

# Zitat „Viren im Trinkwasser“ von Professor Dr. med. Konrad Botzenhart, Universität Tübingen

## Quelle:

Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2007, 50: 296–301.  
Online publiziert: 2. März 2007

„K. Botzenhart

Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene, Tübingen,  
Bundesrepublik Deutschland

## Viren im Trinkwasser

### Zusammenfassung

**Viren im Trinkwasser können Infektionskrankheiten verursachen.** Während dieses früher vor allem für die Hepatitis A und der Hepatitis E beobachtet wurde, sind in den letzten Jahren mehrere größere und kleinere Epidemien von Norwalkvirusinfektionen [**Anm.: Norovirusinfektionen**] beschrieben worden, **auch in Europa**. Alle trinkwasserrelevanten Viren stammen aus Fäkalien und sind im Abwasser auch nach mehrstufiger konventioneller Klärung regelmäßig noch nachweisbar. Sie sind den zugelassenen Desinfektionsverfahren gut zugänglich, **soweit sie nicht in größere Partikel integriert sind. Folglich kommt der Partikelabscheidung bei der Aufbereitung eine besonders große Bedeutung zu. Die Virusfreiheit des abgegebenen Trinkwassers kann mit der erforderlichen Sicherheit durch virologische Untersuchungen nicht nachgewiesen werden. Die Untersuchung von 100-mL-Proben auf E. coli und coliforme Bakterien ist dafür ebenfalls nicht ausreichend.** Bei Verwendung von **möglicherweise kontaminiertem Rohwasser** muss daher die **Sicherheit der Verbraucher** über eine von Fall zu Fall zu berechnende **Leistungsfähigkeit der Aufbereitungsanlage gewährleistet** werden. In die Berechnung gehen die Virusbelastung des Rohwassers, die Leistung der physikalisch-chemischen Partikelelimination und die Wirkung der Desinfektion ein. Die wirkungsbestimmenden Faktoren der Desinfektion, namentlich Konzentration und Einwirkungszeit bzw. die UV- Bestrahlungsstärke, müssen anhand des Infektionsrisikos durch Viren festgelegt und eingehalten werden, auch wenn sie aufgrund günstiger *E.-coli*- Befunde überhöht erscheinen.

### Schlüsselwörter

Trinkwasser, Viren, Desinfektion, Partikelelimination

## Viruses in drinking water

### Abstract

Viruses in drinking water can cause infectious diseases. In the past, hepatitis A and E were the most frequently observed drinking-water-borne viral infections, but in recent

years several small- and large-scale norovirus epidemics have been described, even in Europe. All virus species spread via drinking water are of fecal origin. They are regularly identified in waste water even after conventional multi-stage water treatment. The approved disinfection methods can cope with these viruses if they are not integrated in larger particles. For this reason particle separation is particularly important in water treatment. Virological tests are not reliable enough to ensure that drinking water is sufficiently virus-free. The examination of 100 mL of water for *E. coli* and coliform bacteria is not adequate proof either. If potentially contaminated raw water is used, consumer safety must be ensured by calculating the performance of water treatment plants on a case-by-case basis. Such a calculation takes into account the virus load of the raw water, the efficiency of the physical and chemical particle elimination steps and the effect of disinfection. Those factors which determine the effectiveness of disinfection, namely concentration and exposure time or UV radiation strength, must be adjusted according to the risk of viral infection, and calculated settings must be adhered to, even if favorable *E. coli* levels may make them seem excessive.

### **Keywords**

Drinking water, Viruses, Disinfection, Particle elimination

### **Durch Trinkwasser übertragbare Viren**

Viren im Trinkwasser können beim Verbraucher Erkrankungen hervorrufen. Diese Tatsache ist seit langem bekannt und hat besonders aus Anlass des vermehrten Auftretens der Poliomyelitis nach dem 2. Weltkrieg zu intensiver Beschäftigung mit diesem Problem geführt [1]. Viren, die hierfür in Frage kommen, gehören zur Gruppe der Adenoviren, Astroviren, Enteroviren, Hepatitis-A- und Hepatitis-E-Viren, zu den Noroviren und zu den Rotaviren (Tabelle 1). Es sind Viren, die sich im Gastrointestinaltrakt vermehren können und dadurch in großen Mengen mit den Fäces in das Abwasser und das damit belastete Oberflächenwasser und ungünstigen Falles auch ins Grundwasser übergehen können. Im Abwasser werden außerdem häufig Orthoreoviren gefunden, die aus menschlichen Fäkalien stammen, denen aber kein bestimmtes Krankheitsbild zugeordnet werden kann. Sie werden daher einstweilen als gesundheitlich unbedenklich angesehen [3]. Die genannten Viren werden ganz überwiegend vom Menschen ausgeschieden. Eine Ausnahme bildet das Hepatitis-E-Virus, für das tierische Wirte bekannt sind, möglicherweise werden auch einige Noro- und Sapoviren von Tieren ausgeschieden [4]. Die Viren sind im Wasser sehr lange stabil, unter den Bedingungen eines kühlen Grundwassers viele Monate und sogar einige Jahre [5].

Über die epidemiologische Bedeutung von Adenoviren und Enteroviren in Trinkwasser kann wenig gesagt werden, vermutlich weil sie eine größere Zahl wenig charakteristischer Erkrankungen des Darmtraktes sowie der oberen Luftwege und der zugehörigen Schleimhäute hervorrufen. Auch Poliomyelitishäufungen sind nur vereinzelt mit Trinkwasser in Verbindung gebracht worden [6]. Beide Virusgruppen werden aber häufig, um nicht zu sagen regelmäßig, aus Abwasser sowohl nach Sedimentation als auch nach mechanisch/biologisch/chemischer Reinigung isoliert [7]. Ähnliches trifft für die Astroviren zu. Das Hepatitis-A-Virus ist dagegen wiederholt als Erreger trinkwasserbedingter Epidemien isoliert worden, auch aus gechlortem Trinkwasser [8, 9]. Es hat eine der größten jemals beschriebenen Explosivepidemien hervorgerufen, die mit ca. 300.000 Betroffenen in Shanghai im Jahr 1988 aufgetreten ist [10]. Diese Erkrankungen wurden auf den Genuss von infizierten Muscheln zurückgeführt, die aus den dortigen Gewässern stammten. Die Gefahr einer Hepatitis-A-Infektion, aber auch von Norwalk-Virus-Infektionen [Anm.: *Norovirusinfektionen*] durch entsprechend infizierte Schalentiere ist bekannt und ein Beleg für die Widerstandsfähigkeit des Virus in der wässrigen Umwelt sowie auch gegenüber den Verdauungsprozessen der Muscheln oder anderer

Schalentiere. Das Hepatitis- E-Virus hat ebenfalls mit Wasser assoziierte Epidemien mit vielen tausend Erkrankten hervorgerufen. Hier erfolgten die Infektionen über Trinkwasser, das zwar gechlort, aber vor der Chlorung massiv mit Abwasser belastet war [11]. Hepatitis- E-Epidemien sind ausschließlich in Asien aufgetreten, obwohl das Virus ebenfalls in Afrika, den USA und in europäischen Ländern nachgewiesen werden kann. Das Hepatitis-E-Virus kommt auch bei Schweinen vor.

<b>Tabelle 1</b>			
<b>Trinkwasserrelevante Virusgruppen. (Mod. nach [2])</b>			
<b>Virusgruppe</b>	<b>Nukleinsäuretyp</b>	<b>Größe</b>	<b>Krankheitsmerkmale</b>
Adenovirus	dsDNA	80 nm	Konjunktivitis, Atemwegserkrankungen, Gastroenteritis
Astrovirus	ssRNA	28 nm	Gastroenteritis
<b>Caliciviren:</b>			
Norwalkvirus [Anm.: <i>Norovirus</i> ] Sapovirus	ssRNA	30 nm	Übelkeit, heftiges Erbrechen, Gastroenteritis
Hepatitis-E-Virus (evtl. eigene Gruppe)	ssRNA	27–34 nm	Hepatitis E, schwerer Verlauf bei Schwangeren
Coronavirus	ssRNA	80–160 nm	Gastroenteritis
Hepatitis-A-Virus (Hepatovirus)	ssRNA	27 nm	Fieber, akute hämorrhagische Konjunktivitis, Hepatitis
<b>Enteroviren:</b>			
Poliovirus	ssRNA	30 nm	Paralyse, Meningitis, Fieber, schlaffe Lähmungen
Coxsackievirus A Coxsackievirus B	ssRNA	30 nm	Herpangina, Atemwegserkrankungen, Meningitis, Fieber, Myokarditis, Pleurodynie
Echovirus	ssRNA	30 nm	Atemwegserkrankungen, Fieber, Meningitis u. a. m.
„Nummerierte“ (68-71) Enteroviren	ssRNA	30 nm	Meningitis, Enzephalitis, respiratorische Erkrankung
<b>Reoviren:</b>			
Orthoreovirus	dsRNA	75 nm	Noch unklar
Rotavirus	dsRNA	65–75 nm	Übelkeit, Diarrhö

Aus der Familie der Reoviridae verursachen vor allem Rotaviren Magen-Darm-Infekte bei Kindern auf der ganzen Welt. Sie sind in diesem Zusammenhang auch eine wichtige Todesursache. Nach Schätzungen der Weltgesundheitsorganisation [4] werden weltweit 50–60 % aller Fälle an krankenhauspflchtigen Darmerkrankungen bei Kindern durch Rotaviren verursacht. Die Viren werden in hoher Konzentration (bis zu 10<sup>11</sup>/g) für ungefähr 8 Tage mit dem Stuhl ausgeschieden. Dies bedeutet, dass das häusliche Abwasser stark mit ihnen belastet ist. Folglich konnten Rotaviren sowohl im Abwasser als auch im Oberflächenwasser und behandeltem Trinkwasser nachgewiesen werden. Rotaviren werden auch durch Kontakt sehr leicht übertragen. Demgegenüber tritt die Bedeutung des Trinkwassers als Infektionsquelle deutlich zurück. Allerdings sind aber auch eindeutig trinkwasserverursachte Epidemien beschrieben worden. Die mit den

Rotaviren verwandten Orthoreoviren werden, wie bereits ausgeführt, häufig im Abwasser und im Oberflächenwasser gefunden und können insofern als Indikator für die Abwasserbelastung eines Gewässers gelten. Sie haben aber nach bisherigen Kenntnissen keine gesundheitliche Bedeutung, obwohl sie in der Zellkultur einen zytopathogenen Effekt zeigen [3].

Von größtem Interesse unter den viralen Krankheitserregern im Trinkwasser sind zurzeit die Noro- und Sapoviren aus der Familie der Caliciviren. Caliciviren sind unbehüllte Viren mit einsträngiger RNA und einem Durchmesser von 35–40 nm. Humanpathogen sind die Genera Norovirus oder Norwalk-like-Virus und das Sapovirus oder Sapporo-like-Virus. Beide können zurzeit noch nicht in Zellkultur vermehrt werden. Sie verursachen eine mehr oder weniger heftige Gastroenteritis, bei der vor allem bei Jugendlichen ein heftiger, unbeherrschbarer Brechreiz auffällt. Zusätzlich bestehen eine Diarrhö sowie in einem geringen Umfang Allgemeinerscheinungen wie Fieber und Kopfschmerzen. Die Krankheit tritt bevorzugt in den Wintermonaten auf (winter vomiting disease). Auch die Noro- und Sapoviren werden sehr leicht von Person zu Person übertragen und können sich daher in Krankenhäusern und Heimen schlagartig ausbreiten und kleinere Lokalepidemien mit mehreren hundert Erkrankungen verursachen, zumal die Inkubationszeit kurz ist und schon innerhalb des ersten Tages Viren im Stuhl oder Erbrochenem auftreten können. Es sind aber auch verschiedene trinkwasserbedingte Epidemien beschrieben worden, so in Neuchâtel in der Schweiz (eine der größten in der Schweiz in der jüngeren Zeit aufgetretenen Trinkwasserepidemien mit mehreren tausenden Kranken) [12] sowie eine weitere in Küblis [13]. Aus Finnland hat Maunula [14] über 18 Epidemien mit bis zu 5.500 Erkrankten berichtet, die auf Trinkwasser zurückgeführt werden konnten. Auch aus Deutschland (Oschatz) wurde eine trinkwasserbedingte Epidemie beschrieben [15]. Im Fall der Schweiz und Deutschlands lagen eindeutige schwere Mängel in der Wasseraufbereitung bzw. unbeherrschte Abwassereinbrüche vor. Bei den finnischen Epidemien handelt es sich zum Teil um nach örtlichen Vorschriften einwandfrei aufbereitetes Trinkwasser ohne Nachweis von coliformen Bakterien.

Es stellt sich daher auch für die deutschen Verhältnisse die Frage, inwieweit virusbedingte Erkrankungen durch Trinkwasser übertragen werden können. In Bezug auf die Hepatitis A scheint dies kein Problem zu sein, da diese Erkrankung seit langem rückläufig ist und ein großer Teil der beobachteten Fälle auf Auslandsaufenthalte zurückgeführt werden kann. Die Häufigkeit gastrointestinaler Erkrankungen allgemein und insbesondere das in den letzten Jahren vermehrte Auftreten der Norovirusinfektionen geben aber Anlass für eine erhöhte Aufmerksamkeit.

### **Verhalten enteraler Viren im Abwasser, Untergrund und bei der Wasseraufbereitung**

Einleitend muss betont werden, dass das quantitative Arbeiten mit Viren aufgrund ihrer Eigenschaft erschwert wird, spontan aneinander oder an Feststoffen bzw. Behälterwänden zu größeren Aggregaten zu adsorbieren und u. U. wieder zu desaggregieren. Daher kann sich die Zahl infektiöser Partikel scheinbar vermehren oder vermindern, ohne dass eine virale Replikation oder eine Inaktivierung stattgefunden hat. In Form größerer Aggregate sind die Viren außerdem vor schädlichen Umwelteinflüssen besser geschützt als isoliert vorliegende Partikel [16]. Auf Oberflächen und in den oberen Bodenschichten können Viren durch Austrocknung, Licht und höhere Temperaturen schnell inaktiviert werden. Sie können aber nur viele Wochen und Monate überdauern, wenn sie vor diesen Schädigungen geschützt sind, was in Gewässern und im Untergrund häufig der Fall ist. Humanpathogene enterale Viren im Wasser entstammen praktisch ausschließlich den Ausscheidungen infizierter, aber nicht notwendigerweise erkrankter Personen. Daher muss die Viruskonzentration im Abwasser je nach Zahl der Infizierten schwanken. Farrah [17] hat zahlreiche Untersuchungen zusammengestellt, die für

unbehandeltes Abwasser Konzentrationen an infektiösen Partikeln nennen, die zwischen einer infektiösen Einheit (IU)/L und 80.000 IU/L liegen. Konzentrationen über 1.000 IU/L Abwasser werden häufig angegeben. Wird stattdessen mit Hilfe der quantitativen PCR die Zahl der Virusgenome erfasst, ergeben sich weit höhere Zahlen, die aber wiederum nichts über die Infektiosität der Viruspartikel aussagen [18].

Fleischer [7] hat die Eliminationsleistung in Bezug auf infektiöse Viren von 4 den heutigen Standards entsprechenden Kläranlagen mit Nitrat- und Phosphatentfernung untersucht. Die diesbezügliche Reduktionsleistung durch den biologisch/chemischen Reinigungsprozess (ohne Sedimentation) schwankte je nach Belastung und Betriebsweise der Anlagen zwischen 60 % und 99,9 %, im Mittel lag sie bei 95 %-99 %. Überwiegend waren aber im Ablauf noch infektiöse Viren nachweisbar, maximal 240 IU/L. Bei dem hohen Abwasseranteil in den meisten deutschen Flüssen ist daher mit Viruskonzentrationen zwischen 10 IU/L und 100 IU/L zu rechnen, in gering belasteten Gewässern zwischen 1 IU/L und 10 IU/L. Ähnliche Angaben finden sich auch in den Guidelines der WHO [4]. Bei der Untergrundpassage durch filtrierende Bodenschichten werden Viren gut zurückgehalten, überwiegend schon innerhalb der ersten Meter oder Dezimeter der Infiltrationsstrecke [19]. Allerdings sterben sie nicht ab, sondern können, geschützt vor Licht, Austrocknung und höheren Temperaturen, im Boden viele Monate oder einige Jahre überdauern. Die 50-tägige Verweilzeit, die in Deutschland für die Zone 2 der Trinkwasserschutzgebiete maßgeblich ist, gewährleistet nur unter der Voraussetzung einer langfristigen Festlegung im Untergrund einen ausreichenden Schutz vor dem Durchbruch von Viren. Schijven [20] hat dazu ausführliche Versuche mit Versickerung und Injektion im Dünensand durchgeführt und festgestellt, dass die Zahl an infektiösen Phagen MS2 und PRD1, die aufgrund ihrer Oberflächeneigenschaften relativ schlecht adsorbieren, nach Versickerung nach einer Filtrationsstrecke von 30 m entsprechend einer Passagezeit von 25 Tagen um 8 log<sub>10</sub>-Stufen reduziert wurde. Nach Injektion in die Tiefe waren hierfür 40 Tage erforderlich. Die Retentionseigenschaften des Bodens wurden durch einige Bestandteile deutlich verstärkt, namentlich durch den Gehalt an organischer Substanz, feinkörnige Anteile (silt) und Eisenhydroxid. Die hohe Rückhaltefähigkeit von Sandfiltern ist auch durch Säulenversuche bestätigt worden [21]. Die WHO gesteht der Uferfiltration eine Virusrückhaltung von 99,99 % nach 4 m zu [4]. Die Eliminationsleistung der konventionellen Wasseraufbereitung durch Flockung, Sedimentation und Schnellfiltration kann wegen der zahlreichen Verfahrensvarianten, der wechselnden Betriebszustände und der in ungünstigen Verhältnissen schnell wechselnden Rohwasserqualität nicht summarisch betrachtet werden. Aufgrund der ausgeprägten Adsorptionsneigung der Viren ist die Flockung mit anschließender Rückhaltung der Partikel prinzipiell ein gut geeignetes Verfahren. Die WHO [4] führt eine große Zahl von Verfahren auf und gibt für die Schnellfiltration nach optimaler Flockung eine Rückhaltung von Viren von 99,9 % an. Die Surface Water Treatment Rule (zit. nach [22]) rechnet mit 99 %. Allerdings zeigten Untersuchungen von Payment u. Armon [23], dass dieser Wert häufig nicht erreicht wird. Die Membranfiltration könnte in der Kombination Flockung/Flockenabscheidung/Mikrofiltration eine höhere Rückhaltung als die Schnellfiltration erreichen (nach Matsushita et al. [24] von mehr als 6 log<sub>10</sub>-Stufen), als Nanofiltration oder Umkehrosmose wäre auch eine vollständige Rückhaltung möglich. Allerdings ist es einstweilen noch nicht möglich, diese Eliminationsleistung im laufenden Betrieb zu überwachen und zu dokumentieren.

### **Desinfektion**

Für die Desinfektion von Trinkwasser sind in Deutschland neben der UV-Bestrahlung die Zugabe von Chlor, Chlordioxid und Ozon in verschiedenen Formen und Verfahren zugelassen. Für die UV-Desinfektion ist die erforderliche Strahlendosis durch das DVGW-Merkblatt W 294 auf 400 J/m<sup>2</sup> festgelegt [25], für die chemischen Mittel sind aber in der

Trinkwasserverordnung (TrinkwV) bzw. in der nach § 11 TrinkwV aufzustellenden Liste nur die zulässigen Konzentrationen, nicht aber die einzuhaltenden Einwirkungszeiten angegeben, obwohl sie für das Ausmaß der Abtötung von Viren von wesentlicher Bedeutung sind. Zur Wirksamkeit der genannten Verfahren, die zum Teil seit mehr als 100 Jahren eingesetzt werden, ist eine nicht überschaubare Zahl an Arbeiten erschienen, sodass hier zunächst nur auf die zusammenfassenden Darstellungen von Hoff [26], Sobsey [27] und Hoyer [28] hingewiesen werden soll. Bei genauerer Betrachtung muss man sich allerdings darüber im Klaren sein, dass experimentelle Arbeiten zur quantitativen Ermittlung der Wirkung der genannten Mittel und Verfahren auf Viren relativ aufwändig und schwierig sind. Zum Nachweis einer ausreichenden Wirkung müssen die relevanten Viren in großen Mengen und hohen Konzentrationen angezüchtet werden, was z. B. bei Noroviren noch gar nicht möglich ist. Die Ergebnisse können außer durch die oben erwähnte Aggregationsneigung der Viren auch dadurch verfälscht werden, dass Chlor, Chlordioxid und Ozon sehr reaktionsfreudig sind, sodass sich während der Einwirkzeit nur schwer eine konstante Konzentration einstellen lässt. Wenn während der Abtötungsexperimente eine zunehmende Verlangsamung der Inaktivierungsgeschwindigkeit, ein so genanntes tailing, beobachtet wird, was häufig der Fall ist, so muss man vermuten, dass entweder die Virussuspension inhomogen ist oder die Einwirkungsbedingungen nicht konstant sind. Besonders bei der UV-Bestrahlung führen eine inhomogene Verteilung der Fluenz und hydraulische Effekte zu Fehlern [29]. Berücksichtigt man nun noch die große Zahl relevanter Variablen, namentlich Virusart, Konzentration, Kontaktzeit, Temperatur, pH-Wert und Wasserqualität, so wird deutlich, dass die Ergebnisse vieler Autoren nur schwer miteinander zu vergleichen sind. Zum Vergleich der Ergebnisse und zur Formulierung der Anforderung bei der Trinkwasserdesinfektion kann das für eine bestimmte Abtötungsleistung geeignete Produkt aus der für die Abtötung erforderlichen Konzentration  $C$  (in mg/L) und Einwirkungszeit  $t$  (in min) ermittelt werden. Dieser Ct-Terminus wird sowohl von der WHO [4] als auch in den USA [23] verwendet.  $Ct_{99}=3$  bedeutet demnach, dass für eine Reduktion der Zahl infektiöser Viruseinheiten um 99 % 1 mg/L eines Produktes für 3 Minuten oder 0,5 mg/L für 6 Minuten einwirken müssen. Allerdings sind die beiden Faktoren  $C$  und  $t$  nicht unbegrenzt gegeneinander austauschbar. Bei der Nennung eines Ct-Wertes müssen die Randbedingungen, Temperatur und pH-Wert mit angegeben werden. Ferner ist zu berücksichtigen, dass auch in der Praxis während der Einwirkungszeit die Konzentration von Chlor, Chlordioxid und Ozon abnimmt, sodass zu fragen ist, ob der Ct-Wert aus der Konzentration bei der Zugabe oder aus der Konzentration am Ende der Einwirkungszeit oder aus einem zu extrapolierenden Zwischenwert berechnet werden soll. Der nach Tabelle 2 erforderliche Ct-Wert von 12 lässt sich mit der nach der TrinkwV zulässigen Zugabe von 1,2 mg (freies Cl/L) innerhalb von 10 Minuten erreichen, mit der Konzentration von 0,1 mg (freies Cl/L) dagegen erst nach 120 Minuten. Die größeren Schwierigkeiten können sich aber daraus ergeben, dass die Viren im Wasser unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweisen können, besonders bei Umhüllung mit organischen Substanzen.

Die experimentellen Ergebnisse mit Chlor, Chlordioxid und Ozon lassen sich dahin gehend zusammenfassen, dass unter optimalen Bedingungen, das heißt in gepuffertem destilliertem Wasser frei dispergierte Viren  $Ct_{99}$ -Werte um oder unter 1 zur Abtötung benötigt. Dabei ist Ozon deutlich wirksamer, während Chlor bei pH-Werten über 7 stark an Wirksamkeit verliert. Bei suboptimalen Bedingungen, namentlich bei aggregierten Viren, Vorliegen reduzierender Substanzen und erhöhten pH-Werten für Chlor steigen die erforderlichen Ct-Werte an und können unkalkulierbar werden. Zur Wirksamkeit von Chlor [30], Chlordioxid [31] und Ozon [32] gegen Norwalkvirus [Anm.: *Norovirus*], Felines Calicivirus als anzüchtbares Analog für das Norwalkvirus [Anm.: *Norovirus*] und gegen einige andere Viren liegen neuere Untersuchungsergebnisse vor. Sie bestätigen die

schnelle Wirkung auch auf die Calicivirusgruppe unter günstigen Bedingungen, zeigen allerdings auch die gravierende Verschlechterung bei suboptimalen Verhältnissen. Die Experimente mit aggregierten Viren führten zu Erhöhungen der Ct<sub>99</sub>-Werte um den Faktor 100 oder mehr. Dem kann in sinnvoller Weise nicht durch Erhöhung der Chlorkonzentration begegnet werden. Erforderlich ist vielmehr die Entfernung der Aggregate. Es gilt: **„Der wichtigste Verfahrensschritt bei der Aufbereitung mikrobiell belasteter Wässer zu Trinkwasser ist die Partikelentfernung durch Filtrationsverfahren.“** [33] Auch die anderen Faktoren, die die Wirkung der Desinfektionsverfahren behindern, müssen zunächst durch Aufbereitungsverfahren optimiert werden, namentlich der pH-Wert und der Gehalt an reduzierenden Substanzen. Die in Tabelle 2 zusammengestellten, von der WHO [4] vorgeschlagenen Werte stellen insofern einen Kompromiss dar, gelten aber ebenfalls nicht für in Partikel eingeschlossene Mikroorganismen. Sie berücksichtigen jedoch auch sehr niedrige Temperaturen und suboptimale pH-Werte für Chlor. Die Wirksamkeit der durchgeführten Desinfektionsverfahren kann nicht am Kriterium: „Keine E. coli/coliformen Bakterien in 100 mL“ gemessen werden, wie auch in den Empfehlungen der WHO [4] an verschiedenen Stellen ausdrücklich betont wird. Es wurden, wie erwähnt, wiederholt trinkwasserbedingte Epidemien beschrieben, bei denen das Wasser in dieser Hinsicht den Anforderungen entsprach [8, 9, 14]. Dies liegt zum Teil an einer höheren Resistenz der Viren gegen die Desinfektionsverfahren, die durch die Auswirkungen einer Aggregatbildung verstärkt wird, vor allem aber auch daran, dass für die erforderliche Sicherheit die Zahl der Viruspartikel viel drastischer reduziert werden muss, als dies für E. coli und coliforme Bakterien der Fall ist.

<b>Tabelle 2</b>				
<b>Ct<sub>99</sub>-Werte in mg x min/L für die Trinkwasserdesinfektion nach WHO [4]</b>				
	<b>Chlor</b>	<b>Chlordioxid</b>	<b>Ozon</b>	<b>UV</b>
<b>Bakterien</b>	0,08 bei 1–2 °C pH 7 3,3 bei 1–2 °C pH 8,5	0,13 bei 1–2 °C pH 7 0,19 bei 1–2 °C pH 8,5	0,02 bei 5 °C pH 6–7	7 mJ/cm <sup>2</sup>
<b>Viren (nicht aggregiert)</b>	12 bei 0–5 °C 8 bei 10 °C jeweils pH 7–7,5	8,4 bei 1 °C 2,8 bei 15 °C jeweils pH 6–9	0,9 bei 1 °C 0,3 bei 15 °C	59 mJ/cm <sup>2</sup>
<b>Cryptosporidium Oozysten</b>	Nicht empfindlich	40 bei 22 °C pH 8	40 bei 1 °C 4,4 bei 22 °C	10 mJ/cm <sup>2</sup>

### **Begrenzung der Gefährdung**

Die „erforderliche Sicherheit“ ist eine Frage der Konvention. Es wird einerseits vorgeschlagen, dass sie gegeben ist, wenn weniger als ein Fall einer Erkrankung pro 1.000 Verbraucher oder pro 10.000 Verbraucher und Jahr auftreten [34]. Die WHO hat das Konzept der Disease Adjusted Life Years (DALY) entwickelt, bei dem neben der Häufigkeit der Infektionen die Schwere der Erkrankung und eventuelle Folgen berücksichtigt werden [4]. In die Abschätzung der Erkrankungshäufigkeit gehen neben der Konzentration der Viren im Trinkwasser die aufgenommene Menge und die Infektiosität der Erreger ein, nach Möglichkeit auch die Empfänglichkeit der Verbraucher. Auf diese Weise können als Zielgrößen die maximal zulässigen Viruskonzentrationen im Trinkwasser ermittelt werden. Bezüglich der Details dieser Berechnungen muss auf die vorstehend angegebenen Autoren verwiesen werden. Am Beispiel des Rotavirus kommt die WHO zu dem Ergebnis, dass in 32 m<sup>3</sup> Wasser weniger als ein Viruspartikel enthalten sein darf, wenn pro eine Million Verbraucher weniger als ein (verlorenes) DALY zu

beklagen sein soll [4]. Legt man wie Regli [34] das Kriterium „weniger als eine Erkrankung pro Jahr und 10.000 Einwohner“ zugrunde, so kommt man besonders bei Rotaviren wegen deren hoher Infektiosität zu noch strengeren Anforderungen. Es muss demnach in ca. 4.500 m<sup>3</sup> Wasser weniger als ein Viruspartikel enthalten sein. Aus diesen Anforderungen ergibt sich, dass virologische Untersuchungen von Trinkwasserproben dessen Virusfreiheit nicht mit der „erforderlichen Sicherheit“ belegen können und auch die Untersuchung von 100-mL-Proben auf Colibakterien in dieser Hinsicht nicht aussagekräftig ist.

Aus den angegebenen Zielwerten lässt sich aber ableiten, welche Leistungsfähigkeit die Aufbereitungsanlage bei einer bestimmten Rohwasserqualität aufweisen muss. Bei einer Rohwasserqualität von 10 Rotaviren/L ist eine Reduktion auf weniger als ein Rotavirus/32.000 L erforderlich, also ein Reduktionsfaktor von ca. 5,5 log<sub>10</sub>-Stufen. In stärker belasteten Flüssen oder Karstquellen nach Starkregenereignissen ist mit mindestens 10<sup>2</sup> Viruspartikeln/L zu rechnen und ein dementsprechend höherer Reduktionsfaktor erforderlich. Daraus folgt, dass bei Verwendung von Flusswasser oder Ähnlichem als Rohwasser eine konventionelle Aufbereitung durch Flockung/Filtration und Desinfektion nicht ausreicht, sondern im Sinne eines Multibarrierensystems zusätzliche Eliminationsstufen vorgeschaltet werden müssen, die eine Reduktion der Virusbelastung um ca. 3 log<sub>10</sub>-Stufen erzielen. Außerdem wird deutlich, dass es sinnvoll ist, auf eine Verbesserung der mikrobiologischen Rohwasserqualität hinzuwirken, z. B. durch Verminderung der Einleitungen von Krankheitserregern aus den Kläranlagen. Nach der physikalisch/chemischen Aufbereitung und vor der abschließenden Desinfektion, auf die bei belasteten Rohwässern nicht verzichtet werden kann, muss das Wasser bereits frei von bakteriellen Fäkalindikatoren sein [35]. Dieser Zustand sollte als Teil eines Water-Safety-Plans im Rahmen der routinemäßigen Eigenkontrollen überprüft werden. Die abschließende Desinfektion muss für Viren mindestens eine Reduktion von 99 % sicherstellen (Tabelle 2). Zur Ermittlung der erforderlichen Reduktionsleistung für die gesamte Aufbereitung und Desinfektion einer Wasserversorgungsanlage ist zunächst eine Analyse oder Abschätzung der virologischen Belastung des Rohwassers mit ihrer Schwankungsbreite erforderlich. Die Leistungsfähigkeit der chemisch/physikalischen Aufbereitung und der Desinfektion kann, sofern keine zuverlässigen Angaben aus anderer Quelle zur Verfügung stehen, mit Hilfe von Bakteriophagen experimentell ermittelt werden, mit denen relativ einfach und kostengünstig zu arbeiten ist. Zusammenfassend erscheinen folgende Schlüsse erlaubt: Die Gefahr der Übertragung von Viren durch Trinkwasser muss ernst genommen werden. Die in der Schweiz und in Finnland aufgetretenen Epidemien sollten zum Anlass genommen werden, die Wasserversorgungsanlagen in Bezug auf diese Gefahr erneut zu beurteilen. Die Gefährdung ist durch die bisher angewandten Methoden der Trinkwasseraufbereitung und Desinfektion beherrschbar, wenn diese der Rohwasserqualität angepasst und konsequent in ihrem optimalen Wirkungsbereich eingesetzt werden.

### **Korrespondierender Autor**

**Prof. (i. R.) Dr. med. K. Botzenhart**

Institut für Medizinische Mikrobiologie und Hygiene

Wilhelmstraße 31

D - 72074 Tübingen

E-Mail: [Konrad.Botzenhart@uni-tuebingen.de](mailto:Konrad.Botzenhart@uni-tuebingen.de)

### **Literatur**

1. Melnick JL (1947): Poliomyelitis virus in urban sewage in epidemic and nonepidemic times. Am J Hyg 45:240–253.

2. Botzenhart K (2001): Viren als Erreger wasserbedingter Infektionen. *Mitt Lebensm Hyg* 91:25–43.
3. Milde N, Tougianidou D, Botzenhart K (1995): Occurrence of reoviruses in environmental water samples. *Wat Sci Tech* 31:363–366.
4. World Health Organization (2004): Guidelines for Drinking-water Quality. Ed. 3; Vol. 1, Recommendations. World Health Organization, Geneva.
5. Matthess G (Federführung) (1985): Lebensdauer von Bakterien und Viren in Grundwasserleitern – zusammengefasster Abschlussbericht. *Materialien 2/85* Umweltbundesamt. Erich Schmidt, Berlin.
6. Kim-Farley RJ, Rutherford G, Lichfield P et al. (1984): Outbreak of paralytic poliomyelitis. Taiwan. *Lancet* ii:1322–1324.
7. Fleischer J, Schlafmann K, Otchwemah R, Botzenhart K (2000): Elimination of enteroviruses, other enteric viruses, F-specific coliphages, somatic coliphages and *E. coli* in four sewage treatment plants of southern Germany, *J. Water Suppl Technol – AQUA* 49:127–138.
8. Hejkal TW, Keswick B, LaBelle RL et al. (1982): Viruses in a community water supply associated with an outbreak of gastroenteritis and infectious hepatitis. *J Am Water Works Assoc* 74:318–321.
9. Bosch A, Lucena F, Diez J M et al. (1991): Waterborne viruses associated with hepatitis outbreak. *J Am Water Works Assoc* 83:80–83.
10. Halliday ML, Kang LY, Zhou TK et al. (1991): An epidemic of hepatitis A attributable to the ingestion of raw clams in Shanghai, China. *J Infect Dis* 164: 852–859.
11. Naik RR, Aggarwal R, Salunke PN, Mehrotra NN (1992): A large waterborne viral hepatitis E epidemic in Kampur, India. *Bull. WHO* 70:567–604.
12. Maurer AM, Stürchler D (2000): A waterborne outbreak of small round structured virus, *Campylobacter* and *Shigella* coinfections in La Neuveville, Switzerland 1988. *Epidemiol Infect* 125:325–332.
13. Häfliger D, Hübner P, Lüthy J (2000): Outbreak of viral gastroenteritis due to sewage-contaminated drinking water. *Int J Food Microbiol* 54:123–126.
14. Maunula L, Miettinen IT, von Bonsdorff CH (2005): Norovirus outbreaks from drinking water. *Emerg Infect Dis* 11:1716–1721.
15. Robert Koch-Institut (2004): *Epidemiologisches Bulletin*.
16. Dürkop J (2000): Boden. In: Walter R (Hrsg) *Umweltvirologie*. Springer, Wien New York, S 147–173.
17. Farrah, SR (2000): Abwasser. In: Walter R (Hrsg) *Umweltvirologie*. Springer, Wien New York, S 119–146.
18. Pusch D, Oh DY, Wolf S et al. (2005): Detection of enteric viruses and bacterial indicators in German environmental waters. *Arch Vir* 150:929–947.
19. Althaus H, Jung, KD (1985): Feldversuche im mittelsandigen Grundwasserleiter Haltern zur Feststellung der Lebensdauer und des Transportverhaltens von Bakterien und Viren in Grundwasserleitern. *Umweltforschungsplan des Bundesministers des Innern: Wasser, Forschungsbericht 10202202/10*. UBA Berlin, 1985.
20. Schijven JF (2001): Virus removal from groundwater by soil passage. Modeling, field and laboratory experiments. *Proefschrift (ISBN 90-646-404607)* Wageningen.
21. Dizer H, Nasser A, Lopez JM (1984): Penetration of different human pathogenic viruses into sand columns percolated with distilled water, groundwater or wastewater. *Appl Environ Microbiol* 47: 409–415.
22. Botzenhart K (1994): Die Beherrschung mikrobiologischer Belastungen bei der Oberflächenwasseraufbereitung nach der SWTR (USA) .gwf *Das Gas- und Wasserfach, Wasser – Abwasser* 135:201–206.
23. Payment P, Armon R (1989): Virus removal by drinking water treatment processes. *CRC critical reviews in environmental control* 19:15–31.

24. Matsushita T, Matsui Y, Shirasaki N (2006): Analysing mass balance of viruses in a coagulation – ceramic microfiltration hybrid system by a combination of the polymerase chain reaction (PCR) method and the plaque forming units (PFU) method. *Water Sci Technol* 53:199–207.
25. DVGW Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (2006): Arbeitsblatt W 294. UV-Geräte zur Desinfektion in der Wasserversorgung. Teil 1–3. DVGW, Bonn.
26. Hoff JC (1986): Inactivation of microbial agents by chemical disinfectants, US Environmental Protection Agency (USEPA). Drink. Wat. Res. Division, Doc. Nr. EPA-600/3-86/067, Cincinnati, Ohio 45268.
27. Sobsey MD (1989): Inactivation of health-related microorganisms in water by disinfection processes. *Wat Sci Tech* 21:179–195.
28. Hoyer O (2003): Desinfektion mit ultravioletter Strahlung. In: Grohmann A, Hässelbarth U, Schwerdtfeger W (Hrsg), *Die Trinkwasserverordnung*, 4. Auflage, Berlin, S 591–601.
29. Schoenen D (1996): The influence of inhomogeneous irradiation in UV-disinfection – experimental findings and theoretical considerations. *J Water SRT – Aqua* 45:120–129.
30. Thurston-Enriquez JA, Haas CN, Jacangelo J, Gerba CP (2003): Chlorine inactivation of adenovirus type 40 and feline calicivirus. *Appl Environ Microbiol* 69:3979–3985.
31. Thurston-Enriquez JA, Haas CN, Jacangelo J, Gerba CP (2005): Inactivation of enteric adenovirus and feline calicivirus by chlorine dioxide. *Appl Environ Microbiol* 71:3100–3105.
32. Shin G-A, Sobsey MD (2003): Reduction of Norwalk virus, poliovirus 1, and bacteriophage MS2 by ozone disinfection of water. *Appl Environ Microbiol* 69.
33. Hoyer O (2003): Filterbetrieb bei der Aufbereitung von Wasser zu Trinkwasser. In: Grohmann A, Hässelbarth U, Schwerdtfeger W (Hrsg). *Die Trinkwasserverordnung*, 4. Auflage, Berlin.
34. Regli S, Rose JB, Haas CN, Gerba CP (1991): Modeling the risk from Giardia and viruses in drinking water. *J AWWA* 83:76–84.
35. Schoenen D (1998): Beitrag der Desinfektion zur Sicherung eines seuchenhygienisch einwandfreien Trinkwassers. *gwf Wasser-Abwasser* 139, Suppl. wasser spezial, 51–S58.“

### **Ende des Zitates.**

Wilfried Soddemann  
 Ltd. Regierungsbaudirektor i.R.  
 Bauassessor Dipl.-Ing.  
 BBU e.V. Mitglied  
 Bundesverband Buergerinitiativen Umweltschutz  
 dugi e.V. Mitglied  
 Deutsche Umwelt-Gesundheits-Initiative  
 IGUMED e.V. Mitglied  
 Interdisziplinäre Gesellschaft für Umweltmedizin

Mühlenstraße 5 B  
 D - 48351 Everswinkel  
 Tel.: 0 25 82 - 99 13 66  
 Fax: 0 25 82 - 99 12 29  
 eMail: [soddemann-aachen@t-online.de](mailto:soddemann-aachen@t-online.de)