dieser Wert ist kein Grenzwert, sondern ein sog. »technischer Maßnahmewert«, der anzeigt, dass die Trinkwasserinstallation aufgrund technischer Mängel günstige Wachstumsbedingungen für Legionellen bereitet, die zu einer Gesundheitsgefährdung führen können. Diese Gefährdung ist durch Erkennen und Behebung der technischen Mängel vermeidbar [12, 13]. Deshalb ist bei Erreichen oder Überschreiten des technischen Maßnahmewertes eine Gefährdungsanalyse [14] einzuleiten, um insbesondere bei systemischer Kontamination schnell zu reagieren. Bei extrem hoher Kontamination (über 10.000 Bakterien/100 ml) ist eine direkte Gefahrenabwehr (Nutzungseinschränkung und Desinfektion) erforderlich. Insbesondere in Hochrisikobereichen mit Personen mit geschwächtem Immunsystem gelten strengere Anforderungen [15].

Aufgrund der technischen Bedingungen in der Trinkwasserinstallation ist die Probenahme besonders wichtig [16, 17]. Die Untersuchung der Wasserproben erfolgt auch hier gemäß § 15 Abs. 4 TrinkwV 2001 durch akkreditierte und von den zuständigen Landesbehörden gelistete Laboratorien. Die TrinkwV 2001 schreibt als

Untersuchungsmethode die Membranfiltration von 100 ml Wasserprobe (DIN EN ISO 11731-2 [18]) sowie einen Direktausstrich von zweimal 0,5 ml auf Spezialagar (ISO 11731 [19]) vor. Die Bewertung wird nach [16] vorgenommen. Da Legionellen sehr langsam wachsen, kann eine Probe erst nach 10 Tagen Bearbeitung bewertet werden. Um diese Zeit zu verkürzen, erfolgen derzeit verstärkt neue Methodenentwicklungen, vorzugsweise mit PCR-Verfahren [20].

Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa (*P. aeruginosa*) ist ein natürlicher Bewohner aquatischer Biotope und kann im Wasser in geringen Konzentrationen vorkommen. Aufgrund besonderer Eigenschaften wie der geringen Nährstoffansprüche, der breiten Temperaturtoleranz (*P. aeruginosa* kann zwischen 4 °C und 42 °C wachsen) und der Fähigkeit, Biofilme in wasserführenden Systemen auszubilden, kann *P. aeruginosa* nicht nur sehr lange in einem solcherart geschützten Milieu überleben, sondern sich dort auch (selbst unter extrem nährstoffarmen Bedingungen wie eben in Wassersystemen) vermehren.

P. aeruginosa kann über das Rohwasser unter ungünstigen Bedingungen, wenn z. B. die technischen Regeln bei Planung, Bau, Betrieb von Wasserversorgungsanlagen nicht eingehalten werden bzw. bei Störfällen, in das Trinkwassersystem und die Hausinstallation gelangen und dort u. U. auch zu systemischen Kontaminationen führen. Aber auch über kontaminierte Materialien insbesondere neu verlegte Rohrleitungssysteme kann *P. aeruginosa* in die Hausinstallation eingetragen werden.

P. aeruginosa ist ein opportunistischer Krankheitserreger, der insbesondere durch Kontakt mit verletzter Haut bzw. Schleimhaut sowohl bei gesunden als auch bei prädisponierten Personen Infektionen hervorrufen kann. Zu den durch *P. aeruginosa* verursachten Infektionen bei gesunden Personen gehören beispielsweise Ohrinfektionen wie Otitis externa, vor allem bei Kleinkindern, und Hautinfektionen. Bei prädis-

ponierten Personen wie z. B. Personen/Patienten mit zystischer Fibrose, offenen Wunden, Verbrennungen oder bei Vorliegen von Kathetern kann *P. aeruginosa* schwere, auch nosokomiale Infektionen wie Pneumonien, Wundinfektionen, Harnwegsinfektionen und Sepsis verursachen. Werden zudem invasive Systeme mit Trinkwasser gespült, welches mit *P. aeruginosa* kontaminiert ist, kann eine direkte Ansiedlung auch in diesen Systemen erfolgen.

Die TrinkwV 2001 selbst sieht keine Untersuchung des Trinkwassers der öffentlichen Wasserversorgung, weder eine routinemäßige noch eine umfassende, auf *P. aeruginosa* vor. *P. aeruginosa* wird auch nicht durch die Routineüberwachungsparameter der TrinkwV 2001 indiziert. Allerdings kann das Gesundheitsamt eine gezielte Untersuchung auf *P. aeruginosa* gemäß § 20 Abs. 1. Pkt. 4 TrinkwV 2001 veranlassen. Für abgepacktes Trinkwasser gilt gemäß der TrinkwV 2001 Anlage 1 Teil 2 die Anforderung, dass *P. aeruginosa* in 250 ml nicht nachweisbar sein darf. Diese Forderung ergibt sich daraus, dass sich *P. aeruginosa* in Systemen wie eben in Behältern, die zudem längere Zeit lagern können, vermehren kann.

Die TrinkwV 2001 fordert in § 5 Abs. 1, dass im Wasser für den menschlichen Gebrauch Krankheitserreger in gesundheitsgefährdenden Konzentrationen nicht enthalten sein dürfen. Da *P. aeruginosa* ein opportunistischer Krankheitserreger ist, gilt diese Anforderung entsprechend. Beim Nachweis von *P. aeruginosa* im Trinkwasser ist eine Gefährdung für die Gesundheit vor allem für Personen mit prädisponierenden Faktoren zu besorgen. Dies betrifft vor allem solche Personen, die medizinisch versorgt und betreut werden und die aufgrund ihres Immunstatus besonders gefährdet sind, wie Kleinstkinder und Personen in Pflege- und Altenheimen. Daher sollte Trinkwasser in öffentlichen Einrichtungen wie beispielsweise in Krankenhäusern, Pflegeeinrichtungen, Einrichtungen für ambulantes Operieren, Entbindungseinrichtungen und Kinderkrippen gemäß einer Empfehlung des UBA auf *P. aeruginosa* untersucht werden [21]. *P. aeruginosa* sollte dabei in 100 ml Wasserpro-

be nicht nachweisbar sein. Wird *P. aeruginosa* nachgewiesen, sind Maßnahmen zur Sanierung erforderlich. Handlungsempfehlungen sind in den Leitlinien zu den §§ 9 und 10 der TrinkwV 2001 enthalten [8].

■ Zukünftige Anforderungen und Ausblick

Am 14.07.2015 wurde auf der UBA Website der Bericht an die EU über die Qualität des Trinkwassers aus zentralen Versorgungsanlagen veröffentlicht [22]. Dabei zeigt sich, dass für das Trinkwasser größerer Trinkwasserversorger (Versorgung von mehr als 5.000 Einwohnern, das sind mehr als 90% der Bevölkerung) eine gute bis sehr gute Qualität nachgewiesen werden konnte. Mehr als 100.000 Messungen in den Jahren 2011–2013 ergaben, dass alle mikrobiologischen (und chemischen) Qualitätsparameter zu mehr als 99% eingehalten wurden.

Mikrobiologische Grenzwertüberschreitungen gab es für die coliformen Bakterien. Im Berichtsjahr 2013 wurden in 0,7% der im Wasserwerk und im Rohrnetz genommenen Proben coliforme Bakterien gefunden, am »Zapfhahn« der Verbraucher waren noch 0,1% aller Proben zu beanstanden. Bei coliformen Bakterien handelt es sich, wie schon beschrieben, um Indikatorbakterien, deren Auftreten im Trinkwasser nicht immer als direkte Gesundheitsgefahr zu deuten ist, oft handelte es sich um sporadische Überschreitungen, die bei weiterer Untersuchung nicht bestätigt wurden.

Insofern entspricht das Trinkwasser für ca. 90% der Bevölkerung im Falle der mikrobiologischen Qualität den hohen Anforderungen des Infektionsschutzgesetzes und der Trinkwasserverordnung. Stärker mikrobiologisch gefährdet sind kleine Wasserversorgungen und Einzelbrunnen (§ 3 TrinkwV 2001), über deren Trinkwasserqualität aufgrund der inhomogenen Datenlage eine zusammenfassende Übersicht derzeit fehlt.

Um hier mögliche mikrobiologische Risiken zu definieren, aber auch um im Falle großer Wasserversorgungen eine von der WHO geforderte

Sicherheit in Bezug auf umwelt- und desinfektionsmittelresistente Krankheitserreger einhalten zu können, gibt es neue Ansätze zur Risikoeinschätzung [23]. Prinzip dieser Herangehensweise ist eine Abkehr von der sog. »Endproduktkontrolle« des Trinkwassers am Ausgang des Wasserwerkes hin zur Erarbeitung und Etablierung von »water safety plans«. Im Rahmen dieser neuen Qualitätskontrolle soll über die Beurteilung des Einzugsgebietes der Wasserfassung (fäkale Einflüsse?), über quantitative mikrobiologische Rohwasseruntersuchungen (auch auf Krankheitserreger) und über Ermittlung der Leistung der Wasseraufbereitung (Aufbereitungsziel) ein zu definierendes Gesundheitsziel festgelegt werden [23, 24]. Diese Prozessanalyse mit Risikoabschätzungen wird derzeit in Fachkreisen diskutiert, um sie gezielt in Zukunft in der Praxis einsetzen zu können. Damit wird in Zukunft auch eine noch bessere mikrobiologische Überwachung der Trinkwasserqualität möglich werden.

■ Zusammenfassung

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel für den Menschen. Es kann aber auch Ursache für Infektionen durch wasserübertragbare Krankheitserreger sein. Da das Trinkwasser von vielen Menschen verwendet wird, können im Falle von Kontaminationen mit pathogenen Mikroorganismen nicht nur vereinzelte Infektionen, sondern auch mehr oder weniger große Epidemien verursacht werden. Um die Gesundheit der Verbraucher zu schützen, d. h. Infektionen über das Trinkwasser zu verhindern, wurde in Deutschland bereits vor mehr als 100 Jahren die bakteriologische Untersuchung und Überwachung des Trinkwassers aus der öffentlichen Wasserversorgung von staatlicher Seite aus reguliert. Dabei wird auf sog. mikrobiologische Anzeige- bzw. Indikatorparameter untersucht, da es unmöglich ist, alle wasserassoziierten Krankheitserreger in die Routineuntersuchungen einzubeziehen.

Feuerpfeil I, Hummel A:
Microbiological surveillance
of drinking water quality

Summary: Drinking water is the most important food for humans. However, drinking water can also be the source of infections caused by water-borne pathogenic microorganisms. Occurrence of these microorganisms may not only cause single infections but also more or less great epidemics due to the volume of water consumed. For the protection of people's health the German government has provided the bacteriological investigation and surveillance of drinking water in public water distribution systems for more than 100 years to prevent infections. For this indicator organisms are used to detect and estimate the contamination level of drinking water.

Key words: Drinking water – surveillance – microbiology

Literatur

1. Schoenen D. Mikrobiologie des Trinkwassers. Oldenbourg 2011.
2. Guidelines for drinking-water quality, third edition, WHO 2004.
3. Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
4. Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz – IfSG), 2000.
5. Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001).
6. DIN EN ISO 17994 – Wasserbeschaffenheit – Anforderungen für den Vergleich der relativen Wiederfindung von Mikroorganismen durch zwei quantitative Verfahren (ISO 17994: 2014); Deutsche Fassung EN ISO 17994: 2014.
7. <http://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/rechtliche-grundlagen-empfehlungen-regelwerk/liste-der-alternativen-mikrobiologischen>
8. Leitlinien zum Vollzug der §§ 9 und 10 der Trinkwasserverordnung (TrinkwV 2001), 13. Februar 2013.
9. Empfehlung zur Vermeidung von Kontaminationen des Trinkwassers mit Parasiten – Empfehlung des Umweltbun-

desamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Umweltbundesamtes, Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2001; 44: 406–408.

10. Coliforme Bakterien im Trinkwasser – Empfehlung zur Risikoabschätzung und Maßnahmen bei systemischer Kontamination – Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit beim Umweltbundesamt, Bundesgesundheitsbl 2009; 52: 474–482.

11. Koch R. Wasserfiltration und Cholera. Z Hyg Infektionskrankheiten 1893; 14: 393–426.

12. DVGW Arbeitsblatt W 551: Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen, April 2004.

13. VDI-Richtlinie 6023: Hygienebewusste Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung von Trinkwasseranlagen, 1999.

14. Umweltbundesamt: Empfehlung für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse gemäß Trinkwasserverordnung, 14. Dezember 2012. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/empfehlungen_gefaehrungsanalyse_trinkvw.pdf

15. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit – Periodische Untersuchung auf Legionellen in zentralen Erwärmungsanlagen der Hausinstallation nach § 3 Nr. 2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2006; 49: 697–700.

16. Systemische Untersuchungen von Trinkwasser-Installationen auf Legionellen nach Trinkwasserverordnung. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission, 23. August 2012. <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/internet-legionellen-empfehlung.pdf>

17. DVGW twin Nr. 06: Durchführung der Probenahme zur Untersuchung des Trinkwassers auf Legionellen (ergänzende systemische Untersuchung von Trinkwasser-Installationen) November 2011.

18. DIN EN ISO 11731-2: Wasserbeschaffenheit – Nachweis und Zählung von Legionellen – Teil 2: Direktes Membranfiltrationsverfahren mit niedriger Bakterienzahl (ISO 11731-2: 2004); Deutsche Fassung EN ISO 11731-2: 2008.

19. ISO 11731: Water quality – Detection and enumeration of Legionella, 1998.

20. Stemmler F, Schaefer B, Feuerpfeil I. Comparison of methods for the quantification of Legionella in drinking water.

Poster auf der »ESGLI – Third annual scientific conference« am 16. und 17. September 2015 in London.

21. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit – Hygienisch-mikrobiologische Untersuchung im Kaltwasser von Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit im Sinne des § 18 Abs. 1 TrinkwV 2001 bereitgestellt wird. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2006; 49: 693 – 696.

22. http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt_und_gesundheit_02_2015_trinkwasserbericht_des_bmg.pdf

23. Empfehlung des Umweltbundesamtes: Vorgehen zur quantitativen Risikobewertung mikrobiologischer Befunde im Rohwasser sowie Konsequenzen für den Schutz des Einzugsgebietes und für die Wasseraufbereitung. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission. Bundesgesundheitsbl – Gesundheitsforsch – Gesundheitsschutz 2014; 57: 1224–1230.

24. Schmoll O, et al. Die Bewertung gesundheitlicher Risiken durch Krankheitserreger im Trinkwasser – Theoretische Maßstäbe und praktische Konsequenzen. Umweltmed Forsch Prax 2012; 17: 81–95.

Interessenkonflikt: Die Autorinnen erklären, dass bei der Erstellung des Beitrags keine Interessenkonflikte im Sinne der Empfehlungen des International Committee of Medical Journal Editors bestanden.



Dipl.-Biol. Annette Hummel
Fachgebiet II 3.5
Umweltbundesamt
Heinrich-Heine-Straße 12
08645 Bad Elster

annette.hummel@uba.de