

Krankheitserreger im (Trink-)Wasser?

Trotz allgemein guter Trinkwasserqualität in den meisten Industrieländern gab es, verursacht durch mikrobiell kontaminiertes Wasser, in den letzten Jahren weltweit immer wieder «Unfälle» mit zum Teil epidemieartigen Krankheitsauswirkungen. Zur Kontrolle der mikrobiologischen Qualität des Trinkwassers wird routinemässig die Anzahl so genannter Indikatororganismen bestimmt. Dazu gehören z.B. harmlose Enterobakterien, die zur normalen Darmflora des Menschen und bestimmter Säugetiere gehören. Für einige in den letzten Jahren vermehrt auftretende Krankheitserreger ist das derzeitige Indikatorkonzept jedoch unzureichend. Molekulare Techniken, die auf biochemischen, genetischen und immunologischen Prinzipien basieren, gewinnen deshalb zunehmend an Bedeutung. Sie erlauben den selektiven Nachweis bestimmter Pathogene und sind zudem oft sensitiver und schneller als herkömmliche Kontrollmethoden.

Mikroorganismen sind in jedem Wasser zu finden. Kritisch wird es, wenn Viren, Bakterien oder Protozoen mit humanpathogenem Potenzial in zu grosser Zahl auftreten [1]. Dies gilt nicht nur für Trinkwasser. Vielmehr ist die Verbreitung von mikrobiell bedingten Krankheiten auch durch den Verzehr roher Früchte, Gemüse und Salate, die bei der Gartenbewässerung oder beim Waschen mit belastetem Wasser in Kontakt kamen sowie über Bade- und Duschwasser möglich. Auch in der industriellen Aquakultur von Fischen, Crevetten und Muscheln muss deshalb mit pathogenfreiem Wasser gearbeitet werden.

Das Jahrhundert der Trinkwasserseuchen

Typisch für Krankheiten, die durch pathogenbelastetes Trinkwasser hervorgerufen werden, sind akute Symptome, die durch die Vermehrung der Krankheitserreger im Körper des Wirtes ausgelöst werden. Dagegen findet man ein meist chronisches Krankheitsbild, wenn chemikalienbelastetes Trinkwasser konsumiert wird. Im 19. Jahrhundert, dem «Jahrhundert der Trinkwasserseuchen», waren katastrophale Epidemien in Mitteleuropa durch kontaminiertes Trinkwasser an der Tagesordnung. Vor allem die grossen Städte Europas wurden wegen der schlechten Trinkwasserversorgung durch

Cholera, Typhus und Ruhr heimgesucht und bis zu 50% der erkrankten Menschen starben. Auch heute noch treten diese «klassischen» Trinkwasserseuchen in Industrieländern sporadisch, meist jedoch sehr lokal, auf. Einige neuere Fälle sind in Tab. 1 aufgeführt.

Generell ist die Trinkwasserqualität in der Schweiz jedoch sehr gut, so dass es kei-

nen Grund zu Besorgnis gibt. Obwohl über 60% des Trinkwassers unbehandelt verteilt werden, können die gesetzlichen Auflagen eingehalten werden. Allerdings ist die Dunkelziffer für Erkrankungen durch pathogenbelastetes Trinkwasser wahrscheinlich beachtlich. Eine verbesserte epidemiologische Datenerhebung, d.h. die Einführung einer Meldepflicht, wie sie beispielsweise in den USA, England, Australien oder Schweden besteht, wäre deshalb auch für die Schweiz wünschenswert.

Die Legionärskrankheit auf dem Vormarsch

In industrialisierten Ländern häufen sich Krankheitsfälle, die durch so genannte «neue» Krankheitserreger ausgelöst werden (Tab. 2). Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um zwar bekannte, aber bis heute nur selten als Krankheitserreger in Erscheinung getretene Mikroorganismen. Ein Beispiel ist die in letzter Zeit immer häufiger diagnostizierte Legionärskrankheit, die durch das Bakterium *Legionella pneumophila* hervorgerufen wird. Dieses Bakterium

Jahr	Ort	Ursache	Erkrankungs- und (Todesfälle)
2001	Pamplona, SP	<i>Legionella</i> -Infektion in Hospital	18 (3)
2001	Paris, F	<i>Legionella</i> -Infektion in Hospital	12 (6)
2001	Murcia, SP	<i>Legionella</i> -Erkrankungen in der Gemeinde	315 (2)
2000	Walkerton, CAN	Wolkenbruch schwemmt epathogene enterohämorrhagische <i>E. coli</i> (EHEC) aus Rindergülle in die Trinkwasserversorgung	2 000
1998	La Neuveville, CH	Pumpendefekt führte zu Abwasserrückstau und Überfließen in das Grundwasser, Erreger: <i>Shigella sonnei</i> , <i>Campylobacter jejuni</i>	1 600
1998	Ganze Schweiz	<i>Legionella</i> -Erkrankungen	78 (8)
1993	Milwaukee, USA	Defekte Filter in Trinkwasseraufbereitung führten zur Verbreitung der gegen Chlorierung sehr resistenten Oozyten von <i>Cryptosporidium parvum</i>	403 000
1979/80	Ismaning, DE	Verschmutzung einer Trinkwasserfassung durch defekte Abwasserleitung führte zur Ausbreitung bakterieller Ruhr (<i>Shigella</i> u.a.)	2 450
1963	Zermatt, CH	Einleitung von ungeklärtem Abwasser in den als Trinkwasserquelle genutzten Zmuttbach und gleichzeitiger Defekt der Chlorierungsanlage in Zermatt führte zur Verteilung von <i>Salmonella typhi</i>	437

Tab. 1: Beispiele für bedeutende Trinkwasserunfälle in industrialisierten Ländern.

Pathogen		Krankheitssymptome
Bakterien	Pathogene <i>Escherichia coli</i> (EHEC)	Dyspepsie, (schwerer) Durchfall
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Haut- und Ohrenentzündungen
	<i>Legionella pneumophila</i>	Lungenentzündungen, «Pontiac-Fieber»
	<i>Aeromonas hydrophila</i> u.a.	Durchfall, Wundentzündungen
	<i>Campylobacter jejuni</i> u.a.	Darminfektionen, Durchfall
	<i>Yersinia enterocolitica</i>	Enteritis, Darmentzündungen, evtl. Arthritis
	<i>Chlamydia</i>	Augenentzündungen
Viren	Caliciviren	grippale Infekte, Sommergrippe, Halsschmerzen
	Rotaviren	schwere Durchfälle v.a. bei Kindern
	Hepatitis A	infektiöse Gelbsucht
	Norwalkvirus (<i>small round virus</i>)	Darminfektionen v.a. Kinder im Winter
Protozoen und Parasiten	<i>Cryptosporidium parvum</i>	Durchfall, gefährlich für Kinder, ältere Personen und AIDS-Kranke
	<i>Pfisteria</i>	v.a. Fischkrankheiten
	<i>Giardia intestinalis</i>	Durchfälle

Tab. 2: «Neue» pathogene Mikroorganismen und Viren und durch sie ausgelöste Krankheitssymptome. Für viele hat man bis heute nur beschränkte Kenntnisse über Vorkommen, Verbreitungswege, Effekte und infektiöse Dosis.

und nahe verwandte Spezies sind in kleiner Zahl in jedem natürlichen Wasser vorhanden, können in Amöben und Biofilmen überleben, und sind harmlos, wenn sie durch Trinken in den menschlichen Körper gelangen. Gelangt das Bakterium jedoch durch Einatmung von Aerosolen in die menschliche Lunge, kann es dort schwere Lungenentzündungen hervorrufen (Tab. 2). Aerosole entstehen beispielsweise beim Duschen oder in klimatisierten Räumen. Eine Gefahr besteht jedoch nur, wenn die Warmwassersysteme bei zu tiefen Temperaturen (unter 55 °C) betrieben werden. Dann fühlen sich die Legionellen besonders wohl und vermehren sich. Vor allem in Spitälern hat das Auftreten der Legionärskrankheit in den letzten Jahren eine Reihe von Todesfällen gefordert. In der Schweiz treten laut Statistik des Bundesamts für Gesundheit im Jahr durchschnittlich 40–80 Fälle auf, wobei 10% der Erkrankten versterben [1, 2]. Für eine Vielzahl gastro-intestinaler Krankheitsfälle, welche durch (Trink-)Wasser hervorgerufen werden, sind vermutlich Viren als «neue Erreger» verantwortlich.

Das Indikatorkonzept: seine Stärken und Schwächen

Die routinemässig durchgeführte mikrobiologische Qualitätskontrolle von Trinkwasser (auch Mineral-, Bade- oder Gebrauchswässern) beruht nicht auf der Suche nach Krankheitserregern. Eine solche Analyse wäre viel zu aufwändig. Vielmehr geht man davon aus, dass die Krankheitserreger zusammen mit den harmlosen Darmbakterien von kranken Menschen oder Tieren über die Fäkalien ausgeschieden und mit dem Wasser verbreitet werden. Deshalb werden so genannte «Indikatororganismen» bestimmt, die eine mögliche Kontamination des Was-

sers mit menschlichen oder tierischen Fäkalien anzeigen. Gemäss Weltgesundheitsorganisation WHO sollte ein Indikatororganismus:

- vom Wirt ausgeschieden werden und stets präsent sein, wenn pathogene Organismen vorhanden sind,
- in grösserer Anzahl vorhanden sein als die Krankheitserreger,
- spezifisch in Fäkalien vorkommen,
- resistenter sein gegenüber Umweltstress und Desinfektion als die Erreger,
- selbst kein Krankheitserreger sein,
- mit einfachen Methoden leicht und schnell nachweis- und zählbar sein.

Aus dieser Liste wird klar, dass es den «idealen» Indikator für die unterschiedlichsten pathogenen Organismen nicht geben kann. Heute werden eine Reihe von verschiedenen Organismen weltweit als Standardindikatoren verwendet (Tab. 3). Vor allem die Suche nach dem Darmbakterium *Escherichia coli* oder nach Enterokokken sowie die Bestimmung der Gesamtkeimzahl von heterotrophen Bakterien (nicht als Indikator für Krankheitserreger, sondern als allgemeiner Indikator für den Eutrophierungsgrad des Wassers) sind weltweit Standard.

Daneben werden aber regional oder je nach Fall auch andere Bakterien oder Viren als Indikatororganismen nachgewiesen. Die Standards für die maximal tolerierbare Anzahl von *E. coli* und Enterokokken in Wasserproben liegen in der Schweiz bei 1 Keim pro 100 ml unbehandeltes natürliches Trinkwasser bzw. 5 Keimen pro 100 ml Quellwasser. Dass *E. coli* als Indikatorbakterium nicht immer seiner Rolle gerecht wird, hat sich im Milwaukee-Fall gezeigt (Tab. 1). Obwohl das Trinkwasser dort ausreichend chloriert war und bezüglich *E.-coli*-Keimen den gesetzlichen Richtlinien genügte, kam es zu einer Cryptosporidien-Epidemie. Sie ist auf das Auftreten von Oozyten (Dauerstadien) dieser Organismen zurückzuführen, die gegen Chlor-Desinfektion sehr resistent sind.

Traditionelle und molekulare Nachweismethoden

Speziell und problematisch bei der Analyse von Trinkwasser ist, dass eine kleine Menge von Organismen in einem grossen Wasservolumen aufgespürt werden muss. Eine Konzentrierung steht also meist am Anfang jeder Nachweismethode für Krankheitserreger im Trinkwasser. Bei den klassischen Plattierungsverfahren, die einfach durchzuführen und kostengünstig sind, werden vorhandene *E. coli* und Enterokokken Einzelzellen auf einer Agarplatte mit Selektivmedien zu sichtbaren Kolonien vermehrt. Diese Methode ist allerdings sehr zeitauf-

Indikatororganismus	% in Fäces von Säugern	Anzahl pro g Fäces	Vorteile	Nachteile
<i>Escherichia coli</i>	100	10 ⁷ –10 ⁹	leicht zählbar	weniger resistent als manche Pathogene
Enterokokken	100	10 ⁵ –10 ⁶	ubiquitär in Abwasser	Reservoirs in der Umwelt
<i>Clostridium perfringens</i>	13–35	10 ⁶ –10 ⁷	resistent in der Umwelt und gegenüber Desinfektion	aufwändig zu kultivieren da anaerobe Techniken
Coliphagen (F-spezifische)	6	10 ¹ –10 ²	evtl. als Modell für Enteroviren	nicht resistent in der Umwelt

Tab. 3: Heute verwendete Indikatororganismen, welche die Kontamination von (Trink-)Wasser mit Fäkalien und eventuell mikrobiellen Krankheitserregern anzeigen sollen.



P. Nadler, Küssnacht

Sicheres Trinkwasser – selbstverständlich?

wändig; bis zu 3 Arbeitstage sind notwendig, bevor eine Aussage gemacht werden kann. Von Nachteil ist ausserdem die vielfach mangelnde Selektivität dieser Testmethode.

Will man sich nicht auf den Nachweis von Indikatororganismen verlassen, sondern direkt einzelne pathogene Organismen nachweisen, wird es noch schwieriger. Denn für viele Pathogene existieren entweder keine brauchbaren Kultivierungsmethoden oder die vorhandenen Techniken sind extrem aufwändig und kostenintensiv. Deshalb sind seit einigen Jahren in zunehmendem Mass auch molekulare Methoden für die mikrobiologische Analyse von Trinkwasser im Gespräch [3]. Viele dieser Methoden wurden für die medizinische Diagnose von mikrobiell hervorgerufenen Krankheiten entwickelt und werden dort auch mit Erfolg angewendet. Leider können sie nicht unverändert übernommen werden, sondern müssen für ihren Einsatz in der Trinkwasseranalyse angepasst werden.

Beispielsweise ist es mit molekularen Verfahren möglich, Nukleinsäurefragmente nachzuweisen, die eine spezifische, für bestimmte Krankheitserreger typische, Sequenz aufweisen. Selbst wenn nur ein Keim und damit also nur ein Fragment mit der gewünschten Nukleinsäureabfolge in einer Wasserprobe vorhanden ist, kann es theoretisch mit Hilfe der so genannten Polymerase-Ketten-Reaktion (PCR = «polymerase chain reaction») selektiv vervielfältigt werden, bis eine detektierbare Zahl vorhanden ist. Andere Methoden beruhen auf der immunologischen Bestimmung von erregerspezifischen Zellkomponenten mit Hilfe von

Antikörpern (Übersicht in OECD-Bericht, in Vorbereitung). Eine Kopplung der Antikörper oder Nukleinsäurefragmente an Farbstoffe vereinfacht den Nachweis zusätzlich. Die molekularen Methoden sind damit den klassischen Methoden in punkto Selektivität und Zeitbedarf klar überlegen. Für einige der molekularen Methoden ist zudem eine automatisierte Probenverarbeitung denkbar. Molekulare Methoden werden in den nächsten Jahren vor allem in grundlegenden Untersuchungen, die das Verhalten von pathogenen Mikroorganismen und Viren im Verlauf von Epidemien erforschen, eine Rolle spielen. Dagegen erscheint ihre Anwendung als Routinemethoden erst in Einzelfällen möglich. Besonders für die Bestimmung von Viren erhofft man sich jedoch enorme Vorteile durch die neuen Methoden. Die heutigen Visionen zum Nachweis von pathogenen Keimen reichen von Teststäbchen bis zur online-Messung mit Hilfe antikörperbesetzter Glasfasern, die bei Pathogenkontakt Lichtsignale aussenden, die wiederum über Fiberoptics nachgewiesen werden können.

Holistischer Ansatz für einwandfreies und sicheres Trinkwasser

Die Entwicklung und Validierung von molekularen Methoden für die Trinkwasseranalyse und der Vergleich ihrer Aussagekraft mit klassischen Methoden wird heute weltweit vorangetrieben. Ausserdem erarbeitet eine gemeinsame Arbeitsgruppe der OECD und der WHO, in der Vertreter der EAWAG federführend sind, momentan ein Richtlinien-Dokument, das voraussichtlich noch

in diesem Jahr erscheint. Darin wird eine Übersicht über den heutigen Stand der Konzepte und Methoden der mikrobiellen Trinkwasseranalytik gegeben, es werden aber auch Überlegungen für die Zukunft vorgestellt. Die Experten sind sich einig, dass es nicht notwendig ist, völlig neue Konzepte zu entwickeln. Ihre Empfehlung ist vielmehr, einen holistischen Ansatz zu wählen. Das heisst, dass innerhalb des bestehenden Barrierenkonzeptes (Kläranlagen, Schutzzonen, Desinfektion bei der Wasseraufbereitung etc.) auch Informationen bezüglich Wasserressourcen, Klima, Hydrogeologie, Kontrolle der Wasseraufbereitung, epidemiologischer Erfassung von wasserbedingten Erkrankungen, Risikoabschätzungen etc. berücksichtigt werden müssen und miteinander zu verbinden sind.



Wolfgang Köster ist Mikrobiologe und Leiter der Arbeitsgruppe «Trinkwasserbiologie» in der Abteilung «Umweltmikrobiologie und molekulare Ökotoxikologie». Forschungsgebiete: Überlebensstrategien von Mikroorganismen in aquatischen Systemen, molekulare

Nachweismethoden, Transportprozesse in Mikroorganismen.

Koautoren: Thomas Egli und Annette Rust

[1] BAG, Abteilung Epidemiologie und Infektionskrankheiten (1999): Legionellose in der Schweiz von 1995 bis 1998. Bulletin Bundesamt für Gesundheit 36/99, S. 690–693.

[2] McFeters G.A. (ed.) (1990): Drinking water microbiology. Springer Verlag, New York, 502 S.

[3] Rose J.B., Grimes D.J. (2001): Reevaluation of microbial water quality. American Academy of Microbiology, 18 S. Bericht auch als pdf-Datei erhältlich unter: <http://www.asmsusa.org/acasrc/pdfs/water2.pdf>

Zusätzliche Informationen unter:

http://www.eawag.ch/publications_e/proceedings/oecd.html

<http://www.bag.admin.ch/infekt/publ/d/legio>

<http://www.asmsusa.org/pasrc/sdwa.htm>

<http://www.asmsusa.org/pasrc/coliform.htm>