

# Relevanz mikrobiologischer Parameter für die Wasserwiederverwendung

## Einführung

Jede Form einer geplanten Wasserwiederverwendung erfordert einen vorsorgenden Umgang mit dem Risiko, das von Krankheitserregern (Pathogenen) ausgeht, welche zum überwiegenden Teil fäkalienbütig sind. Dieses gesundheitliche Risiko hängt davon ab, in welchem Maße Menschen in Kontakt mit wiederverwendetem Wasser kommen, welches erhöhte Konzentrationen von Pathogenen beinhaltet. Diese ‚Exposition‘ lässt sich durch Maßnahmen im Umgang mit dem Wasser und den Produkten, für die es verwendet wird, sowie durch den Einsatz weitergehender Wasserbehandlungsverfahren reduzieren. Dabei ist zu berücksichtigen, um welche Pathogene es sich handelt und in welcher Häufigkeit diese auftreten, da dies das jeweilige Infektionsrisiko bestimmt. Für ein adäquates Management des mikrobiologischen Risikos hat die *World Health Organization (WHO)* eine Vielzahl von **Richtlinien und Empfehlungen** entwickelt, die häufig auch die Grundlage für gesetzliche Anforderungen und technische Regelwerke für eine Wasserwiederverwendung einzelner Länder bilden. Erwähnenswert ist hier das Konzept des ‚*Water Safety Planing*‘.

## Relevante Pathogene bei der Wasserwiederverwendung

Die Vielzahl von potentiellen Krankheitserregern, die in kommunalem Abwasser auftreten können, lassen sich in die folgenden Gruppen einteilen: Helminthen, Bakterien, Protozoen und Viren. Auch antibiotikaresistente Bakterien kommen in kommunalem Abwasser in erhöhten Konzentrationen vor. Je nach Nutzung des aufbereiteten Abwassers können diese relevant sein, ebenso wie bei der Einleitung von aufbereitetem Abwasser in einen Vorfluter. Die Bewertung der Risiken, die hiervon ausgeht, ist Gegenstand von laufenden Forschungsvorhaben. Typischerweise findet man die potentiellen Krankheitserreger in kommunalem Rohabwasser in Konzentrationsbereichen wie sie in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Dabei ist zu beachten, dass diese Konzentrationen durch Krankheitswellen in einem Siedlungsgebiet starken saisonalen Schwankungen unterliegen können. Da es routinemäßig weder möglich noch zielführend ist, Wasserproben auf die Anwesenheit aller Krankheitserreger zu untersuchen, und der Nachweis vieler Krankheitserreger zudem methodisch schwierig ist, hat sich in der Praxis der Nachweis von bakteriellen Indikatoren durchgesetzt, um den Grad der fäkalen Belastung zu erfassen. Hinsichtlich der Beurteilung des hygienischen Risikos ist nicht nur die Zahl der Krankheitserreger direkt nach erfolgter Aufbereitung wichtig, sondern auch das Wiederverkeimungspotential bzw. Infektionspotential. Dieses ist u.a. abhängig von der Zusammensetzung des behandelten Wasser, der Temperatur sowie der Zeit, die es vor der Nutzung gespeichert wird.

## Ableitung von Aufbereitungszielen

Angesichts des hohen infektiösen Potentials und des gesundheitlichen Risikos, das sich in Abhängigkeit der Exposition bei verschiedenen Anwendungen der Wasserwiederverwendung unterschiedlich darstellt, sind Konzentrationen von Pathogenen im aufbereiteten Wasser anzustreben, die eine Beeinträchtigung der öffentlichen Gesundheit nicht befürchten lassen. Eine Ableitung von Aufbereitungszielen zur Festlegung akzeptabler Konzentrationen orientiert sich daher an gesellschaftlich akzeptierten Restrisiken. Die WHO hat für Pathogene das Konzept der *disability-adjusted life years (DALYs)*



Abb. 1: Bakterien und Viren in Wasser

(© Thinkstock/iStockphoto, Ingram Publishing)

entwickelt, welches auch das Ausmaß der Erkrankung berücksichtigt (WHO, 2004). Als tolerierbares Risiko für Trinkwasser gilt nach der WHO eine Verkürzung der Lebenserwartung um ein Jahr pro 1 Million Einwohner. Aufbauend auf diesen Konzepten erfolgt die Ableitung konkreter Ziele für die Wasseraufbereitung. Aus diesen Risikoabschätzungen ergeben sich sehr niedrige tolerierbare Konzentrationen im Trinkwasser.

Der eindeutige Nachweis von niedrigsten Konzentrationen von Pathogenen in einem aufbereitetem Wasser ist nicht trivial und erfordert Probenahmen aus sehr großen Volumina und einen hohen messtechnischen Aufwand, was für eine regelmäßige Überwachung häufig nicht praktikabel ist. Daher haben sich zwei generelle Konzepte für den Umgang mit Pathogenen im Wasser durchgesetzt. Die erste Strategie fokussiert auf der Festlegung von Grenzwerten (beruhend auf Konzentrationen) für Indikatorbakterien. Die Konzentration wird absolut als ‚*most probable number (MPN)*‘ bezogen auf kleinere Volumina (d.h. MPN/100 mL oder 1 L) angegeben. Für die Bestimmung dieser Indikatoren gibt es eine Vielzahl standardisierter Verfahren (s. DIN). Da die Messung der Indikatoren in der Regel in größeren Abständen erfolgt, wird die Zuverlässigkeit einer Aufbereitungsanlage

Tab. 1: Konzentrationsbereiche ausgewählter Pathogene bzw. Indikatoren in Rohabwasser

(Asano et al., 2007; Hellmer et al., 2014)

Organismen	Parameter	Konzentration (pro Liter)
Helminthen	Eier	$10^0 - 10^3$
Bakterien	Gesamtcoliforme Bakterien	$10^7 - 10^8$
	Enterococci	$10^4 - 10^5$
	<i>Salmonella</i>	$10^2 - 10^4$
Protozoen	<i>Cryptosporidium</i>	$10^1 - 10^5$
	<i>Giardia</i>	$10^1 - 10^4$
Viren	Adenoviren	$10^6 - 10^7$
	Hepatitis A Viren	$10^2 - 10^4$
	Noroviren	$10^5 - 10^6$
	Rotaviren	$10^3 - 10^5$

zusätzlich über die Echtzeitmessung von Ersatzparametern abgebildet. Ein online-Ersatzparameter kann z.B. die Trübung im Ablauf eines Filters sein, für den ein entsprechender Schwellenwert einzuhalten ist. Nicht alle Pathogene werden durch diese Indikatoren erfasst.

Daher verfolgt ein alternatives Konzept die Etablierung von Mehrfachbarrieren (*multiple barriers*) für die logarithmische Entfernungsraten (sog. *log removal values (LRVs)*) eingehalten werden müssen. Ist das Ausgangsniveau von Pathogenen pro Liter beispielsweise für Viren im Rohwasser mit  $10^3$  bekannt und ein gesellschaftlich akzeptiertes Restrisiko mit  $10^{-4}$  definiert, müssen die notwendigen Mehrfachbarrieren in ihrer Gesamtheit eine Entfernung von wenigstens 7 LRVs abbilden. Das Einhalten dieser Entfernungsraten wird durch den störungsfreien Betrieb der Aufbereitungsstufen sichergestellt. Aufbereitungsverfahren, die als Barriere gegen Krankheitserreger wirksam sind, sind neben dem Belebtschlammverfahren unterschiedliche Filtrationsverfahren (Bodenfilter, Sandfilter, Ultrafiltration,

Umkehrosmose), UV-Bestrahlung, Ozonbehandlung sowie weitere chemische Verfahren, z.B. die Zugabe von Chlorverbindungen. Barrierewirkungen können aber auch durch Management-Maßnahmen erreicht werden, z.B. durch Zugangsbeschränkungen (Vermeidung einer direkten Exposition).

## Relevante gesetzliche/technische Anforderungen

Aufbauend auf den unterschiedlichen Bewertungskonzepten stellen sich die Anforderungen für die Entfernung pathogener Krankheitserreger unterschiedlich dar. Zunächst sind die jeweils nationalen Anforderungen maßgeblich, zur Orientierung bzw. wenn die Wasserwiederverwendung national nicht geregelt ist, sind internationale oder nationale Regelungen anderer Länder ebenfalls relevant. Tabelle 2 illustriert beispielhaft einige Anforderungen in verschiedenen Ländern für unterschiedliche Praktiken einer Wasserwiederverwendung.

**Tab. 2: Beispiele internationaler Anforderungen für Pathogene für unterschiedliche Wasserwiederverwendungspraktiken** (nähere Informationen unter [www.bmbf-wave.de](http://www.bmbf-wave.de))

Landwirtschaftliche Bewässerung	Urbane Nutzungen/ Landschaftsbewässerungen	Grundwasseranreicherung	Industrielle Wiederverwendung
<b>a. Nahrungsmittel für Rohverzehr</b>  <a href="#">California Title 22 2015</a> <a href="#">Europe, JRC 2014</a> <a href="#">ISO 2015</a>	<b>a. ohne Zugangsbeschränkung</b>  <a href="#">Australian 2006 Guidelines</a> <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a> <a href="#">DIN 19650 Hygienische Belange von Bewässerungswasser</a>	<b>a. via direkter Injektion in einen gesättigten Grundwasserleiter</b>  <a href="#">California Title 22 2015</a>	<b>a. Prozesswasser</b>  <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a>
<b>b. Nahrungsmittel, Verzehr nach Abkochen</b>  <a href="#">Europe, JRC 2014</a> <a href="#">California Title 22 2015</a>	<b>b. mit Zugangsbeschränkung</b>  <a href="#">Australian 2006 Guidelines</a> <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a>	<b>b. via Anreicherungsbecken mit Perkolation durch Bodenschichten Versickerungsbecken</b>  <a href="#">California Title 22 2015</a> <a href="#">Australian 2009 Guidelines</a> <a href="#">Israel Regulations</a>	<b>b. Kühlwasser</b>  <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a>
<b>c. Futtermittel</b>  <a href="#">WHO 2006 Guidelines</a>	<b>c. Toilettenspülung</b>  <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a>		<b>c. Kesselspeisewasser</b>  <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a>
<b>d. keine Nahrungsmittel/ Energiepflanzen</b>  <a href="#">EPA 2012 Guidelines</a> <a href="#">DIN 19650 Hygienische Belange von Bewässerungswasser</a>			

### Literaturverzeichnis:

Asano et al. (2007). *Water Reuse. Issues, Technologies, and Applications*. Metcalf & Eddy.

Hellmér, M., Paxéus, N., Magnus, L., Bergström, L., Norder, H. et al. (2014) Detection of Pathogenic Viruses in Sewage: Virus and Norovirus Outbreaks Provided Early Warnings of Hepatitis A. *Appl. Environ. Microbiol.* 80(21):6771.

U.S. EPA (2012). *Guidelines for Water Reuse*, Washington, D.C.

World Health Organization (2004) *Guidelines for Drinking Water Quality*. Geneva, Switzerland.

World Health Organization (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Vol. II, Wastewater Use in Agriculture*. Geneva, Switzerland.

### Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Cornel (TU Darmstadt), Dr.-Ing. Marius Mohr (Fraunhofer IGB), Dr. Andreas Nocker (IWW), Dr. Hans-Christoph Selinka (UBA), Dr. Engelbert Schramm (ISOE), Claudia Stange (TZW), Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes (TU München)

### Vorsitz WavE-Querschnittsthema „Risikomanagement“:

Prof. Dr.-Ing. Jörg E. Drewes, TU München, jdrewes@tum.de

### Herausgeber: Wissenschaftliches Begleitvorhaben „TransWavE“ (Förderkennzeichen: 02WAV1400)

Verantwortlich im Sinne des Presserechts: Dr. Christina Jungfer, DECHEMA e.V., christina.jungfer@dechema.de

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

