

# Elimination von Viren

durch Filtrationsverfahren der Trinkwasseraufbereitung



Quelle: shrotsstudio – Fotolia.com

Die Beurteilung der Eliminationsleistung von Aufbereitungsprozessen in der Trinkwasseraufbereitung zum **Rückhalt kleinster Partikel** stand im Mittelpunkt eines vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und DVGW geförderten Verbundforschungsvorhabens (02 WT 0945). Der Schwerpunkt lag dabei auf den wichtigsten im Wasserwerk genutzten **partikelabtrennenden Verfahren**: der Flocken-/Flockungsfiltration und der Ultrafiltration.

von: Dr. Beate Hamsch, Dr. Pia Lipp, Monika Bösl, Dr. Katja Kreißel (DVGW-Technologiezentrum Wasser – TZW)

Paragraph 5, Absatz 1 der Trinkwasserverordnung 2001 [1] besagt, dass im Trinkwasser für den menschlichen Gebrauch Krankheitserreger nicht in Konzentrationen enthalten sein dürfen, die zu einer Schädigung der menschlichen Gesundheit führen können. Diese Anforderung lässt sich für Viren, die eine sehr niedrige Infektionsdosis aufweisen, nicht unbedingt durch die Abwesenheit von Fäkalindikatoren und auch nicht durch eine direkte Messung der Viren im Trinkwasser sicherstellen. Eine Risikoabschätzung hingegen sollte laut Weltgesundheitsorganisation WHO durch die Kenntnis der Ausgangskonzentration im Rohwasser und der Eliminationsleistung der Aufbereitungsverfahren möglich sein [2]. In früheren Forschungsvorhaben wurden zwar

Messungen zu Viren in der Wasseraufbereitung vorgenommen [3], allerdings waren die Konzentrationen bereits in den Rohwässern in der Regel so gering, dass keine Bewertung der Wirksamkeit der Aufbereitungsstufen möglich war. Daher wurde diese Fragestellung im Rahmen des Verbundvorhabens „Wirksamkeit der Elimination von Viren durch Filtrationsverfahren der Trinkwasseraufbereitung“ vom DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW) und dem Umweltbundesamt (UBA) bearbeitet. Während das UBA die Untersuchung der Rohwässer auf Viren und die Entfernung enteraler Viren innerhalb der Bodendpassage näher untersuchte, lag der Schwerpunkt der Arbeiten am TZW in der Beurteilung der Entfernungswirksamkeit der wichtigsten

im Wasserwerk genutzten partikelabtrennenden Stufen (Flocken-/Flockungsfiltration und Ultrafiltration) mittels Messungen im Labor sowie im halbertechnischen Maßstab unter realitätsnahen Bedingungen. Zur Abschätzung der Eliminationsleistungen wurden Bakteriophagen als Modellorganismen in hohen Konzentrationen dosiert. Diese ähneln in Bezug auf Oberflächeneigenschaften und Größe enteropathogenen Viren, wie z. B. Adeno- oder Noroviren.

## Wasserbeschaffenheit

Für die Untersuchungen zur Flockungs-/Flockungsfiltration als auch zur Ultrafiltration (UF) wurden zwei Trinkwässer (Wasser 0 und Wasser 1) und zwei Rohwässer (Wasser 2 und Wasser 3) aus Talsperren eingesetzt. Die beiden Trinkwässer wurden durch Enteisenung und Entmanganung aus Tiefgrundwässern aufbereitet. Die Wässer unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Gehalte an Neutralsalzen und organischen Wasserinhaltsstoffen. Ausgewählte Parameter zur Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit sind in **Tabelle 1** aufgeführt.

## Modellorganismen

Als Modellorganismen für die Dosierversuche wurden die Bakteriophagen phiX174 und MS2 ausgewählt, da sie aufgrund ihrer vergleichbaren Morphologie und Größe (ca. 25 nm) und ihrer guten Nachweisbarkeit häufig als Indikatoren für Viren verwendet werden. Im Rahmen des Projektes wurden beide Phagen über Kulturverfahren (DIN EN ISO 10705-1 [4], DIN EN ISO 10705-2 [5]) bzw. über quantitative PCR-Verfahren nachgewiesen. Für die Dosierversuche wurden jeweils hochkonzentrierte Stammlösungen der Phagen ( $10^{10}$  bzw.  $10^{11}$  PFU/ml) hergestellt.

## Verfahrenstechnik

Die Flockungsversuche im Labormaßstab wurden in einem Jartester (Flocculator SW6, Firma Stuart) in 1-Liter-

**Tabelle 1: Beschaffenheit der eingesetzten Wässer (Grundwässer: Wasser 0, Wasser 1, Talsperrenwässer: Wasser 2, Wasser 3).**

Parameter	Wasser 0	Wasser 1	Wasser 2	Wasser 3
pH	7,46 ± 0,11	7,15 ± 0,11	6,85 ± 0,17	7,48 ± 0,17
Leitfähigkeit 25 °C [mS/m]	121 ± 0,5	38,4 ± 0,2	4,9 ± 0,5	15,0 ± 0,2
Trübung [FNU]	0,07 ± 0,02	0,08 ± 0,02	0,27 ± 0,14	0,70 ± 0,28
DOC [mg/l]	2,20 ± 0,15	0,61 ± 0,13	1,57 ± 0,32	2,28 ± 0,13
SAK-254 [1/m]	4,1 ± 0,1	0,8 ± 0,1	6,8 ± 0,3	7,0 ± 0,2
SAK-436 [1/m]	< 0,1	< 0,1	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,1

Quelle: TZW

Bechergläsern durchgeführt. Für die halbertechnischen Untersuchungen standen an zwei Talsperren Versuchsanlagen zur Flockungsfiltration mit Durchsatzmengen von 6,5 m<sup>3</sup>/h bzw. 1 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung (Wasser 2 und 3). Darüber hinaus konnte die Bakteriophagenelimination durch Flockungsfiltration an einem Flusswasserwerk, bei dem das Rohwasser eine ausreichend hohe Bakteriophagenbelastung aufwies, auch großtechnisch überprüft werden.

Für die Ultrafiltration standen neben einer Laboranlage (ca. 0,3 l/h) sowohl eine halbertechnische (ca. 20 l/h) als auch eine großtechnische Membrananlage (ca. 2 m<sup>3</sup>/h) zur Verfügung, die mit Kapillarrohrmembranen bestückt waren. Bei den Labormodulen handel-

te es sich um Membranen aus modifiziertem Polyethersulfon mit einem vom Hersteller angegebenen nominalen Porendurchmesser von 20 nm und einer Membranfläche von 24 cm<sup>2</sup>. In die halbertechnische UF-Anlage wurden Module derselben Membran mit einer größeren Membranfläche (0,2 m<sup>2</sup>) eingesetzt. Die großtechnische Anlage bestand aus zwei miteinander kommunizierenden Membranmodulen mit einer Gesamtmembranfläche von 16 m<sup>2</sup>. Es handelte sich um hydrophilisierte Polyethersulfon-Membranen mit einer nominalen Porenweite von 20 nm. Die Anlage konnte nicht mit konstanter Flächenbelastung betrieben werden, sodass der Durchfluss während der Filtrationszyklen mit ansteigendem Transmembrandruck (TMP) leicht absank.

Kabeleinführungformteile  
druckwasserdichte Türen, Pass- und  
Ausbaustücke · Geländer · Leitern · Treppen

## Rohrdurchführungen & Abdichtungskonstruktionen

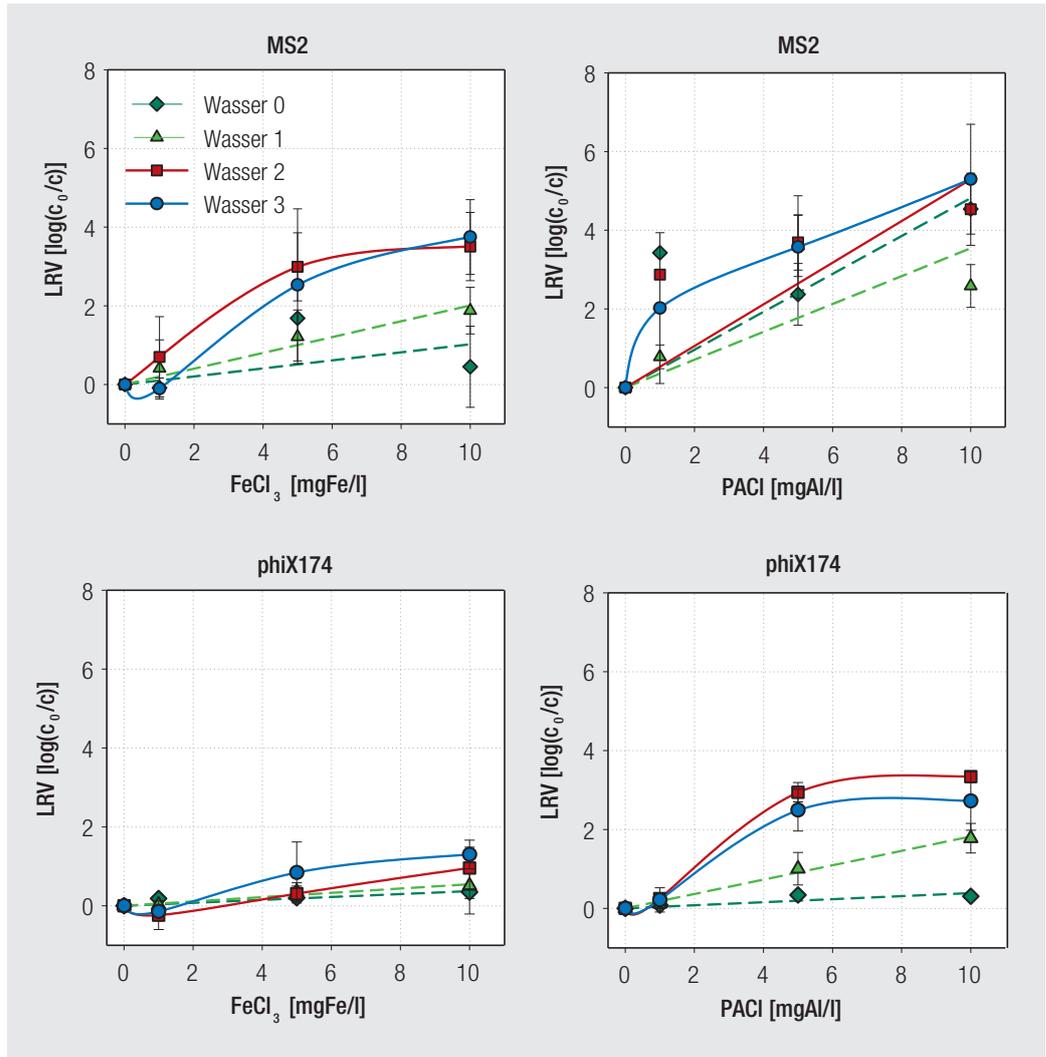
Standardmäßig oder speziell gefertigt.  
Als Stahlschweißkonstruktion oder aus Edelstahl.

# Walther Müller & Co. KG

Stormarnstraße 1-3 · 22844 Norderstedt  
e-mail: walther-mueller@t-online.de  
www.walther-mueller.de  
Tel.: 040/309889-00  
Fax: 040/309889-10

Zertifiziert nach:  
DIN EN ISO  
9001:2008  
Zert.-Nr.  
SEE 1239

**Abb. 1:** Rückhalt von MS2 und phiX174 durch Flockung mit 0 bis 10 mg (Al bzw. Fe)/PACl und FeCl<sub>3</sub> in vier verschiedenen Testwässern



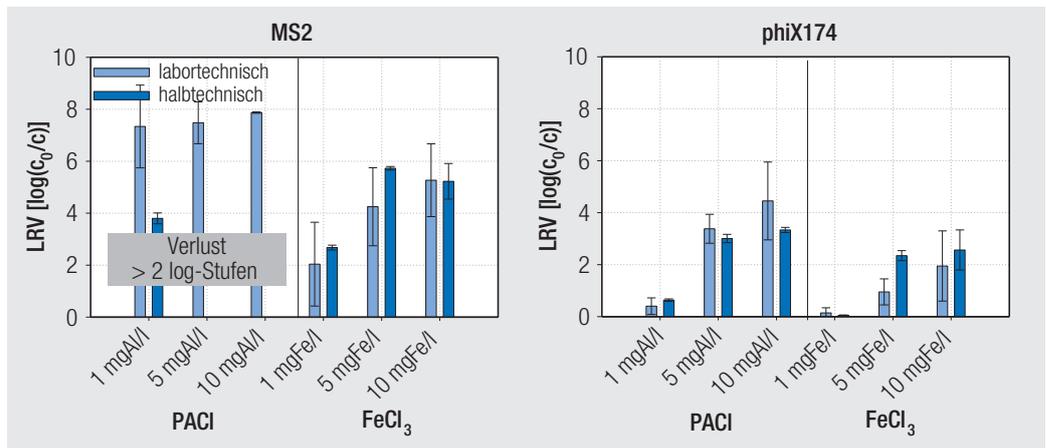
Quelle: TZW

**Versuchsdurchführung**

Für die Flockungsversuche wurden die jeweiligen Testwässer mit aufgereinigten Phagenstammmlösungen dotiert und entsprechend dem Flockungsprotokoll mit 0 bis 10 mg (Eisen/Fe bzw. Aluminium/Al) pro Liter versetzt. Es ergaben sich Konzentrationen von 10<sup>8</sup> PFU/ml für MS2 und 10<sup>7</sup> PFU/ml für phiX174. Das Flo-

ckungsprotokoll wurde angelehnt an das DVGW-Arbeitsblatt W 218 (DVGW 1998) zu Flockungstestverfahren (1 min 250 rpm, 5 min 50 rpm, 10 min 25 rpm, 30 min Sedimentation (0 rpm)) [6]. Während der Versuche wurde jeweils eine pH-Wert-Korrektur mit Salzsäure und Natronlauge durchgeführt, um die in der Praxis typischen Flockungs-pH-Werte von pH 6,5 für

**Abb. 2:** Vergleich von halbtechnischen Versuchen und Laborversuchen zur Flockung mit Wasser 2, Rückhalt von MS2 und phiX174



Quelle: TZW

Eisen(III)-Chlorid (FeCl<sub>3</sub>) und pH 6,7 für Polyaluminiumchlorid (PACl) einzuhalten. Nach der Sedimentationsphase wurde der Überstand entnommen, über einen 0,45 µm-Membranfilter filtriert und analysiert. Mit dieser Vorgehensweise kann ein gut eingefahrener Schnellsandfilter zur Flockenabtrennung simuliert werden.

Bei der Ultrafiltration wurden sowohl an der Laboranlage als auch an der halbtechnischen UF-Anlage Filtrationsintervalle von jeweils 58 Minuten eingestellt und Versuche mit einer Flächenbelastung von 80 l/m<sup>2</sup>/h und 120 l/m<sup>2</sup>/h durchgeführt. Die Versuchsdauer variierte zwischen 3 und 8 Stunden. Die Versuche an der großtechnischen UF-Anlage wurden über 8 Stunden bei einer anfänglichen Flächenbelastung von 80 und 120 l/m<sup>2</sup>/h mit Wasser 1 (aufbereitetes Grundwasser) sowie Wasser 2 und Wasser 3 betrieben.

Der Rückhalt (log removal value – LRV) wurde gemäß der Gleichung berechnet:

$$LRV = -\log_{10}\left(\frac{c}{c_0}\right) = \log_{10}\left(\frac{c_0}{c}\right)$$

c Phagenkonzentration im Filtrat  
c<sub>0</sub> Dosierte Phagenkonzentration

### Virenrückhalt durch Flockungs-/Flockenfiltration

Die Rückhaltewerte, die sich für MS2 und phiX174 ergaben, sind in **Abbildung 1** dargestellt. Da sich gezeigt hatte, dass MS2 durch PACl inaktiviert wird [7], wurden für diesen Vergleich nur die Messungen mittels qPCR aufgeführt.

Es ist zu erkennen, dass sich die Rückhalte in den aufbereiteten Grundwässern und den Talsperrenrohwassern deutlich unterscheiden: In den Talsperrenrohwassern wurden beide Phagenarten besser zurückgehalten als in den aufbereiteten Grundwässern. Für MS2 ergab sich mit FeCl<sub>3</sub> ein maximaler Rückhalt von 3,5 ± 0,9 log-Stufen in Wasser 2, bzw. 3,8 ± 1,4 log-Stufen für Wasser 3, während in den aufbereiteten Grundwässern, Wasser 0 und Wasser 1, nur Rückhalte von 0,5 ± 1,0 und 1,9 ± 0,6 log-Stufen gemessen wurden. Die Darstellungen zeigen außerdem, dass in der Regel bei diesen Versuchen jeweils MS2 etwas besser als phiX174 zurückgehalten wird und die Flockung mit PACl in diesen Wässern höhere Rückhalte als die mit

FeCl<sub>3</sub> lieferte. Ferner ist aus **Abbildung 1** zu erkennen, dass die Rückhalte mit steigender Flockungsmittelmenge ansteigen.

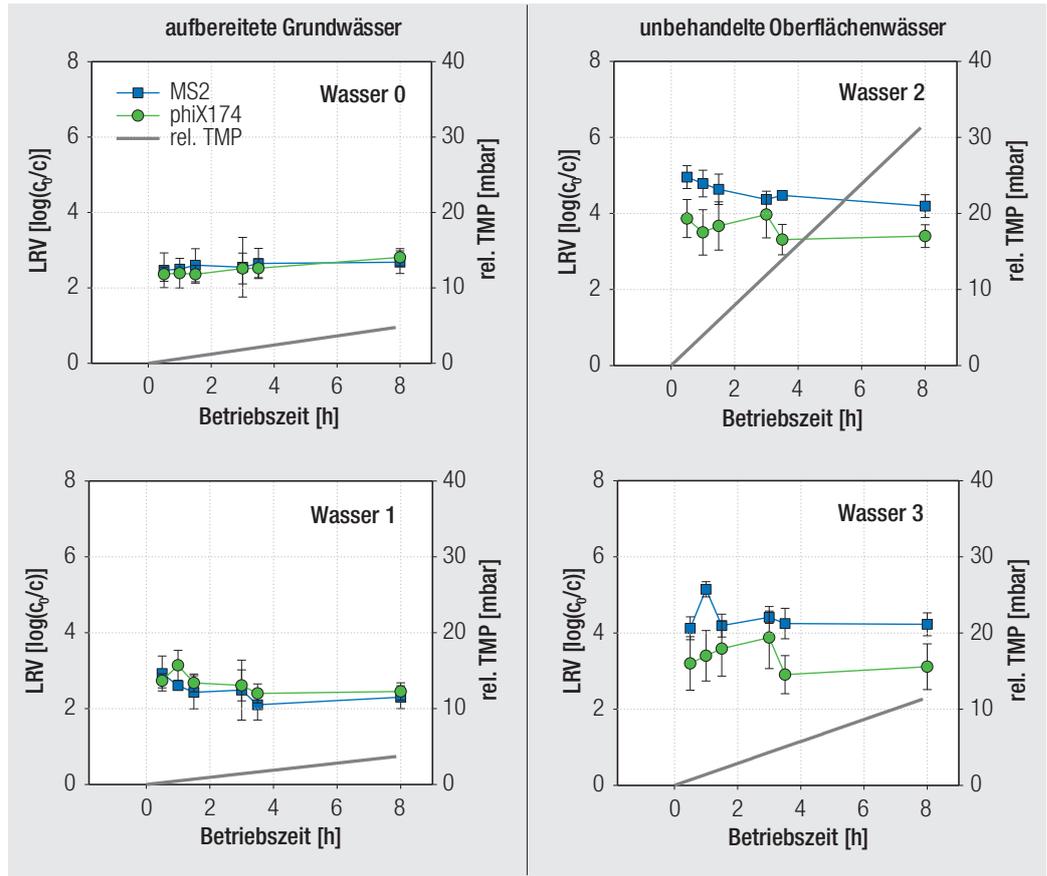
Um die Übertragbarkeit der Annahmen vom Labor auf den halbtechnischen Maßstab zu zeigen, wurden Flockungsversuche mit ausgewählten Parametereinstellungen an den zwei halbtechnischen Flockungsanlagen der beiden Talsperrenwasserwerke (Wasser 2 und Wasser 3) durchgeführt. Im Zustrom zu der Flockungsanlage wurde eine Phagenkonzentration von ca. 10<sup>6</sup> PFU/ml MS2 bzw. phiX174 eingestellt. Die Probenahmen erfolgten aus dem Zulauf, der Flockensuspension vor dem Filter und aus dem Filterablauf nach mindestens drei Verweilzeiten (1 Stunde), um einen gut eingefahrenen Filter zu simulieren. Vor den Flockungsversuchen wurden jeweils zwei Versuche ohne Flockungsmittelzugabe durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Konzentration der Phagen im Ablauf des Mehrschichtfilters spätestens nach 90 Minuten in der Größenordnung der Zugabekonzentration lag. Es traten somit bei diesen Versuchen ohne Flockungsmitteldosierung keine messbare Rückhalteleistung des Filters und kein Verlust an Phagen durch Adsorption an den Anlagenwandungen auf.

Die Flockungsversuche an den halbtechnischen Anlagen sind im Vergleich zu den Laborversuchen für Wasser 2 in **Abbildung 2** dargestellt. Es sind jeweils die erzielten Rückhalte von MS2 und phiX174 für die unterschiedlichen Flockungsmittelarten und -mengen aufgetragen. Es wird deutlich, dass die Ergebnisse an der halbtechnischen Anlage mit 6,5 m<sup>3</sup>/h (Wasser 2) mit den Ergebnissen der



**Abb. 3:** Rückhalt von MS2 und phiX174 in Laborversuchen zur Ultrafiltration in den vier verschiedenen Wässern (80 l/m<sup>2</sup>/h)



Quelle: TZW

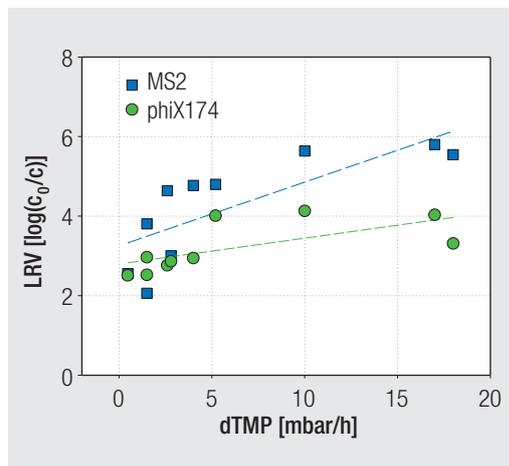
Laborversuche im Rahmen der Schwankungsbreite übereinstimmen. Für MS2 wurden mit der FeCl<sub>3</sub>-Flockung Rückhalte zwischen 1,0 und 5,0 log-Stufen (bei maximal 10 mg Fe/l) erreicht. Für phiX174 lagen die Werte zwischen 0,5 und 4,0 log-Stufen für PACl und zwischen 0,2 bis 2,5 log-Stufen für FeCl<sub>3</sub>. Auch mit Wasser 3 ergab sich eine gute Übereinstimmung zwischen Laborversuchen und halbtechnischen Versuchen.

Die Ergebnisse der Versuche von MS2 mit PACl konnten hier nicht ausgewertet werden, da der Bakteriophage MS2 durch PACl inaktiviert

wurde [7]. Bei den halbtechnischen Versuchen konnten im Gegensatz zu den Laborversuchen keine PCR-Verfahren verwendet werden, da hierfür die Nachweisgrenze der PCR-Verfahren zu hoch lag.

Aus den Untersuchungen zur Flockenfiltration lässt sich zusammenfassen, dass die Rückhalteleistung sehr stark von der Wasserbeschaffenheit abhängig ist. In natürlichen Talsperrenwässern ist ein deutlich besserer Rückhalt erreichbar als in aufbereiteten Grundwässern. Die Rückhalte erreichen je nach Art des Flockungsmittels, der Flockungsmittelkonzentration und Art der Bakteriophagen 0,5 bis 4 log-Stufen. Eine Übertragbarkeit vom Labor auf den halbtechnischen Maßstab ist gegeben, sodass der Rückhalt für Viren durch Flockungsversuche im Labormaßstab mit Bakteriophagen ermittelt werden kann. Die Festlegung eines allgemeingültigen Wertes für den Rückhalt der Flocken-/Flockenfiltration unabhängig von der Wasserqualität ist jedoch nicht möglich.

**Abb. 4:** LRV für MS2 und phiX174 als Funktion von dTMP (Ergebnisse der Labormembranversuche)



Quelle: TZW

### Virenrückhalt mittels Ultrafiltration

Bei der Ultrafiltration ergibt sich wie bei der Flockenfiltration ein Einfluss der Wasserbeschaffenheit auf den Bakteriophagenrückhalt [8].

Die Ergebnisse der Laborversuche mit einer Flächenbelastung von 80 l/m<sup>2</sup>/h sind beispielhaft in **Abbildung 3** dargestellt. In den Grundwässern war der MS2-Rückhalt signifikant geringer als in den natürlichen Wässern. In Wasser 0 und Wasser 1 wurde ein LRV von 2,5 bis 3,0 log-Stufen bei 80 l/m<sup>2</sup>/h für MS2 erreicht. Demgegenüber wurde in Wasser 2 und Wasser 3 ein Rückhalt > 4,0 log-Stufen gemessen.

Für phiX174 wurde bei 80 l/m<sup>2</sup>/h für alle vier Wässer ein LRV von 2,5 bis 3,0 log-Stufen ermittelt. Vergleichsuntersuchungen mit erhöhter Flächenbelastung (120 l/m<sup>2</sup>/h) zeigten, dass der Rückhalt in Wasser 0 und Wasser 1 unverändert bei 2,5 bis 3,0 log-Stufen lag, sich jedoch in Wasser 2 und 3 auf rund 3,5 bis 4,5 log-Stufen erhöhte. Als Ursache wird der stärkere Anstieg des Transmembrandruckes gesehen.

In **Abbildung 4** sind die Ergebnisse der Versuche im Labormaßstab über dem Anstieg des Transmembrandruckes (dTMP) aufgetragen. Die Grafik zeigt, dass der Rückhalt mit dem beobachteten TMP-Anstieg (dTMP nach einer Stunde Filtration) korreliert. Die Partikel- und Organikfracht des zu filtrierenden Wassers zeigte daher in den durchgeführten Versuchen einen entscheidenden Einfluss auf den Rückhalt der untersuchten Bakteriophagen (MS2 und phiX174). Während des Filtrationsprozesses werden Partikel und Organik des Wassers an die Membranoberfläche transportiert, bilden eine Deckschicht aus und verändern so die Rückhaltecharakteristik der Membran. Dies wird auch als Foulingpotential eines Wassers bezeichnet. Das Foulingpotential des Wassers ist dementsprechend wesentlich für den Rückhalt.

Auch bei den Versuchen an der großtechnischen UF-Anlage zeigte sich wiederum ein deutlicher Unterschied zwischen den Wässern. Im Wasser 1 (Grundwasser) lag der Rückhalt bei lediglich 0,5 log-Stufen, während in den unbehandelten Rohwässern ein deutlich höherer Rückhalt bestimmt wurde. Für MS2 wurden Rückhaltewerte zwischen 5 und 6 log-Stufen und für phiX174 zwischen 1 und 4 log-Stufen gemessen. In Wasser 2, in welchem die höchste dTMP auftrat (**Abb. 4**), ergab sich der höchste Rückhalt der Bakteriophagen.

Auch für die Ultrafiltration ist daher die Wasserbeschaffenheit der entscheidende Einflussfaktor auf den Rückhalt von Viren im Größenbereich zwischen 20 und 30 nm. Hier nicht dargestellte Versuche zeigten, dass nicht die Partikelfracht entscheidend ist, sondern das Foulingpotential eines Wassers, das insbesondere durch die gelösten organischen Inhaltsstoffe charakterisiert wird. In **Abbildung 5** ist der Anstieg des Transmembrandruckes abhängig vom Gehalt an gelösten organischen Wasserinhaltsstoffen (hier als Verhältnis SAK-254/DOC) aufgetragen.

### Entfernung humanpathogener Viren in halbtechnischen Untersuchungen

Eine wesentliche Fragestellung bei der Bestimmung der Wirksamkeit von Aufbereitungsschritten durch Versuche mit Modellorganismen als Ersatzparameter (Surrogate) ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf humanpathogene enterale Viren. Vor diesem Hintergrund wurden in Zusammenarbeit mit dem Projektpartner UBA ausgewählte Flockungsversuche im Labormaßstab durchge-

RS Technik

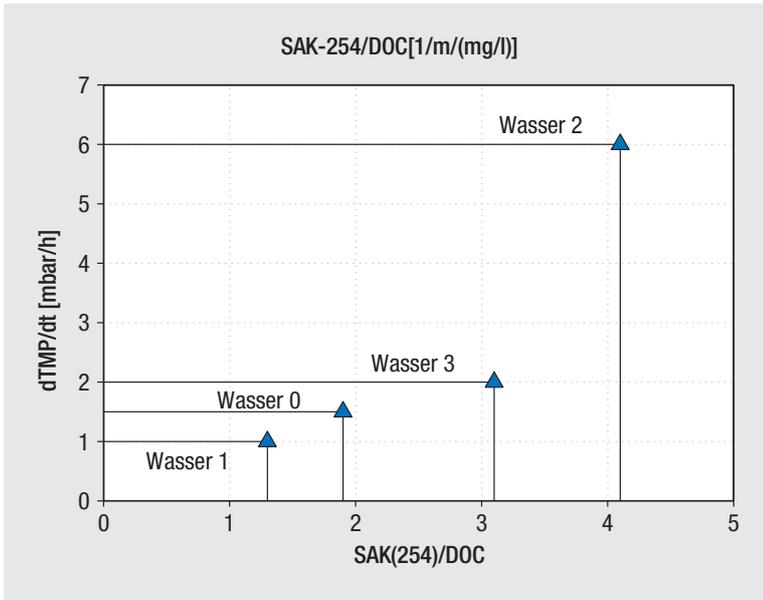
## RS BLUELINE®

ERNEUERUNGSSYSTEM FÜR DRUCKLEITUNGEN (ABWASSER UND TRINKWASSER) DN 100 – DN 1200

- Vor-Ort-Herstellung mittels eines Zwei-Komponenten Harzsystems
- Statisch selbsttragend – Druckstufen bis zu PN 16 Innendruck
- Umfassende Messtechnik und Dokumentation aller relevanten Verfahrensschritte
- Trinkwasserzulassung: DVGW\* W270, NSF 61 & KTW Beschichtungsleitlinie
- Weitere Zertifikate: AWWA\*\* M28: 2, 3, 4

\* Deutsche Vereinigung für Gas & Wasser    \*\* American Water Works Association

RS Technik Aqua AG • General-Guisan-Strasse 8 • CH-6300 Zug • Tel +41 44 986 10 52 • info@rstechnik.com
[www.rstechnik.com](http://www.rstechnik.com)

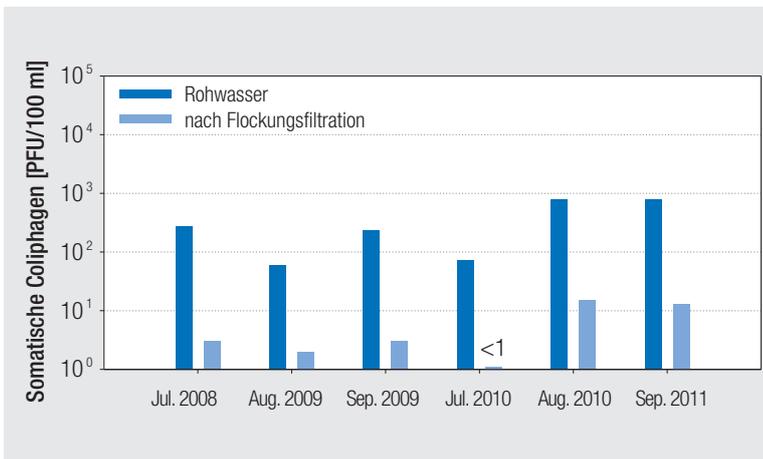


**Abb. 5:** Zusammenhang von Transmembrandruckanstieg ( $dTMP/dt$  [mbar/h]) bei Filtration der untersuchten Wässer und SAK-254/DOC-Verhältnis der Wässer bei einer Flächenbelastung von 80 l/m<sup>2</sup>/h

führt, bei welchen der Rückhalt der Bakteriophagen MS2 und phiX174 mit dem Rückhalt von humanen Adenoviren und murinen Noroviren (MNV) für alle vier Testwässer verglichen wurde [9]. Der Rückhalt von phiX174 war im Vergleich zu MS2 und den beiden enteralen Viren in allen vier Wässern am geringsten. Die enteralen Viren wurden im Vergleich zu beiden Bakteriophagen bei allen experimentellen Bedingungen vergleichbar oder besser zurückgehalten. Auch bei den enteralen Viren war wie bei den Bakteriophagen ein höherer Rückhalt in den Talsperrenwässern (Wasser 2 und Wasser 3) als in den aufbereiteten Grundwässern (Wasser 0 und 1) zu beobachten.

**Abb. 6:** Konzentration an somatischen Coliphagen im Rohwasser und nach der Flockungsfiltration eines Flusswasserwerks.

Auch für die Ultrafiltration wurde ein Vergleichsversuch mit enteralen Viren durchgeführt, der ebenso wie bei den Flockungsversuchen ergab, dass der Rückhalt der beiden Bakteriophagen jeweils gleich oder niedriger lag



als der Rückhalt von murinen Noroviren bzw. humanen Adenoviren. Diese Bakteriophagen sind somit als Modellviren (Ersatzparameter) für den Virenrückhalt geeignet.

### Virenrückhalt in großtechnischen Anlagen

An einem Flusswasserwerk wurde sowohl das Rohwasser als auch das Wasser nach der partikelabtrennenden Stufe (Flockenfiltration) zu sechs Zeitpunkten auf natürlich vorkommende Bakteriophagen untersucht. Die Konzentration an F-spezifischen Bakteriophagen lag hierbei im Flusswasser im ein- bis zweistelligen Bereich pro 100 ml (< 20 PFU/100 ml). Somatische Coliphagen konnten je nach Jahreszeit in zwei- bis vierstelligen Konzentrationen nachgewiesen werden. Nach der Flockenfiltration konnten jeweils keine F-spezifischen Phagen mehr nachgewiesen werden, somatische Coliphagen lagen noch in einem Konzentrationsbereich zwischen 1 und 10 PFU/100 ml vor. Die Messwerte im Rohwasser und nach Flockenfiltration sind in **Abbildung 6** dargestellt. Bei der Auswertung dieser sechs Messungen ergab sich ein mittlerer Rückhalt von  $1,8 \pm 0,2$  log-Stufen. Damit konnte die Größenordnung der Ergebnisse der Flockungsversuche im Labormaßstab mit Bakteriophagensdosierung bestätigt werden.

Darüber hinaus wurden Messungen im Rohwasser und nach der partikelabtrennenden Stufe auch an neun verschiedenen Talsperrenwasserwerken durchgeführt, die zur Trinkwassergewinnung genutzt werden, wobei hier in der Regel die Flockenfiltration zum Einsatz kommt. F-spezifische Coliphagen konnten in der Regel weder im Rohwasser noch nach der partikelabtrennenden Stufe nachgewiesen werden (< 1 PFU/100 ml). Lediglich bei einem Hochwasserereignis wurden im Rohwasser einer Talsperre 2 PFU/100 ml gemessen. Somatische Coliphagen wurden etwas häufiger (in 8 von 19 Proben) und in etwas höheren Konzentrationen (bis max. 20 PFU/100 ml) als F-spezifische Phagen gefunden. Allerdings lag auch hier die unter Normalbedingungen maximal gemessene Konzentration nur bei 11 PFU/100 ml, während bei dem Hochwasserereignis 20 PFU/100 ml detektiert wurden. Im Ablauf der partikelabtrennenden Stufe war zu keinem Zeitpunkt ein positiver Befund an somatischen Coliphagen aufgetreten.

Bei den Talsperren lässt sich aufgrund der niedrigen Belastung im Rohwasser keine Rückhalteleistung berechnen. Aussagen über die Leistungsfähigkeit der Aufbereitung lassen sich demzufolge bei solchen gering belasteten Wässern nur in Modellversuchen mit Dosierung von Bakteriophagen im Labor- oder halbtechnischen Maßstab gewinnen.

## Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des hier vorgestellten Projektes wurde die Eliminationsleistung bezüglich kleinster Partikel der wichtigsten partikelabtrennenden Stufen bei der Trinkwasseraufbereitung durch Modellexperimente mit Bakteriophagen untersucht und charakterisiert [10, 11]. Sowohl für die Flockung als auch für die Ultrafiltration zeigte sich, dass die Wasserbeschaffenheit den entscheidenden Einfluss auf den erreichbaren Rückhalt hat.

In natürlichen Oberflächenwässern (Talsperrenwässern) war der Rückhalt jeweils deutlich besser als in aufbereiteten Grundwässern. Bei der Ultrafiltration waren hier je nach Wasser bis zu 6 log-Stufen Rückhalt für MS2 und bis zu 4 log-Stufen Rückhalt für phiX174 zu erreichen. Auch bei der Flockung konnten bei den Talsperrenwässern bei entsprechend hoher Flockungsmitteldosierung hohe Rückhalte von bis zu 5 log-Stufen für MS2 und bis zu 3,5 log-Stufen für phiX174 erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die Annahme eines allgemeingültigen Wertes für den Rückhalt (z. B. aus Literaturdaten) für eine bestimmte Aufbereitungsstufe nicht zulässig ist, sondern dieser immer für die jeweilige Wasserbeschaffenheit und die jeweiligen Bedingungen überprüft werden muss. Wie durch den Vergleich der Ergebnisse der Laborversuche mit den halbtechnischen Untersuchungen mit zwei verschiedenen Talsperrenwässern gezeigt werden konnte, ist bei der Flockung eine Übertragbarkeit der Ergebnisse vom kleineren Maßstab auf die großtechnischen Bedingungen möglich.

Durch Vergleichsversuche konnte demonstriert werden, dass die beiden Bakteriophagen MS2 und phiX als konservative Ersatzparameter für enterale Viren geeignet sind.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich beim BMBF, dem DVGW und der ATT für die finanzielle Unterstützung des Forschungsvorhabens und den Wasserversorgern für die Mitarbeit bei den halbtechnischen Versuchen im Wasserwerk. ■

### Literatur:

- [1] TrinkwV 2001: Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. Bundesgesetzblatt Teil I, Nr. 61, 2371-2396 (2011).
- [2] World Health Organization (WHO): Guidelines for Drinking-water quality, 4th edition (2011).
- [3] DVGW-Schriftenreihe Wasser Nr. 91, Förderkennzeichen 02-WT 9310: BMBF-Verbundvorhaben: Vorkommen und Verhalten von Mikroorganismen und Viren im Trinkwasser, Laufzeit 1993–1996 (1997).
- [4] DIN EN ISO 10705-1: Nachweis und Zählung von Bakteriophagen, Teil 1: Zählung von F-spezifischen RNA-Bakteriophagen (2002).
- [5] DIN EN ISO 10705-2: Nachweis und Zählung von Bakteriophagen, Teil 2: Zählung von somatischen Coliphagen (2002).
- [6] DVGW, Technische Regel W 218 Flockung in der Wasseraufbereitung – Flockungstestverfahren (1998).
- [7] Kreißel, K., Bösl, M., Hügler, M., Lipp, P., Franzreb, M., Hamsch, B.: Inactivation of F-specific bacteriophages during flocculation with polyaluminum chloride – a mechanistic study. *Water Research*, 51:144-151 (2014).
- [8] Kreißel, K., Bösl, M., Lipp, P., Franzreb, M., Hamsch, B.: Study on the removal efficiency of UF membranes using bacteriophages in bench- and semi-technical scale. *Water Science and Technology*, 66.6:1195-1202 (2012).
- [9] Frohnert, A., Kreißel, K., Hamsch, B., Lipp, P., Selinka, H.-C., Szezyk, R.: Removal of enteral viruses and bacteriophages by ultrafiltration. Begleitbuch zur 10. Aachener Tagung Wasser und Membranen, 29.-30. Oktober 2013, S. 481 (2013).
- [10] Hamsch, B., Kreißel, K., Lipp, P., Bösl, M.: Elimination von Viren durch Filtrationsverfahren. BMBF-Abschlussbericht.
- [11] Hamsch, B., Kreißel, K.: Elimination von Viren durch Filtrationsverfahren. Veröffentlichungen aus dem DVGW-Technologiezentrum Wasser, Band 55, S. 37-52 (2012).

### Die Autorinnen:

**Dr. Beate Hamsch** ist Leiterin der Abteilung Mikrobiologie im TZW.

**Dr. Pia Lipp** ist wissenschaftliche Mitarbeiterin der Abteilung Technologie und Wirtschaftlichkeit im TZW.

**Monika Bösl** ist technische Angestellte der Abteilung Mikrobiologie im TZW und führte die Untersuchungen im Rahmen des Projektes durch.

**Dr. Katja Kreißel** war wissenschaftliche Mitarbeiterin in der Abteilung Mikrobiologie im TZW und Projektbearbeiterin des Verbundforschungsvorhabens.

### Kontakt:

Dr. Beate Hamsch  
DVGW-Technologiezentrum Wasser (TZW)  
Karlsruher Str. 84  
76139 Karlsruhe  
Tel.: 0721 9678-220  
E-Mail: beate.hamsch@tzw.de  
Internet: www.tzw.de