

Entfernung von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung – Möglichkeiten einer Risikoabschätzung

Ergebnisse eines internationalen Fachgesprächs im Umweltbundesamt

Im November 2005 wurde im Umweltbundesamt ein Fachgespräch zur Elimination von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung durchgeführt. Zu dieser Zeit war im Bereich Trinkwasser die Vogelgrippe noch kein Thema in Deutschland, sondern es ging um die Frage, wie eine sichere Aufbereitung im Hinblick auf enterale Viren – wie Noroviren oder enterale Adenoviren – erreicht und dokumentiert werden kann. Die Ausführungen im folgenden Text beziehen sich daher auch nicht auf das aviäre Influenzavirus sondern auf enterale Viren. Am Ende unserer Ausführungen möchten wir daher kurz auf die Vogelgrippe im Hinblick auf die Trinkwassersicherheit eingehen.

An dem Fachgespräch nahmen 4 internationale und zahlreiche nationale Experten teil.¹ Die wichtigsten diskutierten Fragen und Empfehlungen sind im Fol-

genden kurz zusammengefasst. Ein mit allen Vortragenden abgestimmtes, ausführliches Protokoll (englischsprachig) kann unter <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/archiv/virus-flocculation.pdf> abgerufen werden.

Warum ist die Entfernung von Viren so wichtig?

Unter neu bekannt gewordenen Krankheitserregern (emerging pathogens) spie-

Prof. Dr. Exner, Institut für Hygiene und öffentliche Gesundheit, Universität Bonn;
Dr. J. Fleischer, Regierungspräsidium Stuttgart, Landesgesundheitsamt;
Dr. B. Hamsch, TZW Karlsruhe;
Dr. D. Hein, Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Düsseldorf;
Prof. Dr. Ch. Höller, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit;
Dr. B. Pätch, Westfälische Wasser- und Umweltanalytik GmbH;
Dr. D. Petersohn, Berliner Wasserbetriebe;
Prof. Dr. H. Pfister, Institut für Virologie der Universität zu Köln;
Dr. R. Suchenwirth, Niedersächsisches Landesgesundheitsamt;
Dr. A. Wiedenmann, Landratsamt Lörrach Vom Umweltbundesamt: Dr. I. Chorus, Dr. J.M. López-Pila, Dr. V. Mohaupt, Prof. Dr. U. Müller-Wegener, Dr. P. Renner, Dr. R. Szewzyk.

len Viren eine besondere Rolle. Viren sind strukturell einfacher gebaut als Bakterien und Parasiten und haben keinen eigenen Stoffwechsel. Diese Simplizität im Aufbau und im biochemischen Gefüge macht sie – je nach Virustyp – weniger empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen und/oder Desinfektionsmitteln als z. B. Bakterien. Es gibt zahlreiche Berichte über lange (Monate bis Jahre) Persistenzen von Viren in Oberflächengewässern und im Untergrund [1, 2]. Außerdem haben viele Viren eine sehr niedrige Infektionsdosis, d. h. bereits wenige Viruspartikel können ausreichen, um eine Infektion auszulösen.

Als akzeptables Risiko für trinkwasserbürtige Infektionen wird eine Infektion unter 10.000 Exponierten pro Jahr (10^{-4} , US EPA, WHO) [3] angegeben. Diese Forderung wurde in den Niederlanden bereits in die dortige Trinkwasserverordnung aufgenommen, um das Risiko durch Krankheitserreger zu begrenzen und Schwachpunkte der Trinkwasseraufbereitung gezielt zu identifizieren. Hinsichtlich Viren mit einer teilweise sehr niedrigen Infektionsdosis von wenigen Viruspartikeln bedeutet dies, dass in mehreren Tausend Liter Trinkwasser (10.000–100.000 l) keine Viren enthalten sein dürfen, um unterhalb des akzeptablen Risikos zu liegen.

¹ Die Experten waren:

Vortragende: Dr. Ana Maria de Roda Husmann, RIVM, Niederlande; Prof. Dr. Rosina Gironés, Universität Barcelona, Spanien; Prof. Dr. Willi Grabow, Universität Pretoria, Südafrika; Dr. Pia Lipp, TZW Karlsruhe, Deutschland; Prof. Dr. Peter Wyn-Jones, Universität Wales, UK
Weitere Experten:
Prof. Dr. K. Botzenhardt, Hygiene-Institut, Universität Tübingen;

Sind Bakterien gute Indikatoren für das Vorkommen von Viren?

Die Überwachung der seuchenhygienischen Qualität des Trinkwassers beruht auf dem Indikatorprinzip. Die Abwesenheit von *Escherichia coli* (in 100 ml Wasser) wird als Hinweis auf die Abwesenheit von fäkalen Verunreinigungen und damit von Krankheitserregern gewertet. Das mikrobiologische Indikatorkonzept, das auf *E. coli* und weiteren Bakterien (z. B. Enterokokken) beruht, hat sich seit Jahrzehnten bewährt, um trinkwasserbedingte Ausbrüche von Infektionskrankheiten zu verhindern und sollte auch weiterhin als Basis für die seuchenhygienische Überwachung von Trinkwasser eingesetzt werden.

Im Hinblick auf neu aufgetretene Krankheitserreger, die eine niedrige Infektionsdosis und eine hohe Umweltresistenz haben, wie z. B. Cryptosporidien-dauerformen oder Noroviren, reicht das Indikatorkonzept für eine Risikoabschätzung allein aber nicht aus. So wurden in Trinkwasserproben, die frei von Indikatorbakterien waren, Cryptosporidien und Viren nachgewiesen. Dies liegt an der höheren Empfindlichkeit von z. B. *E. coli* gegenüber Umweltstress und Desinfektionsmaßnahmen im Vergleich zu den genannten Krankheitserregern. Außerdem können Bakterien bei Filtrationsprozessen besser zurückgehalten werden als frei im Wasser vorkommende, nicht an Partikel gebundene Viren. Dadurch kann es zu Situationen kommen, bei denen durch die Aufbereitung *E. coli* entfernt oder abgetötet wurde, aber einige Viren und Cryptosporidien im fertigen Trinkwasser vorhanden sind.

Wie kann das Trinkwasser hinsichtlich Viren überwacht werden?

Die Überwachung des Trinkwassers im Sinne des Indikatorprinzips erfolgt als Endproduktkontrolle. Im fertig aufbereiteten Trinkwasser wird untersucht, ob die Anforderungen der Trinkwasserverordnung, u. a. nach Abwesenheit von *E. coli* und intestinalen Enterokokken in 100 ml Wasserprobe, erfüllt sind.

Die Anforderung, die man aufgrund der WHO-Empfehlung an das fertige

Trinkwasser hinsichtlich Viren stellen muss – Abwesenheit in z. B. 10.000 Liter –, lässt sich im Gegensatz dazu analytisch nicht überprüfen. Die Forderung der TrinkwV 2001 in § 5 (Abs. 1), dass im Trinkwasser „Krankheitserreger ... nicht in Konzentrationen enthalten sein (dürfen), die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen“, kann daher für Viren nicht durch eine Endproduktkontrolle überprüft werden. Eine Endproduktkontrolle des Trinkwassers auf Viren ist daher routinemäßig nicht möglich. Dies ist im Sinne der Risikokommunikation ein Problem, da der Verbraucher gewöhnt ist, sich bei seiner Einschätzung an messbaren Qualitätsvorgaben für das Endprodukt zu orientieren. In Ausbruchssituationen, wenn mit einer erhöhten Viruskonzentration gerechnet werden muss, kann eine Untersuchung des Trinkwassers dagegen sinnvoll sein.

Anstelle der nicht durchführbaren Endproduktkontrolle schlägt die WHO eine quantitative Abschätzung des Risikos der Gefährdung durch Viren vor. Der WHO-Ansatz der Entwicklung von „Water Safety Plans (WSP)“ für einzelne Trinkwasserversorgungssysteme verlangt die Bewertung der Rohwasserqualität und der Leistungsfähigkeit der eingesetzten Aufbereitungsverfahren zur Rückhaltung von Viren [3]. Aus der Konzentration der Viren im Rohwasser und der Leistungsfähigkeit der einzelnen Aufbereitungsschritte zur Elimination von Viren kann die theoretisch im Trinkwasser zu erwartende Konzentration an Viren (z. B. 4 in 100.000 l) und damit das theoretische Infektionsrisiko berechnet und mit dem akzeptablen Risiko verglichen werden.

Wie ist die Situation in Deutschland?

Die Philosophie hinter den „Water Safety Plans“ der WHO – d. h. die Ergänzung der Endproduktkontrolle mit der Kontrolle der Vorgänge bei der Wassergewinnung und -aufbereitung – deckt sich mit der Herangehensweise bei der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland. Die Endproduktkontrolle war nie als einzige Überwachungsstrategie konzipiert, vielmehr wurde großen Wert auf das Multi-barrierensystem – mit dem Ressourcen-

schutz als erster Barriere – gelegt. Die Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik bei Bau und Betrieb von Anlagen zur Trinkwasseraufbereitung wird in § 4 der TrinkwV 2001 gefordert und soll die Anlagensicherheit gewährleisten. Trinkwasser aus solchen Anlagen mit einem gut geschützten Einzugsgebiet wird aller Voraussicht nach die Kriterien der WHO auch hinsichtlich der Viren erfüllen. In manchen Bereichen ist der Ressourcenschutz in Deutschland aber nicht optimal oder die Aufbereitung ist der Rohwasserqualität nicht angemessen. In solchen Fällen könnte das Risiko für das Auftreten von Viren im Trinkwasser und damit das Infektionsrisiko höher sein als jenes, das von der WHO für vertretbar gehalten wird.

In Deutschland sind keine Erkrankungsausbrüche durch enterale Viren über das Trinkwasser bekannt, die sich auf die Trinkwasseraufbereitung zurückführen ließen. Einzelne Berichte über Erkrankungsausbrüche ließen sich immer auf Störfälle bei der Trinkwasserversorgung zurückführen, wie z. B. bei dem Erkrankungsausbruch durch Noroviren in Sachsen 2004 [4]. Dies zeigt, dass die Trinkwasseraufbereitung in Deutschland einen hohen Standard hat. Daraus zu schließen, dass wir in Deutschland gar keine Probleme mit Viren haben, ist allerdings nicht zulässig, da zerstreut vorkommende Einzelerkrankungen – auch wenn es sich um sehr viele handeln würde – epidemiologisch nicht erfasst werden. Wir müssen also andere Wege beschreiten, wenn wir sicher sein wollen, dass unser Trinkwasser hinsichtlich der Viren, die Anforderungen der TrinkwV 2001 und der WHO erfüllt und dies auch dokumentieren.

Was ist zu tun?

Aufgrund der guten Ausgangssituation in Deutschland mit der Philosophie des Multi-barrierensystems ist es nicht notwendig, Sofortmaßnahmen zu ergreifen. Es sollte vielmehr im Rahmen eines „Water-Safety-Plan“-Konzeptes Schritt für Schritt überprüft werden, mit welchen Konzentrationen an Viren im Trinkwasser zu rechnen ist und wie hoch das daraus berechnete Risiko im Vergleich zu dem akzeptablen Risiko nach WHO-Vorgaben

ist. Bei Überschreiten des akzeptablen Risikos ist für das jeweilige Wasserwerk zu überlegen, wie eine Verbesserung des Ressourcenschutzes oder der Aufbereitung erreicht werden kann.

Für eine solche Risikoabschätzung werden Informationen zum Vorkommen von Viren im Rohwasser und zur Effektivität der Aufbereitung hinsichtlich Virentfernung benötigt.

Bei der Untersuchung des Rohwassers ist es wichtig, nicht nur den Normalzustand zu erfassen, sondern auch außergewöhnliche Umstände (z. B. Starkregen, Überschwemmung, Schneeschmelze) einzubeziehen.

Das Rohwasser wird in der Regel mit Hilfe der Indikatorbakterien untersucht. Zur Erfassung des Ausmaßes der fäkalen Verunreinigung im Rohwasser ist dies auch sinnvoll und hilfreich. Bakterien sind, wie bereits erwähnt, aber nicht in allen Fällen gute Indikatoren für das Vorkommen von Viren. Viele Viren sind resistenter gegen Umweltstress als *E. coli* und Enterokokken, daher kann es auch im Rohwasser zu Situationen kommen, in denen trotz sehr geringen Konzentrationen an Indikatorbakterien humanpathogene Viren vorhanden sind. Der quantitative Nachweis aller wichtigen enteralen Viren im Rohwasser ist aber aus methodischen und aus Kostengründen nicht durchführbar. Aufgrund neuerer Forschungsergebnisse könnten weitverbreitete enterale Viren wie die enteralen Adenoviren sehr gute Kandidaten für die Überprüfung des Rohwassers auf enterale Viren insgesamt sein [5, 6]. Aber auch für diese „Indikatorviren“ sind Nachweisverfahren noch teuer und nur in wenigen Laboratorien verfügbar.

Als kostengünstige Alternative bietet sich die Untersuchung auf Coliphagen an. Phagen sind Viren, die Bakterien befallen; im Falle der Coliphagen dient *E. coli* als Wirtszelle. Phagen sind humanpathogenen Viren in Größe und Struktur ähnlicher als Bakterien und auch daher potenziell die besseren Indikatoren. Epidemiologische Studien haben einen Zusammenhang zwischen der Konzentration an Coliphagen in Badegewässern und (durch Viren ausgelösten) Durchfallerkrankungen gezeigt [5]. In anderen Studien wurde nachgewiesen, dass Coliphagen

gute Indikatoren für kultivierbare Enteroviren sind. Keine gute Korrelation wurde hingegen zwischen dem Vorkommen von Coliphagen und Noroviren gefunden. Coliphagen sind außerdem gute „Indikatorviren“ zur Überprüfung der Aufbereitung. Mit dem Parameter Coliphagen kann also die ganze „Kette“ vom Rohwasser über die Aufbereitung untersucht werden.

Für die Abschätzung der Elimination der Viren durch die Aufbereitung werden die einzelnen Aufbereitungs- und Desinfektionsschritte auf ihre Effektivität hinsichtlich der Entfernung oder Abtötung von Viren geprüft. Die Eliminationsleistungen der einzelnen Schritte werden zu einer Gesamteliminationsleistung addiert. Zur Überprüfung der Effektivität einzelner Prozesse zur Virenelimination eignen sich Coliphagen sehr gut, da sie eine ähnliche Größe und Struktur wie humanpathogene Viren aufweisen. Da die Konzentration an Viren und Coliphagen in geschützten Rohwässern voraussichtlich gering ist, lässt sich die Effektivität der Aufbereitung im normalen Betrieb der Anlagen wahrscheinlich nicht feststellen. Für eine Bestimmung der Eliminationsleistung kann es deshalb notwendig sein, in Versuchsanlagen die Konzentration der Coliphagen im Zulauf des zu untersuchenden Aufbereitungsprozesses durch Zugabe zu erhöhen.

Anhaltspunkte für die Effektivität einzelner Verfahren (Chlorung, Ozonbehandlung, Ultra- und Nanofiltration, Flockungsfiltration etc.) finden sich in den WHO-Empfehlungen [3]. Voraussetzung für die Effektivität ist natürlich immer, dass die Wasserversorgungsanlagen nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik gebaut und betrieben werden und dass die Funktionstüchtigkeit der Prozesse laufend kontrolliert wird.

Für Wasserwerke, die ihr Rohwasser aus geschützten Grundwässern beziehen, besteht keine Notwendigkeit, eine solche quantitative Risikoabschätzung durchzuführen, da nicht zu erwarten ist, dass Viren im Rohwasser vorhanden sind. Alle Wasserwerke, die Oberflächenwasser oder durch Oberflächenwasser beeinflusstes Wasser als Rohwasser verwenden, sollten sich Informationen zur Konzentration von Viren in ihrem Rohwasser und zur Leistungsfähigkeit ihrer Aufbereitung im

Hinblick auf Viren durch die bereits erwähnten Untersuchungen auf Coliphagen verschaffen.

Die Untersuchungen auf Coliphagen können in als typisch erkannten Situationen durch einzelne Untersuchungen auf humanpathogene Viren ergänzt werden. Werden bei den Untersuchungen auf Coliphagen Situationen erkannt, in denen mit einer erhöhten Konzentration an Viren im Rohwasser zu rechnen ist, sind Untersuchungen auf humanpathogene Viren besonders sinnvoll, um für die Worst-case-Situationen zusätzliche Informationen zu erhalten.

Für große Wasserwerke sollte diese auf Messungen basierte Risikoabschätzung als Einzelfallbetrachtung für das jeweilige Wasserwerk durchgeführt und bei Veränderungen im Einzugsgebiet oder bei der Aufbereitungstechnik wiederholt werden. Bei kleineren Wasserwerken muss geprüft werden, inwieweit typische Rohwässer und Aufbereitungsprozesse exemplarisch untersucht und die Ergebnisse im Analogieschluss auf andere Wasserwerke übertragen werden können.

Die Durchführung einer Risikoabschätzung zu Viren im Trinkwasser im Rahmen eines „Water-Safety-Plans“ hat 2 große Vorteile. Zum einen kann durch eine Dokumentation der Rohwasserqualität und der Effektivität der Aufbereitung die gute Qualität des Trinkwassers gemeinsam mit der durchzuführenden Endproduktkontrolle nachgewiesen werden. Zum anderen werden mögliche Probleme bei der Rohwasserqualität oder der Aufbereitung sichtbar gemacht, sodass gezielt Maßnahmen ergriffen werden können.

Vogelgrippe

Die Situation bei der Vogelgrippe unterscheidet sich grundlegend von den dargestellten Problemen mit humanpathogenen, enteralen Viren. Die Vogelgrippe ist eine Tierseuche. Nach dem bisherigen Kenntnisstand muss für eine Infektion des Menschen ein sehr enger, direkter Kontakt mit infizierten oder erkrankten Tieren bestehen. Die Konzentration an aviären Influenzaviren im Rohwasser ist voraussichtlich gering, ihre Entfernung oder Abtötung durch die Prozesse der Wasseraufbereitung mindestens so effi-

ziert wie bei den enteralen Viren. Es ist daher nicht davon auszugehen, dass es zu einer Kontamination des Trinkwassers mit aviären Influenzaviren kommt, die zu einer Infektion des Menschen führen könnte.

Im Internet hat das Umweltbundesamt unter <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/trinkwasser-aviaere-influenza.pdf> und <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/hintergrund/vogelgrippe-trinkwasser.pdf> zu Trinkwasser und aviärer Influenza Stellung genommen.

Korrespondierende Autoren

Dr. Regine Szewzyk · J. M. López-Pila · I. Feuerpfeil

Umweltbundesamt, Berlin
Corrensplatz 1
14195 Berlin, BRD
E-Mail: regine.szewzyk@uba.de

Literatur

1. Filip Z, Dizer H, Kaddu-Mulindwa D et al. (1986) Untersuchungen über das Verhalten pathogener und anderer Mikroorganismen und Viren im Grundwasser im Hinblick auf die Bemessung von Wasserschutz-zonen. WaBoLu Hefte 3: 1–121, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes
2. Dowd SE, Pillai SD (1997) Survival and transport of selected bacterial pathogens and indicator viruses under sandy aquifer conditions. *J Env Sci Hlth* 32(A): 2245–2258
3. World Health Organization: Guidelines for Drinking-water Quality (2004) Third edition, Volume I: Recommendations. World Health Organization, Geneva
4. Anonymus (2004) Zu einer Häufung von Norovirus-Erkrankungen als Folge verunreinigten Trinkwassers. *Epid Bull* 36: 301–302
5. Pina S, Puig M, Lucena F et al. (1998) Viral pollution in the environment and in shellfish: human adenovirus detection by PCR as an index of human viruses. *Appl Environ Microbiol* 64: 3376–3382
6. Jiang S, Noble R, Chu W (2001) Human adenoviruses and coliphages in urban runoff-impacted coastal waters of Southern California. *Appl Environ Microbiol* 67: 179–184
7. Wiedenmann A, Krüger P, Gommel S et al. (2004) Epidemiological determination of disease risk from bathing. Abschlussbericht UFOPLAN 298 61 503. Umweltbundesamt, Berlin

Neue Steckbriefe seltener und importierter Infektionserreger

Amöbenruhr, Fleckfieber, Histoplasmose, Malaria, SARS oder West-Nil-Fieber – Reisen in subtropische und tropische Regionen können mit erhöhten Gesundheitsrisiken verbunden sein.

Neben häufigen reiseassoziierten Gesundheitsproblemen wie Durchfall gibt es eine große Zahl seltener Erkrankungen, die Mediziner in Deutschland nur wenig vertraut sind. Sie sind in den „Steckbriefen seltener und importierter Infektionserreger“ zusammengefasst, die das Robert Koch-Institut in Kooperation mit dem Bernhard-Nocht-Institut jetzt in überarbeiteter Auflage veröffentlicht hat. Die Veröffentlichung richtet sich vorrangig an Mediziner, die von Patienten nach Tropenreisen aufgesucht werden. Die insgesamt 84 Steckbriefe sind übersichtlich gegliedert nach Erreger, Verbreitung, Infektionsweg, Inkubationszeit, Symptomatik, Prophylaxe, Diagnostik, Differenzialdiagnose, Therapie und gesetzliche Regelungen. Die Informationen zu den Krankheiten sind nach Erregertypen zusammengestellt und zusätzlich über einen umfangreichen Index erschlossen, der auch Differenzialdiagnosen berücksichtigt. Die Autoren der Steckbriefe sind Wissenschaftler vom Bernhard-Nocht-Institut für Tropenmedizin, vom Robert Koch-Institut und von der Universität Ulm.

Im Anhang werden die Ansprechpartner für den Notfall erläutert. Auf Fragen zur Diagnostik sind die Nationalen Referenzzentren (NRZ) und Konsiliarlaboratorien spezialisiert (eine Liste ist im Anhang der Steckbriefe enthalten, Adressen sind wegen der besseren Aktualisierbarkeit auf der RKI-Internetseite abrufbar), das NRZ für tropische Infektionserreger ist das Bernhard-Nocht-Institut in Hamburg mit einem Notdienst rund um die Uhr, der über die Telefonzentrale zu erreichen ist. Auch im RKI steht für spezielle infektions-epidemiologische Fragestellungen eine Rufbereitschaft zur Verfügung.

Vor einer Auslandsreise sollte eine sorgfältige reisemedizinische Beratung bei spezialisierten Ärzten oder Tropeninstituten erfolgen, die ebenfalls im Anhang der

Steckbriefe aufgeführt sind. Zu Infektionsrisiken im Ausland bietet das Auswärtige Amt Informationen an (www.auswaertiges-amt.de). Über aktuelle Infektionsrisiken informiert auch das Robert Koch-Institut im Internet oder im wöchentlichen Epidemiologischen Bulletin, eine individuelle Beratung Reisender ist beim Robert Koch-Institut aber nicht möglich.

Die Veröffentlichung „Steckbriefe seltener und importierter Infektionskrankheiten“ kostet 4 Euro und kann, gegen Rechnung, schriftlich bestellt werden: RKI, ZV 3.3., Burgstraße 37, 38855 Wernigerode, Fax 03943-679207, E-Mail info@rki.de. Außerdem sind die Steckbriefe als Pdf-Datei auf den RKI-Internetseiten abrufbar (www.rki.de).

*Quelle: Robert Koch-Institut
Redaktionelle Bearbeitung: Springer-Verlag*