

Effizienz von Aufbereitungsverfahren zur Entfernung mikrobiologischer Belastungen

Dr.-Ing. Burkhard Wricke

Trinkwasseraufbereitung, Partikeleliminierung, Desinfektion, mikrobiologische Sicherheit

Maßgebliche Aufbereitungsstufen zur Entfernung mikrobiologischer Belastungen im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung sind alle partikelabtrennenden Stufen sowie die Desinfektion. Im Ergebnis einer Bewertung der Leistungsfähigkeit einzelner Verfahrensstufen wird gezeigt, dass durch das Zusammenwirken von partikelabtrennender Stufe und Desinfektion sowohl bei Bakterien und Viren als auch bei Parasiten Eliminierungsleistungen von > 4 log Stufen erreicht werden können. Der alleinige Einsatz einer Desinfektion ohne vorhergehende Partikeleliminierung bietet in der Regel aufgrund der unzureichenden Wirkung gegenüber Krankheitserregern, die in Aggregate eingebettet sind, nicht die ausreichende Sicherheit. Andererseits ist die Desinfektion eine wichtige Sicherheitsstufe, auch nach einer Membranfiltration.

Particle removal technologies, like flocculation in combination with filtration or membrane filtration, and disinfection are the relevant steps for microorganism removal in the drinking water treatment process. An assessment of the relevant treatment technologies shows, that for bacteria, viruses and parasites an removal rate of more than 4 log steps is possible, when using the combination of particle removal and disinfection. Generally disinfection without a pre-treatment is not safe enough because of the low inactivation efficiency against protected microorganism, which are incorporated in particles. On the other hand the disinfection is a necessary safety step also after membrane filtration.

1. Einleitung

Die mikrobiologische Sicherheit des Trinkwassers wird durch Gewässerschutz, Wasseraufbereitung und einen sicheren Netzbetrieb gewährleistet. Grundsätzlich gilt, dass Rohwasser soweit wie möglich vor fäkalen Kontaminationen geschützt werden muss, um das Risiko für eine Übertragung von Krankheitserregern mit dem Wasser so gering wie möglich zu halten. Liegt eine mikrobiologische Belastung des Rohwasser vor bzw. kann diese nicht ausgeschlossen werden, muss die Abgabe eines mikrobiologisch einwandfreien Trinkwassers durch die Aufbereitung gesichert werden.

Aufgrund des hohen Niveaus der Trinkwasserversorgung sind in Deutschland in den letzten 50 Jahren insgesamt nur wenige Fälle bekannt geworden, in denen es zu Erkrankungen gekommen ist, die auf eine Übertragung von Krankheitserregern mit dem Trinkwasser zurückzuführen waren [1]. Unabhängig davon ist die Thematik aktuell, nicht zuletzt, weil sich der Kenntnisstand über wasserassoziierte Krankheitserreger in den letzten Jahren deutlich erweitert hat. Zu den neu aufgetretenen oder neu erkannten Erregern zählen sowohl Parasiten (*Cryptosporidium* und *Giardia*) als auch Bak-

terien (enterohämorrhagische *E.coli* und *Camphylobacta*). In der aktuellen Diskussion spielt zudem die mögliche Gefährdung des Trinkwassers bei einer virologischen Kontamination des Rohwassers und damit die Frage nach der Effizienz und Sicherheit der Trinkwasseraufbereitung eine Rolle.

2. Aufbereitungsverfahren zur Entfernung mikrobiologischer Belastungen

Maßgebliche Aufbereitungsstufen zur Entfernung mikrobiologischer Belastungen im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung sind alle partikelabtrennenden Stufen sowie die Desinfektion. Die Bedeutung der Partikelabtrennung ergibt sich zum einen aus der Tatsache, dass es sich bei den Mikroorganismen um Partikel handelt. Eine Übersicht über die Größe der potenziellen Krankheitserreger gibt *Tabelle 1*. Zum ande-

Tabelle 1. Größenbereich wasserassoziiierter Krankheitserreger.

Mikroorganismen	Größenbereich (µm)
Entero- Viren	0,03 – 1,0
Coliforme Bakterien	1 – 4
<i>Cryptosporidium</i>	3 – 7
<i>Giardia</i>	7 – 15

Dr.-Ing. Burkhard Wricke, DVGW-Technologiezentrum Wasser Karlsruhe, Außenstelle Dresden, Scharfenberger Straße 152, D-01139 Dresden.

ren sind Krankheitserreger, die von Erkrankten mit den Faeces ausgeschieden werden, in Aggregate und Schleim eingebettet. Mit der Entfernung der Aggregate wird auch eine Eliminierung der Krankheitserreger erreicht. Die Wirkung der Desinfektion beruht auf der Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern. Dabei kommt es zu einer irreversiblen Schädigung von Bakterien und Parasiten bzw. Viren, so dass eine Vermehrung ausgeschlossen wird bzw. deren Infektiosität verloren geht.

2.1 Effizienz von partikelabtrennenden Stufen

Die wesentlichen Verfahrensstufen für die Partikelentfernung im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung sind die Schnellfiltration in Verbindung mit einer Flockung als Flockungs- oder Flockenfiltration sowie die Membranfiltration unter Einsatz von Mikro- bzw. Ultrafiltrationsmembranen. Daneben kommt auch die Langsamsandfiltration, in der Regel im Zusammenhang mit einer Grundwasseranreicherung, zum Einsatz. Eine wesentliche Rolle bei der Nutzung von Oberflächenwasser spielt zudem die Uferfiltration.

Sowohl bei der Grundwasseranreicherung als auch bei der Uferfiltration werden zum Teil sehr hohe Effekte beim Rückhalt von Mikroorganismen erreicht. In der Literatur werden in Abhängigkeit von der Belastung des Oberflächenwassers für Bakterien Eliminierungsraten von 2–3 log-Stufen [2; 3], für Viren von 4–5 log-Stufen [4] und für Protozoen von 2–4 log-Stufen [5] angegeben. Die Eliminierungsleistung wird dabei jedoch wesentlich von den hydrogeologischen Verhältnissen beeinflusst. Zudem können Hochwässer die Reinigungsleistung beeinträchtigen [2; 5]. Ob nach der Langsamsandfiltration bzw. der Bodenpassage eine weitere partikelabtrennende Stufe erforderlich ist, hängt damit von den örtlichen Gegebenheiten ab.

In einer optimierten Flockungs- bzw. Flockenfiltrationsanlage kann im Ablauf der Filter eine Trübung von < 0,1 FNU eingehalten werden [6]. Hinweise zur Optimierung von Anlagen mit dem Ziel einer möglichst weitgehenden Partikelabtrennung werden in [6] und [7] gegeben. Unter diesen Bedingungen gelingt mit der Partikelabtrennung auch eine weitgehende Entfernung von Krankheitserregern. Die Ergebnisse einer Auswertung von Gütemessungen zur Erfassung des Rückhaltes von Bakterien in acht Wasserwerken, in denen Oberflächenwasser unter Einsatz einer Flockungs- bzw. Flockenfiltration aufbereitet wird, zeigt *Bild 1*. In den Wasserwerken wurde sowohl der Rückhalt von *E.coli* und coliformen Bakterien als auch von koloniebildenden Mikroorganismen (KBE bei 20°C) ausgewertet [8]. Die Angabe von Eliminierungsleistungen ist nur für koloniebildende Mikroorganismen möglich, da *E.coli* und coliforme Bakterien den meisten Fällen nur in relativ niedrigen Konzentrationen vorlagen. *Bild 1* zeigt, dass die Eliminie-

rungsleistung für Bakterien zwischen 1 und 2 log-Stufen liegt. Für Partikel im für Parasiten relevanten Größenbereich von 2–20 µm sind nach *Stauder* und *Baldauf* [7] in optimierten Anlagen Eliminationsraten von 3–4 log-Stufen möglich. Da zwischen der Entfernung von Partikeln im Größenbereich von 4–7 µm und der Elimination von *Cryptosporidium* eine lineare Korrelation besteht [9], kann davon ausgegangen werden, dass die Eliminierungsleistung für Parasiten ebenfalls im Bereich von 3–4 log-Stufen liegt. Für eine Bewertung der Effektivität der Vireneliminierung liegen bisher keine ausreichenden Messergebnisse vor. In der Literatur werden Eliminierungsleistungen zwischen 1 und 3 log-Stufen genannt [10, 11]. Voraussetzung ist auch hier ein optimierter Anlagenbetrieb.

Die für die Partikelabtrennung eingesetzten Mikro- und Ultrafiltrationsmembrananlagen unterscheiden sich in den Porenweiten der eingesetzten Membranen. Die Porengröße in Mikrofiltrationsmembranen liegt bei ca. 0,2 µm, während Ultrafiltrationsmembranen eine Porengröße von ca. 0,01 µm aufweisen. Während sowohl Mikro- als auch Ultrafiltrationsmembrananlagen eine sehr hohe Eliminierungsleistung (> 4 log-Stufen) für den Rückhalt von Bakterien und Parasiten aufweisen, ist ein weitestgehend vollständiger Rückhalt von Viren mit > 4 log-Stufen aufgrund ihrer Größe nur in Ultrafiltrationsmembrananlagen zu erwarten. Zu beachten ist dabei jedoch, dass die Herstellerangaben zur Porengrößenverteilung oder Trennschärfe einer Membran bisher keinem standardisiertem Verfahren unterliegen, so dass diese derzeit nur bedingt für eine Bewertung der Effektivität des Rückhaltes von Viren herangezogen werden können. Für Mikrofiltrationsanlagen werden Eliminierungsleistungen von 0,5–3 log-Stufen angegeben [11].

Einen zusammenfassenden Überblick über die Eliminierungsleistung der partikelabtrennenden Aufbereitungsstufen bezüglich des Rückhaltes von Mikroorganismen gibt *Tabelle 2*.

Neben der Eliminierungsleistung ist für die Effizienz der einzelnen Verfahren auch die Sicherheit, d.h. das Risiko des

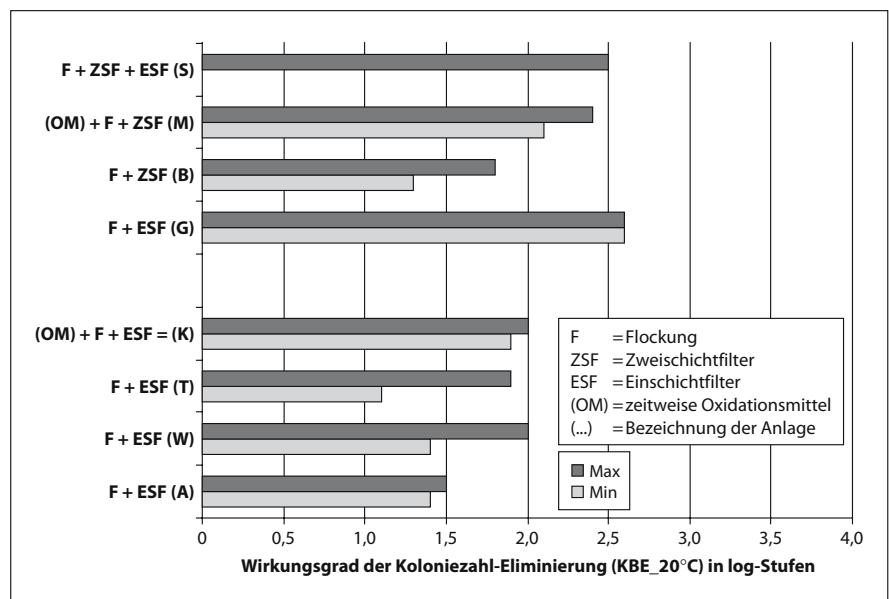


Bild 1. Effizienz der Filtration im Hinblick auf die Partikelabtrennung.

Tabelle 2. Eliminierungsleistung bei optimierten Betriebsbedingungen in log-Stufen bzw. % (aus Literaturangeben).

Verfahren	Bakterien		Parasiten		Viren	
	log-Stufen	%	log-Stufen	%	lo-Stufen	%
Flockungs- bzw. Flockenfiltration	1 – 2	90 – 99	3 – 4	99,9 – 99,99	1 – 3	90 – 99,9
Mikrofiltration	> 4	> 99,99	> 4	> 99,99	1 – 3	90 – 99,9
Ultrafiltration	> 4	> 99,99	> 4	> 99,99	> 4	> 99,99

Auftretens von Störungen von Bedeutung. In Flockungs- bzw. Flockenfiltrationsanlagen wird der Partikelrückhalt über die Filterbetttiefe gewährleistet. Risiken liegen insbesondere in einer möglichen Störung der Flockung sowie in einem Gütedurchbruch. Bei einer Überwachung der Anlage über Trübungs- bzw. Partikelmessungen können beide Ereignisse rechtzeitig erkannt und erforderliche Maßnahmen eingeleitet werden.

In Membrananlagen werden die Partikel und damit die Mikroorganismen direkt an der Filteroberfläche zurückgehalten. Zu einem Eintrag in das Reinwasser kommt es, wenn an den Membranen Brüche auftreten. Dabei gelangt ein Teilstrom des Rohwassers direkt auf die Permeatseite. Für eine Eliminierungsleistung von 4 log-Stufen darf dieser nichtbehandelte Anteil 0,01% nicht überschreiten. Eine Überwachung der Membrananlagen wird als regelmäßige Kontrolle der Membranintegrität in Form eines Druckhaltetests durchgeführt. In Verbindung mit Trübungsmessungen können so Schäden erkannt und behoben werden. Das Online-Verfahren zur direkten bzw. indirekten Überwachung des Partikelrückhaltes im Größenbereich von Viren sind derzeit jedoch nicht verfügbar.

2.2 Effizienz der Desinfektion

Als Desinfektionsmittel und Desinfektionsverfahren im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung sind nach Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung Chlor, Chlordioxid und Ozon sowie die UV-Bestrahlung zugelassen. Hinweise zu den Einsatzbereichen der einzelnen Desinfektionsmittel und -verfahren gibt DVGW-Arbeitsblatt W 290 [12].

Grundsätzlich gilt, dass eine ausreichende Wirkung der Desinfektion unabhängig vom Desinfektionsmittel bzw. -verfahren nur in einem weitestgehend trübstofffreien Wasser erreicht wird, da eine Abtötung oder Inaktivierung von Mikroorganismen nur bei unmittelbarer Einwirkung des Desinfektionsmittels möglich ist. An Trübstoffen angelagerte bzw. in Aggregaten und Schleim eingebettete Krankheitserreger werden durch die Desinfektionsmittel nicht erreicht. Gemäß Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren, gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung 2001, ist beim Einsatz der Verfahren für die Desinfektion von Oberflächenwasser oder von durch Oberflächenwasser beeinflusstem Wasser auf eine möglichst weitgehende Partikelabtrennung vor der Desinfektion zu achten. Im

Ablauf der partikelabtrennenden Stufe sind danach Trübungswerte im Bereich von 0,1–0,2 FNU anzustreben, wenn möglich zu unterschreiten. Eine einfache Übertragung der Werte als Maßstab für die Entscheidung, ob ein Rohwasser auch ohne vorhergehende Partikelabtrennung desinfiziert werden kann, ist nicht möglich. Die Trübungsmessung nach einer Aufbereitungs-

stufe dient, wie im Abschnitt 2.1 dargestellt, primär dem Nachweis der Wirksamkeit der Aufbereitung. Eine niedrige Trübung im Rohwasser ist dagegen noch kein Nachweis dafür, dass keine in Aggregaten bzw. Schleim eingebetteten Krankheitserreger vorliegen. Insbesondere bei einer hohen mikrobiologischen Belastung kann trotz einer niedrigen Trübung eine Partikelabtrennung vor der Desinfektion erforderlich sein.

Bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit der Desinfektion ist zu beachten, dass die Wirkung durch die Widerstandsfähigkeit der Mikroorganismen, die Art des Desinfektionsmittels bzw. -verfahrens sowie die Konzentration und Einwirkzeit des Desinfektionsmittels bestimmt wird. Daneben spielen je nach Mikroorganismus bzw. Desinfektionsmittel auch die Temperatur sowie der pH-Wert eine Rolle. Eine Übersicht über die Wirksamkeit der in Deutschland eingesetzten chemischen Desinfektionsmittel gegenüber Bakterien, Viren und Parasiten gibt *Tabelle 3*.

In *Tabelle 3* sind die in der WHO-Richtlinie von 2004 [13] angegebenen ct-Werte zusammengestellt, bei deren Einhaltung die Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern der genannten Gruppen um 2 log-Stufen, d.h. um 99%, erreicht wird, sofern diese in einer Suspension, d.h. nicht an Partikel gebunden, vorliegen. Bei dem ct-Wert handelt es sich um das Produkt von Konzentration und Einwirkzeit. Der Ansatz basiert auf der Reaktionskinetik der Desinfektionsmittel. In einem bestimmten Bereich kann bei einer höheren Desinfektionsmittelkonzentration und kürzeren Einwirkzeit der gleiche Effekt erreicht werden wie bei einer niedrigen Konzentration und längerer Einwirkzeit. Der ct-Wert kann damit für eine Bewertung der Desinfektionsleistung verschiedener Chemikalien herangezogen werden. Je höher der Wert ist, umso höhere Konzentrationen bzw. Einwirkzeiten sind erforderlich, um die erforderliche Abtötung bzw. Inaktivierung zu erreichen. In den einzelnen Gruppen (Viren, Bakterien und Parasiten) ist eine unterschiedliche Empfindlichkeit gegenüber den verschiedenen Desinfektionsmitteln gegeben. In der Tabelle sind jeweils die Werte für die Mikroorganismen bzw. Viren angegeben, welche die höchste Widerstandsfähigkeit besitzen.

Tabelle 3. c-t-Werte für eine Abtötung bzw. Inaktivierung mit einem Wirkungsgrad von 2 log-Stufen bzw. 99% (Angaben aus [13]).

Desinfektionsverfahren	Bakterien	Parasiten		Viren
		<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	
Chlor pH 7	0,08	40 – 230*	keine Abtötung	8 – 12*
Chlordioxid	0,13	7 – 42*	40	2,8 – 8,4*
Ozon	0,02	0,6 – 1,0*	3,3 – 40*	0,9

* abhängig von der Temperatur

Alle Desinfektionsmittel weisen gegenüber Bakterien eine hohe Wirkung auf. Unterschiede zeigen sich bezüglich der Wirkung gegenüber Viren. Hier wird für Ozon die höchste Wirksamkeit ausgewiesen. Die Unterschiede zwischen Chlor und Chlordioxid sind dagegen gering. Die Abtötung von Parasiten ist unter Einsatz praxisrelevanter Desinfektionsmittelzugabemengen nur beim Einsatz einer Ozonung möglich. Bei niedrigen Temperaturen ergeben sich jedoch auch hier Probleme, da der ct-Wert mit Abnahme der Temperatur deutlich ansteigt und damit sehr hohe Ozonzugabemengen erforderlich werden.

Eine Übersicht über die für die Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern erforderliche Bestrahlungsstärke beim Einsatz der UV-Desinfektion gibt *Tabelle 4*. Gemäß DVGW-Arbeitsblatt W 294 werden UV-Bestrahlungsanlagen für eine Bestrahlungsstärke von 400 J/m² ausgelegt. Dies bedeutet, dass die Abtötung von Bakterien sicher gewährleistet ist. Im Vergleich zum Einsatz von Chlor und Chlordioxid kann mit einer höheren Wirkung bezüglich der Abtötung von Parasiten gerechnet werden. Grenzen zeigen sich bei der Effektivität gegenüber einzelnen Viren. In der Regel können jedoch auch hier Wirkungsgrade von > 4-log-Stufen erreicht werden.

Bezüglich der Sicherheit der Desinfektionsverfahren ist von besonderer Bedeutung, dass die erforderlichen Wirkungsbedingungen ständig eingehalten werden. Bei den chemischen Desinfektionsmitteln erfolgt die Kontrolle über die Messung der Desinfektionsmittelkonzentration nach einer vorgegebenen Kontaktzeit. Dabei ist zu beachten, dass sowohl eine ordnungsgemäße Einmischung des Desinfektionsmittels in den gesamten Wasserstrom erfolgt als auch eine ausreichende Kontaktzeit gewährleistet ist. Kurzschlussströmungen in Reaktionsbehältern sind durch eine entsprechende Gestaltung zu verhindern. Die Einhaltung der geforderten Raumbestrahlung in UV-Anlagen wird über Sensoren überwacht. Die Anlagen müssen dabei für das jeweilige Wasser und den jeweiligen Durchsatz ausgelegt sein (siehe DVGW-Arbeitsblatt W 294-1 [14]).

3. Zusammenfassende Wertung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch den Einsatz von partikelabtrennenden Aufbereitungsstufen in Verbindung mit einer Desinfektion eine hohe Wirkung bezüglich der Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern erreicht wird, wenn diese entsprechend den Regeln der Technik ausgelegt und betrieben werden. Im Zusammenwirken zwischen partikelabtrennender Stufe und Desinfektion können sowohl bei Bakterien und Viren als auch bei Parasiten Eliminierungsleistungen von > 4 log-Stufen erreicht werden. Diese Eliminierungsleistung reicht in der Regel aus, um bei den in Deutschland üblichen Rohwasserverhältnissen die Abgabe eines mikrobiologisch einwandfreien Trinkwassers am Ausgang des Wasserwerkes zu gewährleisten. Bei höher belasteten Rohwässern bietet der Einsatz von Membranverfahren aufgrund des höheren Wirkungsgrades Vorteile im Vergleich zur Flockungs- bzw. Flockenfiltration. Eine höhere Wirksamkeit kann auch durch die Einbeziehung einer

Tabelle 4. Erforderliche Raumbestrahlung zur Abtötung bzw. Inaktivierung mit einem Wirkungsgrad von 2 bis 4 log-Stufen (99 bzw. 99,99%) (aus [14], berechnet auf der Grundlage von Daten aus verschiedenen Studien).

Mikroorganismen	erforderliche Raumbestrahlung (J/m ²)	
	für 2 log-Stufen	für 4 log-Stufen
<i>Adenovirus type 40</i>	1110	–
<i>Clostridium perfringens</i>	950	–
<i>Adenovirus type 2, 15, 40, 41</i>	830	1670
<i>Calicivirus canine</i>	210	410
<i>Rotavirus SA-11</i>	200	390
<i>Coxsackie virus B5</i>	170	340
<i>Poliovirus type 1</i>	150	300
<i>Hepatitis A</i>	110	220
<i>E. coli O 157</i>	90	190
<i>E. coli</i>	90	180
<i>Cryptosporidium</i> (USEPA)	60	–
<i>Giardia</i> (USEPA)	50	–
<i>Legionella pneumophila</i>	60	110
<i>Vibrio cholerae</i>	40	90

zusätzlichen Ozonung bzw. eine Erhöhung der Desinfektionsmitteldosis erreicht werden. Beim Einsatz der Ozonung ist jedoch die mögliche Bildung biologisch abbaubarer Stoffe zu beachten, die in einer nachgeschalteten Filterstufe eliminiert werden müssen, um eine Aufkeimung im Netz zu verhindern.

Der alleinige Einsatz einer Desinfektion ohne vorgeschaltete partikelabtrennende Stufe bietet bei auftretenden mikrobiologischen Belastungen in der Regel nicht die ausreichende Sicherheit. Maßgebend hierfür ist sowohl die unzureichende Wirkung gegenüber Parasiten als auch gegenüber in Aggregaten bzw. in Schleim eingebetteten anderen Krankheitserregern. Ob die Desinfektion im Einzelfall ausreichend ist, kann nur im Ergebnis einer Einzelfallprüfung unter Beachtung der mikrobiologischen Belastung und auf der Grundlage einer umfassenden Bewertung der Gesamtsituation im Einzugsgebiet entschieden werden.

Obwohl die Ultrafiltration bezüglich aller relevanten Krankheitserreger einen sehr hohen Wirkungsgrad aufweist, kann ihr Einsatz als alleinige Aufbereitungsstufe ohne Nachschaltung einer Desinfektion bei der Aufbereitung mikrobiologisch belasteter Rohwässer derzeit nicht empfohlen werden. Um die dafür notwendige Sicherheit zu erreichen, sind eindeutige Nachweise bezüglich des Rückhaltes von Viren erforderlich. Zudem muss eine gleichmäßige und gleichbleibende Qualität der Membranen sichergestellt und eine Online-Überwachung möglich sein.

Trinkwasseraufbereitungsanlagen, die für die Aufbereitung mikrobiologisch belasteter Rohwässer ausgelegt sind und entsprechend den technischen Regeln betrieben werden, sollten auch gegenüber neuen Krankheitserregern eine ausreichende Sicherheit bieten. Eine erste Bewertung ist möglich, wenn die Größe der Mikroorganismen und ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber den in der Trinkwasseraufbereitung eingesetzten Desinfektionsmitteln bekannt sind.

Literatur

- [1] *Schoenen, D.*: Die hygienisch-mikrobiologische Beurteilung von Trinkwasser. GWF-Wasser/Abwasser 137 (1996) Nr. 2, S. 72–81.
- [2] *Schubert, J.*: Experience with riverbed clogging along the Rhine River. In: *Hubbs, Stephen A.* (Ed.): Riverbank Filtration Hydrology. Impacts on System Capacity and Water Quality. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Effect of Riverbed Clogging on Water Quality and System Capacity, held in Bratislava, Slovak Republic, from 7 to 10 September 2004. Nato Science Series: IV: Earth and Environmental Sciences, Vol. 60, Springer Verlag (2005a).
- [3] *Preuß, G.* and *Schulte-Ebbert, U.*: Artificial Groundwater Recharge and Bank Filtration. In: *Rehm, H.-J.*; *Reed, G.* (Ed.): Biotechnology. Vol. 11c. Environmental Processes III. Wiley-VCH Weinheim (2000), S. 426–444.
- [4] *Havelaar, A. H.*; *van Olphen, M.* and *Schijven, J. F.*: Removal and inactivation of viruses by drinking water treatment processes under full scale conditions. Wat. Sci. Techn. 31(1995) No. 5–6, S. 55–62.
- [5] *Hütter, U.*; *Preuß, G.*; *Schöttler, U.* und *Zullei-Seibert, N.*: Entfernung von Parasiten durch künstliche Grundwasseranreicherung – Erfahrungen aus Forschung und Praxis. GWF Wasser/Abwasser 146 (2005) Nr. 9, S. 665–672.
- [6] DVGW-Wasser-Information Nr. 53: Hinweise zur Optimierung der Partikelabtrennung bei der Wasseraufbereitung. Eine Information des DVGW-Fachausschusses „Wasseraufbereitung“. Ausgabe 5/1998.
- [7] *Stauder, S.* und *Baldauf, G.*: Qualitätssicherung in der Wasseraufbereitung – Anforderungen entsprechend den allgemein anerkannten Regeln der Technik – aus verfahrenstechnischer Sicht. TZW-Schriftenreihe, Band 25, 2004, S. 23–41.
- [8] *Wricke, B.* und *Bornmann, K.*: Überwachung von Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung aus Oberflächenwässern und oberflächenwasserbeeinflussten Grundwässern. Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 12/00, 2003.
- [9] *Nieminski, E.* and *Ongerth, J.*: Removing Giardia and Cryptosporidium by conventional treatment and direct filtration. Journal AWWA 87, (1995), S. 96–106.
- [10] Anonymus: Surface water treatment rule. Federal Register 54 (1989), S. 27486–27541.
- [11] *Lipp, P.*: Removal of Particles from Water by Flocculation /Filtration (drinking water treatment). Workshop Removal of Viruses from Water by Flocculation/Filtration. Umweltbundesamt 23.11.2005.
- [12] DVGW-Technische Regel, Arbeitsblatt W 290: Trinkwasserdesinfektion – Einsatz- und Anforderungskriterien. Februar 2005, WVGW-Verlag, Bonn.
- [13] Guidelines for Drinking-water Quality. World Health Organization, Geneva, 2004.
- [14] *Hijnen, W. A. M.*; *Beerendonk, E. F.* and *Medema, G. J.*: Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo)cysts in water: A review. Water Research 40 (2006), S. 3–22.