

„Trinkwasserbedingte Virusinfektionen der Menschen“

**Der Fakultät
vorgelegte
Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors**

von

Wilfried Soddemann

aus

Münster/Westfalen

ON IMPERFECT STUDIES

"The subject is capable of being decided by exact numerical investigation, but I have thought it better to publish my inquiry in its present imperfect state than to wait till I should be able to make such a complete research as I could wish, more especially as, by directing the attention of the profession to the question, it may be earlier decided."

JOHN SNOW

Gliederung

		Seite
1	Einleitung	5
1.1	Betrachtete Virusinfektionen, wissenschaftliche Fragestellung	5
1.2	Methodik	6
2	Virusinfektionen: Eintrittspforten der Viren bei den Menschen und Übertragungswege	8
2.1	Eintrittspforten der Viren bei den Menschen	8
2.2	Übertragungswege der Virusinfektionen	9
2.2.1	Tröpfcheninfektion	9
2.2.2	Kontakt- und Schmierinfektion	9
2.2.3	Infektion durch abiotische Vehikel	9
2.3	Übertragungswege der Norovirus- und Rotavirusinfektionen	9
2.3.1	Übertragungswege der Norovirusinfektionen	11
2.3.2	Übertragungswege der Rotavirusinfektionen	11
3	Norovirus- und Rotavirusinfektionen in Deutschland	11
3.1	Abschätzung der Zahl trinkwasserbedingter Virusinfektionen in Deutschland	11
3.2	Epidemiologische Datengrundlage zu Virusinfektionen in Deutschland	12
3.2.1	Meldedaten nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG), Meldeverhalten	12
3.2.1.1	Norovirusinfektionen: epidemiologische Meldedaten nach IfSG	14
3.2.1.2	Rotavirusinfektionen: epidemiologische Meldedaten nach IfSG	18
4	Trinkwassergewinnung, Trinkwasseraufbereitung und Trinkwasserverteilung in Deutschland	21
4.1	Trinkwassergewinnung in Deutschland	21
4.2	Trinkwasseraufbereitung	27
4.2.1	Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung hinsichtlich Viren nach der WHO Trinkwasserrichtlinie 2004	27
4.2.2	Trinkwasseraufbereitung in Deutschland	33

	Seite
4.2.3	Entfernung und Inaktivierung von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland
	34
4.3	Erdboden-, Gewässer-, Trinkwasser- und Lufttemperaturen in Deutschland: Kühlkette öffentliche Trinkwasserversorgung
	36
4.4	Trinkwasserverteilung, Konservierung und Transport virulenter Viren durch das Trinkwasser
	42
5	Viren in Gewässern und im Trinkwasser, Tenazität virulenter Viren in der Umwelt, den Gewässern und im Trinkwasser
	43
5.1	Viren in Gewässern und im Trinkwasser
	43
5.2	Tenazität virulenter Noro- und Rotaviren in der Umwelt, den Gewässern und im Trinkwasser
	46
6	Trinkwasserüberwachung in Deutschland
	49
7	Analyse epidemiologischer Daten zu saisonal im Winter auftretenden Virusinfektionen unter Berücksichtigung von Trinkwassergewinnung und klimatischen Einflüssen der Temperaturverläufe in Deutschland
	55
7.1	Norovirusinfektionen: Epidemiologie/Trinkwassergewinnung/Temperaturen
	58
7.2	Rotavirusinfektionen: Epidemiologie/Trinkwassergewinnung/Temperaturen
	61
8	Trinkwasserprobenahme
	63
9	Diskussion
	63
10	Schlussfolgerungen
	66
11	Zusammenfassung/Abstract
	69
11.1	Zusammenfassung
	69
11.2	Abstract
	70
12	Quellenverzeichnis
	71

1 Einleitung

1.1 Betrachtete Virusinfektionen, wissenschaftliche Fragestellung

Diese Analyse epidemiologischer Meldedaten befasst sich mit saisonal auftretenden und durch Viren verursachten Erkrankungswellen oder Outbreaks, die alljährlich im Winter auftreten und als Norovirus- und Rotavirus-Epidemien bezeichnet werden. Nach der geltenden Lehrmeinung können Norovirus- und Rotavirusinfektionen u.a. durch das Trinkwasser übertragen werden, auch wenn nur 4 % des genutzten Trinkwassers (5 Liter je Person und Tag) unmittelbar getrunken oder zur Bereitung des Essens genutzt werden. Im kontaminierten Trinkwasser enthaltene Viren können die Menschen nicht allein durch das Trinken von Wasser infizieren. Weitere Infektionsmöglichkeiten sind durch den Verzehr von mit Trinkwasser gewaschenem Salat, durch das Trinken mit Wasser zubereiteter kalter Getränke, durch Eiswürfel in kalten Getränken, aber auch durch den Kontakt mit dem Trinkwasser oder durch das Einatmen von Aerosolen bei der Körperpflege gegeben (siehe Abschnitt 2.1). Die Infektionsdosen sind mit 1 bis 10 Viruspartikeln sehr gering, so dass Virusinfektionen auch z.B. beim Putzen der Zähne übertragen werden können. Die molekularbiologischen Verfahren zum Nachweis von Viren haben eine begrenzte Sensitivität. Die Nachweisgrenze liegt bei 10 Viruspartikeln je Liter. Grundsätzlich ist also beim molekularbiologisch positiven Nachweis von Viren und bei mindestens 10 Viruspartikeln je Liter Trinkwasser die Infektion von Menschen möglich. Der Anteil trinkwasserbedingter Norovirus- und Rotavirusinfektionen bezogen auf die Gesamtheit der labordiagnostisch abgeklärten Fälle ist (noch) unbekannt. Der mögliche Zusammenhang zwischen den genannten Infektionen und der Trinkwasserversorgung wird qualitativ und quantitativ untersucht, analysiert und diskutiert. Die Auswertungen der vorliegenden Analyse umfassen neben den epidemiologischen Meldedaten die Arten der Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung in Deutschland. Weiterhin werden die Temperaturen des Bodens in einem Meter Tiefe (in etwa der Verlegungstiefe der Trinkwasserleitungen entsprechend), der Gewässer und der Luft einbezogen, da die Kälte der mit Abstand bedeutendste Faktor zur Konservierung virulenter Noro- und Rotaviren im Wasser ist (WHO, 2004).

Norovirus- und Rotavirusinfektionen sind die dem Robert Koch-Institut Berlin (RKI) von den Gesundheitsämtern jährlich mit fünf- bis sechsstelligen Fallzahlen am häufigsten gemeldeten saisonal auftretenden Viruserkrankungen. Die zu den beiden genannten Viruserkrankungen für Deutschland gemeldeten Fallzahlen sind als epidemiologische Datengrundlage geeignet, um belastbare Auswertungen durchzuführen, die schließlich auch weitreichende Aussagen zulassen.

1.2 Methodik

Der Chirurg und Leibarzt der englischen Queen Victoria John Snow trug ab 1848 die aufgetretenen Cholera-Erkrankungen mit Zählstrichen in den Londoner Stadtplan ein und brachte die dabei deutlich werdenden Häufungen in Verbindung mit den zugehörigen Wasserversorgungsgebieten, um zu seinen die Öffentlichkeit warnenden Aussagen zu kommen. Konsequenz war, dass er persönlich die von ihm als Infektionsquelle beschriebene Wasserpumpe durch Demontage des Schwengels stilllegte und die Cholera in dem zugehörigen Stadtteil abebbte (siehe Abb. 1).

In Deutschland werden Seuchen wie die Cholera durch den erreichten Stand der Trinkwasserhygiene zwar vermieden, die Übertragung von Virusinfektionen durch das Trinkwasser kann jedoch, wie mit der vorliegenden Analyse gezeigt wird, aktuell nicht ausgeschlossen werden. Datengrundlage für die hiermit vorgelegten Auswertungen sind die o.g. für den Zweck geeigneten Meldedaten nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG, 2000), die seit 2001 von den Gesundheitsämtern der Landkreise und kreisfreien Städte wöchentlich dem Robert Koch-Institut (RKI) gemeldet werden. Diese Infektionsmeldungen sind durch labordiagnostische Nachweise abgesichert. Räumlich liegen die Infektionsmeldungen nur für die Gebiete der Landkreise und kreisfreien Städte Deutschlands vor und sind deshalb nicht höher auflösbar. Die Wasserversorgungsstrukturen hingegen variieren regelmäßig von Kommune zu Kommune, da die öffentliche Trinkwasserversorgung nach der deutschen Verfassung Selbstverwaltungsaufgabe der Kommunen ist. Auch innerhalb der Kommunen können die Wasserversorgungsstrukturen (Arten der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung) variieren, z.B. wenn das Wasser unterschiedlicher Wassergewinnungsanlagen zur Verteilung gelangt. Dieser Umstand erlaubt vergleichende Auswertungen der von den Gesundheitsämtern gemeldeten Infektionen zu einzelnen Landkreisen und kreisfreien Städten nur dann, wenn diese einheitlich oder überwiegend mit Trinkwasser einer definierten Herkunftsart versorgt werden, beispielsweise mit Grund- oder Oberflächenwasser, das für den jeweiligen Kreis bzw. die jeweilige kreisfreie Stadt mit gleicher Effizienz aufbereitet wird. Qualitative Analysen auf der Ebene der Bundesländer besitzen hingegen eine belastbare Aussagekraft, da die Herkunft des gewonnenen Trinkwassers zwischen den Bundesländern signifikant voneinander abweicht.



Abb. 1: Links oben: Stadtplan von London. Links unten: Trinkwasserversorgungsgebiete von London. Rechts oben: Stadtplanausschnitt von London, in den John Snow die aufgetretenen Cholera-Erkrankungen mit Zählstrichen eintrug, um Häufungen erkennen zu können. Die erkannten Häufungen brachte er in Verbindung mit der zugehörigen öffentlichen Wasserpumpe (rechts unten) (UNIVERSITY OF CALIFORNIA DEPT. OF EPIDEMIOLOGY, 2005).

Anders als bei den sonst üblichen epidemiologischen Analysen, bei denen überwiegend statistische Methoden angewendet werden, werden die saisonal im Winter auftretenden Norovirus- und Rotavirus-Endemien nach der Methode des Londoner Arztes John Snow an Hand von geographischen Karten und vor allem Diagrammen dargestellt, analysiert und diskutiert. Dabei werden die Infektionsverläufe über den Erdboden-, Gewässer-, Trinkwasser- und Lufttemperaturen aufgetragen, analysiert und diskutiert. Angaben zur Trinkwassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung finden bei den Analysen, Diskussionen und Schlussfolgerungen ebenfalls Berücksichtigung.

2 Virusinfektionen: Eintrittspforten der Viren bei den Menschen und Übertragungswege

2.1 Eintrittspforten der Viren bei den Menschen

Infektionen durch Trinkwasser werden nicht allein durch das Trinken des Wassers übertragen (siehe Abb. 2). Weitere Übertragungswege sind das Einatmen von Aerosolen und der Kontakt mit dem Trinkwasser. Eintrittspforten beim Menschen sind die

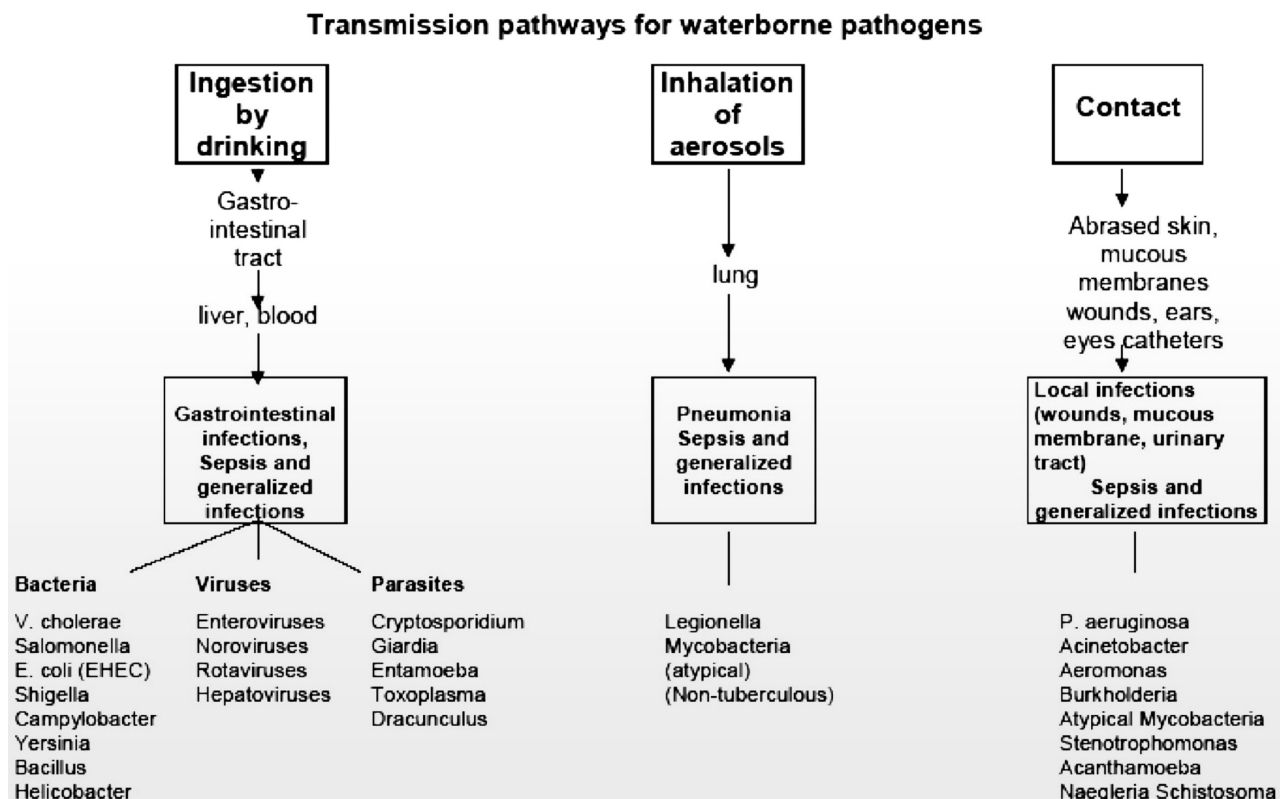


Abb. 2: Infektionen durch Trinkwasser: Übertragungswege und Eintrittspforten bei den Menschen (EXNER, 2003).

Augenbindehaut, die Nasenschleimhaut, die Mundschleimhaut, die Ohrtrommelfellmembran, Wunden und durch Katheter berührte sonstige Schleimhäute und Gefäßendothelien.

Noro- und Rotaviren können, wie in der Fachwelt bekannt ist, mit dem Trinkwasser fäkal-oral übertragen werden.

2.2 Übertragungswege der Virusinfektionen

2.2.1 Tröpfcheninfektion

Die Tröpfcheninfektion ist die direkte biotische Übertragung virulenter Krankheitserreger von Mensch zu Mensch durch die von einem Infektionsträger beim Sprechen, Niesen oder Husten versprühten feinsten Tröpfchen.

2.2.2 Kontakt- und Schmierinfektion

Die Kontakt- und die Schmierinfektion erfolgen durch die indirekte Übertragung virulenter Krankheitserreger über von einem Infektionsträger kontaminierte Flächen oder Gegenstände oder durch Schweißabsonderungen der Infizierten. Die Krankheitserreger werden überwiegend durch verschmutzte Hände nach Kontakt mit kontaminierten Flächen oder Gegenständen oder durch Schweißabsonderung beim Schütteln der Hände Infizierter übertragen.

2.2.3 Infektion durch abiotische Vehikel

Die Infektion durch abiotische Vehikel ist die mittelbare Übertragung virulenter Krankheitserreger durch kontaminierte unbelebte (abiotische) Stoffe (Vehikel), die die Menschen auf unterschiedlichen Wegen erreichen. Zum Beispiel sind Nahrungsmittel und Trinkwasser solche Vehikel.

2.3 Übertragungswege der Norovirus- und Rotavirusinfektionen

Virulente Noro- und Rotaviren infizieren die Menschen stets in der kalten Jahreszeit, deutlich ausgeprägt erst zum Ende des Winters in den Monaten Februar und März. Nach der Lehrmeinung schwächt die Kälte des Winters die Abwehrkräfte der Menschen und begünstigt so die Übertragung von Virusinfektionen. Auch große Menschenansammlungen und die trockene Raumluft während der Heizperiode sollen nach der Lehrmeinung die Übertragung von Virusinfektionen begünstigen. Die jährliche Heizperiode beginnt jedoch bereits im September, das kalte Winterwetter schon im November. Die initiale, primäre Übertragung der Norovirus- und Rotavirusinfektionen durch große Menschenansammlungen ist unwahrscheinlich, da die genannten Virusinfektionen nicht überwiegend in Großstädten und Ballungsgebieten auftreten. Die Tröpfcheninfektion von Mensch zu Mensch und die Kontakt- oder Schmierinfektion in geheizten Räumen können nicht vom Temperaturverlauf und insbesondere nicht von den sich erst zum Ende des Winters einstellenden Temperaturminima der Böden, der Gewässer und des Trinkwassers begünstigt werden. Für die genannten Viren muss

deshalb zur initialen und primären Übertragung ein abiotisches Medium aus der Umwelt in Frage kommen, dessen Temperatur sich mit dem klimatischen Jahresgang verändert und dessen Effizienz zur Übertragung von Infektionskrankheiten mit sinkender Temperatur zunimmt. Es ist also nach geeigneten abiotischen Vehikeln zu suchen, deren Temperaturen während der kalten Jahreszeit kontinuierlich abnehmen und deren Temperaturminima sich der saisonalen Kältesumme folgend erst zum Ende des Winters in den Monaten Februar und März einstellen.

Auffällig ist, dass bei den Norovirus- und Rotavirusinfektionen die Säuglinge und Kleinkinder zuerst erkranken (siehe Abb. 6, Abb. 10) (RKI, 2005). Durch wen oder was die Ansteckung erfolgt, ist wissenschaftlich bislang nicht geklärt. Fest steht jedenfalls, dass Säuglinge und Kleinkinder nur eingeschränkte soziale Kontakte haben und kaum mit landläufig als infiziert identifizierten Materialien in Berührung kommen. Der Kontakt zu Trinkwasser bei der Nahrungsaufnahme (Flaschennahrung, Breie, Tees) und der Körperhygiene (häufiges Baden u.a. beim Wickeln) ist hingegen besonders intensiv. Virulente humanpathogene Viren können über die in Abschnitt 4.3 beschriebene Kühlkette der öffentlichen Trinkwasserversorgung auf oralem Wege und/oder über die Bindehäute der Augen, der Ohrtrommelfellmembran sowie die Nasenschleimhaut in die Körper der Säuglinge und Kleinkinder gelangen, die täglich einen Liter Wasser, rund ein Fünftel ihres Körpergewichtes, mit Flaschennahrung, Breien und Tees zu sich nehmen und auch mit dem Trinkwasser gewaschen bzw. gebadet werden. Voraussetzung für diesen Übertragungsweg ist, dass das Trinkwasser von den Verbrauchern nicht konsequent auf über 70 °C erhitzt wird. Kaltes Trinkwasser wird erst am Wasserhahn mit warmem Wasser aus der Hausinstallation gemischt. Nach der initialen, primären Übertragung der genannten Virusinfektionen mit dem kalten Trinkwasser können die häufig zuerst erkrankten Säuglinge und Kleinkinder die genannten Virusinfektionen sekundär über kontaminierte Flächen oder Gegenstände abiotisch oder via Tröpfcheninfektion biotisch auf ihre Geschwister, Eltern und weitere Kontaktpersonen übertragen.

Die Maxima der genannten Virusinfektionen folgen regelmäßig den Minima der Trinkwassertemperaturen. Nach der Untersuchung pathobiologischer Zusammenhänge und den Schlussfolgerungen der vorliegenden Analyse epidemiologischer Daten wird die initiale, primäre Übertragung der Noro- und Rotaviren fäkal-oral durch das abiotische Vehikel Trinkwasser als wahrscheinlich angesehen.

2.3.1 Übertragungswege der Norovirusinfektionen

Reservoir humanpathogener Noroviren sind die Menschen, möglicherweise auch wildlebende Tiere und Nutztiere (WHO, 2004). Noroviren werden von infizierten Menschen und Tieren fäkal ausgeschieden und können so in die Umwelt und die Gewässer gelangen. Menschen scheiden Noroviren auch über Erbrochenes aus. Noroviren werden von den Reservoiren initial und primär durch abiotische Vehikel fäkal-oral übertragen. Sie können dann sekundär durch die Kontakt- oder Schmierinfektion und durch die Tröpfcheninfektion übertragen werden. Die Kontakt- oder Schmierinfektion über ungewaschene Hände und/oder kontaminierte Gegenstände und die Tröpfcheninfektion über Erbrochenes spielen bei der sekundären Übertragung von Norovirusinfektionen eine große Rolle, da im Jahr 2004 65% der gemeldeten Norovirusinfektionen im Zusammenhang mit erkannten Häufungen auftraten (RKI, 2005a).

2.3.2 Übertragungswege der Rotavirusinfektionen

Reservoir humanpathogener Rotaviren sind weit überwiegend die Menschen, möglicherweise aber auch wildlebende Tiere und Nutztiere (ITURRIZA-GÓMARA, 2004). Rotaviren werden von infizierten Menschen und Tieren fäkal ausgeschieden und können so in die Umwelt und die Gewässer gelangen. Rotaviren werden von den Reservoiren initial und primär durch abiotische Vehikel fäkal-oral übertragen. Sie können dann durch die Kontakt- oder Schmierinfektion sekundär übertragen werden. Die Kontakt- oder Schmierinfektion über ungewaschene Hände und/oder kontaminierte Gegenstände spielt bei der sekundären Übertragung von Rotavirusinfektionen allerdings nur eine begrenzte Rolle, da im Jahr 2004 lediglich 14% der gemeldeten Rotavirusinfektionen im Zusammenhang mit erkannten Häufungen auftraten (RKI, 2005a).

3 Norovirus- und Rotavirusinfektionen in Deutschland

3.1 Abschätzung der Zahl trinkwasserbedingter Virusinfektionen in Deutschland

Nach der Gesundheitsberichterstattung des Bundes Heft 01/02 „Lebensmittelbedingte Erkrankungen in Deutschland“ (RKI, 2002a) sind 20% der deutschen Bevölkerung zu dem Personenkreis sogenannter Risikogruppen mit geschwächtem Immunsystem zu zählen, die für lebensmittelbedingte Erkrankungen empfänglicher sind. Hierbei wird das Trinkwasser ausdrücklich zu den Lebensmitteln gezählt. Bei analoger Anwendung der

Infektionsraten von Durchfallerkrankungen, die in den USA und Großbritannien auf Grundlage epidemiologischer Studien geschätzt wurden, wird vom Robert Koch-Institut für Deutschland das Vorkommen von 16 bis 60 Millionen lebensmittelbedingten Durchfallerkrankungen/Jahr abgeschätzt, von denen nach den Inhalten des o.g. Themenheftes ein relevanter Anteil trinkwasserassoziiert ist. Das Center for Disease Control and Prevention (CDC) der USA schätzt, dass es in den USA jährlich 200 Millionen Fälle akuter gastrointestinaler Erkrankungen (Durchfallerkrankungen) gibt, darunter auch Mehrfacherkrankungen mit Mehrfachnennungen. Ergebnisse von epidemiologischen Studien in den USA (285 Millionen Einwohner) lassen die EPA darauf schließen, dass 10 bis 40% der gastrointestinalen Erkrankungen dem kontaminierten Trinkwasser zuzurechnen sind (EPA, 2001). Überträgt man diese Aussagen auf Deutschland mit rund 82 Millionen Einwohnern, dann können in Deutschland 6 bis 24 Millionen der angenommenen 16 bis 60 Millionen gastrointestinalen Erkrankungen (RKI, 2002a) als durch kontaminiertes Trinkwasser verursacht abgeschätzt werden.

3.2 Epidemiologische Datengrundlage zu Virusinfektionen in Deutschland

3.2.1 Meldedaten nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG), Meldeverhalten

Für die in Abb. 3 angegebenen Infektionskrankheiten liegen in Deutschland seit 2001 die Meldedaten (RKI, 2005) nach dem Infektionsschutzgesetz (IfSG, 2000) vor.

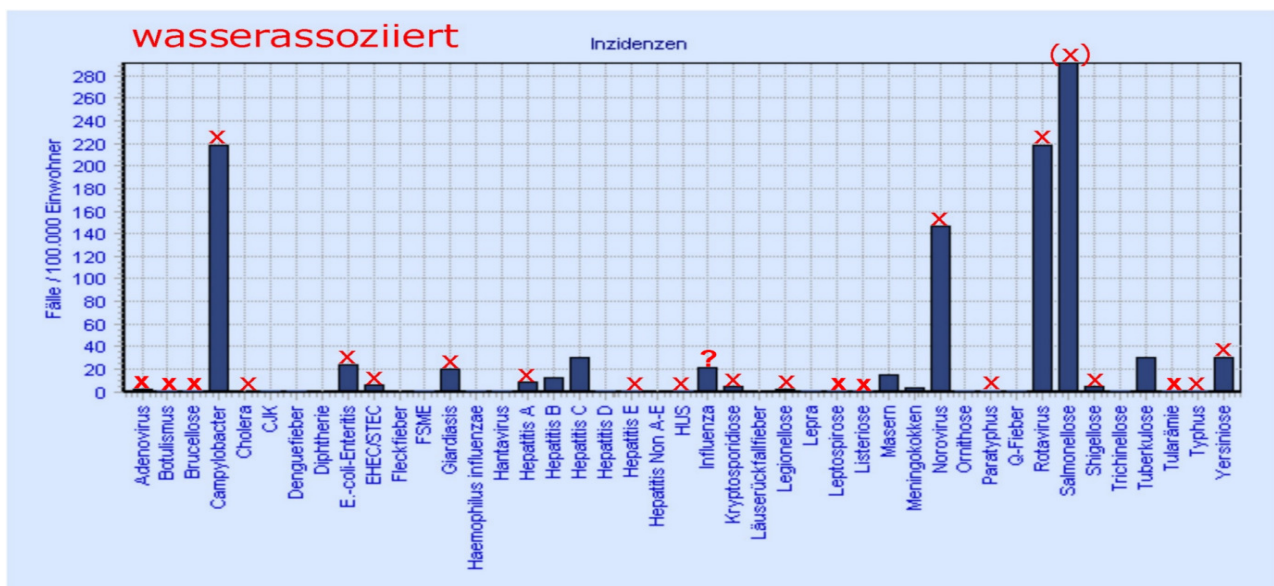


Abb. 3: Meldepflichtige Infektionskrankheiten in Deutschland - Summe der Inzidenzen von 2001 bis Mai 2004 (eigene Darstellung) (RKI, 2005).

Die meisten der von den Gesundheitsämtern zu meldenden Infektionen können durch Trinkwasser übertragen werden (wasserassoziierte Krankheitserreger siehe Abb. 3). Die

als wasserassoziiert geltenden Infektionskrankheiten sind mit einem roten Kreuz gekennzeichnet, die Influenza mit einem roten Fragezeichen (RKI, 2005) (GSF, 2004). Bei der Salmonellose wird vom Autor das Trinkwasser nicht als Hauptquelle der gemeldeten Infektionen angenommen. Die Salmonellose wird vmtl. überwiegend durch andere Lebensmittel übertragen. Deshalb ist das Kreuz bei der Salmonellose in Klammern gesetzt.

Ob und ggf. in welchem Umfang Unterschiede im Meldeverhalten der Ärzte, Krankenhäuser und Gesundheitsämter in den alten und neuen Bundesländern für die Unterschiede bei den gemeldeten Inzidenzen mitverantwortlich sind, kann im Rahmen dieser Analyse epidemiologischer Meldedaten nicht abschließend geklärt werden. Die seit dem Jahr 2001 von den zwölf Gesundheitsämtern der Stadtbezirke Berlins dem Robert Koch-Institut gemeldeten Infektionserkrankungen lassen jedenfalls nicht den Rückschluss zu, dass sich das Meldeverhalten im Osten von dem im Westen grundsätzlich unterscheidet (siehe Abb. 4).

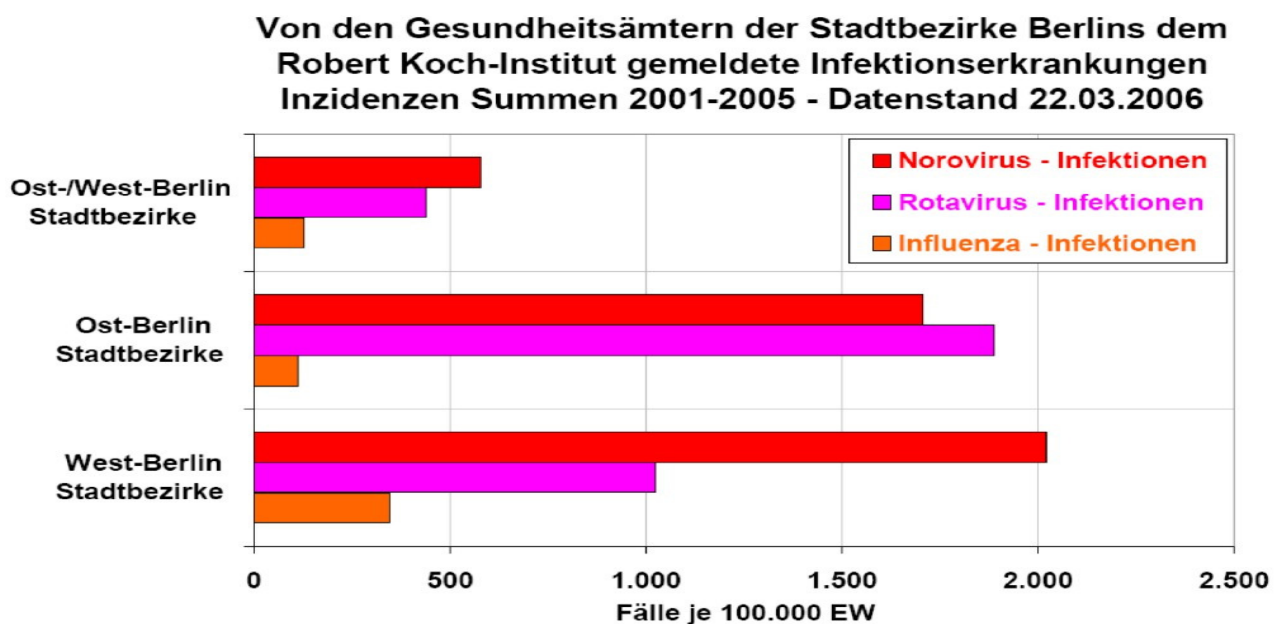


Abb. 4: Von den Gesundheitsämtern der Stadtbezirke Berlins dem Robert Koch-Institut von 2001 bis 2005 gemeldete Infektionserkrankungen (RKI, 2005): Vergleich zwischen Ost-Berlin und West-Berlin.

Die Gesundheitsämter West-Berlins haben von 2001 bis 2005 mehr Infektionen durch Noroviren gemeldet als die Gesundheitsämter Ost-Berlins. Hingegen haben die Gesundheitsämter Ost-Berlins mehr Rotavirusinfektionen gemeldet als die Gesundheitsämter West-Berlins. Wie in Abschnitt 8.3 gezeigt wird, können die innerhalb

Berlins deutlich voneinander abweichenden Infektionsraten mit unterschiedlichen Wassergewinnungsstrukturen sowie Unterschieden beim Eintrag von Viren in die Gewässer erklärt werden. Im Westen Berlins könnten Norovireneinträge aus der Tierwelt in die Oberflächengewässer dominieren, im Osten Berlins Einträge humaner Rotaviren aus Abwasseranlagen in das Grund- und Oberflächenwasser.

Die Dunkelziffer bei den meldepflichtigen Infektionserkrankungen ist hoch. Nach der Literatur erkrankten nahezu alle in Deutschland jährlich geborenen rund 700.000 Säuglinge in den ersten Lebensjahren an einer Rotavirusinfektion. Jährlich werden aber nur etwa 70.000 Rotavirusinfektionen gemeldet, so dass die Dunkelziffer bei 90% liegt.

3.2.1.1 Norovirusinfektionen: epidemiologische Meldedaten nach IfSG

Die Schwerpunkte der Norovirusinfektionen betreffen die Altersgruppe von 0-4 Jahren und die der über 70-jährigen. Auch in den anderen Altersgruppen treten Norovirusinfektionen auf, mit einem deutlichen Schwerpunkt bei der weiblichen Bevölkerung (siehe Abb. 5). Rund 65% der gemeldeten Norovirusinfektionen traten 2004 in Zusammenhang mit erkannten Häufungen, 35% vereinzelt in der Fläche auf (RKI, 2005a). Bei den erkannten Ausbrüchen werden Norovirusinfektionen in erheblichem Umfang von Mensch zu Mensch übertragen. Allerdings müssen auch die erkannten Ausbrüche primär fäkal-oral durch abiotische Vehikel ausgelöst worden sein.

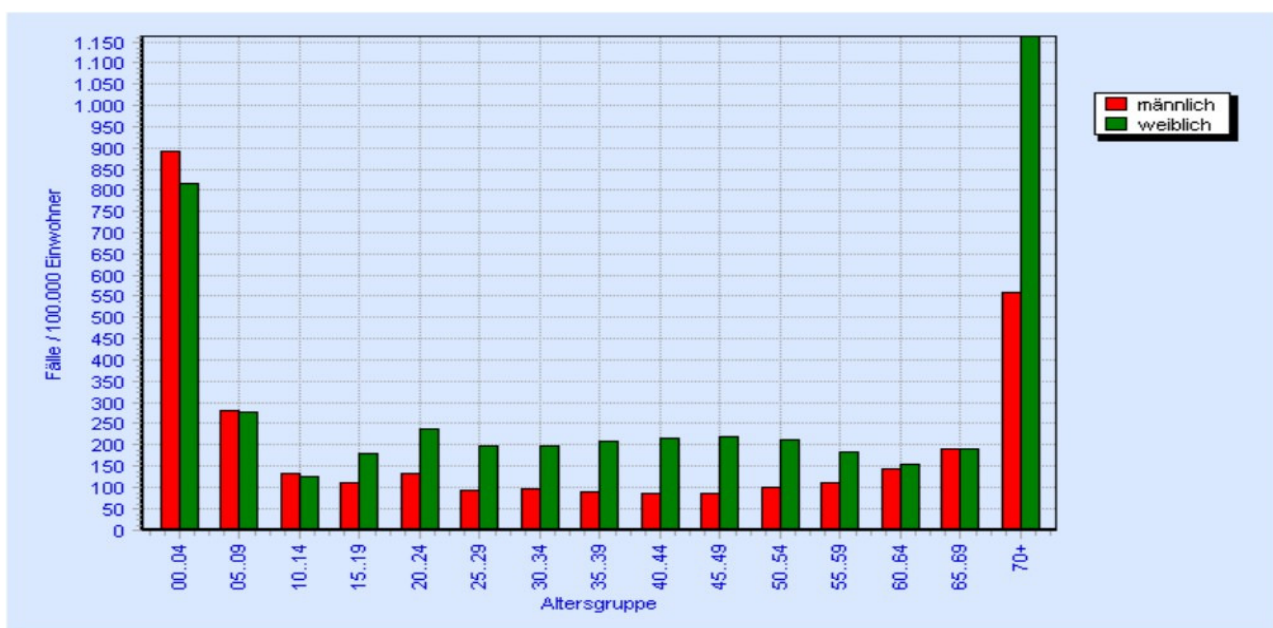


Abb. 5: Gemeldete Norovirus-Fälle pro 100.000 Einwohner nach Altersgruppen und Geschlechtern in Deutschland, Summe von 2001 bis 2005, absolut gesamt 238.110 Fälle (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

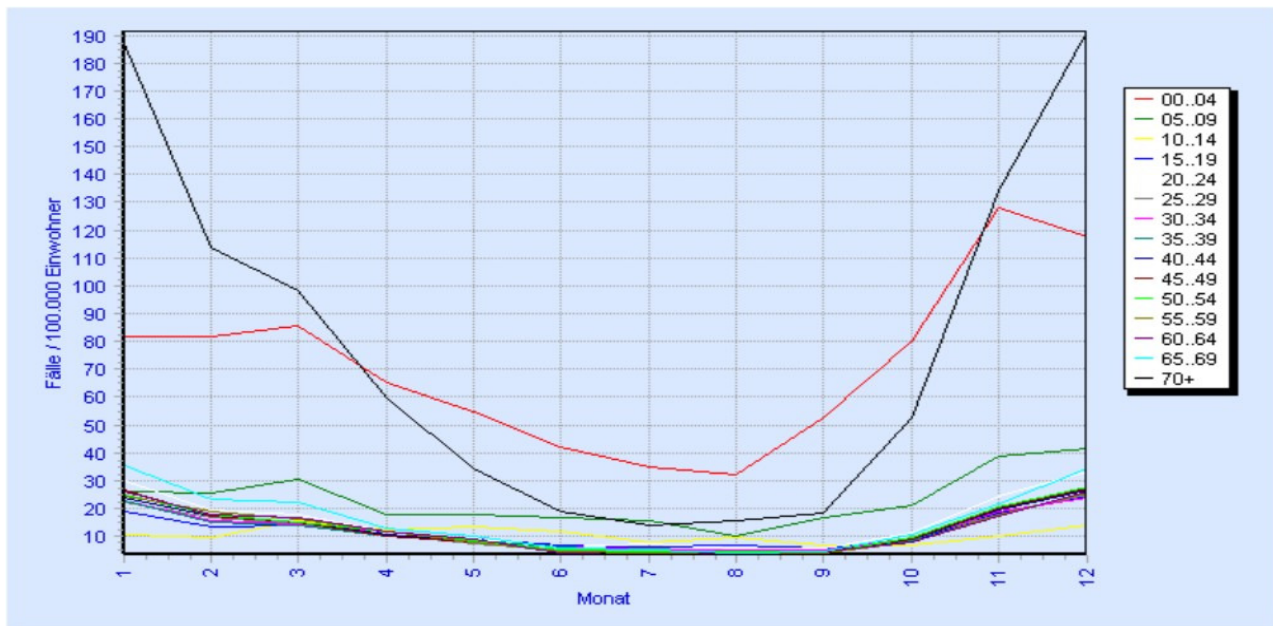


Abb. 6: Jahresgang der Norovirus-Inzidenzen nach Altersgruppen und Meldemonaten in Deutschland, Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

Die sekundäre Ausbreitung erfolgt dann durch die Kontakt- und Tröpfcheninfektion. Erkrankte Häufungen (lokale Ausbrüche mit hohen Fallzahlen) werden überwiegend aus Gemeinschaftsunterkünften wie Krankenhäusern und Altenheimen gemeldet. Sie betreffen oft die Altersgruppe der über 70-jährigen.

Der Jahresgang der Norovirus-Inzidenzen nach Altersgruppen (siehe Abb. 6) zeigt, dass zu Beginn der Norovirus-Saison im September regelmäßig zuerst die Säuglinge und Kleinkinder erkranken. Möglicherweise erkranken in der Gruppe der 20 bis 60-jährigen mehr Frauen als Männer, weil Frauen einen intensiveren Kontakt zu bereits erkrankten Säuglingen und Kleinkindern oder auch zu pflegebedürftigen älteren Menschen haben und von diesen sekundär infiziert werden.

Bedeutsam für die Interpretation der Norovirusinfektionen ist die extreme Genomvariabilität, durch die fortlaufend neue Virusvarianten mit einem unterschiedlich stark ausgeprägten pathogenen Potenzial entstehen. Auch in Abhängigkeit von der zirkulierenden Virusvariante differiert dadurch das Maß des Wintergipfels der saisonal verlaufenden Erkrankung. Noroviren verursachen keine persistierende Infektion, ebenso aber auch keine protektiven Antikörper. Die Infektionsimmunität hält nur ca. 8 Wochen vor. Danach sind Reinfektionen möglich. Gegen Norovirusinfektionen fehlt also die Langzeitimmunität. Die Reinfektion durch Noroviren unterschiedlicher Antigen-Typen ist ebenfalls möglich. Die folgenden Eigenschaften begünstigen bei einer Epidemie die

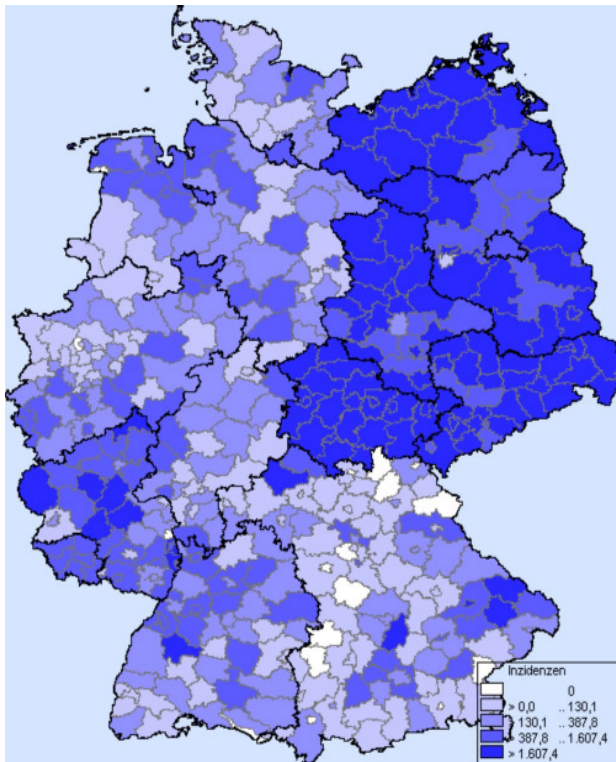
Verbreitung der Noroviren:

- Norovirusinfektionen erfordern wie Rotavirusinfektionen eine nur geringe Infektionsdosis von 1 bis 10 Viruspartikeln.
- An Norovirusinfektionen erkrankte Menschen scheiden, auch nach dem Abklingen der Symptome, noch bis zu 2 Wochen kontagiose Noroviren aus und erhöhen so das Risiko der sekundären Ausbreitung.
- Die umfassende Dekontamination von Trinkwasser ist mit den weit verbreiteten konventionellen Trinkwasseraufbereitungsverfahren nicht gegeben.
- Noroviren bleiben bei Chlorkonzentrationen von bis zu 10 mg/L kontagios.
- Noroviren bleiben in Eis kontagios.
- Die Entwicklung eines Impfstoffs mit lebenslanger Schutzwirkung ist wegen der fehlenden Langzeitimmunität und der Vielzahl genetischer und antigenen Typen schwierig (ZENTRUM FÜR GESUNDHEITSSCHUTZ, 2004).

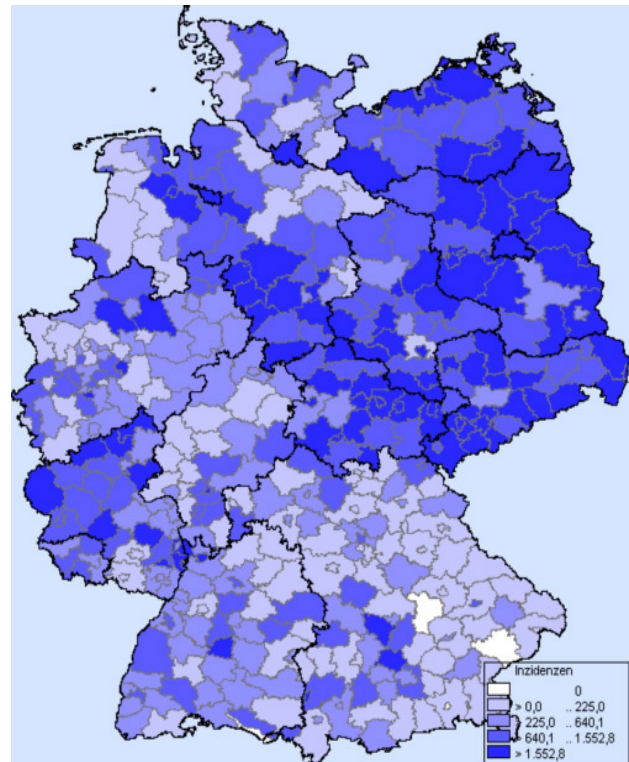
Die räumliche Verteilung der Norovirusinfektionen (siehe Abb. 7) zeigt, dass sich die Inzidenzen von Kreis zu Kreis deutlich unterscheiden. Zur Berücksichtigung der Unterschiede bei den Altersverteilungen in den Land- und Stadtkreisen Deutschlands wurden die räumlichen Verteilungen der Norovirus-Inzidenzen für die Altersgruppe von 0-4 Jahren und die der über 70-jährigen separat dargestellt. Wie Abb. 7 zu entnehmen ist, liegt bei den beiden dargestellten Altersgruppen der Schwerpunkt der gemeldeten Norovirusinfektionen im Osten Deutschlands. Die kreisbezogenen Darstellungen zeigen für die beiden Altersgruppen nur im Detail regionale Unterschiede. Das Robert Koch-Institut (RKI) nimmt an, dass bei den Norovirus-Inzidenzen (und auch bei den Rotavirus-Inzidenzen) die auffälligen Unterschiede zwischen den alten und den neuen Bundesländern mit dem unterschiedlichen Meldeverhalten der Gesundheitsämter im Westen und im Osten erklärt werden können. Diese vom RKI nicht belegte Annahme wird durch die Darstellungen dieser Arbeit nicht untermauert. Die Unterschiede können mit der im Osten Deutschlands geringen Grundwasserneubildungsrate und dem dadurch bedingten hohen Anteil von Oberflächenwasser am Trinkwasser erklärt werden, was noch zu begründen wäre.

Die Saison der Norovirusinfektionen (siehe Abb. 6 und Abb. 8) beginnt im September und endet im Juni. Die saisonal wechselnden Maxima werden in den Abschnitten 7 und 7.1 dargestellt und interpretiert. Auch im Sommer treten Norovirusinfektionen in nennenswertem Umfang auf. Das Minimum fällt zusammen mit dem Maximum der

jährlichen Wärmesumme im August. Der jährliche Gang lässt darauf schließen, dass Noroviren in der Umwelt etwas resistenter sind als Rotaviren (siehe Abb. 12).



Altersgruppe 0-4 Jahre



Altersgruppe 70+ Jahre

Abb. 7: Gemeldete Norovirus-Fälle pro 100.000 Einwohner in Deutschland nach Landkreisen (Wohn-/Aufenthaltort des Falles), Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

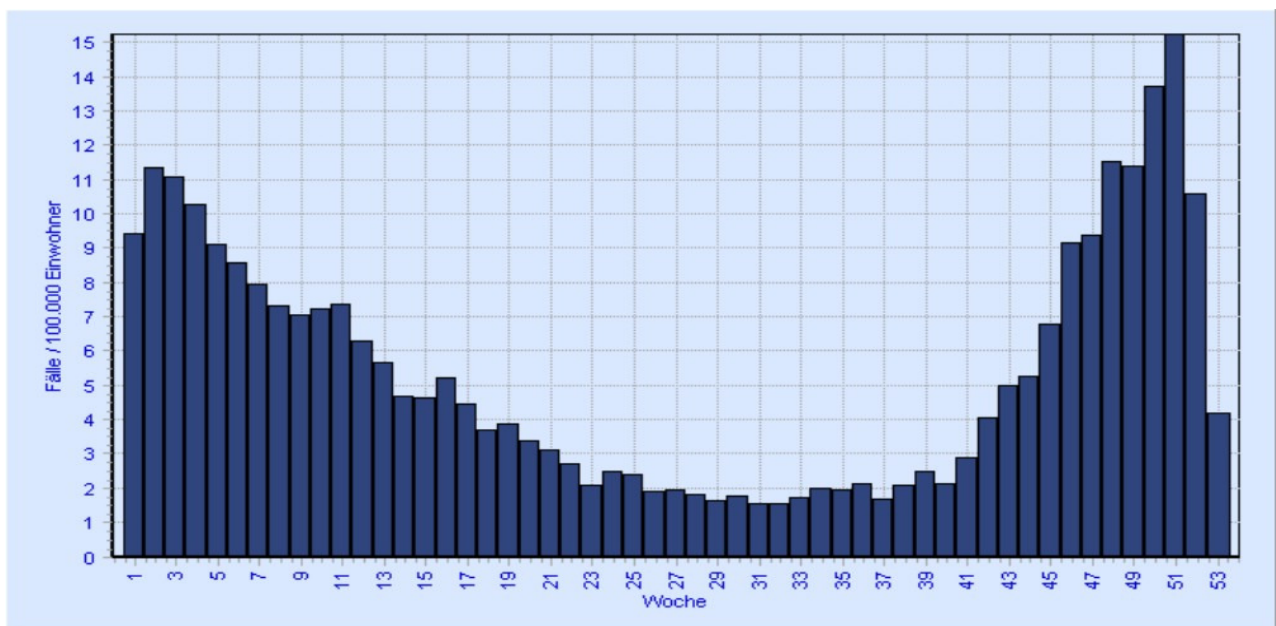


Abb. 8: Jahresgang der gemeldeten Norovirus-Fälle pro 100.000 Einwohner in Deutschland nach Meldewochen, Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

3.2.1.2 Rotavirusinfektionen: epidemiologische Meldedaten nach IfSG

Der Schwerpunkt der Rotavirusinfektionen betrifft die Altersgruppe von 0-4 Jahren. In den anderen Altersgruppen treten nur selten Rotavirusinfektionen auf (siehe Abb. 9).

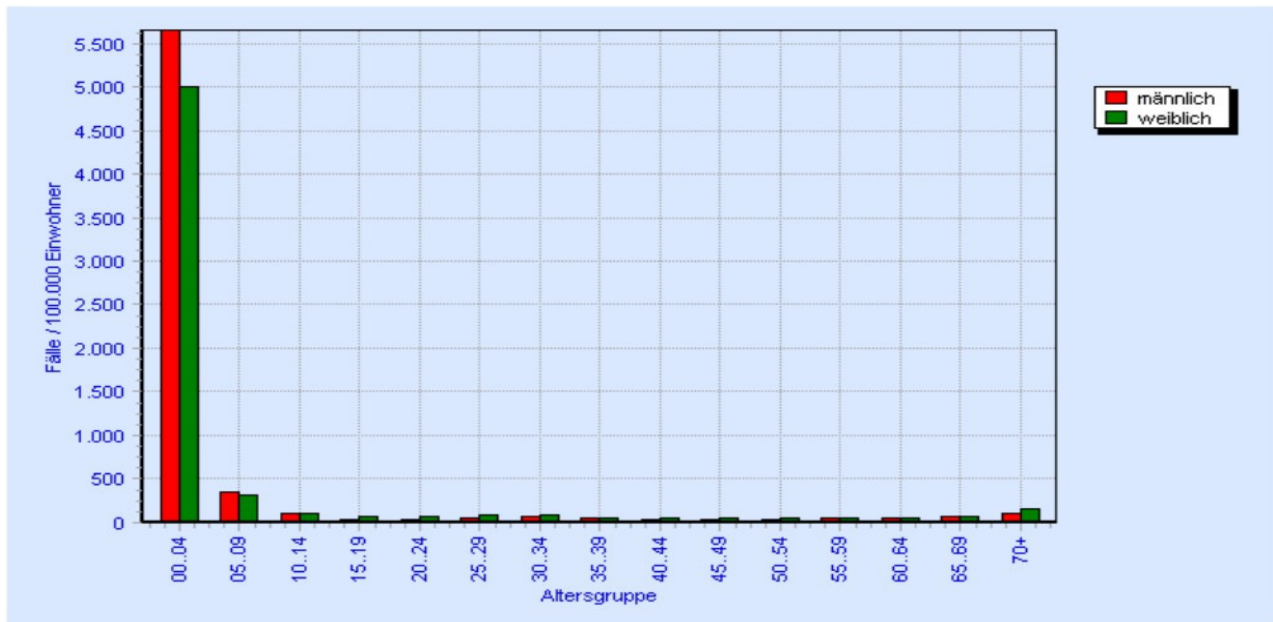


Abb. 9: Gemeldete Rotavirus-Fälle pro 100.000 Einwohner in Deutschland nach Altersgruppen und Geschlechtern, Summe von 2001 bis 2005, absolut gesamt 254.945 Fälle (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

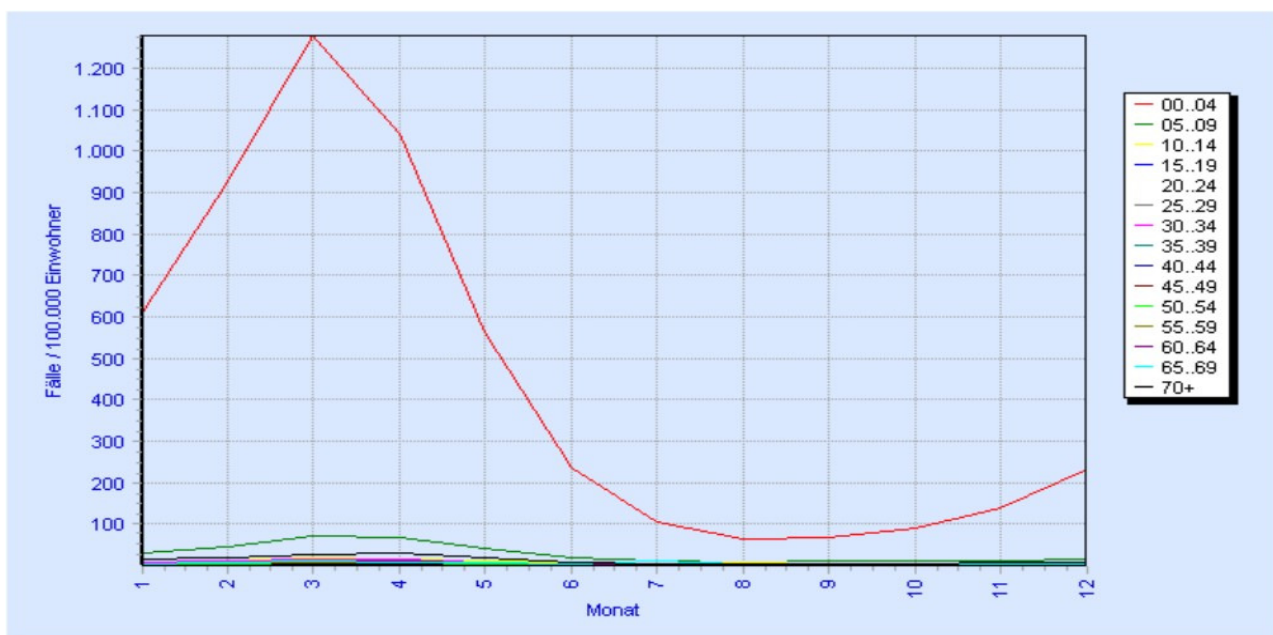
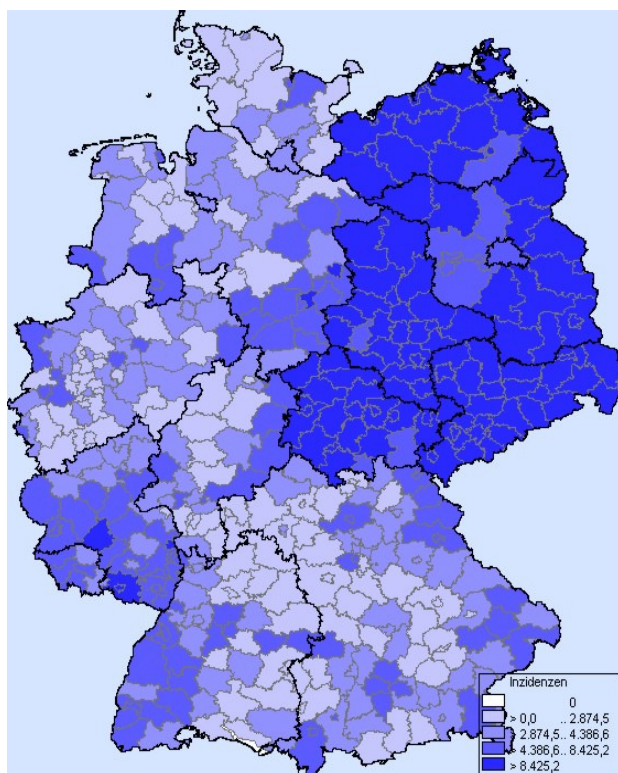


Abb. 10: Jahresgang der Rotavirus-Inzidenzen in Deutschland nach Altersgruppen und Meldemonaten, Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

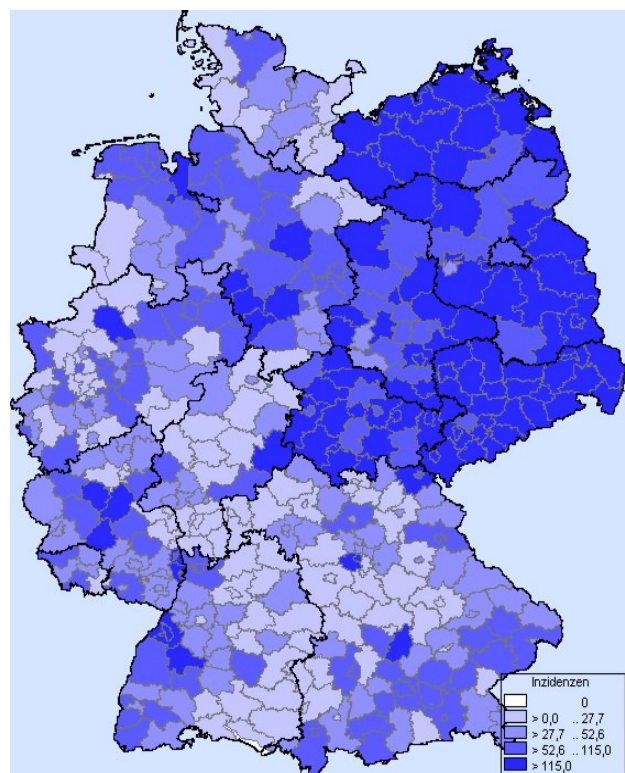
Etwa 14% der gemeldeten Rotavirusinfektionen traten 2004 in Zusammenhang mit erkannten Häufungen, 86% vereinzelt in der Fläche auf (RKI, 2005a). Nach der Trinkwasserrichtlinie der Weltgesundheitsorganisation sind menschliche Rotaviren in Entwicklungs- und industrialisierten Ländern die am meisten verbreitete Ursache für akute virale Gastroenteritis-Infektionen bei Säuglingen und Kleinkindern (WHO, 2004).

Der Jahresgang der Rotavirus-Inzidenzen nach Altersgruppen (siehe Abb. 10) zeigt, dass zu Beginn der Rotavirus-Saison im November zuerst die Säuglinge und Kleinkinder erkranken.

Bedeutsam für die Interpretation der Rotavirusinfektionen ist, dass es nur wenige humanpathogene Rotavirus-Subtypen gibt, die sich darüber hinaus nur geringfügig unterscheiden und kaum verändern. Ältere Menschen sind also durch im Kindesalter durchlebte Rotavirusinfektionen und die dabei gebildeten Antikörper geschützt, so dass sie nicht erneut oder nur mit mildem Verlauf an Rotavirusinfektionen erkranken können.



Altersgruppe 0-4 Jahre



Altersgruppe 5-70+ Jahre

Abb. 11: Gemeldete Rotavirus-Fälle pro 100.000 Einwohner in Deutschland nach Landkreisen (Wohn-/Aufenthaltort des Falles), Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

Die räumliche Verteilung der Rotavirusinfektionen (siehe Abb. 11) zeigt, dass sich die Inzidenzen von Kreis zu Kreis sehr unterscheiden. Zur Berücksichtigung der Unterschiede bei den Altersverteilungen in den Landkreisen und kreisfreien Städten Deutschlands wurden die räumlichen Verteilungen der Rotavirus-Inzidenzen für die Altersgruppe von 0-4 Jahren und die von 5-70+ Jahren separat dargestellt. Wie Abb. 11 zu entnehmen ist, liegt bei den beiden dargestellten Altersgruppen der Schwerpunkt der gemeldeten Rotavirusinfektionen im Osten Deutschlands. Im Detail weisen die kreisbezogenen Darstellungen für die beiden Altersgruppen regionale, aber keine grundsätzlichen Unterschiede auf. Das Robert Koch-Institut (RKI) nimmt ohne Nachweis an, dass die Unterschiede der Rotavirus-Inzidenzen zwischen den alten und den neuen Bundesländern mit einem unterschiedlichen Meldeverhalten der Gesundheitsämter im Osten und Westen erklärt werden können. Auf die einschlägigen Ausführungen in Abschnitt 3.2.1.1 wird Bezug genommen.

Die jährliche Saison der Rotavirusinfektionen beginnt im November und endet im Mai. Die Maxima der gemeldeten Rotavirusinfektionen treten regelmäßig im Monat März auf. Im Sommer sind Rotavirusinfektionen vergleichsweise selten (siehe Abb. 10 und Abb. 12). Der jährliche Gang der Rotavirusinfektionen lässt darauf schließen, dass Rotaviren in der Umwelt etwas weniger resistent als Noroviren (siehe Abb. 8) sind.

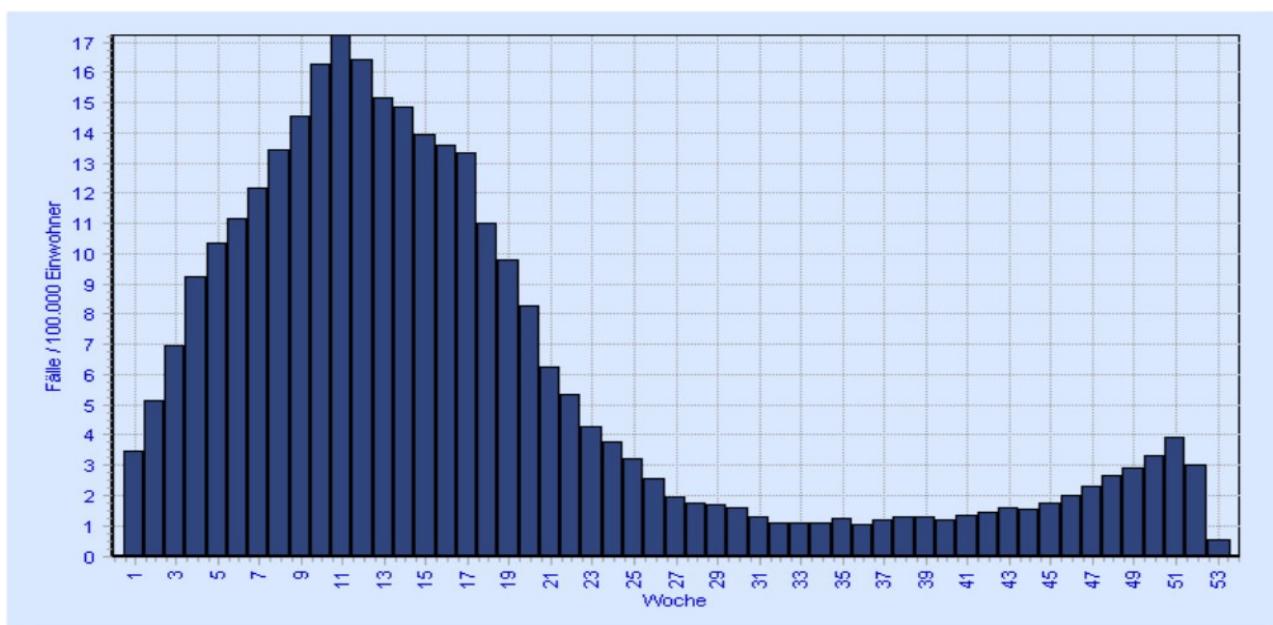


Abb. 12: Jahresgang der gemeldeten Rotavirus-Fälle pro 100.000 Einwohner in Deutschland nach Meldewochen, Summe von 2001 bis 2005 (RKI, 2005; Datenstand 15.03.2006).

4 Trinkwassergewinnung, Trinkwasseraufbereitung und Trinkwasserverteilung in Deutschland

4.1 Trinkwassergewinnung in Deutschland

Die Herkunft des Trinkwassers in Deutschland ist in Abb. 13 dargestellt. 62% des in Deutschland gewonnenen Trinkwassers entstammen dem Grundwasser, 18% dem angereicherten Grundwasser sowie dem Uferfiltrat und 20% dem Oberflächenwasser.

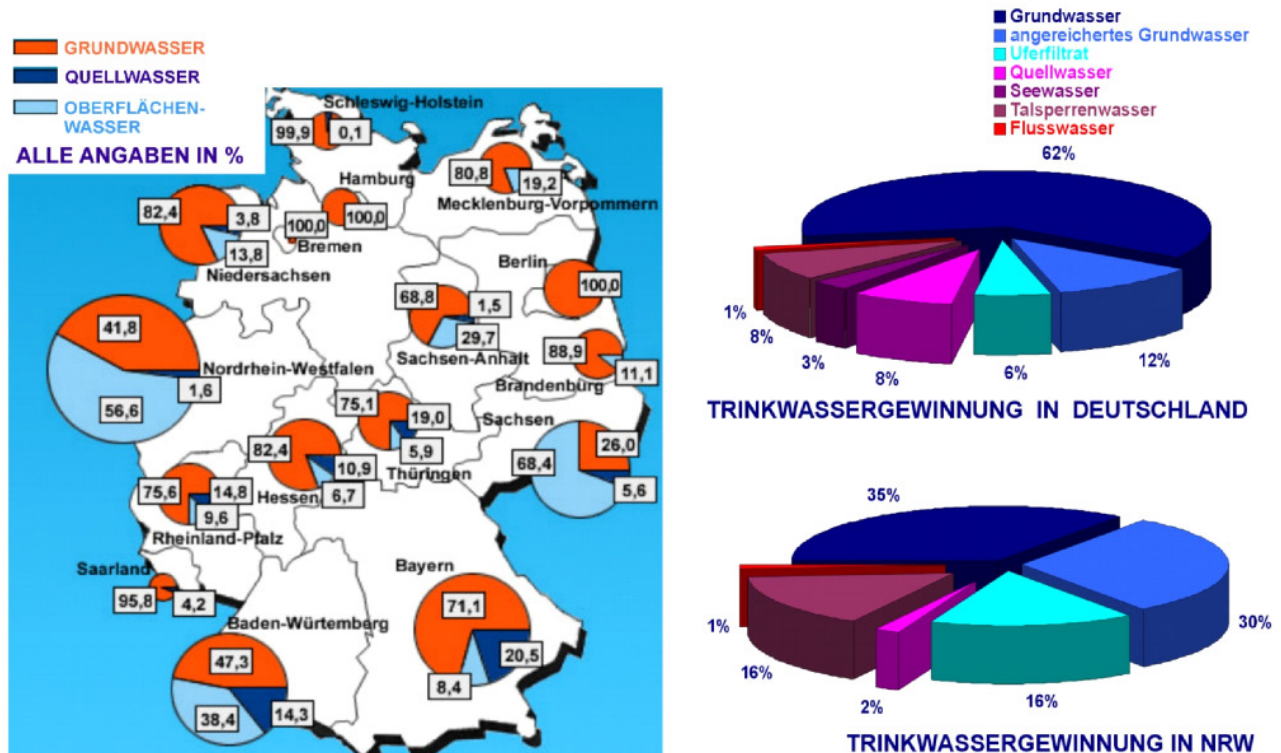


Abb. 13: Trinkwassergewinnung nach Wasserarten in den Bundesländern Deutschlands, Stand 1997 (BGW, 1997), in Deutschland insgesamt und in Nordrhein-Westfalen als Beispiel für ein Bundesland mit großer Vielfalt bei der Trinkwassergewinnung (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2006).

Trinkwässer aus Oberflächenwasser, mit Oberflächenwasser angereichertes Grundwasser und Uferfiltrat aus Oberflächenwasser werden insbesondere wegen möglicher Abwassereinleitungen und Abschwemmungen allgemein als potenziell belastet beurteilt. Grund- und Quellwasser hingegen gelten als durch die Böden in ihrer Funktion als Deckschichten gut geschützt sowie im Untergrund hinreichend gefiltert und deshalb als besonders rein. Aus fachlicher Sicht muss jedoch Quellwasser (Ausnahme: artesischen Quellen), das oberflächennah gebildet wird und an der Oberfläche austritt, wegen seiner hohen Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen dem ebenfalls besonders gefährdeten Oberflächenwasser zugerechnet werden. Wie nachfolgend dargestellt wird, muss in Deutschland auch die Beschaffenheit des Grundwassers oft als problematisch beurteilt werden.

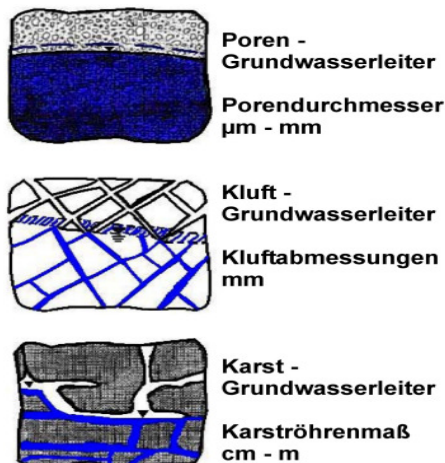


Abb. 14: Grundwasserleiterarten (INST. F. GEOLOGIE, MINERALOGIE U. GEOPHYSIK, o.J.).

Grundsätzlich ist zwischen zwei Grundwasserleiterarten zu unterscheiden. Grundwasser bildet sich in den Poren des Lockergesteins, der Kiese und Sande, und in den Klüften des Festgesteins. Abb. 14 zeigt anschaulich, dass das Grundwasser im Lockergestein mit seinen Poren weit besser gefiltert wird als das Grundwasser in den Klüften und Karströhren des Festgesteins, das keine wirksame Filterwirkung aufweist. Festgesteinsgrundwasserleiter ohne wirksame Filterwirkung werden in etwa 50% der Fläche Deutschlands angetroffen (siehe Abb. 15 und Abb. 17).



Abb. 15: Grundwasservorkommen in Deutschland nach Art der Grundwasserleiter (BGR, o.J.).

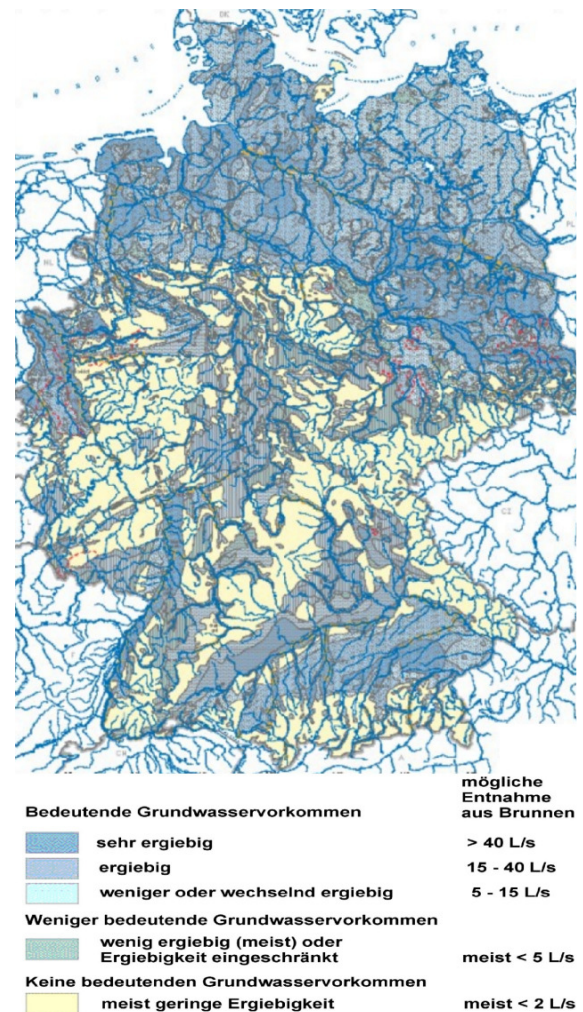


Abb. 16: Bedeutung und Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Deutschland (BGR, o.J.).

Unbelastetes, bei der Gewinnung altes Grundwasser, in dem möglicherweise enthaltene Viren nicht mehr virulent sind, kann sich in mächtigen, von bindigen Deckschichten geschützten Grundwasserleitern aus gut abgestuften Kiesen und Sanden mit hoher Filterwirkung und langen Filterwegen bilden. Bindige Deckschichten adsorbieren mögliche im versickernden Wasser enthaltene Verunreinigungen und halten sie im Boden zurück. Kontaminationen des neu gebildeten Grundwassers können dadurch weitgehend vermieden werden.

Ergiebige Grundwasserleiter im Lockergestein können nur gering mächtig sein, weisen oft eine gleichförmige Kornverteilung mit eingeschränkter Filterwirkung auf (Sande und Kiese des Pleistozän als in Nord- und Ostdeutschland weit verbreitetes Beispiel) oder bestehen, wie die Grundmoränen im Norden Deutschlands, aus schlecht abgestuften eiszeitlichen glazialen Sedimenten, werden in niederschlagsarmen Regionen zwangsläufig überwiegend aus Oberflächengewässern gespeist und/oder verfügen nicht über die schützenden, bindigen und deshalb adsorbierenden Deckschichten (Böden) (siehe Abb. 16 mit Abb. 15, Abb. 17, Abb. 18, Abb. 19 sowie Abb. 20).

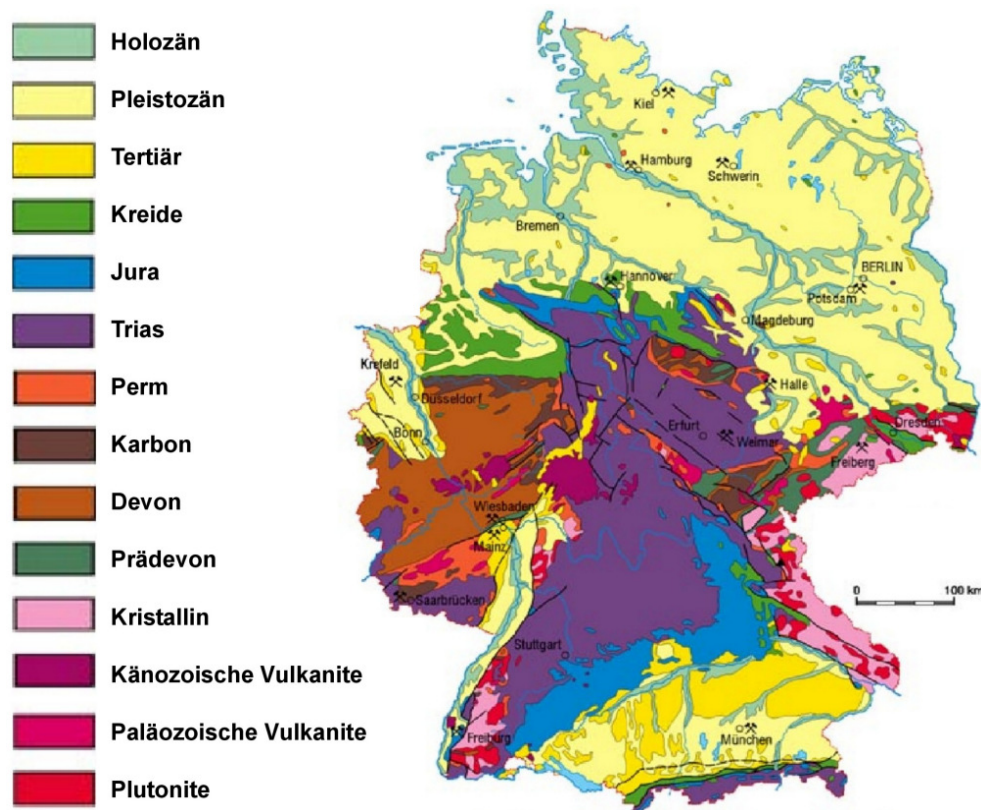


Abb. 17: Geologische Übersichtskarte Deutschlands (BGR o.J.).

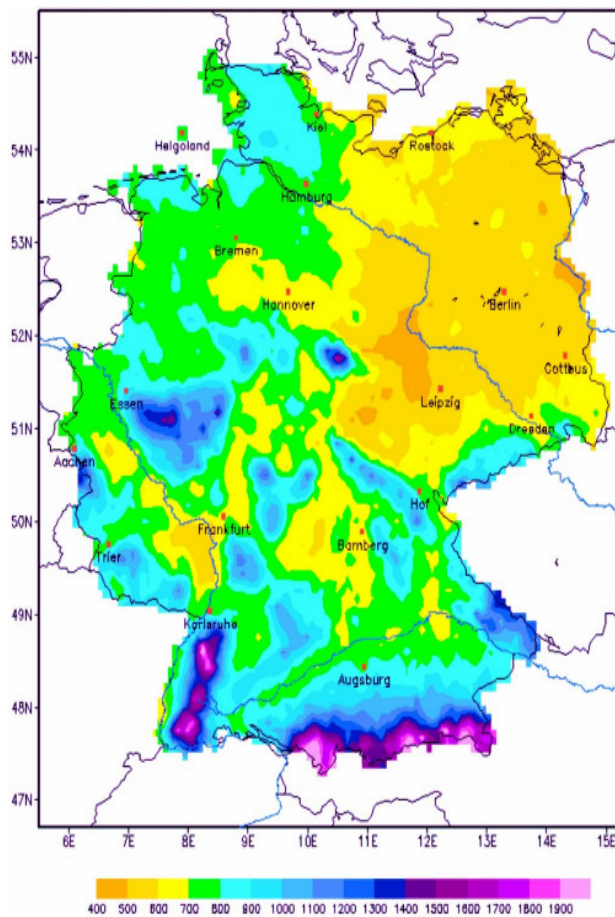


Abb. 18: Mittlerer Jahresniederschlag in Deutschland 1961-1990 (DWD, 2005).

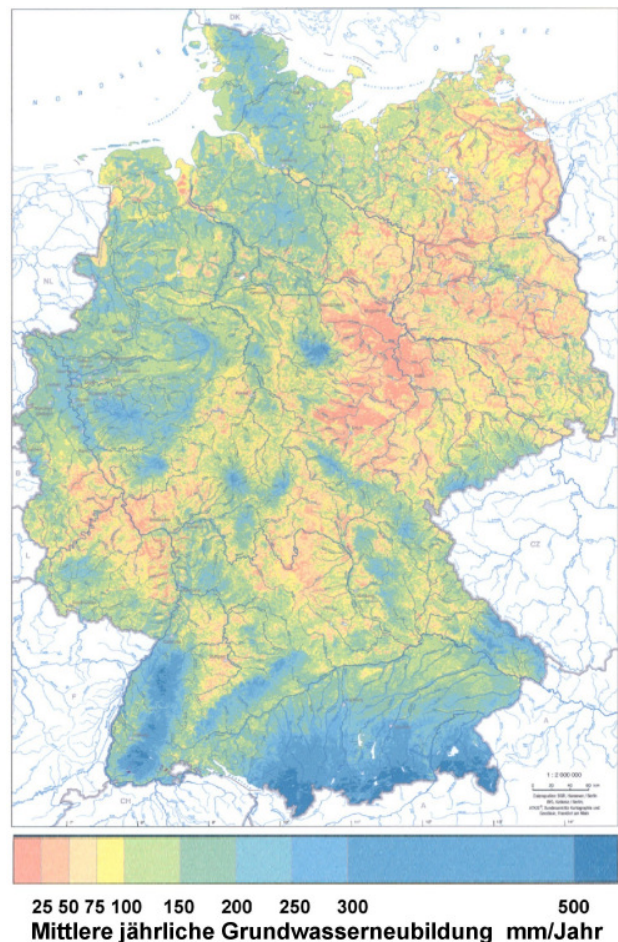


Abb. 19: Mittlere jährliche Grundwasserneubildung in Deutschland (BGR, 2003).

In den mittleren und nördlichen Gebieten Ostdeutschlands wird das Trinkwasser überwiegend aus Grundwasserleitern des Lockergesteins, verbreitet aus gleichförmigen Sanden und Kiesen des Pleistozäns, gewonnen. In diesen Gebieten muss der Einfluss von versickerndem Oberflächenwasser, z.B. aus Seen, auf das gewonnene Grundwasser hoch sein, weil das Maß der flächenhaften Grundwasserneubildung aus Niederschlägen wegen der für Deutschland minimalen Niederschlagshöhen extrem gering ist. In der Magdeburger Börde kann sich wegen der für Deutschland minimalen Niederschlagshöhen so gut wie kein Grundwasser aus flächenhaften Niederschlägen bilden (siehe Abb. 18 mit Abb. 19). Auch in der Rheinpfalz, einer vergleichsweise dicht besiedelten Region, ist wegen der geringen Niederschläge (siehe Abb. 18) die flächenhafte Grundwasserneubildung aus Niederschlägen gering (siehe Abb. 19). Wenn in solchen Gebieten Grundwasser zur Trinkwasserversorgung gewonnen wird, muss zwangsläufig der Anteil des Oberflächenwassers aus Seen, Nassabgrabungen und Flüssen am gewonnenen Grundwasser und Uferfiltrat hoch sein. Die in der Wassergewinnungsstatistik ausgewiesenen Grundwasseranteile derartiger Regionen sind deshalb kritisch zu hinterfragen.

Bodengesellschaften Deutschlands - Legende

1	Watt	13	Stauasser Löß
2	Marsch	14	Kalk-, Mergel- und Dolomitgestein
3	Hochmoor und Niedermoor	15	Mergel-, Tongestein
4	Flussauen	16	basische, intermediäre magmatische und metamorphe Gesteine
5	Flussterrassen und Hochflutsedimente	17	saure bis intermediäre magmatischen und metamorphe Gesteine
6	Niederungen und Urstromtäler	18	Ton-, Schluffschiefer
7	lößvermischte Tertiärablagerungen	19	kalkfreie Sedimentgesteine und Quarzite
8	Geschiebelehm und Geschiebemergel	20	Hochgebirge
9	Geschiebelehm und Geschiebemergel mit sandiger Deckschicht	21	versiegelte Flächen
10	Trockener Sand	22	anthropogene Ablagerungen
11	Schwarzer Löß	23	Gewässer
12	brauner Löß, Sandlöß, lößähnliches Sediment		



Abb. 20: Bodenübersichtskarte Deutschlands (Original M 1:5.000.000) (IBS, 2005).

Weitere Beispiele hierfür sind die Trinkwassergewinnungen in Magdeburg (Wasserwerk Colbitzer Heide mit durch die Überleitung der Ohre angereichertem Grundwasser), Frankfurt an der Oder (durch die Spree angereichertes Grundwasser und Uferfiltrat der Spree), Dresden (Uferfiltrat der Elbe und Talsperrenwasser) und Görlitz (Uferfiltrat der Neiße).

Darüber hinaus sind Grundwasserbrunnen gegenüber dem umgebenden Gestein oft nur unzureichend abgedichtet mit der Folge, dass Oberflächenwasser über eine Kurzschlussströmung unmittelbar zu den Grundwasserentnahmen gelangen kann. Auch kontaminiertes Oberflächenwasser aus Bachschwinden kann, vor allem im Festgestein, auf kurzen Wegen zu den Grundwasserbrunnen fließen. Kontaminationen des Grundwassers können auch mit Mängeln bei der Abwasserbeseitigung zusammenhängen. Abwasserzutritte können den Eintrag von Viren in den Wasserkreislauf und damit in das zur Trinkwasserversorgung genutzte, vom Oberflächenwasser deutlich beeinflusste Grundwasser

und Uferfiltrat vergrößern. In anderen Regionen wie dem Bundesland Sachsen ist der Anteil direkter Oberflächenwasserentnahmen an der Trinkwassergewinnung besonders hoch. Hier beträgt der Anteil des Talsperrenwassers und des Quellwassers an der Trinkwasserversorgung rund 74%. In Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen zusammen beträgt dieser Anteil mehr als 60% (STATISTISCHES BUNDESAMT, 2006).

Es bleibt festzuhalten, dass in Deutschland ergiebige, durch bindige Böden (adsorbierende Deckschichten) gut geschützte Grundwasservorkommen mit langen Filterwegen und hoher Filterwirkung im Lockergestein, aus denen nicht kontaminiertes und altes Grundwasser als Trinkwasser gewonnen werden kann, nur selten vorkommen. Deshalb muss in Deutschland auch das gewonnene Grundwasser, 62% des benötigten Trinkwassers, hinsichtlich möglicher Kontaminationen und der Trinkwasseraufbereitung kritisch gewürdigt werden.

4.2 Trinkwasseraufbereitung

4.2.1 Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung hinsichtlich Viren nach der WHO Trinkwasserrichtlinie 2004

In Deutschland sind die rechtlichen Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit durch die geltende Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) und das Infektionsschutzgesetz (IfSG, 2000) geregelt (vgl. Abschnitt 6): „Wasser für den menschlichen Gebrauch muss frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. *Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden* und das Wasser für den menschlichen Gebrauch den Anforderungen ... entspricht“ (§ 4 Abs. 1 TrinkwV, 2001). Die allgemein anerkannten Regeln der Technik bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung sind in der Trinkwasserverordnung nicht näher bestimmt. Die WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 bündelt das auf der Welt vorhandene einschlägige Fachwissen, sie kann jedoch in Deutschland nach europäischem und deutschem Recht nicht unmittelbar rechtsverbindlich sein. Sie enthält allerdings wertvolle fachliche Hinweise zur Beurteilung der Trinkwasserbeschaffenheit und insbesondere auch konkrete Angaben zu den aktuellen, auf der Welt anerkannten Regeln der Technik bei der Trinkwasseraufbereitung. Deshalb findet die WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 bei der Auslegung der zum Teil vagen Regelungen der deutschen Trinkwasserverordnung gleichwohl Anwendung.

Im Rohwasser enthaltene virulente Viren müssen entweder inaktiviert oder besser ohne Zusatz von Chemikalien umfassend elementar entnommen werden, damit das Trinkwasser frei von vermeidbaren chemischen Verbindungen und von Krankheitserregern ist, die eine Infektion auslösen können (IfSG, 2000) (TrinkwV, 2001) (TrinkwV amtl. Begründung, 2001a). Die WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 listet die verschiedenen Trinkwasseraufbereitungsverfahren und deren Eliminations- bzw. Inaktivierungsleistungen u.a. von Viren detailliert auf (WHO, 2004). Dabei verfolgt die WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 die Philosophie, dass die zum Einsatz kommenden Trinkwasseraufbereitungsverfahren der Herkunft und den Belastungen des Rohwassers sowie den Strukturen und Einträgen im Trinkwassereinzugsgebiet entsprechen müssen. Hinsichtlich möglicher mikrobiologischer Belastungen u.a. durch Viren sind Art und Zahl der Ausscheider, der Menschen, der Nutztiere und der wildlebenden Tiere zu berücksichtigen. Bei Befolgung dieses Denkansatzes werden aufwändige Messungen möglicher im Trinkwasser stark verdünnter Belastungen, insbesondere mikrobiologischer

Kontaminationen, nicht für erforderlich bzw. für nur eingeschränkt zielführend gehalten. Die Anforderungen an die Trinkwasseraufbereitung sind unter Berücksichtigung der Gegebenheiten im Trinkwassereinzugsgebiet und der Herkunft des gewonnenen Trinkwassers im Einzelfall mit Augenmaß festzulegen. Bei der Trinkwasseraufbereitung ist wegen der weltweit gegebenen Verbreitung der sehr kleinen Viren die weitgehende Partikelelimination von besonderer Bedeutung. Die vier für die Beurteilung der Trinkwasseraufbereitung besonders relevanten Tabellen der WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 sind in den Tab. 1 bis Tab. 4 als Auszug aus dem Original wiedergegeben (WHO, 2004).

Die im Regelfall stark verdünnte Viruskontamination des Trinkwassers und die niedrigen minimalen Infektionsdosen von Noro- und Rotaviren von 1 bis 10 Viruspartikeln erfordern eine möglichst hohe Sensitivität der Nachweisverfahren, die mit molekularbiologischen Untersuchungsmethoden wie der PCR erreicht werden können. Mittels PCR ist allerdings kein Nachweis der Kontagiosität möglich. Ab etwa 10 Viruspartikeln je Liter Probenvolumen können z.B. Rotaviren im Wasser molekularbiologisch mittels RT-PCR nachgewiesen werden. Die WHO fordert für Staaten mit hohem Einkommen und guter medizinischer Versorgung bereits bei 10 Rotaviren je Liter *Rohwasser* eine gesicherte Partikeleliminationsleistung zur Entnahme von Viren von 5,5 Zehnerpotenzen (99,9995%) (siehe Tab. 1). Optimierte Anlagen zur Flockung und Filtration erbringen nach Angaben der WHO eine Partikeleliminationsleistung von maximal 3 Zehnerpotenzen (99,9%) (siehe Tab. 2) (WHO, 2004). Anlagen zur Flockung und Filtration können demnach bei der nicht auszuschließenden Virusbelastung des Rohwassers dem Trinkwasser die Viruspartikel nicht umfassend entnehmen. Die Inaktivierungsleistung der chemischen und physikalischen Desinfektionsverfahren (Ausnahmen: Ultra- und Nanofiltration) nimmt mit sinkender Temperatur signifikant ab. Im zu desinfizierenden Wasser dürfen die zu inaktivierenden Mikroorganismen nicht verklumpt enthalten sein, da sie sonst von diesen Verfahren nicht erreicht werden können (siehe Tab. 3 und Tab. 4) (WHO, 2004). Die Angaben zu den Kontaktzeiten Ct und zur Intensität der UV-Bestrahlung gelten demnach nur für in Suspension befindliche Mikroorganismen, nicht für verklumpte Partikel oder Biofilme (WHO, 2004). Die üblichen Desinfektionsverfahren können dem Trinkwasser die Viren nicht elementar entnehmen.

Das Membranverfahren der Ultrafiltration ist hingegen in der Lage, dem Wasser die Viren ohne Zusatz von Trinkwasserchemikalien umfassend zu entnehmen, wenn die Poren

ausreichend klein sind und die sichere Funktion der Membranen gewährleistet ist (siehe Tab. 2 und Tab. 3 sowie Abb. 21) (WHO, 2004) (OSMONICS, 1996). Durch das engmaschige „Sieb“ der Ultrafiltration (Membran) kann die physikalische Desinfektion sicher erreicht werden.

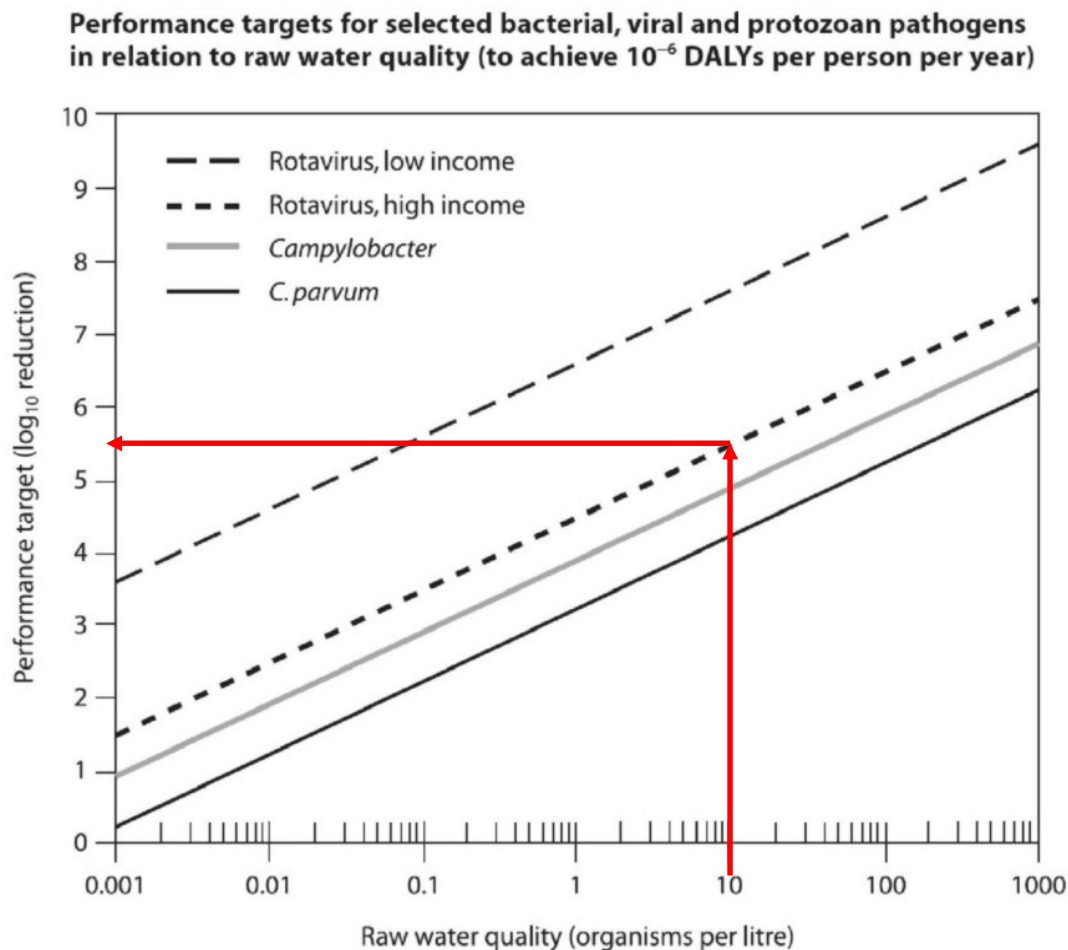


Table 7.4 Health-based targets

	Cryptosporidium	Campylobacter	Rotavirus^a
Organisms per litre in source water	10	100	10
Health outcome target	10^{-6} DALYs per person per year	10^{-6} DALYs per person per year	10^{-6} DALYs per person per year
Risk of diarrhoeal illness ^b	1 per 1600 per year	1 per 4000 per year	1 per 11 000 per year
Drinking-water quality	1 per 1600 litres	1 per 8000 litres	1 per 32 000 litres
Performance target ^c	4.2 log ₁₀ units	5.9 log ₁₀ units	5.5 log ₁₀ units

^a Data from high-income regions. In low-income regions, severity is typically higher, but drinking-water transmission is unlikely to dominate.

^b For the susceptible population.

^c Performance target is a measure of log reduction of pathogens based on source water quality.

Tab. 1: Geforderte Partikeleliminationsleistung bei der Trinkwasserfiltration hinsichtlich Art und Zahl von Mikroorganismen im Rohwasser (WHO, 2004).

Treatment process	Enteric pathogen group	Baseline removal	Maximum removal possible
Lime softening	Bacteria	20% at pH 9.5 for 6 h at 2–8°C	99% at pH 11.5 for 6 h at 2–8°C 99.99% at pH > 11, depending on the virus and on settling time 99% through precipitative sedimentation and inactivation at pH 11.5
	Viruses	90% at pH < 11 for 6 h	
	Protozoa	Low inactivation	
Ion exchange			
	Bacteria	Zero	
	Viruses	Zero	
	Protozoa	Zero	
Filtration			
Granular high-rate filtration	Bacteria	No data available	99% under optimum coagulation conditions
	Viruses	No data available	99.9% under optimum coagulation conditions
	Protozoa	70%	99.9% under optimum coagulation conditions
Slow sand filtration	Bacteria	50%	99.5% under optimum ripening, cleaning and refilling and in the absence of short circuiting 99.99% under optimum ripening, cleaning and refilling and in the absence of short circuiting 99% under optimum ripening, cleaning and refilling and in the absence of short circuiting 96–99.9% using chemical pretreatment with coagulants polymers 98% using chemical pretreatment with coagulants or polymers 99.99%, depending on media grade and filtration rate
	Viruses	20%	
	Protozoa	50%	
Precoat filtration, diatomaceous earth and perlite	Bacteria	30–50%	96–99.9% using chemical pretreatment with coagulants polymers 98% using chemical pretreatment with coagulants or polymers 99.99%, depending on media grade and filtration rate
	Viruses	90%	
	Protozoa	99.9%	
Membrane filtration – microfiltration	Bacteria	99.9–99.99%, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved	99.9–99.99%, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved
	Viruses	<90%	
	Protozoa	99.9–99.99%, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved	
Membrane filtration – ultrafiltration,	Bacteria	Complete removal, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved	

Tab. 2: Partikeleliminationsleistung der unterschiedlichen Filtrationsverfahren bei der Trinkwasserfiltration (WHO, 2004).

Treatment process	Enteric pathogen group	Baseline removal	Maximum removal possible
nanofiltration and reverse osmosis	Viruses	Complete removal with nanofilters, with reverse osmosis and at lower pore sizes of ultrafilters, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved	
	Protozoa	Complete removal, providing adequate pretreatment and membrane integrity conserved	
Disinfection			
Chlorine	Bacteria	Ct ₉₉ : 0.08 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 7; 3.3 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 8.5	
	Viruses	Ct ₉₉ : 12 mg·min/litre at 0–5 °C; 8 mg·min/litre at 10 °C; both at pH 7–7.5	
	Protozoa	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 230 mg·min/litre at 0.5 °C; 100 mg·min/litre at 10 °C; 41 mg·min/litre at 25 °C; all at pH 7–7.5 <i>Cryptosporidium</i> not killed	
Monochloramine	Bacteria	Ct ₉₉ : 94 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 7; 278 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 8.5	
	Viruses	Ct ₉₉ : 1240 mg·min/litre at 1 °C; 430 mg·min/litre at 15 °C; both at pH 6–9	
	Protozoa	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 2550 mg·min/litre at 1 °C; 1000 mg·min/litre at 15 °C; both at pH 6–9 <i>Cryptosporidium</i> not inactivated	
Chlorine dioxide	Bacteria	Ct ₉₉ : 0.13 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 7; 0.19 mg·min/litre at 1–2 °C, pH 8.5	
	Viruses	Ct ₉₉ : 8.4 mg·min/litre at 1 °C; 2.8 mg·min/litre at 15 °C; both at pH 6–9	
	Protozoa	<i>Giardia</i> Ct ₉₉ : 42 mg·min/litre at 1 °C; 15 mg·min/litre at 10 °C; 7.3 mg·min/litre at 25 °C; all at pH 6–9 <i>Cryptosporidium</i> Ct ₉₉ : 40 mg·min/litre at 22 °C, pH 8	

Tab. 3: Partikeleliminationsleistung der unterschiedlichen Filtrationsverfahren bei der Trinkwasserfiltration, Desinfektionsleistung der verschiedenen Desinfektionsverfahren (WHO, 2004).

Treatment process	Enteric pathogen group	Baseline removal	Maximum removal possible
Ozone	Bacteria	Ct ₉₉ : 0.02 mg·min/litre at 5 °C, pH 6–7	
	Viruses	Ct ₉₉ : 0.9 mg·min/litre at 1 °C, 0.3 mg·min/litre at 15 °C	
	Protozoa	<i>Giardia</i>	
		Ct ₉₉ : 1.9 mg·min/litre at 1 °C; 0.63 mg·min/litre at 15 °C, pH 6–9	
UV irradiation		<i>Cryptosporidium</i>	
		Ct ₉₉ : 40 mg·min/litre at 1 °C; 4.4 mg·min/litre at 22 °C	
	Bacteria	99% inactivation: 7 mJ/cm ²	
	Viruses	99% inactivation: 59 mJ/cm ²	
	Protozoa	<i>Giardia</i>	
		99% inactivation: 5 mJ/cm ²	
		<i>Cryptosporidium</i>	
		99.9% inactivation: 10 mJ/cm ²	

Note: Ct and UV apply to microorganisms in suspension, not embedded in particles or in biofilm.

Tab. 4: Desinfektionsleistung der verschiedenen Desinfektionsverfahren (WHO, 2004).

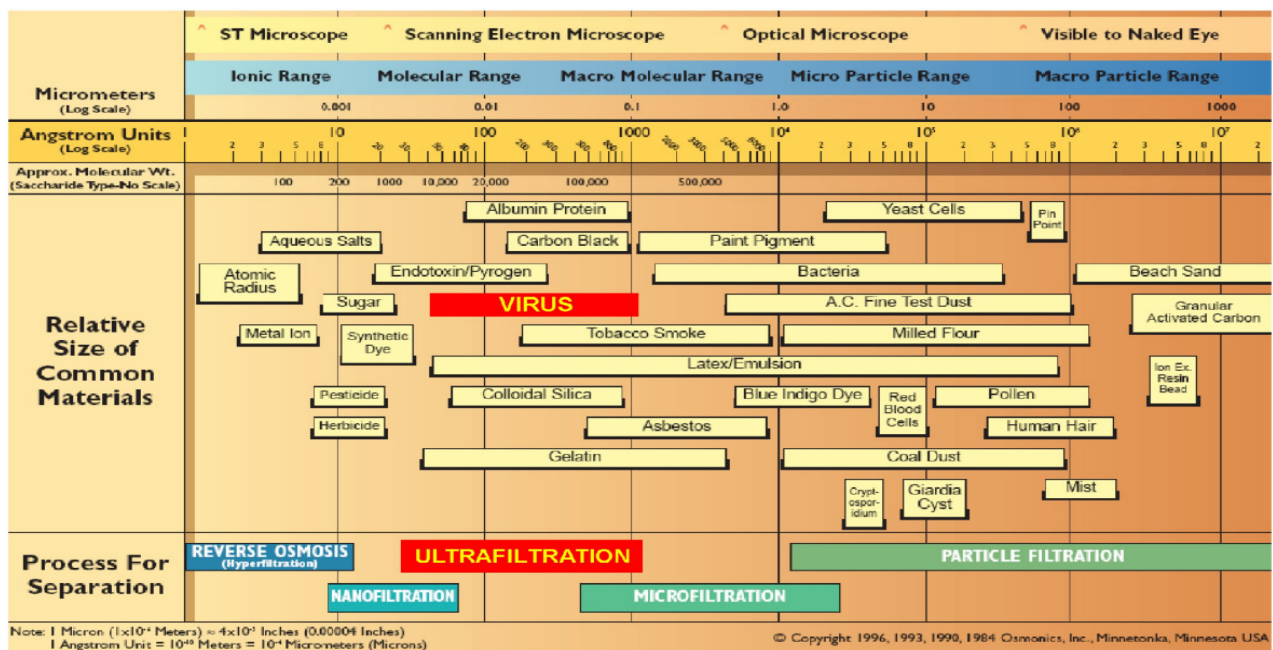


Abb. 21: Partikeleliminationsleistung von Filtrationsverfahren (OSMONICS, 1996).

4.2.2 Trinkwasseraufbereitung in Deutschland

Die in Deutschland weit verbreitete konventionelle Trinkwasseraufbereitung nutzt je nach Herkunft des aufzubereitenden Rohwassers überwiegend die folgenden Verfahren:

Grundwasser

- oft keine weitere Aufbereitung, ggf. Chlorung, tlw. UV-Bestrahlung
- Belüftung zur Enteisung/Entmanganung (Lockergestein) mit vergleichsweise grober Schnellfiltration, ggf. Chlorung, vereinzelt Flockung und Filtration

Quellwasser

- oft keine weitere Aufbereitung, ggf. Chlorung, tlw. UV-Bestrahlung zur Desinfektion

Talsperrenwasser, Wasser aus Seen, Flusswasser

- Flockung und Filtration, Chlorung nach der Aufbereitung, tlw. UV-Bestrahlung zur Desinfektion, tlw. Ozonbehandlung zur Oxidation von Stoffen und zur Inaktivierung von Mikroorganismen, Aktivkohle zur Adsorption des Restozons und/oder zur Adsorption organischer Belastungen

Uferfiltrat

- Untergrundpassage, tlw. ohne weitere Aufbereitung, tlw. Belüftung zur Enteisung/Entmanganung mit vergleichsweise grober Schnellfiltration, tlw. Chlorung
- Untergrundpassage, Flockung und Filtration, Chlorung, tlw. Ozonbehandlung zur Oxidation von Stoffen und zur Inaktivierung von Mikroorganismen, Aktivkohle zur Adsorption des Restozons und/oder zur Adsorption organischer Belastungen

Angereichertes Grundwasser

- tlw. Flockung und Filtration des zur Grundwasseranreicherung entnommenen Oberflächenwassers, Infiltrationsbecken (Sandschicht), Untergrundpassage, tlw. nachgeschaltete Flockung und Filtration, Chlorung, tlw. UV-Bestrahlung zur Desinfektion.

In jüngerer Zeit werden in Deutschland darüber hinaus Ultrafiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung errichtet und in Betrieb genommen. Diese Ultrafiltrationsanlagen haben eine Porenweite von etwa 0,02 μm (STUA AACHEN, 2004) und sind in der Lage, die meisten Viren herauszufiltern.

4.2.3. Entfernung und Inaktivierung von Viren bei der Trinkwasseraufbereitung in Deutschland

Das Rohwasser wird in Deutschland oft nicht oder nur grob gefiltert. Biologisches Material wie die sehr kleinen Viren wird dabei nicht sicher entfernt. Zur Grundwasseraufbereitung weit verbreitete Filtrationsanlagen zur Entfernung von Eisen- und Mangan besitzen hinsichtlich der Elimination von Viren keine Wirkung (WHO, 2004). In Abschnitt 5.1 wird gezeigt, dass Viren auch im Grundwasser nachgewiesen wurden. Das in Deutschland bei der Aufbereitung von Oberflächenwasser übliche, als besonders leistungsfähig geltende Trinkwasseraufbereitungsverfahren der Flockung und Filtration gilt als optimiert, wenn im Größenbereich von 2 bis 20 μm maximal 20 Partikel $>2\mu\text{m/mL}$ die Filter passieren (KÜHN, BALDAUF, 2002). Zum Vergleich: Noroviruspartikel haben einen Durchmesser von 30 nm (0,03 μm), sind also 66 bis 666-mal kleiner als der o.g. Größenbereich optimierter Anlagen zur Flockung und Filtration. Bei besonderen Betriebszuständen, insbesondere nach Filterspülungen, liegen die Betriebswerte von derartigen Filtrationsanlagen wesentlich höher, oft bei 1.000 Partikeln $>2\mu\text{m/mL}$ (STUA AACHEN, 2004). In manchen Anlagen zur Flockung und Filtration wird deshalb bei der Trinkwasserproduktion das Erstfiltrat nicht als Trinkwasser genutzt.

Bei der Schnellfiltration, insbesondere zu der bei der Grundwasseraufbereitung weit verbreiteten Abtrennung von Eisen- und Mangan mit Einschichtfiltern, und bei der Flockung und Filtration, insbesondere von Oberflächenwasser mit Mehrschichtfiltern, kommen Filterkorndurchmesser zum Einsatz, die einen weit größeren Durchmesser als Viren besitzen. Nach der einschlägigen Europäischen Norm EN 12904 (ANONYM, 1999) betragen die Filterkorndurchmesser der Filterquarze bei der Schnellfiltration mit Einschichtfiltern 850 bis 5.600 μm , bei Mehrschichtfiltern 400 bis 1.250 μm . Die Virendurchmesser liegen im Größenbereich von 0,004 μm bis 0,1 μm . Bereits der Größenunterschied zwischen den Durchmessern der Filterquarze und denen von Viren verdeutlicht, dass Schnellfilter und auch Flockung und Filtration die Viren dem Rohwasser nicht umfassend entnehmen können.

Die Chlorung mit den in Deutschland regelmäßig zugelassenen Konzentrationen zwischen 0,1 und 0,3 mg/L freiem Cl_2 [USA zum Vergleich bis zu 4 mg/L Cl_2 (EPA, 2002)], in Ausnahmefällen bis zu 0,6 mg/L freiem Cl_2 , inaktiviert Viren unzureichend. Darüber hinaus ist in weit verzweigten Trinkwasserversorgungsnetzen in größerer Entfernung von der Trinkwasseraufbereitungsanlage freies Chlor mit desinfizierender Wirkung nicht mehr nachweisbar. Die Chlorung, die Ozonbehandlung und die Bestrahlung mit ultravioletem Licht [UV-Bestrahlung] sind bei im Wasser verklumpten Mikroorganismen nur eingeschränkt wirksam (vgl. Tab. 4) (GROHMANN et al., 2003) (WHO, 2004). Die Viren inaktivierende Wirkung von Chlor und Ozon nimmt mit sinkender Wassertemperatur deutlich ab (vgl. Tab. 3 und Tab. 4) (WHO, 2004). Aus den genannten Gründen kann mit den in Deutschland regelmäßig angewandten Desinfektionsverfahren die sichere Inaktivierung von im Trinkwasser enthaltenen virulenten Viren insbesondere während der kalten Jahreszeit nicht umfassend erreicht werden.

In jüngerer Zeit werden auch in Deutschland Ultrafiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung errichtet und in Betrieb genommen. Die Porenweite dieser Ultrafiltrationsanlagen beträgt etwa 0,02 μm (STUA AACHEN, 2004). Noroviren haben einen Durchmesser von etwa 0,03 μm und Rotaviren von etwa 0,07 μm . Die aktuell errichteten Anlagen sind damit in der Lage, dem Rohwasser die in der vorliegenden Analyse betrachteten Viren zu entnehmen. Es gibt allerdings Viren, die noch weit kleiner sind, bis hinunter zu 0,004 μm . Deshalb ist zu bedenken, ob nicht die leistungsfähigeren Nanofiltrationsanlagen zum Einsatz kommen sollen, die auch die in der fachlichen Diskussion befindlichen Spurenschadstoffe, prioritären Stoffe nach Definition der EU, endokrinen Stoffe und Arzneimittelrückstände aus dem Rohwasser herausfiltern können. Beim Einsatz der Nanofiltration sollte das gefilterte Trinkwasser anschließend aufgehärtet werden, da die Nanofiltration dem Wasser auch die gelösten Salze entnimmt und salzfreies Wasser für Menschen weniger bekömmlich ist.

Auch nach den Inhalten der in Abschnitt 11 „Microbial fact sheets“ der WHO Trinkwasserrichtlinie 2004 (WHO, 2004) zitierten Literatur sind die in Deutschland gebräuchlichen konventionellen Trinkwasseraufbereitungsverfahren (siehe Abschnitt 4.2.2) nicht in der Lage, die weltweit verbreiteten virulenten Viren dem Trinkwasser umfassend zu entnehmen oder zu inaktivieren. Trinkwasser aus Oberflächenwasser ist

insofern besonders gefährdet. Wie in den Abschnitten 4.1 und 5.1 dieser Arbeit gezeigt wird, kann auch das Trinkwasser aus Grundwasser mit Viren kontaminiert sein. Mit hoher Wahrscheinlichkeit ist deshalb auch in Deutschland das Trinkwasser mit virulenten Viren belastet.

Selbst die in Deutschland als besonders leistungsfähig geltenden Anlagen zur Flockung und Filtration können, auch unter Berücksichtigung der gebräuchlichen Desinfektionsverfahren, deren Effizienz mit sinkender Wassertemperatur abnimmt [Chlorung und Ozonbehandlung] und die bei im Wasser verklumpten Mikroorganismen nur eingeschränkt wirksam sind [Chlorung, Ozonbehandlung und UV-Bestrahlung], die von der WHO geforderten Eliminations- und Inaktivierungsleistungen (siehe Abschnitt 4.2.1) (WHO, 2004) nicht sicher erreichen.

4.3 Erdboden-, Gewässer-, Trinkwasser- und Lufttemperaturen in Deutschland: Kühlkette öffentliche Trinkwasserversorgung

Die mit der vorliegenden Arbeit für Deutschland und die Jahre 2001 bis 2006 durchgeführten Analysen zu den möglichen Zusammenhängen zwischen den Verläufen der Trinkwassertemperaturen und den Verläufen bestimmter Virusinfektionen erfolgten im Wesentlichen unter Verwendung der Temperaturverläufe der Wetterstation Erfurt-Bindersleben des Deutschen Wetterdienstes, die mit Hilfe von Abb. 22 als Mittel für Deutschland ausgewählt wurden. Der Lufttemperaturverlauf der Wetterwarte Erfurt-Bindersleben ist in Abb. 22 rot hervorgehoben.

Die Verläufe der Lufttemperaturen der Jahre 2001 bis 2005 in Erfurt-Bindersleben und das zugehörige langjährige Mittel der Periode 1961 bis 1990 sind in Abb. 23 dargestellt und den entsprechenden Lufttemperaturverläufen der Wetterwarte Aachen des Deutschen Wetterdienstes gegenübergestellt, da für die Analysen der vorliegenden Arbeit auch Daten aus der Region Aachen verwendet wurden. Die Lufttemperaturminima in Deutschland stellen sich in den Monaten Dezember bis Februar ein, im langjährigen Mittel im Monat Januar (siehe Abb. 23).

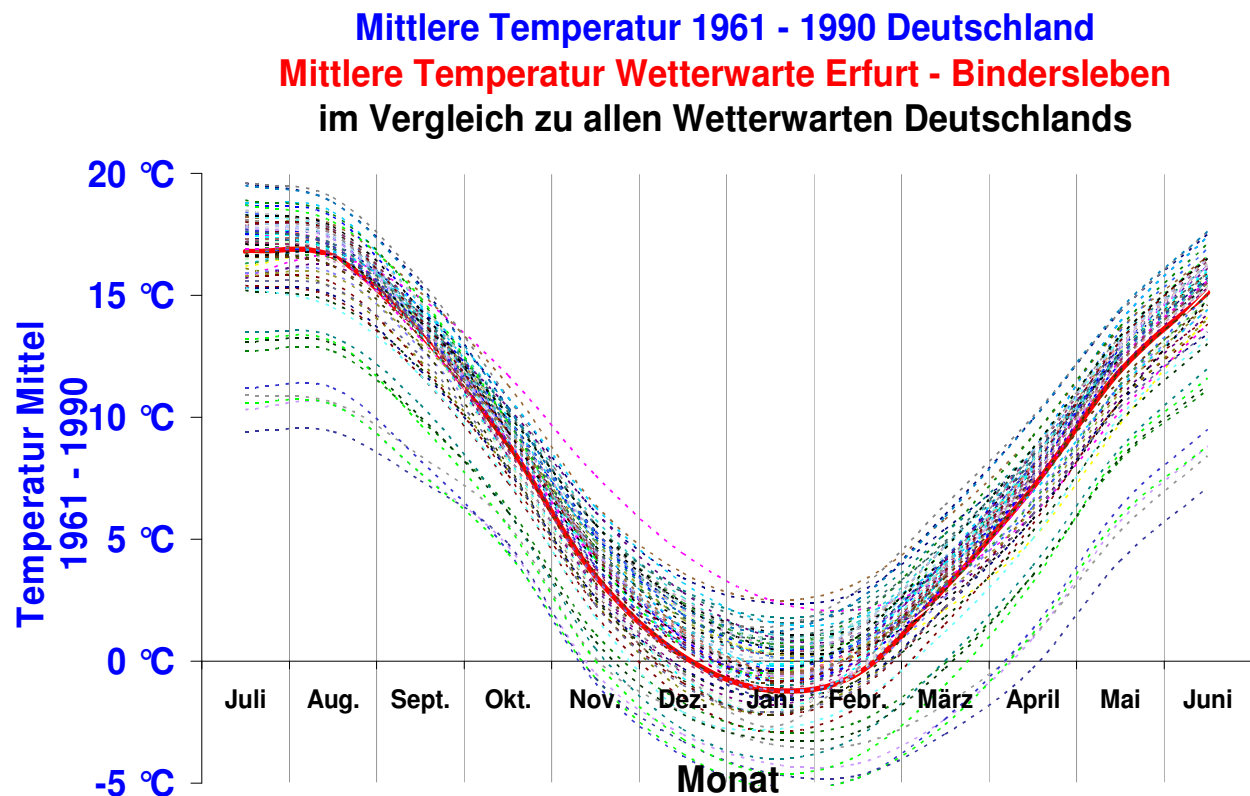


Abb. 22: Langjährige Monatsmittel der Lufttemperaturen der Periode 1961 bis 1990 der Wetterwarten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) in Deutschland (DWD, 2005).

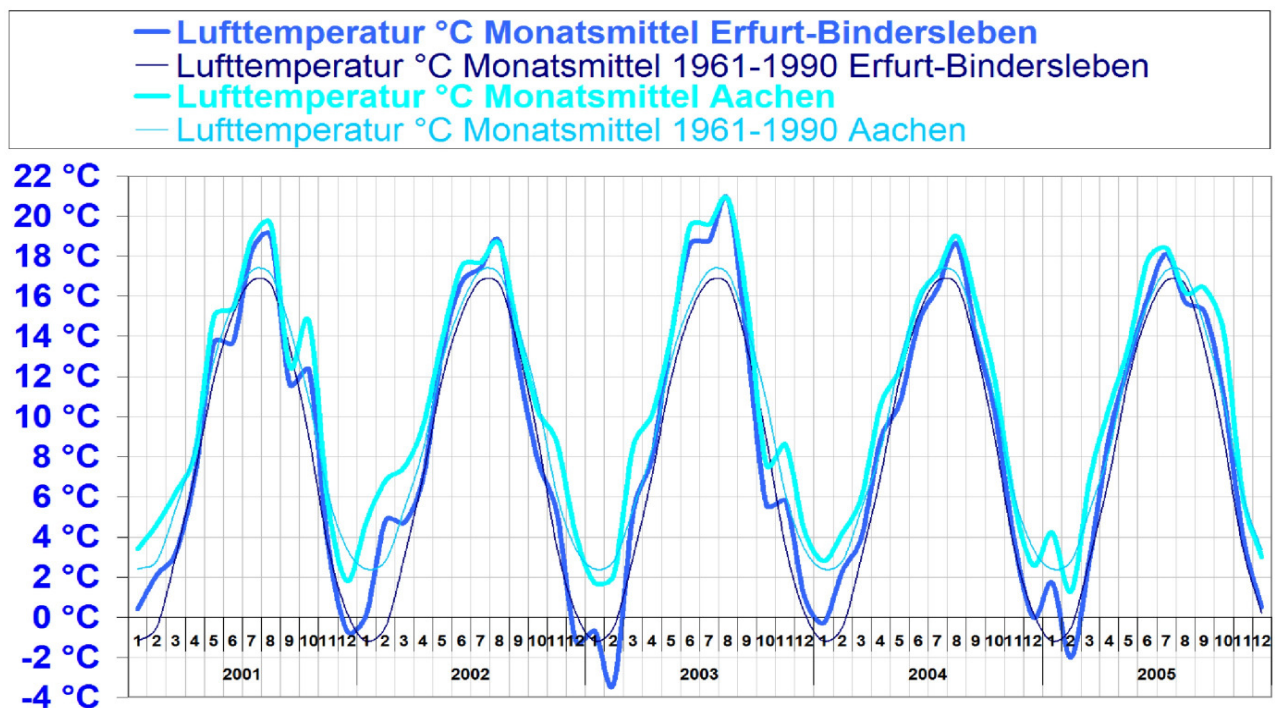


Abb. 23: Lufttemperaturverläufe in Erfurt-Bindersleben und Aachen: langjährige Monatsmittel der Periode 1961 bis 1990 und Lufttemperaturverläufe (Monatsmittel) der Jahre 2001 bis 2005 (DWD, 2005).

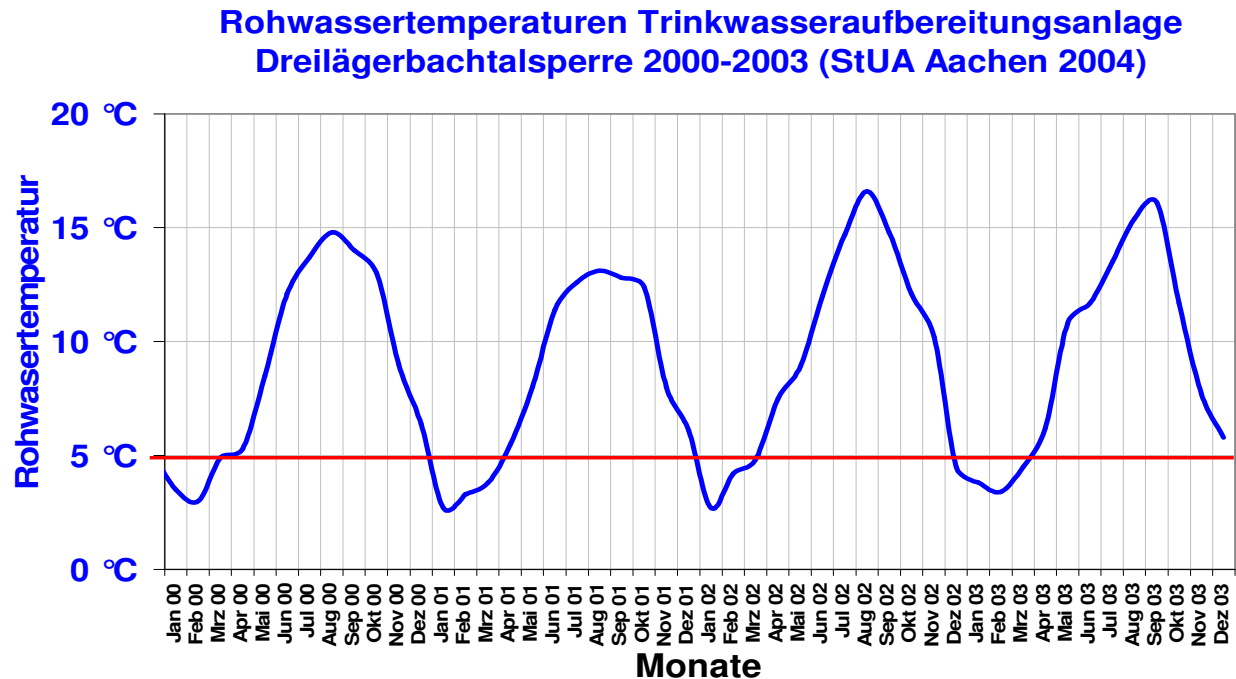
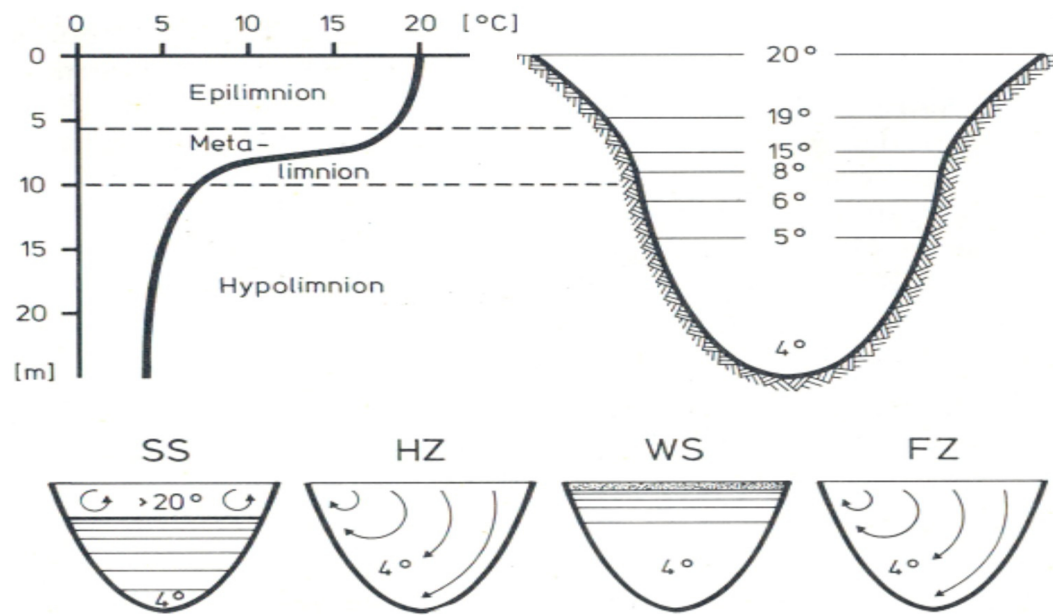


Abb. 24: Verlauf der Rohwassertemperatur der Trinkwasseraufbereitungsanlage (TWA) Roetgen an der Dreilägerbachtalsperre von 2000 bis 2003 (STUA AACHEN, 2004).

Das Temperaturminimum des Talsperrenwassers (Rohwassers) im atlantischen Klima der Region Aachen beträgt während der Monate Januar und Februar eines jeden Jahres 3-4 °C (Beispiel Dreilägerbachtalsperre in Roetgen bei Aachen siehe Abb. 24) (STUA AACHEN, 2004). Die Temperaturminima des Talsperrenwassers stellen sich etwa einen Monat später als die Minima der Lufttemperaturen ein.

Die Wasserkörper der Talsperren und Seen sind nach der sommerlichen Schichtung des Wassers, die sich in der warmen Jahreszeit durch die Dichteunterschiede zwischen tiefem kaltem und oberflächennahem warmem Wasser einstellt, im Herbst wieder voll durchmischt (siehe Abb. 25) (MUDRACK et. al., 1988). Die Durchmischung (Zirkulation) folgt der Abkühlung des warmen oberflächennahen Wassers. Mit der Durchmischung der Wasserkörper können oberflächennah nach der Dichte der im Sommer wärmeren Zuflüsse eingeschichtete Partikel sich über die gesamten Wasserkörper der Talsperren und Seen verteilen. Diese Partikel können dann auch zu den in größerer Tiefe angeordneten Rohwasserentnahmen der Trinkwassertalsperren gelangen.



Thermische Schichtung eines Sees, Stagnations- und Zirkulationsphasen

SS = Sommerstagnation
 WS = Winterstagnation
 HZ = Herbstzirkulation
 FZ = Frühjahrszirkulation

Abb. 25: Thermische Schichtung von Talsperren und Seen über das Jahr (MUDRACK et. al., 1988).

Flusswasserentnahmen haben im atlantischen Klima der Region Aachen ihr Temperaturminimum von 4-6°C ebenfalls im Januar und Februar eines jeden Jahres (Beispiel Rur/Eifel in Obermaubach bei Düren, siehe Abb. 26) (STUA AACHEN, 2004).

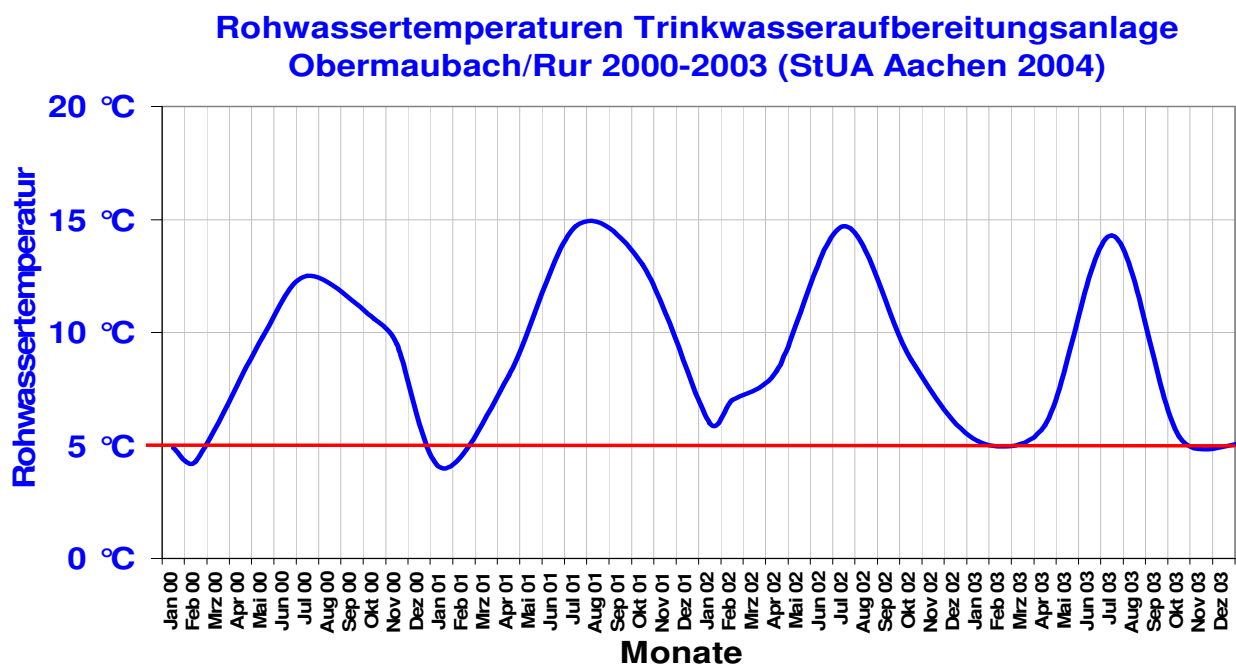


Abb. 26: Verlauf der Rohwassertemperaturen der Trinkwasseraufbereitungsanlage (TWA) Obermaubach an der Rur/Eifel von 2000 bis 2003 (STUA AACHEN, 2004).

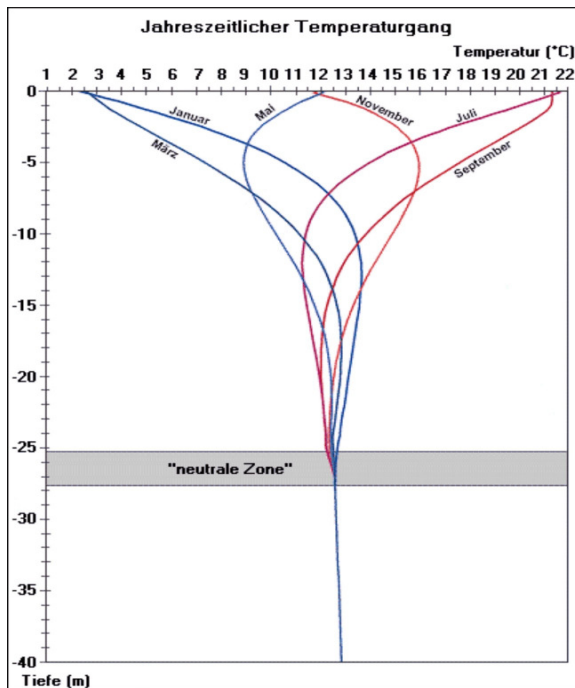


Abb. 27: Temperaturverlauf des Grundwassers, Monatsprofile für Berlin (BERLIN, 2005)

Oberflächennahes Grundwasser (z.B. in Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern) hat im kontinentalen Klima des Ostens Deutschlands an der Grundwasseroberfläche - analog zum Boden in 100 cm Tiefe - sein Temperaturminimum von etwa 3°C im Februar und März eines jeden Jahres (Beispiel Grundwasser in Berlin siehe Abb. 27) (BERLIN, 2005). Bei dem gezeigten Beispiel beträgt die Grundwassertemperatur ab einer Tiefe von rund 25 Metern ganzjährig etwa 12°C. Auch aus Brunnen größerer Tiefe entnommenes Grundwasser kann bei mangelhafter Abdichtung zwischen den Brunnenrohren und dem umgebenden Gestein durch Zutritte von Oberflächenwasser beeinflusst und deshalb kälter als das tiefere Grundwasser sein.

Bachschwinden, aus denen Oberflächenwasser auf kurzen Wegen zu den Brunnen gelangt, können die gleiche Wirkung haben. Uferfiltrat aus Brunnen, die nahe dem Ufer von Oberflächengewässern gebohrt wurden, nimmt die Temperatur des im Winter kalten Oberflächenwassers an. Gleiches gilt für Brunnen, aus denen mit Oberflächenwasser angereichertes Grundwasser gefördert wird.

Die Erdbodentemperaturen in einem Meter Tiefe entsprechen den Temperaturen der in den Böden frostfrei verlegten Trinkwasserleitungen. Als Mittelwerte der Erdbodentemperaturen in Deutschland wurden ebenfalls die Daten aus Erfurt-Bindersleben gewählt (siehe Abb. 22). Die Temperaturminima der Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe betragen hiernach in Deutschland während der Monate Februar und März eines jeden Jahres 3-5°C, folgen also den Minima der Lufttemperaturen (siehe Abb. 23) um ein bis zwei Monate zeitversetzt (Beispiel Wetterstation des Deutschen Wetterdienstes in Erfurt-Bindersleben siehe Abb. 28) (DWD, 2006). Die Temperaturen der Trinkwasserleitungen und des in ihnen transportierten Trinkwassers gleichen sich den gezeigten Erdbodentemperaturen an.

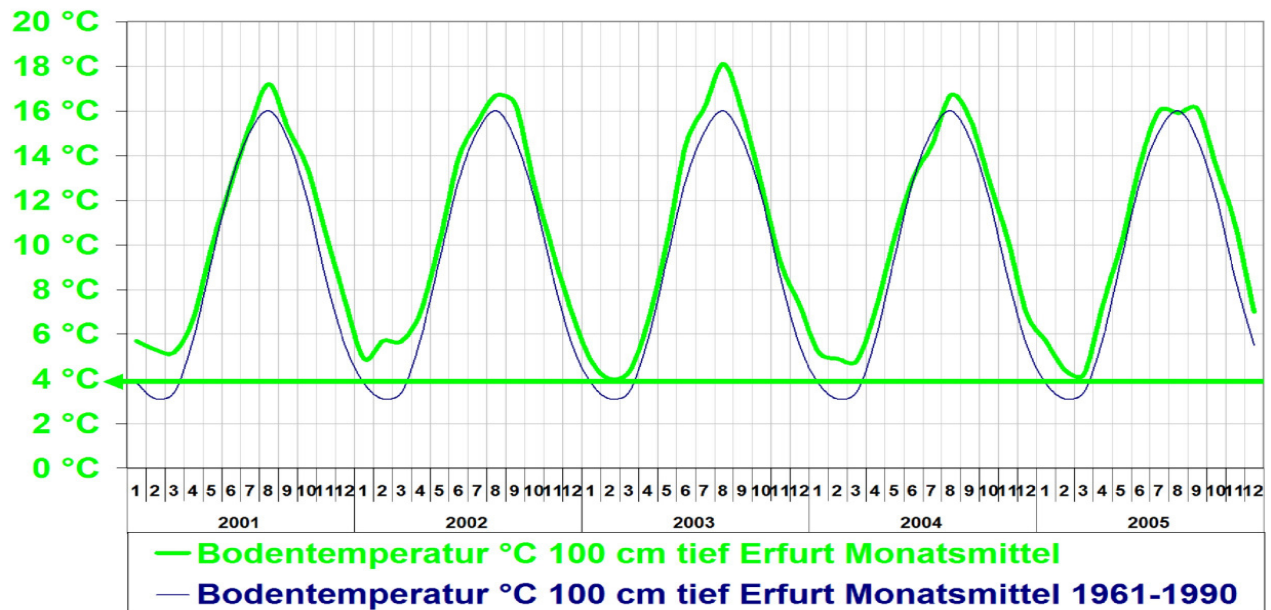


Abb. 28: Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe der DWD Wetterstation Erfurt-Bindersleben: langjähriges Mittel 1961 bis 1990 und Gang der Monatsmittel der Erdbodentemperaturen von 2001 bis 2005 (DWD, 2006).

Böden und Wasserkörper von Talsperren und Seen speichern in ähnlicher Weise die Wärme des Sommers und die Kälte des Winters. Die Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe und die Rohwassertemperaturen der Talsperren weisen deshalb einander ähnliche Jahresverläufe auf, die den Verläufen der Lufttemperaturen zeitversetzt folgen (siehe Abb. 29).

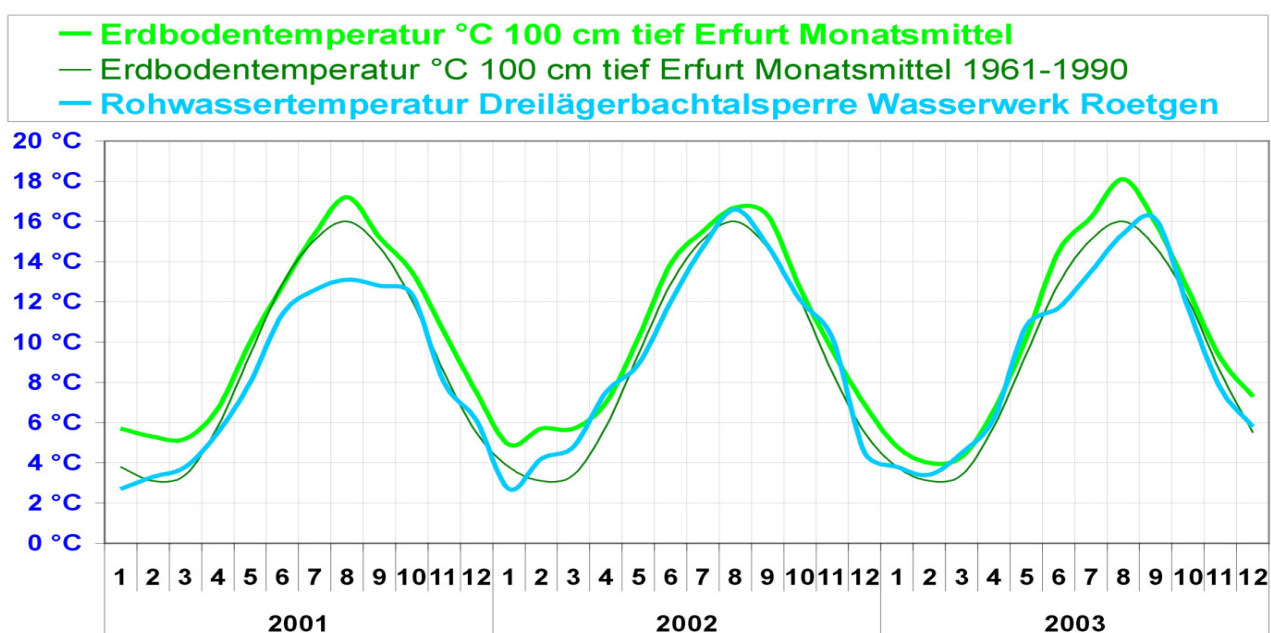


Abb. 29: Temperaturverläufe im Boden in 1 Meter Tiefe und Verlauf der Rohwassertemperatur der Dreilägerbachtalsperre (Trinkwassertalsperre) von 2001 bis 2003.

Im Verlauf der kalten Jahreszeit dringt die Kälte in die Böden und die darin verlegten Wasserleitungen ein (siehe Abb. 27 und Abb. 28). Mit Erreichen der saisonalen Kältesumme sind zuerst die Verteilungsnetze im ländlichen Raum mit kleinen Wasserleitungsdurchmessern und geringem Volumenstrom ausgekühlt. In strengeren Wintern kühlen auch städtische Wasserversorgungsnetze mit größeren Leitungsquerschnitten und höheren Durchflüssen im erkalteten Boden aus. Volumina, Anordnungen sowie Isolierungen von Trinkwasserbehältern und Trinkwassertürmen haben ggf. erheblichen Einfluss auf die Trinkwassertemperatur [Abkühlung des im Wasserturm gespeicherten Trinkwassers bei niedrigen Lufttemperaturen (JACKSON, 2006)]. Im Winter kaltes Rohwasser bleibt in den Trinkwasseraufbereitungsanlagen und nach der Aufbereitung zu Trinkwasser in den Wasserbehältern und Wasserleitungen bis zum Hausanschluss der Verbraucher kalt. Das Temperaturminimum des Trinkwassers am Hausanschluss folgt insbesondere dem Verlauf der Kälte im Boden und in den Wasserleitungen. Es stellt sich in den Monaten Februar und März ein. Das kalte Trinkwasser wird erst in den Wohnungen an den Wasserhähnen mit warmem Wasser aus der Hausinstallation gemischt.

Damit ist die durchgängige „Kühlkette der öffentlichen Trinkwasserversorgung“ von der Wassergewinnung bis zu den Verbrauchern mit einer Trinkwassertemperatur von etwa 4-5°C in den Monaten Februar und März eines jeden Jahres beschrieben.

4.4 Trinkwasserverteilung, Konservierung und Transport virulenter Viren durch das Trinkwasser

Die Temperatur ist der mit Abstand wichtigste Parameter zur Konservierung virulenter Viren im Wasser (WHO, 2004). Die Resistenz von Viren im Wasser wird zusätzlich von neutralen bis basischen pH-Werten (pH-Bereich von pH 7 bis pH 9) begünstigt. Der pH-Wert des aufbereiteten Trinkwassers wird zur Vermeidung der Kalkaggressivität und damit zum Schutz von zementgebundenen Baustoffen wie z.B. von Rohren, aber auch zur Vermeidung von Kupfer-, Blei- sowie Zinklösungen aus den Materialien der Wasserleitungen, regelmäßig auf $\text{pH} > 7$ eingestellt. Das Trinkwasser aus verkarsteten Kalkgrundwasserleitern weist ebenfalls pH-Werte > 7 auf. Die in Abschnitt 4.3 beschriebene durchgängige Kühlkette der öffentlichen Trinkwasserversorgung mit dem Trinkwassertemperaturminimum von etwa 4-5°C in den Monaten Februar und März und zusätzlich einem Trinkwasser-pH-Wert > 7 kann im Trinkwasser möglicherweise

enthaltene virulente Viren konservieren und zu den Menschen transportieren. Schwankende Transport- und Verweilzeiten in den Wasserverteilungssystemen (gering bei örtlichen dezentralen Anlagen, groß bei überregionalen Fernwasserversorgungen) führen bei im Wasser möglicherweise enthaltenen virulenten Viren zu unterschiedlichen Inaktivierungszeiten. Transport- und Speicherzeiten des Trinkwassers von mehreren Tagen können zu deren Inaktivierung führen. Trinkwassernetze und Trinkwasserbehälter sind wegen in der Vergangenheit großzügiger Dimensionierung und aktuell sinkender Trinkwasserbedarfe oft zu groß bemessen. Zur Vermeidung der Stagnation und bakteriellen Wiederverkeimung des Trinkwassers u.a. durch Biofilme in den Netzen und Behältern werden von den Wasserversorgungsunternehmen Maßnahmen zum Rückbau der Wasserverteilungs- und Speicheranlagen zur Erhaltung möglichst jungen Trinkwassers erwogen und auch durchgeführt. Hinsichtlich möglicher Belastungen des Trinkwassers durch Viren ist diese Vorgehensweise kontraproduktiv, da die Inaktivierung virulenter Viren durch lange Aufenthaltszeiten in den Trinkwassernetzen und Behältern gefördert wird.

Kaltes, junges Trinkwasser mit neutralen bis basischen pH-Werten, entnommen aus Oberflächengewässern und schlecht geschützten oberflächennahen Grundwässern sowie aus Karstgrundwasserleitern, kann das abiotische Vehikel sein, das im Winter virulente Viren bei 4-5°C konserviert und über die durchgängige Kühlkette der öffentlichen Trinkwasserversorgung zu den Menschen transportiert.

5 Viren in Gewässern und im Trinkwasser, Tenazität virulenter Viren in der Umwelt, den Gewässern und im Trinkwasser

5.1 Viren in Gewässern und im Trinkwasser

Viren werden von infizierten Menschen, Nutztieren und wildlebenden Tieren mit deren Harn, Kot, Nasensekret und Schleim aus dem Rachen ausgeschieden und können so in die Umwelt eingetragen werden. Die Zahl der Viren in der Umwelt schwankt in Abhängigkeit von konkreten Krankheitsausbrüchen sehr stark. Untersuchungen zu Virenvorkommen in der Umwelt sind deshalb immer nur Momentaufnahmen, absolute Zahlen können nicht angegeben werden. Zur Beurteilung des Potenzials von Vireneinträgen in die Gewässer müssen deshalb Art und Zahl der Ausscheider (Menschen, Nutztiere, wildlebende Tiere) in einem Wassereinzugsgebiet erhoben werden.

Viren sind in der Umwelt weit verbreitet und damit in den Oberflächengewässern, aber auch im Grundwasser nachweisbar, wie die Ergebnisse eines zwölfmonatigen Monitoring in den USA zeigen (siehe Tab. 5) (LECHEVALLIER, 2003). In allen 20 Grundwässern wurden über das Jahr des Monitoring Hinweise auf fäkale Verunreinigungen, insbesondere durch Viren, gefunden.

Brunnen Kennzeichnung	enterale Viren (Zellkultur/ RT-PCR)	Coliphagen im Grundwasser (USEPA Methode 1602)	E. coli	Coliforme Bakterien
CAHOHW	N	+	-	-
INRI10	R	+	-	+
MOPC04	E, R	-	-	+
NHHA09	N	+	-	-
PAPH03	R, A	-	-	+
CARU04	R	+	-	+
ILPER4	R, N	+	+	+
INKO18	-	+	-	+
INMU01	Zellkultur + (2)	-	-	+
NJEH12	E	+	-	-
OHTI21	N	+	+	+
MAFMF3	-	-	+	+
MAHM02	Zellkultur + (1)	-	+	+
NHHA10	R	+	-	+
NJSHK5	E, N	-	+	+
NMCL10	R, N	+	-	-
ILPK01	E, R	+	-	+
MOPC06	-	+	-	+
PAFR02	N	+	+	+
PAPH02	E, R, N	-	+	+
Insges. positiv:	17	13	7	16
Kein Nachweis:	-	6	11	4

A: Adenovirus, E: Enterovirus, H: Hepatitis A Virus, N: Norovirus, R: Rotavirus

Tab. 5: Monitoring über 12 Monate bei 20 Brunnen (LECHEVALLIER, 2003).

Viren sind oft wirtsspezifisch und können deshalb nur dieselbe Art infizieren. Viren können aber auch Menschen und Tiere wechselseitig infizieren (Anthropozoonosen und Zooanthroponosen). Für die in der vorliegenden Analyse betrachteten Noro- und Rotaviren sind in der Literatur Hinweise zu finden, dass diese Viren auch zoonotisch übertragen werden können. Noroviren werden in der WHO Trinkwasserrichtlinie 3. Auflage 2004 als möglicherweise zoonotisch übertragbar beschrieben (WHO, 2004). Die zoonotische Übertragung von Rotaviren ist für Einzelfälle dokumentiert (ITURRIZA-GÓMARA, 2004).

Land	Jahr	Anzahl der Proben: positive/negative	isolierter Virustyp
Frankreich	1960-62	47/553	Polio- und andere Enteroviren
Indien	1961-63	2/25	Reo-, Enterovirus
Israel	1978	12/18	Polio-, Echovirus
Mexiko	1978	8/11	Coxsackie B Virus
Mexiko	1978	11/11	Rotavirus
Rumänien	1962-71	2/65	Coxsackie A Virus
Rumänien	1972-77	8/220	Poliovirus, Coxsackie A Virus
Südafrika	1971	2/nicht berichtet	Reo-, Enterovirus
USA	1969-71	7/64	Reo-, Echo-, Poliovirus
USA	1975	1/10	Echovirus
USA	1975	4/12	Poliovirus
USA	1976	1/42	Poliovirus
USA	1980	3/6	Coxsackie B Virus, Hepatitis A Virus
USA	1968-71	9/64	Coxsackie A und B Virus, Echo-, Poliovirus
Kanada	1985	11/155	Poliovirus, Coxsackie B Virus, Echovirus
Deutschland (eigene Untersuchung der Autoren)	1988-90	12/17	Reovirus
Deutschland (eigene Untersuchung der Autoren)	1993	14/39	Reo-, Poliovirus

Tab. 6: Zusammenstellung veröffentlichter Nachweise von menschlichen enteralen Viren im behandelten Trinkwasser (TOUGIANIDOU et al., 1998).

Über virulente Viren im aufbereiteten Trinkwasser Deutschlands wurde schon 1989 berichtet (TOUGIANIDOU et al., 1989). Eine Vielzahl von Veröffentlichungen berichten über Virennachweise im Trinkwasser, auch in den bezüglich der Trinkwasserhygiene entwickelten Staaten (siehe Tab. 6) (TOUGIANIDOU et al., 1998).

Neue Methoden für den Virennachweis und die Forderung zur inzwischen erfolgten Fortschreibung der WHO Trinkwasserrichtlinie wurden 2001 veröffentlicht. Bei den beschriebenen Untersuchungen wurden in 23% von 413 Trinkwasserproben virulente Viren nachgewiesen (GRABOW et al., 2001). Das Staatliche Veterinäruntersuchungsamt Krefeld untersuchte im Jahr 2004 343 Lebensmittelproben mit einer Positivenrate von <1% auf Noro- und Rotaviren; 55 Proben abschließend filtrierter Rohwässer wurden mittels RT-PCR und nachfolgender Sequenzanalyse mit einer Positivenrate von 20% auf Rotaviren untersucht (SVUA, 2004). In Finnland wurden mit Förderung durch die

Europäische Union von 1998 bis 2003 trinkwasserbedingte Norovirus-Ausbrüche untersucht. Bei 10 von 18 Norovirus-Ausbrüchen stimmten die nachgewiesenen Norovirus-Subtypen bei den Stuhlproben der Patienten mit denen der Trinkwasserproben überein. Die untersuchenden Wissenschaftler fordern als Konsequenz Maßnahmen zur regelmäßigen Überwachung des Trinkwassers auf Viren (MAUNULA et al., 2005). In der Schweiz sind aktuell zwei Aufsätze erschienen, die über Nachweise von Noro- und Rotaviren im Trinkwasser berichten (Füchslin, 2005) (Greber, 2005). Eine GIS-gestützte Untersuchung für den Rheinisch-Bergischen-Kreis kommt zu dem Fazit, „dass auch in Deutschland, wie in anderen Ländern mit ähnlich hohen Standards in der Trinkwasserversorgung, jederzeit mit trinkwasserbürtigen gastrointestinalen Infektionen gerechnet werden muss. ... Ein Teil der in Deutschland jährlich gemeldeten Fälle kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf verunreinigtes Trinkwasser zurückgeführt werden.“ (DANGENDORF, 2003). In der WHO Trinkwasserrichtlinie 2004, Abschnitt 11. „Microbial fact sheets“, sind, zugeordnet zu den einzelnen mikrobiologischen Parametern, u.a. zu Noro- und Rotaviren, weitere Literaturquellen über nachgewiesene Kontaminationen des Trinkwassers mit Viren aufgelistet (WHO, 2004).

5.2 Tenazität virulenter Noro- und Rotaviren in der Umwelt, den Gewässern und im Trinkwasser

Noro- und Rotaviren als nicht umhüllte Viren besitzen in der Umwelt eine hohe Tenazität und im Trinkwasser eine hohe Desinfektionsmitteltoleranz.

Noroviren sind nach der Häufigkeit des Auftretens von Infektionen über das Jahr (siehe Abb. 8) resistenter als Rotaviren (siehe Abb. 12). Untersuchungen zur Umweltstabilität der Noroviren werden durch das Fehlen eines Tiermodells und das Fehlen der Möglichkeit einer Virusanzucht in Zellkultursystemen erschwert. Daher werden in Laborversuchen die eng verwandten feline Caliciviren (FCV) als Surrogatviren verwendet. In Suspensionsversuchen erwiesen sich FCV bei 4°C als sehr stabil. Ausgehend von einer Ausgangskonzentration von 9,25 log₁₀

- betrug der Titerverlust nach 60 Tagen bei 4°C 4 log₁₀ Stufen.
- Bei einer Inkubation unter Raumtemperaturen betrug der Titerverlust nach 14 bis 21 Tagen bereits 9 log₁₀ Stufen.
- Bei einer Temperatur von 37°C waren FCV weit weniger stabil. Hier betrug der Titerverlust 1 log₁₀ Stufe pro Tag.
- In getrocknetem Zustand zeigten sich FCV bei 4°C und bei Raumtemperatur

vergleichbar stabil. Bei einer Temperatur von 37°C verhielt sich auch das getrocknete Virus sehr instabil (ZENTRUM FÜR GESUNDHEITSSCHUTZ, 2004).

Rotaviren sind ebenfalls sehr umweltresistent (hohe Tenazität, Säure- und Hitzeresistenz) (RKI, 2002b). Untersuchungen zur Tenazität von Rotaviren kann man inzwischen durchführen, da Rotaviren sich nach anfänglichen Schwierigkeiten in Zellkulturen züchten und titrieren lassen. Dabei zeigte sich, dass Rotaviren selbst bei 18°C bis 20°C eine hohe Umweltstabilität (Tenazität) besitzen und auch in getrocknetem Zustand lange Zeit infektiös bleiben können (FLI, 2005). Hohe Temperaturen beschleunigen die Virusinaktivierung. Gegenüber Sonnenlicht (UV-A-Strahlung) verhalten sich die Viren relativ labil. Demgegenüber überleben Rotaviren bei niedrigen Temperaturen und in Dunkelheit über Monate, bei 20°C über 7 bis 12 Monate. Kälberrotaviren in Fäzes blieben bei Raumtemperatur 9 Monate kontagios. Bei 55°C werden Rotaviren innerhalb von 60 Minuten zu 99,9% inaktiviert. Die Kontagiosität wird durch pH-Werte im Bereich von pH 3 bis pH 10 nicht wesentlich beeinträchtigt.

Mit der vorliegenden Analyse werden Aussagen zu der von den mittleren monatlichen Temperaturen abhängigen Tenazität virulenter Noro- und Rotaviren in der Umwelt und im Trinkwasser aus den über den Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe und den Lufttemperaturen aufgetragenen Infektionsverläufen abgeleitet (siehe Abb. 30 und Abb. 31). Wie in Abschnitt 4.3 diskutiert wurde, sind die Temperaturverläufe der Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe denen der Trinkwasserleitungen und Gewässer ähnlich, da Erdboden, Trinkwasserleitungen und Gewässer Kälte und Wärme speichern und deren Temperaturverläufe deshalb dem Verlauf der Lufttemperatur zeitversetzt folgen müssen.

Die jährliche Norovirus-Saison beginnt stets bei mittleren monatlichen Erdbodentemperaturen von <15°C (und bei zugehörigen Lufttemperaturen von <12°C). Bei Erdbodentemperaturen von >15°C (und zugehörigen Lufttemperaturen von etwa >18°C) endet die Norovirus-Saison (siehe Abb. 30).

Die jährliche Rotavirus-Saison beginnt stets bei mittleren monatlichen Erdbodentemperaturen von <12°C (und bei zugehörigen Lufttemperaturen von <7°C). Bei Erdbodentemperaturen von >12°C (und zugehörigen Lufttemperaturen von etwa >15°C) endet die Rotavirus-Saison (siehe Abb. 31).

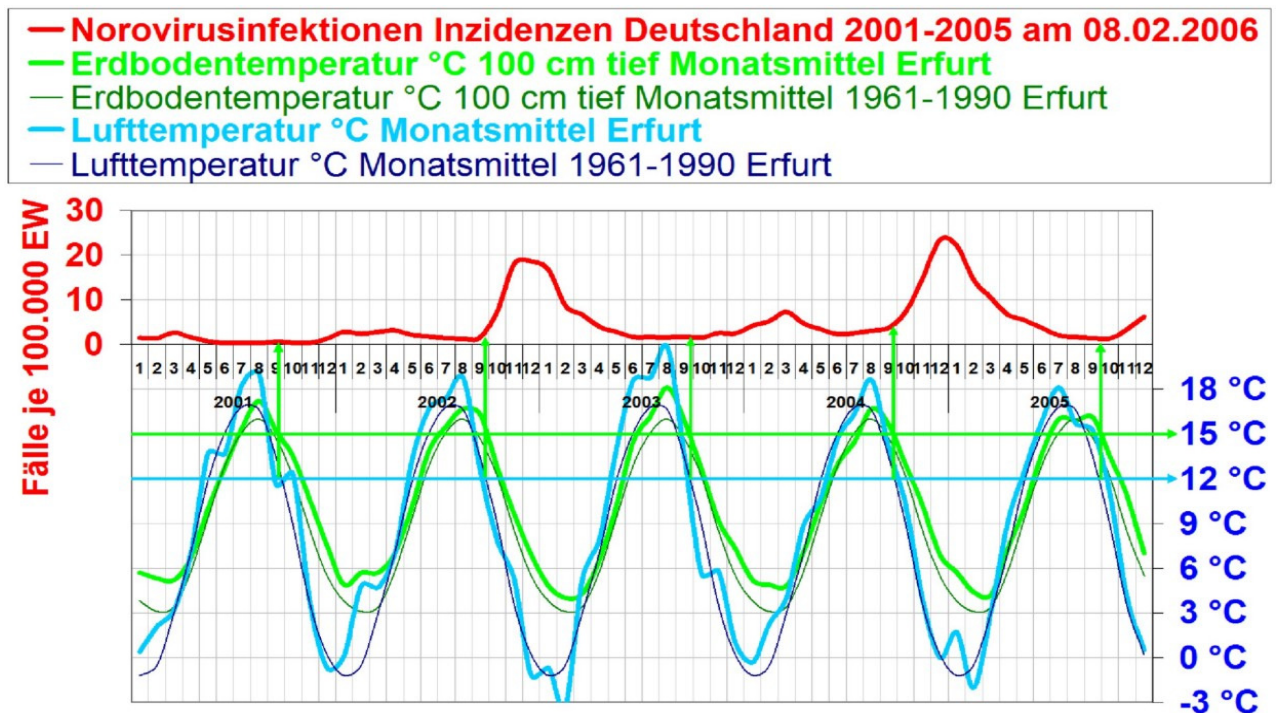


Abb. 30: Jahresgang 2001 bis 2005 der Norovirus-Inzidenzen von Deutschland aufgetragen über den mittleren monatlichen Erdboden- und Lufttemperaturen der DWD Wetterstation Erfurt-Bindersleben als für Deutschland angenommenes Mittel (siehe Abb. 22).

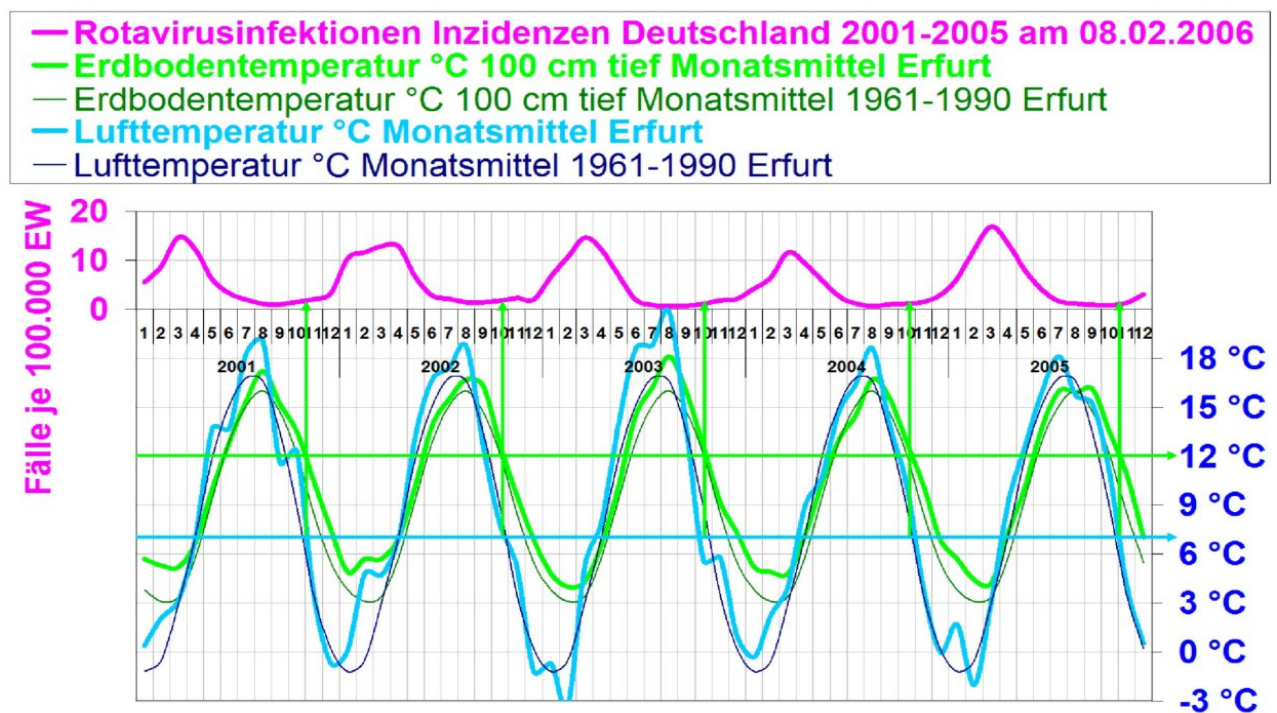


Abb. 31: Jahresgang 2001 bis 2005 der Rotavirus-Inzidenzen von Deutschland aufgetragen über den mittleren monatlichen Erdboden- und Lufttemperaturen der DWD Wetterstation Erfurt-Bindersleben als für Deutschland angenommenes Mittel (siehe Abb. 22).

Die Tenazität von Noro- und Rotaviren ist in den Grenzen der in Tab. 7 zusammengestellten, aus den vorstehenden Abb. 30 bis Abb. 31 abgegriffenen Spannen der mittleren monatlichen Erdboden- und Lufttemperaturen gegeben. Den jeweiligen Erdboden- [Wasser-] Temperaturen sind die zugehörigen Lufttemperaturen zugeordnet. Wie zu Beginn dieses Abschnitts bereits dargelegt wurde, sind auch nach den aus den Abb. 30 und Abb. 31 abgegriffenen Temperaturspannen Noroviren etwas resistenter als Rotaviren.

Virus	Wassertemperatur analog zur Erdbodentemperatur	zugehörige saisonale Lufttemperaturen
Norovirus	<15°C	von <12°C bis <18°C
Rotavirus	<12°C	von <7°C bis <15°C

Tab. 7: Spannen mittlerer monatlicher Temperaturen, in deren Grenzen Noro- und Rotaviren zu Infektionen führen.

6 Trinkwasserüberwachung in Deutschland

Die deutsche Trinkwasserverordnung 2001 vom 21.05.2001, inkraftgetreten am 01.01.2003 (TrinkwV, 2001), setzt die einschlägigen rechtlichen Vorgaben der Europäischen Union um (EU Trinkwasserrichtlinie, 1998). Die rechtlichen Anforderungen an die mikrobielle Beschaffenheit des Trinkwassers sind in Deutschland sehr streng und beziehen sich nicht nur auf die in den Anlagen der Trinkwasserverordnung ausdrücklich aufgelisteten mikrobiellen Indikatororganismen. Dies geht aus den nachstehend zitierten Passagen der geltenden Trinkwasserverordnung, der amtlichen Begründung zur Trinkwasserverordnung und des geltenden Infektionsschutzgesetzes hervor.

„Wasser für den menschlichen Gebrauch muss frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Dieses Erfordernis gilt als erfüllt, wenn bei der Wassergewinnung, der Wasseraufbereitung und der Verteilung die allgemein anerkannten Regeln der Technik eingehalten werden und das Wasser für den menschlichen Gebrauch den Anforderungen der §§ 5 bis 7 entspricht“ (§ 4 Abs. 1 TrinkwV, 2001). „Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen“ (§ 5 Abs. 1

TrinkwV, 2001). „Soweit der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungs- oder Wassergewinnungsanlage oder ein von ihnen Beauftragter hinsichtlich mikrobieller Belastungen des Rohwassers Tatsachen feststellen, die zum Auftreten einer übertragbaren Krankheit führen können, oder annehmen, dass solche Tatsachen vorliegen, muss eine Aufbereitung, erforderlichenfalls unter Einschluss einer Desinfektion, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erfolgen“ (§ 5 Abs. 4 Satz 1 TrinkwV, 2001). „Die Forderung des § 1 Abs. 1 Satz 1 TrinkwV a.F. „Trinkwasser muss frei sein von Krankheitserregern“ wird sinngemäß beibehalten. Sie entspricht der in mehr als einem Jahrhundert öffentlicher Wasserversorgung gewonnenen Erfahrung, dass akute oder größere Bevölkerungsteile betreffende, wasserbezogene Gesundheitsgefahren - von nicht ins Gewicht fallenden Ausnahmen abgesehen - nur durch mikrobiologische Risikofaktoren entstehen. Diese Risiken sind im Bewusstsein der Bevölkerung weit in den Hintergrund getreten, da sie sich in Deutschland mit seinem hoch entwickelten System der Wasserversorgung und -überwachung kaum noch bemerkbar machen. Es muss jedoch betont werden, dass epidemieartige Ausbrüche von durch Wasser übertragenen Krankheiten grundsätzlich auch hierzulande nicht ausgeschlossen werden können, insbesondere dann, wenn menschliches und technisches Versagen zusammentreffen. Dies gilt vor allem deshalb, weil nach wie vor gut 30% des für die Trinkwasseraufbereitung verwendeten Rohwassers aus Oberflächengewässern stammt. Diese weisen unvermeidbar eine mehr oder weniger ausgeprägte Belastung mit Krankheitserregern auf, sowohl durch Eintrag von im oder am Wasser lebenden Tieren als auch z.B. aufgrund von Einleitungen nicht vollständig gereinigter Abwässer oder witterungsbedingter Einträge im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Flächennutzung in der Umgebung. ... Es steht dabei außer Frage, dass sich angesichts der Vielzahl der für eine Kontamination von Wasser in Frage kommenden Krankheitserreger, der praktischen Unmöglichkeit, im Routinebetrieb der Wasserversorgung ständige Untersuchungen zum Nachweis aller theoretisch möglicherweise im Wasser enthaltenen Erreger zu führen und der nicht bei 100% liegenden Nachweissicherheit mikrobiologischer Untersuchungsmethoden, die Erregerfreiheit des Trinkwassers nicht zu jedem Zeitpunkt vollständig garantieren lässt. Nach dem Stand der Kenntnis kann jedoch grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass das Wasser frei von Krankheitserregern ist, wenn die Anforderungen des Satzes 2 erfüllt sind ...“ (TrinkwV amtliche Begründung zu § 4, 2001a). „Die mikrobiologische Qualität ist der wichtigste Faktor im Hinblick auf akute Auswirkungen des Wassers für den menschlichen Gebrauch auf die menschliche Gesundheit. Absatz 1 setzt Artikel 4

Absatz 1 a) der Richtlinie um, soweit dieser sich auf Krankheitserreger bezieht. Er erläutert, dass für den Begriff „Krankheitserreger“ die in § 2 Abs. 1 des Infektionsschutzgesetzes gegebene Definition gilt; danach ist ein Krankheitserreger ein vermehrungsfähiges Agens (Virus, Bakterium, Pilz, Parasit) oder ein sonstiges biologisches, übertragbares Agens, das beim Menschen eine Infektion oder übertragbare Krankheit verursachen kann. Absatz 1 konkretisiert darüber hinaus die Vorschrift von § 4 Absatz 1 Satz 1. Die Forderung, dass im Wasser für den menschlichen Gebrauch Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes nicht in solchen Konzentrationen enthalten sein dürfen, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen, trägt der Tatsache Rechnung, dass in der Praxis der Wasserversorgung die Anwesenheit von Krankheitserregern im Wasser im allgemeinen erst dann festgestellt werden kann, wenn eine Konzentration tatsächlich gemessen wurde, und nur dann, wenn die Erreger mindestens in einer solchen Konzentration vorliegen, dass ihr Nachweis möglich ist; siehe hierzu auch die Begründung zu § 4 Abs. 1.

Wenn Krankheitserreger in einer messbaren Konzentration vorliegen, ist eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu besorgen. Die Vorschrift von Absatz 1 stellt somit keinen Widerspruch zur Grundanforderung von § 4 Abs. 1 dar, sondern passt diese lediglich den realen Gegebenheiten an. Auch diese Grundanforderung muss im übrigen unverändert bestehen bleiben, da sie verdeutlicht, dass immer dann, wenn eine Belastung des Wassers mit Krankheitserregern bekannt wird, unverzüglich alle verfügbaren Maßnahmen zu treffen sind, um diese Belastung auszuschalten. Würde die Forderung nach Erregerfreiheit aufgegeben, könnte im Einzelfall eine Diskussion darüber entstehen, ob nicht doch bestimmte Konzentrationen von Krankheitserregern im Wasser tolerierbar seien. Dies entspricht nicht der Absicht des Verordnungsgebers. Das Restrisiko, dass das dem Verbraucher gelieferte Wasser für den menschlichen Gebrauch kurzzeitig nicht erkannte Krankheitserreger enthält, lässt sich nicht vollständig ausschließen. Es wird jedoch bei Einhaltung der Vorschriften dieser Verordnung soweit verringert, dass nach dem Stand der Kenntnis eine Übertragung von Krankheiten durch Wasser für den menschlichen Gebrauch nicht zu besorgen ist“ (TrinkwV amtliche Begründung zu § 5 und § 5 Abs. 1, 2001a). „Absatz 4 enthält die Grundanforderung, dass Wasser, das als Wasser für den menschlichen Gebrauch abgegeben werden soll, aufzubereiten ist, soweit eine mikrobielle Belastung des verwendeten Rohwassers nicht sicher ausgeschlossen werden kann. Falls erforderlich,

muss die Aufbereitung eine Desinfektion umfassen. *Die Aufbereitung von Rohwasser im Wasserversorgungsbetrieb sollte, soweit es sich um Oberflächenwasser oder von Oberflächenwasser beeinflusstes Wasser handelt, grundsätzlich ein Multi-Barrieren-System und damit eine Verfahrenskombination enthalten. Beispiele sind die Langsandsfiltration, künstliche Grundwasseranreicherung, Flockung/Filtration oder **Membranfiltration**, jeweils in Verbindung mit geeigneten Vorreinigungsstufen. Es entspricht einem ausdrücklichen Auftrag des Europäischen Parlaments, Bedingungen zu schaffen, die die Minimierung oder den Verzicht auf den Einsatz von Chlor oder Chlorderivaten ermöglichen, da diese wegen ihrer unvermeidbaren Reaktions- und Nebenprodukte selbst zu einem wenn auch geringen gesundheitlichen Risiko führen. Soweit nach den vorliegenden Erkenntnissen und den bisherigen Erfahrungen mit dem regelmäßigen Auftreten von Krankheitserregern im Rohwasser gerechnet werden muss und dem entsprechenden Eintrag nicht ursächlich abgeholfen werden kann, muss die betroffene Wasserversorgung mit einer entsprechenden Verfahrenskombination ausgestattet werden oder mittelfristig auf Rohwasser anderer Herkunft zurückgreifen ...“ (TrinkwV amtliche Begründung zu § 5 Abs. 4, 2001a).*

Wer als Unternehmer oder sonstiger Inhaber einer Wassergewinnungs- oder Wasserversorgungsanlage für den menschlichen Gebrauch vorsätzlich den in der Trinkwasserverordnung bestimmten Handlungs-, Unterlassungs-, Mitwirkungs- und Duldungspflichten oder einer vollziehbaren Anordnung auf Grund der Trinkwasserverordnung zuwiderhandelt und eine in § 6 Absatz 1 Nr. 1 Infektionsschutzgesetz genannte Krankheit oder einen in § 7 Infektionsschutzgesetz genannten Krankheitserreger verbreitet, wird mit Freiheitsstrafe bis zu fünf Jahren oder mit Geldstrafe bestraft, soweit die vorsätzliche Handlung in § 25 der Trinkwasserverordnung bezeichnet ist. Wer als Unternehmer oder sonstiger Inhaber einer Wasserversorgungsanlage für den menschlichen Gebrauch, soweit daraus Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird, vorsätzlich oder fahrlässig entgegen § 4 Absatz 2 oder § 11 Absatz 3 der Trinkwasserverordnung Wasser als Wasser für den menschlichen Gebrauch über die zulässigen oder zulassbaren Ausnahmen hinaus abgibt oder anderen zur Verfügung stellt, wird mit Freiheitsstrafe bis zu zwei Jahren oder mit Geldstrafe bestraft. Handelt der Täter in diesen Fällen fahrlässig, so ist die Strafe Freiheitsstrafe bis zu einem Jahr oder Geldstrafe. Im Wasser für den menschlichen Gebrauch darf „ein vermehrungsfähiges Agens (Virus, Bakterium, Pilz, Parasit) oder ein sonstiges biologisches transmissibles

Agens, das bei Menschen eine Infektion oder übertragbare Krankheit verursachen kann [Anm.: Krankheitserreger]“, nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit **besorgen** lassen (TrinkwV, 2001) (IfSG, 2000).

Trinkwasser gilt in Deutschland als das am besten überwachte Lebensmittel, das bedenkenlos verwendet werden kann. Bei den mikrobiologischen Parametern gilt, wie im Folgenden gezeigt und diskutiert wird, diese Annahme nur mit erheblichen Einschränkungen. In Deutschland wird die Belastung des Trinkwassers durch Krankheitserreger wie Bakterien, Parasiten und Viren insgesamt betrachtet nicht ausreichend effizient überwacht.

Die im gechlorten Trinkwasser regelmäßig untersuchten und überwiegend gegen Chlor empfindlichen mikrobiologischen Indikatoren wie E. coli, Coliforme Bakterien und Koloniezahlen werden, soweit sie im Trinkwasser unmittelbar vor der Abgabe in das Leitungsnetz (noch) virulent vorhanden sind und eigentlich nachgewiesen werden könnten, vor der Überprüfung der Trinkwasserbeschaffenheit dem Indikatorprinzip zuwiderlaufend durch Chlorung abgetötet. Die genannten Indikatoren können durch diese Praxis der Chlorung vor Untersuchung ihre eigentliche Indikatorfunktion nicht mehr erfüllen. Das ist weder fachlich begründet noch effizient. Nur bei extremen Kontaminationen des Trinkwassers sind nach der Chlorung noch Belastungen durch virulente Indikatorkeime nachweisbar.

Trinkwasseruntersuchungen auf die in der Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) auch aufgelisteten Krankheitserreger wie Salmonella spec., Pseudomonas aeruginosa, Campylobacter spec., enteropathogene E. coli, Cryptosporidium parvum, Giardia lamblia, und enteropathogene (zu Darmerkrankungen führende) Viren wie unter anderem Noro- und Rotaviren finden in Deutschland so gut wie nicht statt. Solchen Trinkwasser-
verunreinigungen wird in Deutschland im Gegensatz zu einigen europäischen und außereuropäischen Ländern weder von den Wasserversorgungsunternehmen noch von den Gesundheitsämtern systematisch nachgegangen. Im Gegensatz zu Deutschland wird in den USA das Thema der Viren im Trinkwasser intensiv diskutiert und untersucht, Trinkwasserproben zum Nachweis von Viren werden analysiert. Die United States Environmental Protection Agency (USEPA), Office of Ground Water and Drinking Water (OGWDW), nimmt die mögliche Kontamination des Trinkwassers mit Viren ernst und hat am 23.02.2005 ihre zweite Trinkwasser Kontaminanten Kandidaten Liste veröffentlicht,

die die folgenden Viren enthält: Adenoviren, Caliciviren (Noroviren, Sapoviren), Coxsackieviren und Echoviren. Die Züchtung von Noroviren in Zellkulturen wird intensiv erforscht, da Noroviren sich bisher in Zellkultur oder auf künstlichen Nährmedien nicht zuverlässig vermehren lassen und somit der Nachweis virulenter Noroviren im Trinkwasser noch problematisch ist (EPA, 2005).

Nach dem Wortlaut von § 6 Infektionsschutzgesetz (IfSG, 2000) ist in dort näher bestimmten Fällen „das Auftreten von zwei oder mehr gleichartigen Erkrankungen, bei denen ein epidemischer Zusammenhang wahrscheinlich ist oder vermutet wird“, meldepflichtig. Dies bedeutet auch, dass bereits bei zwei gleichartigen Erkrankungen in kurzem zeitlichem Abstand eine Epidemie vorliegen kann. Mögliche innerhalb der Fläche eines Trinkwasserversorgungsgebietes zeitgleich auftretende gleichartige Erkrankungen (unauffällige Epidemien) werden jedoch von den Gesundheitsämtern der Kreise und kreisfreien Städte erfahrungsgemäß selten als Epidemie wahrgenommen und deshalb nicht epidemiologisch abgeklärt. Bei epidemisch auftretenden wasserassoziierten

Kritische Zitate insbesondere auch von Mitgliedern der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt (UBA) zur mikrobiologischen Überwachung des Trinkwassers in Deutschland:

„Die mikrobiologische Qualität ist der wichtigste Faktor im Hinblick auf akute Auswirkungen des Wassers für den menschlichen Gebrauch auf die menschliche Gesundheit.“ (TrinkwV amtl. Begründung, 2001a)

„Im Hinblick auf die Eliminierung von Parasiten soll das Wasser schon vor der abschließenden Desinfektion den mikrobiologischen Anforderungen der Trinkwasserverordnung entsprechen.“ (GROHMANN et al., 2003)

„Ein bisher noch nicht behandelter Trugschluss bei der Anwendung von Chlor ergibt sich aus der Tatsache, dass die Indikatorbakterien E. coli und Coliforme, im Vergleich zu solchen Krankheitserregern, die in aggregierter Form (in Klumpen zusammengeballt) vorkommen, relativ leicht abgetötet werden könnten. Mithin werden zwar die messbaren Bakterien abgetötet, aber dennoch wird die Grundanforderung der TrinkwV (§ 4 Abs. 1 Trinkwasser muss frei von Krankheitserregern sein) nicht erfüllt.“ (GROHMANN et al., 2003)

„Zur seuchenhygienischen Überwachung sollten die bekannten bakteriologischen Indikatororganismen E. coli und Coliforme sowie die Koloniezahlbestimmung beibehalten werden, allerdings sollte das Wasser dann bereits vor der Desinfektion mikrobiologisch untersucht werden und Trinkwasserqualität aufweisen.“ (EXNER et al., 2003a)

„Ziel der Wasserversorgung muss sein, nur Wasser abzugeben, das vor der

Desinfektion frei von mikrobiologisch nachweisbaren Fäkalindikatoren ist.“ (SCHOENEN et al., 2001)
„Die Gesundheitsämter sind ggf. bereits bei <i>einer</i> Erkrankung, in jedem Fall jedoch bei zwei oder mehr gleichartigen Erkrankungen, bei denen ein epidemischer Zusammenhang wahrscheinlich ist oder vermutet wird, verpflichtet abzuklären, ob eine Übertragung durch Wasser für den menschlichen Gebrauch ursächlich in Frage kommt.“ (EXNER et al., 2003b)
„Dabei muss berücksichtigt werden, dass in einem großen Versorgungsgebiet selbst zahlreiche Erkrankungen, die eine gemeinsame Ursache haben, aufgrund der dezentralen ambulant-medizinischen Versorgungsstruktur nicht unbedingt als zusammenhängend erkannt werden. Darüber hinaus ist in Deutschland durch den Abbau ehemals vernetzter Medizinaluntersuchungsstellen die rasche Zusammenführung mikrobiologischer und umwelthygienischer Daten nicht mehr sicher gewährleistet.“ (EXNER et al., 2003b)
„Im Interesse des Verbraucherschutzes, aber auch der Wasserversorgung und der Gesundheitsämter gilt es, ein derartiges Netzwerk in Deutschland zu (re-) installieren, um den Anforderungen der Trinkwasserverordnung und der zugrunde liegenden EU-Richtlinie gerecht werden zu können.“ (EXNER et al., 2003b).

Infektionskrankheiten ist hinsichtlich des Auslösers stets auch der Wasserpfad zu untersuchen (EXNER et al., 2003b) (MAUNULA et al., 2005).

Die mikrobiologische Überwachung des Trinkwassers wird in Deutschland insbesondere auch von Mitgliedern der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit (BMG) beim Umweltbundesamt (UBA) durchaus kritisch beurteilt, wie die Zitate innerhalb des vorstehenden Rahmens belegen.

7 Analyse epidemiologischer Daten zu saisonal im Winter auftretenden Virusinfektionen unter Berücksichtigung von Trinkwassergewinnung und klimatischen Einflüssen der Temperaturverläufe in Deutschland

Die beste Korrelation zwischen dem Jahresgang der Norovirus- und Rotavirusinzidenzen und den Temperaturverläufen ist für den Verlauf der Erdbodentemperatur gegeben. Hieraus folgt nach der mit dieser Analyse vorgestellten These, dass die Temperatur im Wasserleitungsnetz, die in etwa der Erdbodentemperatur in 100 cm Tiefe gleichgesetzt werden kann, der bedeutendste Parameter zur Konservierung und zum Transport virulenter Viren ist. Darüber hinaus verlaufen auch die Temperaturen der Wasserkörper der Talsperren und Seen, die wie der Erdboden die Wärme und die Kälte speichern,

ähnlich den Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe (siehe Abb. 29). Zwischen dem Jahresgang der saisonal in der kalten Jahreszeit auftretenden Infektionen durch Noro-, und Rotaviren und dem Verlauf der Kälte im Erdboden bestehen die in den nachfolgenden Abbildungen dargestellten, sich jährlich wiederholenden und auffällig deutlichen Korrelationen. Nach der von der Temperatur abhängigen Resistenz virulenter Viren im Wasser beginnt die Norovirus-Saison stets bei mittleren monatlichen Erdboden- und Wassertemperaturen unter 15°C, die Rotavirus-Saison stets bei mittleren monatlichen Erdboden- und Wassertemperaturen unter 12°C (vgl. Tab. 7) (vgl. Abb. 30, Abb. 31). Mit der Durchmischung (Zirkulation) der Wasserkörper der Talsperren und Seen im Herbst können sich oberflächennah nach der Dichte der im Sommer wärmeren Zuflüsse eingeschichtete virulente Viren über die gesamten Wasserkörper der Talsperren und Seen verteilen. Virulente Viren können so auch zu den in größerer Tiefe angeordneten Rohwasserentnahmen der Trinkwassertalsperren und Seen gelangen. Dies gilt vor allem für die insgesamt resistenteren Noroviren, wenn sie während des Sommers den Temperaturen und der Dichte der Zuflüsse folgend im Metalimnion ($>7^{\circ}\text{C}$ $<18^{\circ}\text{C}$) (siehe Abb. 25) mit Temperaturen $<15^{\circ}\text{C}$ eingeschichtet und virulent gespeichert wurden.

Der Sommer 2003 war extrem heiß, so dass nach der mit der vorliegenden Analyse vertretenen These während des Sommers auch die resistenteren Noroviren in den überdurchschnittlich warmen Zuläufen und oberen Wasserschichten der Talsperren und Seen (Metalimnion im warmen Sommer 2003 $>15^{\circ}\text{C}$ bis $<18^{\circ}\text{C}$) inaktiviert wurden. So konnte sich im Herbst der Saison 2003/2004 das sonst im Mittel der Jahre 2001-2005 beobachtete Maximum der Norovirus-Inzidenzen infolge der Zirkulation und des Absinkens virulenter Noroviren zu den Rohwasserentnahmen nicht einstellen. In der Saison 2003/2004 lag deshalb das Maximum der Norovirusinfektionen wie bei den Rotavirusinfektionen zusammen mit dem Minimum der Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe ebenfalls im März. Nach wärmeren Sommern, Mittel der Jahre 2001 und 2003 (siehe Abb. 32), in denen die Noroviren in den wärmeren Zuflüssen und der wärmeren oberen Schicht der Trinkwassertalsperren und Seen (Metalimnion) bei Temperaturen $>15^{\circ}\text{C}$ zwar eingeschichtet, aber inaktiviert wurden, lag das Maximum der Norovirus-Inzidenzen wie bei den Rotavirus-Inzidenzen sowie das Minimum der Erdbodentemperaturen in 100 cm Tiefe im Monat März. Nach kühleren Sommern, Mittel der Jahre 2002 und 2004 (siehe Abb. 33), in denen die Noroviren in den wärmeren Zuflüssen und der wärmeren oberen Schicht der Trinkwassertalsperren und Seen

(Metalimnion) bei Temperaturen $<15^{\circ}\text{C}$ virulent eingeschichtet wurden, lag das Maximum der Norovirusinfektionen mit insgesamt höheren Inzidenzen bereits im Monat Dezember.

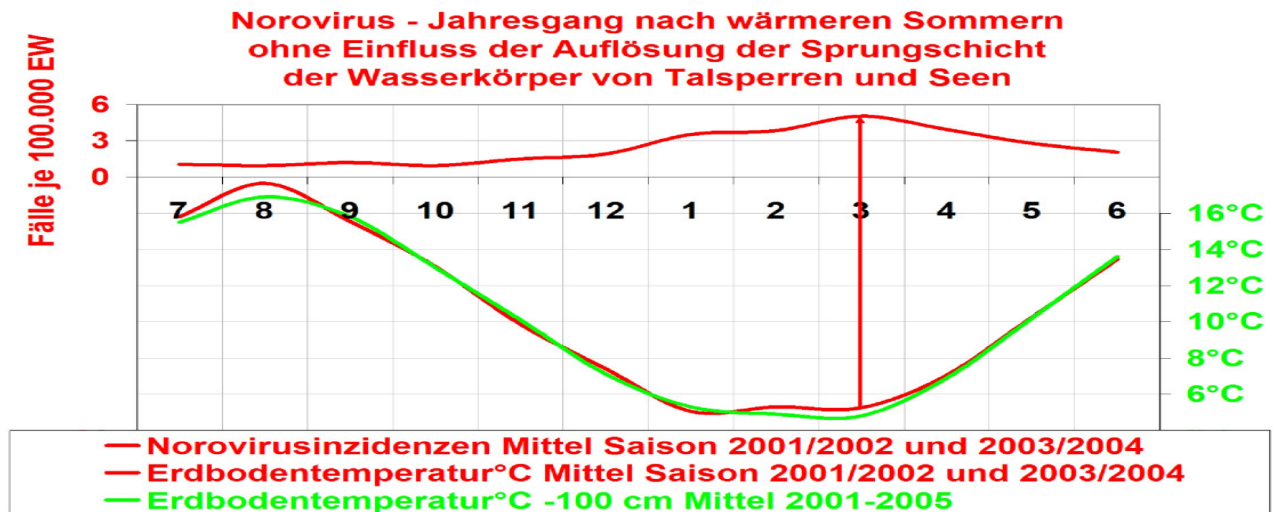


Abb. 32: Jahresgang der Norovirus-Inzidenzen nach wärmeren Sommern. Das insgesamt geringere Maximum fiel in den Monat März.

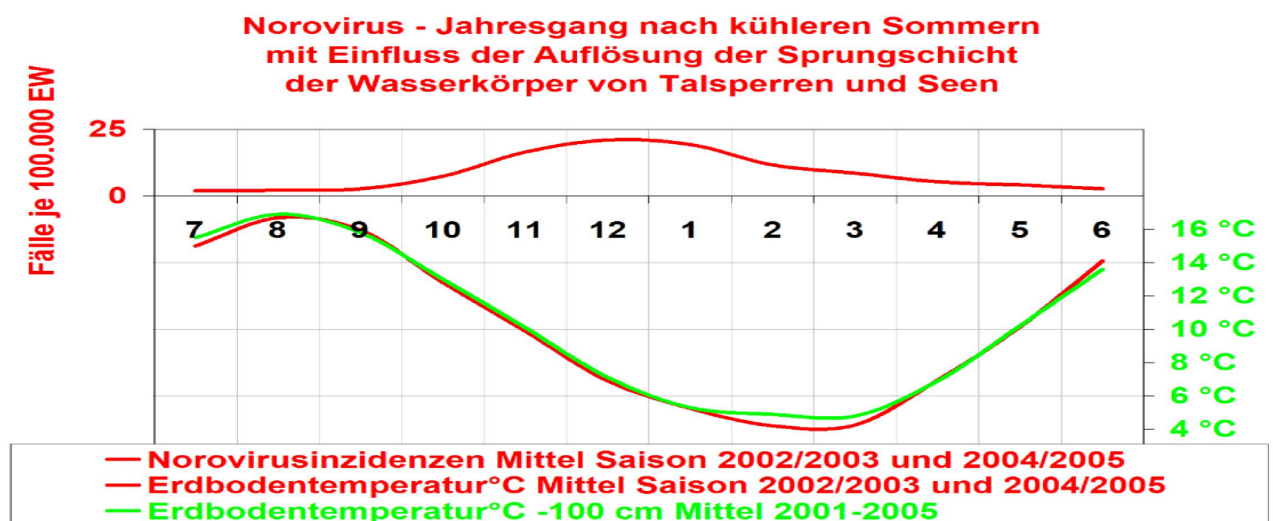


Abb. 33: Jahresgang der Norovirus-Inzidenzen nach kühleren Sommern. Das insgesamt höhere Maximum fiel in den Monat Dezember.

Die vorliegende Analyse zeigt, dass zwischen den Maxima der genannten Virusinfektionen und den jährlichen Minima der Erdboden-, Gewässer-, und Trinkwassertemperaturen eine deutlich ausgeprägte zeitliche Korrelation besteht. Nach den mit der vorliegenden Analyse epidemiologischer Daten dargelegten Fakten, Indizien und Zusammenhängen ist evident, dass das Trinkwasser das gesuchte abiotische Vehikel zur initialen Übertragung der betrachteten Virusinfektionen sein kann.

7.1 Norovirusinfektionen:

Epidemiologie/Trinkwassergewinnung/Temperaturen

Der signifikante Anstieg der Norovirusinfektionen im Herbst tritt in den Regionen Deutschlands auf, in denen überwiegend Oberflächenwasser zur Trinkwasserversorgung genutzt wird. Der Anstieg beginnt immer dann, wenn die mittleren monatlichen Lufttemperaturen unter [10°C bis] 12°C abfallen und die sommerliche Schichtung der Wasserkörper der Talsperren und Seen in die herbstliche Vollzirkulation übergeht. Dann können die Viren aus Abwässern und Abschwemmungen, die sich im Sommer zusammen mit den wärmeren Zuflüssen in die obere warme Schicht der Talsperren und Seen eingeschichtet haben, zu den tiefer gelegenen Rohwasserentnahmen der Trinkwasseraufbereitungsanlagen gelangen. Nach dem von der Vollzirkulation der Talsperren und Seen vermutlich verursachten saisonalen ersten Maximum der Norovirusinfektionen im Herbst folgt deren Häufigkeit im Wesentlichen dem Gang der Temperatur (siehe Abb. 34). Der in Abb. 34 für die Regionen Deutschlands und den Landkreis Aachen gezeigte Zusammenhang wird auch für die Versorgungsgebiete der Talsperrenwasserversorgung durch die Harzwasserwerke gezeigt (siehe Abb. 35). In Abb. 36 sind die Verläufe der Norovirusinfektionen ausgewählter Bundesländer und der Verlauf der als Mittel von Deutschland gewählten Lufttemperaturen aus Erfurt-Bindersleben dargestellt. In den Bundesländern, die überwiegend Grundwasser zur Trinkwasserversorgung gewinnen, treten im Vergleich zu den überwiegend mit Oberflächenwasser versorgten Ländern deutlich geringere und weniger ausgeprägte Maxima der Norovirusinfektionen auf (siehe Abb. 36). Es stellen sich drei vergleichsweise flache Maxima ein. Das erste Maximum fällt zusammen mit der Vollzirkulation der Talsperren und Seen im November. Das zweite Maximum fällt zusammen mit den minimalen Oberflächenwassertemperaturen im Januar. Die beiden ersten Maxima werden mit dem Einfluss von Oberflächenwasser unterschiedlicher Herkunft (Talsperrenwasser, Oberflächenwasser aus Seen und Fließgewässern) auf das gewonnene Grundwasser erklärt. Hinsichtlich des Januarmaximums ist zu berücksichtigen, dass Grundwasserbrunnen zum Teil nur unzureichend gegenüber dem umgebenden Gestein abgedichtet sind mit der Folge, dass kaltes kontaminiertes Oberflächenwasser über Kurzschlussströmungen auf kurzem Weg unmittelbar zu den Grundwasserentnahmen gelangen kann. Auch kaltes Oberflächenwasser aus Bachschwinden kann, vor allem im Festgestein, auf kurzem Weg zu den Brunnen fließen. Erhöhte Norovirus-Inzidenzen können auch mit Mängeln bei der Abwasserbeseitigung zusammenhängen. Abwasserzutritte können den Noroviren-Input in den Wasserkreislauf und damit in das zur Trinkwasserversorgung genutzte Rohwasser vergrößern. Das dritte Maximum fällt mit den minimalen Erdboden-/Wasserleitungs- und Trinkwassertemperaturen im März zusammen.

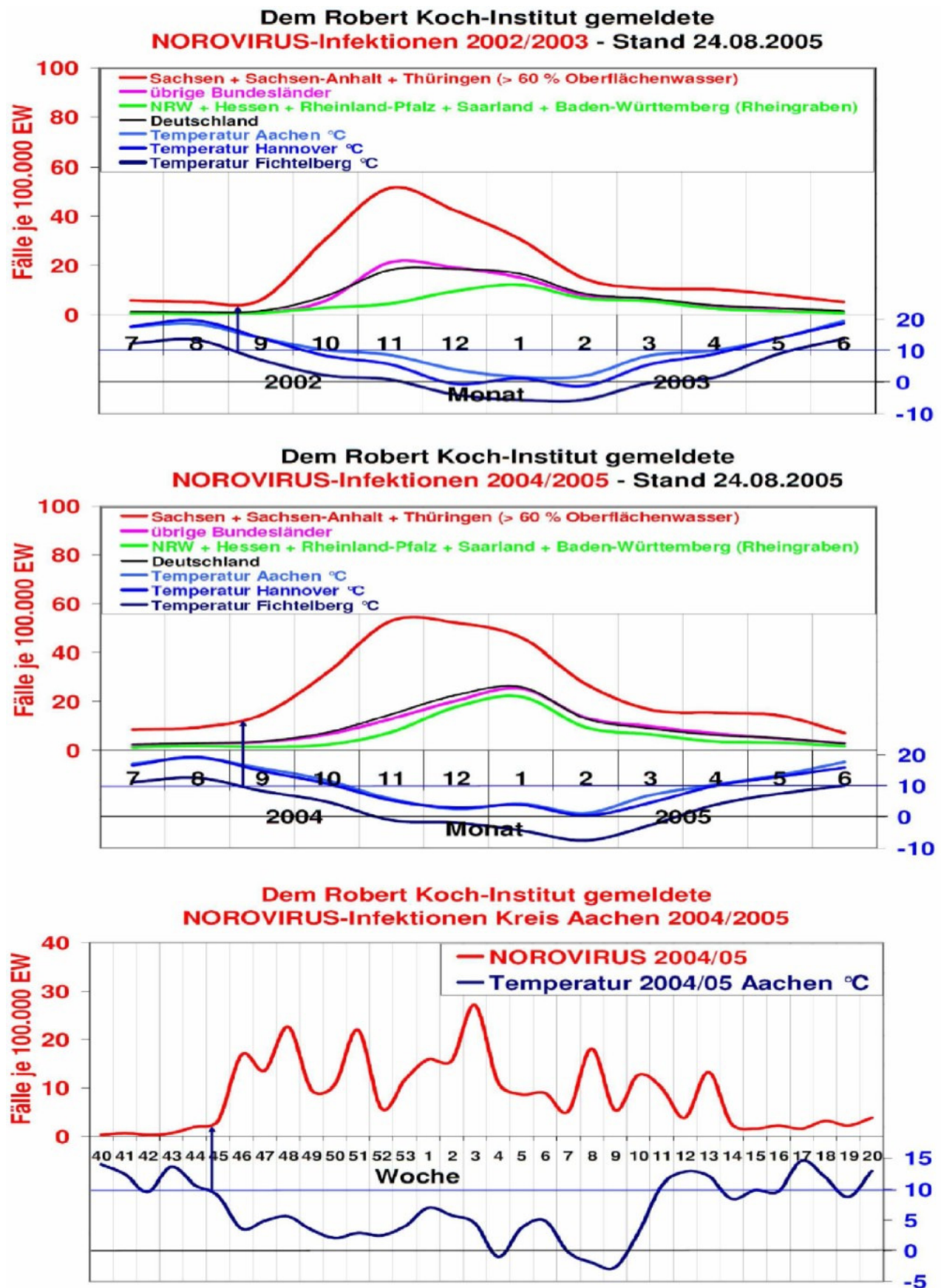


Abb. 34: Saisonaler Verlauf der Norovirusinfektionen in Deutschland und in dem überwiegend mit Talsperrenwasser versorgten Landkreis Aachen, aufgetragen über dem Verlauf der mittleren monatlichen bzw. wöchentlichen Lufttemperaturen (DWD, 2005).

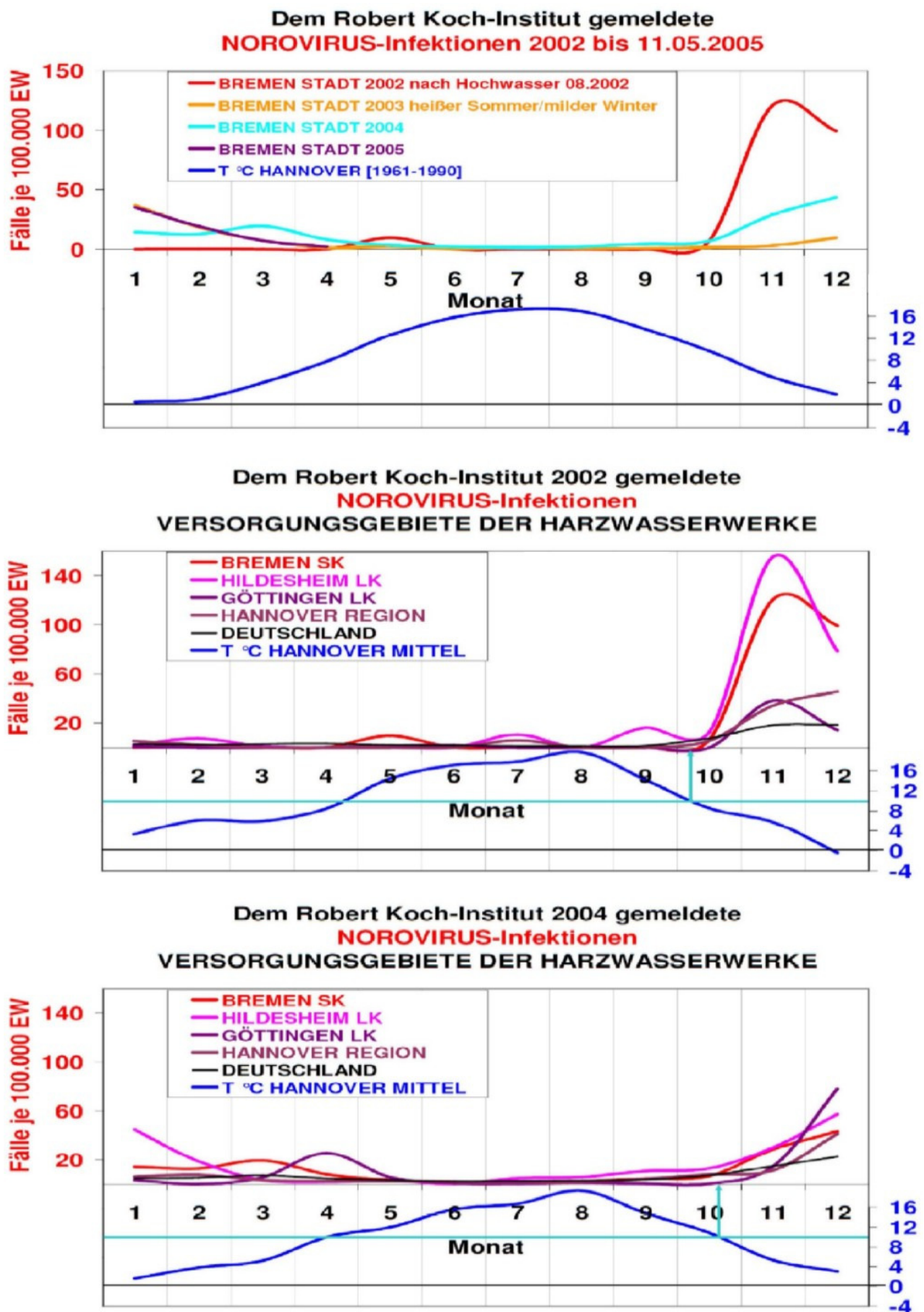


Abb. 35: Jährlicher Verlauf der Norovirusinfektionen (Versorgungsgebiete der Harzwasserwerke) und Verlauf der mittleren Monatstemperaturen von Hannover (DWD, 2005).

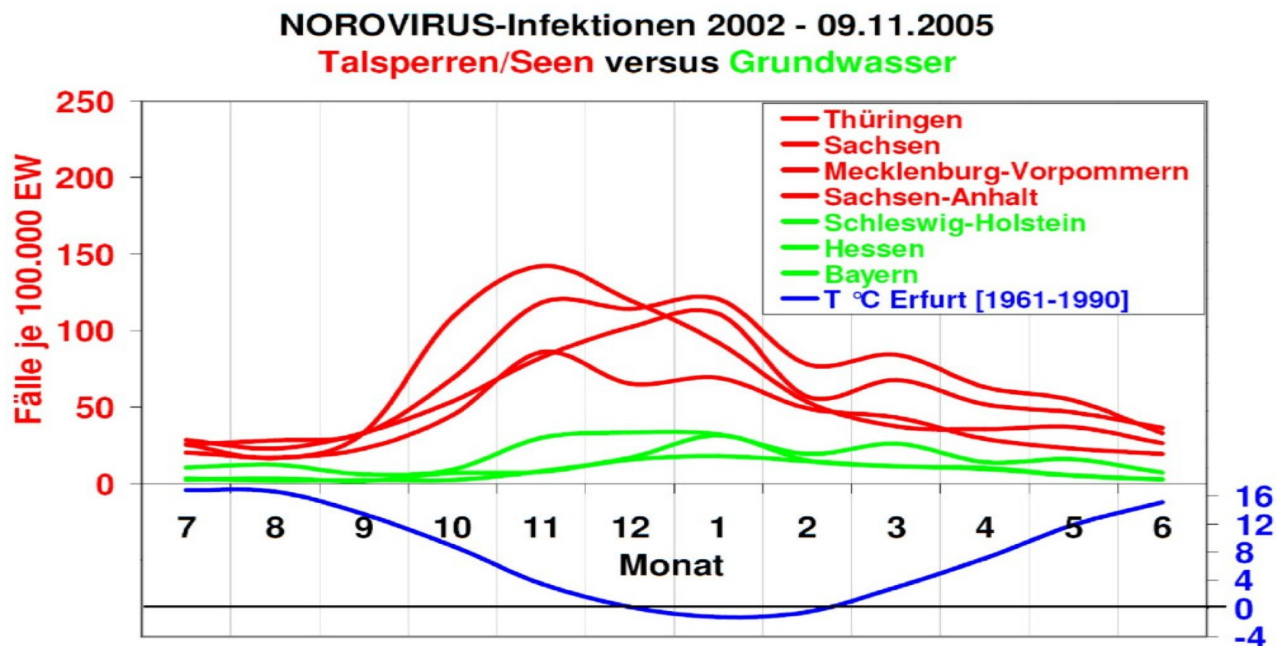


Abb. 36: Jahresgang der Norovirusinfektionen nach Wasserarten in ausgewählten Bundesländern und Verlauf der mittleren monatlichen Lufttemperatur der Klimastation Erfurt-Bindersleben des Deutschen Wetterdienstes für die Periode von 1961 bis 1990, deren Daten als Mittelwerte für Deutschland gewählt wurden (siehe Abb. 22) (DWD, 2005).

7.2 Rotavirusinfektionen:

Epidemiologie/Trinkwassergewinnung/Temperaturen

In Abb. 37 sind die Verläufe der Rotavirusinfektionen ausgewählter Bundesländer und der Verlauf der als Mittel von Deutschland gewählten Lufttemperaturen aus Erfurt-Bindersleben dargestellt. Für die Darstellung der Ganglinien der Rotavirus-Inzidenzen wurde die im wesentlichen betroffene Altersgruppe der 0 bis 3-jährigen ausgewählt, um den in den Bundesländern unterschiedlichen Altersaufbau zu berücksichtigen und um bei den Inzidenzen Verzerrungen durch sich unterscheidende Altersverteilungen auszuschließen.

Im März eines jeden Jahres stellt sich die minimale Trinkwassertemperatur der in Abschnitt 4.3 beschriebenen Kühlkette öffentliche Trinkwasserversorgung von der Wassergewinnung bis zu den Hausanschlüssen der Verbraucher ein. In den Bundesländern, in denen überwiegend Oberflächenwasser zur Trinkwasserversorgung genutzt wird, sind die Rotavirus-Inzidenzen weit höher als in den Ländern, in denen überwiegend Grundwasser als Trinkwasser genutzt wird (siehe Abb. 37). In Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen beträgt der Anteil des Oberflächenwassers an der

Trinkwassergewinnung mehr als 60%. Mecklenburg-Vorpommern wurde ebenfalls den Bundesländern mit überwiegender Oberflächenwassergewinnung zugeordnet, da wegen der extrem geringen Grundwasserneubildung in Mecklenburg-Vorpommern den Grundwasserbrunnen überwiegend infiltriertes Oberflächenwasser, oft aus Seen, zufließen muss (vgl. Abschnitt 4.1).

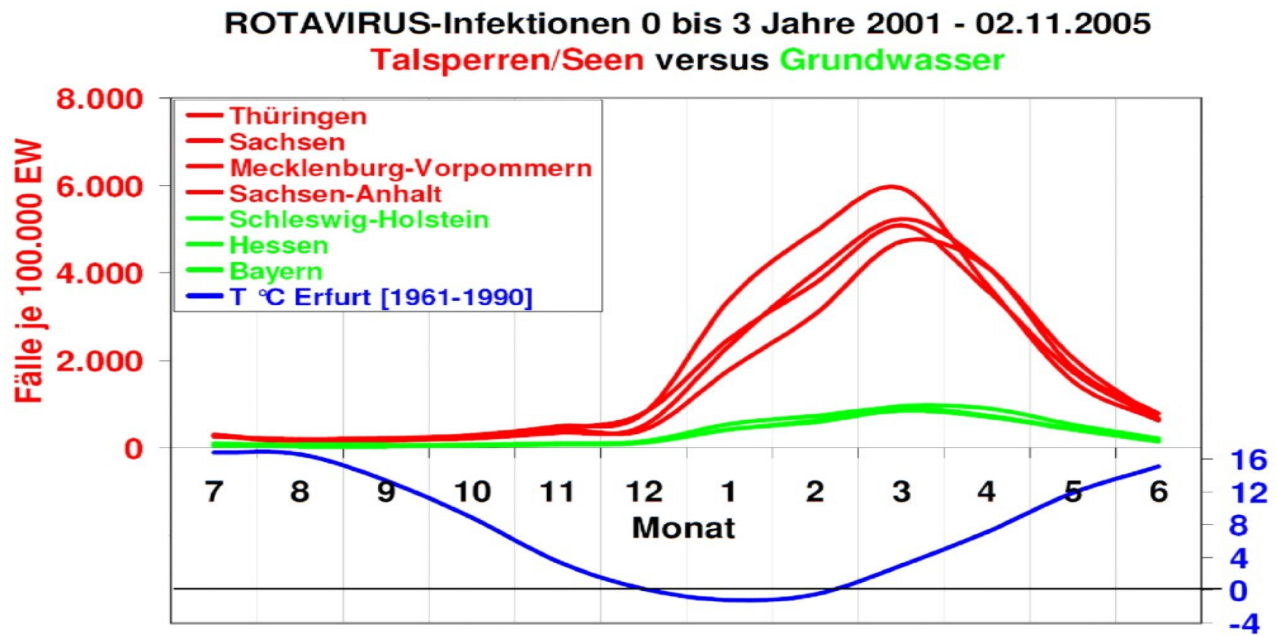


Abb. 37: Jahresgang der Rotavirusinfektionen der 0 bis 3-jährigen nach Wasserarten ausgewählter Bundesländer und mittlerer monatlicher Temperaturverlauf der Klimastation Erfurt-Bindersleben des Deutschen Wetterdienstes für die Periode von 1961 bis 1990, deren Daten als Mittelwerte für Deutschland gewählt wurden (siehe Abb. 22) (DWD, 2005).

Die Ganglinien der Rotavirus-Inzidenzen beider Ländergruppen gleichen sich grundsätzlich. Das Maximum der Infektionen durch Rotaviren, die im Vergleich zu den Noroviren weniger resistent sind, fällt regelmäßig in den Monat März (siehe Abb. 37), wenn die Erdbodentemperaturen und damit auch die Temperaturen der Trinkwasserleitungsnetze und des Trinkwassers ihre Minima erreicht haben.

8 Trinkwasserprobenahme



Abb. 38: Ultrafiltrationsanlage zum Ziehen von Trinkwasserproben (Eigenbau)

Trinkwasserprobenahmen für Untersuchungen auf Viren sollen unter worst case Bedingungen in der Saison der Virusinfektionen, zwei bis drei Tage nach intensiven Niederschlagsereignissen und bei erhöhter Gewässertrübung sowie unmittelbar nach dem Wiederauffahren gespülter Trinkwasserfilter erfolgen. Die Probenahme von Trinkwasser sollte wegen der hohen Verdünnung der Viren im Trinkwasser für große Probenvolumina (1.000 L) mittels einer halbtechnischen Ultrafiltrationsanlage, z.B. aus dem pharmazeutischen Anwendungsbereich, erfolgen, um dann die eigentliche Probe, das Retentat, weiter vorbereiten und molekularbiologisch untersuchen zu können (VAIDYA et al., 2004) (WINONA et al., 2001). Abb. 38 zeigt eine Ultrafiltrationsanlage im labortechnischen Maßstab.

Die Schläuche müssen, abweichend von den PVC-Schläuchen der abgebildeten Ultrafiltrationsanlage, aus PE hergestellt sein. Bei der möglichen Rücklösung von organischem Material aus den PVC-Schläuchen kann sonst die Bildung von Biofilmen und die Vermehrung von Mikroorganismen gefördert werden, die das Messergebnis verfälschen können. Die gezeigte Anlage wird nach dem Schließen und Öffnen von Wasserhähnen mit dem Druck des beprobten Leitungswassers gespült. Bei dieser Anordnung kann auf eine Rückspülpumpe verzichtet werden. Allerdings wird durch dieses Verfahren die Reinwasserseite kontaminiert, so dass Reinwasserprobenahmen nicht sinnvoll sind.

9 Diskussion

Endemien durch Noro- und Rotaviren treten in Deutschland alljährlich im Winter mit ausgeprägt örtlich unterschiedlicher Intensität auf. Die Intensität dieser Endemien verläuft parallel zum Verlauf der Kälte. Säuglinge und Kleinkinder erkranken regelmäßig zuerst.

Jedes Jahr haben das Oberflächenwasser und das oberflächennahe oder vom Oberflächenwasser beeinflusste junge Grundwasser sowie insbesondere die Böden mit den in ihnen verlegten Wasserleitungen ihre Kälteminima in den Monaten Februar und

März. Dann ist durch die Anlagen der zentralen öffentlichen Trinkwasserversorgung eine durchgängige Kühlkette von der Wasserentnahme bis zu den Hausanschlüssen der Siedlungsgebiete gegeben. Das kalte Trinkwasser wird entweder unmittelbar kalt genutzt oder erst am Wasserhahn mit warmem Wasser aus der Hausinstallation gemischt, so dass virulente Viren auch bis zum Wasserhahn gelangen können. Kaltes Trinkwasser konserviert und transportiert virulente Viren.

Durch Untersuchungen bewiesen sind die folgenden Fakten:

- Virulente Viren können im Oberflächen- und Grundwasser enthalten sein.
- Virulente Noro- und Rotaviren können im Trinkwasser enthalten sein.
- Noro- und Rotavirusinfektionen können fäkal-oral mit dem Trinkwasser übertragen werden.

Virusinfektionen sind, wie gezeigt wurde, in Deutschland keine Erkrankungen vornehmlich in Großstädten oder Ballungsgebieten. Weit überwiegend sind ländliche Orte in den kälteren Regionen Deutschlands betroffen (kontinentales Klima im Osten, Höhenlagen). In ländlichen Orten kühlen die kleineren Wasserleitungsquerschnitte schneller aus als in großen Städten.

Die initiale, primäre Übertragung der Norovirus- und Rotavirusinfektionen erfolgt nach der mit dieser Analyse vertretenen These überwiegend mit dem kalten Trinkwasser regelmäßig zuerst auf die Säuglinge und Kleinkinder, fäkal-oral über Magen und Darm.

Die dargelegten Hinweise und Indizien zeigen, dass kaltes Trinkwasser dasjenige abiotische Vehikel sein könnte, mit dem virulente humanpathogene Noro- und Rotaviren von den Reservoirs auf die Menschen übertragen werden und so überwiegend die saisonalen Noro- und Rotavirus-Endemien auslösen.

Das Thema trinkwasserbedingter Infektionskrankheiten hat bei für Deutschland abgeschätzten 6 bis 24 Millionen Erkrankungen je Jahr eine immense gesundheitspolitische und volkswirtschaftliche Bedeutung. Die bei Vermeidung dieser Erkrankungen in den Bereichen Gesundheitswesen und Fehlzeiten am Arbeitsplatz einzusparenden Kosten dürften die vergleichsweise geringen zusätzlichen Kosten der Trinkwasseraufbereitung mittels Ultrafiltration zur weitgehenden Partikelelimination und damit

physikalischen Desinfektion bei weitem übertreffen. Durch den Bau und Betrieb von Ultrafiltrationsanlagen erhöht sich der Trinkwasserpreis bei kleineren Anlagen bis zu etwa 25.000 Einwohner um 7 € je versorgter Person und Jahr, bei großen Anlagen für etwa 500.000 Einwohner um 3 € je versorgter Person und Jahr, im Mittel um etwa 5 € je versorgter Person und Jahr [nach LIPP et al. (2005) unter Berücksichtigung der Bau- und Betriebskosten der Ultrafiltrationsanlagen des WV Oleftal in Hellenthal und der WAG in Roetgen]. Für die in Abb. 39 dargestellte Kapazitätsspanne zwischen 25.000 und 500.000 versorgten Einwohnern liegen die gesamten Investitionskosten von Ultrafiltrationsanlagen bei rund 40 € je versorgtem Einwohner.

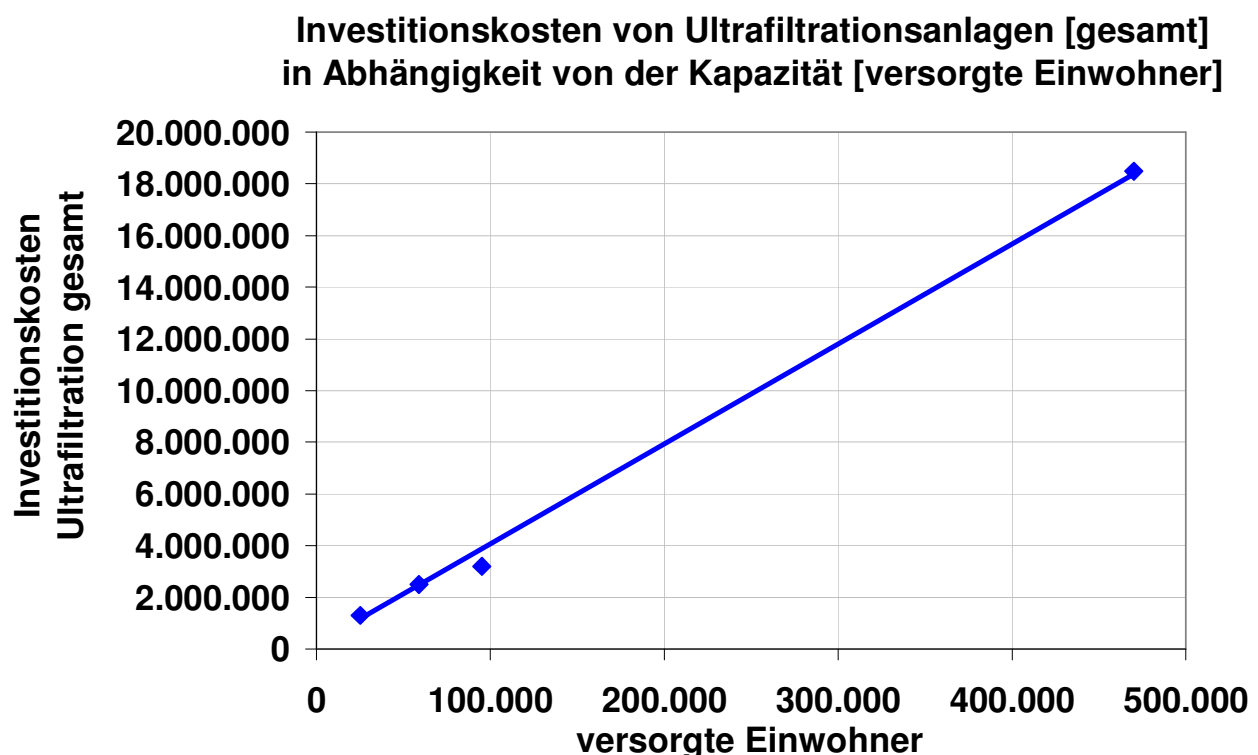


Abb. 39: Größenordnung der gesamten Investitionskosten von Ultrafiltrationsanlagen mit einer Kapazität von mehr als 25.000 versorgten Einwohnern [eigene Darstellung nach LIPP et al. (2005) unter Berücksichtigung der Investitionskosten der Ultrafiltrationsanlagen des WV Oleftal in Hellenthal und der WAG in Roetgen].

Sollten alle Trinkwassergewinnungsanlagen Deutschlands mit Ultrafiltrationsanlagen ausgerüstet werden, entstünden Investitionskosten von insgesamt rund 3 Mrd. € und Jahreskosten von 400 Mio. €, die über den Trinkwasserpreis erhoben würden. Die öffentlichen Haushalte würden nicht belastet, sondern durch die zu erwartenden Einsparungen im Gesundheitswesen und die Reduzierung der Fehlzeiten der

Berufstätigen entlastet. Die in der Europäischen Union seit Anfang 2006 zugelassene Rotavirusschutzimpfung mit zwei Dosen Rotarix à 85,39 €/Dosis würde inklusive Arztkosten für alle 700.000 jährlich in Deutschland Neugeborenen Jahr für Jahr rund 140 Mio. € kosten. Schätzungen zu den volkswirtschaftlichen Kosten der jährlichen Norovirusepidemien liegen nicht vor. Die Entwicklung eines wirksamen Impfstoffes scheitert u.a. an der Vielzahl genetischer und antigener Norovirus-Typen.

Die Ausrüstung aller Trinkwassergewinnungsanlagen mit Ultrafiltrationsanlagen würde unter Berücksichtigung der Kapazitäten von Ingenieurbüros, Membranherstellern und insbesondere Anlagenbauern (aktueller Engpass) geschätzte 10 Jahre in Anspruch nehmen. Bei einer Bauzeit von 10 Jahren müssten also jährlich 300 Mio. €, 15% der aktuellen Investitionen der deutschen Wasserversorgungsunternehmen von rund 2 Mrd. € jährlich (persönliche Mitteilung von Herrn Professor Max Dohmann, Aachen), investiert werden.

10 Schlussfolgerungen

Trinkwasser muss nach deutschem Recht frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Im Trinkwasser dürfen Krankheitserreger im Sinne des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit **besorgen** lassen (§ 5 Abs. 1 TrinkwV, 2001) (IfSG, 2000). Auf Abschnitt 6 wird verwiesen. **Wenn Krankheitserreger in einer messbaren Konzentration vorliegen, ist eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu besorgen.** Immer dann, wenn eine Belastung des Wassers mit Krankheitserregern bekannt wird, sind unverzüglich alle verfügbaren Maßnahmen zu treffen, um diese Belastung auszuschalten. Würde die Forderung nach Erregerfreiheit aufgegeben, könnte im Einzelfall eine Diskussion darüber entstehen, ob nicht doch bestimmte Konzentrationen von Krankheitserregern im Wasser tolerierbar seien. Dies entspricht nicht der Absicht des Verordnungsgebers (vgl. Abschnitt 6) (TrinkwV amtl. Begründung, 2001a). Auf die strafrechtlichen Aspekte der Verteilung von mit Viren kontaminiertem Trinkwasser wird hingewiesen (vgl. Abschnitt 6) (IfSG, 2000) (TrinkwV, 2001).

Konsequenzen aus den nach den Ergebnissen dieser Analyse erwarteten Trinkwasserkontaminationen mit virulenten humanpathogenen Viren werden erst gezogen werden, wenn auch in Deutschland weitere positive Befunde zu Viren im Trinkwasser vorliegen.

Auch wenn mit der vorliegenden epidemiologischen Analyse nicht der letzte Beweis für die als sehr wahrscheinlich angesehenen trinkwasserbedingten Virusinfektionen erbracht werden konnte, geben die Ergebnisse gleichwohl Anlass, trinkwasserbedingte Virusinfektionen vertieft zu untersuchen. Aus präventivmedizinischer Sicht müssen deshalb in der Fläche Deutschlands systematisch molekularbiologische Trinkwasseruntersuchungen auf Viren durchgeführt werden. Bei der örtlichen Abklärung von virusassoziierten Infektionsausbrüchen werden auch die jeweiligen exakten geowissenschaftlichen und damit klimatischen Daten insbesondere zu den Erdboden-, Wasser-, und Lufttemperaturen zu berücksichtigen sein.

Vorschläge zur Abklärung der mit dieser epidemiologischen Analyse vertretenen Thesen:

- Darstellung der dem Robert Koch-Institut Berlin (RKI) vom Jahr 2001 bis heute vorliegenden Nachweise zu Norovirus- und Rotavirusinfektionen gemeinsam durch das RKI, das Umweltbundesamt (UBA), den Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) und den Deutschen Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) in einem Geographischen Informations-System (GIS) nach Wasserversorgungsgebieten, zumeist innerhalb der Gemeindegrenzen. Der Aufwand zur Installation eines solchen Systems ist vergleichsweise gering, die meisten der benötigten Daten liegen digital vor.
- Zeitreihenuntersuchungen zur Tenazität virulenter Noro- und Rotaviren in der Umwelt, den Gewässern und im Trinkwasser von 0 °C bis 20 °C und bei pH-Werten von pH 6,5 bis pH 9,5.
- Epidemiologische Abklärung von in der (Gemeinde-) Fläche auftretenden Norovirus-, und Rotavirusinfektionen, zunächst durch virologische Untersuchungen (Virennachweis, Sequenzanalyse) der von den Menschen vorliegenden Proben, bei positiven Befunden auch durch Analyse der bei Ausbruch der Epidemien (Endemien) gezogenen Trinkwasserproben. Bei epidemiologischen Abklärungen von örtlichen Epidemien (Endemien) wird das oben skizzierte Geographische Informations-System hilfreich sein, um mögliche Zusammenhänge zwischen Infektionskrankheiten und Trinkwasserversorgungsstrukturen erkennen und untersuchen zu können.
- Gezielte molekularbiologische Trinkwasseruntersuchungen auf Viren in ausgewählten Trinkwasserversorgungsgebieten unter worst case Bedingungen nach ergiebigen Regenfällen bei erhöhter Gewässertrübung unmittelbar nach Filterspülungen während der Wintersaison entsprechend dem Gang der jeweiligen

regionalen Erdbodentemperatur in einem Meter Tiefe und dem örtlichen Verlauf der saisonalen Virusinfektionen.

- Ausdehnung der Untersuchungen auf das Tränkwasser der Nutztiere.
- Einsatz von Membranverfahren bei der Trinkwasseraufbereitung zur weitgehenden Partikelelimination und damit physikalischen Desinfektion.
- Zur Validierung des Einsatzes weitergehender Trinkwasseraufbereitungsverfahren zur Partikelelimination sollten epidemiologische Studien zu den Auswirkungen der Anwendung dieser Verfahren unter Verwendung der Meldedaten gemäß Infektionsschutzgesetz (IfSG, 2000) und des oben skizzierten GIS durchgeführt werden.

11 Zusammenfassung/Abstract

11.1 Zusammenfassung

Trinkwasserbedingte Virusinfektionen der Menschen

Noro- und Rotaviren infizieren die Menschen saisonal in der kalten Jahreszeit, ausgeprägt in den Monaten Februar und März. Nach der Lehrmeinung schwächt die Kälte des Winters die Abwehrkräfte der Menschen und begünstigt so die Übertragung von Virusinfektionen. Auch große Menschenansammlungen und die trockene Raumluft in der Heizperiode sollen die Übertragung von Virusinfektionen begünstigen. Die jährliche Heizperiode beginnt jedoch bereits im September, das kalte Winterwetter schon im November. Außerdem treten in Deutschland Virusinfektionen nicht vornehmlich in Großstädten oder Ballungsgebieten auf, ländliche Regionen sind oft stärker betroffen. Säuglinge und Kleinkinder, die sich überwiegend in der Familie zu Hause aufhalten und sonst wenige soziale Kontakte haben, erkranken regelmäßig zuerst.

In der vorliegenden Arbeit werden die Zusammenhänge zwischen den genannten Virusinfektionen und dem abiotischen Vehikel Trinkwasser analysiert. Die Kälte ist der mit Abstand wichtigste Parameter zur Konservierung virulenter Viren im Wasser, je nach Virus und Temperatur über Wochen oder Monate. Die Effizienz des Trinkwassers zur Übertragung von Virusinfektionen nimmt mit sinkender Temperatur zu. Das jährliche Temperaturminimum des Trinkwassers stellt sich der Kältesumme des Winters folgend regelmäßig erst zum Ende des Winters in den Monaten Februar und März ein. Die Übertragung der Virusinfektionen kann mit dem infizierten kalten Trinkwasser über Magen und Darm erfolgen.

Zoonotische Viren können Menschen und Tiere infizieren. Infizierte Menschen, Nutz- und Wildtiere können über ihre Ausscheidungen, nicht nur über Kot und Urin, sondern auch aus Mund, Maul und Nase Viren in die Umwelt und damit in die zur Wasserversorgung genutzten Gewässer, auch in das Grundwasser, eintragen. Die im Sommer geschichteten Wasserkörper der Talsperren und Seen durchmischen sich mit sinkenden Temperaturen im Herbst, so dass dann aus der Umwelt in die stehenden Gewässer eingetragene virulente Viren von der Wasseroberfläche zu den tiefer gelegenen Rohwasserentnahmen der Wasserwerke gelangen können. Das gilt vor allem für die insgesamt resistenteren Noroviren, wenn sie zusammen mit sommerlichen Zuflüssen von weniger als 15°C der Dichte des Wassers entsprechend im Metalimnion der Talsperren und Seen eingeschichtet wurden.

Trinkwasser wird oft gar nicht oder nur grob gefiltert. Die sehr kleinen Viren werden dabei nicht sicher entfernt. Chlor (in Deutschland mit Konzentrationen von 0,1 bis 0,3 mg/L freiem Cl_2 , ausnahmsweise max. 0,6 mg/L freiem Cl_2) inaktiviert Viren nicht umfassend.

In Deutschland werden nach epidemiologisch untermauerten Schätzungen jährlich 6 bis 24 Millionen Infektionserkrankungen durch Trinkwasser verursacht. Trinkwasser muss nach deutschem Recht frei von Krankheitserregern, genusstauglich und rein sein. Im Trinkwasser dürfen Krankheitserreger nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen. Wenn Krankheitserreger in einer messbaren Konzentration vorliegen, ist stets eine Gefährdung der menschlichen Gesundheit zu besorgen. Molekularbiologische Trinkwasseranalysen sind zur Trinkwasserüberwachung erforderlich, damit bei positiven Virusbefunden die Errichtung und der Betrieb der erforderlichen Trinkwasseraufbereitungsanlagen zur Inaktivierung oder besser zur Entnahme der Viren durchgesetzt werden können.

Mit der vorliegenden Analyse werden erstmals dargestellt insbesondere

- die „Kühlkette der öffentlichen Trinkwasserversorgung“, die virulente Viren konservieren und transportieren kann.
- die Abschätzung der von den Temperaturen abhängigen Tenazität von Noro- und Rotaviren im Trinkwasser.
- der wahrscheinliche Zusammenhang zwischen den saisonalen Norovirus- und Rotavirusinfektionen und dem sich erst zum Ausgang des Winters einstellenden Temperaturminimum des Trinkwassers.

11.2 Abstract

Waterborne Virus Infections of Humans

Men have seasonally been infected by Noro- and Rotaviruses during the cold season of the year, with a strong tendency in February and March. According to the widespread expert's opinion the cold weakens the body's defenses of humans and favors thus the transfer of virus infections. Also large gatherings and dry air in rooms during the heating period shall favor the transfer of virus infections. The yearly heating period though, begins already in September, the cold winter weather already in November. Furthermore, in Germany virus infections do not appear primarily in large cities and urban agglomerations, rural areas are often even more affected. Babies and young children, who for the most part stay at home and have otherwise few social contacts, sicken first regularly.

In the presented thesis the correlation between the virus infections and the abiotic vehicle drinking water will be analyzed. The cold is by far the most important parameter regarding the conservation of virulent viruses in the water, depending on the virus and the temperature over weeks or months. The efficiency of drinking water to transfer viruses increases as the temperature decreases. The yearly temperature minimum of drinking water is regularly being reached at the end of the winter in the months February and March depending on the sum of the coldness during the winter. The transfer of the virus infection can happen via stomach and intestinal.

Zoonotic viruses can infect humans and animals. Infected humans, domestic and wild animals may, not only via their excrements and urine but also via mouth and nose, transfer viruses into the environment and by this into bodies of waters used for water supply as well as into the ground water. The bodies of water of dams and lakes which are layered during the summer are stirred in the fall as the temperatures decreases. The virulent viruses which were transferred from the environment into the bodies of standing water can therefore from the surface of the water reach the withdrawals of raw water from the waterworks which are located in greater depths. This applies particularly to the overall resistant Noroviruses when they are being layered into the Metalimnion of the dams and lakes together with the summery inflow of $<15^{\circ}\text{C}$ according to the density of the water.

Often drinking water is not filtered at all or it is only roughly filtered. By this the small viruses are not being removed securely. Chlorine (in Germany with concentrations of 0,1-0,3 mg/L free Cl_2 , exceptionally max. 0,6 mg/L free Cl_2) does not inactivate viruses extensively. In Germany, based on epidemiologically substantiated estimates, every year 6 to 24 million infections are caused by drinking water. According to German law drinking water has to be free of pathogens, suitable for the consumption and pure.

Pathogens must not exist in drinking water in concentrations that might cause damage to humans' health. When pathogens are found in measurable concentrations an endangering of the human health has to be considered. Bio molecular analyses of drinking water are necessary to realize a drinking water monitoring in order to be able to assert the installation and the service of the necessary drinking water treatment plants for the inactivation or better the removal of the viruses in the case of positive findings.

By means of the presented thesis are for the first time described, especially

- the "cold chain of the public drinking water supply" which is able to conserve and transport virulent viruses.
- the temperature dependant estimation of the ability to survive of Noro- and Rotaviruses in drinking water.
- the probable relation between the seasonal Norovirus and Rotavirus infections and the temperature minimum of the drinking water, which is usually not being reached until the end of the winter.

12 Quellenverzeichnis

ALEXANDER (o.J.): Schulatlas, Ernst Klett Verlag, Deutschland, Temperaturen im Januar.

ANONYM (1999): Filtersand und Filterkies nach DIN EN 12904 zur Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch, 1999.

BBR BUNDESAMT FÜR BAUWESEN UND RAUMORDNUNG (2000): Webside des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung 2005. <http://www.bbr.bund.de/>

BERLIN (2005): Umweltatlas der Stadt Berlin, Webside der Stadt Berlin, 2005.

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/>

BERLINER WASSERBETRIEBE (2005): Webside der Berliner Wasserbetriebe 2005.

<http://www.bwb.de/deutsch/trinkwasser/index.html>

BGR BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (o.J.): Bedeutung und Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen in Deutschland.

BGR BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (o.J.): Geologische Übersichtskarte Deutschlands.

BGR BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (o.J.): Grundwasservorkommen in Deutschland nach Art der Grundwasserleiter.

BGR BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE (2003): Mittlere jährliche Grundwasserneubildung, Hydrologischer Atlas von Deutschland, Hrsg. BMU Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2003.

BGW BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN GAS- UND WASSERWIRTSCHAFT (1997): Wassergewinnung Bundesländer 1997.

DANGENDORF (2003): Trinkwasserbedingte gastrointestinale Infektionen auch in Deutschland? Diss. Universität Bonn 2003.

DREWAG STADTWERKE DRESDEN GMBH (2005): Webside der DREWAG Stadtwerke Dresden GmbH 2005. <http://www.drewag.de/>

DWD DEUTSCHER WETTERDIENST (2004): Lufttemperatur Januar 2003.

<http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/klimakarten/showmap.htm>

DWD DEUTSCHER WETTERDIENST (2005): Im Internet bereitgestellte Klimadaten der Tageswerte, Monatswerte und Mittelwerte der Periode 1961 bis 1990.

http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe_tageswerte.htm

http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/ausgabe_monatswerte.htm

http://www.dwd.de/de/FundE/Klima/KLIS/daten/online/nat/index_mittelwerte.htm

DWD DEUTSCHER WETTERDIENST (2006): Vom DWD für die Wetterstation Erfurt-Bindersleben im Januar 2006 bereitgestellte Erdbodentemperaturen aus 100 cm Tiefe für die Zeiträume von 1961-1990 und von 2001-2005.

ENERGIE SÜDWEST AG LANDAU/PFALZ (2005): Webservice der Energie Südwest AG Landau/Pfalz. <http://www.energie-suedwest.de/de/Service-Seiten2.htm>

EPA U.S. Environmental Protection Agency (2001): Pathogens in Water, ORD/NCER STAR Grants, Pathogens in Water, August 2001, Introduction.

<http://es.epa.gov/ncer/publications/topical/pathogens.html>

EPA U.S. Environmental Protection Agency (2002): National Primary Drinking Water Regulations, List of Contaminants & their MCLs, Disinfectants, July 2002.

http://www.epa.gov/safewater/mcl.html#d_dbps

EPA U.S. Environmental Protection Agency (2005): Office of Ground Water and Drinking Water (OGWDW), Drinking Water Contaminant Candidate List 2, 23.02.2005.

EU Trinkwasserrichtlinie (1998): Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 3. November 1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch - Trinkwasser-Richtlinie -, ABl. Nr. L 330 vom 5.12.1998 S. 32; ber. ABl. Nr. L 45 vom 19.2.1999 S. 55; Anforderung gemäß Beitrittsakte 2003, VO (EG) 1882/2003 - ABl. Nr. L 284 vom 31.10.2003 S. 1.

EWR AG WORMS (2005): Webservice der EWR Worms.

http://www.ewr.de/produkte/wasser_qualitaet.html

EXNER (2003): Hygiene und Mikrobiologie – unter besonderer Berücksichtigung der Wasserversorgung, Welche Rolle spielen mikrobiologische Beurteilungsparameter in der modernen Hygiene? - Aus der Sicht einer umfassenden Siedlungshygiene - Vortrag gehalten am 10.04.2003, Wasser Berlin 2003, 2. WaBoLu-Symposium.

EXNER, FEUERPFIL, GORNIK (2003a): Cryptosporidium, Giardia und andere Dauerformen parasitisch lebender Protozoen, Bedeutung, Bestimmung und Bewertung, Die Trinkwasserverordnung, 4. Auflage, Springer Verlag 2003, 209-225.

EXNER, KISTEMANN (2003b): Strukturelle Voraussetzungen und Maßnahmen zur Kontrolle der Weiterverbreitung übertragbarer Krankheiten durch Wasser für den menschlichen Gebrauch, Maßnahmepläne und Störfallmanagement, Die Trinkwasserverordnung, 4. Auflage, Springer Verlag 2003, 149-179.

FLI FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR TIERGESUNDHEIT (2004): Webservice des Friedrich-Loeffler-Institutes Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit (2004). <http://www.fli.bund.de/>

FLI FRIEDRICH-LOEFFLER-INSTITUT BUNDESFORSCHUNGSINSTITUT FÜR TIERGESUNDHEIT (2005): Rotaviren, Friedrich-Loeffler-Institut, Stand 04.10.2005.

<http://www.fli.bund.de/878.html>

FWO FERNWASSERVERSORGUNG OBERFRANKEN (2005): Webside der Fernwasserversorgung Oberfranken. <http://www.fwokronach.de/index.htm>

FÜCHSLIN (2005): Mikrobiologische Belastung des Trinkwassers in Trinkwasserfassungen ländlicher Regionen, Gas Wasser Abwasser 11/2005, 859-865.

GRABOW, TAYLOR, DE VILLIERS (2001): New methods for the detection of viruses: call for review of drinking water quality guidelines, IWA Publishing 2001, Water Science & Technology Vol 43 No 12 pp 1–8.

GREBER (2005): Viren und Protozoen in schweizerischen Grundwasservorkommen, Gas Wasser Abwasser 11/2005, 867-877.

GROHMANN, BOTZENHART (2003): Die Abgabe mikrobiologisch einwandfreien Trinkwassers mit und ohne Aufbereitung, Die Trinkwasserverordnung, 4. Auflage, Springer Verlag 2003, 189-199.

GSF – FORSCHUNGSZENTRUM FÜR UMWELT UND GESUNDHEIT GMBH IN DER HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT (2004): Wasser – Reservoir des Lebens, Aktuelle Fragen zu Wasserversorgung und –hygiene, GSF-Bericht 01/04.

HALBERSTADTWERKE (2005): Webside der Halberstadtwerke.

<http://www.halberstadtwerke.de/index.phtml?content=wasserversorg>

IBS INSTITUT FÜR BODENKUNDE UND STANDORTSLEHRE (2005): Digitaler Bodenatlas Baden-Württemberg, Bodenübersichtskarte Deutschlands M 1:5.000.000, Universität Hohenheim, Stuttgart. <http://www.uni-hohenheim.de/bodenatlas-bawue/>

IfSG (2000): Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen vom 20. Juli 2000 (Infektionsschutzgesetz, IfSG), BGBl I 2000, 1045. Zuletzt geändert durch Art. 2, § 3 Abs. 4 G v. 1.9.2005, BGBl I 2005, 2618.

INST. F. GEOLOGIE, MINERALOGIE U. GEOPHYSIK (o.J.): Ruhr-Universität Bochum; Lehrstuhl Angewandte Geologie; Institut für Geologie, Mineralogie und Geophysik; Angewandte Geologie, Skript Grundwasserabsenkung Abb. 5: Die verschiedenen Arten der Grundwasserleiter in Abhängigkeit der Hohlräume. o. J.

<http://www.aks.rub.de/getP/Daten/C001/doc/grundwasserabsenkung.pdf>

ITURRIZA-GÓMARA, CLARKE, DESSELBERGER, BROWN, THOMAS, GRAY (2004): Seroepidemiology of group C rotavirus infection in England and Wales. Eur J Epidemiol. 2004; 19(6): 589-595.

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&list_uids=15330133&dopt=Citation

JACKSON (2006): Business Development Manager for the tank maintenance company Utility Service Company, Inc. (USCI), Perry, GA, USA.

<http://science.howstuffworks.com/question56.htm>

KÜHN, BALDAUF (2002): Zusammenstellung und Auswertung vorhandener Datenbestände über Partikelgehalte in Wässern als Grundlage für die Festlegung von Kriterien in einer geplanten DVGW-Empfehlung, Abschlussbericht zum DVGW-Forschungsvorhaben W 4/02/01, TZW Karlsruhe, Juni 2002.

LECHEVALLIER (2003): Assuring the Microbial Safety of Drinking Water, Conference Water Safety, Berlin, 28 – 30 April 2003)

<http://www.umweltbundesamt.org/fpdf-l/2546.pdf>

LIPP et al. (2005): Membranfiltrationsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung - Leistung und Grenzen, GWF Wasser • Abwasser 146, 2005, Nr. 13, 50-61.

http://www.wat-dvgw.de/pdf/vortragsarchiv/lipp_ms.pdf

MAUNULA, MIETTINEN, VON BONSDORFF (2005): Norovirus Outbreaks from Drinking Water, Emerging Infectious Diseases, Vol. 11, No. 11, November 2005, 1716-1721.

<http://www.cdc.gov/ncidod/EID/vol11no11/pdfs/05-0487.pdf>

MEMBRATEC (o.J.): Schema der Ultrafiltration, Porenweite, Querschnitte von Mikroorganismen und Sand. <http://www.membratec.ch/d/ultrafiltration.htm#>

MÜLLER, KRÄUSSLICH, FICKENSCHER, SCHNITZLER, BARTENSCHLAGER (2003): Grundlagen der Virologie. Abteilung Virologie, Universitätsklinikum Heidelberg.

<http://virology.hyg.uni-heidelberg.de/Virology/englisch/lehre/RespEnzeph.pdf>

MUDRACK, KUNST (1988): Biologie der Abwasserreinigung, 2. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York, 1988, 17.

MVV ENERGIE AG MANNHEIM (2005): Webside der MVV Energie AG Mannheim.

<http://www.mvv-life.de/de/pub/wasser.cfm>

<http://www.mvv-life.de/de/pub/wasser/wissenswerteswasser.cfm>

OSMONICS (1996): The Filtration Spectrum, Osmonics, Inc., Minnetonka, Minnesota USA 1996. <http://www.gewater.com/pdf/1117987-%20Lit-%20Filtration%20Spectrum.pdf>

RADSACK (2000): Inst. für Virologie der Philipps-Universität Marburg, Vorlesungsskript Medizinische Virologie: 20-22.

RKI ROBERT KOCH-INSTITUT (2002a): Gesundheitsberichterstattung des Bundes Heft 01/02 Lebensmittelbedingte Erkrankungen in Deutschland.

RKI ROBERT KOCH-INSTITUT (2002b): RKI-Ratgeber Infektionskrankheiten - Merkblätter für Ärzte, Erkrankungen durch Rotaviren, Epidemiologisches Bulletin, 8. März 2002 /Nr. 10.

http://www.klinik-hygiene.de/pdf_texte/pdf_infektion/rotaviren/rki_rotaviren_3.2002.pdf

RKI ROBERT KOCH-INSTITUT (2004b): Mitteilung der Ständigen Impfkommision am Robert Koch-Institut: Empfehlungen der Ständigen Impfkommision (STIKO) am Robert Koch-Institut/Stand: Juli 2004. Epidemiologisches Bulletin 23.7.2004/Nr. 30: 235-250.

http://www.rki.de/INFEKT/EPIBULL/2004/30_04.PDF

RKI ROBERT KOCH-INSTITUT (2005): SurvStat. <http://www3.rki.de/SurvStat>

RKI ROBERT KOCH-INSTITUT (2005a): Infektionsepidemiologisches Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2004

http://www.rki.de/cln_006/nn_527010/DE/Content/Infekt/Jahrbuch/Jahrbuch_2004.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/Jahrbuch_2004

SCHOENEN, BOTZENHART, EXNER, FEUERPFIL, HOYER, SACRÉ, SZEWZYK (2001): Beobachtungen über parasitenbedingte Ausbrüche durch Trinkwasser und Maßnahmen zu deren Vermeidung, Teil III: Seuchenhygienische Anforderungen, Springer Verlag, Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz, 44, 377-381.

SMUL STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT FREISTAAT SACHSEN (2002): Grundsatzplan 2002, Öffentliche Wasserversorgung, Freistaat Sachsen 12.2002.

SODDEMAN (2004): Ergebnisse Internetrecherche.

STADTWERKE FRANKENTHAL GMBH (2005): Webside. <http://www.stw-frankenthal.de/>

STADTWERKE WEIDEN IN DER OBERPFALZ (2005): Webside der Stadtwerke Weiden i.d.OPf. <http://www.stadtwerke-weiden.de/>

STADTWERKE WOLFSBURG AG (2005): Webside der Stadtwerke Wolfsburg AG.

<http://www.stadtwerke.wolfsburg.de/stadtwerke/produkte/frames.html>

STATISTISCHES BUNDESAMT (2006): Umweltstatistik, Öffentliche Wassergewinnung im Jahr 2001, 09.03.2006.

STUA STAATLICHES UMWELTAMT AACHEN (2004): Mitteilung von Grundlagen und Daten zu Rohwassertemperaturen.

STUA STAATLICHES UMWELTAMT AACHEN (2004a): Mitteilung von Kosten der Ultrafiltration.

SVUA STAATLICHES VETERINÄRUNTERSUCHUNGSAMT KREFELD (2004): Staatliches Veterinäruntersuchungsamt Krefeld, Jahresbericht 2004: 19, 5-6.

<http://www.svua-krefeld.nrw.de/ueberuns/jahresbericht04.pdf>

SWB-GRUPPE WASSER BREMEN (2005): Webside der SWB-Gruppe Bremen für Bremen und Bremerhaven 2005.

http://www.swb-gruppe.de/index.php?url=http%3A%2F%2Fwww.swb-gruppe.de%2Fprivatkunden_bremen%2Fwas_wasser_bau.php

SWG STADTWERKE GÖRLITZ AG (2005): Webside der Stadtwerke Görlitz AG 2005.

http://www.stadtwerke-goerlitz.de/cgi-bin/content.cgi?dexuser=swg@40250&content=dienstleistungen_wasser@produkte_trinkwasser

SWM STÄDTISCHE WERKE MAGDEBURG GMBH (2005): Webside der Städtischen Werke Magdeburg GmbH.

https://www.sw-magdeburg.de/swm_angebote/angebote_wasser.php

SWW STADTWERKE WEISSENFELS GMBH (2005): Stadtwerke Weißenfels GmbH, Webside. <http://www.sww-wsf.de/>

TOUGIANIDOU, JACOB, HERBOLD, HAHN, FLEHMIG, BOTZENHART (1989): Assessment of various cell-lines (including mixed-cell cultures) for the detection of enteric viruses in different water sources, Water Science and Technology 21 (3), 1989, 311-314.

TOUGIANIDOU, BOTZENHART (1998): Molecular techniques for the detection of enteroviruses in water, OECD Workshop 1998 Interlaken.

TrinkwV (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001), 21.05.2001, BGBl. I 959.

TrinkwV amtl. Begründung (2001a): Amtliche Begründung der Verordnung zur Novellierung der Trinkwasserverordnung, Die Trinkwasserverordnung, 4. Auflage, Springer Verlag, 743-794.

TWM TRINKWASSERVERSORGUNG MAGDEBURG GMBH (2005): Webside der Trinkwasserversorgung Magdeburg GmbH <http://www.wasser-twm.de/1.html>

UNIVERSITY OF CALIFORNIA DEPT. OF EPIDEMIOLOGY (2005): John Snow (1813-1858), a legendary figure in the history of public health, epidemiology and anesthesiology. <http://www.ph.ucla.edu/epi/snow.html>

VAIDYA et al. (2004): Removal of hepatitis A virus from water by polyacrylonitrile-based ultrafiltration membranes. Hepatitis Division, National Institute of Virology, 20-A Dr. Ambedkar road, Post Box No. 11, Pune 411001, India. J Virol Methods. 119(1): 7-9.

WASSERWIRTSCHAFTSVERWALTUNG RHEINLAND-PFALZ (2005): Arbeitsgruppe „Hydrogeologische Kartierung und Grundwasserbewirtschaftung Rhein-Neckar-Raum“

http://www.wasser.rlp.de/download/9_2_1_2EINLEITUNG.pdf

http://www.wasser.rlp.de/download/3_2_1_1_10GW-Bewirt-schutz.pdf

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION (2002): Guidelines for drinking-water quality, 2nd Ed., Addendum, Microbiological agents in drinking water: 95-101.

http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/GDWQ/Microbiology/Microbioladd/microadd1.htm

WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION (2004): Guidelines for drinking-water quality, 3rd Ed., http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3/en/print.html

http://www.who.int/csr/don/2004_10_29/en/index.html

WINONA et al. (2001): Efficient and predictable recovery of viruses from water by small scale ultrafiltration systems. Can. J. Microbiol./Rev. Can. Microbiol. 47(11): 1033-1041.

ZELL (2003): Vorlesung Virologie für Biochemiker, Virale Zoonosen/Virusökologie: 2-3.

ZENTRUM FÜR GESUNDHEITSSCHUTZ (2004): Empfehlungen des „Zentrum für Gesundheitsschutz“ - Staatliches Untersuchungsamt Hessen in „Noroviren: Maßnahmen bei Ausbrüchen in Krankenhäusern und Einrichtungen der stationären Pflege“, Herausgeber: Hessisches Sozialministerium, Juni 2004.

<http://www.virologie.med.tum.de/Noroviren%20im%20Krankenhaus.pdf>

ZV WALL - ZWECKVERBAND FÜR WASSERVERSORGUNG UND ABWASSERBESEITIGUNG LEIBZIG-LAND (2005): Webside des Zweckverbandes für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung Leipzig-Land, Leipzig. <http://www.zvwall.de/index/start.htm>