

3 Trinkwasser

Konrad Botzenhart

3.1 Viren im Trinkwasser

3.1.1 Einführung

Die Weltgesundheitsorganisation weist den Viren im Trinkwasser als Infektionserreger eine hohe Bedeutung zu (WHO, 1993). Die biologischen Eigenschaften der Viren machen sie zu obligaten Zellparasiten, denn ihre Vermehrung ausschließlich in lebenden Zellen ist überwiegend mit einer Schädigung der Wirtszelle verbunden. Das Auftreten von Viren im Trinkwasser ist daher gewöhnlich mit einem Infektionsrisiko verbunden. Die Größe dieses Risikos hängt wesentlich davon ab, wieweit die infizierte Person für den jeweiligen Virustyp empfänglich ist und ob diese Viren geeignet sind, nach oraler Aufnahme eine Infektion zu verursachen.

Die Viren, von denen bekannt ist, daß sie nach oraler Aufnahme zu Erkrankungen führen, sind in Tabelle 3-1 aufgeführt. Man bezeichnet sie als enterale Viren, weil ihr Vermehrungsort der Magen-Darmkanal und seine Anhangsgebilde, wie z.B. die Leber, sind.

Eine Untergruppe dieser Viren bilden die Enteroviren, welche aber bei Darmerkrankungen, wie z.B. der Gastroenteritis, selten isoliert werden. Einige von den Coxsackie-, Echo- und Polioviren können die Grenzen des Eingeweidesystems überschreiten und schwere Allgemeinerkrankungen und Erkrankungen des Zentralen Nervensystems verursachen.

Bei der Gastroenteritis des Menschen werden vorwiegend Rotaviren, Caliciviren (z.B. Norwalk-Virus), Astroviren und enterale Adenoviren gefunden. Ihnen ist gemeinsam, daß sie zu den am einfachsten aufgebauten Viren gehören. Als nackte Viren besitzen sie die gegen fettlösende Agentien empfindliche Hülle (Envelope) der „enveloped“ Viren nicht. Die Viren der Poliomyelitis, der Hepatitis A und Hepatitis E verursachen unter den durch Trinkwasser übertragbaren Viren die bedeutendsten Krankheiten. Hepatitisepidemien werden

nicht selten über Trinkwasser übertragen. Die Poliomyelitis (spinale Kinderlähmung) manifestiert sich außergewöhnlich selten in Wasserepidemien, obwohl das Poliovirus hochinfektiös ist, von Infizierten massenhaft mit dem Stuhl ausgeschieden wird und im Abwasser und anderen Wasserarten lange nachweisbar ist. Durch die Entwicklung von Impfstoffen durch Albert B. Sabin und Jonas Salk und die Einführung einer generalisierten Impfung der Kinder seit Beginn der sechziger Jahre ist die Poliomyelitis in den entwickelten Ländern weitgehend verschwunden (Abb. 3-1, 3-2). Die Seltenheit von Krankheitsausbrüchen weltweit dürfte aber auch an der niedrigen klinischen Manifestationsrate der Infektion als auch an einer verbreiteten Immunität gegen Poliomyelitis liegen, während die Hepatitis A und E weltweit immer wieder auf empfängliche Bevölkerungsgruppen trifft.

Zuverlässige Seuchenstatistiken und epidemiologische Analysen wasserbedingter Epidemien sind aber bisher auch nur in Ländern mit gut ausgeprägter Infrastruktur vorhanden. Zur Evaluierung der Rolle der Trinkwasserübertragung für die Poliomyelitissituation in Entwicklungsländern ist wenig bis nichts bekannt. Die Übertragung von tierpathogenen Viren über Trinkwasser auf den Menschen scheint bei Rota- und Reoviren sowie Schweinepicornaviren nicht ausgeschlossen (MAYR, 1980; WECKERLE, 1988), ist aber bisher nicht schlüssig belegt.

3.1.2 Übertragungswege

Enterale Viren werden oral (evtl. mit Trinkwasser) in den Organismus aufgenommen, vermehren sich in den Zellen des Verdauungstraktes und werden über den Stuhl ausgeschieden. Sie können somit im Abwasser erscheinen und über den künstlichen Wasserkreislauf in das Trinkwasser gelangen.

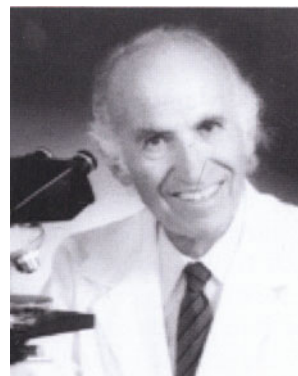
Die durch Trinkwasser übertragbaren Viren stammen in aller Regel aus menschlichen Ausscheidungen, meistens aus dem Stuhl. Der häufigste

Tabelle 3-1. Zusammenstellung der humanpathogenen enteralen Viren (nach TOUGIANIDOU und BOTZENHART, 1993)

Virusgruppe	Nukleinsäuretyp	Anzahl der Serotypen	Krankheitsmerkmale
Adenovirus	dsDNA	47	Pharyngitis Konjunktivitis, Atemwegserkrankungen, Übelkeit, Diarrhoe
Astrovirus	ssRNA	5	Übelkeit, Diarrhoe
humane Caliciviren (Norwalk-like und Sapporo-like Genotypen)	ssRNA	unbekannt	Epidemische Übelkeit, Diarrhoe
Coronavirus	ssRNA	1	Übelkeit, Diarrhoe
Hepatitis E-Virus	ssRNA	1	Hepatitis
Hepatovirus (Hepatitis A)	ssRNA	1	Fieber, akute hämorrhagische Konjunktivitis, Hepatitis
<i>Enteroviren</i>			
Poliovirus	ssRNA	3	Paralyse, Meningitis, Fieber
Coxsackievirus A	ssRNA	24	Herpangina, Atemwegserkrankungen, Meningitis, Fieber
Coxsackievirus B	ssRNA	6	Myocarditis, congenitale Herzanomalien, Fieber, Exanthem, Meningitis, Atemwegserkrankungen, Pleurodynie
Echovirus	ssRNA	34	Meningitis, Atemwegserkrankungen, Fieber, Exanthem, Diarrhoe
Enteroviren, 68–71	ssRNA	4	Meningitis, Encephalitis, respiratorische Erkrankung,
Rotavirus	dsRNA	4	Übelkeit, Diarrhoe

und einfachste Weg ins Trinkwasser verläuft vom Abwasser über Oberflächenwasser mit Einbruch ins Trinkwasser nach unzureichender Trinkwasseraufbereitung. Auch oberflächliche Abschwemmungen von mit Jauche, Abwasser oder Klärschlamm gedüngten Flächen oder Sickerwässer von Depo- nien können zur weiteren Virusverschleppung füh- ren. Hierdurch kann auch das Grundwasser kontaminiert werden, in welchem Viren viele Mo- nate überdauern können. Bei gut filtrierenden Schichten werden die Viren in den oberen Boden- schichten zurückgehalten und mit der Zeit inakti- viert, so daß Grundwasser keine Viren enthalten

sollte. Dies trifft aber für Karstgrundwasser und für Uferfiltrationsstrecken mit stark wechselnden Korngrößen nicht zu. Unter ungünstigen Umstän- den kann auch Grundwasser mit Viren belastet sein. In jedem Fall steht aber am Ausgangspunkt einer Infektkette über Wasser dessen fäkale Ver- unreinigung (Abb. 3-3). Einen wirksamer Schutz ist dann nur durch Verhinderung oder Unterbre- chung von Übertragungswegen möglich. Damit scheint logisch, daß Fäkalindikatoren natürlich ebenso Hinweise auf Virusbelastung wie auf bak- terielle Belastung gestatten. Diese Annahme ist aber bei antimikrobiell behandeltem Wasser trü-

**Abb. 3-1.** Albert B. Sabin**Abb. 3-2.** Jonas Salk

Fäkal- oraler Kreislauf der enteralen Viren

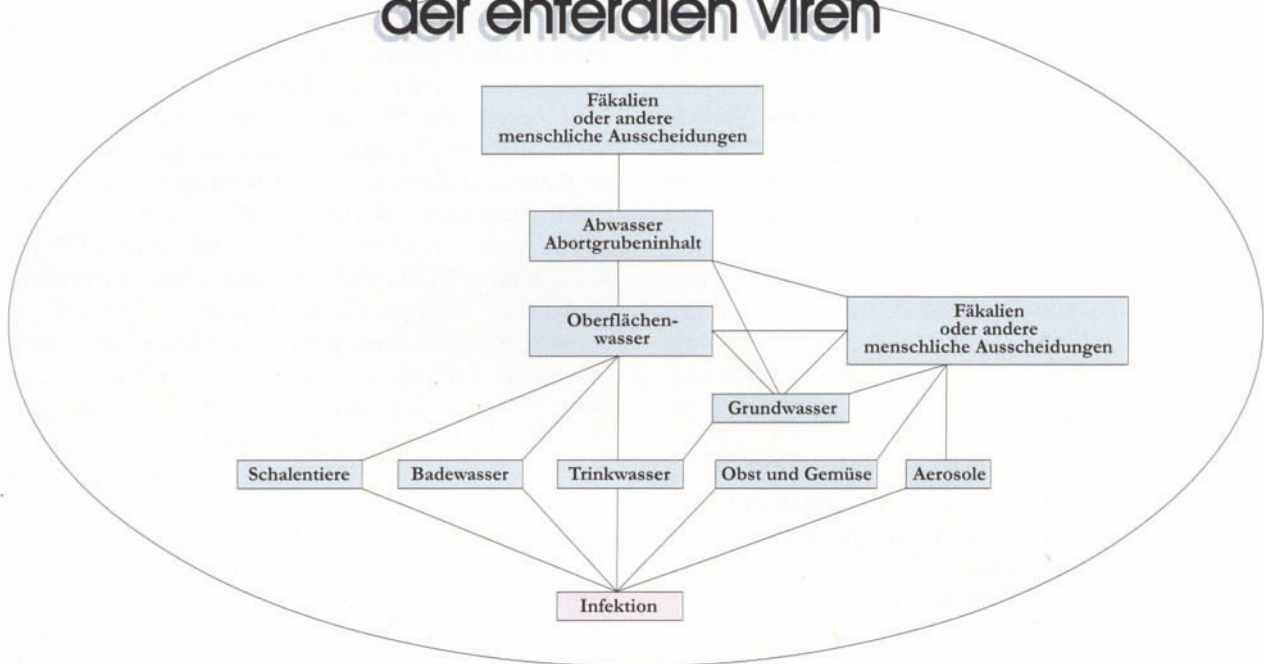


Abb. 3-3. Fäkal-oraler Kreislauf der enteralen Viren

gerisch, wie einige der im folgenden geschilderten Zwischenfälle zeigen.

3.2 Historischer Überblick

3.2.1 Chronologie des Nachweises von Viren im Trinkwasser

Bereits in den zwanziger bis zu den vierziger Jahren unseres Jahrhunderts wurden Viren im Trinkwasser nachgewiesen. Die Methoden waren damals keinesfalls standardisiert und nur von geringer Sensitivität. Trotzdem gelang es, aus öffentlichen Trinkwassersystemen und von Wasserwerken, welche das Wasser durch Filtration und Flockung behandelt hatten, humanpathogene Viren nachzuweisen.

Wahrscheinlich war Kling in Schweden überhaupt der erste, der Viren im Trinkwasser fand (KLING, 1928). 1928 untersuchte er Wasser aus einem Brunnen, von dem ein Poliomyelitiskranker vor Ausbruch der Erkrankung getrunken hatte. Dabei gelang ihm die Isolierung von Poliovirus durch Verimpfung einer Wasserprobe auf Rhesusaffen (*Macacus rhesus*, Abb. 3-4). Wie sich

später herausstellte, war der Brunnen fäkal kontaminiert gewesen.

Im 2. Weltkrieg häuften sich bei den Truppen an allen Fronten Erkrankungen an infektiöser Leberentzündung und griffen auch auf die Zivilbevölkerung über. Nach Winkle erkrankten mehr als 10 Millionen allein in Deutschland (WINKLE,



Abb. 3-4. Affen als Versuchstiere in der Virologie (aus VERSTEEG, 1985)

1997). Die Ursache war in vielen Fällen unklar, da man Hepatitis A und Hepatitis B noch nicht unterscheiden konnte und im militärischen Bereich die Hepatitis B sehr häufig durch unsterile Spritzen, Blut und Blutprodukte übertragen wurde. 1944 kam es in einem Sommerferienlager in den USA zu einer Hepatitis-Epidemie, in deren Verlauf 350 von 572 Kindern erkrankten. Eine Aufklärung der Infektionsquelle war dringlich. Dies gelang Neefe und Mitarbeitern, indem sie freiwilligen Versuchspersonen Wasser aus der Trinkwasserversorgung des Sommerferienlagers verabreichten und diese sich dadurch ebenfalls infizierten (NEEFE und STOKES, 1945). Damit war der fäkal-orale Modus dieser Hepatitisform bewiesen, welcher sich später als charakteristisch für HAV und HEV bestätigen sollte.

Die nächste, aufsehenerregende Entdeckung kam aus Frankreich. In einer Studie in den sechziger Jahren entdeckte Coin in Wasserproben aus dem Pariser Leitungsnetz Polio-, Coxsackie- und Echoviren. Die mittlere Viruskonzentration betrug 1 Viruspartikel in 250 l. Zum Virusnachweis wurden bereits Zellkulturen verwendet (COIN, 1964). Dieses Ergebnis führte bei seiner Publikation zu einer Bestürzung der Pariser Öffentlichkeit und zog Sanierung mit Einführung modernster Verfahren der Trinkwasseraufbereitung in Paris nach sich. Wei-

terhin wurde ein vorbildlich betriebenes Monitoring eingerichtet (COIN, 1965). 1972 berichteten Mack und Mitarbeiter aus den USA über die Isolierung von Polioviren aus dem Wasser eines 30,5 m tiefen Trinkwasserbrunnen, der 91,5 m von einer Abwasserlandbehandlung lag (MACK et al., 1972).

Eine für die Wasserversorgung von Ostberlin nachhaltige Wirkung hatte auch die Virusbelastung im Roh- und Reinwasser des Berliner Wasserwerks Friedrichshagen (WALTER, 1975; Abb. 3-5). Sie wurde von November 1972 bis Oktober 1973 im Verlauf einer Virusstudie entdeckt. Man hatte diese in Auftrag gegeben, da das Wasserwerk sein Rohwasser zu 50% aus dem benachbart liegenden Müggelsee und nur zu ca. 50% aus Grundwasser entnahm. Die Technologie der Aufbereitung des Oberflächenwassers bestand aus Mikrosiebfiltration, Belüftung, Langsandsandfiltration und Chlorung.

Der Virusnachweis auf Zellkulturen gelang in 13 von 46 Roh- und in 19 von 46 ungechlorten Reinwasserproben über den gesamten Untersuchungszeitraum. Im ungechlorten Reinwasser waren im Mittel 0,6 MPNCU/l, maximal jedoch 48 MPNCU/l, nachweisbar. Bei den sich sofort anschließenden Recherchen zeigte sich, daß das Wasser des Müggelsees als Trinkwasserressource gegen fäkale Belastungen nicht ausreichend ge-

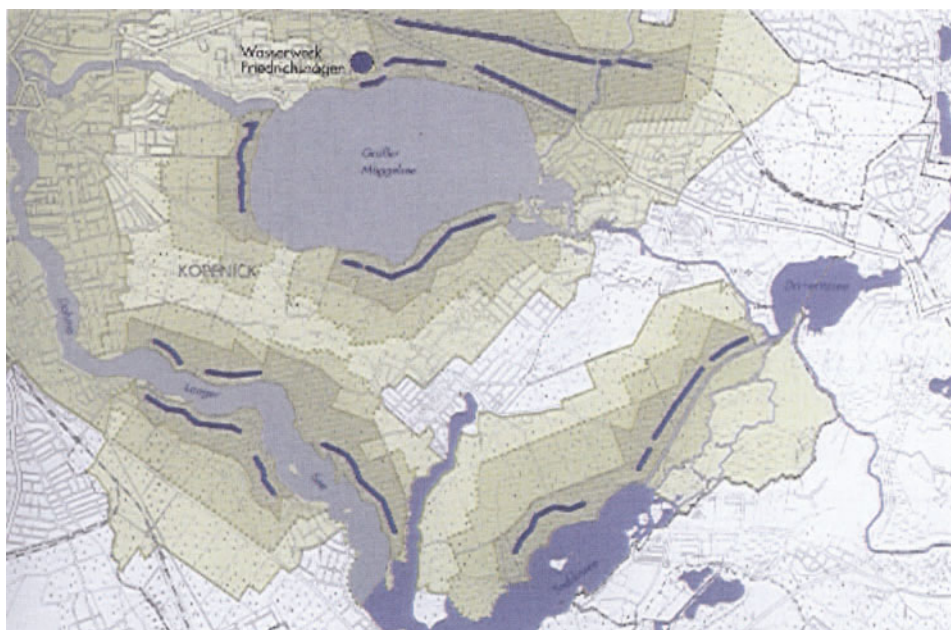


Abb. 3-5. Einzugsgebiet des Wasserwerkes Friedrichshagen, Trinkwasserschutz in Berlin

schützt war. Die Ursache des Virusdurchbruches in das Reinwasser war aber in einer weitgehenden mechanischen Reduktion der biologisch aktiven Schicht des Langsandsfilters begründet. Durch mechanische Abtragungs- und Auswaschungsprozesse war die ursprünglich 60 cm starke aktive Filterschicht bis auf teilweise 5 cm reduziert worden. Ähnlich wie in Paris wurden von den Ostberliner Wasserwerken sofort Sanierungsmaßnahmen gesetzt. In der sich anschließenden Kontrollstudie konnten im Reinwasser keine Viren mehr nachgewiesen werden.

Einen beträchtlichen Aufschwung der umweltvirologischen Forschung ereignete sich im Gefolge der Ereignisse in Georgetown, Texas, USA, im Sommer 1980. In dieser Stadt trat eine Trinkwasser-epidemie auf, in deren Verlauf ca. 8000 Personen an Durchfall und vier Wochen später 36 Personen an Hepatitis A erkrankten (HEJKAL et al., 1982). Die Forscher vom Baylor College of Medicine fanden im Wasser jener Brunnen, aus denen die Stadt ihr Trinkwasser gewann, und in einer Zapfhahnprobe Coxsackieviren B2 und B3. In einem der Brunnenwässer wurde das Hepatitis A-Virus bereits einen Monat vor dem Krankheitsbeginn nachgewiesen. Dies war ein weltweit erstmaliger und auch aus heutiger Sicht einmaliger Befund. In allen Proben betrug der freie Restchlorgehalt ca. 0,8 mg/l.

Ein weiteres Mal gelang der Virusnachweis in einer Trinkwasserressource im Verlauf einer Epidemie in Halle/Saale, Ostdeutschland. Um die Jahreswende 1981/82 kam es zu einem Hochwasser der Saale (Abb. 3-6), bei dem eine Brunnengalerie des Wasserwerkes Beesen, welches zu 90% Ufer-



Abb. 3-6. Die Saale (Wasserressource für das Wasserwerk Beesen) (Foto: Walter)

filtrat der Saale als Trinkwasserressource nutzte, überflutet wurde (Abb. 3-7). Eine Woche danach, beginnend mit 5.12.1981, erkrankten insgesamt 10511 Einwohner der südlichen Stadtbezirke von Halle und von Halle-Neustadt mit Durchfall und Erbrechen (Abb. 3-8). In einer 10 l Probe nicht-desinfizierten Brunnenwassers aus der überschwemmten Brunnengalerie wurden enterale Viren nachgewiesen (WALTER et al., 1982).

Den Einfluß von Regen- und Trockenzeiten auf die virologische Qualität des Trinkwassers untersuchten Detz und Mitarbeiter (1984) in Guadalajara, Mexiko. Im August 1978 (Regensaison) wurden in 10 Wasserproben (20 l) Rota-, aber nur in 5 Proben Coxsackieviren gefunden. Im Dezember 1979 (Trockensaison) entdeckten sie Rotaviren nur in 3 von 21 Proben, während Enteroviren sich jetzt häufiger, tatsächlich in 8 der 21 Proben nachweisen ließen. Die Enteroviren wurden in Trinkwasser mit sonst einwandfreier Qualität (0 Totalcoliforme/100 ml; Trübung <1 NTU, freies Chlor >0,5/l) gefunden (DETZ et al., 1984). Aus Wuhan, China, berichteten ZHANG und Mitarbeiter (1984) über die Isolierung von Adenoviren und Coxsackie B1, B2, B3, B4 und B6 aus 1 l Trinkwasserproben. Nähere Angaben zur Wasserbehandlung wurden nicht gemacht.

Fast 40 Jahre nach Neefe und Mitarbeitern gelang es 1981 einer Gruppe um Mark Sobsey, sowohl über Zellkulturen als auch über die Infektion von zwei Schimpansen, HAV im Trinkwasser nachzuweisen (SOBSEY et al., 1985). In einer kleinen ländlichen Gemeinde mit 330 Einwohnern traten im Frühling 1981 insgesamt 14 Hepatitis A-Infektionen auf. Bei der Untersuchung des Wassers von 5 Brunnen und einer Quelle konnten in drei Brunnen und der Quelle HAV in 500 bis 1000 l Wasserproben nachgewiesen werden.

Die modernen Möglichkeiten des Virusnachweises und damit der Epidemianalyse und Bekämpfung zeigt ein Bericht über einen Hepatitis A-Ausbruch in Kanada. Während des Sommers 1995 wurde 16 Hepatitis A-Erkrankungen dem Centre de Santé Publique de Quebec mitgeteilt. Alle Patienten lebten auf dem Orleans Island im St. Lawrence Strom. Häusliche Brunnen waren die einzige Wasserquelle. Das Abwasser wurde über Fäkalgruben entsorgt. Über den Einsatz der Immunocapture RT PCR konnten sowohl in drei Hausbrunnen, im Fäkalgrubenschlamm und im Stuhl von vier Patienten HAV-spezifische PCR-Produkte nachgewiesen werden. Alle Isolate wiesen zwei typische Kapsid codierende Regionen des



Abb. 3-7. Luftaufnahme, Überflutung der Fassungsanlagen des Wasserwerkes Beesen, E = Weiße Elster, S = Saale (aus DÜRKOP, 1991)

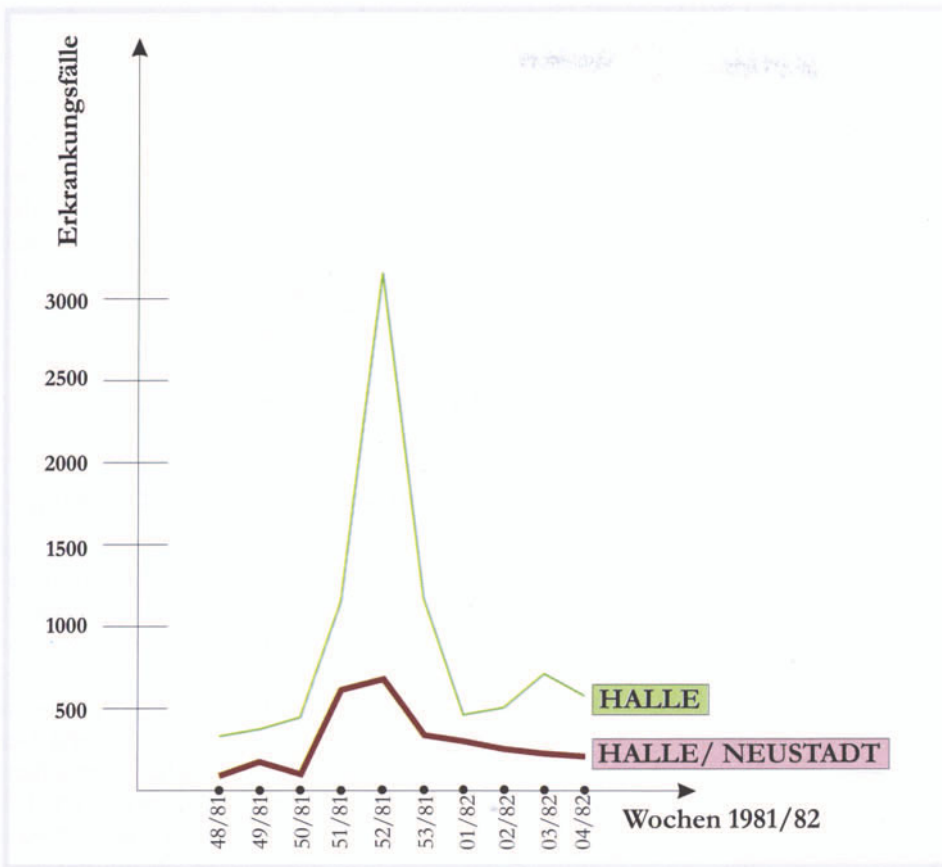


Abb. 3-8. Epidemieverlauf

Genoms (Orlean Sequences) auf und waren somit identisch. Der Nachweis im Brunnenwasser gelang auch noch 6 Monate nach der initialen Kontamination des Brunnenwassers, zu einem Zeitpunkt, da Fäkalcoliforme längst nicht mehr nachweisbar waren (DESERRES und LALIBERTE, 1997).

Resümee

Gastroenteritisepidemien treten nach einer sehr kurzen Inkubationszeit auf und die suspekten Wasservorkommen sind mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit noch zur virologischen Analytik geeignet. Es lohnt sich aber auch im Verlauf von Hepatitis A-Ausbrüchen das Wasser auf Viren zu untersuchen. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich um kleinere und lokal begrenzte Wasservorkommen handelt, da hier eine längerfristige Kontamination erwartet werden kann. Der Einsatz der IC RT-PCR gestattet den Genomnachweis über einen vergleichsweise langen Zeitraum.

Wasserversorgungsanlagen mit Aufbereitung und Desinfektion entsprechend dem Stand der Technik können, wie das Beispiel aus Kanada zeigt, unerwartet Virusbelastungen aufweisen und damit ein potentielles Gesundheitsrisiko für die Konsumenten beinhalten. Solche Befunde müssen Anlaß zu Risikobewertung, gegebenenfalls Aufklärung und Sanierungsmaßnahmen sein. Virus-

Tabelle 3-2. Nachweis von Hepatitis A-Viren mittels Radioimmunofocusassay in Martin's Crossroad, Washington County, Maryland, USA (SOBSEY et al., 1985)

Brunnencode	Radioimmuno-Focus-Units (RFU) pro Liter Trinkwasser
1	58
2	<0,03
3	0,06
4	88
5	<0,04
Quelle	0,04

Kontamination von Trinkwasser kann weltweit, sowohl in den Industrienationen als auch in unterentwickelten Ländern auftreten. Sie ist ein globales Phänomen, welches von der WHO für die in den Entwicklungsländern auftretende hohe Kindersterblichkeit mit verantwortlich gemacht wird. Auch in gechlorten Wässern wurden Viren nachgewiesen, denn die Chlorung allein bewirkt keine zuverlässige Desinfektion. Verschmutztes Rohwasser muß erst durch sorgfältige und kontrollierte Aufbereitungsmaßnahmen so konditioniert werden, daß Chlor auch Viren wirksam inaktivieren kann.

3.2.2 Epidemiologie der Virusübertragung durch Trinkwasser

Eine Virusverbreitung mit dem Trinkwasser läßt sich sofort vermuten, wenn es sich bei einer großen Zahl von gleichzeitig Erkrankten um ähnliche Krankheitsbilder mit charakteristischen Symptomen („Explosivepidemie“) handelt (Abb. 3-9). Dies setzt voraus, daß die Viruskontamination hoch und die Bevölkerung gegen die relevanten Virustypen überwiegend nicht oder nicht mehr ausreichend immun war.

Eine eindeutige klinische Diagnose erleichtert die Aufdeckung der epidemiologischen Zusammenhänge. Auch die räumliche Verteilung des Wohnortes der Erkrankten ist von Bedeutsamkeit. Stimmt diese annähernd mit dem Wasserverteilungsgebiet überein, so ist Trinkwasser als Infektionsquelle wahrscheinlich. Recherchen zur Art der Wasserversorgung und -verteilung werden endgültige Aufklärung bringen.

Schwieriger wird die epidemiologische Zuordnung der Virusübertragung durch Wasser dann, wenn nur vereinzelt (sporadisch) aber kontinuierlich Krankheitsfälle in einer Konsumentengruppe verursacht werden, in der ähnliche Krankheitsbilder auch ohne Wasserübertragung immer wieder einmal auftreten. Auch multiätiologische Infektionen mit den gleichen klinischen Erscheinungen, wie z.B. Durchfallerkrankungen (PAYMENT et al., 1991), sind schwer einem bestimmten Übertragungsweg zuzuordnen. Daher wird man bei solchen Infektionsgeschehen selten den Beweis der Trinkwasserübertragung führen können.

3.3 Infektionsdosis und Risikoabschätzung

Ehe es zu einer Infektion, d.h. zu einer Vermehrung der Viren im menschlichen Wirt kommt, muß zumindest die minimale infektiöse Dosis (MID) aufgenommen werden. Fast jede Virusinfektion kann klinisch unerkennbar verlaufen, wie dies z.B. bei Poliomyelitis häufig ist. Solche Verlaufsformen sind nur an der Virusausscheidung im Stuhl und der Immunreaktion des Körpers auffindig zu machen. Die Entwicklung einer klinisch manifesten Erkrankung ist von der Abwehrlage des Betroffenen und von den Virulenzeigenschaften des involvierten Virustyps abhängig. Eine MID kann daher nicht als absolute Größe verstanden werden. Sie ist stets als Wahrscheinlichkeit infiziert zu werden, also z.B. als MID₅₀ oder MID₁₀ (als 50 bzw 10% Risiko) zu betrachten. Wenn ein Trinkwasser mit sehr niedriger Viruskonzentration von sehr vielen Personen konsumiert wird, können aber trotz höher berechneter MID evtl. doch einige Menschen erkranken.

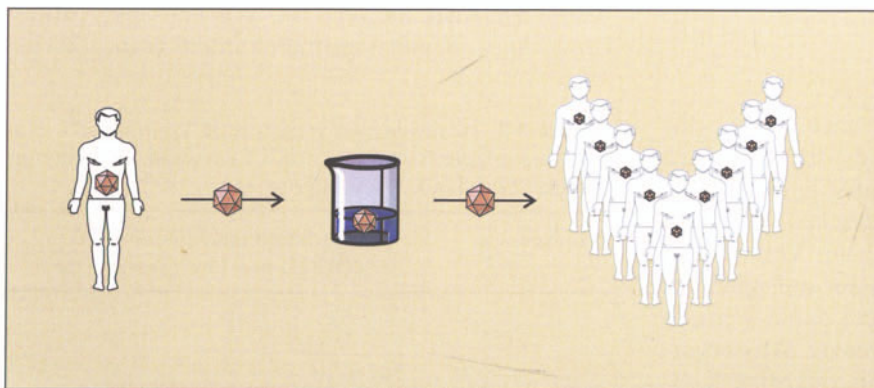


Abb. 3-9. Virusübertragung über Trinkwasser

3.3.1 Minimale Infektionsdosis

Die experimentelle Bestimmung der MID würde Versuche am Menschen bedingen. Da dies grundsätzlich ethisch nicht vertretbar ist, liegen nur wenig gesicherte Daten vor. Im Gegensatz zu bakteriellen Infektionen kann aber offenbar die Aufnahme von sehr wenigen infektiösen Viruseinheiten eine Infektion bzw. Erkrankung auslösen. Für Enteroviren, z.B. dem Poliovirus, liegt die MID nach experimentellen Untersuchungen bei 10 bis 100 infektiösen Einheiten, bei Rotaviren vermutlich zwischen 1–10 infektiösen Viruspartikeln (KATZ, 1967; MINOR, 1981a; SCHIFF, 1984a). Infektionen mit Viren über Trinkwasser sind wegen der normalerweise geringen Virusdichte/Volumen generell an eine niedrige MID gebunden.

Die Kenntnis der MID ist erforderlich, um Anforderungen an die Desinfektion zu definieren. Trinkwasserdesinfektion hat das Ziel, die Übertragung von Infektionskrankheiten zu verhindern. Die Desinfektionsmaßnahmen reduzieren in Abhängigkeit von Einwirkungszeit und Konzentration des Desinfektionsmittels sowie weiteren Randbedingungen nahezu alle Krankheitserreger im Wasser. Eine vollständige Entfernung oder Inaktivierung der Viren in beliebig großen Wassermengen ist schwer zu erreichen und noch schwieriger zu beweisen. Einer ungezielten Überdosierung des Desinfektionsmittels aus Sicherheitserwägungen („Overkill-Verfahren“) sind durch die Bildung von gesundheitsschädlichen Desinfektionsnebenprodukten, organoleptischen Problemen und Kostengründen aber deutliche Grenzen gesetzt.

Mit Hilfe der MID kann aus der Virusbelastung des Rohwassers unter Zugrundelegen eines maximal akzeptablen Erkrankungsrisikos für die Konsumenten das Ausmaß der notwendigen Erregerreduktion errechnet und danach die Desinfektionsmaßnahme dimensioniert werden. Nach diesem Prinzip wurden z.B. in der Surface Water Treatment Rule der USA (ANONYMUS, 1989; BOTZENHART, 1994) die Konzentrationen und Einwirkungszeiten für Desinfektionsmittel festgelegt. Diese US-amerikanische Regelung beruht auf einer Risikoschwelle von maximal 1 Infektion pro 10 000 Einwohner und Jahr.

3.3.2 Das akzeptable Risiko

REGLI und Mitarbeiter (1991) haben für 5 Virusarten mit Hilfe von Modellrechnungen die maximalen Viruskonzentrationen im Wasser ermittelt,

welche dem akzeptablen Risiko von 1 Infektion/10 000 Einwohner/Jahr bei täglicher Aufnahme von 2 l Trinkwasser entsprechen (K_{\max}). Tabelle 3-3 präsentiert diese Daten, das korrespondierende Wasservolumen, welches virusfrei sein muß (V_{m^3}), und die Wahrscheinlichkeit einer Infektion bei Aufnahme von einer infektiösen Viruseinheit (P_i). Größe des Probevolumens und Höhe der Probenzahl zum Nachweis, daß der in der Tabelle angegebene Grenzwert mit einer definierten Wahrscheinlichkeit nicht überschritten wird, lassen sich statistisch ermitteln. Für eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von <5% wären demnach 500 Proben von je 2000 l erforderlich.

GERBA und HAAS (1988) haben für das Hepatitis A-Virus und Poliovirus Typ I das Risiko für Infektion, Erkrankung und Todesfall differenziert. Geht man beispielsweise bei Hepatitis A-Virus von einer infektiösen Einheit/10 l Trinkwasser aus, so liegt das tägliche *Infektionsrisiko* bei 2,9/1000 der Bevölkerung, das jährliche bei 6,6/10 und das lebenslängliche bei 1/1, d.h. jeder Mensch würde einmal im Leben eine Infektion an infektiöser Gelbsucht aquirieren. Das *Erkrankungsrisiko* würde täglich bei 2,2/1000, jährlich 5,6/10 und lebenslänglich bei 1/1 liegen. Das *Todesrisiko* betrüge täglich 1,3/100 000, jährlich 4,9/1000 und lebenslänglich 2,9/10. Die Autoren kommen bezüglich der maximal zulässigen Viruskonzentrationen im Trinkwasser zu ähnlichen Richtwerten wie Regli und Mitarbeiter. Zum Schutz vor Infektion mit Polioviren müssen mindestens 1,1 m³ und vor Hepatitis A 78 m³ Trinkwasser virusfrei sein. Aus diesen Berechnungen geht hervor, daß durch stichprobenartige virologische Untersuchungen des aufbereiteten Trinkwassers die Einhaltung des postulierten Grenzkrisikos von maximal einer Erkrankung auf 10 000 Einwohner pro Jahr nicht sichergestellt werden kann, da die

Tabelle 3-3. Übersicht der Daten zum minimalen Infektionsrisiko über Trinkwasser

Virusspezies	K_{\max}	V_{m^3}	P_i
Rotavirus	$2,22 \times 10^{-7}$	4504,5	0,2
Poliovirus III	$2,65 \times 10^{-7}$	3773,6	0,2
Poliovirus I ^a	$1,51 \times 10^{-5}$	66,2	0,009
Poliovirus I ^a	$1,91 \times 10^{-3}$	0,5	0,00008
Echovirus 12	$6,85 \times 10^{-5}$	14,6	0,002

^aDen Zahlen für Poliovirus I liegen verschiedene Berechnungsverfahren für das Infektionsrisiko zugrunde (nach REGLI et al., 1991)

erforderlichen Probenvolumina einfach zu groß wären. Obwohl im Abwasser *E. coli*, coliforme Bakterien oder Enterokokken 1000 bis 10 000 mal konzentrierter als Viren auftreten, würde aus der Abwesenheit von Fäkalindikatoren (*E. coli*) in einer 100 ml Probe eine zuverlässige Indikation der Virusfreiheit von Trinkwasser nicht möglich sein. Dazu müßte man das Untersuchungsvolumen erheblich steigern. Aus diesem Grunde schreibt die Surface Water Treatment Rule der USA (ANONYMUS, 1989) keine Untersuchung auf Viren vor, fordert aber den Nachweis, daß die angewandten Chlorkonzentrationen und -einwirkungszeiten (das sog. CT-Produkt) ausreichend hoch dosiert ist, um eine Reduktion der Viruskonzentration im Wasser um den Faktor 99,99% zu sichern. Ergänzend wird eine laufende Kontrolle der Trübung und Einhaltung der bakteriologischen Grenzwerte verlangt.

3.4 Kasuistik von Trinkwasser-Epidemien

3.4.1 Hepatitis

Die Virushepatitis gehört nach Einschätzung der WHO zu den Krankheiten, die mit am häufigsten über Wasser übertragen werden. Hepatitis-Wasserepidemien sind schon im vorigen Jahrhundert beschrieben worden. So war es in der schwedischen Stadt King's Lynn nach starken Regenfällen zu einer Hepatitisepidemie gekommen, deren Übertragung auf dem Wasserweg bewiesen werden konnte (PLOWRIGHT, 1886). Solche und ähnliche Virusepidemien sind in vielen Ländern aufgetreten. In den USA sind von 1946–71 nicht weniger als 66 vermutlich trinkwasserbedingte Hepatitis-Epidemien belegt. Walter bringt eine Übersicht von 70 Hepatitis-Epidemien über Trinkwasser aus dem Zeitraum von 1896 bis 1974 (WALTER, 1975; Abb. 3-10). Auch in jüngeren Berichtsperioden taucht die Hepatitis A wiederholt auf (CRAUN, 1976; HERWALDT, 1992).

3.4.1.1 Hepatitis E-Kasuistik

Trinkwasserepidemien mit außergewöhnlichen Befallsraten werden im allgemeinen durch Hepatitis E-Virus verursacht.

New Delhi, Indien: Die einzigartige, in Fachkreisen international Aufsehen erregende Epidemie, brach 1955/56 in New Delhi, Indien, aus. In ihrem Verlauf

erkrankten ca. 30 000 Personen, etwa 2% der Bevölkerung und 73 Personen, vorwiegend Schwangere, verstarben. Nach starken Regenfällen war der Jamuna-River über die Ufer getreten und eine mit Abwasser belastete Flußstrecke in das Gebiet der Trinkwassergewinnung zurückgestaut worden. Das geförderte Trinkwasser bestand daher zeitweilig bis zu 50% aus Abwasser. Die örtlichen Behörden hatten die Gesundheitsgefahr für die Bevölkerung rechtzeitig erkannt und das Trinkwasser sehr stark gechlort. Mit dieser Maßnahme konnte das Ausbleiben solcher Seuchen erreicht werden, welche durch bakterielle und enterovirale Krankheitserreger verursacht werden. Es gelang jedoch nicht, die Hepatitis-Viren zu inaktivieren (VISWANATHAN, 1957) und so kam es nach 18 bis 62 Tagen zu dieser alle bisher bekannte Ausmaße sprengenden Wasserepidemie (WONG, 1980). Nach heutiger Kenntnis handelte es sich um eine Hepatitis E-Virus-Epidemie. Der besondere Aspekt, daß Schwangere vorzugsweise betroffen waren und bei diesen die meisten der letal verlaufenden Fälle auftraten, ist wie man jetzt weiß, ein Charakteristikum der Hepatitis E.

Kolhapur, Indien: Eine weitere Hepatitis E-Epidemie mit ca. 1200 Erkrankten, ereignete sich im Frühjahr 1981 in der Stadt Kolhapur, Indien. Das Rohwasser des Stadtviertels wurde einem Fluß entnommen, der massiv mit Abwasser verschmutzt war und deshalb umfaßte die Trinkwasseraufbereitung Sedimentation, Schnellfiltration und Chlor (Zugabe: 1–2 mg/l). Da bei Erkrankten kaum Antikörper gegen Hepatitis A und Hepatitis B nachgewiesen werden konnten, wurde eine „non-A-non-B“-Hepatitis (Hepatitis E) angenommen (SREENIVASAN, 1984).

Kanpur, Indien: Das Hepatitis E-Virus führte 1991 in Kanpur, Indien, mit über 79000 Fällen zu der größten bisher dokumentierten Epidemie. Wie in den bereits beschriebenen Fällen waren die Wasservorkommen mit Abwasser kontaminiert. Obwohl in Kanpur das Rohwasser mit ca. 1,5 mg/l Chlor versetzt worden war, konnten im Verteilungsnetz bakterielle Fäkalindikatoren nachgewiesen werden (NAIK et al., 1992).

Saharanpur, Uttar Pradesh, Indien: Eine weitere Epidemie ereignete sich zwischen Dezember 1992 und April 1993 in Saharanpur, Uttar Pradesh, Indien. Sie war durch Leckagen im Rohrleitungs-

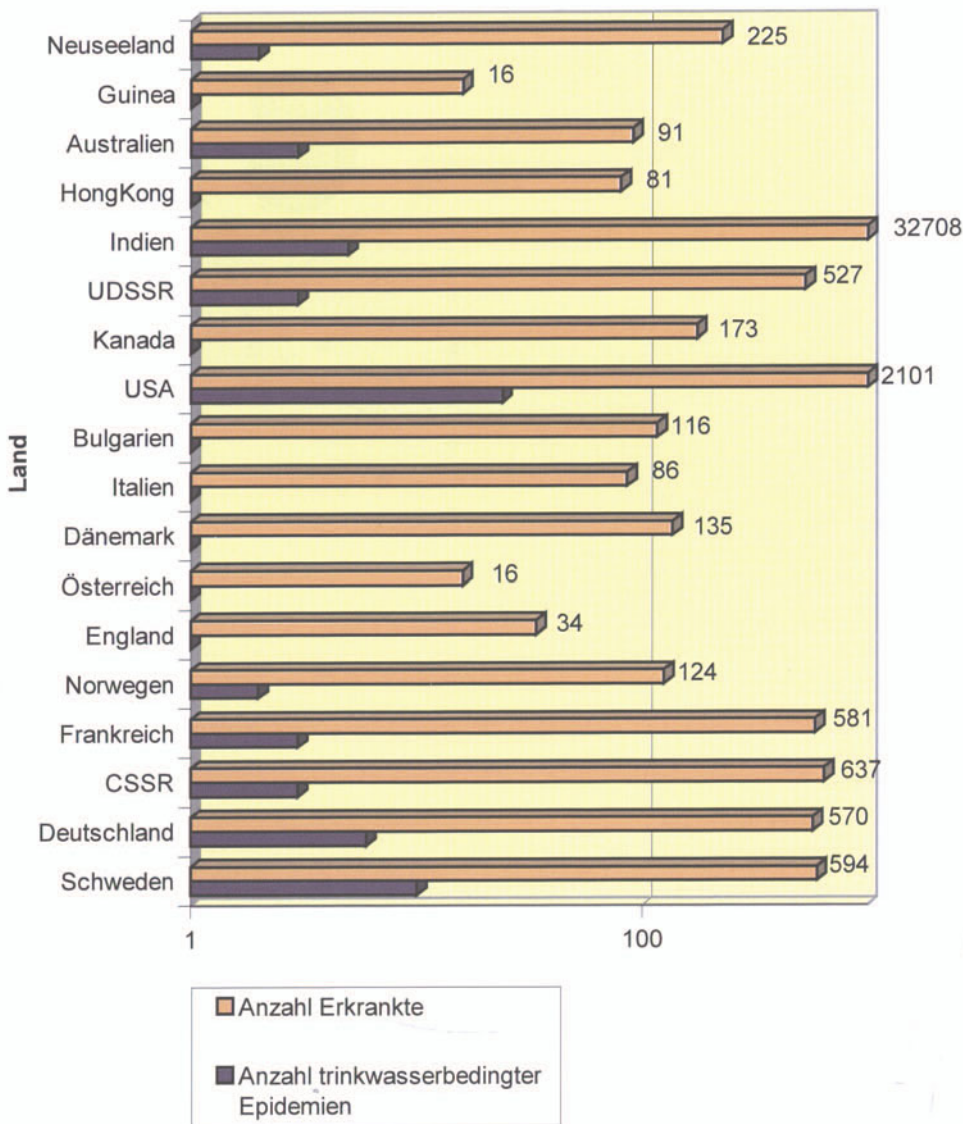


Abb. 3-10. Übersicht trinkwasserbedingter Hepatitis A-Ausbrüche, nach WALTER (1975)

system, welches durch Abwassergräben lief, verursacht worden. Insgesamt wurden 3682 Erkrankte registriert. Die Befallssrate war bei Erwachsenen deutlich höher als bei Kindern. Im Trinkwasser wurden virusähnliche Partikel und bei den Erkrankten Anti-HEV IgM gefunden (SINGH et al., 1998).

Islamabad, Pakistan: In Islamabad, der Hauptstadt Pakistans, trat zwischen Dezember 1993 bis März 1994 eine Hepatitis E-Epidemie auf, die landesweit Sorge und Alarm auslöste, da 3872 Personen an Hepatitis erkrankten. Die Verdachtsdiagnose wurde durch den Nachweis hoher Anti-

HEV IgM und IgG bestätigt. Bei vier von 35 erkrankten Schwangeren führte die Krankheit zum Tod und vier weitere Todesfälle betrafen Neugeborene, deren Mütter an Hepatitis erkrankt waren. Alle Erkrankungen schienen eine gemeinsame Quelle zu haben und infolge ihrer räumlichen Zuordnung zum Versorgungsbereich eines Wasserwerkes konnte die Ursache auch bald erkannt werden. Von 36 705 in diesem Wasserversorgungsgebiet lebenden Menschen erkrankten nämlich ca. 10%. Vor der Epidemie war es im Wasserwerk, als man die Langsamsandfiltration auf Schnellfiltration umstellen wollte, zu einer Havarie gekommen. Dabei dürfte vorübergehend

gänzlich unbehandeltes Wasser verteilt worden sein. Jedenfalls gab es vor der Epidemie zahlreiche Abnehmerbeschwerden über schlechten Geruch und partikuläre Unreinheiten des Trinkwassers. Als Wasserquelle wurde seit 20 Jahren ein Bach genutzt, dessen Qualität aber durch den Ausbau von Wohngebieten entlang des Baches immer schlechter geworden war (ABDUR RAB et al., 1997).

3.4.1.2 Hepatitis A-Kasuistik

Die durch Hepatitis A-Virus über Trinkwasser verursachten Epidemien haben niemals die Ausmaße der HEV-Epidemien erfüllt. Eine erwähnenswerte Ausnahme ist die mit 292 301 Fällen größte bisher beschriebene Lebensmittelepidemie in Schanghai (1988) durch virusverseuchte Herzmuscheln. Der Genuß von Austern und Muscheln, welche aus abwasserhaltigen Gewässern stammen, ist eine bedeutende Quelle für wasserbedingte Hepatitis A und E (HALLIDAY et al., 1991).

Georgetown, USA: Ein epidemiologisch hochinteressantes Ereignis stellt die bereits erwähnte Hepatitis A-Epidemie in Georgetown, USA, dar, da das Virusantigen bereits ca. drei Wochen vor dem Auftreten der ersten Krankheitsfälle in einer Brunnenwasserprobe nachgewiesen werden konnte. Georgetown, eine kleine Stadt mit 13 000 Einwohnern im Staate Texas wurde gänzlich mit Grundwasser aus vier zentralen, 57–64 m tiefen Stadtbrunnen versorgt. Die Grundwasservorkommen der Stadt liegen in einem Kalkstein-Grundwasserleiter, der westlich von Georgetown eine Bruchlinie aufwies und der damit gegen Oberflächenverschmutzung nicht vollkommen geschützt war (Abb. 3-11). Im Anschluß an eine Periode schwerer Regenfälle trat vom 1. bis 23. Juni 1980 eine Epidemie mit ca. 8000 Gastroenteritisfällen auf. Zwei Wochen später ab 6. Juli wurden dann noch 36 Hepatitis A-Erkrankungen registriert.

Als Quelle der Verunreinigung über den Untergrund wurden undichte Abwasserrohre oder Fäkalgruben bzw. Belastungen von der Oberfläche über die Bruchlinie erwogen. Wie sich herausstellte, war auch die Wasserdesinfektion unzureichend und der freie Chlorgehalt wurde nicht kontinuierlich gemessen. Die zweifelsfrei vorhandene Fäkal-kontamination war jedenfalls nicht rechtzeitig erkannt und die Krankheitsausbrüche durch Desinfektionsmaßnahmen nicht verhindert worden (HEJKAL et al., 1982).

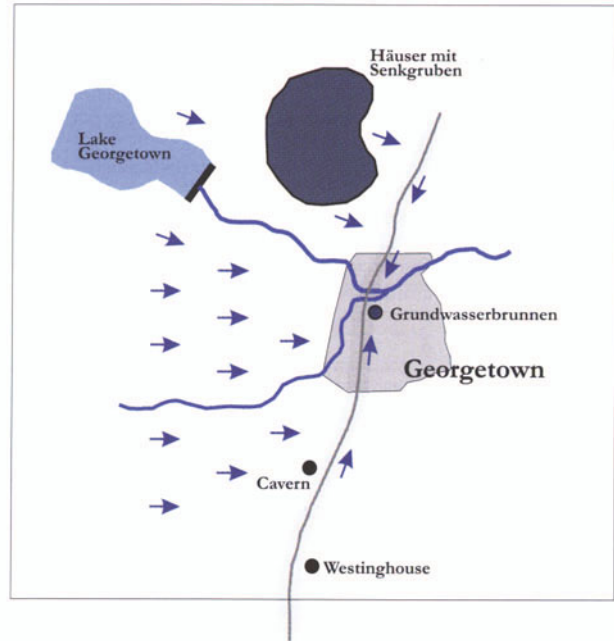


Abb. 3-11. Lokalisation der Brunnen in Georgetown, Bruchlinie und Abwasser-Infiltrationsgebiet, nach HEJKAL et al. (1992)

Italien und Spanien: Pana beschreibt eine Epidemie in einer Schule in Rom, deren Ursache in einer Trinkwasserkontamination gesehen wurde und Bosch und Mitarbeiter berichten über eine Epidemie, die 1987–88 unter dem Militärpersonal des Campes Arapiles 62 (Castellciutat, La Seu d'Urgell) ausbrach und wo der Nachweis mit Hilfe molekularer Hybridisationstechnik gelang (PANA, 1989; BOSCH et al., 1989).

3.4.1.3 Resümee

1. Das Auftreten von Epidemien ist ein weltweites Phänomen, welches nicht auf Länder oder Bevölkerungsgruppen mit niedrigem sozialökonomischen Niveau begrenzt ist. Hepatitis E-Epidemien sind bisher aber vorwiegend in Südostasien aufgetreten.
2. Grund- und Oberflächenwasser sind als Ressourcen fast gleichermaßen insbesondere im Gefolge von Hochwässern involviert.
3. Der Übertragungsmechanismus hat zwei wesentliche Facetten; entweder handelte es sich um eine vorübergehende, massive Fäkal-kontamination von Rohwässern infolge ungünstiger lokaler Situierung der Wassergewinnungsanla-

gen zur Abwasserbeseitigung oder es fanden Abwassereinbrüche in das Leitungssystem über Kreuzverbindungen bzw. über Lecks im Rohrsystem statt.

4. Chlorkonzentrationen über 1 mg/l waren nicht geeignet, bei mangelhafter hygienischer Beschaffenheit des Rohwassers eine ausreichende Inaktivierung von Hepatitis A- und E-Viren zu erzielen.

3.4.2 Gastroenteritis

Als Ursache von wasserbedingten Durchfallepidemien wurden vor allem das Norwalk-Virus, das Snow-Mountain-Agent und die Rotaviren identifiziert (WILLIAMS und AKIN, 1986). In den USA werden seit 1920 Informationen über Wasserepidemien gesammelt. Nach einer Analyse der Daten von 1946 bis 1980 sind Wassererkrankungen zu 11,8% viral, zu 21,1% bakteriell, zu 7,1% parasitär und zu 7,3% chemisch bedingt. Für mehr als die Hälfte aller registrierten Ausbrüche konnten keine Ursachen gefunden werden (LIPPY, 1984). Heute ist man der Auffassung, daß ein erheblicher Teil davon virusbedingt war. Man konnte dies früher nicht aufklären, da die Methoden zum Virusnachweis aus Trinkwasser erst in den letzten zwei Jahrzehnten entwickelt worden sind. Von besonderer Wirksamkeit auf die wissenschaftliche Öffentlichkeit war die bereits im Zusammenhang mit der Hepatitis A erwähnte multiätiologische Epidemie in Georgetown, Texas, USA. 8000 Erkrankungen (79% der Bevölkerung) zeigten die möglichen Dimensionen eines virologischen Risikos.

3.4.2.1 Kasuistik

Noormarkku, Finnland: Der Winter 1993/94 war sehr schneereich und die Schneeschmelze trat Anfang April plötzlich und heftig ein. Dadurch wurde ein Rekordhochwasser des Flusses Normakku ausgelöst. Aus diesem Fluß wurde aber Uferfiltrat als Trinkwasser für die Gemeinde Noormarkku (6,300 Einwohner) gewonnen. Dieses Geschehen komplizierte sich noch dadurch, daß aufgrund des Hochwassers in den vier flußaufwärts gelegenen Dörfern, die routinemäßig ihr Abwasser einleiteten, die Kläranlagen derart überfordert waren, daß teilweise das unbehandelte Abwasser in den Fluß strömte. Ein vergessenes Drainagerohr zwischen Brunnen und Fluß führte letztlich dazu, daß in-

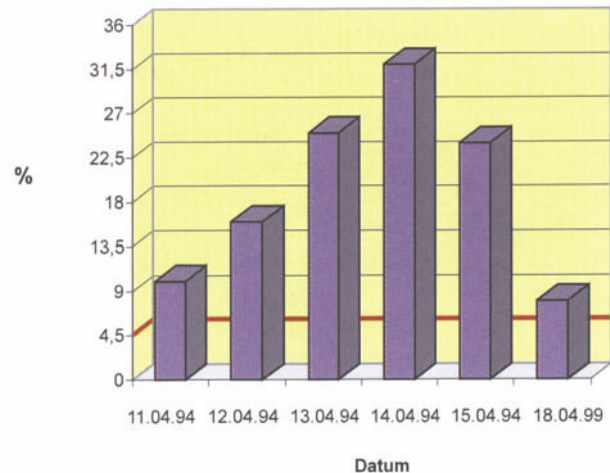


Abb. 3-12. Schulabsenz von 760 Kindern während der Gastroenteritisepidemie. Die rote Linie markiert die mittlere Absenz. Nach Kukuula et al. (1997)

folge der hochwasserbedingten Pegelstände stark fäkalkontaminiertes Flußwasser in den Brunnen der Gemeinde gestaut wurde. Das Trinkwasser, welches gewöhnlich weder aufbereitet noch routinemäßig desinfiziert wurde, wies augenblicklich eine starke bakteriologische Fäkalkontamination auf. Adenoviren, Rotaviren der Gruppe C und Norwalk-Virus konnten im Wasser ebenfalls nachgewiesen werden. Die beinahe zu erwartende Gastroenteritisepidemie trat vom 11.–18.4.1994 ein und verursachten zwischen 1500–3000 Krankheitsfälle. Besonders auffallend war die Schulabsenz der Kinder, die anstelle von 4–5% im Jahresdurchschnitt nun bis zu 30% betrug (Abb. 3-12).

Da die Kaplanschen Kriterien für Norwalk-Virus-Infektionen erfüllt waren (mittlere Inkubationszeit 24–48 Stunden, mittlere Krankheitsdauer 12–60 Stunden, Erbrechen >50% aller Patienten, bakteriologische Stuhlkulturen negativ), sind die Autoren der Meinung, daß es sich vornehmlich um eine Norwalk-Virus-Epidemie gehandelt hat (KUKKULA et al., 1997).

Oak Creek Canyon, Arizona, USA: In Oak Creek Canyon, einem sehr populären Ferienort Arizonas, meldete am 28.4.1989 der Resortmanager der zuständigen Gesundheitsbehörde, daß nahezu die Hälfte seiner Gäste seit einigen Tagen an Bauchkrämpfen, Übelkeit, Erbrechen und Durchfall litten. Innerhalb von 15 Tagen (17.4.-1.5.) erkrank-

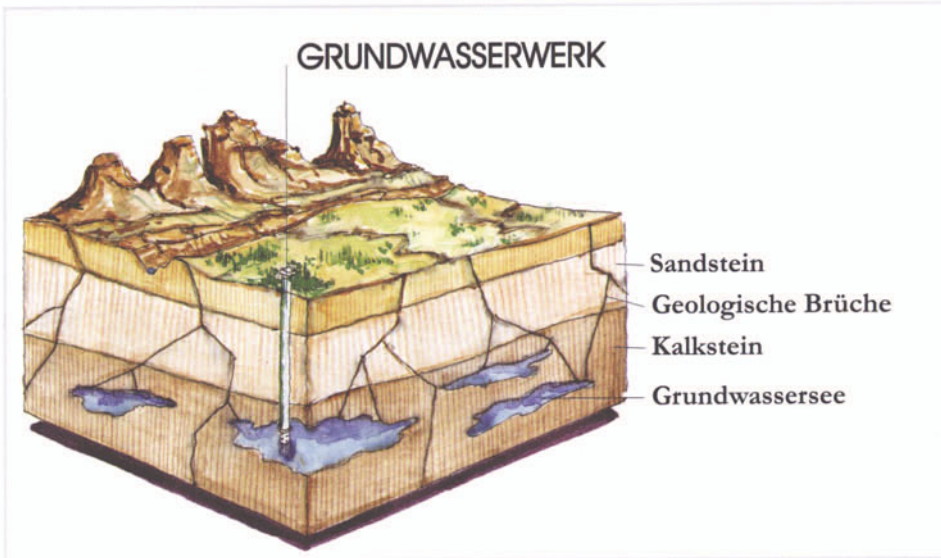


Abb. 3-13. Geologische Formation des Oak Creek Canyon, Arizona, USA

ten insgesamt 900 Personen. Auf der Suche nach der Ursache prüfte man auch die besonderen geologische Formationen des Trinkwassereinzugsgebietes und stellte sehr spezielle Konditionen fest. Das Gelände um den Ferienort bestand aus einer 10 m starken aufliegenden Alluviallagerung, darunter ca. 70 m Sandsteinschichten und unterhalb die wasserführenden Kalksteinschichten, in denen sich der Brunnen des Resorts befand. Im gesamten Areal existierten bis dahin nicht bekannte Spalten und Risse und im Kalkstein Kavernen (Abb. 3-13). Seit Eröffnung der Ferienanlage waren die gereinigten und desinfizierten Abwässer auf Rieselfelder, die sich 25–30 m vom Brunnen entfernt befanden, aufgebracht worden. Zum fraglichen Zeitpunkt brach virushaltiges Abwasser entlang der Frakturen in den Grundwasserleiter und in die Kaverne ein, in der sich der Tiefbrunnen befand (LAWSON et al., 1991; HARVESON et al., 1996). Als Ursache der Epidemie konnte das viruskontaminierte, ungechlorte Trinkwasser aus dem Tiefbrunnen festgestellt werden (150–200 m).

Fairbanks, Alaska: Abschließend soll noch eine außergewöhnliche Episode von Reisedurchfall (Traveller's Diarrhoe) erwähnt werden. Im Juni 1995 wurde vom Manager eines Hotels in Fairbanks, Alaska, USA, bei übernachtenden Bustrouisten vermehrt auftretende Gastroenteritis gemeldet. Die Gesundheitsbehörden recherchierten daraufhin im Umfeld und fanden in zwei

anderen Hotels in Alaska ebenfalls erkrankte Bustrouisten (Abb. 3-14).

Alle Spuren führten in das Yukon Gebiet, Kanada, zu einem Restaurant mit Motel, welches von acht verschiedenen Bustourgesellschaften für Lunchstops aufgesucht wurde. Etwa 50% aller Touristen und einige Angestellte des Restaurants sowie der Gesellschaften klagten über Erbrechen, Durchfall, Übelkeit und Bauchschmerzen. Der Verlauf der Infektion war z.T. relativ schwer und 6 Touristen benötigten Hospitalbehandlung. Wie sich dann herausstellte, waren kurz vor dem Ausbruch 4 Angestellte, die auch im Motel lebten, erkrankt gewesen. Ihre virushaltigen Ausscheidungen waren in eine nur 45 m vom Brunnen entfernt liegende Klärgrube gelangt, welche undicht war. Auf diese Weise war die Trinkwasserversorgung des Motels kontaminiert worden. Im Wasser des Brunnens wurden mit der nested PCR-Methode 87 Basenpaarprodukte amplifiziert, die mit korrespondierenden Sequenzen des Genomes der Norwalk-like-Viren („kleine runde strukturierte Viren“) aus dem Stuhl von 2 Touristen und einem Motelangestellten identisch waren (BELLER et al., 1997).

3.4.2.2 Resümee

- Gastroenteritisausbrüche weisen sehr unterschiedliche Befallsraten auf. Sie ereignen sich auffallend oft im Gefolge von Regenfällen und in tektonischen Risikozonen.

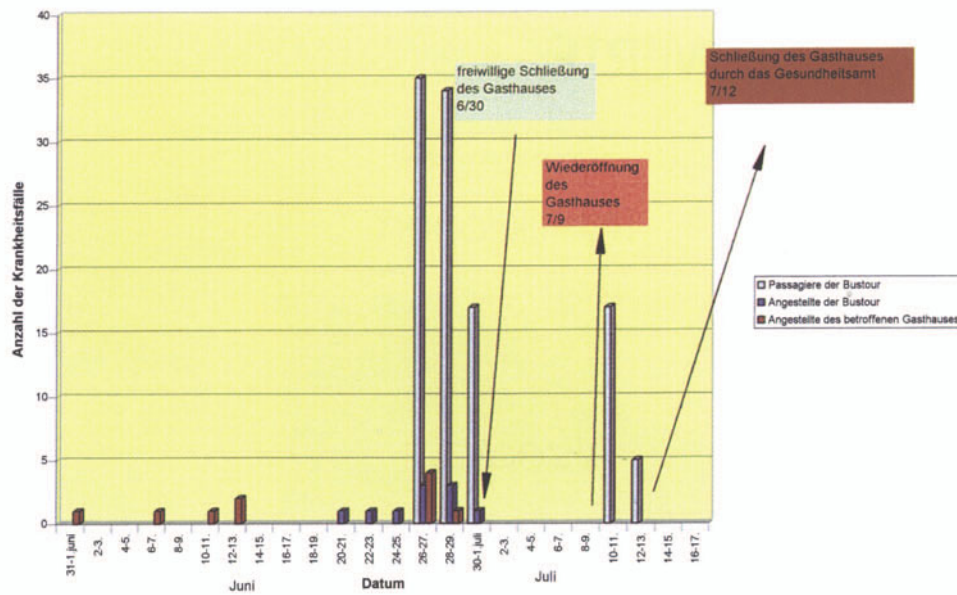


Abb. 3-14. Gastroenteritis bei Bustouristen, Angestellten der Busgesellschaften und des Hotelrestaurants im Yukon-Gebiet und in Alaska im Sommer 1995 (nach BELLER et al., 1997)

- Desinfektionsdefizite bei der Trinkwasserbehandlung sind überzufällig häufig mit Epidemien assoziiert.
- Berichte zu Epidemien stammen überwiegend aus entwickelten Ländern. Dies hängt sicher damit zusammen, daß in den Entwicklungsländern die Infrastrukturen zur Erfassung von Durchfallkrankheiten nicht gegeben sind.
- Die Epidemien zeigen eine Gefährdung von Trinkwasserressourcen und unterstützen die Forderung an die Wasserwirtschaft, humanpathogene Viren im Trinkwasser nicht zuzulassen.

3.5 Virusgrenzwerte im Trinkwasser

3.5.1 Allgemeines

In verschiedenen Teilen der Welt wurden Viren im Trinkwasser nachgewiesen und dies auch aus Wässern von Trinkwasserversorgungsanlagen, welche mit modernen Methoden der Wasseraufbereitung (Filtration) und -desinfektion arbeiteten. Eine solche Situation stellt ein potentiell Gesundheitsrisiko dar, dessen Ausmaß von der Virusdichte im Trinkwasser abhängt. In Auswertung der geschilderten virusbedingten Wasserepidemien wurden bestimmte Grenzwertkonzepte für Viren im Trinkwasser entwickelt und in einigen Ländern in die Gesetzgebung übernommen. Grenzwerte sind rechtlich verbindliche Höchstkonzentrationen, die

nicht überschritten werden dürfen. Durch Grenzwerte wird ein zulässiger von einem nicht zulässigen Konzentrationsbereich für Krankheitserreger oder deren Indikatoren sowie für Schadstoffe geschieden, Abb. 3-15.

Die Festsetzung von Grenzwerten hat eine Schutzgüterhierarchie zum Ziel: Gefahrenabwehr, Vorsorgeprinzip, systematische Minderung von Belastungen durch Sanierungsmaßnahmen.

3.5.2 WHO-Grenzwerte

Angesichts der globalen Bedeutung von Trinkwasser als Vektor für Infektionskrankheiten hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) die Aufgabe übernommen, die vorhandenen fachlichen Grundlagen zusammenzustellen und für alle Länder der Welt vertretbare Empfehlungen bekannt zu machen. 1979 hat die WHO erstmalig die Forderung aufgestellt, daß Trinkwasser frei von Viren sein soll. Die WHO-Experten waren der Überzeugung, daß mit hoch empfindlichen Virusnachweismethoden 100–1000 l Proben kontrolliert werden können und virusfrei sein müssen, um die Trinkwasserqualität zu sichern. Es war bereits damals durchaus möglich, solche Probenvolumina mit Filterverfahren (z.B. Virosorb, USA) zu untersuchen. Diese Virusanalytik wurde mindestens für große städtische Gebiete und jene Wasserversorgungsanlagen gefordert, bei deren



Abb. 3-15. Grenzwertinterpretation

Ressourcen Abwassereinfluß nicht ausgeschlossen werden kann. Letzteres ist z.B. bei der Gewinnung von Uferfiltrat zu beachten, da die Flüsse oft für Oberlieger als Vorfluter dienen. Zur Beurteilung des Gesundheitsrisikos der Bevölkerung sollten virologische Laboratorien an der Trinkwasseranalytik beteiligt werden. Da Viren resistenter sind als Bakterien, sollten alle Trinkwässer, welche aus potentiell kontaminierten Ressourcen gewonnen werden, mit Verfahren nachweislich hoher Inaktivierungseffizienz behandelt werden (WHO, 1979).

In den „Internationalen Trinkwasserrichtlinien“ der WHO von 1984 wird die Forderung, daß Trinkwasser von jeder Art humanpathogener Viren frei sein muß, vollinhaltlich aufgenommen. Der Standard führt aus, daß die Nutzung einer Wasserressource, welche frei von Abwasserkonta-

mination und gegen fäkale Kontamination ausreichend geschützt ist, die beste Sicherheit gibt. Muß jedoch eine Ressource genutzt werden, welche auf Fäkalkontamination verdächtig ist, so ist eine entsprechende Wasseraufbereitung und -desinfektion notwendig. Da es bisher kein Verfahren gibt, welche die Virusfreiheit großer Wasservolumina eindeutig beweist, ist allerdings die Eignung von Behandlungsmaßnahmen in der Realität schwer prüfbar. Zur Überwindung dieses Hindernisses wurden von der WHO Kriterien für adäquate Behandlung angegeben. Danach kann Trinkwasser dann als ausreichend behandelt gelten, wenn die Wassertrübung vor der Desinfektion gleich oder geringer als 1 NTU war und die Desinfektion mit mindestens 0,5 mg/l freies Chlor für 30 min bei einem pH-Wert <8 vorgenommen wurde. Natur-

Tabelle 3-4. Trinkwasserübertragbare Krankheitserreger und ihre Bedeutung in den Wasserversorgungsanlagen (nach WHO, 1993)

Viren	Bedeutung für die Gesundheit	Persistenz im Trinkwasser	Chlorresistenz	Minimale Infektionsdosis	Reservoir in der Tierwelt
Adenoviren	groß	?	mäßig	gering	nein
Enteroviren	groß	lang	mäßig	gering	nein
Hepatitis A	groß	?	mäßig	gering	nein
Hepatitis E	groß	?	?	gering	nein
Norwalk Virus	groß	?	?	gering	nein
Kleine runde Viren	mäßig	?	?	gering	nein
Rotavirus	groß	?	?	mäßig	nein (?)

? = noch unbekannt

lich können auch andere Desinfektionsmittel eingesetzt werden, wenn deren Wirkung vergleichbar gut ist. So ist z.B. Ozon in organisch nicht belastetem Wasser in Konzentrationen von 0,2–0,4 mg/l für 4 min ein sehr effizientes Virusdesinfektionsmittel. Wo Möglichkeiten der virologischen Wasseruntersuchung bestehen, sollte sowohl das unbehandelte, wie auch das aufbereitete Trinkwasser möglichst mit einer Referenzmethode untersucht werden, welche Probenvolumina von 100–1000 l bewältigt. Ein solches Monitoring würde sehr wichtige Daten zum Virusinfektionsrisiko über Trinkwasser liefern und damit entscheidend zur Minimierung dieses Risikos beitragen (WHO, 1984).

In den überarbeiteten Trinkwasserrichtlinien der WHO von 1993 wird erstmalig im Abschnitt 2. Mikrobiologische Aspekte unter 2.1.2 „oral übertragene Infektionen von großer Bedeutung“, die Gruppe der humanpathogenen Viren detailliert dargestellt. Sie werden als Krankheitserreger von hoher Priorität und großer gesundheitlicher Bedeutung für Wasserversorgungsanlagen gewertet. Ihre Eliminierung aus Trinkwasser hat absoluten Vorrang, denn Trinkwasser muß frei von humanpathogenen Enteroviren sein, um das Risiko einer Infektionsübertragung vernachlässigbar gering zu gestalten.

Bei der Festlegung von mikrobiologischen Grenzwerten geht die WHO davon aus, daß Krankheitserreger (Viren) im Trinkwasser nicht auftreten dürfen und daher auch keine zulässige Höchstkonzentration festgelegt werden kann. Zur Begründung wird ausgeführt:

- Krankheitserreger (Viren) sind diskrete Partikel und nicht in Lösung.
- Krankheitserreger (Viren) sind oft aggregiert oder an Schwebstoffe adsorbiert, daher ist es nicht möglich, die Wahrscheinlichkeit der Aufnahme einer bestimmten Infektionsdosis aus der mittleren Konzentration im Wasser abzuleiten.
- Die Wahrscheinlichkeit einer Infektion hängt von der Invasivität und Virulenz des Krankheitserregers (Virus) und der Immunität des Individuums ab.

Auch 1993 liegt das Gewicht auf der Auswahl der Ressource und auf dem Gebot der Behandlung und Desinfektion von suspekten Wasserquellen. Während der Verteilung des Trinkwassers an die Verbraucher darf keine Viruskontamination mehr möglich sein. Die WHO meint, daß diesbezüglich

das Monitoring der Indikatorbakterien in den meisten Fällen eine ausreichende Sicherheit geben könnte. In Abschnitt 2.3, Empfehlungen, heißt es im Kapitel „Virologische Qualität“: Jede Trinkwasserversorgung mit dem Verdacht auf Fäkal-kontamination stellt für den Verbraucher ein Virusrisiko dar, für dessen Vermeidung zwei Strategien möglich sind: Entweder Gewinnung des Trinkwassers aus einer überprüften, absolut einwandfreien Wasserquelle, oder Versorgung der Konsumenten mit einem auch unter virologischem Blickwinkel optimal behandelten Wasser.

Für die Routineanalytik werden keine Empfehlungen gegeben. Zeitaufwand, methodischer Schwierigkeitsgrad und Kosten der virologische Analysen waren mit ausschlaggebend für eine Orientierung auf virologisch effiziente Verfahrenskombinationen der Wasseraufbereitung. Diese sollen geeignet sein, den Virusgehalt des Rohwassers so zu minimieren, daß auch in sehr großen Volumina Viren nurmehr in zu vernachlässigenden Konzentrationen auftreten können.

Grundwasserbrunnen und Verteilungssysteme, welche zu einer Quelle gehören, die nachweislich frei von Fäkal-kontamination im Einzugsbereich ist, können als virusfrei angenommen werden, sollten aber trotzdem desinfiziert werden. Solche Wässer müssen die Kriterien der Trübung und des pH-Wertes sowie die vorgeschriebene bakteriologische und parasitologische Qualität aufweisen. Die aufgeführten Aufbereitungsmaßnahmen genügen den strengen Anforderungen aus mitteleuropäischer Sicht nicht immer. Die sogenannte Sicherheitschlorung als Schutz gegen Kontamination im Verteilungsnetz ist fragwürdig, da sie dazu führen kann, daß Mängel im Verteilungsnetz kaschiert werden. Da die bakteriologischen Kontaminationsindikatoren zwar beseitigt werden aber andere Krankheitserreger nicht, verdient sie eher die Bezeichnung „Unsicherheitschlorung“.

3.5.3 Europäische Union (EU)

Die europäische Gesetzgebung zur Trinkwasserqualität basiert auf Richtlinien des Rates. Daher ist mit Ausnahme der Schweiz in den Ländern der EU von einer weitgehend harmonisierten Grenzwertregelung auszugehen. Das Thema der Viruskontamination wurde und wird unter Krankheitserreger subsummiert.

Die Richtlinie des Rates über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (EWG 1980) hat in *Anlage E, Mikrobiologische Parame-*

Tabelle 3-5. Empfohlene Aufbereitungsverfahren für diverse Wasserressourcen zur Produktion von Trinkwasser mit einem zu vernachlässigenden Virusrisiko (nach WHO, 1993)

Type der Ressource	Empfohlene Behandlung ^a
<i>Grundwasser</i>	
Geschützte Tiefbrunnen, frei von Fäkalkontaminationen	Desinfektion ^b
Ungeschützte Flachbrunnen	Filtration und Desinfektion
<i>Oberflächenwasser</i>	
Geschützte Talsperren, frei von Abwassereinleitungen	Desinfektion
Ungeschützte Trinkwassertalsperren oder Flußoberläufe mit Fäkalkontamination	Desinfektion oder Lagerung, Filtration, Desinfektion
Ungeschützte Flußunterläufe mit Fäkalkontamination	Vordesinfektion oder Lagerung, Filtration, Desinfektion
Ungeschützte Wassereinzugsgebiete; mit starker Fäkalkontamination	Vordesinfektion oder Lagerung, Filtration, ergänzende Behandlung und Desinfektion
Ungeschützte Wassereinzugsgebiete, mit sehr starke Fäkalkontamination	Für die Trinkwasserversorgung nicht empfohlen

^aVor der Desinfektion darf die Trübung im Mittel 1 NTU und im Einzelfall 5 NTU nicht überschreiten. Die terminale Desinfektion muß entweder nach Vorschrift vorgenommen werden, oder eine äquivalente Wirkung (Enterovirus Inaktivierung >99,99%) nachgewiesen werden. Sandfiltration ist entweder Langsandsandfiltration oder Schnellsandfiltration mit einer vorhergehenden adäquaten Flockung (mit Sedimentation oder Flotation). Es können auch äquivalente Filtrationsprozesse, wie durch Diatomeenerde deren Effizienz zur Viruseliminierung mindestens >90% beträgt, eingesetzt werden. Die zusätzliche Behandlung kann aus Langsandsandfiltration, Ozonierung mit Aktivkohleadsorption oder irgend einem anderen Verfahren, welches mindestens >99% Enteroviruseliminierung erbringt, bestehen

^bDesinfektion ist immer dann durchzuführen, wenn die Routinekontrolle die Gegenwart von *E. coli* oder fäkalcoliforme Bakterien gezeigt hat

ter, Enteroviren unter den zusätzlich zu untersuchenden Parametern aufgeführt. Damit ist im Rahmen der Gemeinschaft das Prinzip der Virusfreiheit von Trinkwasser etabliert. Diese nunmehr fast 20 Jahre alte Richtlinie wurde an den wissenschaftlichen und technische Fortschritt angepaßt und am 3.11.1998 neu verlautbart (98/83/EG). Im neuen Artikel 4 – *Allgemeine Verpflichtungen*, wird den Mitgliedstaaten aufgegeben, mit allen notwendigen Maßnahmen zu sichern, daß das Wasser für den menschlichen Gebrauch genüßtauglich und rein ist und *Mikroorganismen, Parasiten und Stoffe jedweder Art, nicht in einer Anzahl oder Konzentrationen enthalten darf, welche eine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit darstellt.* Zur Überwachung gibt die neue Richtlinie im Teil C, *Indikatorparameter* den Hinweis, daß oberflächenbeeinflusstes Wasser routinemäßig auf *Clostridium perfringens* zu untersuchen ist. Wird im Ergebnis der Parameterwert für Clostridien nicht eingehalten, *so muß durch Nachforschungen sichergestellt werden, daß keine potentielle Gefährdung der menschlichen Gesundheit durch das Auftreten krankheitserregender Mikroorganismen besteht.* Zumindestens in Risikosituationen ist das Freisein von Krankheitserregern inklusive Viren gezielt zu überprüfen. Dies kann mittels virologischer Was-

seranalytik direkt oder indirekt, z.B. über die Prüfung der Effizienz der eingesetzten Wasseraufbereitungsmaßnahmen, geschehen. Im Artikel 5 wird den Mitgliedsländern die Möglichkeit zur Festsetzung zusätzlicher, in Anhang I nicht enthaltene Parameter eingeräumt, wenn der Schutz der menschlichen Gesundheit dies erfordert. Die Werte sollen zumindestens den Anforderungen von Artikel 4, Absatz 1, Buchstabe a) genügen.

3.5.3.1 Deutschland

Die deutsche Trinkwasserverordnung wurde am 12.12.1990 erlassen. Ihr exakter Name lautet: Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (BGBl.I, S. 2613). Im Abschnitt I: Beschaffenheit des Trinkwassers, §1, wird geltend gemacht, daß Trinkwasser frei sein muß von Krankheitserregern. Gemäß Abschnitt II, Trinkwasseraufbereitung, §13, Absatz 1, Nr. 4b, kann die zuständige Behörde anordnen, daß der Unternehmer oder sonstige Inhaber einer Wasserversorgung die mikrobiologische Untersuchung zur Feststellung ob andere Mikroorganismen, insbesondere *Pseudomonas aeruginosa*, pathogene Staphylokokken, *Legionella pneumophila*, atypische Mycobakterien, Fäkalbakteriophagen oder

enteropathogene Viren im Wasser enthalten sind, ausdehnen zu lassen hat. Damit ist die virologische Wasseranalytik in die Hände der zuständigen Behörden gelegt, die diese Regelung zumindestens im Anlaßfall zur Aufklärung wasserbedingter Erkrankungsgeschehen nutzen können.

Wie Lopez-Pila 1991 mitteilt, geschieht dies nur in Einzelfällen. Die mangelnde Bereitschaft erklärt er mit methodischen Schwierigkeiten bei der Anreicherung der Viren und beim Transport von Wasserproben in die hochspezialisierten Laboratorien. Er meint, daß diese Schwierigkeiten jedoch langsam überwunden werden sollten, da mit den Verfahren der molekularen Hybridisierung Nachweis- und Identifizierungsverfahren für Viren soweit fortgeschritten sind, daß die oben angeführten Gründe hinfällig werden.

3.5.3.2 Österreich

In Österreich gilt seit 1998 die Verordnung: Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (BGBl Teil II, 235/1998). In dieser Verordnung findet sich in §3 – *Anforderungen* – die Aussage: *Wasser muß geeignet sein, ohne Gefährdung der menschlichen Gesundheit getrunken oder verwendet zu werden.* Dieses inkludiert auch ohne direkte Erwähnung die Viren. Im §5, *Überwachung*, werden für den Falle von Katastrophen Überschreitungen von zulässigen Höchstkonzentrationen für einen begrenzten Zeitraum toleriert. Aber in jedem Fall muß Trinkwasser von Krankheitserregern frei bleiben. Der Anhang II der Verordnung beschäftigt sich mit Untersuchungsumfang und -häufigkeiten. Hier findet sich unter A, *Untersuchungssumfang Buchstabe f*) die Erweiterung der Mindestkontrolle für den Verdachtsfall einer Kontamination. In solchen Situationen ist die mikrobiologische Untersuchung von Wasser für den menschlichen Gebrauch auf etwaige Krankheitserreger, d.h. gegebenenfalls auch auf humanpathogene Viren zu erweitern. Im Falle besonderer Veranlassung gilt die Forderung auch nach virologischen Untersuchungen.

3.5.4 Schweiz

Die Trinkwasserqualität ist in der Schweiz in der Verordnung über die hygienisch-mikrobiologischen Anforderungen an Lebensmittel, Gebrauchsgegenstände, Räume, Einrichtungen und Personal vom 26.6.1996, mit Änderung vom 30.1.1998 geregelt (Hygieneverordnung, As 1995,

3445, 1 SR 817051). In diesem Regelwerk sind Viren als potentielle Krankheitserreger nicht erwähnt. Krankheitserreger wie *Salmonella* spp., *Shigella* spp. und *Vibrio cholera* dürfen in 5 l nicht nachweisbar sein.

3.6 Viruskontamination von Trinkwasserressourcen

Die Verunreinigung von Ressourcen für die Trinkwasserversorgung, d.h. der Grund- und Oberflächenwässer, mit allen humanpathogenen und umweltresistenten Viren, erfolgt vorwiegend durch Einleitung von Abwasser in Oberflächengewässer und Ablagerung von Abwasserschlämmen bzw. Fäkalien auf Böden im Einzugsbereich der Trinkwassergewinnungsstelle, Abb. 3-16.

Kontaminationen mit bovinen Reo- und Rotaviren, an Schweine adaptierte humanpathogene Adenoviren und Schweine-Picornaviridae können auch für Menschen pathogen sein (MAYR, 1980; WECKERLE, 1988). Ohne humanfäkale Verunreinigungen sind in Naturgewässern zwar bestimmte Bakteriophagenspezies, Pflanzen- und Fischviren zu erwarten, aber keine humanpathogenen, enteralen Viren.

3.6.1 Viruskonzentrationen in Oberflächengewässern

Die Konzentration der Viren in fäkal verunreinigtem Wasser ist viel niedriger als die der Fäkalbakterien, da Viren nur im Stuhl virusinfizierter Personen vorkommen, während die Bakterien natürlicher Bestandteil von Fäkalien sind, Abb. 3-17. In einer von HAHN und BOTZENHART (1991) untersuchten Kläranlage lag die Dichte der coliformen Bakterien im Mittel (Median) bei



Abb. 3-16. Einleitung von Abwässern in Oberflächengewässer (Foto: Walter)

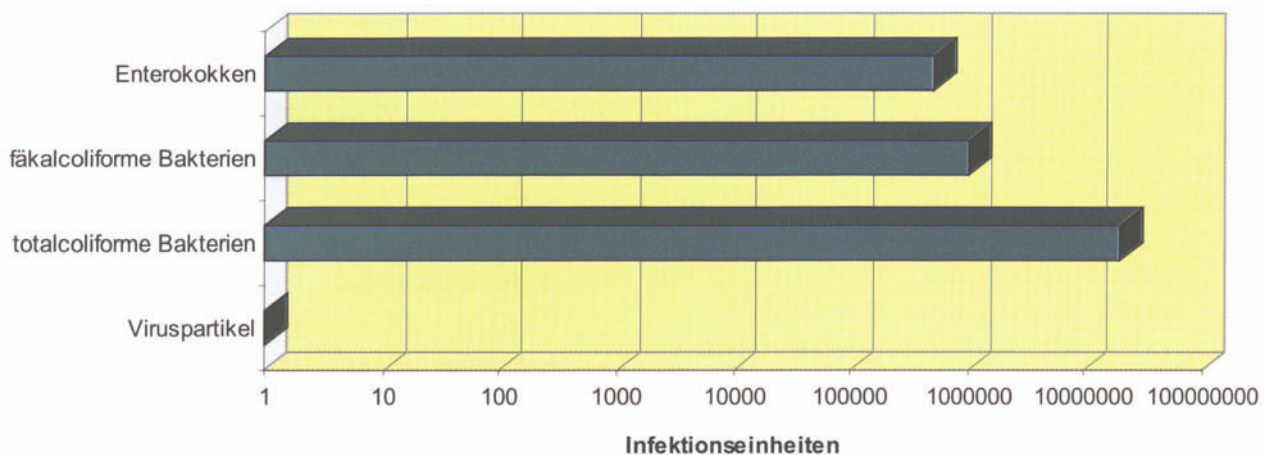


Abb. 3-17. Relation zwischen der Konzentration von Viren und Bakterien im Oberflächengewässer (nach HARTEMANN et al., 1981)

Tabelle 3-6. Viruskonzentrationen in Oberflächenwasser und Abwasser in MPN oder PFU/l ohne Berücksichtigung der Wiederfindungsraten der Nachweismethoden

Abwasser roh	Abwasser gereinigt	Oberflächenwasser	Referenzen
		0,2–60 (0–180)	HUGHES et al., 1992
		7,5 (0,3–52,3)	JOHL et al., 1991
		13–192	TANI et al., 1992
		13,3	HAHN und BOTZENHART, 1991
		1,2 (0–14,4)	WALTER et al., 1989
	89 ± 188		HAHN und BOTZENHART, 1991
	41 ± 79		HAHN und BOTZENHART, 1991
	0–9,6		SCHWARTZBROD et al., 1979
36–4600			SCHWARTZBROD et al., 1979
120–9140			SLADE, 1982

700 000 KBE/l und damit hunderttausendfach höher als jene der nachgewiesenen Viren. (HARTEMANN et al., 1981) fanden in französischen Flüssen zwischen 0 und 300 Enteroviren/l.

Generell schwanken die Viruskonzentrationen in Abhängigkeit von der Abwasserbelastung. Die Virusdichte in Oberflächengewässern divergiert von 10⁰ bis 10² infektiöser Einheiten/l. In anthropogen belasteten Gewässern dichter besiedelter Regionen in Europa sind etwa 1–10 Viruspartikel/l zu erwarten. Bei der Bewertung experimenteller Ergebnisse muß man methodische Aspekte beach-

ten, weil bei den derzeit verwendeten Virusanreicherungsverfahren die Wiederfindungsraten häufig bei oder unter 10% liegen. Die ermittelten Viruskonzentrationen spiegeln wahrscheinlich kaum die reale Belastung der Gewässer wider. Auch die nachgewiesenen Virustypen können das Spektrum der im Oberflächenwasser potentiell auftretenden Virusarten nicht voll reflektieren, denn dieses kann natürlich wesentlich vielfältiger sein.

Bei Kenntnis der Konzentration im Abwasser kann man die im Zusammenhang mit Verunreinigungen wahrscheinlichen Viruskonzentrationen abschätzen und Nachweisverfahren und/oder Aufbereitungs- und Desinfektionsmaßnahmen anpassen.

3.6.2 Viruspersistenz im Grundwasser

Die Filtrationswirkung eines Bodens richtet sich häufig vorwiegend nach Strukturunregelmäßigkeiten im Bodenaufbau. Im Boden konnten SOBSEY und Mitarbeiter (1986) für das Hepatitis A-Virus bei 5 °C Persistenz von mehr als 90 Tagen feststellen. Bakterien persistieren im Boden etwas kürzer, folglich ist mit Virustransport mindesten ebensoweit und ebensolange zu rechnen wie dies für bakterielle Krankheitserreger bei guter Wasserwegsamkeit des Bodens, geringem Anteil von Lehm und Ton und nach Überwindung der obersten, oft humusreichen und mikrobiell besiedelten Bodenschicht, beobachtet wird.

Im Grundwasser und Boden werden Viren relativ selten nachgewiesen. Dies ist u.a. darauf

zurückzuführen, daß die Viruskontamination vielfach nur in geringen Konzentrationen erfolgt. Viren neigen aufgrund ihrer Ladungsverhältnisse dazu, an den Feststoffpartikeln des Untergrundes zu adsorbieren, sie können folglich sehr stark an spezifische Bodenbestandteilearten gebunden und allmählich inaktiviert werden. Konstellationen, wie sie z.B. bei kiesigen Sanden vorliegen, können bei entsprechender Belastung leichter zum Virusdurchbruch führen. WALTER und RÜDIGER (1977) konnten im Grundwasser aus dem Nahbereich des Müggelsees, Berlin, und HAHN und Mitarbeiter (1988) am Neckar in einer Uferzone mit relativ grobkörnigem Material wiederholt Viren nachweisen. In der Studie am Neckar konnten in den viruspositiven Proben z.T. keine bakteriellen Fäkalindikatoren in 100 ml Wasserproben nachgewiesen werden.

Tabelle 3-7 gibt einige der in der Literatur zur Viruspersistenz veröffentlichten Werte wieder. Diese wurden in dezimale Reduktionszeiten t_D , d.h. in jener Zeit, welche erforderlich ist, um die Viruskonzentration um 1 log des Ausgangswertes (90%) zu vermindern, umgerechnet. t_D wird nach den Formeln 1 und 2 berechnet:

$$t_D = 1:K(\text{aus: } t_D = -1:K \times \log(1:1_0)) \quad (1)$$

K ist die Absterberate gemäß Formel (2)

$$K = -1:t \times \log N_t:N_0 \quad \text{oder} \quad (2)$$

$$t = -1:K \times \log N_t:N_0$$

Die geringsten hier angegebenen Absterberaten wurden bei 10 °C gemessen, bei niedrigerer Temperatur ist eine längere Persistenz zu erwarten.

3.7 Maßnahmen zum Schutz der Trinkwasserressourcen

3.7.1 Die Position der WHO

Ursprünglich erschien es unproblematisch, viruskontaminiertes Rohwasser mit konventionellen Wasserbehandlungsverfahren so zu reinigen, daß das verbleibende Gesundheitsrisiko vernachlässigt werden könnte. Die erste WHO Umweltvirologen-Expertengruppe (WHO, 1979) ging noch von der Möglichkeit der Eliminierung und Inaktivierung aller Viren durch Aufbereitung und Desinfektion aus. Die Auswahl der Ressourcen wurde 1979 noch nicht als Schwerpunkt angesehen. Bald mußte man jedoch feststellen, daß hierdurch die gewünschte und notwendige Sicherheit häufig nicht erbracht wurde. Konsequenterweise wurde in den Internationalen Richtlinien für Trinkwasserqualität der WHO von 1984 die Erkenntnis zugrunde gelegt, daß der beste Ansatz zum Schutz der Konsumenten in einer problembewußten Auswahl der Rohwasservorkommen besteht. Diese sollten idealerweise völlig frei von jeglicher Abwasserbelastung sein. In den 1993 überarbeiteten WHO-Richtlinien wird dieser Gedanke betont und damit die Notwendigkeit eines Schutzzonenkonzeptes für Wasserquellen auch aus virologischer Sicht bestätigt.

3.7.2 Das Schutzzonenkonzept

Die Vorstellungen einer ca. 60 Tage-Persistenz von standortfremden Erregern im Grundwasser von KNORR (1951) hatten zur Festlegung der 50–60 Tagegrenze für den Schutz von Wassereinzugsgebieten geführt (Abb. 3-18). Diese Schutzzonen sind oft in Fassungsgebiet (Schutzzone I),

Tabelle 3-7. Übersicht zur Viruspersistenz

Virustyp	Dezimale Reduktionszeiten t_D in Tagen bei verschiedenen Temperaturen und Bodenarten			
	Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren			
Quelle	MATTHES et al., 1988	YATES, 1987	BITTON und GERBA, 1984	KESWIK et al., 1984
Coxsackie B3				5,3
Coxsackie B1	25–81			5,3
Coxsackie A9	32–53			
Echo 7	26–81			
Echo 1		1,6–20		
Polio 1	31–97	1,5–28,5	21,9	4,8
MS2 Bakteriophage		1,7–83,3		



Abb. 3-18. Bekanntmachung eines Wasserschutzgebietes, Berliner Wasserbetriebe, 1999 (Foto: Walter)

engeres Schutzgebiet (Schutzzone II) und weiteres Schutzgebiet (Schutzzone III) gegliedert. In Deutschland umschreibt die 50-Tagegrenze entsprechend dem Arbeitsblatt W 101 des Deutschen Vereins für das Gas- und Wasserfach die Schutzzone II, in der z.B. keine Gülle oder Klärschlamm ausgebracht werden darf. Der konkrete geografische Verlauf der Schutzzonen richtet sich nach den lokalen hydrogeologischen Bedingungen und wasserwirtschaftlichen Verhältnissen.

Ein solcher Ressourcenschutz hat sich auch in virologischer Hinsicht bewährt, wenngleich die ursprüngliche Deutung des Einflusses der Verweilzeit für Viren nicht zutreffen kann. Untersuchungen haben ergeben, daß die Viruspersistenz im Grundwasser 50 Tage um ein Mehrfaches übertrifft, da die mittlere Persistenz bei ca. 200 Tage liegt (BERG, 1983). Die dennoch gegebene praktische Wirksamkeit der 50-Tagegrenze beruht auf dem

Zusammenwirken von Virusrückhaltung und nachfolgender Inaktivierung durch die ubiquitär vorhandenen Bodenbiozöten und auf den Schutzvorschriften gegen von der Oberfläche her einwirkende Verschmutzungsvorgänge. Zu den Eliminationsmechanismen im Grundwasser gehört die Adsorption der Viren an Bodenpartikel, wobei ein bis zu fünfzigfacher, adsorptionsbedingter Verzögerungsfaktor gegenüber der Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers beobachtet werden kann. In Whitchurch, Hampshire, UK, bewiesen SLADE und EDWORTHY (1980) das Phänomen der Verzögerung. Die im infiltrierten Abwasser enthaltenen Viren fanden sich in hoher Konzentration in der 8–12 m tief unter dem Infiltrationsareal liegenden Grundwasserschicht, erreichten jedoch die ca. 400 m entfernten Beobachtungssonden nicht. Mit chemischen Analysen wurde aber der Zustrom des abwasserbelasteten Grundwassers nachgewiesen (SLADE und EDWORTHY, 1980).

Praxisbedeutung hat diese Verzögerung der Virusmigration mit nachfolgender Inaktivierung in Phoenix, USA, gewonnen. Abwasserinfiltrationsanlagen durch Sand- und Kiessysteme könnten natürliche Grundwässer negativ beeinflussen. Daher wird das infiltrierte Wasser nach einer Reinigungsperiode im Boden wieder abgepumpt. Für die Reinigungsleistung des Bodens werden 100 m Fließstrecke zwischen Infiltrationssystem und den Sammelsystemen als ausreichend erachtet (BITTON und GERBA, 1984).

Karstgebiete sind charakterisiert durch Höhlen, Spalten und Klüfte im Gestein. Die Deckschichten sind gewöhnlich sehr ungleichmäßig ohne gut filternde Schichten ausgeprägt. Die Bewegung des Wassers von der Oberfläche her verläuft primär vertikal entlang der Frakturen und Fissuren. Bei Erreichung des Aquifers wird die Migration horizontal, bevorzugt aber wiederum das Fraktursystem und ist dadurch ungewöhnlich schnell. Die Grundwassergeschwindigkeit kann mehrere 100 m pro Stunde betragen. Ein effizienter Grundwasserschutz gegen die von der Oberfläche her vordringenden Einwirkungen ist daher schwer machbar oder unmöglich. Karstquellen müssen daher immer als qualitativ unzuverlässig gelten. So fanden EDWORTHY und BAXTER (1980) in einem Kalkgrundwasserleiter in der Nähe von Klärteichen und Abwasserlandaufbringung Viren in Beobachtungssonden, welche 5 bis zu 30 m unter der Oberfläche lagen. Die höchste Viruskonzentration zeigte sich in 10–15 m Tiefe.

3.7.3 Die Schutzzonen im Wasserrechtsgesetz

Die Vorstellungen von Maximilian Knorr zur Fließzeit des Grundwassers und den damit zu schützenden Gebieten haben sich in vielen Ländern in der Wasserrechtsgesetzgebung niederschlagen.

Im österreichischen Wasserrechtsgesetz (BGBl, Nr. 215/1959) §34 ist beispielsweise festgelegt, daß „zum Schutz von Wasserversorgungsanlagen gegen Verunreinigung (§30, Absatz 2)die Bezirksverwaltungsbehörde – durch Bescheid ... entsprechende Schutzgebiete bestimmen kann“. Dies bedeutet, daß in einem näher zu bezeichnenden Teil des Einzugsgebietes Maßnahmen, die die Beschaffenheit ...des Wasservorkommens zu gefährden vermögen ...der wasserrechtlichen Bewilligung bedürfen. Im österreichischen Lebensmittelbuch (Codex alimentarius Austriacus), Kapitel B1 „Trinkwasser“ Stand 22.1.1998 (EWR Anhang II: 380 L 0778), wird im Abschnitt II, in den Absätzen 12–14 detailliert auf diese Schutzgebiete eingegangen und ausgesagt, daß ihre Abgrenzung das gesamte Einzugsgebiet oder Teile desselben erfassen kann. In der Schweiz wurde in der Gewässerschutzverordnung vom 28.10.1998 (SR814.201), Anhang 4: Planerischer Schutz der Gewässer, Abschnitt 12 geregelt, daß die engere Schutzzone die Aufgabe hat zu verhindern, daß „Keime und Viren in die Grundwasserfassung oder -anreicherungsanlage gelangen“. Aufgrund der geringen Besiedlungsdichte der Wassereinzugsgebiete in Verbindung mit der besonderen orographischen Situation der Schweiz, wurde für die Zone S2 eine Fließdauer des Grundwassers von mindestens 10 Tage vorgeschrieben. In Südtirol, wo die italienischen Gesetze den Grundwasserschutz regeln, sind die Empfehlungen in Artikel 4, 5, 6 und 7 des Presidential Decree vom 24.5.1988, n 236 anzuwenden (PANA, 1989). In Deutschland wird bei der Ausweisung von Trinkwasserschutzgebieten das Arbeitsblatt W 101 des Deutschen Vereins für das Gas- und Wasserfach zugrunde gelegt, Abb. 3-19.

Schutzzonenmaßnahmen betreffen allgemeine Vorschriften und Nutzungsbeschränkungen:

- So ist in Zone I, im unmittelbaren Nahbereich der Wasserfassung, eine dauerhafte und dichte Abdeckung zu gewährleisten, Bäume und tiefwurzelnde große Strauchgruppen sind nicht zulässig.
- In der Zone II gelten unabhängig von der Durchlässigkeit und dem Speichervolumen des

Bodens eine Reihe von Verboten, die z.T. dazu angetan sind, Viruskontaminationen des darunterliegenden Grundwassers zu verhindern. Dazu gehören insbesondere die folgenden Verbote für: Felddüngerlagestätten, Errichtung und Erweiterung von Senkgruben, Aufbringung von Senkgrubenräumgut, Neuanlage oder Erweiterung von Friedhöfen, Ausbringung von Kompost oder Klärschlamm auf wassergesättigten, schneebedeckten oder gefrorenen Boden, Errichtung von Wildfütterungen sowie die Einleitung von gereinigten Abwässern in Oberflächenwässer, die maßgeblich zur Grundwasseranreicherung im Bereich des Einzugsgebietes der Brunnenanlage beitragen.

- Die weitere Schutzzone, Zone III, soll gewährleisten, daß bei unmittelbar drohenden Gefahren (z.B. bei Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen) ausreichend Zeit und Raum für die erforderlichen Maßnahmen zur Verfügung stehen (ANONYMUS, 1995).

3.8 Trinkwasseraufbereitung und Desinfektion

3.8.1 Viren in aufbereitetem Wasser

Enterale Viren können unter gewissen Umständen die Schranken der Wasseraufbereitung passieren. Die schon weiter oben geschilderten Epidemien ereigneten sich infolge erheblicher Mängel der Aufbereitung, überwiegend nach Einbruch von Oberflächenwasser oder Abwasser in das Trinkwasserreinzugsgebiet. Es liegen aber auch Berichte vor, nach denen Viren in ordnungsgemäß aufbereitetem Trinkwasser nachgewiesen werden konnten (z.B. HAHN et al., 1988a; SLADE, 1986; Zusammenstellungen bei PAYMENT und ARMON, 1989; GERBA und ROSE, 1990). Zu diesem Thema haben PAYMENT und Mitarbeiter (1991) eine sehr interessante Studie aus einem großen Wasserversorgungssystem in Kanada vorgelegt. Sie fanden, daß ein Viertel der Durchfallerkrankungen der Konsumenten auf Wasserinhaltsstoffe zurückzuführen war, die man mittels Membranfiltration entfernen kann. Während des gesamten Beobachtungszeitraums entsprach aufbereitetes aber nicht membranfiltriertes Trinkwasser den bakteriologischen Güteanforderungen für Trinkwasser. Hier liegt der Schluß nahe, daß es sich bei den Erregern auch um Gastroenteritisviren gehandelt hat.

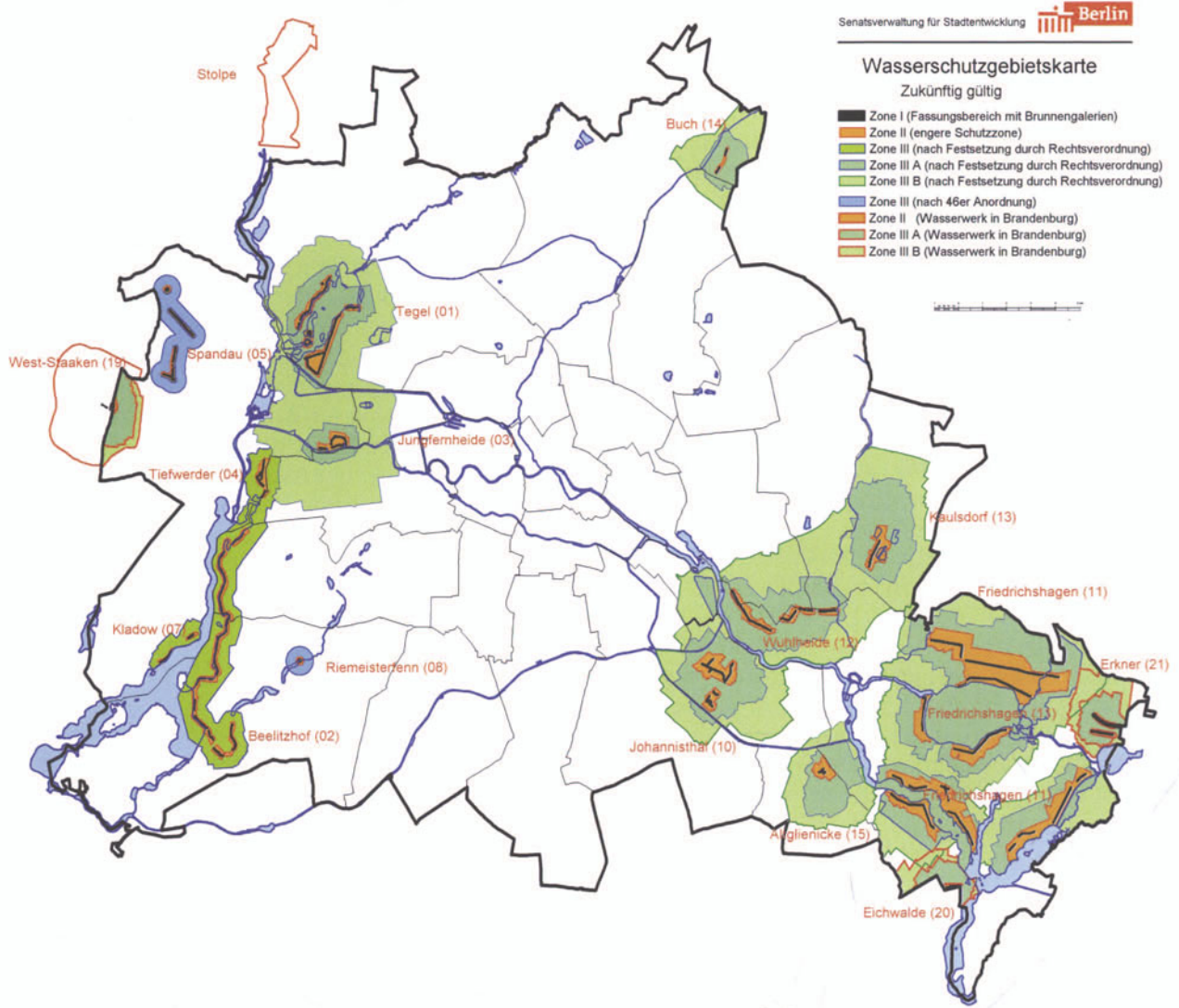


Abb. 3-19. Wasserschutzgebiete in Berlin

3.8.2 Viruseliminierung bei der Wasseraufbereitung

Wesentliche Verfahren der Trinkwasseraufbereitung zur Viruseliminierung sind Untergrundpassage, Langsandsandfiltration und Flockung mit nachfolgender Flockenabscheidung durch Schnellfiltration sowie Desinfektion. Alle Verfahren können die Viruskonzentration des Wassers wirksam verringern. Zur Beurteilung im praktischen Einsatz ist die Zuverlässigkeit und Berechenbarkeit dieser Wirkung wichtig. Nur für definierte Belastungen, wie Wasserdurchsatz, hydraulischen Druck oder Wasserverschmutzung ist Berechenbarkeit wirklich aber gegeben. Wenn diese Konditionen schnell wechseln, muß mit Fehlern und Durchbruch von Mikroorganismen gerechnet werden.

Der Einfluß der sich verändernden Wasserqualität auf den Aufbereitungserfolg konnte in ei-

genen Untersuchungen an einer Karstquelle belegt werden, Ergebnisse in Tabelle 3-8. Die Aufbereitungskombination aus Flockung, Sedimentation, Ozonung, Schnellfiltration, Aktivkohlefiltration und Phosphatfällung und abschließender Chlorung zeigte trotz Virusvorkommen im Rohwasser regelmäßig gute Ergebnisse. Bei starker Verschmutzung nach heftigen Niederschlägen traten im Rohwasser erhöhte Keimzahlen bei 20 °C bis zu >20 000 KBE/1 ml auf. Nach der abschließenden Chlorung konnten noch Enteroviren und Coliphagen nachgewiesen werden. (Tabelle 3-8, Spalte 7). Spätestens nach der Ozonung waren die geprüften Wässer jedoch frei von Viren und Virusindikatoren. Allerdings konnte unter erschweren Umständen das Rohwasser trotz Aufbereitung nicht immer in einen desinfizierbaren Zustand versetzt werden (BOTZENHART et al., 1993).

Tabelle 3-8. Ergebnis der Testung einer Wasseraufbereitungsanlage, BOTZENHART et al. (1993)

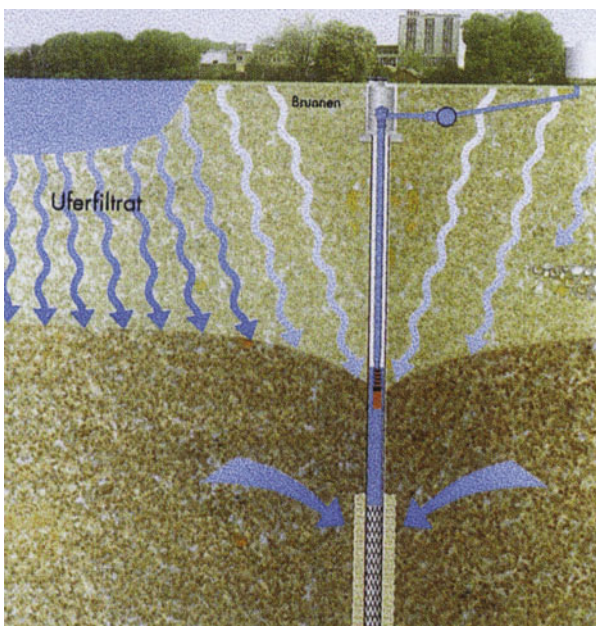
Aufbereitungsschritte	Coliphagen PBE/100 ml	Viren MPN/10 l		Gesamtkeimzahl/ml		<i>E. coli</i> /100 ml
		Zelllinien: MA104, BGM, RD		21 °C	36 °C	
1 Rohwasser (Karst)	3	4,8	0	42	11	nachgewiesen
2 Nach Phosphatfällung	1	2,2	0	520	29	–
3 Nach Ozonung	0	0	0	0	0	–
4 Nach Transportchlorung	0	0	0	0	0	–
5 Rohwasser	94	0	0	21 900	7400	–
6 Nach Phosphatfällung	29	0	0	2700	2480	nachgewiesen
7 Nach Ozonung	0	0	0	98	106	–
8 Nach Transportchlorung	2	0	1,1	2	108	–
9 Rohwasser(Karst)	10	0	0	30	30	–
10 Nach Ozonung	0	0	0	0	0	–
11 Nach Transportchlorung	20	0	0	0	1	–

3.8.2.1 Uferfiltration

Während der vertikalen Bodenpassage von Niederschlagswässern, bei künstlicher Grundwasseranreicherung oder bei Uferfiltration kommt es zu einer starken Reduktion der Viruskonzentration im migrierenden Wasser (Abb. 3-20).

Nach den Vorstellungen der WHO galten 6–10 m Bodentiefe (WHO, 1979) als ausreichend für Virusrückhaltung. In Versuchen von Botzenhart und Mitarbeitern wurden Viren (von Einzelbefunden abgesehen) bei der Uferfiltration nur in

Brunnen gefunden, welche weniger als 10 m vom Ufer entfernt lagen (HAHN et al., 1988). DUMKE (1995) konnte im Uferfiltrat der Elbe nur in einer von 11 Proben Viren nachweisen, obwohl 95% aller Proben des Elbwassers viruspositiv waren. Viren persistieren viele Monate in Boden und Grundwasser. Sie werden an Bodenpartikel adsorbiert und unter besonderen Umständen auch remobilisiert. Dies geschieht z.B. während schwerer Regenfälle oder Überflutungen bei Hochwasser, da Veränderungen des pH-Wertes und der Ionenstärke des Bodenwassers Virusdesorption bewirken kann. Die Virusmigration im Boden wird in der Praxis oft weniger durch das reguläre Bodenprofil als durch die dort vorhandenen Irregularitäten, wie eingelagerte Schichten von größerem Material, Spalten und Risse, geprägt. Auch eine überwiegend gute bakteriologische Qualität gibt keine absolute Sicherheit bezüglich der Abwesenheit von Viren.



bb. 3-20. Grundwasserneubildung aus Uferfiltrat

3.8.2.2 Flockung

Die chemische Flockung mit Aluminiumsulfat und Eisenchlorid kann die Viruskonzentrationen erheblich verringern. KEMPF und Mitarbeiter untersuchten bereits 1942 dieses Verfahren und mußten damals feststellen, daß so behandeltes Wasser noch infektiös war. Die Flockungsverfahren konnten im Verlauf der wissenschaftlich-technischen Entwicklung bedeutend optimiert werden. Bei entsprechenden Wassereigenschaften werden heute Viruseliminierungsraten um 90–99,8% erreicht. Die Viren werden dabei nicht inaktiviert und sind im entstehenden chemischen Schlamm noch infektiös.

Dieser Umstand wurde auch zur Entwicklung von Verfahren der Virusanreicherung genutzt (WALTER, 1981). Die Effektivität der Flockung wird von den Wassereigenschaften beeinflusst. Tiefe Wassertemperaturen, größere Mengen an Trübstoffen und gelöster organischer Substanz sowie wechselnde pH-Werte können die Eliminierungsraten verschlechtern. Da die Eigenschaften von Oberflächenwässern stark schwanken, muß, wenn die Schmutzfracht erhöht ist, mit erhöhter Virusbelastung des Rohwassers gerechnet werden. Bei der Aufbereitung zu Trinkwasser ist daher stets eine Flockungs-/Filtrationsstufe vorzusehen, um das Wasser in einen Zustand zu bringen, in dem es zuverlässig desinfiziert werden kann. Insbesondere müssen organische und anorganische Partikel, kolloidale Substanzen und gelöste organische Verbindungen, welche die Viren umhüllen und schützen und die Wirksamkeit der Desinfektionsverfahren behindern, entfernt werden.

3.8.2.3 Desinfektion

Einführung: Die Desinfektion führt zu einer Reduktion der mikrobiellen Konzentration über Abtötung, irreversible Inaktivierung oder physische Entfernung pathogener Mikroorganismen. Das Ziel von Desinfektionsmaßnahmen ist die Unterbindung von Krankheitsübertragung durch einen Gegenstand, ein Objekt oder ein Medium. Ein Nullwert („frei von Krankheitserregern“) kann nicht erwartet werden, sondern nur eine Reduktion der Erregerkonzentration endlichen Ausmaßes. Diese ist vor allem von Konzentration „C“ und Einwirkungszeit „T“ des Desinfektionsmittels abhängig, aber z.B. auch von der Temperatur, dem pH-Wert und dem Gehalt des Wassers an organischen Substanzen. Zur Festlegung der Desinfektionsbedingungen gehört die Definition des Zieles, d.h. jener Erregerkonzentration, die im desinfizierten Wasser unterschritten werden muß. Das Ziel kann über die minimale infektiöse Dosis der erwarteten Virustypen (MID) auf der Basis eines Einvernehmens über das maximal zulässige Infektionsrisiko berechnet werden. Weiterhin müssen Informationen über die Konzentration der Viren im Rohwasser vorliegen. Durch Ressourcenpflege und optimale Technologie der Wasseraufbereitung ist sicherzustellen, daß im aufbereiteten Wasser bestimmte Viruskonzentrationen nicht überschritten werden. Auch die chemisch-physikalische Wasserqualität sollte den Anforderungen an einen effizienten Desinfektionsprozeß entsprechen. Die

experimentell erhobenen Daten über Konzentrationen und Einwirkungszeiten (**CxT-Produkte**) von Desinfektionsmitteln zur Erreichung einer bestimmten Erregerreduktion (z.B. 4 log = 99,99%) sollten auch in der Praxis der Trinkwasserdesinfektion wirksam sein. Der Versuch einer Desinfektion von Oberflächenwasser ohne vorherige Aufbereitung nur durch Zugabe von Desinfektionsmitteln ist nicht akzeptabel. Es würde nicht nur der Bedarf an Desinfektionsmittel erhöht, sondern auch der Erfolg der Maßnahmen unkalkulierbar werden. Hinzu kommt, daß mit der vermehrten Bildung toxischer und kanzerogener chlororganischer Verbindungen zu rechnen ist, da der Gehalt an Vorläufersubstanzen („precursors“) nicht durch die Aufbereitung vermindert worden ist. Vermeintliche „Sicherheitszuschläge“ von Desinfektionsmitteln sind in diesem Zusammenhang abzulehnen.

Virusreduktion: 1. Oxidationsmittel: Viren sind der Desinfektion durch Chlor, Chlordioxid, Ozon und UV-Strahlen zugänglich. Enterale Viren sind als unbehüllte Strukturen gegenüber den meisten Desinfektionsmitteln relativ resistent. Sie erweisen sich im allgemeinen als resistenter als die meisten der im Wasser auftretenden Bakterien, namentlich als *E. coli*, Salmonellen, Shigellen und Cholera-Vibrionen. Experimentelle Studien aus verschiedenen Ländern haben jedoch gezeigt, daß die Chlorung des Wassers unter Umständen keine ausreichende Sicherheit bringt, auch wenn bakteriologische Fäkalindikatoren des gechlorten Wassers dies nicht anzeigen. 1970 und 1974 wurden z.B. im Verteilungssystem der Städte Moskau und Kuibishev enteropathogene Viren aus dem Trinkwasser isoliert. Dieser Tatbestand war in keiner Weise erwartet worden, da die Wässer entsprechend dem Stand der Technik aufbereitet und desinfiziert waren worden waren und die nationalen bakteriologischen Qualitätsstandards (WHO, 1979) stets eingehalten waren. Ende der siebziger Jahre berichteten Rao und Mitarbeiter über Studien, die sie in den Leitungsnetzen von Yeotmal und Kamptee, kleinen Städten nahe Nagpur, und von Bombay während des Ausbruchs von lokalen Hepatitis A-Epidemien durchgeführt hatten. Sie konnten Enteroviren in Trinkwässern mit einem Restchlorgehalt von 0,2–0,8 mg/l entdecken. Der Virusnachweis wurde von den Autoren als Hinweis auf völlig unzureichende Chlorkontaktzeiten angesehen. Die Viruskonzentration wurde während einer Epidemie in

Nagpur mit 1–7 PFU in 12–40 l Proben bestimmt. Ein späteres Routinemonitoring dieses Trinkwassers ergab eine Virusdichte von 1–7 PFU/30–60 l, wobei nur 7 von 50 Proben viruspositiv waren (RAO et al., 1978).

Eine Zusammenstellung zahlreicher experimenteller Daten zur Desinfektion ist von SOBSEY (1989) vorgenommen worden. Diese Übersicht dokumentiert, daß bei optimalen Bedingungen, wie eines neutralen bis leicht sauren pH-Wertes und Abwesenheit von organischen Substanzen und Trübstoffen, eine schnelle Virusinaktivierung durchaus zu erreichen ist. Untersuchungen mit dem Hepatitis A-Virus, anderen Virustypen oder Phagen bestätigen, daß sich mit Chlor, Chlordioxid und Ozon eine sehr zuverlässige und schnelle Abtötung erzielen läßt, wenn die maßgeblichen Bedingungen der Wasserqualität eingehalten werden (HERBOLD et al., 1989; BOTZENHART et al., 1993). Chlordesinfektion mit CT-Werten (C in mg/l, T in min) von < 5 und von Ozondesinfektion mit CT-Werten von < 1 bewirkt Reduktion für behüllte, unbehüllte Viren und Enterobakterien bis zu 99,99%. Die Relation der Virusinaktivierung verhält sich von Chlor zu Chlordioxid und zu Ozon etwa wie 1 zu 10 zu 30. Die Surface Water Treatment Rule (ANONYMUS, 1989; BOTZENHART, 1994) schreibt folgende CT-Werte für die Reduktion von Viren und Giardiazysten bei standardisierten Wasserbedingungen von 10 °C und pH 7,0 vor: Chlor: 130; Chlordioxid: 23; Ozon: 1,4.

2. UV-Bestrahlung: Für UV-Strahlen wird angenommen, daß Viren im allgemeinen wesentlich resistenter sind als Bakterien (CHANG et al., 1985). Die Photoreaktivierung der Bakterien ist ein Phänomen, das bei Viren bisher nicht bekannt ist. Hepatitis-A-Virus Suspensionen werden bei 180 J/m² um 4 log₁₀ (99,99%) reduziert. Dies bedeutet, daß unter den gegebenen Versuchsbedingungen für HAV keine wesentlich erhöhte Resistenz gegenüber *E. coli* beobachtet wurde. Polioviren benötigen für diese Reduktion etwa 300 J/m² (WIEDENMANN et al., 1993; MAIER et al., 1995; SCHOENEN et al., 1995). Bei einem Praxisversuch zur UV-Desinfektion von Abwasser zeigte sich eine Rangfolge der Zunahme der UV-Resistenz, beginnend mit *E. coli* über coliforme Bakterien, Gesamtkeimzahl 22 °C, Bakteriophagen und endend mit den enteralen Viren (HAHN und BOTZENHART, 1991). Die stärkere Reduktion der Bakteriophagen im Vergleich zu den humanpathogenen Viren kann damit erklärt wer-

den, daß die in Kläranlagenabläufen vorhandenen Bakteriophagen (somatische Phagen) relativ UVsensitiv sind.

3. Praxistest im Wasserwerk: Eine Übersicht über die Rückhaltung von Viren in den einzelnen Stufen von 8 verschiedenen Wasserwerken der Niederlande haben OLPHEN und Mitarbeiter (1984) vorgelegt. Das Oberflächenwasser, welches als Rohwasser für die Trinkwassergewinnung verwendet wurde, war überwiegend viruspositiv. Nach Flockung, Sedimentation und Schnellfiltration, z.T. auch nach Transportchlorung, waren noch 11 von 55 untersuchten Wasserproben viruspositiv. Erst nach Abschluß der Aufbereitung und Desinfektion waren in allen Wasserwerken alle von den insgesamt untersuchten 100 Proben (Probenvolumen 500 l) frei von Viren. Dies belegt eine hohe Wirksamkeit der eingesetzten Aufbereitungs- und Desinfektionsprozesse. Für eine zuverlässige Vorhersage des Erfolges ist jedoch die Endkontrolle allein nicht ausreichend, sondern jeder Schritt sollte im Hinblick auf die Effizienz der Viruselimination quantitativ beschreibbar sein.

Die Arbeitsgruppe um PAYMENT, TRUDEL und PLANTE (1985) untersuchte ein Jahr lang in Montreal, Kanada, sieben Wasserwerke, in denen mit Ozon- und Chlordesinfektion gearbeitet wurde. Sie entdeckten Polio 3- und Coxsackie B5-Viren in fünf Anlagen in insgesamt 7% (11 von 155 Proben). Die mittlere Virusdichte war mit 6 i.P./10 000 l und die höchste Virusdichte mit 2 i.P./100 l. sehr gering. Die Nachweisbarkeit derart niedriger Konzentrationen ergibt sich aus einem extrem großen Probenvolumen (PAYMENT et al., 1985).

International besteht die Forderung, die maximale zulässige Konzentration von Krankheitserregern im Trinkwasser so gering zu halten, daß man sie bei Untersuchung der vorgeschriebenen Volumina des aufbereiteten Wassers nicht mehr nachweisen kann. Sicherheit ist nur zu garantieren, wenn die Viruskonzentration im Rohwasser größenordnungsmäßig bekannt ist und die Reduktionswirkung der Aufbereitungsschritte im Detail kontrollierbar sind. PAYMENT (1991) schlägt Clostridium perfringens als Indikatorkeim für die Erfolgskontrolle der Desinfektion vor. Dabei handelt es sich um ein sporenbildendes Bakterium, das auf Grund seiner natürlichen Konzentration im Rohwasser und infolge der hohen Resistenz seiner Sporen gegenüber Desinfektionsmaßnahmen geeignet sein könnte.

Tabelle 3-9. Viruseliminierung von Verfahren der Trinkwasseraufbereitung (nach LEONG, 1983; WALTER, 1988), DÜRKOP, 1991)

Verfahren	Viruseliminierung in %
<i>Aluminiumsulfat-Flockung</i>	
mit Sedimentation	47–95
mit nachfolgender Schnellfiltration	80–99
Eisensalz-flockung	99,5
<i>Kontaktfiltration</i>	
einstufig	30–99
zweistufig	98–99,9
<i>Aktivkohlefiltration</i>	79–90 aber Desorption möglich
<i>Schnellfiltration</i>	kein Effekt
<i>Langsamsandfiltration</i>	99,99
<i>Uferfiltration</i>	79–99
<i>Reverse Osmose</i>	99,9999

3.9 Zusammenfassung

3.9.1 Übersicht der Verfahren der Wasserbehandlung

Mit der Schaffung methodischer Grundlagen zum Virusnachweis im Trinkwasser gelang es auch, die Verfahren der Aufbereitung auf ihre Effizienz zu überprüfen und zu bewerten. In Tabelle 3-9 findet sich dazu eine verallgemeinernde Übersicht der Bewertung von Verfahren.

Grundsätzlich muß man davon ausgehen, daß die Wasserbevorratung wenig effektiv ist, wenn es sich nicht um längerdauernde Lagerung in großen, biologisch aktiven Reservoirs handelt. Auch Belüftungsmaßnahmen sind ohne wesentlichen Einfluß, da nur ein kleiner Teil der Virusbelastung durch Adsorption an sich bildenden Eisen- und Manganhydroxidflocken mit abgeschieden wird. Alle Flockungsverfahren gehören zu den hochwirksamen Verfahren. Sie stehen daher im Mittelpunkt einer modernen Wasserbehandlung. Sie werden in ihrer Effektivität u.a. wesentlich von der aktuellen Wassertemperatur, der Flockungsmittelkonzentration und den nachfolgenden Separationsprozessen bestimmt. In Kombination mit Kontaktfiltration führen sie zu 99,9% Viruseliminierungen. Von den Filtrationsverfahren sind auch Langsamsandfilter (Filterlaufzeit 0,1–0,2 m/Stun-

de) hoch effizient. Durch die Mitwirkung biologischer Prozesse werden Virusbelastungen bis zu 99–99,9% eliminiert und inaktiviert (LEONG, 1983; DÜRKOP, 1991). Schnellfiltrationen (2,4 m/Stunde) sind bei ausschließlicher Anwendung nicht effektiv. Auch die zur Schönung des Wassers eingesetzte Aktivkohle kann über Adsorption zur Viruseliminierung führen. Zu einem späteren Zeitpunkt muß mit Virusfreisetzung und damit Filterdurchbruch gerechnet werden. Dies ist in Interferenzphänomenen beim Auftreten konkurrierender organischer Verbindungen in der wässrigen Phase bedingt. Die dem Prinzip der Ultrafiltration nahestehende reverse Osmose ist hoch wirksam. Die Anwendung ist allerdings sowohl durch mikrobiell bedingte Membranzersetzung als auch durch hohe Energiekosten zur Erzeugung des erforderlichen Filterdrucks großtechnisch noch nicht gelöst (DÜRKOP, 1991).

3.9.2 Ausblick

Die Weiterentwicklung der Virusnachweisverfahren, insbesondere die Virus-Schnelldiagnostik mit molekularbiologischen Identifikationstechniken gestattet ein rasches Virusmonitoring gefährdeter Wasserquellen. Der Einsatz von Modellphagen wie der f2- und MS2-Phagen für die Entwicklungsprüfung von Verfahren der Wasseraufbereitung und -desinfektion wird einen beachtlichen Erkenntniszuwachs zum Virusverhalten im Wasser bedingen und damit zu einer Herausforderung für die Ingenieurwissenschaften werden. Es wird sich einbürgern, daß man Wasserquellen mit viralen Belastungen sehr effizient aufbereitet und desinfiziert und die Virusfreiheit des Trinkwassers gesichert ist. Im Falle von unerwarteten Krankheitsausbrüchen werden sorgfältige Analysen auch die virologischen Ursachen klären und unterbinden können. Diese technische Entfaltung wird auch die „neuen“ viralen Infektionskrankheiten über Trinkwasser in den entwickelten Ländern verhindern. Die Erkenntnisse zur Wasserbehandlung werden aber für die Entwicklungsländer von noch weitreichenderer Bedeutung sein, denn dort geht es um Lebenserwartung und Leistungseffizienz der Bürger als Grundlage der Stabilisierung und des Wachstums der nationalen Volkswirtschaften.