

**Einschätzung zu erwartender Hygienerisiken für die Wasserwirtschaft in NRW (insbesondere Wasserversorgung und Abwasserentsorgung)
- eine Bestandsaufnahme aus hygienisch-medizinischer Sicht -**

von Prof. Dr. med. Dr. h. c. Martin Exner
Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn

unter Mitwirkung von

Dr. rer.nat. Christoph Koch, Dr. rer.nat. Stefan Pleischl, Dr. rer.nat. Katja Behringer,
Dr. rer.nat. Harald Färber, Dr. med. Dr. agrar. Ricarda Schmithausen, Frau Esther Sib,
Dr. med. Manuel Döhla, Paul M. Kirch, Werner Nissing, Dr. med. Daniel Exner

Im Auftrag des Wasserbeirates NRW

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Abkürzungsverzeichnis.....	5
1 Veranlassung.....	8
1.1 Zur Bedeutung der Trink- und Abwasserhygiene für die Öffentliche Gesundheit.....	8
1.2 Bestehende Regelungen und Empfehlungen zur Sicherstellung der Trink- und Abwasserhygiene für die öffentliche Gesundheit.....	9
1.3 Notwendigkeit einer neuen Risikoabschätzung vor dem Hintergrund sich ändernder gesellschaftlicher und umweltbedingter Rahmenbedingungen sowie neuer Infektionsrisiken	10
1.4 Betrachtung von Konsequenzen für ein effizientes Stör- und Ausbruchmanagement	12
2 Gegenstand des Berichtes.....	13
3 Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Gefährdungseinschätzung durch trink- und abwasserbedingte Infektionen haben	14
3.1 Rohwasserressourcen.....	15
3.2 Rohwasser-Qualität.....	16
3.3 Klimawandel.....	17
3.3.1 Temperaturerhöhung	18
3.3.2 Starkregenfälle.....	20
3.3.3 Niederschlagsarme Perioden.....	23
3.4 Demographischer Wandel.....	25
3.5 Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren von Trink- und Abwasser.....	26
3.5.1 Effizienz von naturnahen Wasseraufbereitungsverfahren.....	26
3.5.2 Desinfektion des Trinkwassernetzes.....	27
3.6 Gefährdungssituationen in Krankenhäusern, medizinischen Einrichtungen, bei der häuslichen Pflege und pharmazeutischen Betrieben.....	29
3.7 Wasserversorgungsstruktur, Verantwortlichkeiten für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung und deren Überwachung.....	30
3.7.1 Wasserver- und Abwasserentsorgung in Deutschland	30
3.7.2 Wasserversorgungsstruktur in den Niederlanden	31
3.8 Geänderte Sicherheitslage.....	33
4 Gefährdungsbeurteilung Wasser- und abwasserassoziierte Krankheitserreger	35
4.1 Allgemeine Aspekte der Gefährdungsbeurteilung	35
4.2 Einteilung nach wasserübertragenen Krankheitserregern.....	36
4.2.1 Einteilung der WHO von wasserbedingten Krankheitserregern	36
4.3 Neue Einteilung wasserbedingter Krankheitserreger nach deren Pathogenität, Herkunft und relativer Infektiosität.....	37

4.3.1	Definitionen	37
4.3.2	Einteilung nach Pathogenität	39
4.3.3	Einteilung wasserbedingter Krankheitserreger nach Herkunft, Pathogenität und Antibiotikaresistenz	39
4.4	Gefährdungsbeurteilung fakultativ-pathogener Erreger mit Bedeutung für die öffentliche Gesundheit.....	40
4.4.1	Allgemeine Aspekte	40
4.4.2	Epidemiologische Charakterisierung wasserübertragener fakultativ- pathogener Erreger	44
4.5	Beschreibung ausgewählter wasserübertragener Krankheitserreger	45
5	Fokusthema: Antibiotika-resistente Erreger in der Wasserversorgungskette.....	45
5.1	Allgemeine Aspekte.....	45
5.2	Entwicklung von Bewertungskonzepten	47
5.3	Entwicklung von Nachweisverfahren.....	47
5.4	Gefährdungseinschätzung	48
5.5	Exposition des Menschen und Übertragungswege	51
5.5.1	Zum Vorkommen von Antibiotikaresistenten Erregern beim gesunden Menschen und Risikofaktoren.....	51
5.5.2	Übertragungswege und Bedeutung der Umwelt für Antibiotika-resistente Erreger beim Menschen.....	53
5.6	Ausgewählte Ergebnisse aus dem HyReKA Verbundvorhaben	57
6	Hygienisch-mikrobiologisches Monitoring entlang der Wasserkette	58
6.1	Allgemeine Aspekte.....	58
6.2	Rohwasser	59
6.3	Trinkwasser nach der Aufbereitung.....	61
6.4	Leitungsnetz der öffentlichen Wasserversorgung.....	62
6.5	Trinkwasserinstallation	63
6.6	Abwasser	64
6.7	Landnutzung	65
6.8	Gewässer	65
7	Zuständigkeiten und Strukturen für die hygienisch-mikrobiologische Überwachung, Störfälle und für ein effizientes Ausbruchmanagement.....	66
7.1	Hygienisch mikrobiologische Überwachung	66
7.2	Strukturen und Verantwortlichkeiten bei Überschreitung von Grenz-, Richt- und technischen Maßnahme-Werten	66
7.3	Ausbruchmanagement	67
8	Konsequenzen für Prävention und Kontrolle wasser- und abwasser-assoziiertes hygienisch-mikrobiologischer Risiken in NRW.....	73
8.1	Allgemeine Prämissen.....	73
8.2	Abwasserentsorgung.....	74

8.2.1	Antibiotika-resistente Erreger.....	74
8.2.2	Legionellen und Abwasserkläranlagen	75
8.3	Gewässer	76
8.3.1	EU-Badegewässer.....	76
8.3.2	Gewässer, die als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung verwendet werden.....	76
8.3.3	Irrigationswasser.....	77
8.4	Trinkwasser.....	77
8.5	Strukturelle Voraussetzungen für Referenzinstitute und für ein lernendes, resilientes Störfall- und Ausbruchmanagement-System.....	78
8.6	Notwasserversorgung	78
	Literaturverzeichnis	79
	Tabellenverzeichnis.....	88
	Liste universitärer oder vergleichbarer hygienisch-medizinischer Untersuchungsinstitute in NRW mit Zulassung gemäß §15.4 Trinkwasserverordnung	88
	Abbildungsverzeichnis.....	89

Abkürzungsverzeichnis

4MRGN *Multiresistente gramnegative Bakterien (gegen 4 der 4 wichtigsten Antibiotikagruppen: Acylureidipenicilline, 3. Generation Cephalosporine, Carbapeneme, Fluorochinolone)*

AIDS *Acquired Immune Deficiency Syndrome*

ALARA *As Low As Reasonably Achievable*

ARB *Antibiotika-resistente Bakterien*

BIB *Bundesinstitutes für Bevölkerungsforschung*

BMBF *Bundesministerium für Bildung und Forschung*

BMI *Bundesministerium des Inneren*

COPD *chronic obstructive pulmonary disease*

CRE *Carbapenem-resistente Enterobacteriaceae*

CT99-Wert *Concentration and Contact Time 2-log reduction-Wert*

d.h. *das heißt*

DALY *Disability Adjusted Live Years*

DART *Deutsche Antibiotika-Resistenzstrategie 2020*

DVGW *Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e. V.*

dynamik *Dynamische Anpassung an den Klimawandel*

E. Escherichia

EC *European Community*

ECDC *European Centre for Disease Prevention and Control*

EFTA *European Fair Trade Association*

EHEC *Enterohämorrhagische Escherichia coli*

ESBL *Extended Spektrum Beta-Laktamasen*

EU *Europäische Union*

F und E-Projekte *Forschung und Entwicklung-Projekte*

GES *plasmid-mediated ESBL*

ggf. *gegebenenfalls, gegebenenfalls*

HIV *Human immunodeficiency virus*

HyReKA *Biologische bzw. hygienisch-medizinische Relevanz und Kontrolle Antibiotika-resistenter Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern und deren Bedeutung in Rohwässern*

IE *Intestinale Enterokokken*

IHPH *Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit*

IMP *active-on-imipenem Carbapenemase-Genotyp*

KBE *Koloniebildende Einheit*

KLIMZUG *Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten*

KPC *Klebsiella pneumoniae- Carbapenemase*

KRINKO *Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention*

KZV *Konzeption Zivile Verteidigung*

LANUV *Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen*

LAWA *Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser*

log-Stufe *Logarithmus-Stufe zur Basis 10*

LZG *Landeszentrum Gesundheit*

MCR MCR-1 ist ein Enzym, das Bakterien eine Resistenz gegenüber Colistin und anderen Polymyxinen verleiht.

MDR *Multiple Drug Resistance*

MGEPA *Ministerium für Gesundheit, Emanzipation, Pflege und Alter des Landes Nordrhein-Westfalen*

MKULNV *Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen*

MRSA *Methicillin resistenter Staphylococcus aureus*

NDM *New-Delhi-Metallo-Beta-Lactamase*

NRW *Nordrhein-Westfalen*

o.a. *oben angeführt*

OXA-48 *Oxacillinase-48-Typ-Carbapenemase*

PFC *Perfluorcarbone, perfluorierte Kohlenwasserstoffe*

pH *potentia hydrogenii*

QMRA *Quantitative Microbiological Risk Assessment*

RISKWa *Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf*

RKI *Robert Koch Institut*

s.u. *siehe unten*

SDG *Sustainable Development Goals*

TWK *Trinkwasserkommission*

UBA *Umweltbundesamt*

UNICEF *United Nations Children's Fund*

USA *United States of America*

Usl *Unternehmer oder sonstiger Inhaber*

UV *ultraviolett*

VBNS *Viable but not culturable status*

VIM *Verona-Integron-vermittelte Metallo-Beta-Lactamase*

VRE *Vancomycin-resistente Enterokokken*

WASH *Water, Sanitation and Hygiene*

WHO *World Health Organization*

XDR *Extensive drug resistant*

*„Aber wer soll die Überwachung übernehmen? Nur der Staat kann es tun. Er kann es nicht nur, sondern er muss es übernehmen; es ist seine Pflicht. Was wird nicht schon alles überwacht und revidiert? Apotheken, Krankenanstalten, Dampfkessel, Fabriken mit ihren Arbeitsschutzvorkehrungen usw. stehen unter staatlicher Aufsicht, um zu verhüten, dass einzelne Menschen durch Ungeschicklichkeit und Fahrlässigkeit zu Schaden kommen. **Bei einem Wasserwerk handelt es sich aber, wenn ein Unglück passiert, nicht um einzelne Menschen, sondern um die Gesundheit und Leben von Tausenden. Es ist höchste Zeit, dass man die zuwartende Haltung aufgibt und sich zu energischem Eingreifen entschließt.**“*

Robert Koch, Wasserfiltration und Cholera, 1893

1 Veranlassung

1.1 Zur Bedeutung der Trink- und Abwasserhygiene für die Öffentliche Gesundheit

Die Bevölkerung in Deutschland hat hohes Vertrauen in die Güte der Trinkwasserversorgung wie auch die Abwasserentsorgung hinsichtlich der hygienischen Sicherheit d.h. dem Schutz vor Wasser- und Abwasserübertragenen Krankheitserregern. Die hohe Sicherheit wird eindrücklich dadurch belegt, dass die im 19. und noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts auftretenden Trinkwasser- und Abwasserbedingten klassischen Seuchen wie Cholera, Typhus, Paratyphus, Shigellen-Ruhr und andere Ausbrüche mit gastrointestinalen Infektionen wie Hepatitis A heute sicher unter Kontrolle sind und in Deutschland in den letzten 4 Jahrzehnten keine entsprechenden Trink- und Abwasserverursachten Ausbrüche mit diesen Erregern mehr festgestellt wurden.

Die Erfolge aufgrund der Einführung der leitungsgebundenen Wasserversorgung und der Abwasserentsorgung hinsichtlich der nahezu vollständigen Kontrolle von Cholera und Typhus und die Entdeckung wichtiger bakterieller Krankheitserreger in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts und ihr Nachweis in Wasser bestätigten den kausalen Zusammenhang von Wasser und Krankheitsausbrüchen. Die großen Ärzte und Hygieniker wie Max von Pettenkofer (1818 – 1901) wie auch Robert Koch (1843 – 1910) haben entscheidenden Anteil an der wissenschaftlichen Begründung der Wasser- und Abwasserhygiene für den öffentlichen Gesundheitsschutz.

Für das Deutsche Reich wurden im Zeitraum 1870 – 1900 allein 462 durch Trinkwasser verursachte Typhus-Epidemien dokumentiert – das waren im Durchschnitt 15 Ausbrüche pro Jahr. Eine Reihe von Maßnahmen (Einführung von Sedimentation, Koagulation, Sandfiltration, Desinfektion durch Chlor, Ozon-, Silber- und UV-Bestrahlung, regelmäßige Keimzahlbestimmung sowie Untersuchungen auf Fäkalindikatoren) konnte in Deutschland wie in anderen industrialisierten Ländern etwa seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts die Häufigkeit trinkwasserbedingter, klassischer „Ausbrüche“ durch bakterielle Krankheitserreger deutlich reduziert und nahezu vollständig unter Kontrolle gebracht werden. Die letzten derartigen Ausbrüche wurden in Deutschland 1956 in Hagen (Typhus/Paratyphus), 1978 in Ismaning (Ruhr) und 1980 in Jena (Typhus) registriert [1].

Diese sehr günstige Situation steht in bemerkenswertem Gegensatz zu vielen low and middle income-Ländern, in denen bis heute die oben genannten Infektionskrankheiten immer wieder zu zum Teil verheerenden Seuchen und anderen Ausbrüchen führen[2].

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Nach Angaben der WHO mit Stand vom 06.07.2019 haben 485 Millionen Menschen weltweit keinen Zugang zu einer Basistrinkwasserversorgung einschließlich 144 Mil-

lionen Menschen, die ihr Trinkwasser unmittelbar aus Oberflächengewässern beziehen. Weltweit nutzen 2 Milliarden Menschen Trinkwasserquellen, die mit Fäkalien kontaminiert sind. Kontaminiertes Trinkwasser führt nach Angaben der WHO zu Diarrhoe, Cholera, Dysenterie, Typhus, Fieber und Polio. Kontaminiertes Trinkwasser ist nach Schätzung der WHO Ursache für 485.000 Todesfälle infolge Durchfallerkrankungen jedes Jahr.

<https://www.who.int/news-room/detail/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-%E2%80%93-unicef-who>

Bis 2025 wird die Hälfte der Weltbevölkerung in Gebieten mit unzureichendem Zugang zu Wasser leben. In den in Entwicklung befindlichen Ländern haben 22 % der medizinischen Einrichtungen keine Wasserversorgung, 21 % keine Abwasserentsorgung und 22 % keine Abfallentsorgung. In dem gemeinsamen Bericht: *Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2000 – 2017 – Special focus on equalities* seitens der WHO und UNICEF wird herausgestellt, dass Milliarden von Menschen weltweit unter dem unzureichenden Zugang zu Wasser, Sanitation und Hygiene leiden. 2,2 Milliarden Menschen weltweit haben keinen Zugang zu sicher betriebenen Trinkwasserversorgungen, 4,2 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu sicher betriebener Abwasserentsorgung (Sanitation) und 3 Milliarden Menschen haben keinen Zugang zu Basishändewaschmöglichkeiten.

Auch nach dem **Global Risk Report 2020** des World Economic Forum zählt die weltweite Wasser-Krise -definiert als der signifikante Rückgang der verfügbaren Qualität und Quantität von Frischwasser mit schädlichen Auswirkungen für die menschliche Gesundheit und / oder die wirtschaftlichen Aktivitäten- mit zu höchsten weltweiten Risiken.

Wenn auch diese Aspekte der Wasserversorgung, Abwasserentsorgung und Hygiene in Entwicklungsländern nicht Gegenstand dieses Berichtes sind, so dokumentieren diese Zahlen dennoch, dass weltweit ein erheblicher Bedarf besteht, die entsprechende Wasserver- und Abwasserentsorgung sowie die Hygienevoraussetzungen weltweit auf den Stand wie in Europa und insbesondere wie in Deutschland zu heben.

Die Bedeutung der gesicherten Wasserversorgung und Abwasserentsorgung für die öffentliche Gesundheit ist auch in der Medizin unbestritten und anerkannt und gilt als einer der größten Erfolge in der Medizingeschichte der letzten 180 Jahre [3, 4].

In einem Editorial des Lancet Infectious Diseases (Volume 15, 2015, Seite 987) heißt es in diesem Kontext:

„Wir sollten immer berücksichtigen, dass die Wasserver- und Abwasserentsorgung und die Hygiene zu den größten Erfolgen der Menschheit im Hinblick auf die Lebensverlängerung zählt und wir jede Gelegenheit nutzen müssen, um hierauf immer wieder hinzuweisen und diesen Nutzen für alle verfügbar zu machen.“

In den 2015 von den UN-Mitgliedstaaten konsentierten Sustainable Development Goals (SDG) wird als Ziel 6 die Sicherung der Verfügbarkeit und eines nachhaltigen Managements von Wasser, Abwasser und Hygiene (Water, Sanitation and Hygiene WASH) „als globales Ziel bis 2030“ genannt.

1.2 Bestehende Regelungen und Empfehlungen zur Sicherstellung der Trink- und Abwasserhygiene für die öffentliche Gesundheit

<p>Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung gelten daher als ein Grundpfeiler der Daseinsvorsorge, da mit Einführung der konsequenten Assanierung der</p>

Städte, mit Einführung der leitungsgebundenen Trinkwasserversorgung und der Abwasserentsorgung beginnend ab ca. 1870 in Deutschland sowohl die **Lebenserwartung** kontinuierlich gestiegen ist als auch die **Sterblichkeitsrate** kontinuierlich zurückging.

Voraussetzung hierfür war und ist die gesicherte Entsorgung von Abwässern, der Schutz der Gewässer bzw. der Rohwasserressourcen vor Krankheitserregern sowie ein hoher technischer Stand der Wasseraufbereitungs- und Wasserverteilungsanlagen, ein Monitoring der Wasserqualität, eine Surveillance wasserbedingter Ausbrüche, ein professionelles Störfall- und ein Ausbruchmanagement und eine fundierte Regulierung.

Die WHO sieht weltweit als langfristige Lösung zur Kontrolle wasserbedingter Infektionskrankheiten die Verbesserung der ökonomischen Entwicklung und den universellen Zugang zu gesichertem Trinkwasser und angemessener Abwasserentsorgung. Langfristig sind die in den entwickelten Ländern zu Beginn des 20. Jahrhunderts eingeführten Strategien in allen Ländern umzusetzen, die heute als „**WASH Strategie**“ (**Water, Sanitation and Hygiene**) bezeichnet werden, um den Gebrauch hygienisch einwandfreien Wassers, einer Basis-Abwasserentsorgung und guter Hygienepraktiken für die Bevölkerung sicherstellen zu können. Hierdurch würden auch andere wasserübertragene Erkrankungen verhütet und ein Beitrag zur Erreichung der Sustainable Development Ziele wie Verringerung von Armut, Mangelernährung und Bildung erreicht werden. (<http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cholera>).

Der Schutz des Trinkwassers insbesondere vor Krankheitserregern und die sichere Entsorgung von Abwässern ist in Deutschland im **Infektionsschutzgesetz (IfSG)** im § 37 bzw. § 41 geregelt, wodurch verdeutlicht wird, dass Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung insbesondere dem Schutz vor wasserübertragenen Krankheitserregern dient.

Deutschland verfügt im internationalen Vergleich über eine seit dem 19. Jahrhundert technisch-hygienisch, risikoregulatorisch und hinsichtlich der Überwachung kontinuierlich weiterentwickelte Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, die zu den besten und sichersten der Welt zählt [3].

Diese Voraussetzungen müssen jedoch immer wieder an die sich wandelnden Anforderungen und Rahmenbedingungen sowie an neue wissenschaftliche hygienisch-medizinische Erkenntnisse und Anforderungen angepasst werden (3).

Trinkwasser kann in Deutschland in vielen Gebieten ohne Zusatz von Desinfektionsmitteln (wie z. B. Chlor oder Chlordioxid) zur Verfügung gestellt werden. Dies ist im internationalen Vergleich nicht selbstverständlich; es ist ein Privileg und auch eine kulturelle, gesellschaftliche Leistung von unschätzbarem Wert für die Sicherstellung der öffentlichen Gesundheit.

1.3 Notwendigkeit einer neuen Risikoabschätzung vor dem Hintergrund sich ändernder gesellschaftlicher und umweltbedingter Rahmenbedingungen sowie neuer Infektionsrisiken

Die sich wandelnden Rahmenbedingungen und neue sich ändernde Infektionsrisiken erfordern eine wissenschaftliche Abklärung bezogen auf die öffentliche Gesundheit. Sich hieraus ergebende Konsequenzen für Prävention, Risikoregulierung und Kontrolle sind zu evaluieren, zu kommunizieren und der erkannte Handlungsbedarf sollte - unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit - auch gesundheits- und umweltpolitisch verdeutlicht werden.

Dies ist umso bedeutsamer, als nach bisheriger Erfahrung **vom Erkennen neuer Risiken bis zur Risikoregulierung 20 bis 30 Jahre vergehen** können, wie die Bei-

spiele der Abwasser- und Trinkwasserassoziierten Legionellose oder Cryptosporidiose eindrücklich zeigen. Diese Zeitspanne ist jedoch zu lang, da hiermit unnötige, vermeidbare Krankheitslasten und gesundheits-ökonomische Konsequenzen verbunden sind. Daher ist eine dynamische Auseinandersetzung mit wissenschaftlichen und medizinischen Erkenntnissen notwendig.

Eine Weiterentwicklung der Präventions- und Risikoregulierungs-Strategien sowie der Überwachung von Trinkwasser und Abwasser hat bisher nur unzureichend – abweichend von den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) seit 1993 - ähnlich wie in zahlreichen anderen europäischen Ländern stattgefunden, obwohl sich die Rahmenbedingungen und damit auch Hygienrisiken im Gegensatz zur Situation Ende des 19. / Anfang des 20. Jahrhunderts deutlich verändert haben.

Zu den geänderten Rahmenbedingungen zählen die Konsequenzen, die sich aus dem Klimawandel für die Wasserver- und Abwasserentsorgung mit Temperaturerhöhung, Zunahme von Starkregenfällen bzw. niederschlagsarmen Perioden ergeben. Darüber hinaus wird durch den demographischen Wandel mit Zunahme der Lebenserwartung auch die Vulnerabilität der Bevölkerung gegenüber durch Wasser und Abwasser übertragenen neuen Krankheitserregern deutlich verändert.

Diese Aspekte haben insbesondere Konsequenzen auch für die Gefährdungssituation in Krankenhäusern, medizinischen Einrichtungen, bei der häuslichen Pflege, aber auch bei der Herstellung von Lebensmitteln und Medikamenten. Den sehr komplexen Wasserver- und Abwasserentsorgungsverhältnissen insbesondere in Gebäuden muss dabei auch ein Augenmerk gelten.

Vor diesem Hintergrund haben Risiken durch neue Krankheitserreger, die durch Trink- und Abwasser übertragen werden könnten, erhebliche Bedeutung gewonnen. Sowohl **Krankheitserreger mit extrem niedriger Infektionsdosis** und hoher Chlorresistenz als auch solche **Krankheitserreger mit fakultativ-pathogenen Eigenschaften**, die zur aquatischen Mikroflora gehören, haben in den entwickelten Ländern mittlerweile eine wesentlich größere gesundheitspolitische Bedeutung erlangt. Nach US-amerikanischen Untersuchungen treten mittlerweile deutlich **mehr Todesfälle durch Wasser- und Abwasser-assoziierte fakultativ-pathogene Krankheitserreger** auf, als durch die o.a. obligat-pathogenen Krankheitserreger. Diese in ihrer Bedeutung neu erkannten Krankheitserreger lassen sich durch die bisherigen Strategien der Aufbereitung, Desinfektion und Überwachung nur unzureichend unter Kontrolle bringen und lassen sich darüber hinaus auch mit dem bisherigen Indikator-Konzept zur hygienisch-mikrobiologischen Überwachung des Trinkwassers nicht bzw. nicht sicher indizieren.

Dies hat dazu geführt, dass die WHO als die international mandatierte Institution für die Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung, die u.a. auch für die EU-Trinkwassergesetzgebung relevant ist, neue Konzepte wie u. a. das „**Water Safety-Konzept**“ vorgeschlagen hat, welches vollkommen **neue Ansätze der Risikoabklärung und des Risikomanagements** als auch der hygienisch-mikrobiologischen Überwachung einfordert.

Darüber hinaus hat sich auch die gesetzliche Grundlage zumindest für den Trinkwasserbereich geändert.

Auch im Bereich des Abwassers muss eine Neukonzeption der Risikoeinschätzung und des Risikomanagements vor dem Hintergrund Abwasser-assoziiierter Legionellose (Legionellen-Ausbruch in Warstein) sowie Berichten über den Nachweis antibiotikaresistenter Erreger in Abwässern von Kläranalgen unter hygienisch-medizinischen Aspekten vorgenommen werden.

Von dieser hygienisch-medizinisch notwendigen Neukonzeptionierung im Hinblick auf Krankheitserreger sind insbesondere solche Regionen betroffen, die einen hohen

Anteil an Oberflächenwasser für die Trinkwasseraufbereitung nutzen und in denen Gewässer durch eine nicht angepasste Abwasserentsorgung belastet werden können.

Die aktuelle Diskussion um die Zunahme von Antibiotika-resistenten Erregern zeigt, dass sich Krankheitserreger mit hoher Dynamik an veränderte Randbedingungen anpassen und deshalb immer neue Präventions- und Kontrollstrategien benötigt werden.

Die mit aus der Umwelt stammenden antibiotikaresistenten Erregern einhergehenden Risiken sind bislang nicht eindeutig evaluiert, da bisher konsentrierte Nachweisverfahren zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Antibiotika-resistenten Erregern, Antibiotikaresistenzgenen und Antibiotikarückständen in Abwässern, Rohwässern und Trinkwasser fehlten. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten HyReKA Verbundvorhabens (Biologische bzw. hygienisch-medizinische Relevanz und Kontrolle Antibiotika-resistenter Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern und deren Bedeutung in Rohwässern) wurden hierfür Grundlagen geschaffen.

1.4 Betrachtung von Konsequenzen für ein effizientes Stör- und Ausbruchmanagement

Die Berücksichtigung der o.a. Rahmenbedingungen und insbesondere die Einbeziehung neuer Trink- und Abwasser übertragener Krankheitserreger hat auch Konsequenzen für die Überwachung/Surveillance wasserbedingter Infektionen und das adäquate Störfall- und Ausbruchmanagement.

Eine der grundlegenden Erfahrungen der letzten 20 Jahre war, dass man sich zu stark auf die klassischen Überwachungskriterien und die bakteriologischen Indikatoren verlassen hatte und hierdurch große Ausbrüche wie u.a. der trinkwasserbedingte Ausbruch in Milwaukee (<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7578760/>) mit mehr als 400.000 Erkrankungen, 4.000 hospitalisierungsbedürftigen Infektionen und einer Vielzahl von Todesfällen nicht zeitnah auf das Trinkwasser als Infektionsquelle zurückgeführt wurden. Die klassischen mikrobiologischen Indikatoren für die Trinkwasserüberwachung waren bei diesem Ausbruch unauffällig, weswegen dieser durch Cryptosporidien verursachte Ausbruch weder zeitnah erkannt noch effizient unter Kontrolle gebracht werden konnte [5]. Entsprechende Beispiele können auch für andere über Wasser und Abwasser übertragene neue Krankheitserreger angeführt werden.

Bereits 1992 war das Protokoll "Water and Health: Convention on the protection and use of transboundary water causes and international lakes" von zahlreichen Ländern weltweit unterzeichnet worden. Das Protokoll hat zum Ziel, die menschliche Gesundheit durch Verbesserung des Wassermanagements zu schützen und wasserbedingte Erkrankungen zu verhüten, zu kontrollieren und zu reduzieren. Insbesondere in Artikel 8 des Protokolls werden die Länder aufgerufen, ihre Kapazitäten für die Surveillance und das Ausbruchmanagement zu verbessern. Im Einzelnen wird in Artikel 8 aufgeführt, dass entsprechende nationale und lokale Surveillance und Frühwarnsysteme zu etablieren und zu verbessern sind, wodurch

- wasserbedingte Ausbrüche und Störfälle oder entsprechende signifikante Bedrohungen identifiziert werden,
- unverzügliche und konzise Meldungen an die zuständigen Behörden über solche Ausbrüche, Störfälle und Bedrohungen erfolgen,

- im Falle des Auftretens wasserbedingter Erkrankungen die notwendigen Informationen an die öffentlichen Einrichtungen weitergegeben werden, damit Risiken vermieden oder gemildert werden,
- konzise nationale oder lokale Pläne für die Reaktion auf wasserbedingte Ausbrüche, Störfälle und Risiken zeitnah erarbeitet werden und
- die relevanten öffentlichen Institutionen die notwendige Kapazität verfügbar haben, um auf solche Ausbrüche, Störfälle und Risiken entsprechend den Plänen zu reagieren und sie zeitnah, effizient, resilient und nachhaltig unter Kontrolle bringen zu können.

In der im November 2019 erschienenen Monographie der WHO Europe: "Surveillance and outbreak management of water-related infectious diseases associated with water-supply systems. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2019" wird seitens der Weltgesundheitsorganisation Europa darauf hingewiesen, dass eine Reihe von notwendigen Aktivitäten und technischen Voraussetzungen für ein effizientes Surveillance- und Ausbruchmanagement in Europa bislang nicht in ausreichendem Maße etabliert sind. Zusätzlich wird die Notwendigkeit von Investitionen in das Wassermanagement und die Notwendigkeit von Maßnahmen des öffentlichen Gesundheitsschutzes zur Kontrolle wasserbedingter Infektionen unterschätzt, solange keine ausreichende Datengrundlage über die Krankheitslast vorliegt [6].

Dies gilt auch für NRW, wo die Kapazitäten insbesondere für die laborbasierte Wasseruntersuchung auf wasserübertragene Krankheitserreger nicht systematisch strukturiert sind und die zuständigen Gesundheitsämter keinen direkten Zugang zu diesen Untersuchungskapazitäten haben (Infektionsschutz in Nordrhein-Westfalen, Ergebnisse der Gesamtarbeitsgruppe im Auftrag des MGEPA Stand: 10.12.2015).

Hierdurch wird eine Surveillance und ein effizientes Ausbruchmanagement im Sinne des Protokolls "Water and Health: Convention on the protection and use of transboundary water causes and international lakes" nicht ermöglicht.

2 Gegenstand des Berichtes

Schwerpunkt sind aus hygienisch-medizinischer Sicht **Überlegungen und Maßnahmen zur Prävention und Kontrolle hygienisch-mikrobiologischer Risiken**. In gleicher Weise sind jedoch auch chemisch-physikalische Risiken wie z.B. Nitrat, Blei in Gebäuden, Mikroschadstoffe wie persistente, mobile, toxische Stoffe, PFC, Arzneimittelrückstände oder Mikroplastik aus hygienisch-medizinischer Sicht als Hygienerisiken zu berücksichtigen, die jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Bestandsaufnahme sind.

Nordrhein-Westfalen ist ein Bundesland mit hohem Anteil an Oberflächenwassernutzung für die Trinkwasseraufbereitung. Gleichzeitig gehört Nordrhein-Westfalen zu den Bundesländern in Deutschland, die mit über das höchste Innovationspotential auf dem Gebiet der Wasserver- und Abwasserentsorgung auch unter wissenschaftlichen Kriterien verfügen.

Im Folgenden sollen die wichtigsten Grundlagen und die wichtigsten Konzepte insbesondere für Nordrhein-Westfalen dargestellt werden.

In Kapitel 3 werden die Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Gefährdungseinschätzung durch trink- und abwasserbedingte Infektionen haben, dargestellt.

In Kapitel 4 wird auf die Gefährdungsbeurteilung von Wasser- und Abwasserassoziierten Krankheitserregern eingegangen.

In Kapitel 5 wird das Fokusthema: Antibiotika-resistente Erreger in der Wasserversorgungskette behandelt.

In Kapitel 6 wird das hygienisch-mikrobiologische Monitoring entlang der Wasserkette erläutert.

In Kapitel 7 werden die Zuständigkeiten und Strukturen für die hygienisch-mikrobiologische Überwachung, Störfälle und für ein effizientes Ausbruchmanagement behandelt.

In Kapitel 8 werden die sich aus der Bestandsaufnahme ergebenden Konsequenzen für Prävention und Kontrolle Wasser- und Abwasser-assoziiertes hygienisch-mikrobiologischer Risiken in NRW abgeleitet.

Im **Anhang I** werden die (neu) herausgehobenen **Krankheitserreger systematisch charakterisiert**, womit ein (digitales) Nachschlagewerk auch für die Umwelt- und Gesundheitsbehörden zur Verfügung steht.

Alle Darstellungen haben einen engen Bezug zur Praxis, weshalb in **Anhang II ausgewählte Kasuistiken zusammengestellt** sind, bei denen es zu wassergetragenen Krankheitsfällen bzw. Störfällen größeren Ausmaßes gekommen ist.

In einem **weiteren eigenen Dokument** werden Hinweise für konkrete **politische Strategien** dargestellt und begründet, die notwendig sind, um in NRW zukunftsorientierte Strukturen bei den zuständigen Stellen des Landes und innerhalb der Wasserversorgung auch im europäischen Vergleich sicherzustellen, die in der Lage sind, weit vorausschauend Risiken zu benennen, zu erkennen, zu analysieren, zu bewerten und effizient vorzubeugen und unter Kontrolle zu bringen.

Ziel aller „Wissenschaft“ ist es „Wissen zu schaffen“, Ziel der wissenschaftlichen Hygiene als medizinischer Disziplin ist es, das erworbene Wissen im Hinblick auf die Konsequenzen für die öffentliche und weltweite Gesundheit (Public and Global Health) zu bewerten und unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit die zur Sicherung der Gesundheit notwendigen Maßnahmen zu empfehlen und zu kommunizieren.

3 Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Gefährdungseinschätzung durch trink- und abwasserbedingte Infektionen haben

Zu den Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Gefährdung durch Krankheitserreger über Trinkwasser, Gewässer bzw. Abwasser haben, zählen

- Rohwasserressourcen
- Rohwasserqualität
- Klimawandel
- Demographische Entwicklung
- Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren von Trink- und Abwasser
- Besondere Gefährdungssituationen in Krankenhäusern, medizinischen Einrichtungen und pharmazeutischen Betrieben
- Wasserversorgungsstruktur, Verantwortlichkeiten für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie deren Überwachung
- geänderte Sicherheitslage mit Auswirkung auf die Trinkwasserver- und Abwasserentsorgung

Diesen Aspekten kommt in NRW wegen des hohen Anteils an Oberflächenwassernutzung für die Trinkwasseraufbereitung sowie des in vielen Gewässern hohen Abwasseranteils eine besondere Bedeutung zu.

3.1 Rohwasserressourcen

Entsprechend den statistischen Berichten NRW 2013 werden in Nordrhein-Westfalen für die öffentliche Wasserversorgung jährlich 1,178 Mrd. m³ Wasser benötigt. Das Rohwasser für die Trinkwassergewinnung wird zu unterschiedlichen Teilen den in folgender Abbildung 1 dargestellten Ressourcen entnommen, wobei regional die Herkunft für die öffentliche Wasserversorgung stark variiert.

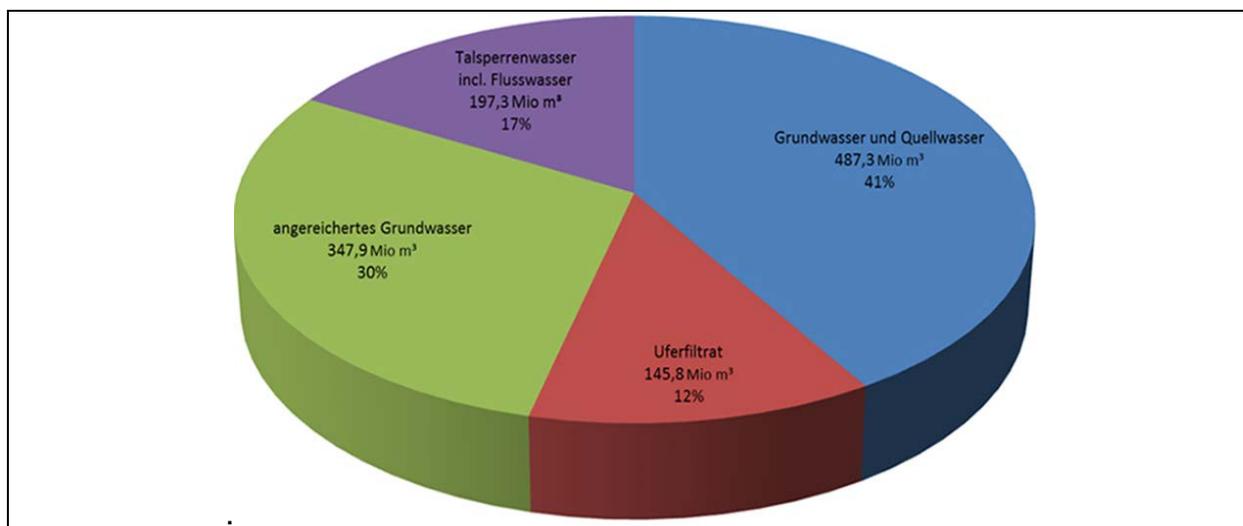


Abbildung 1: Variierender Anteil der Herkunft des Wassers für die öffentliche Wasserversorgung in NRW 2013

[\(https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/wasserversorgungstrinkwasser/trinkwasserressourcen_herkunft_des_trinkwassers/\)](https://www.lanuv.nrw.de/umwelt/wasser/wasserversorgungstrinkwasser/trinkwasserressourcen_herkunft_des_trinkwassers/)

In NRW wird das Rohwasser nur zu 41 % aus Grundwasservorkommen gewonnen, während der Anteil deutschlandweit bei 69,1 % liegt. Dies macht wiederum die besondere Stellung Nordrhein-Westfalens bezüglich der Oberflächenwasserbeeinflussten Rohwasserressourcen deutlich. Hieraus lässt sich theoretisch auch eine andere Vulnerabilität der Rohwasserressource gegenüber potentiell eingetragenen Krankheitserregern ableiten.

Im Gewässerbericht des Bundesgesundheitsministeriums und des Umweltbundesamtes ist das Volumen des in den Wasserversorgungsgebieten verteilten Trinkwassers und der Anteil der für die Trinkwasserversorgung genutzten Rohwasserressourcen in Deutschland für das Berichtsjahr 2016 aufgeführt (siehe Abbildung 2).

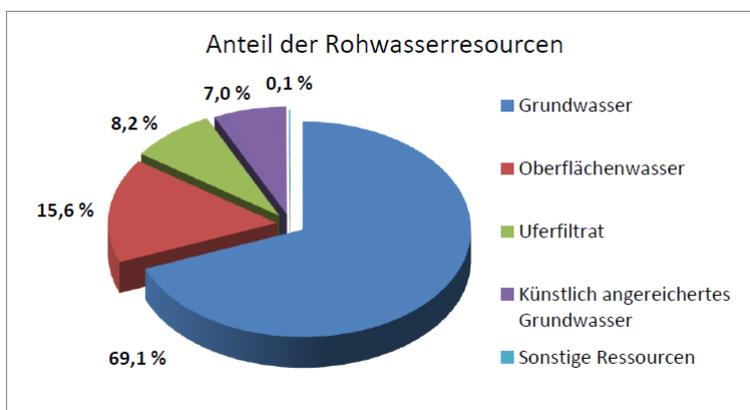


Abbildung 2: Anteil der Rohwasserressourcen in % für die Trinkwasserversorgung in Wasserversorgungsgebieten in Deutschland, in denen mehr als 1 000 m³ Trinkwasser pro Tag verteilt oder mehr als 5 000 Personen versorgt werden (Berichtsjahr 2016)

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/publikationen/2018-05-22_uug_02-2018_trinkwasserqualitaet_2014-2016.pdf

3.2 Rohwasser-Qualität

Während zur Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch in Deutschland regelmäßig ein Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher herausgegeben wird, gibt es in Deutschland keine zusammenfassenden Berichte über Störfälle und trinkwasserbedingte Ausbrüche, wie dies in anderen Ländern wie den Vereinigten Staaten oder England bzw. den skandinavischen Staaten üblich ist [7-9].

Die Qualität von Oberflächengewässern bzw. von durch Oberflächengewässer beeinflussten sonstigen Rohwasser-Ressourcen wird u.a. durch Abwassereinleitungen beeinflusst, was in Abhängigkeit von den Erregern und der Art der Aufbereitung einen Risikofaktor für trinkwasserbedingte Infektionen darstellen kann. Surveillance Daten hierzu liegen jedoch für NRW nicht vor.

Die Abwasserbeseitigung und Abwasserforschung in Nordrhein-Westfalen sind auch im internationalen Vergleich auf einem hohen Stand. Hiervon zeugen das Abwasserbeseitigungs-Konzept und die Berichte über die kommunale Abwasserbeseitigung bzw. auch die industrielle Abwasserbeseitigung sowie die Gewässerbelastung aus Einleitungen und die Förderung von F und E-Projekten zur Abwasserbeseitigung. Seit 2016 haben die Gemeinden zur langfristigen Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung gemäß § 38 Absatz 3 des Landeswassergesetzes in NRW ein Konzept über den Stand und die zukünftige Entwicklung der Wasserversorgung in ihren Gemeindegebieten aufzustellen.

Die Wasserversorgungskonzepte sowie auch die Abwasserbeseitigungskonzepte, die in NRW etabliert sind, sind daher vorrausschauend und beispielhaft.

Es muss jedoch festgestellt werden, dass - wie in zahlreichen EU-Ländern und anderen Bundesländern - das Thema **Krankheitserreger sowohl in Trinkwasser als auch in Abwasser** bislang einen nur untergeordneten Stellenwert hat, der seiner gesundheitspolitischen Bedeutung einschließlich der Überwachung nicht angemessen ist und erst in den letzten Jahren einen neuen Stellenwert erhalten hat.

Rohwasser wird entsprechend der Richtlinie für die Rohwasserüberwachung von Grundwasser, Quellwasser, Uferfiltrat und angereichertem Grundwasser nach § 50 des Landeswassergesetzes NRW (Rohwasserüberwachungs-Richtlinie) nicht auf Mikroorganismen oder Indikatoren für Krankheitserreger untersucht. In der neuen Trinkwasserrichtlinie des Landes wird es Regelungen zur Untersuchung von Viren in Rohwasser geben.

In den letzten Jahren lag für die Abwasserreinigung die Fokussierung auf der Schadstoffbeseitigung insbesondere von Spurenstoffen. Bis zum Jahr 2013 hatte das Thema Krankheitserreger faktisch keine erhöhte Aufmerksamkeit im Hinblick auf die Abwasserbeseitigung.

Dies änderte sich mit dem Legionellen-Ausbruch in Warstein 2013, bei dem insgesamt 159 Personen an zum Teil sehr schwer verlaufenden Legionellen-Infektionen mit der Notwendigkeit einer intensivmedizinischen Behandlung erkrankten und mindestens zwei Todesfälle auftraten. In diesem Fall konnte die Quelle ursächlich in Belebungsbecken von Abwasserbeseitigungsanlagen nachgewiesen werden, worin Legionellen einschließlich des Epidemie-Stammes in Konzentration von bis zu 100 Mio. KBE / 100mL Legionellen nachgewiesen werden konnten. Nachweise von Legionellen in dieser Größenordnung waren bis zu diesem Zeitpunkt in Umweltkompartimenten nahezu unbekannt.

(https://www.umwelt.nrw.de/fileadmin/redaktion/PDFs/umwelt/legionellen_warstein_ausbruchmanagement.pdf)

Die Empfehlungen einer vom nordrhein-westfälischen Umweltministerium einberufenen Expertenkommission haben dazu geführt, dass in Nordrhein-Westfalen Methoden zum kulturellen Nachweis von Legionellen in Abwasser vereinheitlicht wurden und dass mit dem Erlass des damaligen MKULNV vom 06.08.2016 in NRW als erstem und bislang einzigem Bundesland in Deutschland eine Selbstüberwachung für Legionellen für Abwasseranlagen eingeführt hatte.

3.3 Klimawandel

Die Auswirkungen des Klimawandels auf Abwasser, Gewässer und Trinkwasser sind seit mehr als zwei Jahrzehnten Gegenstand der Diskussion. Wichtige Faktoren des Klimawandels mit Auswirkung auf die Wasserver- und Abwasserentsorgung sind:

- Temperaturerhöhung
- Zunahme von Starkregenfällen
- Zunahme von niederschlagsarmen Perioden

Bereits 2007 hatte die EU Kommission eine Mitteilung: „Antworten auf die Herausforderung von Wasserknappheit und Dürre in der Europäischen Union“ veröffentlicht.

Im Jahr 2010 hat die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) ein Strategiepapier „Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft – Bestandsaufnahme und Handlungsempfehlungen“ veröffentlicht, welches vor dem Hintergrund der fortgeschrittenen Erkenntnisse zum Klimawandel und seinen Folgen und nach dem 5. Sachstandbericht des Weltklimarates aufgrund eines Beschlusses der LAWA-Vollversammlung 2017 dem heutigen Kenntnisstand angepasst wurde. Auf dieses Papier wird ausdrücklich verwiesen, da darin die Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserwirtschaft für Deutschland im Detail dargestellt werden.

Neben den Auswirkungen regionaler und zukünftiger Klimaänderungen und insbesondere auch extremer Ereignisse auf die Temperatur in Gewässern und auch in Trinkwasser wird auf die Konsequenzen für Hochwasser, Sturzfluten und Niedrigwasser bzw. Dürreperioden eingegangen. Dieses Strategiepapier stellt eine sehr gute Zusammenfassung des bisherigen Kenntnisstandes dar. Ziel der BMBF-Fördermaßnahme „KLIMZUG – Klimawandel in Regionen zukunftsfähig gestalten“ war es, die regionale Anpassungskompetenz in Deutschland zu erhöhen. Im KLIMZUG-Projekt „dynaklim“ wurde die „Dynamische Anpassung an den Klimawandel“ der Emscher-Lippe-Region untersucht.

Die Auswirkungen dieses Klimawandels können von Region zu Region sehr unterschiedlich sein und müssen kleinräumig beobachtet werden. Auch NRW bleibt von den Klimafolgen nicht verschont, wie die aufgezeichneten Klimafolgeindikatoren zeigen (LANUV, 2013).

In allen genannten Projekten / Papieren wird jedoch nicht detailliert auf die Konsequenzen für Hygienerisiken bzw. die Konsequenzen einer Konzentrierung von Mikroorganismen bei Niedrigwasser bzw. Abschwemmung von Mikroorganismen in Gewässer und Talsperren sowie die Konsequenzen einer Temperaturerhöhung im Wasser für das mikrobielle Wachstum in aquatischen Biotopen eingegangen.

Im Jahr 2017 wurde von der Weltgesundheitsorganisation die Dokumentation „**Climate-resilient water safety plans: Managing health risk associated with climate variability and change**“ veröffentlicht. Hierin wird explizit auf Krankheitserreger, die

zugrunde liegenden Faktoren, Beispiele für assoziierte Krankheitserreger, Beispiele für kritische Ereignisse und Beispiele von Kontrollmaßnahmen eingegangen.

(<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/258722/9789241512794-eng.pdf;jsessionid=369E45D249FCBC0A78068B9E8B13F100?sequence=1> 2017)

Hierbei werden neben fakultativ-pathogenen Mikroorganismen wie Legionella spp. auch coliforme Bakterien, Biofilm-assoziierte Bakterien sowie Ammonium-oxidierende Bakterien genannt. Bei den Legionellen spielen insbesondere Temperaturerhöhungen eine begünstigende Rolle.

Als Maßnahmen zur Kontrolle fakultativ-pathogener Mikroorganismen werden – für Rohwasserquellen – die Reduktion organischer Materialien im Wasser, die Entnahme von Rohwasser aus kühleren Tiefen, – für die Trinkwasseraufbereitung – die verbesserte Flockung, die Erhöhung von Chlorkonzentrationen und der Wechsel zu Desinfektionsmitteln mit reduziertem Abbau, wie z.B. Chloramine, genannt. Chloramine sind jedoch in Deutschland aus toxikologischen Gründen nicht zugelassen. Für das Verteilungsnetz werden weiterhin eine Verringerung der Verweildauer von Wasser in Wasserversorgungssystemen bzw. die Reduktion von Stagnation genannt.

3.3.1 Temperaturerhöhung

Um regionale Konsequenzen durch den Klimawandel bewerten zu können, wurden im KLIMZUG-Projekt „dynaklim“ zunächst historische Klimadaten aus NRW für die Emscher-Lippe-Region ausgewertet.

(<https://iww-online.de/download/dynaklim-sichere-wasserversorgung-im-klimawandel/?wpdmdl=3854&ind=0>)

Mit Hilfe eines regionalen Klimamodells an Emscher, Lippe und Ruhr wurden Prognosen berechnet, die auf einen Anstieg der mittleren Jahrestemperaturen von +2 bis zu +3,5 Grad Celsius bis zum Jahr 2100 hinweisen.

Die Jahresniederschlagssummen werden sich voraussichtlich nur wenig um bis zu 5 Prozent erhöhen, jedoch wesentlich in die Wintermonate verlagern. Es muss mit der Zunahme von klimatischen Extremen wie Starkregen oder häufigeren und länger andauernden Hitze- und Trockenperioden in den Sommermonaten gerechnet werden. Milderer Winter werden heißere und trockenere Sommer mit einer spürbar höheren Anzahl an heißen Tagen gegenüberstehen [10].

Osmancevic und Engelfried berichten 2018 über ein gemeinsames Forschungsprojekt der Hochschule Rottenburg am Neckar in Kooperation mit der Hochschule Esslingen sowie der Universität Stuttgart, in welchem die Ursache für die Erwärmung des Trinkwassers in Trinkwasserversorgungssystemen untersucht wurde [11].

Dabei konnte gezeigt werden, dass in der Aufbereitung und Gewinnung des Trinkwassers geringe Temperaturschwankungen vorliegen und das Wasser im Bereich der Netzeinspeisung mit Temperaturen von 12,4 – 13,2°C stets frisch und kühl ist. Hingegen wurde in den Hochbehältern Temperaturen zwischen 15,4 – 19,1°C gemessen. Insbesondere im Sommer fand eine deutliche Erhöhung der Temperatur in den Haupt-, Zubringer- und Fernleitungen bzw. den Wasserspeichern statt. Als Folge wurden im Bereich von Versorgungs- und Hausanschlussleitungen Trinkwassertemperaturen von 25°C gemessen, die sich für die Vermehrung von Legionellen bereits begünstigend auswirken (Abbildung 3).

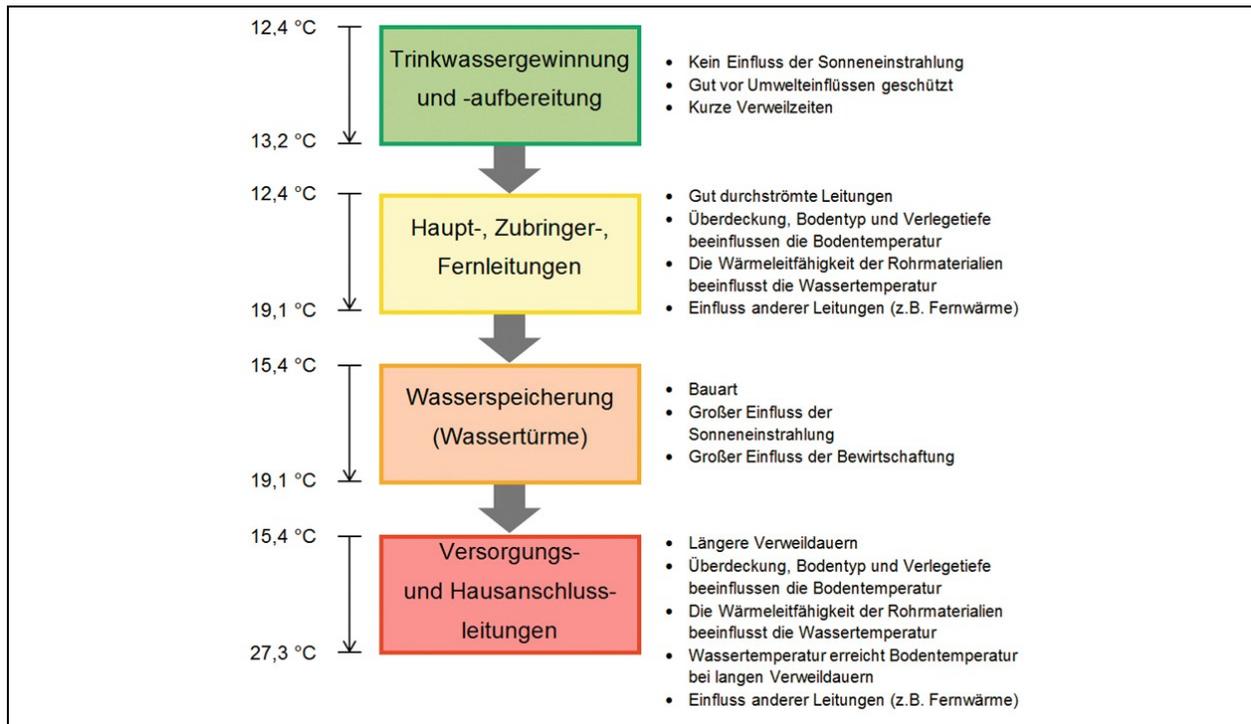


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf die Trinkwassertemperatur nach Osmanovic et al. (11)

In dem Projekt Dynaklim wird die Temperaturentwicklung im Trinkwasser im Verteilungsnetz der Stadt Oberhausen untersucht. Die Temperaturentwicklung im Trinkwasser im Verteilungsnetz Oberhausen ist in Abbildung 4 dargestellt

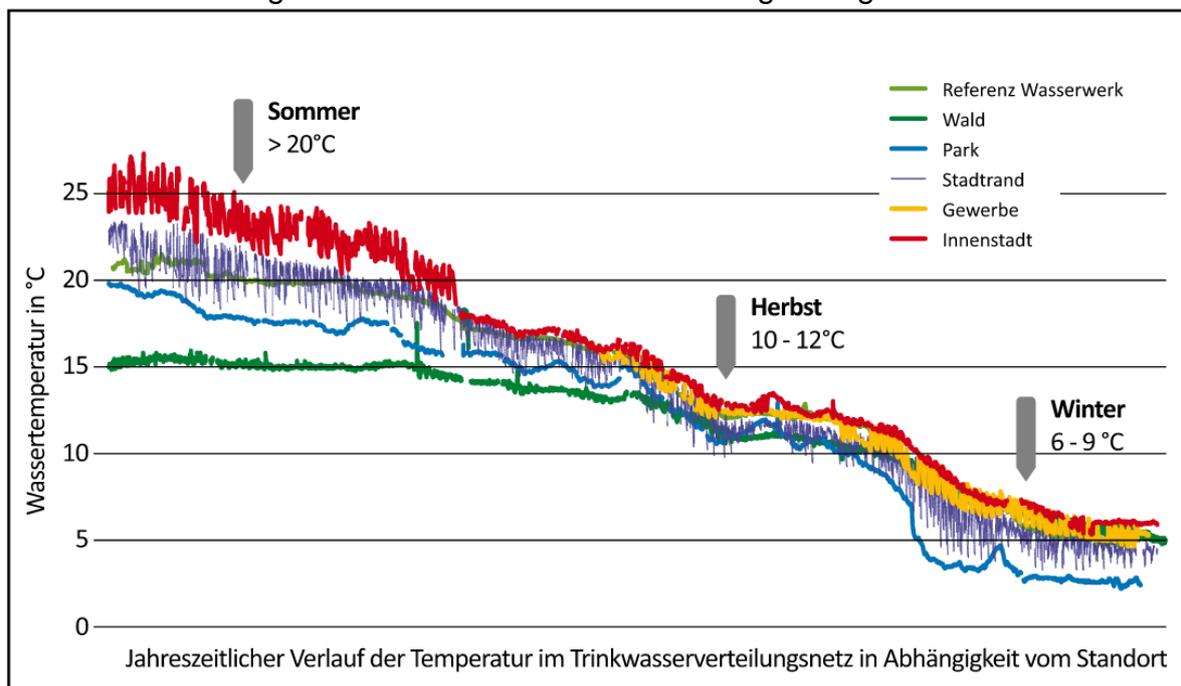


Abbildung 4: Temperaturentwicklung im Trinkwasser im Verteilungsnetz Oberhausen von Juli 2010 bis Januar 2011 (Quelle: IWW) Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels (Dynaklim)

(<https://iww-online.de/download/dynaklim-sichere-wasserversorgung-im-klimawandel/?wpdmdl=3854&ind=0>)

Erhöhte Temperaturen (>20 °C) begünstigen insbesondere das Wachstum von Legionellen aber auch von Coliformen, wodurch bereits an der Übergabestelle in Gebäude höhere Konzentrationen u.a. an Legionellen eingeschwemmt werden können. So wird auch bei dem Legionellen-Ausbruch im September 2017 in einer Klinik in NRW mit insgesamt 14 Legionellose-Fällen (4 Patienten verstorben = Letalität 28%) diskutiert, inwieweit die zu diesem Zeitpunkt erhöhten Trinkwassertemperaturen (mehr als 20°C an der Übergabestelle aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz in die Trinkwasserinstallation) das Auftreten dieses Ausbruches begünstigt haben. Die zuvor im März 2017 durchgeführten Untersuchungen hatten keine auffallenden Legionellen-Konzentrationen ergeben. Die im September durchgeführten ausgedehnten Untersuchungen der Trinkwasserinstallationssysteme warm und kalt zeigten jedoch erhöhte Temperaturen im Kaltwasserbereich und eine systemische Legionellenkontamination des Trinkwasserinstallationsnetzes mit Nachweis auch des Epidemiestammes in Konzentrationen über dem Technischen Maßnahmewert (Hornei, B., Vortrag Hygieneforum Bonn, 2018).

Insgesamt muss mit deutlichen Auswirkungen für das Auftreten von obligat- und fakultativ-pathogenen Mikroorganismen sowohl aufgrund der Temperaturerhöhung als auch aufgrund von Abschwemmungen bei Starkregenfällen und Wachstumsförderung oder Aufkonzentrierung bei Niedrigwasser gerechnet werden [12, 13]. Die Temperaturerhöhung in den Gewässern wird auch Konsequenzen für das vermehrungsverhalten von Mikroorganismen wie *Vibrio vulnificus* haben[14].

3.3.2 Starkregenfälle

Bereits 2001 wurden von Rose et al. [12] die Konsequenzen der Klimaveränderungen und die Auswirkungen auf das Auftreten wasserbedingter Erkrankungen durch mikrobiologische Agenzien detailliert thematisiert und die Konsequenzen für den Wasserschutz, die Infrastruktur, Regenüberlaufmaßnahmen aufgezeigt. Dies geschah unter Berücksichtigung der potentiellen trinkwasserbedingten Infektionserreger wie EHEC, Cryptosporidien, Antibiotika-resistente Bakterien und ihrer Bedeutung für die immer größer werdende vulnerable Population (ältere Personen, AIDS-Patienten, Patienten unter Immunsuppression und medizinischer Behandlung). Die Auswirkungen der Belastung von Gewässern ggf. für die Aufbereitung von Trinkwässern infolge von Starkregenfällen und Abschlägen unzureichend gereinigten Abwassers aus Kläranlagen werden hierin ausführlich behandelt.

2015 wurde in einem Review die Assoziation zwischen extremem Niederschlag oder Temperatur und trinkwasserassoziierten wasserbedingten Ausbrüchen behandelt [15]. **Insgesamt ist eine positive Korrelation zwischen Starkniederschlägen und Infektionsausbrüchen in einer Vielzahl von Studien festgestellt worden [15-24].** Unter den Mikroorganismen, deren Auftreten durch Klimaveränderungen beeinflusst wird, sind Mikroorganismen bzw. Krankheitserreger wie *Cryptosporidium parvum*, *Campylobacter spp.* und *Noroviren* genannt.

Die Autoren weisen zudem auf die Komplexität der Problematik hin, weil die Assoziation vom spezifischen Erreger, der geographischen Region, der Jahreszeit, dem Typ der Wasserversorgung, der Rohwasserqualität und der Wasseraufbereitung abhängig ist. Dabei ist zu beachten, dass auch bestimmte Grundwasserleiter, z.B. in Karst- und Kluft-Gesteinen, durch Starkregenereignisse mikrobiologisch kontaminiert werden können [25-27].

Zu den Ausbrüchen mit Assoziation zu Starkregenfällen zählt auch der Cryptosporidien-Ausbruch in Milwaukee 1993 und der EHEC- und *Campylobacter*-Ausbruch in Walkerton (Kanada).

Besondere Bedeutung hatte im Hinblick auf die Assoziation von Infektionen und Starkregenfällen der Cryptosporidien-Ausbruch in Milwaukee mit mehr als 400.000 erkrankten Personen.

Bei diesem Ausbruch kam es über das Trinkwassersystem zur Ausbreitung von Cryptosporidien, an denen mehr als 403.000 Menschen erkrankten, allein 44.000 Personen mussten ambulant versorgt werden, 4.400 mussten hospitalisiert werden und nach offiziellen Angaben starben 69 Menschen, von denen 93 % Patienten mit AIDS waren. (In NRW leben nach Schätzungen des RKI 2015 18.400 (16.900 bis 19.800) Menschen mit HIV/ AIDS (https://www.aids-nrw.de/upload/pdf/hin_und_aids_in_nrw/2016/EckdatenNordrheinWestfalen.pdf)) Es wird davon ausgegangen, dass insgesamt bis zu 725.000 Tage an Produktionsausfall durch diesen Ausbruch resultierten. Die gesamten Kosten des Ausbruches werden mit 96,2 Mio. US-Dollar geschätzt, von denen allein 31,7 Mio. Dollar durch medizinische Behandlung und 64,6 Mio. aufgrund von Produktivitätsverlusten verursacht wurden [28]. Obwohl kein einziger Faktor alleine als ursächlich identifiziert werden konnte, werden verschiedene Rahmenbedingungen, die den Ausbruch begünstigten, ursächlich diskutiert. Hierzu zählten

- die Lage des südlich gelegenen Wasserwerkes, wobei hier der Ausfluss von drei Flüssen, die in den Hafen von Milwaukee mündeten, als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung genutzt wurde,
- ungewöhnlich heftige Regenfälle,
- Schneeschmelze,
- Abspülen von Feldern und stürmische Wetterbedingungen,
- Kurzschlußverbindungen zwischen dem Abfluss eines Schlachtbetriebes,
- Schwierigkeiten bei der korrekten Dosierung des bei der Trinkwasseraufbereitung verwendeten Flockungsmittels,
- Wiederverwendung von Filterspülwässern zur Trinkwasseraufbereitung,
- Anstieg der Cryptosporidium-Oozysten infolge Ausscheidung von Tausenden erkrankter Personen, wobei diese durch Abschläge der Abwässer bei den Starkregenfällen zu einer zusätzlichen Belastung des Rohwassers führten,
- fehlende Kapazität bei der Kläranlage, den hohen Anteil von Abwasser aufzubereiten, weshalb es zu Abschlägen von unaufbereitetem Abwasser in die Flüsse kam [29].

Auch einer der größten bakteriellen Ausbrüche der letzten Jahrzehnte mit enterohämorrhagischen *Escherichia coli* (EHEC) und *Campylobacter spp.* steht im Kontext mit Starkregenfällen, die zu einer massiven Kontamination eines Brunnens in der Stadt Walkerton in Kanada geführt hatten [30]

Im gleichen Jahr wie der Cryptosporidien-Ausbruch in Milwaukee kam es im September/Oktober 1993 zu Starkregenfällen in der Nordeifel. Die Dreilägerbachtalsperre wurde nach Sanierungsarbeiten durch den damaligen Umweltminister von Nordrhein-Westfalen - Herrn Matthiesen - eröffnet. Am Abend des gleichen Tages wurde von niederländischen Behörden, die auch Trinkwasser aus der Talsperre bezogen, gemeldet, dass *E. coli* im Trinkwasser nachgewiesen sei.

Hierauf initiierte Untersuchungen zur Abklärung der Ursachen und der Kontamination mit weiteren Indexpathogenen ergaben u.a. den Nachweis auch von Cryptosporidien und Giardien neben Noroviren im Trinkwasser, weswegen eine über mehrere Wochen dauernde Abkochempfehlung im Versorgungsgebiet in Aachen und in den Niederlanden ausgesprochen wurde (Exner, Tuschwitzki, Gutachten 1994).

Die entsprechenden Untersuchungen ergaben, dass es im Zusammenhang mit Starkregenfällen u.a. zu einer sturzbachartigen Entleerung von Straßengräben direkt in die Dreilägerbachtalsperre gekommen war. Hierdurch kam es zu einer massiven

Trübungserhöhung im Rohwasser der Trinkwasseraufbereitung, die auch durch Gegensteuerung z.B. durch Zugabe von Flockungsmitteln nicht unter Kontrolle gebracht werden konnte. Die erhöhte Belastung und die Schwierigkeiten der Flockungsfiltration, mit einer derartig erhöhten Trübungsbelastung fertig zu werden, führten – ähnlich wie auch in Milwaukee - mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Durchbruch der mikrobiellen Belastung einschließlich Cryptosporidien, Giardien und Noroviren. Die weitergehende Abklärung im Umfeld ergab, dass in den Zuläufen der Talsperre und im weitergehenden Talsperrenverbundsystem direkte Einflüsse von Siedlungsabwässern und landwirtschaftlichen Abwässern bestanden.

Unter Berücksichtigung auch internationaler Erfahrungen wie in Milwaukee und durch den Störfall in der Nordeifel wurden erhebliche Verbesserungsmaßnahmen eingeführt, und das Water Safety-Konzept der WHO aufgrund der Erfahrungen dieses Störfalles mit begleitet und weiter entwickelt. Die hieraus sich entwickelnden Konzepte für eine Risikobewertung der Talsperren in der Nordeifel werden in dem von der WHO herausgegebenen Dokument „Protecting surface water for health. Identifying, assessing and managing drinking-water quality, risks and surface-water catchments“ (2016) ausdrücklich als gutes Beispiel genannt.

<http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/246196/9789241510554-eng.pdf;jsessionid=AF9C5318F150EAB3F371D7CC32EB27DC?sequence=1>).

In Folge dieses Störfalles wurden seitens des Umweltministeriums NRW weitergehende Untersuchungen von Talsperren in Auftrag gegeben, die durch das Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn durchgeführt wurden [17]. Die Untersuchungen, die an den Zuläufen von drei Talsperren mit deutlich unterschiedlich charakterisierten Einzugsgebieten erfolgten, ergaben, dass sich infolge von Starkregenfällen bei den chemischen Parametern nur die Parameter Trübung, pH und Nitrat von den Ergebnissen aus Normalperioden deutlich unterschieden [17]. Bei den meisten bakteriologischen Parametern wie Koloniezahl, *E. coli*, Coliforme, Fäkalstreptokokken und *Clostridium perfringens* kam es in den Zuläufen zu den Talsperren zu einem erheblichen Anstieg während Starkregenfällen in den Zuläufen zu den Talsperren. Ebenfalls kam es zu einem erheblichen Anstieg von *Giardia*- und *Cryptosporidien*-Dauerstadien. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass die normalerweise bei Normalwetterperioden entnommenen mikrobiologischen Parameter unzureichend sind, um die mikrobiologische Belastung zu charakterisieren, die bei Starkregenfällen plötzlich um das bis zu 100-fache ansteigen und gegebenenfalls die Trinkwasseraufbereitung belasten können.

Ein einziger kurzfristiger Durchbruch von Krankheitserregern durch das Trinkwasseraufbereitungssystem kann jedoch ausreichend sein, um einen trinkwasserbedingten Infektionsausbruch wie in Milwaukee oder Walkerton auszulösen [29-31].

Für die Rohwasserüberwachung wurde daher im Zusammenhang mit einem Multi-barrierensystem empfohlen, Rohwasserproben auch während extremen Wetterbedingungen zu entnehmen. Diese Empfehlung wird an dem Talsperrensystem in der Nordeifel seitdem in Form von ca. zwei Beprobungen bei Extremwetterlagen pro Jahr umgesetzt. Außerdem wurden in den Einzugsgebieten Maßnahmen umgesetzt, die verhindern sollen, dass bei Starkregen kontaminiertes Material (z.B. Exkremente von Vieh auf Weiden, Straßenablaufwässer) direkt in die Vorfluter oder die Talsperren gelangen kann. Die Beprobungen bei Starkregen haben sich als Frühwarnsysteme für Belastungen der Trinkwasseraufbereitung einerseits und als Anzeiger für Mängel im Schutz der Vorfluter bewährt.

3.3.3 Niederschlagsarme Perioden

Nach Darstellung des DVGW war das Trockenjahr 2018 eine Folge des Klimawandels. Es sei anzunehmen, dass solche extremen Trockenphasen in Zukunft häufiger auftreten werden. Auch mehrere aufeinanderfolgende Trockenjahre seien ein realistisches Szenario, auf das sich die Wasserversorgung vorbereiten müsse. Jeder Versorger solle für sich prüfen, ob er in allen Teilen seines Versorgungssystems, angefangen bei den verfügbaren Trinkwasserressourcen bis hin zur Netzhydraulik, über die in Extremwetter-Situationen notwendigen Systemreserven und Redundanzen verfüge. Wasserversorger benötigten in jedem Fall Rechts- und Investitionssicherheit für Maßnahmen, die zur Resilienz des Wasserversorgungssystems bei Extremwetter-Ereignissen beitragen. Der Vorrang der Trinkwasserversorgung vor anderen Wassernutzungen müsse ebenso diskutiert werden wie die Frage: „Welche Wasserqualität für welche Nutzung?“, u.a. vor dem Hintergrund der großen Wasserbedarfe für die landwirtschaftliche Beregnung. Bei der Notfallvorsorgeplanung müssten Zuständigkeiten geklärt und die Abstimmung zwischen Wasserversorgern, Kommunen, Behörden und den Einrichtungen des Katastrophenschutzes verbessert werden. Die Veränderung der hygienisch relevanten Einträge in ein Oberflächengewässer wurde in dem gemeinsamen Abschlussbericht 'Sichere Ruhr – Badegewässer und Trinkwasser für das Ruhrgebiet' untersucht. Hierbei zeigte sich, dass bei Trockenwetterverhältnissen die Kläranlagenabläufe den höchsten Anteil der hygienisch relevanten Einträge in die Ruhr ausmachen. Je höher der Anteil von Kläranlagenabflüssen an der mikrobiellen Belastung von Oberflächenwässern wie dies bei Trockenwetterperioden am Beispiel von E. coli gezeigt wird, umso höher wird auch der Anteil an humanpathogenen Erregern sein. Im Regenwetterfall hingegen ist der Eintrag durch Mischwasserentlastungen maßgeblich. Dabei zeigte sich, dass der Eintrag hygienisch relevanter Frachten bei Regenwetter von Bedeutung ist, da die resultierenden Gewässerbelastungen bis zu zwei Tage andauern, bevor die Grenzwerte der Badegewässer-Verordnung wieder unterschritten werden. Die Ergebnisse sind der Abbildung 5 und Abbildung 6 zu entnehmen.

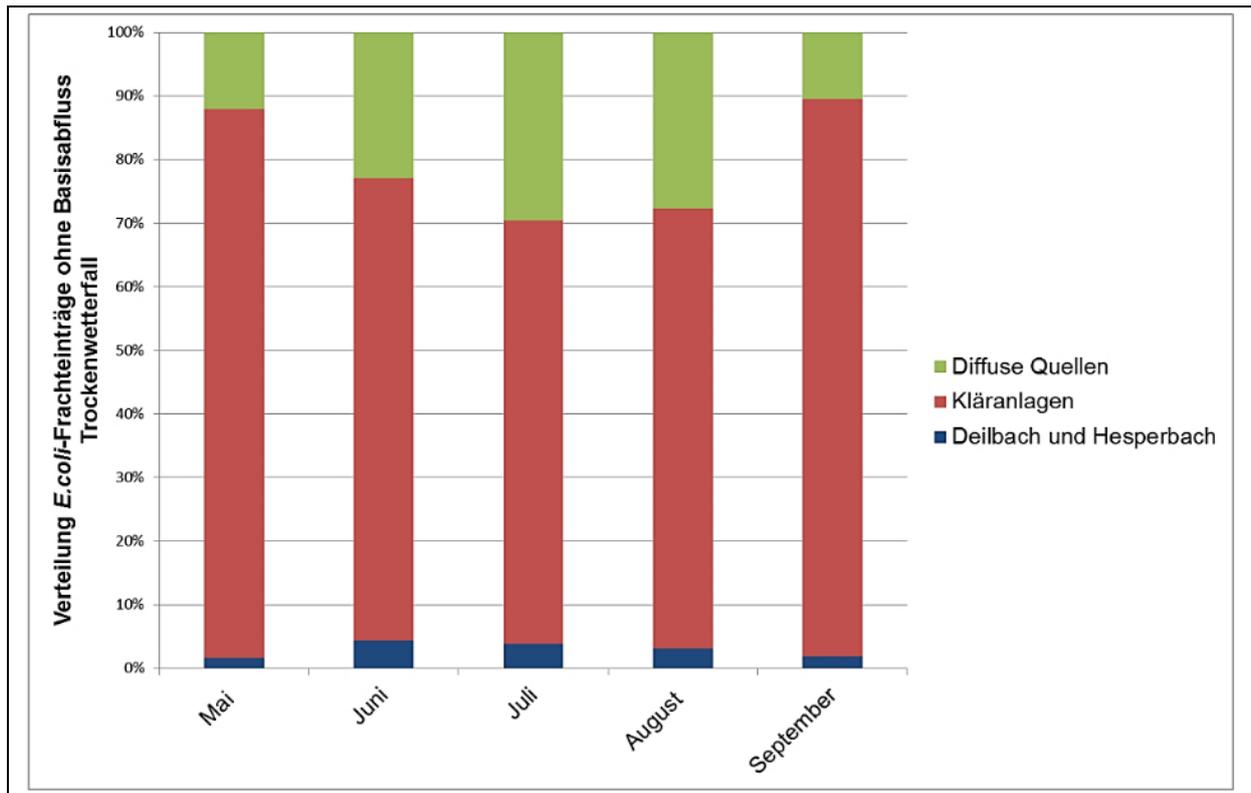


Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der E. coli-Frachteinträge ohne Basisabfluss der Ruhr bei Trockenwetter (Basisszenario)

http://www.ruhrverband.de/fileadmin/pdf/wissen/Forschung_u._Entwicklung/Abschlussbericht_Sichere-Ruhr_Gesamtverbund_final-2.pdf

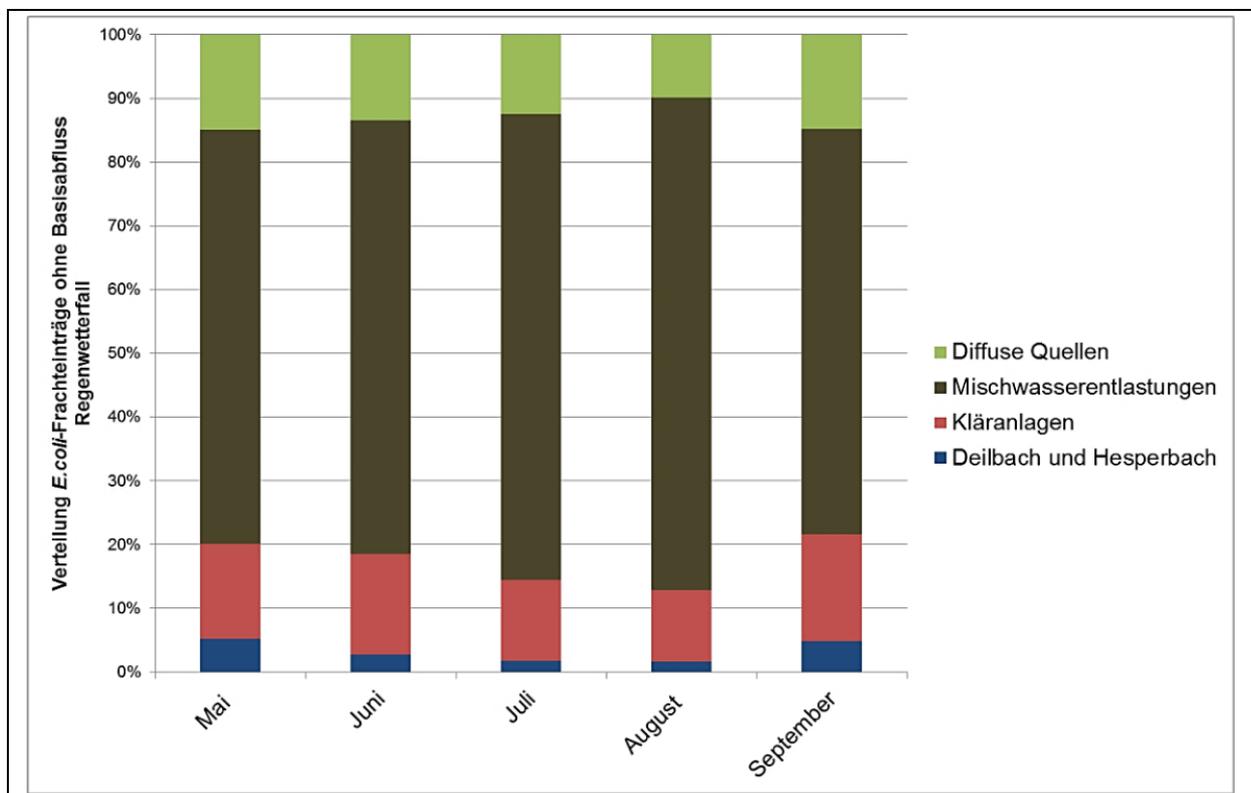


Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der E. coli-Frachteinträge ohne Basisabfluss der Ruhr bei Regenwetter (Basisszenario)

http://www.ruhrverband.de/fileadmin/pdf/wissen/Forschung_u._Entwicklung/Abschlussbericht_Sichere-Ruhr_Gesamtverbund_final-2.pdf

Insgesamt zeigen die vorgenannten Studien und Ergebnisse, dass

- der Anstieg der Temperaturen infolge des Klimawandel auch zur Erhöhung der Wassertemperaturen, einschließlich des Wasserverteilungsnetzes mit Begünstigung des bakteriellen Vermehrungsverhaltens insbesondere für Legionellen spec. sowie ggf. auch für Coliforme Bakterien, führt.
- Extremwetterereignisse - sowohl Starkregenfälle wie auch Dürreperioden - die Rohwasserbelastung insbesondere von oberflächenbeeinflussten Rohwässern deutlich beeinflussen.

3.4 Demographischer Wandel

Zu den prägenden Rahmenbedingungen weltweit und insbesondere auch in Deutschland zählt die mit dem demographischen Wandel einhergehende **Änderung der Vulnerabilität der versorgten Bevölkerung** gegenüber Krankheitserregern, die u.a. auch mit dem Wasser bzw. Abwasser assoziiert sein können.

Entsprechend den Angaben des Bundesinstitutes für Bevölkerungsforschung (Bevölkerungsentwicklung, Daten, Fakten, Trends zum demographischen Wandel 2016) geht man davon aus, dass der Anteil der unter 20jährigen bis zum Jahr 2060 auf rund 16 % absinken und derjenige **der älteren Menschen ab 65 Jahre weiter auf 32 % ansteigen wird**. Den stärksten Anstieg wird es in Zukunft nach Angaben des Bundesinstitutes für Bevölkerungsforschung (BIB) **bei den Hochbetagten ab 80 Jahre geben, d.h. jeder Achte wäre im Deutschland des Jahres 2060 mindestens 80 Jahre alt**.

Mit zunehmendem Alter steigt das **Risiko für gesundheitliche Beeinträchtigungen und Vulnerabilität auch für Infektionskrankheiten**. Körperliche Einschränkungen und Vulnerabilität in der zweiten Lebenshälfte sind häufig chronisch und irreversibel, wobei bei alten Menschen häufig Multimorbidität und erhebliche Mobilitätseinschränkungen auftreten. Infolge dessen wird die medizinische Versorgung und Pflege älterer Menschen zu einer der großen Herausforderungen werden. Gegenwärtig gelten etwa 2,6 Millionen Menschen in Deutschland als pflegebedürftig im Sinne des XI. Sozialgesetzbuches. Bis zum Jahre 2060 wird die Zahl der Pflegebedürftigen auf beinahe 4,7 Millionen ansteigen.

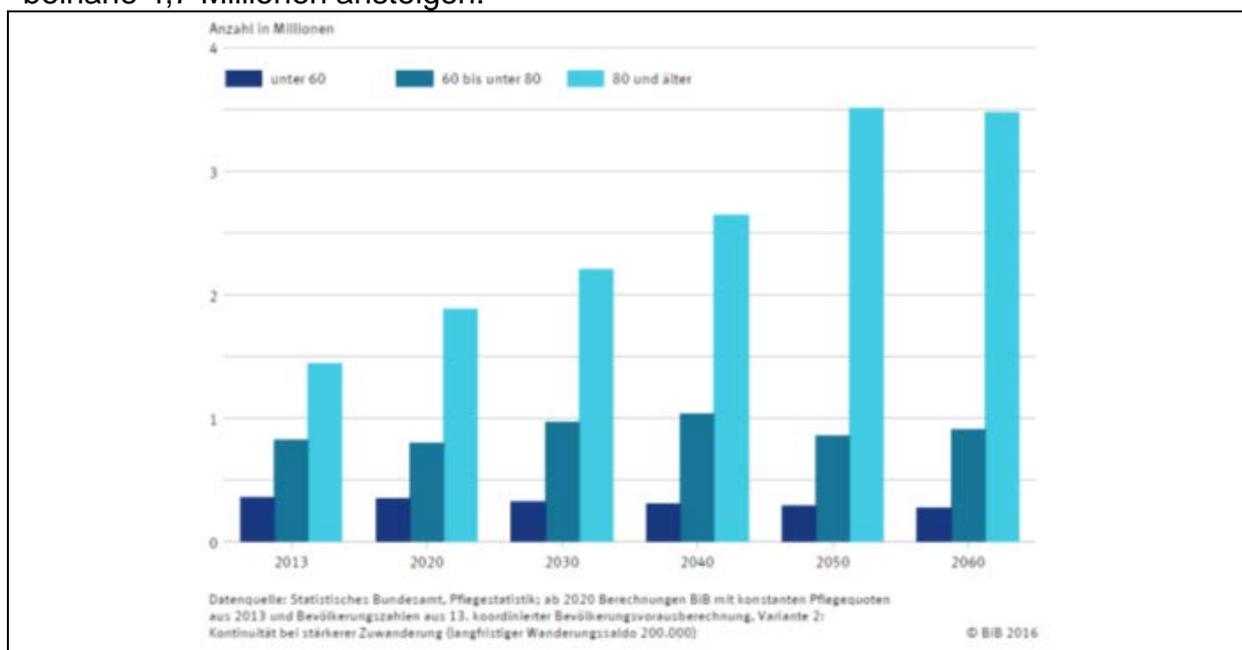


Abbildung 7: Schätzung der Pflegebedürftigen nach Altersgruppen, Deutschland 2013 bis 2060

https://www.bib.bund.de/Publikation/2016/pdf/Bevoelkerungsentwicklung-2016-Daten-Fakten-Trends-zum-demografischen-Wan-del.pdf;jsessionid=B0008BE55719252C1F6BE2EE5E7C9309.1_cid380?_blob=publicationFile&v=3

Die bei Pflegebedürftigen häufiger notwendigen invasiven Eingriffe führen zu einer erhöhten Infektionsgefährdung. Ein Risikofaktor neben anderen kann das zur Pflege verwendete Wasser sein, wenn es mit fakultativ-pathogenen Mikroorganismen (s.u.) verunreinigt ist. Die in diesem Zusammenhang auftretenden Infektionen werden als sog. nosokomiale Infektionen bezeichnet, wobei es sich um Infektionen handelt, die im Zusammenhang mit medizinischer Versorgung oder Pflege einhergehen. Bei entsprechender notwendiger Antibiotika-Behandlung können auch das Abwasser und Waschbecken, Toiletten oder Duschabläufe mit Antibiotika, deren Metaboliten und ggfs. auch mit Antibiotika-resistenten Mikroorganismen kontaminiert werden [32-41]. Auf die Bedeutung der Antibiotika-Resistenz, die speziell im gramnegativen Bereich -also wasserassoziierten und abwasserassoziierten Mikroorganismen- zunimmt (s.u.) muss besonders hingewiesen werden.

3.5 Aufbereitungs- und Desinfektionsverfahren von Trink- und Abwasser

3.5.1 Effizienz von naturnahen Wasseraufbereitungsverfahren

In Deutschland gilt das Grundprinzip der naturnahen Wasseraufbereitung, wozu neben einer ausreichenden Bodenfiltration die Uferfiltration und die Langsandsandfiltration zählen.

Bei Talsperrenwässern gilt die Aufbereitung mittels Ultraschall, Flockung und Mehrschicht-Schnellsandfiltration als ausreichendes Verfahren, um ein nach Trinkwasser-Verordnung einwandfreies Trinkwasser herzustellen. Diese Verfahren bieten grundsätzlich ein hohes Maß an Sicherheit. Dennoch wurde in den letzten beiden Jahrzehnten deutlich, dass die Flockungsfiltration unter besonderen Wetterbedingungen mit erhöhter Belastung mit Krankheitserregern - insbesondere solchen mit niedriger Infektionsdosis - an die Grenzen ihrer Aufbereitungseffizienz stößt.

Die WHO „Guidelines for drinking water quality“ [4] geben für die **Schnellsandfiltration** in Abhängigkeit von Filtermedien und Flockungsmittelvorbehandlung folgende Reduktionsleistungen vor:

- Für Viren 0 – 3,5 log-Stufen,
- für Bakterien 0,2 – 4,4 log-Stufen,
- für Protozoen 0,4 – 3,3 log-Stufen.

In Abhängigkeit von der Ausgangsbelastung insbesondere in Kombination mit erhöhten Trübstoffbelastungen können derartige Reduktionsleistungen beeinträchtigt sein und zu einer unzureichenden Reduktion führen. In dem „Bericht zur Revision des Annex 1 der Council Directive 98/83/EG über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ des Regionalbüros der Weltgesundheitsorganisation für Europa wird bei **direkter Filtration** (bestehend aus Koagulation und Flockung, ohne Sedimentation, gefolgt von Filtration) bei Protozoen in Abhängigkeit von den Trübungswerten von einer Reduktionsleistung von 2,5 – 3,5 log-Stufen, bei Bakterien von jeweils einer log-Stufe und bei Viren ebenfalls von einer log-Stufe ausgegangen. (http://ec.europa.eu/environment/water/water-drink/pdf/WHO_parameter_report.pdf). Bei der **konventionellen Flockungsfiltration** bestehend aus Koagulation, Flockung und Sedimentation, gefolgt von Filtration wird von einer Reduktionsleistung bei Protozoen von 3 – 4 log-Stufen, bei Bakterien von 2 log-Stufen und bei Viren ebenfalls von 2 log-Stufen ausgegangen.

Für die **Ultrafiltration** werden für Protozoen und Bakterien 3 log-Stufen, für Viren 2,5 log-Stufen Reduktionsleistung angegeben.

Diese Daten, die sich auch grundsätzlich in den WHO „Guidelines for drinking water quality“ wiederfinden, zeigen, dass die Aufbereitungseffizienz der Schnellsandfiltration, die häufig als Aufbereitungsverfahren für Oberflächenwässer wie Trinkwassertalsperrenwässer genutzt werden, begrenzt ist.

Ebenso zeigten Hamsch et al. bei der Untersuchung von Flußwasserwerken an Neckar und Ruhr die begrenzte Reduktionsleistung auch der Langsandsandfiltration von 2 – 3 Log Stufen, jedoch nur 0,58 log Stufen für Coliforme und Coliphagen [42]. Diese wird in NRW allerdings in keinem Falle als alleinige Aufbereitungsstufe eingesetzt.

3.5.2 Desinfektion des Trinkwassernetzes

Während in zahlreichen Ländern weltweit Chlor oder Chlordioxid als Teil der Aufbereitung in Trinkwasser enthalten sein *müssen*, gilt in Deutschland das Minimierungsgebot. Hiernach dürfen bei der Trinkwasseraufbereitung und –verteilung nur so wenig Chemikalien aus Aufbereitungsstoffen und verwendeten Materialien wie technisch möglich und wirtschaftlich vertretbar in das Trinkwasser übergehen. Damit stellt das Minimierungsgebot eine Vorgabe dar, welche auf ein natürliches und anthropogen unbelastetes Trinkwasser abzielt. Trinkwasser soll appetitlich sein und zum Genuss anregen. Es muss farblos, klar, kühl sowie geruchlich und geschmacklich einwandfrei sein. Trinkwasser muss keimarm sein. Es muss jedoch mindestens den gesetzlichen Anforderungen genügen (Zitat aus DIN 2000).

Dies bedeutet, dass man bestrebt ist, einen **möglichst chlorfreien Betrieb in Deutschland sicherzustellen** und dies auch von der Bevölkerung erwartet wird.

Dies wird insbesondere dadurch deutlich, dass bei notwendiger indizierter Chlorung des Trinkwassers selbst bei geringen Konzentrationen von 0,1 – 0,2 mg/L freies Chlor sehr häufig besorgte Anrufe bei den Wasserwerken eingehen, um zu hinterfragen, warum das Trinkwasser Chlorgeruch aufweist.

Die Weltgesundheitsorganisation empfiehlt abweichend von den in Deutschland geltenden Rahmenbedingungen, dass am Zapfhahn des Verbrauchers 0,2 – 0,5 mg/L freies Chlor nachweisbar sein sollten [4, 43].

In Europa werden nach Angaben der WHO in der Regel zwischen 0,1 – 0,3 mg freies Chlor am Zapfhahn des Verbrauchers durch die Wasserversorger sichergestellt.

Hierdurch soll erreicht werden, dass bei Einträgen in das Wasserversorgungsnetz eine Mindestkonzentration vorhanden ist, um Chlor-sensible Mikroorganismen wie E. coli und coliforme Bakterien sicher abzutöten.

(<http://apps.who.int/iris/handle/10665/42785>)

In Deutschland und den Niederlanden wird aus Gründen der Minimierung chemischer Inhaltsstoffe und aus geschmacklichen Gründen die Strategie verfolgt, Trinkwasser möglichst ohne Desinfektionsmittel zur Verfügung zu stellen. Kommt es bei chlorfreiem Betrieb zu Kontaminationen, z. B. durch Unterdruck in zentralen Wasserversorgungsleitungen, Eintrag von Mikroorganismen bei Bruch von Hauptwasserleitungen, Undichtigkeiten in Wasserhochbehältern, oder bei Fehlanschlüssen, so ist dies auch nach Einteilung der Weltgesundheitsorganisation mit einem hohen Risikoreferenzwert assoziiert. Es ergibt sich daher aus der Minimierung der Desinfektionsmittelkapazität im Netz der Anspruch, Trinkwasser so aufzubereiten und fortzuleiten, dass es nicht zu einer entsprechenden Vermehrung von Mikroorganismen kommen kann und Kontaminationen im Netz vermieden werden. Dies bedeutet die Notwendigkeit eines hohen Maßes an Sorgfalt bei Planung, Bau, Betrieb und Überwachung von Trinkwasseraufbereitungs- und Verteilungssystemen. Insofern ist die WHO-Forderung ei-

ner Aufrechterhaltung der Desinfektionsmittelkapazität im Netz weniger relevant, wenn, wie bei vielen Wasserversorgern in Deutschland bereits geschehen, das Trinkwasserverteilungsnetz in das Multibarrierenkonzept mit einbezogen wird, und hygienisch-medizinische Risiken, z.B durch den Eintrag von Mikroorganismen, durch präventive Maßnahmen und Störfallpläne minimiert werden.

In den Empfehlungen der WHO, Regionalbüro Europa, heißt es hierzu:

„Die Aufbereitung von Trinkwasser muss so ausgerichtet sein, dass enteritische Bakterien, Viren und Protozoen-Parasiten konsistent entfernt und inaktiviert werden. Ein Schlüsselprinzip ist daher die Anwendung eines Multibarrieren-Verfahrens. Einige Mikroorganismen sind sehr widerstandsfähig gegenüber spezifischen Aufbereitungsprozessen als andere. Parasiten wie Cryptosporidien sind z. B. sehr resistent gegenüber Chlor, ebenso wie einige enteritische Viren. Viren sind wiederum viel kleiner als Cryptosporidien und lassen sich weniger gut durch Filtrationsprozesse entfernen. Desinfektionsprozesse (wie z. B. Chlor, Ozon, UV) benötigen reines Wasser für eine maximale Effizienz.“

Seitens der WHO Europa wird daher empfohlen, mindestens zwei Aufbereitungsschritte bei Trinkwasseraufbereitungen anzuwenden, deren Rohwässer oberflächenbeeinflusst sein können. Idealerweise ist dies eine Kombination aus physikalischen Filtrationsprozessen und einem chemischen oder UV-Desinfektionsverfahren. Die Aufbereitungseffizienz, definiert als log-Stufen-Entfernung von Bakterien, Viren und protozoischen Parasiten, ist nach dem Bericht der WHO Europa abhängig von den jeweiligen Randbedingungen. Die Anforderungen an die Aufbereitungseffizienz für Mikroorganismen hängen wiederum von der Rohwasserqualität ab unter Berücksichtigung der Möglichkeit, dass es z.B. bei Starkregenfällen zu Spitzenbelastungen weit über den Normalverhältnissen kommen kann. Nach diesen Extremverhältnissen muss die Aufbereitungseffizienz ausgerichtet sein.

So unterstützenswert auch die Grundphilosophie des Minimierungsgebotes in Deutschland bezogen auf Desinfektionsverfahren ist, so muss darauf hingewiesen werden, dass in ausgedehnten Wasserverteilungsnetzen bei fehlenden oder sehr niedrigen Chlor- bzw. Chlordioxidkonzentrationen keine Barriere besteht, im System eingetragene Mikroorganismen (z.B. durch Leckagen, Bauarbeiten) abzutöten bzw. ihren Vermehrungsprozess von Bakterien bei günstigen Bedingungen wie z. B. Temperaturerhöhung im Wasserversorgungsnetz unter Kontrolle zu halten. Bauarbeiten oder Rohrbrüche stellen daher immer wieder sensible Möglichkeiten des Eintrages von Mikroorganismen und ihrer ungehinderten Weiterverbreitung dar [43].

Diesen spezifischen Risiken in Deutschland, kann durch

- eine optimale Aufbereitung des in das Leitungsnetz gegebenen Wassers,
- eine kontinuierliche Kontrolle der Qualität im Wasserverteilungsnetz unter Einbeziehung von *E. coli*, coliformen Bakterien, Enterokokken, Koloniezahl sowie an medizinischen Einrichtungen zusätzlich *P. aeruginosa*,
- umgehende Ursachenanalyse bei Auffälligkeiten,
- regelmäßige Kontrolle und Wartung aller technischen Einrichtungen des Leitungsnetzes inklusive Trinkwasserbehältern, Belüftungen, Pumpstationen etc.,
- Vorhalten einer jederzeit einsetzbaren Desinfektionsmitteldosierung zur Bekämpfung von Einträgen bei Havarien oder Bauarbeiten

so begegnet werden, dass das notwendige Maß an Sicherheit für alle Verbraucher ständig aufrechterhalten wird.

Aufgrund der Erfahrungen im Kontext mit Störfällen und Ausbrüchen ist allerdings festzuhalten, dass diese Voraussetzungen und das entsprechende Problembewusstsein in Deutschland nur eingeschränkt vorhanden sind. In diesem Kontext wird auf entsprechende Kasuistiken, die im Anhang II detailliert erläutert sind, hingewiesen.

Ausbrüche mit EHEC-, Campylobacter-, Noroviren-, Cryptosporidien- oder Giardia-Infektionen sind in Wasserversorgungssystemen, die die o.g. Sicherheitsvorkehrungen nicht vorhalten, auch in Deutschland jederzeit möglich.

3.6 Gefährdungssituationen in Krankenhäusern, medizinischen Einrichtungen, bei der häuslichen Pflege und pharmazeutischen Betrieben

Obwohl der Schwerpunkt des Berichtes nicht auf der Gefährdung von Patienten in medizinischen Einrichtungen durch wasserübertragene Erreger ausgerichtet ist, kann wegen der höheren Vulnerabilität von Patienten in medizinischen Einrichtungen dieser Aspekt nicht ausgeklammert werden.

Bei der medizinischen Versorgung von Patienten insbesondere auf Intensivstationen, in der Neonatologie, auf Stationen für immunsupprimierte Patienten, bei der Wundversorgung in der ambulanten Versorgung sowie bei Patienten mit Kathetersystemen besteht eine erhöhte Vulnerabilität (Infektionsanfälligkeit) durch Krankheitserreger. Dies ist dadurch bedingt, dass natürliche Körperbarrieren gestört sind bzw. bei invasiven Systemen direkte Verbindungen in normalerweise sterile Körperbereiche bestehen.

Vor diesem Hintergrund wird erklärlich, dass in deutschen Krankenhäusern nach Angaben der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene zwischen 700.000 und 1 Million sog. nosokomiale Infektionen auftreten und 15.000 – 30.000 Todesfälle jedes Jahr infolge von nosokomialen Infektionen zu beklagen sind [44]. Vor dem Hintergrund des demographischen Wandels nimmt der vulnerable Teil der Bevölkerung kontinuierlich und deutlich zu.

In einer im November 2018 veröffentlichten Studie, gefördert durch die European Centre for Disease Prevention (ECDC), zu Todesfällen und „Disability Adjusted Live Years“ (DALY) in der EU und in der EFTA 2015 wird von 671.689 Infektionen mit Antibiotika-resistenten Bakterien in den EU/EFTA-Ländern ausgegangen, wobei 63,5% (426.277) mit medizinischen Einrichtungen assoziiert waren [45].

Diese Infektionen bedingten schätzungsweise 33.110 vorzeitige Todesfälle und 874.541 DALYs. Die Gesamt-Infektionslast mit ausgewählten Antibiotika-resistenten Bakterien war am höchsten bei Kleinkindern (<1 Jahr) gefolgt von Personen im Alter von 65 Jahren und älter und ist seit 2007 kontinuierlich angestiegen. Die höchsten Infektionslasten waren in Italien und in Griechenland festzustellen. Die durchschnittliche Belastung von 170 DALYs pro 100.000 Einwohner ist ähnlich der Belastung durch die drei wichtigsten Infektionskrankheiten (Influenza, Tuberkulose und HIV), die zusammengenommen 183 DALYs pro 100.000 Personen bedingen.

Die Autoren gehen davon aus, dass ungefähr 75% der Gesamtlast der Infektionen mit Antibiotika-resistenten Bakterien in EU und EFTA mit medizinischen Einrichtungen assoziiert sind [45].

In einer im November 2019 veröffentlichten epidemiologischen Studie zur Gesamtlast nosokomialer Infektionen wird festgestellt, dass in Deutschland die Last durch fünf ausgewählte nosokomiale Infektionen mit 270 DALYs pro 100.000 Einwohnern höher ist als die von 31 ausgewählten Infektionskrankheiten in EU/EFTA mit 273 DALYs pro 100.000 Einwohnern.

[46]

Obwohl Deutschland eine niedrige Prävalenz von nosokomialen Infektionen bei hospitalisierten Patienten aufweist, was zum Teil durch die gute Hygiene und Infektionsprävention und Kontrolle in deutschen Krankenhäusern erklärlich ist, ist die Gesamtlast nosokomialer Infektionen dennoch höher als in anderen europäischen Ländern. Dies wird darauf zurückgeführt, dass mit der höchste Anteil der Bevölkerung im eu-

ropäischen Vergleich Jahr für Jahr in deutschen Krankenhäusern behandelt wird. Jährlich werden in Deutschland 19 Millionen Patienten stationär behandelt. Dies entspricht nahezu einem Viertel der bundesdeutschen Bevölkerung, die jährlich zur stationären Behandlung in deutschen Krankenhäusern aufgenommen wird[46]. Durch Trinkwasser bzw. Wasser für den menschlichen Gebrauch können Erreger wie Legionellen oder *P. aeruginosa* sowie andere sog. fakultativ-pathogene Mikroorganismen, die im Trinkwasser vorkommen können, auf Patienten übertragen werden, weswegen in entsprechenden medizinischen Einrichtungen zusätzliche Vorsichtsmaßnahmen bei der Anwendung von Trinkwasser sichergestellt werden müssen [36, 47, 48].

Pharmazeutische Betriebe wiederum, die Wasser für die Herstellung von Medizinprodukten verwenden oder prüfen, können in gleicher Weise bei unzureichender Wasserqualität Medizinprodukte kontaminieren. So mussten mehrfach Antiseptika, für die Anwendung beim Patienten z. B. zur Mundspülung, oder Waschhandschuhe, vom Markt zurückgezogen werden, da sie bereits bei der Herstellung in den pharmazeutischen Betrieben mit Wasser-assoziierten Mikroorganismen kontaminiert wurden, wodurch es auch zu Todesfällen gekommen ist [49-54].

Neuere Erkenntnisse zeigen, dass sich in den Abteilungen medizinischer Einrichtungen, in denen Antibiotika bestimmungsgemäß eingesetzt werden, in den Abflüssen von Waschbecken, Duschabläufen und Toiletten Antibiotika-resistente Bakterien aus der Gruppe der coliformen Bakterien und der Species *Pseudomonas aeruginosa* nachweisen lassen und dort persistieren. Einige dieser Bakterien-Stämme weisen Mehrfach-Resistenzen auf [36, 37, 55-59]. Mittlerweile gibt es eine Reihe von gut dokumentierten Kasuistiken, in denen es aus diesen ableitenden Wassersystemen zu einer Übertragung auf Patienten gekommen ist [36]. Aus diesem Grunde entwickelt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes eine Richtlinie „Anforderungen der Hygiene an die Abwasserentsorgung in Krankenhäusern“, die mittlerweile konsentiert ist.

Aus diesem Grunde bedürfen medizinische Einrichtungen und auch Haushalte mit pflegebedürftigen Personen einer besonderen Risikobewertung bei der Trinkwasserversorgung bzw. beim Feststellen von systemischen Kontaminationen der Trink- und Abwassersysteme mit coliformen Bakterien oder *E. coli* oder bei Auftreten von *P. aeruginosa*.

3.7 Wasserversorgungsstruktur, Verantwortlichkeiten für Wasserversorgung und Abwasserentsorgung und deren Überwachung

3.7.1 Wasserver- und Abwasserentsorgung in Deutschland

Der **Wasserver- und Abwasserentsorgungsstruktur** und den Verantwortlichkeiten für diese Strukturen und deren Überwachung kommt erhebliche Bedeutung für die Sicherheit der Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung sowie für ein effizientes Störfall- und Ausbruchmanagement zu.

In Deutschland existieren öffentlich-rechtliche und privatrechtliche Unternehmensformen nebeneinander. 5.948 Betriebe und Unternehmen waren 2013 für die Wasserversorgung in Deutschland zuständig. Auf Grundlage statistischer Erhebungen von 1.631 Unternehmen, die für rund 80% der insgesamt von der öffentlichen Wasserversorgung in Deutschland geförderten Wassermenge zuständig sind, waren 2015 64% öffentlich-rechtlich und 36% privatrechtlich organisiert. Durch die privatrechtlichen Unternehmen wurden 61% des Wasseraufkommens bereitgestellt.

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/uba_wasserwirtschaft_in_deutschland_2017_web_aktualisiert.pdf ,

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/wawilyer_2017_web.pdf

Die Länge des Wasserversorgungsnetzes in Deutschland beträgt ca. 530.000 km.

Die **öffentliche Abwasserentsorgung** in Deutschland ist eine hoheitliche Aufgabe, die von Gemeinden und Städten in kommunaler Trägerschaft wahrgenommen wird.

Die deutsche Abwasserwirtschaft ist mit knapp 7000 kommunalen Abwasserentsorgungsunternehmen extrem kleinteilig organisiert.

Die öffentliche Abwasserbeseitigung umfasst knapp 10.000 Abwasserbehandlungsanlagen, in denen eine Abwassermenge von 10,1 Milliarden m³ Schmutzwasser und 4,9 Milliarden m³ Fremd- und Niederschlagswasser behandelt wird.

Das öffentliche Kanalnetz in Deutschland beträgt 540.000 km mit ca. 66.000 Regenentlastungsanlagen.

Die Vielzahl von Wasserversorgungsunternehmen stellt hinsichtlich der Überwachung und Kontrolle durch die Gesundheitsbehörden entsprechend dem Infektionsschutzgesetz (§ 37 IfSG) eine Herausforderung dar,

Während zu Beginn des 20. Jahrhunderts die hygienisch-mikrobiologische Überwachung von Trinkwasser wie auch von Gewässern unabhängigen Hygiene-Instituten bzw. hieran angegliederten Medizinaluntersuchungsstellen zugewiesen war, ist diese Struktur seit Anfang der 90iger Jahre des vorigen Jahrhunderts in Nordrhein-Westfalen – im Gegensatz zu anderen Bundesländern – vollkommen aufgelöst worden. Man war der Auffassung, dass sowohl Wasserversorger als auch andere privatwirtschaftlich orientierte Laboratorien diese Aufgabe in gleicher Weise übernehmen könnten.

Dies führte allerdings dazu, dass die in Nordrhein-Westfalen vorhandene Laborinfrastruktur den Gesundheitsämtern nicht unmittelbar zur Verfügung steht. Gerade zur Durchführung der präventiven Überwachungsuntersuchungen oder zur Abklärung von Störfällen und Ausbrüchen erscheint es aber unabdingbar, dass die Gesundheitsbehörden direkten Zugriff auf unabhängige und nur dem öffentlichen Gesundheitsschutz verpflichtete Laborkapazitäten haben, um gezielt, zeitnah und resilient Gesundheitsgefährdungen einschätzen zu können.

3.7.2 Wasserversorgungsstruktur in den Niederlanden

Die kleingliedrige Wasserversorgungsstruktur in Nordrhein-Westfalen weicht erheblich von der Struktur im Nachbarland Niederlande ab, das mit 18 Millionen Einwohnern nahezu eine gleichgroße Bevölkerungszahl wie Nordrhein-Westfalen aufweist. Einzelheiten hierzu sind dem Bericht: „Dutch Drinking Water Statistic 2017 – from Source to Tap“ der Association of Dutch Water Companies zu entnehmen.

In den Niederlanden gibt es seit 2010 nur noch 10 große Wasserversorgungsunternehmen, die im Jahre 2016 ca. 17 Millionen Verbraucher bei einem Wasserleitungsnetz von 120.061 km versorgten.



Abbildung 8: Versorgungsgebiete der 10 Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden
Die Entwicklung der Anzahl der Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden ist Abbildung 9 zu entnehmen.

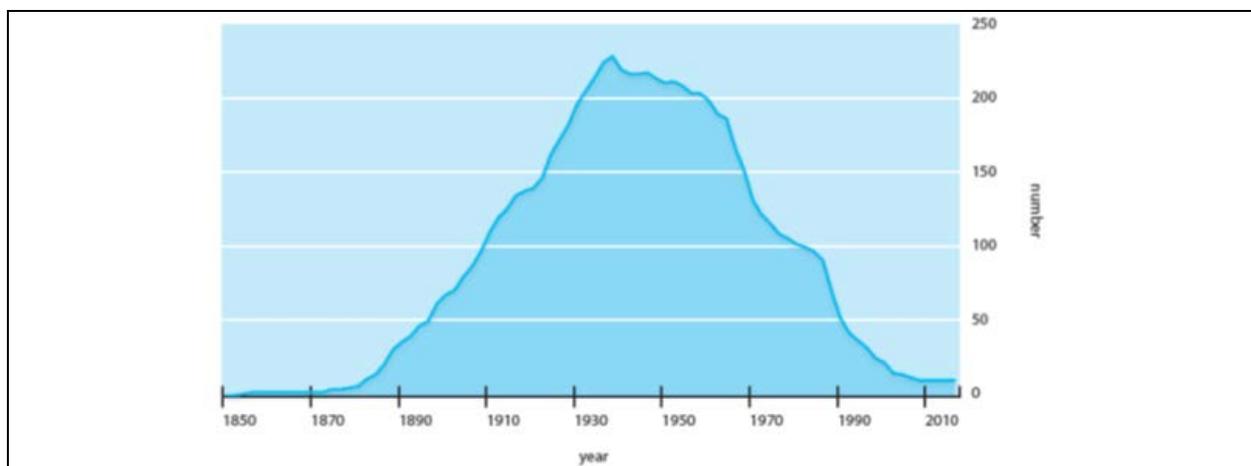


Abbildung 9: Entwicklung der Anzahl von Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden

Entsprechende Wasserversorgungsstrukturen haben Konsequenzen im Hinblick auf die Überwachung, die Reaktionsfähigkeit sowie die Investitionsfähigkeit und – Bereitschaft von Wasserver- und Abwasserentsorgern, können jedoch auch nachteilig sein, sollten Standards abgebaut werden. Zudem entspricht dies nicht dem Wunsch vieler Bürger eine gemeindenahere Wasserversorger unter Kontrolle der Städte, Kommunen und Gemeinden verfügbar zu haben

<http://www.vewin.nl/SiteCollectionDocuments/Publicaties/Cijfers/Drinkwaterstatistiek-en-2017-EN.pdf>

3.8 Geänderte Sicherheitslage

Eine wesentliche Aufgabe des öffentlichen Gesundheitsschutzes ist der Schutz der Bevölkerung im Zusammenhang mit Großschadenslagen sowie im Rahmen der Aufgaben der zivilen Verteidigung.

Noch Mitte der 90er Jahre war man von der sicherheitspolitischen Entspannung nach Beendigung des kalten Krieges ausgegangen.

Die Veränderung des sicherheitspolitischen Umfeldes in den vergangenen Jahren hat aber dazu geführt, dass auch für die Aufgaben der zivilen Verteidigung eine neue konzeptionelle Grundlage geschaffen werden musste. Die dabei nunmehr angenommenen Bedrohungen gehen dabei davon aus, dass konventionelle militärische Angriffe wieder grundsätzlich möglich sind.

Vor diesem Hintergrund wurde die Konzeption Zivile Verteidigung (KZV) am 24. August 2016 vom Bundeskabinett beschlossen. Dabei gehören zu dieser Konzeption vier Aufgabenbereiche der zivilen Verteidigung neben Aufrechterhaltung der Staats- und Regierungsfunktion, Zivilschutz und Unterstützung der Streitkräfte, insbesondere die (Not-) Versorgung der Bevölkerung.

Zur Sicherung lebenswichtiger Grundbedürfnisse dienen entsprechend der Konzeption Zivile Verteidigung insbesondere folgende Handlungsfelder:

- **Trinkwasser**
- Ernährung
- Medizinische Versorgung.

Für die Trinkwassernotversorgung wird in dieser Konzeption gefordert, pro Person und Tag unbefristet mindestens 50 Liter Wasser bereitzustellen, das den qualitativen Vorgaben der Trinkwasser-Verordnung entspricht. Dies bedeutet, dass Leitungssysteme entsprechend ausgelegt und abgesichert sowie entsprechende Redundanzen (z. B. Wasserwerke, Verbundleitungen, Speicherkapazitäten) verfügbar sein müssen.

Unabhängig von der systemabhängigen Mindestwassermenge sollen gemäß der Konzeption Zivile Verteidigung (BMI, 2016) sowohl im Regelbetrieb als auch bei eingeschränkter Versorgung unbefristet mindestens 50 Liter Wasser pro Person und Tag, das den qualitativen Vorgaben der Trinkwasserverordnung entspricht, durch den Betreiber der Trinkwasserversorgungsanlage bereitgestellt werden.

Für den Fall der leitungsungebundenen Ersatzversorgung gibt es bislang lediglich Angaben zum Wasserbedarf, die auf Basis der ersten Wassersicherstellungsverordnung (1. WasSV) festgelegt werden:

- 15 Liter pro Person und Tag,
- 75 Liter pro Krankenbett und Tag in Pflegeeinrichtungen,
- 150 Liter pro Krankenbett und Tag in chirurgischen Einrichtungen und Infektionskrankenanstalten oder den entsprechenden Fachabteilungen,
- 40 Liter pro Großvieheinheit und Tag.

Die leitungsgebundene Wasserversorgung sollte, sofern möglich, aufrechterhalten werden, auch wenn das Wasser keine Trinkwasserqualität hat. Nur so kann die Abwasserentsorgung - insbesondere eine sichere Beseitigung von Fäkalien - gewährleistet werden.

Zeitgleich mit der Schadensfeststellung sollte die Bewertung der fehlenden Versorgung stattfinden. Sofern die Qualität des Leitungswassers menschlichen Genuss auch nach Abkochen nicht mehr zulässt, muss neben der leitungsgebundenen Brauchwasserversorgung der reine Trinkwasserbedarf ermittelt werden.

Bei der Eigenbevorratung der Bevölkerung geht man von dem reinen Trinkwasserkonsum in Anlehnung an internationale Vorgaben (z.B. der WHO) von 2 Liter pro

Person und Tag aus. Dieser sollte für 5 Tage vorgehalten werden. (Bross, Lisa & Krause, Steffen. (2020). Sicherheit der Trinkwasserversorgung - Teil 2: Notfallvorsorgeplanung, ISBN 978-3-939347-91-0).

Während die Notversorgung für die Normalbevölkerung über autarke Brunnen und Quellen in Verbindung mit einer mobilen Trinkwassernotversorgung erfolgt, zeigt die weitergehende Analyse, dass insbesondere für Krankenhäuser diese Versorgung in keinem Fall ausreichend ist. Das entsprechende Konzept für die Versorgung der Normalbevölkerung geht davon aus, dass die Bürger sich das Trinkwasser z.B. mit Eimern an den Notbrunnen abholen, ist diese Option für die Versorgung pflegebedürftiger Menschen in medizinischen Einrichtungen nicht möglich.



Abbildung 10: Trinkwassernotbrunnen in Hamburg (BBK)

(https://www.bbk.bund.de/SharedDocs/Downloads/BBK/DE/Publikationen/Publikation/enKritis/notbrunnen_extremsituation.pdf?__blob=publicationFile)

Die Konzeption Zivile Verteidigung hat dazu geführt, dass seitens der Trinkwasserkommission des Bundesgesundheitsministeriums beim Umweltbundesamt gemeinsam mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe eine Risikoanalyse durchgeführt wurde.

Entsprechende Konzeptionen für die Versorgung von medizinischen Einrichtungen wie insbesondere Krankenhäusern fehlen derzeit und müssen dringend erarbeitet werden, damit für Krankenhäuser jederzeit eine autonome Wasserver- und Abwasserentsorgung sichergestellt werden kann.

Sowohl die Trinkwasserkommission als auch das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe sehen hier den dringenden Bedarf, in sehr naher Zukunft eine Konzeption Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung für medizinische Bereiche im Rahmen der zivilen Verteidigung zu erstellen.

Die weitergehenden Analysen lassen vermuten, dass nur durch eine eigene Wasserversorgung z.B. über eigene Brunnen die notwendigen Kapazitäten geschaffen werden können.

In diesem Fall müssen jedoch Brunnen regelmäßig betrieben und gewartet werden, um die notwendige Sicherheit im Ernstfall gewährleisten zu können.

4 Gefährdungsbeurteilung Wasser- und abwasserassoziierte Krankheitserreger

4.1 Allgemeine Aspekte der Gefährdungsbeurteilung

Hygienemaßnahmen im Trinkwasser- und Abwasserbereich haben entsprechend den Bestimmungen des Infektionsschutzgesetzes zum Ziel sicherzustellen, dass durch Genuss oder Gebrauch von Wasser für den menschlichen Gebrauch eine **Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen** ist.

Die zu besorgenden Krankheitserregern, die durch Genuss oder Gebrauch von Wasser für den menschlichen Gebrauch eine nachgewiesene epidemiologische Bedeutung haben, sind in der Zahl begrenzt.

Welche Krankheitserreger über Trinkwasser und Abwasser übertragen werden können, hängt von Gattung, Art, Spezies bzw. Serogruppe der Krankheitserreger, sowie deren ökologischen Eigenschaften zum Vorkommen und Vermehrungsfähigkeit in Wasser führenden Systemen, der Erreger spezifischen Befähigung Biofilme zu bilden, deren Bedeutung für Gesundheit bzw. öffentliche Gesundheit, deren Persistenz in Wasserversorgungssystemen, ihrer Toleranz gegenüber Chlor und anderen wasserspezifischen Desinfektionsverfahren, von ihrer relativen Infektiosität und von den ursächlichen Quellen in Trink- und Abwasser und den Aufbereitungsverfahren ab. Weitere Faktoren, die hierbei zu berücksichtigen sind, beziehen sich auf die Art der Übertragung, ob wasserübertragene Krankheitserreger

- durch Trinken (Ingestion),
- durch Einatmen (Inhalation) oder
- durch Kontakt mit Haut und Schleimhaut übertragen werden.

Erregerspezifisch spielen deren Pathogenität, Virulenz, relative Infektiosität, deren Konzentration, deren Tenazität (Zähigkeit) in der Umwelt und in wasserführenden Systemen vermehrungsfähig zu bleiben und der Expositionsart eine entscheidende Rolle.

Bezogen auf den exponierten Menschen spielt hinsichtlich der zu besorgenden Gesundheitsgefährdung insbesondere bei den fakultativ-pathogenen Erregern die Disposition bzw. Infektionsresistenz oder Abwehrkraft der exponierten Personen eine entscheidende Rolle. Hierbei bestimmen Faktoren der persönlichen Disposition wie Alter, Geschlecht, Rauchverhalten, Grundkrankheiten (z.B. chronisch-obstruktive Lungenerkrankungen (COPD), Diabetes), Wunden, Therapien (z. B. mit Antibiotika oder Immunsuppressiva, Infusionstherapie), Vorhandensein invasiver Systeme (z.B. Katheter), etc. den Grad der zu besorgenden Schädigung der Gesundheit.

Ende des 19., Anfang des 20. Jahrhunderts hatten unter den wasserbedingten Krankheitserregern pathogene Keime, die mit den menschlichen bzw. tierischen Faeces bzw. Abwasser zu einer Trinkwasserkontamination führten, die höchste Bedeutung. Hierzu zählten Erkrankungen wie Cholera, Typhus, Paratyphus, Shigellen-Ruhr und andere gastrointestinale Erkrankungen.

Aus diesem Grunde wählte man als Indikatoren zur Abklärung, ob eine Gesundheitsgefährdung zu besorgen sei, solche Bakterien, die einen Hinweis für eine fäkale Belastung des Trinkwassers anzeigten. Die Einführung von Indikatoren wie *Escherichia coli* als Indikator für eine eindeutige fäkale Belastung, Enterokokken und auch coliforme Bakterien hatten sich vor diesem Hintergrund für die hygienische Beurteilung des Trinkwassers in jedem Fall bewährt.

Mit Verbesserung der mikrobiologischen und epidemiologischen Analyseverfahren in den letzten Jahrzehnten musste jedoch festgestellt werden, dass auch eine Reihe wasserbedingter Krankheitserreger, die nicht mit Abwasser bzw. Faeces in das

Trinkwasser gelangten, sondern Teil der aquatischen Mikroflora sind, zu z.T. schweren bzw. auch tödlich verlaufenden Infektionen führen können. Darüber hinaus zeigte sich, dass erhebliche Unterschiede in Abhängigkeit von Pathogenität, Virulenz - Eigenschaften bzw. relativer Infektiosität sogar innerhalb von gleichen Spezies der wasserbedingten Erreger bestehen.

E.coli ist somit nur ein einseitiger Indikator d.h. wenn dieser im Trinkwasser nachgewiesen wird, muss mit dem Vorkommen auch anderer fakal eingetragener Krankheitserreger gerechnet werden. Wenn *E.coli* nicht nachgewiesen wird, können dennoch Erreger mit sehr geringer Infektiosität im Trinkwasser in Konzentrationen vorhanden sein, die ausreichend sind, um Infektionen auszulösen.

Dieser Sachverhalt wurde insbesondere deutlich, als es 1993 in Milwaukee (USA) zu dem größten trinkwasserbedingten Ausbruch der jüngeren Zeit kam, wobei mehr als 400.000 Menschen an einer trinkwasserbedingten Cryptosporidiosis erkrankten, ohne dass die Untersuchung auf *E. coli* und coliforme Bakterien einen Hinweis gegeben hätte, dass das Wasser fäkal belastet war[5].

Diese Aspekte haben für die Trinkwasserregulierung erhebliche Konsequenzen. Bei der Überwachung von Trinkwasser bezieht man sich bis heute – wie vor 100 Jahren - in der Regel auf das Vorkommen von bakteriellen Indikatoren wie *E. coli*, Enterokokken und coliformen Bakterien in einem Untersuchungsvolumen von 100 mL Trinkwasser.

Die relative Infektiosität verschiedener trinkwasser- und abwasserübertragener Krankheitserreger kann jedoch so hoch sein, dass zur eindeutigen Feststellung, ob ein Trinkwasser gesundheitlich unbedenklich ist, die Untersuchung eines Volumens von 100 mL nicht ausreichend ist.

Insofern sollte das bisher für die Prävention und Kontrolle bewährte Indikatorsystem durch weitere Indikatoren, die eine fäkale Kontamination anzeigen, ergänzt werden.

Dies bedeutet, dass das **bisherige bakteriologische Indikatorkonzept nicht mehr ausreichend ist**, um mit der erforderlichen Sicherheit eine Schädigung der menschlichen Gesundheit durch Trinkwasser vorhersagen zu können. Dieser Prozess zur **Anpassung des Indikatorkonzeptes** ist noch nicht abgeschlossen bzw. vollständig umgesetzt.

Weitergehende Konzepte wie das Konzept der Disability Adjusted Life Years (DALY) zeigten, dass die relative Infektiosität und Krankheitslast durch weitergehende Krankheitserreger neu angepasst werden musste. Hierzu wurde u.a. das Water safety-Konzept 2004 etabliert, auf das weitergehend später eingegangen wird.

4.2 Einteilung nach wasserübertragenen Krankheitserregern

4.2.1 Einteilung der WHO von wasserbedingten Krankheitserregern

1994 gab die WHO in ihren „Guidelines for Drinking Water Quality“ erstmalig eine neue Einteilung von Krankheitserregern, für die ausreichende Evidenz einer gesundheitlichen Bedeutung als wasserübertragene Krankheitserreger verfügbar war.

Die **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt die Einteilung der durch Trinkwasser übertragenen Krankheitserreger nach WHO-Angabe in Abhängigkeit von der Art, Typ, Genus, Gruppenzugehörigkeit, gesundheitlicher Bedeutung, Persistenz in Wasserversorgungssystemen, Resistenz gegenüber Chlor, relative Infektiosität und wichtiger tierischer Quellen auf.

Tabelle 1: Auswahl wasserübertragbarer Krankheitserreger fäkalen Ursprungs (WHO-Leitlinien für Trinkwasserqualität (verändert nach (WHO, 2011))

Krankheitserreger	Gesundheitliche Bedeutung ^a	Persistenz im Wasser ^b	Resistenz gegenüber Chlor ^c	Relative Infektiosität ^d	Wichtige tierische Quellen
Bakterien					
<i>Campylobacter jejuni, C. coli</i>	Hoch	Moderat	Gering	Moderat	Ja
<i>Escherichia coli</i> –Pathogene ^e	Hoch	Moderat	Gering	Gering	Ja
<i>E. coli</i> – Enterohaemorrhagisch	Hoch	Moderat	Gering	Hoch	Ja
Enteritis-Salmonellen	Hoch	Können sich vermehren	Gering	Gering	Ja
<i>Shigella</i> spp.	Hoch	Kurz	Gering	Hoch	Nein
Viren					
Adenoviren	Moderat	Lang	Moderat	Hoch	Nein
Enteroviren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Nein
Astroviren	Gering	Lang	Moderat	Hoch	Nein
Hepatitis A Viren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Nein
Hepatitis E Viren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Möglich
Noroviren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Möglich
Sapoviren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Möglich
Rotaviren	Hoch	Lang	Moderat	Hoch	Nein
Parasiten					
<i>Acanthamoeba</i> spp.	Hoch	Können sich vermehren	Gering	Hoch	Nein
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Hoch	Lang	Hoch	Hoch	Ja
<i>Giardia intestinalis</i>	Hoch	Moderat	Hoch	Hoch	Ja

Ergänzt mit Angaben aus [60]:

SARS-CoVid 19 Viren	Hoch	Kurz	Gering	nicht gesichert	Nein
---------------------	------	------	--------	-----------------	------

- a Gesundheitliche Bedeutung in Bezug zur Inzidenz und Schwere der Erkrankung einschließlich der Assoziation mit Ausbrüchen.
 b Persistenz für infektiöse Stadien in Wasser bei 20 °C: Kurz = bis 1 Woche; Moderat = 1 Woche bis 1 Monat; Lang = länger als 1 Monat.
 c Wenn infektiöse Stadien im Wasser frei suspendiert vorliegen, das Wasser mit üblichen Konzentrationen und Kontaktzeiten desinfiziert wird und ein pH-Wert zwischen 7 und 8 vorliegt, bedeutet Gering = 99 % Inaktivierung bei 20 °C generell in weniger als 1 Minute; Moderat = 1-30 Minuten; Hoch = über 30 Minuten. Es ist zu beachten, dass Mikroorganismen in Biofilmen vor der Chlorung „geschützt“ sind.
 d Nach Bewertung von Experimenten mit Versuchspersonen, aus epidemiologisch-evidenten Studien und aus Studien mit Tieren bedeutet Hoch = die infektiöse Dosis beträgt $1 \cdot 10^2$ Mikroorganismen oder Partikel; Moderat = 10^2 - 10^4 Mikroorganismen oder Partikel; Gering = $> 10^4$ Mikroorganismen oder Partikel.
 e Einbezogen sind enteropathogene, enterotoxigene, enteroinvasive, diffus-adhärenente und enteroaggregative Stämme.

Die Einteilung in die relevanten Krankheitserreger war zum damaligen Zeitpunkt sehr hilfreich, da das Spektrum an Krankheitserregern nach entsprechenden epidemiologischen Erkenntnissen deutlich erweitert wurde und andererseits auch die relative Infektiosität sowie die Herkunft zusätzlich berücksichtigt wurde. Sie ist aber aus heutiger Sicht nicht mehr ausreichend.

4.3 Neue Einteilung wasserbedingter Krankheitserreger nach deren Pathogenität, Herkunft und relativer Infektiosität

Die Frage, ob Mikroorganismen über Trinkwasser übertragen werden können, hängt von deren Pathogenität, Virulenz, Tenazität, Desinfektionsmittel-toleranz und den ursprünglichen Reservoirern (Mensch, Tier, andere Quellen) sowie deren relativer Infektiosität ab.

4.3.1 Definitionen

Unter **Pathogenität** wird die grundsätzliche Fähigkeit von infektiösen Organismen oder Toxinen verstanden, einen Organismus oder den Menschen krank zu machen.

Unter **Virulenz** wird das Ausmaß der Pathogenität verstanden, die durch Virulenz-Faktoren des Erregers bestimmt sind, die dem Erreger helfen, sich im infizierten Wirt auszubreiten (Definition Deutsches Zentrum für Infektionsforschung).

Unter **Tenazität (Zähigkeit)** wird die Fähigkeit eines Mikroorganismus verstanden, unter für diesen nicht optimalen Bedingungen (pH, Temperatur, Austrocknung, Desinfektionsmitteltoleranz) seine Infektions- und Vermehrungsfähigkeit zu behalten.

Für die Wahrscheinlichkeit einer Infektion spielt die **Konzentration des Erregers** eine entscheidende Rolle. Hierbei geht man von der Annahme aus, dass je höher die Anzahl von Krankheitserregern im Trinkwasser ist, umso höher auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Infektionen bzw. Erkrankungen.

Es zeigt sich jedoch, dass zum Teil erhebliche Unterschiede bezogen auf die **relative Infektiosität** von Krankheitserregern bestehen, die sogar innerhalb von gleichen Spezies variieren kann.

Die Weltgesundheitsorganisation unterscheidet daher zwischen einer hohen, moderaten bzw. niedrigen Infektiosität eines trinkwasserbedingten Erregers [4]. Aufgrund von Untersuchungen an menschlichen Freiwilligen und aufgrund von experimentellen Studien an Tieren bedeutet **hohe relative Infektiosität**, dass nur 1 – 100 Organismen ausreichend sind, um über das Trinkwasser aufgenommen zu Infektionen zu führen. Moderate relative Infektiosität bedeutet, dass zwischen 10^2 und 10^4 Organismen oder Partikel aufgenommen werden müssen, und geringe relative Infektiosität bedeutet, dass mehr als 10^4 Organismen oder Partikel aufgenommen werden müssen. So hat z.B. *E. coli* einschließlich enteropathogenen, enterotoxigenen, enteroinvasiven oder enteroaggregativen *E. coli* eine geringe relative Infektiosität, d.h. es müssen hohe Mengen von *E. coli* aufgenommen werden. Bei enterohämorrhagischen *E. coli* (EHEC) besteht jedoch eine hohe relative Infektiosität, was bedeutet, dass nur geringe Konzentrationen ausreichend sind, um eine Infektion auszulösen[4]. Zudem spielt die **Persistenz in Wasserversorgungssystemen** eine wichtige Rolle, wobei eine kurze, moderate bzw. lange Persistenz bedeutet, dass Krankheitserreger im Wasser von 20°C

- kurz: bis zu einer Woche
- moderat: von einer Woche bis einem Monat und
- lang: mehr als einen Monat

vermehrungsfähig und im infektiösen Status verbleiben können[4].

Ein weiteres wichtiges Charakteristikum ist die **Chlortoleranz**.

Innerhalb der Erregerspezies und Gruppen gibt es erhebliche Variationen in der Desinfektionsmitteltoleranz. Die Desinfektionsmitteltoleranz wird seitens der WHO auf der 99 %igen Inaktivierung bei 20°C bemessen, wobei in der Regel

- eine geringe Toleranz einem CT99-Wert von $<1 \text{ min} \cdot \text{mg/L}$,
- mäßige Toleranz: $1 - 30 \text{ min} \cdot \text{mg/L}$ und
- hohe Toleranz : mehr als $30 \text{ min} \cdot \text{mg/L}$

entspricht[4].

C entspricht der Konzentration von freiem Chlor in mg/L und T = Kontaktzeit in min unter den Bedingungen, dass die infektiösen Stadien des Erregers frei in Trinkwasser suspendiert sind, bei konventionellen Dosen und Kontaktzeiten und der pH zwischen 7 – 8 liegt. Die Weltgesundheitsorganisation weist jedoch darauf hin, dass Organismen, die in **Biofilmen** wachsen wie Legionellen und Mykobakterien hierdurch vor der Einwirkung von Chlor geschützt sind. Zudem spielt für die Persistenz eine Rolle, ob als Infektionsreservoir nur der Mensch oder auch andere tierische Organismen (z.B. Insekten, Schnecken, Asseln, Nagetiere) eine Rolle spielen, die gelegentlich in Hochbehälter oder Leitungssysteme eindringen und z.T. auch in der Wasserphase längere Zeit überleben können[4].

4.3.2 Einteilung nach Pathogenität

Eine weitere Einteilung berücksichtigt die Pathogenität des Erregers. Hiernach können Krankheitserreger in

- obligat-pathogene Erreger
- fakultativ-pathogene Erreger oder
- opportunistisch pathogene Erreger

eingeteilt werden.

Unter **obligat-pathogenen Erregern** werden Erreger verstanden, die bei fehlender spezifischer Immunität bei Gesunden Infektionskrankheiten auslösen können.

Die wasser- und abwasserübertragenen obligat-pathogenen Erreger, die in der Regel fäkal-oral übertragen werden, lassen sich nochmals unterteilen in solche obligat-pathogenen Erreger

- obligat-pathogene Erreger mit **hoher relativer Infektiosität** und solcher
- obligat-pathogene Erreger mit **niedriger relativer Infektiosität**

Neben den obligat-pathogenen Erregern haben die sog. fakultativ-pathogenen Erreger in den letzten Jahrzehnten erheblich an Bedeutung zugenommen.

Zu **fakultativ-pathogenen Erregern** zählen solche Erreger, die zur Auslösung von Infektionskrankheiten beim Menschen spezifische Voraussetzungen benötigen wie z.B. Grundkrankheiten (Cystische Fibrose, chronisch obstruktive Lungenerkrankungen, Diabetes, Multimorbidität), offene Wunden, chronische Wunden, invasive Kathetersysteme oder Schwangerschaft bzw. das Raucherverhalten.

Derartige Voraussetzungen können die Widerstandsfähigkeit, d.h. die Resistenz gegen das Auftreten von Infektionen deutlich erniedrigen. Mit der Zunahme vulnerabler Bevölkerungsgruppen durch eine älter werdende Gesellschaft nimmt die Bedeutung entsprechender fakultativ-pathogener Erreger zu.

Zu den **opportunistisch-pathogenen Erregern** zählen ausschließlich solche Erreger, die eine spezifische Immunschwäche voraussetzen. Hierauf wird im Weiteren nicht näher eingegangen, da es sich hierbei um spezifische Probleme von medizinischen Einrichtungen und ganz bestimmten Bevölkerungsgruppen mit bestimmten Grundkrankheiten handelt [61].

4.3.3 Einteilung wasserbedingter Krankheitserreger nach Herkunft, Pathogenität und Antibiotikaresistenz

Waren die von der Weltgesundheitsorganisation in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgeführten wasserbedingten Krankheitserreger primär darauf bezogen, ob sie fäkaler Herkunft waren, zeigte sich, dass in zunehmendem Maße trinkwasserbedingte Infektionen durch Erreger ausgelöst wurden, die zur sog. aquatischen Mikroflora des Trinkwassers zählen und die in der Lage sind, sich in wasserführenden Systemen zu vermehren.

Weiterhin wird in zunehmendem Maße die Frage diskutiert, inwieweit auch Antibiotika-resistente Erreger zumindest in bestimmten Bereichen über Wasser bzw. Abwasser übertragen werden können [36, 62-68].

Um diese Aspekte, die auch für die Überwachung des Trinkwassers von erheblicher zukünftiger Bedeutung sind, in die Gefährdungsbeurteilung mit einzubeziehen, wurde ein Vorschlag in Ergänzung zur Einteilung der trinkwasserbedingten Erreger der Weltgesundheitsorganisation, worin Pathogenität und relative Infektiosität, die Herkunft, (fäkale Herkunft, aquatische Herkunft) und Bedeutung für Einrichtungen des Gesundheitswesens mitberücksichtigt werden.

Tabelle 2: Einteilung wasserassoziierter Krankheitserreger in Abhängigkeit von Pathogenität, Herkunft und Antibiotikaresistenz

Obligat- pathogene Erreger (fäkale Quellen)		Fakultativ-pathogene Erreger (Quelle: aquatische Mikroflora)		Antibiotika resistente Bakterien (Bedeutung ungesichert und derzeit in der Abklärung)
Relative Infektiosität		Bedeutung für		
gering	Mäßig - hoch	Öffentliche Gesundheit	medizinische Einrichtungen	
<ul style="list-style-type: none"> - Salmonella - Vibrio cholerae - E. coli (enteropathogen) 	<ul style="list-style-type: none"> - Shigella spp. - Campylobacter - E. coli (EHEC) - Francisella tularensis - Adenovirus - Norovirus - Rotavirus - Cryptosporidium - Giardia 	<ul style="list-style-type: none"> - Legionella pneumophila - P. aeruginosa - Coliforme¹ - Mykobakterien (nicht tuberkulöse) - (Clostridioides difficile) 	<ul style="list-style-type: none"> - Legionella spp.². - P. aeruginosa - Coliforme³ - Mykobakterien (nicht tuberkulöse) - (Clostridioides difficile) - Acinetobacter - Burkholderia - Stenotrophomonas - Ralstonia 	<ul style="list-style-type: none"> - Carbapenem resistente und Carbapenemase produzierende - - Enterobacterales - - P. aeruginosa - - Acinetobacter - VRE⁴
<p>Klassifizierung wasserübertragener Erreger in Abhängigkeit von Pathogenität, relativer Infektiosität und Antibiotikaresistenz nach Vorschlag von Martin Exner</p> <p>¹ Coliforme wie <i>Klebsiella pneumoniae</i>, <i>K. oxytoca</i>, <i>Enterobacter cloacae</i>, <i>Serratia marcescens</i></p> <p>² spp. = species pluralis, d.h. auch andere Legionellen species als <i>L. pneumophila</i>, zur unterschiedlichen Bedeutung für med. Einrichtungen vs. Öffentliche Gesundheit siehe z.B. [69]</p> <p>³ weitere Coliforme</p> <p>⁴ Vancomycin resistente Enterokokken</p>				

4.4 Gefährdungsbeurteilung fakultativ-pathogener Erreger mit Bedeutung für die öffentliche Gesundheit

4.4.1 Allgemeine Aspekte

Im Folgenden werden fakultativ-pathogene Erreger mit Bedeutung für die öffentliche Gesundheit behandelt.

Bei den in Tabelle 2 aufgeführten **fakultativ-pathogenen Erregern mit Bedeutung für die öffentliche Gesundheit** handelt es sich ausschließlich um Bakterien, die auch außerhalb des Krankenhauses von epidemiologischer Bedeutung sind und nicht in der Regel mit einem Aufenthalt in einer medizinischen Einrichtung bzw. Krankenhaus assoziiert sind.

Die fakultativ-pathogenen Erreger mit Bedeutung in medizinischen Einrichtungen werden im Folgenden nicht detailliert behandelt, da hierzu eigene Risikoregulierungen, die spezifisch für Krankenhäuser sind, gelten.

Im Gegensatz zu Parasiten und Viren haben Bakterien die Eigenschaft, sich in der Natur, im Trinkwasser, in Leitungsnetzen und im Abwasser in Abhängigkeit von den jeweiligen für sie günstigen ökologischen Rahmenbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit, Nährstoffen etc. zu vermehren.

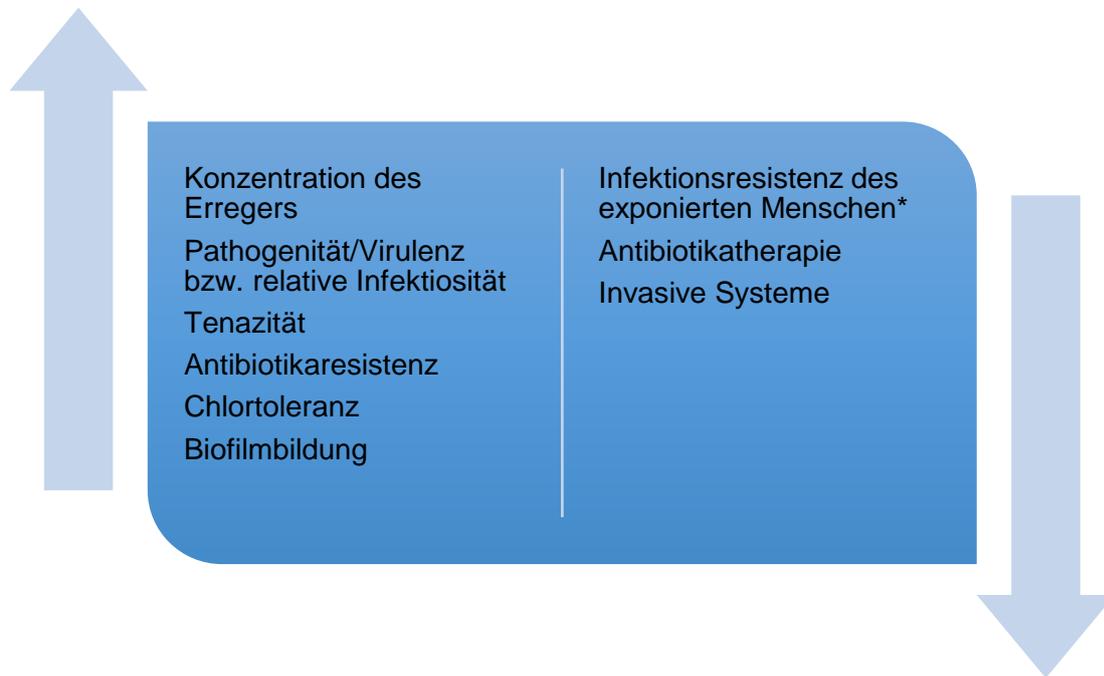
Nachfolgende Eigenschaften sind für die wasserassozierten fakultativ-pathogenen Bakterien charakteristisch:

- Sie können **Bestandteil der aquatischen Mikroflora** sein und sind nicht ausschließlich auf Besiedlung bei Mensch und Tier angewiesen.
- Sie sind in der Lage **Biofilme** zu bilden.
- Durch die Biofilmbildung erlangen sie eine **erhöhte Desinfektionsmitteltoleranz** und **jahrelange Persistenz** an Oberflächen.
- Sie sind in der Lage zu **wiederaufzukeimen (Resuscitation)** und sich zu hohen Konzentrationen zu vermehren.
- Einige von ihnen sind in der Lage, einen sog. **Viable but not culturable Status (VBNS)** zu bilden, in welchem sie zwar lebensfähig, aber nicht kulturfähig sind und dadurch dem Nachweis entgehen.
- Einige wenige der fakultativ-pathogenen Mikroorganismen sind darüber hinaus in der Lage, **Ultramikrozellen** zu bilden mit einer Größe von $<0,1\mu\text{m}$ und damit möglicherweise auch Ultrafilter zu passieren.

Bei den **obligat-pathogenen Erregern** spielt die Disposition des exponierten Menschen mit Ausnahme der spezifischen Immunität gegenüber dem jeweiligen Krankheitserreger nicht die entscheidende Rolle für die Auslösung klinischer Symptome. Aus diesem Grunde können **obligat-pathogene Erreger auch bei gesunden Menschen** – in Abhängigkeit von seiner spezifischen Immunität gegenüber dem jeweiligen Krankheitserreger – Erkrankungen auslösen.

Bei den **fakultativ-pathogenen Erregern** hingegen spielt die **Disposition** der exponierten Personen eine **entscheidende Rolle** für die Auslösung einer Erkrankung. Bestehen keine Infekt-disponierende Faktoren bei exponierten Personen, so sind diese Erreger für den „Gesunden“ nicht relevant. Deutlich wird dieser Sachverhalt z.B. im Krankenhaus am Beispiel des medizinischen Personals. Obwohl medizinisches Personal und Patienten den gleichen Mikroorganismen exponiert sind, kommt es nur bei den Infekt-disponierten Patienten zu Kolonisationen und nachfolgend ggf. zu schweren, zum Teil tödlich verlaufenden Infektionen.

Diese Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Abbildung 11 detailliert aufgeführt.



*Alter, Multimorbidität, Immunsuppression, COPD, Diabetes, Cystische Fibrose, Schleimhautläsionen, offene Wunden, Rauchverhalten etc

Abbildung 11: Faktoren, die die Pathogenität/Virulenz bei fakultativ-pathogenen Erregern im Wechselspiel zu den die Disposition bestimmenden Faktoren der exponierten Personen bestimmen (modifiziert nach Duncan and Edberg, S.C. 1995, Crit. Rev. Microbiol, 21, 85-100)

Faktoren, die die Infektesistenz des exponierten Menschen beeinflussen, sind patientenspezifische Charakteristika wie Alter, Multimorbidität, bestehende Grundkrankheiten wie chronisch obstruktive Lungenerkrankung, Diabetes, intrinsische bzw. therapeutische Immunsuppression, Bestehen von Schleimhautverletzungen und offenen Wunden.

In Abhängigkeit von der **Immunsuppression**, bemessen an der Zahl der Granulozyten bzw. Leukozyten und der bestehenden Dauer der Leukozytopenie (< 1.000) unter oder über 10 Tage, nimmt die Infektionsresistenz drastisch ab [61].

Neben den patientenspezifischen Faktoren spielt die **Behandlung mit Antibiotika** eine entscheidende Rolle, insbesondere bei der Besiedlung mit Antibiotikaresistenten Erregern. Durch das Abtöten der kommensalen Mikroflora z. B. auf Haut, Schleimhaut und Darm können sich Antibiotikaresistente Erreger anstelle der kommensalen Bakterien nachhaltig ansiedeln, so kann es durch anhaltenden Selektionsdruck infolge Antibiotika-Therapie zu einer Dominanz Antibiotikaresistenter Erreger innerhalb der Darmmikrobiota kommen. Treten dann weitere Wirtsfaktoren auf, wodurch die Barrierefunktion der Darmschleimhaut gestört wird, wie z. B. bei einer Chemotherapie oder einer Operation, kann es zu einer Verlagerung von Bakterien und nachfolgender Blutstrominfektion kommen.

Ähnliche Prozesse spielen sich auch außerhalb des Darmes ab, wie z. B. in der Lunge oder auf der Haut, wodurch bestimmte Bakterien die Zusammensetzung der Mikrobiota massiv dominieren. Hierzu zählen sowohl solche Mikroorganismen, die Teil der physiologischen Mikrobiota des Menschen sind oder die von exogen (z. B. aus dem Krankenhausmilieu) auf den Patienten unter diesen Bedingungen ein geeignetes Ansiedlungsfeld beim Menschen finden.

Während man lange Zeit davon ausging, dass sich derartige Mikroorganismen ohnehin in niedrigen Konzentrationen als Teil der physiologischen Mikrobiota darstellen, so kann bei einem **Teil der fakultativ-pathogenen Mikroorganismen** mittlerweile sicher davon ausgegangen werden, dass sie **nicht Teil der Humanmikrobiota** sind, sondern immer von außen, d.h. von exogenen Quellen wie z.B. Wasser oder Abwas-

ser unter diesen Bedingungen auf den Menschen gelangen und die Mikrobiota des Menschen dominieren.

Zur Vermeidung einer Fehlbesiedlung der Mikrobiota zählen daher die grundsätzlichen Maßnahmen wie

- Hygienemaßnahmen zur Vermeidung einer Kolonisation
- antimikrobielles Stewardship (richtiger und streng indizierter Einsatz von Antibiotika)

zu den entscheidenden Strategien der Infektionsprävention.

Diese Zusammenhänge sind in der nachfolgenden Abbildung 12 von Khodamoradi et al. dargestellt [70].

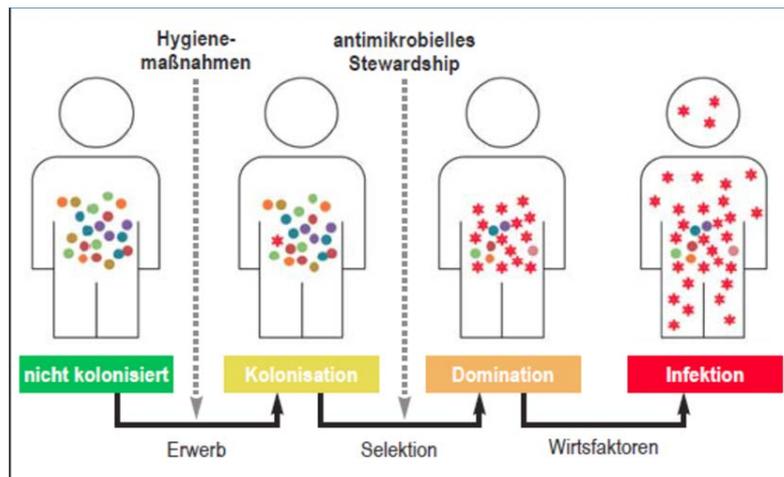


Abbildung 12: Phasen der Infektionspathogenese: nach Yascha Khodamoradi et al. The role of microbiota in preventing multidrug-resistant bacterial infections (65)

Unter dem Einfluss einer Antibiotikaexposition breiten sich multiresistente Bakterien, die initial in niedriger Dichte im Darm als dem Hauptresistenzreservoir oder in exogenen Reservoiren vorhandenen waren, klonal aus. Die so entstandene Dominanz multiresistenter Bakterien prädisponiert zur Entstehung von invasiven Infektionen mit denselben Erregern.

Invasive Systeme wie Infusionssysteme in Venen bzw. Arterien zur Infusion, Harnwegskatheter zur Ableitung von Urin, Beatmungstuben bei mechanischer Beatmung oder andere Fremdkörper eröffnen den Zugang zu normalerweise nicht physiologischerweise kolonisierter Bereiche wie z. B. Lunge oder Blase bzw. Gefäßsystem. Zudem begünstigt Fremdkörpermaterial wie Kunststoffe die Ansiedlung von Mikroorganismen, hauptsächlich in Biofilmen, wodurch diese Mikroorganismen einerseits auf diesen Kunststoffoberflächen persistieren und weder durch Antibiotika noch durch Biozide effizient erreicht werden können.

Die in der Tabelle 2 aufgeführten fakultativ-pathogenen Mikroorganismen können sowohl in Trinkwasser- als auch in Abwassersystemen Reservoire haben, über die sie durch unterschiedliche Übertragungswege auf den Menschen gelangen und hier zu Infektionen führen können.

Während Trinkwasser als Quelle und Überträger insbesondere für Legionellen und *Pseudomonas aeruginosa* schon seit vielen Jahren bekannt ist, wird jetzt erst deutlich, welche überragende Bedeutung abwasserführende Systeme insbesondere in medizinischen Einrichtungen für die Übertragung u.a. Antibiotika-resistenter Mikroorganismen haben können [36].

Vor dem Hintergrund der Bedeutung exogener Quellen aus aquatischen Biotopen kommt daher der Prävention durch Kontrolle der Vermehrung von fakultativ-pathogenen Mikroorganismen in wasserführenden Systemen eine aus heutiger Sicht überragende Bedeutung zu.

4.4.2 Epidemiologische Charakterisierung wasserübertragener fakultativ-pathogener Erreger

Gargano et al. [71] untersuchten die Mortalität ausgewählter wasserassoziierter Erkrankungen in den Vereinigten Staaten von 2003 bis 2009. Insgesamt wurden bei erheblicher Dunkelziffer 6.939 jährliche Todesfälle assoziiert mit 13 unterschiedlichen Infektionserregern dokumentiert. 493 (7 %) waren durch sieben Krankheitserreger bedingt, die über den fäkal-oralen Weg übertragen wurden.

6.301 Todesfälle (91 %) waren assoziiert mit Infektionen durch *P. aeruginosa*, nontuberkulöse Mykobakterien, Legionellen und solchen Erregern, die in Biofilmen wasserführender Systeme wachsen. Biofilm-assoziierte Krankheitserreger verursachen auch Erkrankungen durch Inhalation über Aerosole oder Kontakt mit kontaminiertem Wasser.

Diese Befunde zeigen, dass über 90% der Todesfälle mit sechs der untersuchten 13 Erreger assoziiert waren, die aus der Umwelt stammen und in der Lage sind, Biofilme in wasserführenden Systemen zu bilden. Die Mehrzahl der Todesfälle durch die untersuchten wasserübertragbaren Infektionserreger in den Vereinigten Staaten beruhen also nicht auf der klassischen fäkal-oralen Übertragung, sondern auf anderen Übertragungswegen [71].

Nach Untersuchungen von Collier et al. [72] treten trotz der Erfolge in der Hygiene der Vereinigten Staaten jährlich Millionen von potentiell wasserbedingten Erkrankungen auf, ohne dass deren genaue Krankheitslast ausreichend quantifiziert ist. Aus diesem Grunde halten die Autoren die Abschätzung der direkten Kosten spezifischer Infektionen für das Gesundheitswesen für sinnvoll, um die Maßnahmen zur Prävention wasserbedingter Erkrankungen priorisieren zu können. Hospitalisierungen und Kosten für die ambulante Versorgung pro Fall sowie die Gesamtkosten für die Hospitalisierung für zehn wasserbedingte Erkrankungen wurden in dieser Studie untersucht.

Die fünf hauptsächlich wasserbedingten Erkrankungen in dieser Analyse (Giardiasis, Cryptosporidiosis, Legionellose, Otitis externa (meist verursacht durch *P. aeruginosa*) und atypische Mykobakterien-Infektion) waren verantwortlich für mehr als 40.000 Hospitalisierungen und Gesamtkosten von 970 Mio. US-Dollar pro Jahr einschließlich 430 Mio. US-Dollar für die Hospitalisierung älterer Patienten (medicaid und medicare-Patienten). Zusätzlich wurden 50.000 Hospitalisierungen durch Campylobacteriose, Salmonellose, Shigellose, hämolytisch-urämisches Syndrom und Toxoplasmose mit einem Kostenaufwand von 860 Mio. US-Dollar jährlich beziffert, von denen für einen Teil eine wasserbedingte Übertragung angenommen wird [72].

Von Adam et al. [73] wurden die Prävalenz und die direkten Kosten für den Besuch von Notfallambulanzen und Hospitalisierungen von ausgewählten, potentiell wasserübertragenen Erkrankungen in den Vereinigten Staaten abgeschätzt. Hierbei wurden akute Otitis externa, Campylobacteriose, Cryptosporidiose, E. coli-Infektionen, Amöben-Infektionen, Giardiasis, Hepatitis A-Virusinfektion, Legionellen-Erkrankungen, atypische Mykobakterien-Infektion, P.aeruginosa-bedingte Pneumonie oder Sepsis, Salmonellose, Shigellose und Vibrio cholerae-bedingte Erkrankungen berücksichtigt. Eine Differenzierung nach verschiedenen Wassersystemen (Trink-, Badebecken-, Kühlwasser etc.) wurde dabei allerdings nicht vorgenommen. 477.000 jährliche Notfallambulanzbesuche gehen geschätzt auf diese Erkrankungen zurück.

Die meisten Ambulanzbesuche für nicht hospitalisierungsbedürftige, aber behandlungsbedürftige Erkrankungen mit Kosten von 178 Mio. US-Dollar pro Jahr waren assoziiert mit akuter Otitis externa. Die jährlichen hospitalisierungs- und behandlungsbedürftigen Erkrankungen der untersuchten Erreger bedingten insgesamt Kosten von 3,8 Mrd. US-Dollar pro Jahr. Da viele dieser Erkrankungen nicht ausschließlich durch Wasser übertragen werden, ist ein wissenschaftlicher Attributionsprozess notwendig, um den Anteil dieser Notfallambulanzvisiten und Kosten zu ermitteln, der auf wasserbürtige Übertragung zurückgeht. Dabei ist gegebenenfalls auch eine weitere Differenzierung nötig, welcher Anteil der Erkrankungen auf direkte Wasserübertragung zurückgeht (Trinkwasser), und welcher auf Sekundärverunreinigungen des Wassers durch Nutzer (z.B. in Badebeckenwasser).

Somit ist festzuhalten, dass (Trink-) wasserbedingte Erkrankungen durch fakultativ-pathogene Erreger aus der aquatischen Umwelt in Ländern mit hohem Hygienestandard mittlerweile eine deutlich höhere Bedeutung für die öffentliche Gesundheit haben, als die o.a. klassischen obligat-pathogenen fäkal-oral übertragenen Erreger. Aus diesem Grunde ist es notwendig, diesen bislang nur teilweise regulatorisch berücksichtigten Erregern zukünftig höhere gesundheitspolitische und regulatorische Bedeutung beizumessen.

4.5 Beschreibung ausgewählter wasserübertragener Krankheitserreger

Im **Anhang I** werden ausgewählte der o.a. obligat-pathogenen Erreger mit hoher Infektiosität bzw. niedriger Infektionsdosis sowie fakultativ-pathogenen Erreger mit Bedeutung für die Öffentliche Gesundheit beschrieben.

Die Darstellung orientiert sich in ihrer Gliederung an den Leitlinien zu §§ 9 und 10 der Trinkwasserverordnung und ergänzt diese.

Es werden jeweils

- gesetzliche Anforderungen,
- Untersuchungsverfahren,
- Charakteristiken der Krankheitserreger,
- Indikatorfunktion,
- gesundheitliche Bedeutung und
- Handlungsempfehlungen

beschrieben.

Ergänzt werden die Steckbriefe durch Kasuistiken zu Ausbrüchen und Störfällen in **Anhang II**, die den Praxisbezug der Empfehlungen verdeutlichen.

5 Fokusthema: Antibiotika-resistente Erreger in der Wasserversorgungskette

5.1 Allgemeine Aspekte

Entsprechend einem kürzlich erschienenen Bericht der Europäischen Zentrale für Infektionsprävention in Stockholm (ECDC in 2019) werden antimikrobielle Resistenzen und Infektionen mit Antibiotika-resistenten Mikroorganismen zu einer immer größeren Bedrohung für die öffentliche Gesundheit in Europa und weltweit [74].

Zwei hauptsächliche Faktoren – übermäßige Verwendung bzw. Missbrauch von Antibiotika und suboptimale Infektionspräventions- und Kontrollpraktiken führen entsprechend dem Bericht der ECDC dazu, dass die Antibiotika-Resistenz in vielen Teilen der Welt einen besorgniserregenden Gefährdungsgrad erreicht hat.

Das Ausmaß der Probleme wurde in einem Bericht der Weltbank quantifiziert, wonach Infektionen durch Antibiotika-resistente Mikroorganismen für bis zu 700.000 Todesfälle pro Jahr weltweit verantwortlich sind. Dabei sind gewiss länderspezifische

Differenzierungen vorhanden, die in dem Bericht allerdings nicht thematisiert werden. Der Bericht weist darüber hinaus darauf hin, dass im Jahre 2050 Infektionen durch resistente Mikroorganismen für bis zu 10 Millionen Todesfälle pro Jahr verantwortlich sein und die hiermit verbundenen jährlichen ökonomischen Kosten eine Billion US-Dollar bis 2030 betragen könnten [75].

Auch in Deutschland wurde seitens der Bundesregierung und des Bundesgesundheitsministeriums die deutsche antimikrobielle Resistenzstrategie (DART) verabschiedet, worin insgesamt sechs Ziele zur Erreichung einer Kontrolle der Risiken durch antimikrobielle Resistenzen genannt werden.

1. One Health-Ansatz stärken
2. Resistenzentwicklung frühzeitig erkennen
3. Therapie-Optionen erhalten und verbessern
4. Infektionsketten frühzeitig unterbrechen und Infektionen vermeiden
5. Bewusstsein fördern und Kompetenzen stärken
6. Forschung und Entwicklung unterstützen

In dem vierten Zwischenbericht 2019 DART 2020 wird ausdrücklich auch die Wechselbeziehung zwischen Mensch, Tier und Umwelt als wichtiges Ziel genannt. Dabei sollen die ökologischen Auswirkungen der Verabreichung von Antibiotika an Mensch und Tier und deren Umwelt in einem One Health-Ansatz untersucht werden. Darüber hinaus wird auf das vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „Biologische bzw. hygienisch-medizinische Relevanz und Kontrolle Antibiotika-resistenter Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern und deren Bedeutung in Rohwässern (HyReKA)“ hingewiesen, s. Kap. 5.6. Hierin haben die interdisziplinären Partner Eintragspfade von Antibiotika-resistenten Bakterien, Antibiotika-Resistenzgenen und Antibiotika-Rückständen von Mensch oder Tier in die Umwelt qualitativ und quantitativ charakterisiert und die Möglichkeiten zur Unterbrechung der Ausbreitung in die Umwelt mit geeigneten technischen Verfahren untersucht. Ebenso wurde die Rückkopplung zurück zum Menschen durch Kontakt mit Wasser bzw. Abwasser oder in Kliniken untersucht. Schließlich wurde die Rückverfolgbarkeit von Antibiotika-resistenten Erregern und Resistenzgenen aus Abwässern auf deren Ursprungsorte im Sinne des Microbial Source-Tracking geprüft. Dieses Verbundvorhaben ist Teil des Förderschwerpunktes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung „Nachhaltiges Wassermanagement“ und hat wesentliche Teile der Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen durchgeführt.

Feuerpfeil et al. hatten bereits 1999 in einem Review im Bundesgesundheitsblatt unter dem Titel „Antibiotika-resistente Bakterien und Antibiotika in der Umwelt“ darauf hingewiesen, dass Antibiotika-resistente Bakterien in zum Teil großen Mengen in die Umwelt eingetragen werden [76]. Die dabei postulierten Haupteintragspfade beinhalteten hauptsächlich die Intensivtierhaltung, Gülle sowie klinisches und häusliches Abwasser. Bereits zum damaligen Zeitpunkt wurde ein deutlicher Anstieg Antibiotika-resistenter Bakterien in der Umwelt festgestellt. Obwohl der Weg Antibiotika-resistenter Bakterien aus der Umwelt zurück zum Menschen noch nicht genau untersucht war, wurde bereits gefordert, aus Gründen der Vorsorge diesen Pfad möglichst zu unterbinden. Weiterhin solle die Technik der Abwasserreinigung so gestaltet werden, dass eine Exposition des Menschen gegenüber Antibiotika-resistenten Bakterien vermieden werde, z. B. mittels Mikrofiltration. Auch in Deutschland nehme nach Feuerpfeil et al. das Problem Antibiotika-resistenter Krankheitserreger bedrohliche Ausmaße an.

Trotz dieser auch aus heutiger Sicht richtigen Forderungen wurde dem Problem längere Zeit keine ausreichende Aufmerksamkeit gewidmet, wobei in der wissenschaft-

lichen Fachliteratur durchaus wichtige molekulargenetische Untersuchungen die zunehmende Relevanz weiterhin bestätigten [65, 67, 68, 77-90].

5.2 Entwicklung von Bewertungskonzepten

In Deutschland wurde dieser Thematik der Ausbreitung von Antibiotikaresistenzen in die aquatische Umwelt mit dem Forschungsvorhaben „Risikomanagement von neuen Schadstoffen und Krankheitserregern im Wasserkreislauf“ (RISKWa) im Rahmen des Förderprogrammes „Forschung für nachhaltige Entwicklungen“ mit Ausschreibung vom 15. Juli 2010 eine neue Bedeutung in der Forschungsförderung zuerkannt. U.a. resultierten hieraus erste Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit dem Schwerpunkt „Krankheitserreger“ und Antibiotika-Resistenzen [91]. Hierbei wurden sowohl die neuen Möglichkeiten der Molekularbiologie zur Identifizierung und Quantifizierung von Antibiotika-Resistenzgenen und Genträgern als auch die klassischen Verfahren der Kultivierung zur Identifizierung spezifischer Antibiotika-resistenter Organismen und Multiresistenzen für die Erstellung neuer, moderner und angepasster Bewertungskonzepte vorgeschlagen. Die in diesem Verbundvorhaben ermittelten Daten belegten, dass klinisch relevante Resistenzgene auch in der Umwelt und nicht nur im klinischen Bereich zu finden waren und sich der Zusammenhang von Evolution und Verbreitung von Antibiotika-Resistenzen in Kliniken und urbanen Umwelthabitaten über unterschiedliche Mechanismen manifestierte.

Dennoch lagen zum damaligen Zeitpunkt (2015) keine umfassenden Daten vor, die es erlaubten, eine grundsätzliche Bewertung eines bestehenden Risikos durch Antibiotika-resistente Bakterien vorzunehmen und Vorschläge zur konkreten Risikoregulierung vorzulegen. Insbesondere ist bis heute die Berücksichtigung von Krankheitserregern wie spezifischen, klinisch relevanten Bakterien mit Antibiotika-Resistenzgenen auch in nationalen und internationalen Regularien noch nicht gegeben. Es wurde jedoch vorgeschlagen, aufgrund der kontinuierlichen Zunahme von Antibiotika-Resistenzen in den untersuchten natürlichen Wasserkörpern, dieser Thematik die notwendige Aufmerksamkeit zu widmen.

5.3 Entwicklung von Nachweisverfahren

Zudem wurde darauf hingewiesen, dass mit den vorhandenen Methoden lokale, kritische Bereiche (z.B. stark belastete Abwassertalströme) mit geeigneten Techniken behandelt werden sollten, um sowohl Bakterienfrachten als auch das Verbreitungsrisiko von Antibiotika-Resistenz Genen zu minimieren. Neben technischen Herausforderungen sei es eine der wesentlichen Aufgaben, Nachweismethoden zu etablieren, welche sowohl den klinischen Notwendigkeiten als auch den Ansprüchen einer Umweltanalyse genügen.



Abbildung 13: Grundlagen für die Erstellung eines angepassten Bewertungskonzepts nach Schwartz (86)

Eine der entscheidenden Fragen ist dabei, welche Rolle in diesem Kontext - insbesondere im Hinblick auf Überwachung und Bewertung - kulturelle versus molekularbiologische Verfahren haben können. Dabei dürfen die bewährten kulturellen Verfahren, auf denen die Risikoregulierung beruht, nicht leichtfertig zugunsten der molekularbiologischen Verfahren aufgegeben werden, sondern sollten sich sinnvoll ergänzen.

5.4 Gefährdungseinschätzung

Die ansteigende globale Ausbreitung multiresistenter (MDR) und extensively Antibiotikaresistenter (XDR) gramnegativer Bakterien stellt eine der großen Herausforderungen für den Gesundheitsschutz dar [92].

Von besonderer Bedeutung sind dabei **Carbapenem**-Antibiotika, wobei es sich um Betalaktam-Verbindungen mit einem weiten Aktivitätsspektrum gegen gramnegative Bakterien handelt, die bei nosokomialen Infektionen mit Bakterien eingesetzt werden, die **Extended Spektrum Beta-Laktamasen (ESBL)** ausbilden [92].

Die WHO hatte 2017 eine Liste von prioritären Krankheitserregern mit Antibiotika-Resistenz herausgegeben, die Grundlage für die Entwicklung neuer Antibiotika ist, da diese Bakterien die kritischsten Infektionen auslösen können.

Die Liste schließt

- Carbapenem-resistente *Acinetobacter baumannii*,
- Carbapenem-resistente *Pseudomonas aeruginosa* und
- Carbapenem-resistente Enterobacteriaceen mit Resistenz gegenüber Cephalosporinen der dritten Generation

als die kritischsten Bakterien ein [93].

Entsprechend dem **Nationalen Referenzzentrum für gramnegative Krankenhaus-erreger** ist **ESBL** ein Oberbegriff für eine Gruppe von über 300 Enzymen, die von Bakterien produziert werden können und dann eine Resistenz gegenüber bestimmten Antibiotika verursachen. Die genetische Information für diese Enzyme kann zwischen verschiedenen Bakterien ausgetauscht werden. Dieser Austausch funktioniert sogar zwischen Bakterien unterschiedlicher Spezies. Der Name ESBL steht für Extended Spectrum Beta-Lactamasen und erklärt sich dadurch, dass es sich um Enzyme handelt, die sog. Beta-Lactam-Antibiotika spalten. Da diese Enzyme nicht nur einige wenige, sondern viele Beta-Lactam-Antibiotika spalten können (Penicilline als auch Cephalosporine) spricht man von Beta-Lactamasen mit erweitertem Spektrum. Zur Therapie mit Bakterien mit ESBL gibt es glücklicherweise noch sehr gut wirksa-

me Alternativen, nämlich die sog. Carbapenem-Antibiotika (ebenfalls aus der Gruppe der Beta-Lactam-Antibiotika).

Carbapeneme zählen zu den Beta-Lactam-Antibiotika und werden als Reserve-Antibiotika eingesetzt, wenn andere Beta-Lactam-Antibiotika wie Penicilline oder Cephalosporine nicht mehr wirksam sind. Als erstes Antibiotikum aus der Substanzgruppe der Carbapeneme, wurde Imipenem, 1985 verfügbar und kurz danach weitere Carbapeneme wie Meropenem, Biapenem, Ertapenem und Doripenem. 1991 wurde über das Auftreten von Carbapenemasen gegen Imipenem berichtet und kurz danach folgten weitere Berichte über das Auftreten von weiteren Carbapenemasen. Einige der gefährlichsten Antibiotika-resistenten Infektionen werden durch Carbapenem-resistente Enterobacteriaceae (CRE) und durch Carbapenem-resistente Acinetobacter verursacht.

Die meisten der wichtigsten Carbapenem-resistenten Enterobacteriaceen produzieren Carbapenemase-Enzyme. Carbapeneme sind Betalactam-Antibiotika, was bedeutet, dass sie die Zellwandsynthese inhibieren und hierdurch Bakterien abtöten. Carbapenem-resistente Enterobacteriaceen, die eine Carbapenemase produzieren, können Carbapeneme hydrolisieren und damit auch andere Beta-Lactam-Antibiotika unwirksam werden lassen. Zahlreiche Carbapenemase-Gene sind Plasmid-vermittelt. Dabei werden die Antibiotika-Resistenzgene auf kleineren, unabhängigen Chromosomen getragen, die die gesamte Maschinerie beinhalten, um selbst zwischen unterschiedlichen Bakterienzellen übertragen zu werden und damit deren Resistenz auf andere Bakterien in enger Nachbarschaft zu übertragen. Ebenso können Plasmid-vermittelte Antibiotika-Resistenzen das Potential haben, Multiresistenzgene auf einem einzelnen Plasmid zu präsentieren. Hierdurch können unterschiedliche Resistenzgene simultan weiter verbreitet werden. So kann z.B. eine Carbapenem-Resistenz mit einer Resistenz gegen Schwermetalle bei Vorkommen eines einzigen Schwermetalles co-selektiert werden, wenn die Gene auf dem gleichen Plasmid vorhanden sind.

Plasmid vermittelte Carbapenemase-produzierende Gene schließen Varianten von

- Klebsiella pneumoniae- Carbapenemase (KPC),
- New-Delhi-Metallo-Beta-Lactamase (NDM),
- Oxacillinase-48-Typ-Carbapenemase (OXA-48) und
- Verona-Integron-vermittelte Metallo-Beta-Lactamase (VIM) ein.

Carbapenemasen sind ebenfalls von Bakterien produzierte Enzyme, die genauso wie die ESBL-Enzyme Beta-Lactam-Antibiotika spalten können und damit eine Resistenz verursachen. Genauso wie bei ESBL kann die genetische Information zur Herstellung von Carbapenemasen zwischen Bakterien ausgetauscht werden. Der entscheidende **Unterschied zu ESBL** besteht darin, dass Carbapenemasen eben auch gegen Carbapenem-Antibiotika wirken. Bakterien mit Carbapenemasen haben üblicherweise auch andere Resistenzen erworben. Damit fallen bei Carbapenemase-produzierenden Bakterien fast alle Antibiotika mit sehr guter Wirksamkeit aus. Häufig stehen zur Therapie noch Alternativen zur Verfügung, aber es wird angenommen, dass diese Alternativen weniger wirksam sind als Carbapeneme oder unerwünschte Nebenwirkungen haben.

Zur Gefährlichkeit von ESBL und Carbapenemasen ist festzustellen, dass bei Bakterienarten, bei denen ESBL oder Carbapenemasen vorhanden sind, wie z. B. die zu den Coliformen zählende *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter*, *Serratia* etc. diese nicht prinzipiell krankmachend sind. Diese Bakterien können durchaus auch den Darm besiedeln. Nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen lösen diese Bakterien als fakultativ-pathogen Bakterien Infektionen aus, z. B. bei sehr schwer kranken Patienten oder nach schweren Unfällen. Wenn es sich dann um ein

resistentes Bakterium mit ESBL oder Carbapenemasen handelt, ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass der Patient in den ersten Tagen der Infektion unabsichtlich mit einem falschen Antibiotikum behandelt wird. Dadurch kann sich für den Patienten auch das Risiko erhöhen, an der Infektion zu versterben. Nach dem heutigen Wissensstand sind Bakterien, die die Gene für ESBL oder Carbapenemasen tragen, nicht virulenter (also aggressiver) als solche Bakterien ohne diese Gene.

Insofern sind diese Bakterien insbesondere für Patienten im Krankenhaus von großer Bedeutung.

Der **Gesetzgeber** hat wegen der Bedeutung dieser Antibiotika-resistenten Erreger bereits 2016 die Verordnung zur **Anpassung der Meldepflicht nach dem Infektionsschutzgesetz an die epidemische Lage** herausgegeben.

Hiernach besteht eine Meldepflicht für Labore bei dem direkten Nachweis von

- **Enterobacteriaceae mit Carbapenem-Nichtempfindlichkeit oder bei Nachweis einer Carbapenemase-Determinante**, mit Ausnahme der isolierten Nichtempfindlichkeit gegenüber Imipenem bei bestimmten Enterobacteriaceen (Meldepflicht bei Infektion oder Kolonisation) sowie
- **Acinetobacter spp.** mit Carbapenem-Nichtempfindlichkeit oder bei Nachweis einer Carbapenemase-Determinante (Meldepflicht bei Infektion oder Kolonisation).

Diese Anpassungsverordnung für die genannten Carbapenem-resistenten bzw. Carbapenemase-produzierenden Enterobacteriaceen und Acinetobacter zeigt die hohe Bedeutung von Carbapenem-Resistenzen und Carbapenemase-bildenden Enterobacteriaceae und Acinetobacter auch in der Risikoregulierung in Deutschland, die auch der Gesetzgeber diesen Antibiotika-resistenten Erregern und *Clostridioides difficile* einräumt.

Im epidemiologischen Bulletin des RKI werden seit Januar 2020 wöchentlich die dem RKI seitens der Länder gemeldeten Erreger mit Antibiotikaresistenz und *Clostridioides-difficile*-Erkrankung im Vergleich zum Vorjahr aufgeführt (siehe Tabelle 3 <https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2020/02/Tabelle.html>)

Tabelle 3: Beispielhafte Tabelle der dem RKI gemeldeten Erreger mit Antibiotikaresistenz und *Clostridioides difficile*-Erkrankungen bis zur 51. Woche in Abhängigkeit von Land und Jahr.

	Erreger mit Antibiotikaresistenz und <i>Clostridioides-difficile</i> -Erkrankung											
	Acinetobacter-Infektion oder -Kolonisation (Acinetobacter mit Carbapenem-Nichtempfindlichkeit ¹)			Enterobacteriaceae-Infektion oder -Kolonisation (Enterobacteriaceae mit Carbapenem-Nichtempfindlichkeit ¹)			<i>Clostridioides-difficile</i> -Erkrankung, schwere Verlaufsform			Methicillin-resistenter <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA), invasive Infektion		
	2019		2018	2019		2018	2019		2018	2019		2018
	51.	1.-51.	1.-51.	51.	1.-51.	1.-51.	51.	1.-51.	1.-51.	51.	1.-51.	1.-51.
Baden-Württemberg	2	77	63	11	484	448	6	186	168	0	73	108
Bayern	2	80	104	11	620	481	6	279	355	2	192	188
Berlin	0	69	89	2	350	348	0	76	162	2	66	126
Brandenburg	2	15	19	2	105	88	3	89	136	1	63	70
Bremen	0	9	3	0	35	21	0	16	29	0	30	23
Hamburg	0	33	38	0	119	128	0	25	40	1	30	50
Hessen	0	98	93	9	612	560	5	133	122	1	77	109
Mecklenburg-Vorpommern	0	3	6	2	61	22	2	67	56	0	55	85
Niedersachsen	1	46	37	2	253	168	2	230	294	2	221	329
Nordrhein-Westfalen	0	180	192	20	1.072	894	14	629	857	9	568	792
Rheinland-Pfalz	1	25	28	6	216	196	1	53	90	0	51	73
Saarland	0	2	4	2	64	37	0	4	5	0	9	16
Sachsen	0	31	46	3	208	239	2	172	169	0	136	196
Sachsen-Anhalt	1	9	11	4	195	96	5	134	187	2	93	99
Schleswig-Holstein	0	18	15	2	97	60	1	52	47	2	49	70
Thüringen	1	7	26	1	120	108	1	77	81	1	44	81
Deutschland	10	702	774	77	4.611	3.895	48	2.222	2.799	23	1.758	2.415

¹oder bei Nachweis einer Carbapenemase-Determinante

Daher wird im Folgenden spezifisch auf das Vorkommen von Carbapeneme bzw. Carbapenemase-bildenden Enterobacteriaceae, Acinetobacter und Pseudomonas aeruginosa eingegangen.

Eine umfassende Übersicht über die Bedrohung von Carbapenem-resistenten Bakterien in der Umwelt und der Evidenz einer Kontamination im weltweiten Maßstab wird von Mills und Lee (2019) [68] gegeben.

Mills et al. [68] weisen in ihrem umfassenden Review darauf hin, dass die **Rolle der Umwelt** in der Förderung, Verbreitung und möglichen Übertragungen von Antibiotika-resistenten Genen und Bakterien einschließlich Carbapenemase-produzierenden Genen bislang nur unzureichend untersucht ist. Darüberhinaus seien insbesondere die Konsequenzen für den Gesundheits- und Umweltschutz sowie für risikoregulatorische Maßnahmen derzeit in der Diskussion.

Der größte Teil der Zunahme antibiotika-resistenten Krankheitserreger und deren Gene in der Umwelt dürfte heutzutage auf fäkale Kontamination sowohl von tierischen als auch menschlichen Quellen zurückzuführen sein, im Gegensatz zur natürlichen aquatischen Microflora, in der es auch vor Entwicklung der heutigen Antibiotika natürlicherweise Resistenzen gegen in der Natur vorhandene Antibiotika gegeben hat.

Obwohl verschiedene Review-Artikel publiziert wurden, die die bekannten und vermuteten Umweltreservoirs für Antibiotika-Resistenzen darstellen, sind solche Analysen bislang nur unzureichend für Carbapenem-resistente Enterobacteriaceen durchgeführt worden. Darüber hinaus ist die mögliche klinische Bedeutung dieser aus der Umwelt stammenden Antibiotika-resistenten Bakterien und Gene nicht sehr gut beschrieben. Im Folgenden wird unter Bezug auf die Arbeit von Mills et al. [68] der bisherige Kenntnisstand zum Vorkommen und zur epidemiologischen Bedeutung von Antibiotika-resistenten Carbapenemase-bildenden Enterobacteriaceen aus der Umwelt gegeben.

5.5 Exposition des Menschen und Übertragungswege

5.5.1 Zum Vorkommen von Antibiotikaresistenten Erregern beim gesunden Menschen und Risikofaktoren

Trotz der weit verbreiteten Prävalenz von Antibiotika-Resistenzen und Carbapenem-resistenten Enterobacteriaceen im natürlichen Umfeld und in aquatischen Biotopen bleiben der exakte Übertragungsweg und die Bedeutung bislang relativ ungesichert. Die mögliche Bedeutung Antibiotika-resistenter Mikroorganismen für die Trinkwasserversorgung und die öffentliche Gesundheit ist allerdings schon seit längerem in der Diskussion [76]. Die beiden Hauptübertragungswege von aus der Umwelt stammenden Antibiotika-resistenten Organismen auf den Menschen sind

- die Aufnahme von kontaminiertem (Trink-) Wasser, Lebensmitteln oder Produkten und
- der physische Kontakt mit Tieren.

2019 wurden aus den Niederlanden verschiedene Arbeiten publiziert, die zusätzlich weitere Übertragungswege (z.B. direkter Kontakt, Krankenhausaufenthalt, Aerosole) beschrieben und sich mit der Fragestellung befassten, inwieweit bei gesunden Personen das Vorkommen von ESBL-Enterobacteriaceae und Carbapenemasen von Bedeutung ist [94]. Hierzu wurden von 2014 bis 2016 ca. 2.000 Personen eingeladen, monatlich einen Fragebogen und eine Stuhlprobe abzugeben, die auf ESBL-Enterobacteriaceae getestet wurde.

Die ersten 1.758 Proben wurden auch auf Carbapenem-resistente Enterobacteriaceae untersucht. Insgesamt wurden 4.177 Personen untersucht. ESBL-Enterobacteriaceae konnten bei 186 Personen (4,5%) nachgewiesen werden, was zu einer adjustierten Prävalenzrate von 5% berechnet wurde. Risikofaktoren waren

- Geburtsland außerhalb der Niederlande,
- Essen in Restaurants > als 20 Mal pro Jahr,
- Antibiotika-Einnahme < 6 Monate zuvor,
- Schwimmen in See, Ozean in den letzten 12 Monaten,
- Reisen nach Afrika oder Asien in den letzten 12 Monaten,
- nicht tägliches Wechseln des Küchenhandtuches.

Insgesamt kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die Prävalenz von ESBL-Enterobacteriaceae-Trägerrate bei der niederländischen Bevölkerung ca. 5% beträgt. Identifizierte Risikofaktoren waren am häufigsten Reisen, hauptsächlich nach Asien und Afrika und die Küchenhygiene.

Carbapenemase-produzierende Enterobacteriaceen konnten nicht nachgewiesen werden.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass verschiedene Risikofaktoren untereinander abhängig waren, wie Geburt außerhalb der Niederlande, Essen in Restaurants und das Schwimmen in See und Ozean in den letzten 12 Monaten waren alle abhängig zu Reisen in den letzten 12 Monaten. Das tägliche Wechseln des Küchenhandtuches war ebenfalls abhängig von anderen hygienebezogenen Verhaltensweisen wie nicht regelmäßige Reinigung der Hände vor Zubereitung von Lebensmitteln oder nach Toilettenbesuch. Weiterhin war ein wichtiger Risikofaktor der Antibiotika-Gebrauch in den letzten sechs Monaten.

In einer weiteren populationsbasierten Modellstudie der Trägerrate von E. coli mit Beta-Lactam-Antibiotika-Resistenzgenen innerhalb der niederländischen Bevölkerung wurde festgestellt [95], dass die meisten ambulant erworbenen ESBL-E. coli auf eine Mensch-zu-Mensch-Übertragung innerhalb oder zwischen Haushalten bei der Normalbevölkerung (60,1 %) und aufgrund einer sekundären Übertragung von Hochrisikogruppen (6,9 %) zurückzuführen waren. Lebensmittel waren für 18,9 % der Trägerrate, Haustiere für 7,9 %, der nicht berufliche Kontakt zu Vieh auf Bauernhöfen war für 3,6 % und das Schwimmen in Gewässern und der Umweltkontakt zu Wildvögeln wurde in 2,6 % der Träger als Ursache angesehen. Obwohl der Mensch zu Mensch-Kontakt die wichtigste Quelle für eine Übertragung von ESBL-E. coli angesehen wird, sind die nicht menschlichen Quellen dennoch grundsätzlich so bedeutsam, dass longitudinale Studien und ein kontinuierliches Monitoring sinnvoll ist, da eine interkommunale ESBL-E. coli-Ausbreitung alleine sich selbst unterhält, ohne dass es zu Übertragungen auf und von nicht menschlichen Quellen kommt.

Hohe Risikofaktoren für Antibiotika-resistente Erreger sind

- der Aufenthalt in Krankenhäusern oder in Langzeitpflegeeinrichtungen in den letzten 12 Monaten,
- Berufsgruppen, die gegenüber Geflügel und Schweinen exponiert sind und
- Personen, die aus Afrika, Asien oder Süd- oder Zentralamerika in den letzten vier Wochen zurückgekehrt sind.

Nach diesen Schätzungen aus einem europäischen Land mit hoher Qualität der sanitären Bedingungen, einer hohen Qualität der Wasserversorgung und einer sehr restriktiven Antibiotika-Gabe bleiben die Prävalenzraten von Antibiotika-resistenten Erregern kenntlich als ESBL-E. coli und insbesondere die Rate an Carbapenemase-produzierenden Enterobacteriaceae gering [95].

Reisen in Länder mit schlechten sanitären Rahmenbedingungen wie Indien, wo mehr als 600 Millionen Menschen ihre Notdurft im Freien verrichten – ähnlich wie in Afrika – führen offensichtlich dazu, dass die allgemeinen hygienischen Rahmenbedingungen derart gravierend sind, dass dies bei Reisenden zu einer symptomlosen Besiedlung mit Antibiotika-resistenten Erregern führt. Der Nachweis von Antibiotika-resistenten Erregern wie NDM- Carbapenemase im Trinkwasser in Neu Delhi zeigt, dass in derartigen Ländern auch Trinkwasser ein wichtiges Reservoir für mehrfach resistente Erreger sein kann [96].

5.5.2 Übertragungswege und Bedeutung der Umwelt für Antibiotika-resistente Erreger beim Menschen

Hierbei werden im Folgenden unterschieden:

- Abwasserreservoir und Krankenhausumfeld
- Abwasseraufbereitung und
- Trinkwasser
- Oberflächenwasser, Sedimente und Periphyton
- Badegewässer.

5.5.2.1 Abwasserreservoir und Krankenhaus

In der internationalen Literatur wird die Frage der Antibiotika-Resistenz und das Vorkommen im Umfeld häufig auf den Krankenhausbereich konzentriert. Dabei kann mittlerweile festgestellt werden, dass im Krankenhausbereich und in Abwasser führenden Systemen eine hohe Last von Antibiotika-Resistenzen einschließlich von Carbapenemase produzierenden Antibiotika-resistenten Bakterien vorkommt [36, 97-105].

Aus dem krankenhaushygienischen Bereich wurden mittlerweile eine Vielzahl von Berichten in der internationalen Literatur publiziert, die über schwerverlaufende Ausbrüche im unmittelbaren Zusammenhang mit Waschbecken, Toiletten, Duschen und Abflüssen berichteten, die sich über Jahre hinzogen und z.T. mit Todesfällen und mit Carbapenem-resistenten und Carbapenemase-produzierenden gramnegativen Bakterien. Hierzu zählen auch eine Reihe von Berichten aus Klinken in Nordrhein- Westfalen [106-108]. Diese Ausbrüche konnten z.T. durch Desinfektionsmaßnahmen bzw. baulich-funktionelle Eingriffe in abwasserführende Systeme nachhaltig unter Kontrolle gebracht werden. Bis heute ist diesen Systemen im direkten Expositionsbereich von höchst vulnerablen Patientengruppen mit ihren Reservoiren für Resistenzen und resistenten Mikroorganismen keine regulatorische Beachtung geschenkt worden. Abwasserführende Systeme im direkten Patientenumfeld sind als Quellen für sporadische langdauernde nosokomiale Infektionsausbrüche mittlerweile sehr gut dokumentiert [36]. Hierauf wird nicht weiter spezifisch eingegangen, da hierzu mittlerweile seitens des Verfassers als federführender Leiter einer Arbeitsgruppe der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention eine eigene Empfehlung der KRINKO: „Anforderung der Hygiene an die Abwasserhygiene“ in Vorbereitung ist. Mit einer Veröffentlichung dieser KRINKO-Empfehlung ist im Frühjahr 2020 zu rechnen. Von Bedeutung ist, dass Krankenhausabwässer derzeit nicht weitergehend aufbereitet werden.

5.5.2.2 Abwasseraufbereitung

Mittlerweile häufen sich in der internationalen Literatur die Publikationen, die auch MDR- oder XDR-Bakterien mit Carbapenemase-Genen aus dem Abwasser und Oberflächenwasser wie oben aufgeführt isolierten.

Klinische Studien zeigten, dass eine ansteigende Zahl von Enterobacteriaceen mit unterschiedlichen Carbapenemase-Typen innerhalb von medizinischen Einrichtungen in Deutschland übertragen werden. Der globale Anstieg solcher Carbapenemase-produzierender Enterobacteriaceen hat dazu geführt, dass in zunehmendem Maße Reserveantibiotika wie Colistin angewendet werden mussten, womit wiederum das Risiko einer zunehmenden Resistenzentwicklung assoziiert ist. Übertragbare Colistin-Resistenzen, vermittelt durch Enzyme wie mcr- sowie mcr-tragende Plasmide, wurden international wie auch in deutschen Abwässern und Kläranlagenabläufen nachgewiesen [109-111].

Abwässer und v.a. die Belebungsbecken in Kläranlagen können in Schlammflocken als Mischreaktor für den horizontalen Resistenzgentransfer dienen und zur weiteren Ausbreitung von Carbapenemasen und den sie tragenden Bakterien in Oberflächenwässern über weite Strecken führen. Roca et al. [65] thematisieren 2015 in einer vielbeachteten Publikation die notwendigen komplexen Ansatzpunkte für Strategien zur Eindämmung von Antibiotikaresistenzen, wobei die unterschiedlichen Bereiche wie Antibiotic-Stewardship-Programme, strenge Kriterien für die Verordnung von Antibiotika sowohl in der Humanmedizin als auch in der Veterinärmedizin und Edukationsprogramme sowohl für die verordnenden Ärzte und Tierärzte als auch für Patienten genannt werden.

Die Neuentwicklung von klassischen Antibiotika wird hierbei nicht mehr als vielversprechende Option angesehen, sondern andere Optionen wie Antikörper gegen Virulenzfaktoren, antibakterielle Peptide oder Peptidmimetika, Bacteriophagen etc. werden favorisiert [65].

Wichtig aber ist, dass die Autoren in diesen Strategien auch ausführlich die Bedeutung von Kläranlagen für den Austausch von Antibiotika-Resistenzen über Plasmide thematisieren und den Austrag von Antibiotika aus der Tierhaltung in die Umwelt über die Ausbringung von Mist als Dünger, wodurch weitere Reservoirs für die Entwicklung von Antibiotika-Resistenzen entstehen. Sie weisen darauf hin, dass ohne politische Wahrnehmung und eine Regulierung der Abwasseraufbereitung die Belastung der Umwelt mit Antibiotika-Resistenzen nicht zu steuern sei. Nicht behandelt wurde jedoch die Frage, mit welchem Aufbereitungsverfahren es gelingen könnte, die Emission von Antibiotikaresistenzen aus Kläranlagen in die Umwelt zu vermeiden [65].

Vaz-Morena et al. [63] hatten bereits 2014 die komplexe Wechselwirkung zwischen der bakteriellen Diversität und Antibiotikaresistenz in Wasserhabitaten behandelt und die Frage thematisiert, unter welchen Umständen es zu einer Integration der aus der Umwelt stammenden Antibiotika-resistenten Erreger in das menschliche Mikrobiom kommen kann, was bei einem intakten humanen Mikrobiom nicht so ohne Weiteres gelingt. Der qualitative und quantitative Nachweis von Antibiotika-resistenten Erregern, Antibiotikaresistenzen und insbesondere Carbapenem-resistenten Enterobacteriaceen in natürlichen Matrices ist bedeutsam, um den anthropogenen Einfluss für die Verteilung und die Persistenz von Antibiotika-resistenten Bakterien in Umweltreservoirs zu ermitteln.

KPC-tragende Isolate wurden mittlerweile weltweit in Oberflächenwässern Brasiliens, Kanadas, Spaniens und in der Donau nachgewiesen. NDM wurden in Brasilien, Kanada und der Donau nachgewiesen. OXA wurde von Flussproben, Seen in Algerien, Brasilien, China, den Niederlanden, Frankreich und Portugal isoliert. VIM wurden in Kanada, Spanien und Österreich nachgewiesen [68].

Sedimente in Gewässern sind von Interesse als ein Umweltreservoir für Antibiotika-Resistenzen. KPC konnte in deutlich höheren Konzentrationen in Sedimenten als im Wasser selber unterhalb von Kläranlagen nachgewiesen werden [112]. Insofern kön-

nen Sedimente im Gegensatz zum stark sich verändernden Oberflächenwasser ein stationäres Reservoir sowohl für Antibiotika-Resistenz-Gene als auch Bakterien sein. Insgesamt muss festgestellt werden, dass Carbapenemase-produzierende Gene bislang nicht häufig in Sedimenten untersucht wurden, möglicherweise, da die Untersuchungsmatrix eine besondere Herausforderung darstellt.

Brown et al. untersuchten 2019 die Bedeutung von Flusssedimenten für die Aufnahme von Antibiotika-resistenten Partikeln bzw. Antibiotika-resistenten Genen und Bakterien. Die Autoren konnten zeigen, dass Antibiotika-Resistenzgene und fakultativ-pathogene Bakterien (*Enterokokken*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*) innerhalb der Partikelfraktion von Kläranlagenabflüssen sehr wahrscheinlich im Flussbett aufgrund von Sedimentation verbleiben. Offensichtlich ist der Anteil von sedimentierbaren Antibiotika-Resistenzgenen und fakultativ-pathogenen Bakterien aus Kläranlagenausflüssen ausreichend, um das Vorkommen im aufnehmenden Flussbettsediment um 0,5 – 2 log-Stufen zu erhöhen[113].

5.5.2.3 Abwasserbehandlung und Trinkwasser

In einer Studie in New Delhi, konnten NDM-Carbapenemasen in allen Kläranlagenproben einer einzigen Kläranlage festgestellt werden. Darüber hinaus wurden erstmalig NDM-Carbapenemasen in zwei Trinkwasserproben nachgewiesen, die auch in Sickerwasserproben in stehenden Gewässern in New Delhi nachgewiesen werden konnten [96]. Der Nachweis von Beta-Lactamase-NDM 1 in zwei von 50 Trinkwasserproben und 51 von 171 Sickerwasserproben aus New Delhi zeigte zum ersten Mal weltweit, dass Carbapenemasen grundsätzlich in Trinkwasserproben nachgewiesen werden konnten. Die entsprechende Arbeit hat erhebliche Bedeutung erlangt, da zumindest für Entwicklungsländer dieser Befund von größter Bedeutung ist und auch Trinkwasser bei unzureichender Aufbereitung – unter Berücksichtigung der spezifischen Voraussetzungen in einem Hochendemie-land wie Indien – als Infektionsweg in Frage kommt.

Fernando et al. [87] untersuchten das Vorkommen von Antibiotika-resistenten Genen in Roh- und Trinkwasserproben in einer Kommune in Kanada und konnten verschiedene Antibiotika-Resistenz-Gene einschließlich Carbapenemase-Gene (KPC, IMP, VIM, NDM, GES und OXA 48-Gene) im Roh- wie auch im Trinkwasser nachweisen. Dabei konnten gleichzeitig auch erhöhte Konzentrationen von Gesamtcoliformen einschließlich *E. coli* nachgewiesen werden, was darauf hinweist, dass diese Proben eine auch hinsichtlich der mikrobiellen Indikatoren für die Überprüfung der Trinkwasserqualität auffällige Belastung aufwiesen. Dies wird von den Autoren auch als ein Hinweis darauf verstanden, dass der Nachweis von coliformen Bakterien im Hinblick auf die Belastung mit Antibiotika-Resistenzen eine zusätzliche Bedeutung erhält.

In einer weiteren Studie [114] konnten in unterschiedlichen Staaten der USA Extended Spectrum Beta-Lactamasen und Carbapenemase-Gene im Trinkwasser nachgewiesen werden. Hierbei wurden coliforme positive Trinkwasserproben von öffentlichen und privaten Wasserversorgungssystemen in sechs Staaten der Vereinigten Staaten untersucht. Positive Proben wurden subkultiviert, um Bakterien zu isolieren, die ESBL oder Carbapenemase-Gene tragen. Die Autoren weisen darauf hin, dass diese Befunde bedeuten, dass auch Trinkwasser in entwickelten Ländern als Quelle für eine Exposition gegenüber ESBL und Carbapenemase-Genen dienen kann und dass diese Gene auch durch Nicht-Enterobacteriaceae weiterverbreitet werden, die durch die klassische mikrobiologische Trinkwasser Untersuchung nicht erfasst werden.

Untersuchungen von Stange et al. (2016) [115] zum Vorkommen von Antibiotika-Resistenz- und Virulenz-Genen bei Coliformen im Rhein zeigten, dass Oberflächen-

wasser ein Reservoir für Antibiotika-Resistenz-Gene für eine Reihe von Antibiotika-Klassen wie Sulfonamide, Trimethoprim, Beta-Lactam-Antibiotika und Tetracycline sein können. Das Auftreten von Antibiotika-Resistenz bei coliformen Bakterien aus dem Rhein zeigt die Evidenz um Managementstrategien zu entwickeln, die die Ausbreitung von Antibiotika-resistenten Bakterien in aquatischen Biotopen verringern. Für Deutschland kann jedoch in Übereinstimmung mit der Einschätzung des Umweltbundesamtes (<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/antibiotika-antibiotikaresistenzen-in-der-umwelt>) festgestellt werden [89], dass das Risiko einer Ausbreitung Antibiotika-resistenter Erreger über Trinkwasser derzeit als nicht relevant einzustufen ist. Dennoch sollten zukünftig bei systemisch im Trinkwasserversorgungsnetz nachgewiesenen Coliformen, Enterokokken oder *P. aeruginosa* eine Antibiotikaresistenzbestimmung vorgenommen werden [89].

5.5.2.4 Badegewässer

Die Frage, ob Oberflächengewässer, die als EU-Badegewässer geführt werden, als Infektionsquelle für die Übertragung Antibiotika-resistenter Bakterien, insbesondere Carbapenem-resistenter Enterobacteriaceen in Frage kommen, hat in den letzten Jahren erhebliche Bedeutung insbesondere in Deutschland [89], aber auch weltweit erhalten.

In Rio de Janeiro, wo Abwässer ungeklärt in Oberflächengewässer gehen, wurden verschiedene Studien durchgeführt, die zeigten, dass KPC, OXA, NDM und VIM auch an Badestellen nachgewiesen werden konnten [68].

In Deutschland wurden ab 2017 von verschiedenen Bundesländern wie zum Beispiel Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen und Bayern entsprechende Untersuchungen durchgeführt, die zeigten, dass an nach EU zugelassenen Badegewässern faktisch keine VRE, MRSA nachgewiesen werden konnten.¹

Aufgrund der Badegewässerrichtlinie der Europäischen Union (EU Badegewässerrichtlinie 2006) und der Badegewässerverordnung NRW (2007) müssen EU-Badegewässer regelmäßig auf das Vorkommen von Darmbakterien geprüft werden. Nach den zugrunde liegenden Bewertungskriterien weisen die EU-Badegewässer in NRW weit überwiegend eine ausgezeichnete Badewasserqualität auf (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen 2018). Es war jedoch unklar, ob die bisher nicht untersuchten gegen Antibiotika multiresistenten Keime in den Badegewässern vorkommen.

Das Landesamt für Natur- Umwelt- und Verbraucherschutz (LANUV) hat daher 10 EU-Badegewässer mit unterschiedlichen potentiellen Gefährdungen durch antibiotikaresistente Bakterien ausgewählt, die während der Badesaison 2018 (§2 Nummer 4 Badegewässerverordnung NRW 2007) jeweils 4 mal vom LANUV beprobt und vom Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit des Universitätsklinikums Bonn (IHPH) untersucht wurden. Neben den spezifischen Untersuchungen auf klinisch relevante antibiotikaresistente Bakterien wurde auf die mikrobiologischen Kenngrößen

¹ Im Gegensatz zu Badegewässern gibt es bislang nur unzureichende Untersuchungen über das Vorkommen von Antibiotika-resistenten Erregern und Carbapenem-resistenten Erregern in Badebeckenwasser. So zeigt eine Untersuchung von Sciabano aus Italien, dass bei Untersuchungen des Vorkommens von *P. aeruginosa* in 8.351 Proben von Trink- und Badegewässern einschließlich Schwimmbeckenwasser in 53 Proben (0,63 %) *P. aeruginosa* nachgewiesen werden konnte. Fünf Isolate (9,43 %) der *P. aeruginosa* waren resistent gegenüber Imipinem. Die höchste Isolierungsrate von Imipinem-resistenten *P. aeruginosa* wurden in Badebeckenwasser nachgewiesen [116]. In Deutschland werden Badebeckenwässer zwar auf *P. aeruginosa* untersucht, jedoch nicht routinemäßig auf deren Antibiotika-Resistenz.

Escherichia coli (*E. coli*) und Intestinale Enterokokken (IE) nach Badegewässerverordnung sowie auf Antibiotikarückstände untersucht.

Ein detaillierter Überblick über die Ergebnisse der Antibiotikaresistenzprüfung ist Döhla et al. [117] zu entnehmen. Die geringe Prävalenz von Antibiotika-resistenten Bakterien (ARB) in den in dieser Studie untersuchten Gewässern war als positiv zu bewerten. Aufgrund der nicht-randomisierten Stichprobenziehung ist jedoch eine Generalisierbarkeit auf andere Gewässer in NRW bzw. Deutschland zwar nicht ohne weiteres möglich, allerdings ist durch die Fokussierung auf Badegewässer mit erhöhtem Risikoprofil davon auszugehen, dass die Prävalenzen dieser Studie eher eine Überschätzung der realen Belastungen widerspiegeln.

In einem Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Prävalenzstudie mit ähnlichen Untersuchungsprogrammen anderer Bundesländer, die im Jahre 2018 durchgeführt oder veröffentlicht wurden, zeigen jedoch unabhängig von den verschiedenen Studiendesigns und Untersuchungsmethoden ähnliche Ergebnisse in Bezug auf ARB. Insgesamt scheint das Risiko einer Erkrankung durch ein badegewässerassoziiertes ARB für die Gesamtheit der Badenden als sehr gering, auch wenn einzelne Fallberichte von Patienten mit positiven ARB-Befunden nach Ertrinkungsunfällen existieren [66].

Aus Public Health-Sicht spielen allerdings auch Aspekte der Verteilung von Antibiotikaresistenz in der Umwelt sowie Interaktionen zwischen Menschen und Umwelt eine Rolle. Gemäß des One Health-Ansatzes ist die Bekämpfung von Antibiotikaresistenz ein wichtiger Beitrag zur Gesundheit von Mensch und Tier, daher muss für Badegewässer eine Minimierung der Konzentrationen von ARB, Antibiotika und Resistenzen gefordert werden; methodisch ist hierfür aufgrund fehlenden wissenschaftlichen Konsenses bezüglich Grenzwerten aktuell nur das ALARA-Prinzip zu vertreten. Das Fehlen von Grenzwerten ist in der Eigenschaft von ARB als fakultativ-pathogene Erreger begründet. Durch diese Eigenschaft ist eine Vorhersage über die Gefährlichkeit nur eingeschränkt durch Dosis-Wirkungs-Beziehungen möglich. Deshalb ist auch die Anwendung von „Quantitative Microbiological Risk Assessment“ (QMRA) im Gegensatz zu anderen Erregern hier nicht zielführend, weil es den Einfluss der Disposition nicht mathematisch abbilden kann. Auch Risikomodelle, die sich auf obligat-pathogene gastro-enterale Erreger und die von ihnen ausgelösten Erkrankungen beziehen greifen zu kurz und sind damit nicht sinnvoll für die vorliegende Fragestellung. Um die dargestellten Unsicherheiten in der Risikobewertung zu berücksichtigen, aber den Badenden wie zuständigen Behörden dennoch eine Orientierungshilfe zu geben, wurde eine einfache Risikomatrix von Döhla et al. entwickelt [117].

5.6 Ausgewählte Ergebnisse aus dem HyReKA Verbundvorhaben

Mit Antibiotika-resistenten Bakterien in der Umwelt beschäftigt sich das seit Anfang 2016 vom BMBF geförderte Verbundvorhaben „Biologische bzw. hygienisch-medizinische Relevanz und Kontrolle Antibiotika-resistenter Krankheitserreger in klinischen, landwirtschaftlichen und kommunalen Abwässern und deren Bedeutung in Rohwässern“ (HyReKA). Die interdisziplinären Partner haben sich zum Ziel gesetzt, Eintragspfade von Antibiotika-resistenten Bakterien, Antibiotika-Resistenzgenen und Antibiotika-Rückständen von Mensch oder Tier in die Umwelt qualitativ und quantitativ zu charakterisieren (Source Dissemination) und die Ausbreitung in die Umwelt mit geeigneten technischen Verfahren zu unterbrechen. Ebenso soll die Rückkopplung zurück zum Menschen durch Kontakt mit Wasser bzw. Abwasser oder in Kliniken untersucht werden (Microbial Dissemination). Schließlich soll die Rückverfolgbarkeit von Antibiotika-resistenten Erregern und Resistenzgenen aus Abwässern auf deren Ursprungsorte im Sinne des Microbial Source Tracking geprüft werden. Das Ver-

bundprojekt läuft bis Ende 2019, stellte die wesentlichen Ergebnisse jedoch bereits Anfang April 2019 öffentlich in Berlin vor. Erste Ergebnisse zeigen einen Zusammenhang zwischen Antibiotika-Wirkstoffkonzentrationen und der Abundanz resistenter fakultativ pathogener Bakterien im Abwasser. Zudem wiesen die Einleitungen aus Mischwasserüberläufen ähnlich hohe Zahlen an resistenten Bakterien und Resistenzgenen auf, wie sie im unbehandelten Abwasser gefunden wurden. Auch in den Abläufen von Kläranlagen wurden resistente Bakterien und Resistenzgene nachgewiesen. Dabei gilt es jedoch, die Kläranlagenabläufe aus einem ländlich-urbanen Kontext von denen aus einem rein urbanen Kontext mit Einfluss von Klinikabwasser zu unterscheiden. In den Abläufen kommunaler Kläranlagen mit und ohne Einfluss von Klinikabwasser wurden jeweils unterschiedliche antibiotische Wirkungsspektren nachgewiesen. Kläranlagenabläufe mit Klinikeinfluss wiesen zudem im Vergleich komplexere und kritischere Resistenzmuster auf mit einer höheren Häufigkeit von 4MRGN (Resistenz gegen vier von vier Antibiotikagruppen, siehe Abkürzungsverzeichnis) mit Resistenz gegen Carbapeneme (Reserveantibiotika). In Abwässern aus der Geflügelverarbeitung wurden zudem häufiger Resistenzgene (*mcr-1*) gegen Colistin (Reserveantibiotikum) nachgewiesen.

Bezüglich der Ergebnisse wird auf den zusammenfassenden Synthese-Bericht zum HyReKA Verbundvorhaben, 2020, verwiesen.

6 Hygienisch-mikrobiologisches Monitoring entlang der Wasserkette

6.1 Allgemeine Aspekte

Das hygienisch-mikrobiologische Monitoring hat unterschiedliche Funktionen. Im **Einzugsgebiet** und im **Rohwasser**, das zu Trinkwasserzwecken verwendet wird, dient die quantitative Bestimmung der vorkommenden Indikatorbakterien und Indikator-Krankheitserreger sowohl der Feststellung, inwieweit die Notwendigkeit besteht, im Einzugsgebiet Maßnahmen zur Verminderung einer Rohwasserbelastung zu veranlassen, als auch der Evaluierung, ob eine Anpassung der Effizienz der Trinkwasseraufbereitung an mögliche Extreme der Rohwasserqualität nötig ist. Dabei hat gemäß dem 2004 von der WHO etablierten Water safety program, das mittlerweile auch von der EU als maßgebliche Orientierungsleitlinie angesehen wird, der Schutz des Einzugsgebietes Vorrang vor der Ertüchtigung und Anpassung der Aufbereitung [118].

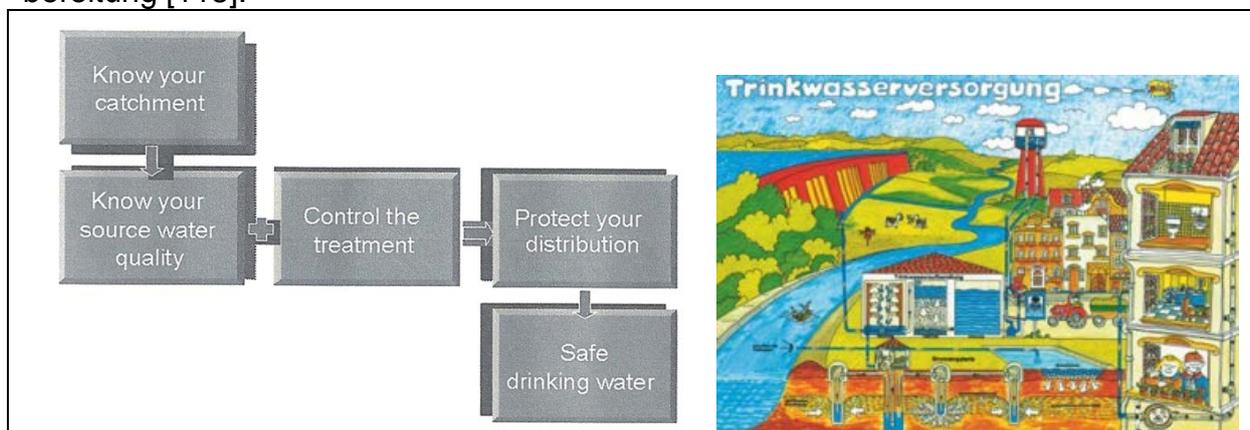


Abbildung 14: Water Safety Konzept der WHO vom Einzugsgebiet über Rohwasserqualität, Aufbereitung, Trinkwasserverteilungsnetz und in Europa bis zum Trinkwasserinstallationssystem hin zum Zapfhahn bzw. Duschkopf – „From Watershed to showerhead“

Im **Trinkwasser**, **Badewasser** bzw. **Badegewässern** haben hygienisch-mikrobiologische Untersuchungen die Funktion, festzustellen, ob mit einer Gefähr-

dung für Verbraucher und Badegäste zu rechnen ist. Darüber hinaus dienen wissenschaftlichen Untersuchungen in Abhängigkeit von der Fragestellung der Klärung, inwieweit unter bestimmten Umweltbedingungen mit dem Vorkommen von obligatpathogenen, fakultativ-pathogenen Bakterien bzw. Indikatorbakterien zu rechnen ist. Die WHO empfiehlt in ihren wasser- bzw. abwasserbezogenen Leitlinien die Anwendung des sog. Water-Safety-Konzeptes. Hiernach kann unterschieden werden zwischen Kontaminationsrisiken im Einzugsgebiet und mikrobiologischen Belastungen im Rohwasser, Trinkwasser, Abwasser und in Badegewässern.

Im Folgenden sollen anhand dieser Wasserkette die wesentlichen Erkenntnisse u. a. aus Untersuchungen aus Nordrhein-Westfalen im Überblick dargestellt werden.

6.2 Rohwasser

Unter Rohwasser wird nach Trinkwasser-Verordnung Wasser verstanden, das mit einer Wassergewinnungsanlage der Ressource entnommen und unmittelbar zu Trinkwasser aufbereitet oder ohne Aufbereitung als Trinkwasser verteilt werden soll. In der Trinkwasser-Verordnung heißt es in § 5 Mikrobiologische Anforderungen (5):

*„Soweit der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungs- oder Wassergewinnungsanlage oder ein von ihnen Beauftragter hinsichtlich mikrobieller **Belastung des Rohwassers** Tatsachen feststellen, die zum Auftreten einer übertragbaren Krankheit im Sinne des § 2 Nr. 3 des Infektionsschutzgesetzes führen können oder annehmen, dass solche Tatsachen vorliegen, muss eine Aufbereitung, erforderlichenfalls unter Einschluss einer Desinfektion, nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erfolgen.“*

In § 14 – Untersuchungspflichten – heißt es:

*(4) „Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage haben regelmäßig, mindestens jedoch jährlich, Besichtigungen der zur Wasserversorgungsanlage gehörenden Schutzzonen vorzunehmen oder vornehmen zu lassen, um etwaige Veränderungen zu erkennen, die Auswirkungen auf die Beschaffenheit des Trinkwassers haben können. Soweit nach dem Ergebnis der Besichtigung erforderlich, sind entsprechende **Untersuchungen des Rohwassers** vorzunehmen oder vornehmen zu lassen.“*

In § 16 – Besondere Anzeige- und Handlungspflichten – heißt es:

„Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage haben es dem Gesundheitsamt unverzüglich anzuzeigen, wenn ihnen Belastungen des Rohwassers bekannt werden, die zu einer Überschreitung der Grenzwerte im Trinkwasser führen können.“

Detaillierte Anforderungen sind hierbei nicht aufgeführt.

In Anlage 3 (zu § 7 u. § 14 Absatz 3) – Indikatorparameter – heißt es bei *Clostridium perfringens* (einschließlich Sporen)

*„ ... dass dieser Parameter nur bestimmt zu werden braucht, wenn das **Rohwasser** vom Oberflächenwasser stammt oder von Oberflächenwasser beeinflusst wird. Wird dieser Grenzwert nicht eingehalten, veranlasst die zuständige Behörde Nachforschungen, um sicherzustellen, dass keine Gefährdung der menschlichen Gesundheit aufgrund eines Auftretens krankheitserregender Mikroorganismen z. B. Cryptosporidien bestehen. Über das Ergebnis dieser Nachforschungen unterrichtet die zuständige Behörde über die zuständige oberste Landesbehörde das Bundesministerium für Gesundheit.“*

2014 hat das Umweltbundesamt nach Anhörung der Trinkwasserkommission die Empfehlung: „Vorgehen zur quantitativen Risikobewertung mikrobiologischer Befun-

de im **Rohwasser** sowie Konsequenzen für den Schutz des Einzugsgebietes und für die Wasseraufbereitung“ herausgegeben [119].

Als Maß für die Ergebnisqualität (Endproduktkontrolle) vorangegangener Gewinnungs- und Aufbereitungsprozesse erfolgt der stichprobenartige Nachweis der infektionshygienischen Unbedenklichkeit von Trinkwasser nach Trinkwasser-Verordnung durch die Messung konventioneller bakterieller Indikatororganismen (*E. coli*, coliforme Bakterien, Enterokokken) im aufbereiteten Trinkwasser und ggf. nach Desinfektion. Diese Vorgehensweise hat sich seit über 100 Jahren, insbesondere zur Beherrschung der damals wichtigsten wasserassoziierten Infektionskrankheiten wie z. B. Cholera, Typhus, Shigellenruhr und Hepatitis A bewährt. Sie wird für die Routineüberwachung des Trinkwassers auch weiterhin so beibehalten [3, 120].

Im Weiteren heißt es in den Empfehlungen des UBA [119]:

„Fortschritte in der mikrobiologischen Analytik und der Epidemiologie haben jedoch gezeigt, dass nicht alle Krankheitserreger mit diesem Indikatorsystem sicher angezeigt werden. Hierzu zählen einige Viren, Parasitenformen (Cryptosporidien und Giardien). Diese durch Wasser übertragenen Krankheitserreger können bereits in sehr geringen Konzentrationen im Trinkwasser infektiös sein und sind gegenüber Umwelteinflüssen zum Teil widerstandsfähiger und gegenüber Desinfektionsverfahren resistenter als die etablierten Bakterienindikatororganismen. Um jene in niedrigen Konzentrationen im Trinkwasser nachweisen zu können, müsste zum Beleg einer ausreichenden Sicherheit vor Infektionsrisiken die Untersuchung des Trinkwassers auf diese Erreger in sehr großen Wasservolumina erfolgen. Dies ist jedoch weder durch die derzeit verfügbaren Analyseverfahren unter Routinebedingungen möglich, noch sind geeignete Verfahren in näherer Zukunft zu erwarten.“

Um unter pragmatischen Gesichtspunkten eine entsprechende Lösung zu finden, wurde empfohlen, nach den Kriterien der *Guidelines for Drinking water quality* der WHO vorzugehen. Hierzu zählen neben der Festlegung derjenigen fachlich ausgewiesenen Personen für eine Arbeitsgruppe, die eine Gefährdungsanalyse und Risikoabschätzung durchführt, die Begehung und Begutachtung des Einzugsgebietes und der Wassergewinnung sowie die **quantitativ-mikrobiologische Untersuchung des Rohwassers**. Hierzu wurde ein Vorgehen vorgeschlagen, bestehend aus Erfassung mikrobieller Gefährdungen im Einzugsgebiet, der Untersuchung mikrobiologischer Auffälligkeiten im **Rohwasser** und der Entwicklung von Konsequenzen zur Risikobeherrschung, wie es in der nachfolgenden Abbildung aufgeführt ist.

Bei Hinweisen auf fäkale Einflüsse müssen hiernach bei Wasserversorgungen, die Flusswasser direkt, Talsperren mit Abwassereinfluss oder oberflächenbeeinflusstes Grundwasser nutzen, zusätzliche Untersuchungen des Rohwassers auf Parasitendauerformen (Cryptosporidien und Giardien) sowie auch auf somatische Coliphagen als mögliche Indikatoren für das Vorkommen humanpathogener Viren durchgeführt werden.

Für die Erstcharakterisierung des Rohwassers nennt die UBA-Empfehlung die Untersuchung auf Parasitendauerformen und Coliphagen im Verlauf eines Jahres mindestens viermal (d. h. jedes Quartal) und mindestens zweimal anlassbezogen (z. B. nach Extremereignissen mit besonderen Abschwemmungen wie Starkregen oder Schneeschmelzen oder nach lang anhaltender Trockenheit); über das Vorgehen bei Abweichung muss die in der UBA-Empfehlung benannte Arbeitsgruppe zur Gefährdungsanalyse und Risikoabschätzung entscheiden.

Aus Sicht des Gutachters ist es in Abhängigkeit von der Größe der jeweiligen Wasserversorgung notwendig und sinnvoll, diese Untersuchungen nach der Erstcharakterisierung regelmäßig, z.B. jährlich, zu wiederholen, um Veränderungen mit hygienisch-mikrobiologischem Risikopotential rechtzeitig erkennen, bewerten und ggfs. abstellen oder die Aufbereitung entsprechend anpassen zu können.

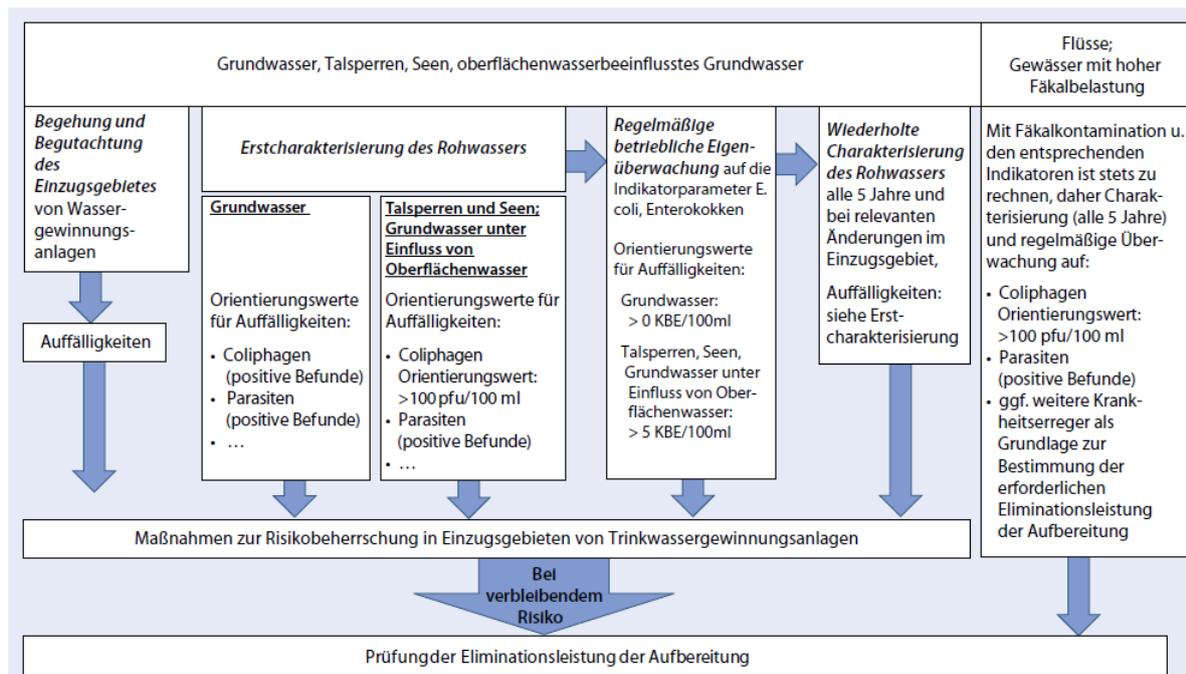


Abbildung 15: Vorgehen zur Erfassung mikrobieller Gefährdungen im Einzugsgebiet, mikrobiologischer Auffälligkeiten im Rohwasser und Konsequenzen für Maßnahmen zur Risikobeherrschung entsprechend den Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der TWK (114)

In Nordrhein-Westfalen werden solche Untersuchungen beispielsweise regelmäßig vom Wasserversorger des Kreises Aachen (enwor) u.a. zur Erfüllung der niederländischen Kriterien für das hygienisch-mikrobiologische Monitoring von Rohwässern bei Talsperrenwasser-Aufbereitung durchgeführt, da von diesem Wasserversorger auch Trinkwasser in die Niederlande abgegeben wird. Zusätzlich werden bei diesem Wasserversorger nicht nur die Rohwässer der Trinkwasseraufbereitungen, sondern auch die zulaufenden Systeme sowohl auf Parasiten wie Cryptosporidien und Giardien, als auch auf Campylobacter und Coliphagen untersucht. Hierdurch kann erkannt werden, inwieweit potentielle Quellen im Einzugsgebiet vorhanden sind und diese unter Kontrolle gebracht werden.

Nach Erkenntnis des Gutachters gibt es derartige Untersuchungen nicht systematisch bei anderen Wasserversorgern in Nordrhein-Westfalen.

Entsprechend den Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation, aber auch aufgrund der o.a. Empfehlungen des UBA sollte bei entsprechenden Rohwasserbelastungen immer zunächst geklärt werden, inwieweit Maßnahmen im Einzugsgebiet zur Minderung eines Eintrages durchgeführt werden können, bevor zusätzliche Anforderungen an die Aufbereitung gestellt werden.

Untersuchungen des Rohwassers auf das Vorkommen Antibiotika-resistenter Bakterien werden derzeit nicht durchgeführt. Dies erscheint jedoch vor dem Hintergrund möglicher Einträge über das Abwasser sinnvoll für Rohwässer, bei denen eine Abwasserbelastung nicht auszuschließen ist.

6.3 Trinkwasser nach der Aufbereitung

Das hygienisch-mikrobiologische Monitoring hat zum Ziel, die Effizienz der Aufbereitung sowie die Intaktheit des öffentlichen Wasserversorgungsnetzes bis zur Übergabestelle an den Verbraucher (Wasserzähler) zu untersuchen.

Nachfolgende Parameter sind hierfür nach Trinkwasser-Verordnung zu untersuchen

- E. coli pro 100 mL mit Grenzwert 0/100mL
- Enterokokken pro 100 mL Trinkwasser mit Grenzwert 0/100mL

- Coliforme pro 100 mL als Indikatorwert mit dem Grenzwert 0/100 mL
- *Clostridium perfringens* (einschließlich Sporen) pro 100 mL als Indikatorparameter mit dem Grenzwert 0/100 mL. *Clostridium perfringens* müssen nur untersucht werden, wenn das Rohwasser aus Oberflächengewässern stammt oder von Oberflächenwasser beeinflusst wird.
- Koloniezahl bei 22°C mit der Anforderung ohne anormale Veränderung bzw. bei Anwendung des Untersuchungsverfahrens nach § 15 Absatz 1c mit einem Grenzwert von 100 KBE/mL am Zapfhahn des Verbrauchers bzw. 20 KBE/mL unmittelbar nach Abschluss der Aufbereitung in desinfiziertem Trinkwasser. Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage haben unabhängig vom angewandten Verfahren einen plötzlichen oder kontinuierlichen Anstieg unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden.
- Koloniezahl bei 36°C mit der Anforderung ohne anormale Veränderung bzw. bei Anwendung des Untersuchungsverfahrens nach § 15 Absatz 1c mit einem Grenzwert von 100 KBE/ml. Der Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage haben unabhängig vom angewandten Verfahren einen plötzlichen oder kontinuierlichen Anstieg unverzüglich der zuständigen Behörde zu melden.

Die Untersuchung im öffentlichen Wasserversorgungsnetz erfolgt in Abstimmung mit dem zuständigen Gesundheitsamt. Weitergehende Angaben sind in der Trinkwasser-Verordnung nicht enthalten.

6.4 Leitungsnetz der öffentlichen Wasserversorgung

Entsprechend dem Minimierungsgebot werden öffentliche Wasserversorgungen sehr häufig mit sehr niedrigen oder keinen Restkonzentrationen an Chlor oder Chlordioxid gefahren.

Dies bedeutet, dass bei entsprechenden Zwischenfällen wie z. B. Rohrbrüchen oder Leckagen im Versorgungsnetz keine Barrieren zum Schutz vor Eintrag, Transport oder Vermehrung von Mikroorganismen vorhanden sind.

Aus diesem Grunde muss das öffentliche Wasserversorgungsnetz nach Aufbereitung des Trinkwassers an strategischen Stellen auf das o. a. Spektrum untersucht werden, insbesondere nach Rohrbrüchen sowie Hinweisen auf Leckagen.

Die im **Anhang II dargestellten Kasuistiken** von Störfällen mit Nachweis von *E. coli* und Coliformen zeigen, dass derartige Kontrollen sinnvoll sind.

Bislang gibt es darüber hinaus keine Anforderungen, das öffentliche Trinkwasserversorgungsnetz neben den o.a. Parametern (*E. coli*, Coliforme, Enterokokken, ggf. *Clostridium perfringens*) auf *Pseudomonas aeruginosa* zu untersuchen. Entsprechende Vorschläge bei der Novellierung der Trinkwasser-Verordnung im Jahre 2011 wurden nicht mit aufgenommen.

Exner et al. hatten im Namen der Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH) die Nichtaufnahme von *Pseudomonas aeruginosa* in die Trinkwasserverordnung scharf kritisiert, da bei neu verlegten Rohrleitungen sehr häufig mit dem Eintrag von *Pseudomonas aeruginosa* in das Wasserversorgungsnetz gerechnet werden müsse [121]. Der Eintrag von *Pseudomonas aeruginosa* insbesondere in medizinische Einrichtungen wie Krankenhäuser und Altenpflegeheime kann eine erhebliche Gefährdung für entsprechend disponierte Patienten und Personen darstellen.

2017 wurde seitens des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission die Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf *P. aeruginosa*, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen bei Nachweis im Trinkwasser herausgegeben. Hiernach wird empfohlen, zur Absicherung einer einwandfreien Trinkwasserqualität die Trinkwasserbeschaffenheit im Leitungsnetz nach Neubau bzw. nach der Durch-

führung von Baumaßnahmen (z. B. Erneuerung von Leitungen und Bauteilen, Baumaßnahmen mit Leitungsöffnung) durch Untersuchungen auf *P. aeruginosa* zu kontrollieren. Diese Untersuchung soll vor Einbindung in die Versorgung erfolgen [122]. Inwieweit diese Empfehlung konsequent vonseiten der Wasserversorger umgesetzt bzw. vonseiten der Gesundheitsämter die Umsetzung durch die Wasserversorger kontrolliert wird, ist bislang unbekannt.

Die Maßnahmen bei Nachweis entsprechender Erreger sind im Detail behandelt

- sowohl in den Empfehlungen des Umweltbundesamtes zu coliformen Bakterien im Trinkwasser,
- als auch in den Leitlinien zu § 9 und § 10,
- bei *P. aeruginosa* auch in der o. a. Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission.

In den Leitlinien zu § 9 und § 10 wird darüber hinaus darauf hingewiesen, dass die Gesundheitsämter ggf. Experten mit hygienisch-medizinischem Sachverstand hinzuziehen sollten.

Der Zuständigkeitsbereich des Unternehmers oder sonstigen Inhabers einer öffentlichen Wasserversorgung reicht bis zur Übergabestelle in eine Hausinstallation am Wasserzähler.

6.5 Trinkwasserinstallation

2006 wurde seitens des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission die Empfehlung zu hygienisch-mikrobiologischen Untersuchungen im Kaltwasser von Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 c Trinkwasser-Verordnung 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit im Sinne des § 18 Absatz 1 TrinkWV 2001 bereit gestellt wird, herausgegeben [123].

Hiernach wird unterschieden zwischen

- einerseits medizinischen Einrichtungen wie Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen und
- andererseits übrigen Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten, Hotels, Jugendherbergen, sonstigen Ausbildungseinrichtungen, Sportstätten und weiteren Gemeinschaftsunterkünften entsprechend § 36 IfSG.

Diese Einrichtungen sollten an der Übergabestelle und an peripher gelegenen Entnahmestellen hinsichtlich der Koloniezahl bei 22°C und 36°C einen Grenzwert von 100 KBE /ml sowie einen Grenzwert für coliforme Bakterien von 0 KBE/100 ml im Trinkwasser einhalten. Durch das Gesundheitsamt soll nach Risikoabwägung die Häufigkeit der Untersuchungen festgelegt werden.

Entsprechend der Empfehlung des UBA zu erforderlichen Untersuchungen auf *P. aeruginosa*, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser vom 13.06.2017 [122] sollte *P. aeruginosa* in medizinischen Einrichtungen sowie Kindertagesstätten mindestens jährlich in die regelmäßige Überwachung einbezogen werden. In den übrigen Einrichtungen –nachfolgend aufgeführt – kann eine Untersuchung auf *P. aeruginosa* nach Risikoeinschätzung durch das Gesundheitsamt veranlasst werden. Hierzu zählen

- Schulen,
- Hotels, Jugendherbergen,
- sonstige Ausbildungseinrichtungen, Heime, Ferienlager, Sportstätten und weitere Gemeinschaftsunterkünfte.

Die Häufigkeit hierbei sollte in Abstimmung mit dem Gesundheitsamt in Abhängigkeit von der Art der Einrichtung und dem tatsächlichen Gefährdungspotential aufgrund des Zustandes der Trinkwasserinstallation festgelegt werden. Inwieweit diese Empfehlung konsequent in Nordrhein-Westfalen umgesetzt wird, ist nicht bekannt.

Zusätzlich sind diese Einrichtungen entsprechend der Trinkwasser-Verordnung auf *Legionella spp.* im Hinblick auf eine systemische Kontamination zu untersuchen. Diese Untersuchung bezieht sich auf Versorgungsanlagen, die Wasser im Rahmen einer gewerblichen oder öffentlichen Tätigkeit abgeben, eine Großanlage zur Trinkwassererwärmung besitzen und Duschen oder andere Einrichtungen enthalten, in denen es zu einer Verneblung des Trinkwassers kommt. Sind bei den jährlichen Untersuchungen in drei aufeinanderfolgenden Jahren keine Beanstandungen festgestellt worden, so kann das Gesundheitsamt auch längere Untersuchungsintervalle von bis zu drei Jahren festlegen, allerdings nicht in Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen.

Tabelle 4: Empfehlung des Umweltbundesamtes (118) nach Anhörung der Trinkwasserkommission zur Untersuchung unterschiedlicher mikrobiologischer Indikatoren in medizinischen und übrigen Einrichtungen

Art der Einrichtung, in der sich die Wasserversorgungsanlage befindet	Ort der Entnahme	Grenzwert Koloniezahl bei 22°C (KBE/ml)	Grenzwert Koloniezahl bei 36°C (KBE/ml)	Grenzwert Coliforme Bakterien (KBE/100 ml)	Höchstwert <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (KBE/100 ml)
Krankenhäuser sowie andere medizinische Einrichtungen und Pflegeeinrichtungen (entspr. 2.1–2.2)	Übergabestelle + peripher gelegene Entnahmestelle	100	100	0	0
Übrige Einrichtungen (entspr. 2.3–2.7)	Übergabestelle + peripher gelegene Entnahmestelle	100	100	0	–

Für die Entnahme der geforderten Wasserproben sind an der Übergabestelle Probenahmestellen unmittelbar am Wasserzähler einzurichten entsprechend der Abbildung 16.

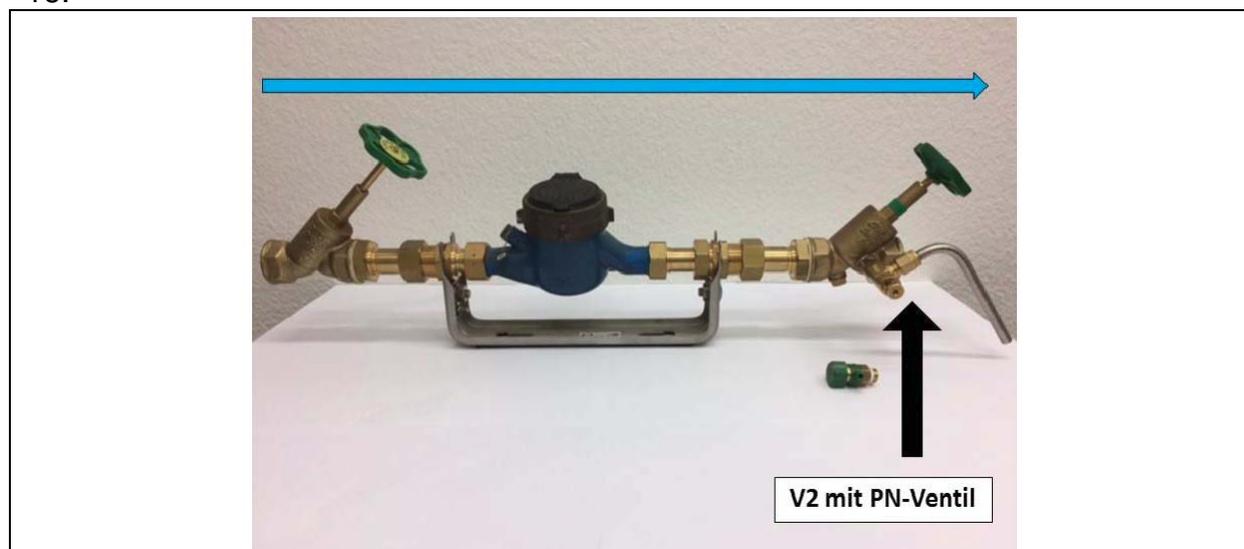


Abbildung 16: Wasserzähleranlage mit Entnahmevorrichtung für mikrobiologische und chemische Wasserproben am Ventil V2 (Entleerung/Kundenseite) nach Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der TWK (117)

6.6 Abwasser

Die Belastung der Zuflüsse und die Aufbereitungseffizienz von Kläranlagen wurde von Kistemann et al. [124] an verschiedenen Kläranlagen im Einzugsgebiet der Swist untersucht. An sechs Kläranlagen wurden über einen Zeitraum von 12 Monaten die Belastung von unbehandeltem und gereinigtem kommunalem Abwasser u.A. mit *E. coli*, coliformen Bakterien, Fäkalstreptokokken, *Clostridium perfringens* und *Giardia lamblia* untersucht. Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung des Ministeriums für Umwelt des Landes Nordrhein-Westfalen in Kooperation mit dem Erft-Verband durchgeführt.

Im ungeklärten kommunalen Abwasser konnten mediane Konzentrationen von Coliformen und *E. coli* von 10^7 KBE/100 ml nachgewiesen werden. Fäkalstreptokokken fanden sich mit Mediankonzentrationen von 10^6 KBE/100 ml, die Mediankonzentration von *Clostridium perfringens* war geringfügig niedriger (10^5 KBE/100 ml). *Giardia lamblia* wurde in allen Zuflüssen der Kläranlagen nachgewiesen, wobei die höchsten Konzentrationen von *Giardia lamblia* bis zu 194.558 Zysten/100 L betragen.

Die mikrobiologische Reduktionsleistung der sechs Kläranlagen variierte je nach Ausbaugrad und Organismus im Median zwischen zwei und vier \log_{10} -Stufen. Kleine Kläranlagen hatten eine signifikant geringere Reduktionseffizienz als größere Kläranlagen mit einer zusätzlichen Reinigungsstufe oder mit einer verbesserten sekundären Stufe. Insbesondere die Restreduktion von *Giardia*-Zysten war bei kleinen Kläranlagen mit eingeschränkter Aufbereitung unzureichend ($< 0,5 \log_{10}$ -Stufen) im Vergleich zu größeren Kläranlagen, die bei den Parasitendauerstadien im Median mehr als 3 \log_{10} -Stufen Reduktionseffizienz erreichten.

In einer weiteren Untersuchung wurden die Effizienz von Kläranlagen und die diffuse Verunreinigung durch protozoische Parasiten ebenfalls an der Swist untersucht. Bei regulären Wetterbedingungen (kein Starkregen, kein Niedrigwasser) wurden Cryptosporidien in 67 % aller Proben gefunden [125]. Die mittlere Konzentration betrug 4 Oozysten pro 100 Liter. *Giardia* wurde in 90 % der Proben nachgewiesen. Die mittlere Konzentration von *Giardia lamblia* betrug 22 Zysten pro 100 Liter und nahm signifikant im Verlauf des Flusses zu. Eine statistisch signifikante Korrelation zwischen beiden Parasiten und den Fäkalindikatoren *Clostridium perfringens* und *E. coli* konnte nur im Ablauf einer Kläranlage nachgewiesen werden. Das intermittierende Auftreten von *Cryptosporidium* in den Flüssen wurde in erster Linie auf eine diffuse Einleitung insbesondere im Zusammenhang mit Regenfällen zurückgeführt. Die relativ hohe Nachweisrate von *Giardia lamblia* wurde hauptsächlich auf Kläranlageneinflüsse zurückgeführt.

6.7 Landnutzung

Zusätzlich wurde in dem v.g. Projekt der **Einfluss der Landnutzung** auf die mikrobielle Gewässerkontamination am Beispiel der Swist untersucht [126]. Die Untersuchungen ergaben, dass unterschiedliche Landnutzungstypen potentiell zu einer Oberflächen- oder Gewässerkontamination führen können. Dabei ist der Einfluss unterschiedlicher Landnutzungstypen auf die verschiedenen Spezies unterschiedlich. Dabei lassen sich offensichtlich kurzzeitige Ereignisse wie das **Ausbringen von Gülle** mit einem substantiellen Einfluss identifizieren, die zu einer Erhöhung der Konzentration im Flusswasser durch Mobilisation während nachfolgenden Regenfällen führt.

6.8 Gewässer

Eine detaillierte Darstellung der mikrobiellen Fließgewässerbelastungen durch abwassertechnische Anlagen und diffuse Einträge am Beispiel der Swist wird von Kistemann et al. gegeben [125, 126].

Eine Darstellung der Gewässerkontamination am Beispiel der Ruhr mit Indikatorbakterien und Indexpathogenen wurde in dem gemeinsamen Abschlussbericht des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „Sichere Ruhr“ mit Förderkennzeichen 02WRS1283 A bis J gegeben [127].

7 Zuständigkeiten und Strukturen für die hygienisch-mikrobiologische Überwachung, Störfälle und für ein effizientes Ausbruchmanagement

Erhebliche Bedeutung für die Sicherheit der Wasser-, Trinkwasser-, Gewässer- und Abwasserüberwachung haben die Festlegungen, wer für welche Überwachungen zuständig ist und welche Instrumentarien und Laboratorien, die in der Lage sind, sowohl die klassischen mikrobiologischen Parameter als auch weitergehende Krankheitserreger nachweisen zu können, diese festgelegten Strukturen unterstützen können.

Das Störfallmanagement wie auch das Ausbruchmanagement bedürfen entsprechender Strukturen, um rasch und effizient die Ursachen der Überschreitung von Grenz-, Richt- oder technischen Maßnahmewerten oder die Ursache von wasserübertragenen Infektionen, sei es als sporadische Infektion oder als Ausbruch, nachweisen und ihre Beseitigung sicher überprüfen zu können[6].

7.1 Hygienisch mikrobiologische Überwachung

Für die präventive hygienisch-mikrobiologische Überwachung sind unterschiedliche Zuständigkeiten in Nordrhein-Westfalen geregelt.

Für die Überwachung von **Rohwässern** sind die Umweltbehörden zuständig. Für die **Trinkwasserüberwachung** sind die Gesundheitsämter zuständig.

Für die **Überwachung von Legionellen** nach Trinkwasser-Verordnung sind zunächst die **Unternehmer oder sonstigen Inhaber (Usl)** einer Trinkwasserinstallation zuständig. Das Überschreiten des technischen Maßnahmewertes ist dem Gesundheitsamt anzuzeigen. Außerdem muss der Usl dem Gesundheitsamt mitteilen, mit welchen Maßnahmen die entsprechenden Überschreitungen unter Kontrolle gebracht werden sollen.

Die Gesundheitsämter selber verfügen in aller Regel nicht über eigene Trinkwasserlaboratorien, sodass sie auf die Zuarbeit von niedergelassenen, akkreditierten und nach Trinkwasserverordnung zugelassenen Laboratorien angewiesen sind. Dies hat auch Konsequenzen für den Erfahrungsvorbehalt bei der Bewertung entsprechender Befunde bei den Gesundheitsbehörden. Hilfreich zur Sicherstellung einer unabhängigen, schnellen und kompetenten Unterstützung der Gesundheitsbehörden wäre hier die Benennung sog. Referenzlaboratorien in Nordrhein-Westfalen für entsprechende Fragestellungen.

Für **Abwasserüberwachung** sind die Umweltbehörden in Nordrhein-Westfalen zuständig, wobei jedoch für die Untersuchung von Abwässern bislang keine hygienisch-mikrobiologischen Kriterien festgelegt sind. Dies gilt sowohl für obligat-pathogene Krankheitserreger mit niedriger Infektionsdosis als auch für das Vorkommen und die Eliminierung von Antibiotika-resistenten Bakterien.

Die **Badegewässerüberwachung** erfolgt durch die Gesundheitsämter, denen die Untersuchungsergebnisse von zugelassenen Laboratorien entsprechend der EU-Badegewässerrichtlinie gemeldet werden müssen. Auch hier mangelt es den Gesundheitsbehörden in Nordrhein-Westfalen an **eigener** Laborkapazität, mit den bereits beim Trinkwasser angedeuteten möglichen Konsequenzen.

7.2 Strukturen und Verantwortlichkeiten bei Überschreitung von Grenz-, Richt- und technischen Maßnahme-Werten

Für **Trinkwasser und Badegewässer** liegt in diesen Fällen die Zuständigkeit entsprechend Infektionsschutzgesetz bei den Gesundheitsämtern, die unverzüglich zu entscheiden haben, ob die Gesundheit der betroffenen Verbraucher gefährdet ist und ob die betroffene Wasserversorgungsanlage oder Teile davon oder das betroffene

Badegewässer bis auf Weiteres weiter betrieben werden können. Bei Trinkwassersystemen sind in diesem Zusammenhang die Leitlinien zum Vollzug der §§ 9 und 10 der Trinkwasser-Verordnung des Bundesgesundheitsministeriums und des Umweltbundesamtes, zu beachten, die entsprechende Hilfestellungen geben.

Um angemessen reagieren zu können, müssen entsprechend Trinkwasser-Verordnung proaktiv Maßnahmepläne erarbeitet werden, die festlegen, wer im Störfall wann und wie zu informieren ist. Insbesondere bei Vorliegen einer systemischen Kontamination oder bei Auftreten von Krankheitshäufungen können die Anforderungen an die unverzügliche Beurteilung der Lage sehr komplex sein, sodass ein Managementteam, bestehend aus Wasserversorger bzw. Usl einerseits und dem Gesundheitsamt andererseits erforderlich ist. Weiter heißt es dazu in der Leitlinie zu §§ 9 und 10 der Trinkwasserverordnung:

„Darüber hinaus kann die Einbindung weiterer unabhängiger Experten zur fachlichen Unterstützung notwendig sein, wobei die Erfahrung gezeigt hat, dass es sinnvoll ist, insbesondere die Unterstützung durch Experten mit hygienisch-medizinischem, toxi-kologischen und/oder epidemiologischen Sachverstand für die Gefährdungsanalyse und Festlegung der notwendigen Maßnahmen einzubeziehen.“

Dieses Vorgehen insbesondere durch Einbeziehung externer Experten hat sich in der Vergangenheit bei der Aufarbeitung von Störfällen oder Ausbrüchen sowohl für die Wasserversorger als auch für die Gesundheitsämter als sehr sinnvoll und hilfreich erwiesen.

Es muss jedoch kritisch erwähnt werden, dass die Zahl der Experten mit entsprechendem Sachverstand und den Möglichkeiten eigener Laborexpertise zum Nachweis von Indikatorbakterien, obligat-pathogenen Erregern und fakultativ-pathogenen Erregern begrenzt ist.

Nachteilig hat sich darüber hinaus auch ausgewirkt, dass man seit den 90er Jahren in Nordrhein-Westfalen landeseigene Institutionen auf diesem Gebiet systematisch abgebaut hat. Entsprechende unabhängige hygienisch-medizinische Expertise ist noch in den Hygiene-Instituten an den Universitäten vorhanden. Zum Erhalt und Wiedergewinnung von Expertise bedarf es jedoch einer strukturierten Stärkung dieser Institutionen des Landes, um entsprechende Expertise und Kapazität, die nicht nur für die Überwachung, sondern vor Allem auch für das Management von Störfällen und Ausbrüchen dringend erforderlich ist, zu erhalten.

7.3 Ausbruchmanagement

Kommt es zum Auftreten von wasserbedingten Erkrankungen, dann ist deren frühzeitige Erkennung von außerordentlicher Bedeutung. Hierbei ist die sensitive Diagnostik und differentialdiagnostische Berücksichtigung wasserassoziierter Krankheitserreger durch Hausärzte und Klinikärzte von entscheidender Bedeutung, da nur hierüber die Informationskette in die Wege geleitet werden kann.

Vor diesem Hintergrund ist der Warstein-Ausbruch 2013 in Warstein von exemplarischer Bedeutung. Hierbei wurden die anfänglich auftretenden schweren Pneumonien nicht unmittelbar differentialdiagnostisch im Hinblick auf die Möglichkeit einer Legionellen-Infektion untersucht. Erst nachdem in der Retrospektive mehr als 70 Erkrankungen bereits aufgetreten waren, wurde auf Hinweis des Gesundheitsamtes auch eine Legionellen-Diagnostik initiiert, die schließlich dazu führte, dass die Häufung von Erkrankungsfällen ursächlich auf Legionellen zurückgeführt werden konnte. Erst hiernach konnte ein entsprechendes Ausbruchmanagement beginnen, dass noch am ersten Tag nach Beginn eine der möglichen Infektionsquellen aufdecken und schließen konnte.

Dieses Beispiel zeigt, wie entscheidend die enge Verflechtung einer guten Diagnostik sowohl bei Hausärzten als auch bei Kliniken ist, um den Beginn eines wasserbedingten Ausbruches erkennen zu können. Notwendig ist daher eine Schulung und Kommunikation der niedergelassenen Ärzteschaft und Krankenhausärzte um zu sensibilisieren, welche Erkrankungen auf eine wasserbedingte Ursache hinweisen können. Zur weiteren Abklärung ist erforderlich, zum Teil sehr komplexe Untersuchungen durchzuführen, um die bei Patienten aufgetretenen Krankheitserreger mit den aus der Umwelt, aus Wasser, Abwasser, und/oder Trinkwasser isolierten Stämme abzugleichen. Dies setzt weitere gute Laborstrukturen voraus, die zwar derzeit in Nordrhein-Westfalen grundsätzlich vorhanden sind, jedoch nicht im Sinne eines Public Health-Netzwerkes gewährleistet werden können.

Im Infektionsepidemiologischen Jahrbuch meldepflichtiger Krankheiten für 2017 wird seitens des RKI hierzu ausgeführt:

*„Die molekulare Surveillance spielt bei der Erkennung von Ausbruchsgeschehen eine immer wichtigere Rolle. Bei einem seit 2013 beobachteten Ausbruch von Listeriose-Fällen mit identischem Feintypisierungsmuster (Pulsfeld-Gelelektrophorese) und identischem Sequenztyp (Whole genome sequencing) der Listeria-monocytogenes-Isolate konnte im Jahr 2017 ein fleischverarbeitender Betrieb als Ursache identifiziert werden. Durch den genetischen Vergleich der Umweltproben mit vorliegenden Isolaten aus Patientenmaterial ist es auch bei der Legionellose möglich, ursächliche Infektionsquellen zu identifizieren. **Jedoch werden bei fast allen Krankheiten die Typisierungsergebnisse weiterhin mit unzureichender Vollständigkeit den Fällen zugeordnet und übermittelt.** Durch Ausbruchuntersuchungen können Übertragungswege identifiziert, denen ggf. in der Vergangenheit weniger Bedeutung beigemessen wurde.*

Dass die Typisierungsergebnisse an die Gesundheitsämter gemeldet werden müssen, wurde im Rahmen der IfSG-Novellierung 2017 durch explizite Nennung als Melde- und Übermittlungsinhalt klargestellt.“

Im November 2019 wurde von der Weltgesundheitsorganisation (Regional Office for Europe) die Empfehlung : “Surveillance outbreak management of water –related infection diseases associated with water-supply systems“ herausgegeben[6]. Hierin wird eingangs auf die Bedeutung der Stärken der Surveillance und des Outbreak Managements im Zusammenhang mit dem Protokoll Wasser und Gesundheit aus dem Jahre 1992 (Protokoll über Wasser und Gesundheit zu dem Übereinkommen von 1992 zum Schutz und zur Nutzung grenzüberschreitender Wasserläufe und internationaler Seen geschehen zu London am 17. Juni 1999) hingewiesen. In dieser Konvention über den Schutz und die Verwendung grenzüberschreitender Wassersysteme und internationaler Seen wird im schlüsselpolitischen Instrument in der Paneuropäischen Region die Förderung besserer Gesundheit durch effektives Wassermanagement und der Surveillance wasserbedingter Infektionen geregelt.

Im Artikel 8 heißt es im Protokoll Wasser und Gesundheit aus dem Jahre 1992 unter dem Titel **Reaktionssysteme**:

1. Jede Vertragspartei stellt sicher,

- a) dass umfassende nationale und/oder örtliche Überwachungs- und Frühwarnsysteme eingerichtet, verbessert oder aufrechterhalten werden, durch die
 - i) Ausbrüche oder das Auftreten wasserbedingter Krankheiten oder eine beträchtliche Gefahr solcher Ausbrüche oder eines solchen Auftretens festgestellt werden, unter anderem dann, wenn sie auf Wasserverschmutzung oder auf extreme Wetterverhältnisse zurückzuführen sind;
 - ii) den zuständigen öffentlichen Instanzen solche Ausbrüche, ein solches Auftreten oder solche Gefahren umgehend und zweifelsfrei gemeldet werden;

- iii) im Fall einer unmittelbaren Bedrohung der öffentlichen Gesundheit durch wasserbedingte Krankheiten der möglicherweise betroffenen Öffentlichkeit alle einer öffentlichen Instanz vorliegenden Informationen, welche die Öffentlichkeit dabei unterstützen könnten, Schaden zu verhüten oder zu mildern, zur Verfügung gestellt werden;
- iv) den zuständigen öffentlichen Instanzen und gegebenenfalls der Öffentlichkeit Empfehlungen über Verhütungs- und Abhilfemaßnahmen gegeben werden;
- b) dass rechtzeitig gründliche und umfassende nationale und örtliche Notfallpläne ausgearbeitet werden, um auf solche Ausbrüche, ein solches Auftreten und solche Risiken reagieren zu können;
- c) dass **die zuständigen öffentlichen Instanzen** über die **notwendigen Kapazitäten** verfügen, um auf solche Ausbrüche, ein solches Auftreten oder solche Risiken in Übereinstimmung mit dem einschlägigen Notfallplan reagieren zu können. Auf dieses Dokument, welches sich mit den technischen Informationen über
 - Die Entwicklung um Implementierung eines entsprechenden Surveillance-Systems für wasserbedingte Infektionskrankheiten befasst und
 - wie Ausbrüche wasserbedingter Erkrankungen untersucht werden, reagiert und managt.

Bezüglich der Surveillance (Überwachung) wird in 2019 herausgegebenen WHO Empfehlung: "*Surveillance outbreak management of water –related infection diseases associated with water-supply systems*" besonderer Wert auf die Feststellung gelegt, dass eine Reihe von wasserbedingten Erkrankungen nur unzureichend in der klinischen Diagnostik von Ärzten untersucht wird. Hierzu zählen insbesondere parasitäre Erkrankungen, z. B. durch Cryptosporidien und Giardien und hierdurch entsprechende Erkrankungen nicht unmittelbar bekannt werden[6].

In Deutschland existiert grundsätzlich ein Meldesystem für zahlreiche auch wasserbedingte Infektionen. Inwieweit diese tatsächlich zu einer Berücksichtigung auch wasserbedingter Systeme als mögliche Ursache gesehen werden, ist jedoch nicht immer sichergestellt.

Die Ausbrüche in Hemer (Campylobacter-Ausbruch), der Giardia-Ausbruch in Rengsdorf und der Legionellen-Ausbruch in Warstein zeigten, dass nur verzögert eine entsprechende Rückkoppelung erreicht werden konnte und ein zeitnahes Reagieren nur bedingt gewährleistet war (Siehe Anhang II) .

Von besonderer Bedeutung im Kontext mit dem Management von Ausbrüchen wasserbedingter Erkrankungen und Störfällen ist die Darstellung der 10 Schritte, die im Rahmen eines Ausbruchmaßnahmenplans notwendig sind [6]. Diese sind der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zu entnehmen. Diese Tabelle ist ursprünglich exemplarisch für Trinkwasser-bedingte Ausbrüche konzipiert, lässt sich aber analog auch auf andere wasserbedingte Ausbrüche übertragen.

Tabelle 5: 10 Stufen Plan für das Management wasserbedingter Ausbrüche nach WHO (6)

Outbreak step	Associated WRID specific actions
1 Detect and confirm the existence of the outbreak and confirm the diagnosis	<ul style="list-style-type: none"> • If water is suspected as the source, find out from the water provider about any recent events relating to the water supply (such as a contamination event or increase in customer complaints) and check if other geographical areas are also experiencing an increase in cases. • Once the outbreak is confirmed, report to relevant stakeholders such as environment agencies, water providers and municipal authorities. • Decide on whether water and environmental specimens need to be collected. If so, decide on the sampling locations, number and types of samples to be collected, the indicators to be tested, and the sampling and testing methodology, including the needed equipment and materials. • Take samples from the suspected source of the outbreak: for waterborne disease outbreaks, sample from drinking-water sources, water stored in households or other water sources to which cases were commonly exposed; for <i>Legionella</i> outbreaks, take samples of biofilms from water systems or cooling towers.
2 Form the rapid-response team (RRT)	<ul style="list-style-type: none"> • Include environmental health or sanitation experts in the team and, as indicated, representatives from the water provider, environment agencies and municipal authorities.
3 Define cases	<ul style="list-style-type: none"> • Where standardized case definitions for a specific WRID exists, these can be used in the investigation. Where no standardized case definitions exist, the RRT will need to define its own case definitions. The RRT can specify definitions for suspect/possible, probable and confirmed cases. • Exposure to the suspected source (such as a particular water source) usually is not included in the case definition, otherwise it will not be possible to test whether that source is in fact the source of the outbreak.
4 Identify cases and obtain information	<ul style="list-style-type: none"> • Collect geographical data on possible places of exposure to different water sources, such as place of residence, work or study. • If the causative agent is known, collect information, including on water exposures and risk factors known to be associated with the particular pathogen. If the causative agent is not known, the RRT will need to collect data on the clinical presentation of disease and a wide range of exposures to determine the causative agent.
5 Conduct a descriptive epidemiological investigation (time, place, person)	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse by person: calculate attack rates by exposure to particular water sources. • Analyse by place: calculate attack rates by place and map the distribution of cases to assess the geographical extent of the outbreak and identify potential sources. Undertake spatial analyses to visualize and explore the spatial distribution of cases in relation to suspect sources, investigate clusters and model the spatial dispersion of potential contaminants in a water system. • Analyse by time: if the causative agent is known, use the epidemic curve to estimate the likely time period of exposure and focus the environmental investigation on that time period. Assess if the epidemic curve correlates with events in the water-supply system and implementation of control measures.

Table 7 contd	
6	<p>Conduct additional studies and collect additional information (environmental, microbiological)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conduct a sanitary inspection and environmental risk assessment, and assess the WSP. • Collect historical data from water-quality monitoring. • Collect additional samples at different points in the water-supply system and analyse for indicators and suspected pathogens.
7	<p>Interview cases and generate hypotheses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Generate hypotheses on suspected sources of the outbreak and immediately target control measures at these sources. • Review the descriptive epidemiological data, the laboratory and environmental data, and the circumstances surrounding the outbreak, and assess the plausibility of the hypotheses against these facts.
8	<p>Evaluate the hypotheses</p> <ul style="list-style-type: none"> • If necessary, conduct an analytical study to test the hypotheses and generate stronger evidence on the source of the outbreak. • Try to quantify the level of exposure to water and other sources to enable possible dose-response relationships to be investigated. • Consider the results of the analytical study, in combination with the descriptive data, environmental assessment, microbiological analysis and risk assessment data from the water system, to categorize the strength of the evidence that the water system is the source.
9	<p>Inform risk managers and implement control measures (throughout the response)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Implement control measures targeting, as indicated, the water-supply system, secondary vehicles of transmission (such as food items prepared with contaminated water) and secondary spread through person-to-person transmission. • Target control measures at both the immediate cause of the outbreak and the underlying factors (such as policy, training or inadequate maintenance of the water system) that contributed to the outbreak.
10	<p>Communicate findings (throughout the response), make recommendations and evaluate the response</p> <ul style="list-style-type: none"> • Communicate immediate control measures relating to the water system in interim reports released frequently throughout the outbreak. • Communicate regularly to the public about the outbreak and preventive measures. • Make recommendations for long-term improvements to the water-supply system in the outbreak report and update the water-safety plan with these recommendations as needed.

Um die hierin genannten Kriterien zu erfüllen, ist es notwendig, sehr komplexe epidemiologische und hygienisch-mikrobiologische Untersuchungsverfahren einschließlich weitergehender Typisierungsverfahren sicherzustellen und diese permanent zu pflegen.

Insbesondere bezüglich der hygienisch-mikrobiologischen Untersuchungen von Trinkwasser, Rohwasser und Abwasser müssen die entsprechenden Kriterien in Ringversuchen abgestimmt sichergestellt sein.

Zusätzlich verlangt das Infektionsschutzgesetz in seiner aktuellen Fassung bei namentlich meldepflichtigen Erkrankungen bzw. bei nicht namentlicher Meldung auch neben dem Untersuchungsbefund **Typisierungsergebnisse**. Zusätzlich sollten bei nicht namentlicher Meldung nach § 10 Angaben über die wahrscheinliche Infektionsquelle einschließlich der zugrundeliegenden Tatsachen gemeldet werden.

Die Berücksichtigung dieser Kriterien setzt ein gut verzahntes System von Gesundheitsämtern, Laboratorien mit entsprechender Expertise auf diesem Gebiet der Wasseranalyse voraus, um gleichzeitig auch eine medizinisch-hygienische Bewertung und Kommunikation mit der Öffentlichkeit im Hinblick auf die Konsequenzen für Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit zu geben.

Dies bedeutet auch, dass den Gesundheitsämtern eine entsprechende Infrastruktur zur Verfügung stehen muss, wozu sich die Länder einschließlich Deutschland bereits 1992 vertraglich geeinigt haben.

Hierbei unterscheidet sich Nordrhein-Westfalen von zahlreichen anderen Bundesländern wie Bayern, Baden-Württemberg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein, Meck-

lenburg-Vorpommern, wo entsprechende zentrale Untersuchungsinstitute, die auch für das Land Funktionen erfüllen, eingebunden sind.

NRW hingegen als größtes Bundesland hat keine Infrastruktur sichergestellt, um diese Anforderungen zu erfüllen, obwohl in NRW Wasserversorger Trinkwasser in andere Bundesländer wie Rheinland-Pfalz und andere Staaten wie die Niederlande liefern.

Sowohl der Städtetag NRW als auch der Land- und Kreistag NRW haben gemeinsam mit den Ärztekammern Nordrhein und Westfalen-Lippe und den Vertretern der großen Gesundheitsämter in Nordrhein-Westfalen das Gesundheitsministerium NRW auf diesen Umstand hingewiesen und nachdrücklich gefordert, hier eine entsprechende Infrastruktur sicherzustellen.

Die Empfehlung einer entsprechenden vom Gesundheitsministerium eingerichteten Arbeitsgruppe lautete unter Koordination des Landesentrums Gesundheit (LZG), an ausgewählten Universitäten des Landes die vorhandenen medizinischen Hygiene-Institute und Institute für Medizinische Mikrobiologie in ein **Netzwerk von unabhängigen Referenzinstituten sowohl für die Wasserhygiene als auch für die mikrobiologische Diagnostik** einzubinden.

Dies wäre eine kostengünstige Lösung, die gleichzeitig auch noch die wissenschaftliche Expertise sicherstellt. Eine Liste der zurzeit in NRW dafür in Frage kommenden Untersuchungsinstitute findet sich weiter unten nach dem Tabellenverzeichnis.

Bislang konnte hierzu kein Ergebnis erzielt werden.

In der Diskussion zu diesen Fragen in NRW kristallisierte sich unter der vorigen Regierung im Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales die Grundauffassung heraus, die Kommunen und Kreise könnten doch in entsprechenden Situationen private Laboratorien mit den Untersuchungen beauftragen. Diese Auffassung verkennt jedoch in geradezu fahrlässiger Weise, dass private Laboratorien gar nicht über die notwendige Infrastruktur verfügen, um auf wasserbedingte Erreger mit der notwendigen Analytik kreis- und kommunen-; z.T. auch länder- und staatenübergreifend, reagieren zu können und gleichzeitig auch für die Beratung der Bevölkerung mit der notwendigen Rechtssicherheit zur Verfügung zu stehen. Insbesondere wenn z. B. als Verursacher eines wasserbedingten Ausbruches ein Großunternehmen in Frage steht, das alle Rechtsmittel ausschöpft, um nicht als Verursacher dargestellt zu werden. Mit der Bewältigung dieser Aspekte sind private Laboratorien in der Regel überfordert. In jedem Fall führen fehlende Kompetenzen und Kapazitäten bei lokalen privaten Labratorien immer wieder dazu, dass derartige Ausbrüche nicht zeitnah und konsequent -entsprechend dem Protokoll: Wasser und Gesundheit aus dem Jahre 1992- aufgearbeitet und beendet werden können. Die Konsequenzen mangelnder Kapazitäten gerade zu Beginn einer Ausbruchssituation waren aktuell im Zusammenhang mit der Corona-Pandemie an vielen Punkten sehr deutlich sichtbar.

Es wird daher seitens des Unterzeichners für dringend erforderlich angesehen, eine entsprechende Infrastruktur, insbesondere vor dem Hintergrund der nunmehr vorliegenden Dokumentation der WHO für die Region Europa. Surveillance and outbreak management and water related infectious diseases associated with water-supply-systems vorzunehmen.

Es wird erheblicher Handlungsbedarf gesehen, eine entsprechende Infrastruktur zum resilienten Ausbruch- und Störfallmanagement Wasser- und Abwasserbedingter Erkrankungen in die Wege zu leiten.

8 Konsequenzen für Prävention und Kontrolle wasser- und abwasser-assoziiertes hygienisch-mikrobiologischer Risiken in NRW

8.1 Allgemeine Prämissen

Im folgenden Kapitel soll abschließend auf der Grundlage der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Situation thematisiert werden, inwieweit sich konkrete Konsequenzen für die zukünftige Risikoregulierung und die Infrastruktur in Nordrhein-Westfalen ergeben.

Insgesamt ist festzustellen, dass aufgrund der in den letzten Jahrzehnten gewonnenen Erkenntnisse aus Forschungsprojekten, Störfällen und Krankheitsausbrüchen die Beurteilung hygienisch-mikrobiologischer Risiken u.a. durch wasser- und abwasserassoziierte Krankheitserreger erweitert werden muss.

Bislang hatte man sich sowohl in der EU als auch in der nationalen Regulierung wasser- und abwasserassoziiertes Risiken sehr stark auf chemisch-physikalische Risiken konzentriert und hatte faktisch bei den hygienisch-mikrobiologischen Risikoeinschätzungen und daraus folgenden Konsequenzen die Auffassung vertreten, dass entsprechende mit Wasser und Abwasser assoziierte Risikofaktoren unter Kontrolle seien.

Diese Einschätzung ist bezogen auf die klassischen obligat-pathogenen mit abwasser- und trinkwasserverbreiteten Krankheitserreger sicherlich richtig. Zu deren Prävention und Kontrolle haben sich die vor mehr als 100 Jahren eingeführten Strukturen und Überwachungskriterien einschließlich des hygienisch-mikrobiologischen Monitorings als valide und effizient erwiesen.

Jedoch haben mit dem demographischen Wandel, dem Klimawandel, sehr komplexen Trinkwasserinstallationssystemen und der Vielzahl von Hochrisikoeinrichtungen für die medizinische Versorgung sowohl neu erkannte obligat-pathogene Erreger mit sehr niedriger Infektionsdosis als auch fakultativ-pathogene Erreger einschließlich Antibiotika-resistenter Mikroorganismen eine wesentlich größere auch risikoregulatorische Bedeutung erhalten. Allein die Krankheitslast in DALYs durch Antibiotika-resistente Erreger ist mittlerweile nahezu gleich hoch wie durch HIV/Aids, Influenza und Tuberkulose zusammen.

Nordrhein-Westfalen hat sich, u.a. ausgelöst durch Störfälle wie der 1993 aufgetretene Störfall im Kreis Aachen, frühzeitig mit neu erkannten obligat-pathogenen Erregern befasst und hierzu eine Vielzahl von Forschungsprojekten initiiert und gefördert sowie zum Teil – wie nach dem Legionellen-Ausbruch in Warstein – neue Regulierungen angestoßen wie u. a. die 42. Verordnung zum Bundesimmissionsschutzgesetz (42. BImSchV), Forschungsprojekte wie „Reine Ruhr“ und „Sichere Ruhr“. Es ist daher durchaus gerechtfertigt, festzustellen, dass NRW und hier insbesondere die Initiativen des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen eine beispielgebende Funktion auf dem Gebiet der Wasser- und Abwasserhygiene, der Forschung und Regulierung auch im nationalen und internationalen Vergleich hat.

Dennoch ist es vor dem Hintergrund der neu erkannten Risiken dringend erforderlich, sich in Nordrhein-Westfalen weiter mit den Möglichkeiten einer besseren risikoregulatorischen Prävention und Kontrolle hygienisch-mikrobiologischer Risiken auseinander zu setzen. Nordrhein-Westfalen kann hier weiterhin auch im nationalen wie im internationalen Bereich eine Schrittmacherfunktion einnehmen. Entscheidend ist dabei, das hygienisch-mikrobiologische Monitoring auf der Grundlage wissenschaftlicher Erkenntnisse abgewogen und unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit entsprechender Risiken auf der Grundlage klarer Methodik und Bewertungskriterien so-

wohl in der Prävention als auch beim Management von Ausbrüchen dem heutigen Kenntnisstand anzupassen.

Nur hierdurch können konkrete Erfolge und ein Mehrwert für den Schutz der Gesundheit der Bevölkerung erreicht werden. Dies schließt auch ein, dass hierzu eine entsprechende Infrastruktur bei den Gesundheits- und Umweltbehörden und eine hygienisch-mikrobiologische institutionelle Infrastruktur in Nordrhein-Westfalen verankert sind. Nur hierdurch wird es auch gelingen, im Falle des Auftretens von Störfällen und Ausbrüchen eine resiliente nachhaltige Kontrolle und hieraus entwickelnd Präventionsstrukturen in Nordrhein-Westfalen aufzubauen. Diese Strukturen müssen zum Teil kurz-, manche mittelfristig, andere langfristig begonnen werden aufzubauen. Einige der konkreten Konsequenzen in den unterschiedlichen Bereichen der Wasserver- und der Abwasserentsorgungskette sollen nachfolgend thematisiert und im Hinblick auf obligat-pathogene, fakultativ-pathogene und Antibiotika-resistente Erreger konkrete Empfehlungen diskutiert werden.

8.2 Abwasserentsorgung

Die Grundlage aus hygienisch-mikrobiologischer Sicht für die Abwasserregulierung ist das Infektionsschutzgesetz § 41 - Abwasser, wonach Abwasserbeseitigungspflichtige darauf hinzuwirken haben, dass Abwasser so beseitigt wird, dass Gefahren für die menschliche Gesundheit durch Krankheitserreger nicht entstehen. Einrichtungen zur Beseitigung des Abwassers unterliegen der infektionshygienischen Überwachung durch die zuständige Behörde.

Aus hygienisch-medizinischer und krankenhaushygienischer Sicht beginnt die Abwasserbeseitigung ab Toilette, Waschbeckenabläufen, Duschabläufen, Ausgüssen, Steckbeckenspülen mit dem Abwassersystem in Gebäuden. Sowohl schwer verlaufende sporadische Infektionen als auch Ausbrüche u.a. mit Antibiotika-resistenten Erregern können nunmehr auf das Abwassersystem in Krankenhäusern zurückgeführt werden.

8.2.1 Antibiotika-resistente Erreger

Im weiteren Verlauf der Abwasserkette stellen Kläranlagen insbesondere in den Belebungsbecken ein ideales Biotop für den horizontalen Austausch von Geninformationen inklusive Antibiotika-Resistenzen dar. Gleiches gilt für die Biofilme in Abwasserführenden Systemen.

Für obligat-pathogene Krankheitserreger mit niedriger Infektionsdosis wie Parasiten, *Campylobacter* und Viren liegen ausreichende Erkenntnisse speziell aus Untersuchungsprojekten in Nordrhein-Westfalen vor, die zeigen, dass Kläranlagen bei Normalbetrieb eine Reduktionsleistung von bis zu 3 log-Stufen aufweisen [128]. Dies kann unzureichend sein, wenn hierdurch Rohwasser für die Bereitstellung von Trinkwasser beeinflusst werden. Hierbei spielen auch Starkregenfälle eine wichtige Rolle, wobei es in derartigen Fällen häufig zum Abschlag von nur geringfügig mechanisch gereinigtem Abwasser aus der Kanalisation in Oberflächengewässer kommt. Damit können punktförmig auch hohe Konzentrationen und Frachten von obligat-pathogenen Erregern mit sehr niedriger Infektionsdosis in Gewässer gelangen. Partikel abscheidende Aufbereitungsstufen können hier zu einer Steigerung der Aufbereitungseffizienz sowohl an Kläranlagen als auch an Mischwasserabschlägen führen. Die mittlerweile vorliegenden Erkenntnisse zeigen, dass es durch die klassischen Aufbereitungsverfahren in der Kläranlagentechnologie nur zu einer unvollständigen Reduktion von Antibiotika-resistenten Erregern und Antibiotika-Resistenzgenen kommt.

Insbesondere bei Einleitung des geklärten Abwassers in Gewässer, aus denen Wasser zur Trinkwasseraufbereitung entnommen wird, kann durch Untersuchungen sowohl auf Antibiotika-resistente Erreger wie auch auf Antibiotika-Rückstände eine Einschätzung der Belastung und ggf. eine Verbesserung der Aufbereitungseffizienz erzielt werden. Die diesbezüglich vorliegenden Ergebnisse aus Forschungsprojekten wie HyReKA zeigen, dass die Ultrafiltration die effizienteste Methode für eine Reduktion von Antibiotika-resistenten Erregern und Antibiotika-Resistenzen darstellt [90]. Es wird daher empfohlen, dass im Konsens abgestimmt wird, inwieweit geeignete Nachweisverfahren sowohl für die hygienisch-mikrobiologische Untersuchung von Antibiotika-resistenten Erregern und ggf. Antibiotika-Resistenzen als auch zur chemischen Rückstandsanalytik für Abwässer etabliert werden. Hierzu wird auf die in HyReKA entwickelten Methoden zum Nachweis von Antibiotika-resistenten Erregern, Antibiotikaresistenzgene und Antibiotikarückstände verwiesen, die im Bericht des Forschungsprojektes dargestellt sind.

Die Untersuchungsergebnisse u. a. aus dem HyReKA-Projekt belegen, dass in Kliniken im direkten Umfeld der vulnerabelsten Patienten die höchsten Konzentrationen an Antibiotika-Rückständen und Antibiotika-resistenten Erregern nachzuweisen sind. Vor diesem Hintergrund kommt der Sanierung dieser Bereiche mittel- bis langfristig erhebliche Bedeutung zu.

Derzeit werden entsprechende Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention erarbeitet.

Es wird empfohlen, dass medizinischen Einrichtungen höchste Priorität zuerkannt wird, da diese Bereiche für die Verhütung von Infektionen insbesondere durch Antibiotika-resistente Erreger die höchste Relevanz haben.

Ärzte und Patienten sollten über die Zusammenhänge von Antibiotika-Einnahme, Mechanismen der Resistenzbildung und mögliche Infektionsgefahren durch kontaminierte Teile des abwasserführenden Systems (Siphons, Duschabläufe, Toiletten) aufgeklärt werden.

Verstopfungen des Abwasser führenden Systems in medizinischen Einrichtungen z.B. durch Fett und andere Materialien, die sich im Abwassersystem nicht auflösen muss vorgebeugt werden. Hierdurch kann vermieden werden, dass es durch Rückstau zu einer Verschleppung von Antibiotika-resistenten Erregern aus Abwasser führenden Systemen in Risikobereiche kommt.

Die Vermehrung von Krankheitserregern gerade auch in Abwassersystemen von medizinischen Einrichtungen mit regelmäßiger Gabe von Antibiotika sollte so gut wie möglich kontrolliert werden, um eine negative Beeinflussung der Qualität des nachgelagerten Abwassersystems bzw. der Vorfluter zu minimieren.

8.2.2 Legionellen und Abwasserkläranlagen

Mittlerweile zeigt auch die internationale Literatur, dass Abwasseranlagen – insbesondere Belebungsbecken – je nach Herkunft des Abwassers wichtige Reservoirs für die Vermehrung von Legionellen sein können und als Ursache für Legionellen-Ausbrüche in Frage kommen [129-133].

Vor diesem Hintergrund müssen die Kläranlagen, die aufgrund ihrer Einleiter besonders gefährdet sind im Hinblick auf eine Legionellen-Vermehrung konsequent kontrolliert werden. Entsprechende Empfehlungen liegen in Form des Berichts der Expertenkommission zu Legionellen des Umweltministeriums NRW bereits vor. Belebungsbecken mit erhöhter Legionellen-Belastung dürfen in keinem Fall eine Belüftung aufweisen, die geeignet ist, Aerosole in die Umwelt zu tragen, wie z.B. Oberflächenbelüfter. Es ist zu prüfen, inwieweit Emissionen von Legionellen aus Belebungs-

becken in die Umgebungsluft durch technische Maßnahmen (Umstellung der Belüftungstechnik, Einhausung, Filterung der Abluft) verhindert werden können.

8.3 Gewässer

Eine hygienisch-mikrobiologische Gefährdung der Bevölkerung wird insbesondere bei solchen Gewässern in Abhängigkeit von ihrer Bestimmung gesehen, die entweder als

- EU-Badegewässer
- Trinkwasserreservoir
- für die Bewässerung von Gemüse und Obst, die ohne weitere Aufbereitung verzehrt werden verwendet werden.

8.3.1 EU-Badegewässer

Die bisher bestehende EU-Badegewässerrichtlinie sieht die Bestimmung von *E. coli* und Enterokokken vor. Dieser Ansatz ist primär ausgerichtet auf Risiken durch die klassischen fäkal-oral übertragenen obligat-pathogenen Krankheitserreger.

Bei Beeinflussungen der Gewässer durch Kläranlagen sollte in Abhängigkeit von einer Ortsbesichtigung geklärt werden, inwieweit weitergehende Untersuchungen auf obligat-pathogene Erreger wie Cryptosporidien und Giardien sowie *Campylobacter* sinnvoll sind. Die Untersuchungsmethoden hierfür sind grundsätzlich etabliert.

Die Überprüfung auf Antibiotika-Resistenzen bei Nachweis von *Escherichia coli* sollte abgeklärt werden, wobei hierbei Voraussetzung ist, etablierte Nachweisverfahren zu verwenden, die in Ringversuchen oder vergleichbaren Qualitätssicherungsverfahren unabhängig abgesichert sind. Besondere Bedeutung hätte bei einer entsprechenden Untersuchung der Nachweis einer möglichen Resistenz gegen die drei oder vier wichtigsten Antibiotikagruppen entsprechend KRINKO-Empfehlung (3- bzw. 4MRGN, s.o.).

Von wissenschaftlicher aber besonders von gesundheitspolitischer Bedeutung wäre die Erwägung, die jährliche Untersuchung an ausgewählten Badegewässern in NRW fortzuführen, um zu ermitteln, ob mittelfristig mit einem Anstieg des Nachweises von Antibiotika-resistenten Erregern zu rechnen ist. Hierbei haben insbesondere gram-negative coliforme Bakterien und *P. aeruginosa* besondere Bedeutung.

Für die Bewertung der Antibiotika-Resistenzen ist ein abgestimmtes Verfahren analog dem Vorgehen der Expertenkommission für Legionellen in Gewässern zielführend (Regelmäßige Beprobung bestimmter definierter Gewässer (-Abschnitte), abgestuftes Maßnahmenpaket in Abhängigkeit von der Höhe der Belastung einerseits und Nutzungsart des Gewässers andererseits) [117, 134]. Weitere Hinweise zur Bewertung Antibiotika-resistenter Bakterien aus wissenschaftlicher Sicht enthält der kürzlich fertig gestellte Bericht des HyReKA-Projektes bzw. [89].

8.3.2 Gewässer, die als Rohwasser für die Trinkwasseraufbereitung verwendet werden.

Fluss- und Talsperrenwässer sollten konsequent entsprechend den Empfehlungen des Umweltbundesamtes neben dem Monitoring auf *E. coli* und Enterokokken auf das Vorkommen von Coliphagen und die Parasiten *Cryptosporidium* und *Giardia* untersucht werden. In Abhängigkeit von der Größe des Versorgungsgebietes bzw. von dem Vorhandensein und der Art medizinischer Risikoeinrichtungen sollte die Rohwasseruntersuchung auf diese Indikatorpathogene mindestens viermal pro Jahr zu den unterschiedlichen Jahreszeiten überprüft werden. Eine Untersuchung bei Starkregenfällen zweimal pro Jahr entsprechend der Empfehlung des Umweltbundesam-

tes nach Anhörung der Trinkwasserkommission ist zu erwägen[119]. Bei Rohwässern für die Trinkwasseraufbereitung von Versorgungsgebieten, die keine Risikoeinrichtungen in Form von Krankenhäusern oder Alten- und Pflegeheimen oder vergleichbaren Einrichtungen enthalten, kann die regelmäßige Überprüfung des Einzugsgebietes und des Rohwassers ggf. in Abhängigkeit vom Ergebnis der Erstcharakterisierung auf ein fünfjähriges Intervall reduziert werden.

8.3.3 Irrigationswasser

Bei Verwendung von Irrigationswasser für die Bewässerung von Gemüse und Obst, das vor dem Rohverzehr nicht mehr erhitzt wird, sollte mikrobiologische Qualität im Hinblick auf mögliche Krankheitserreger und auch Antibiotika-resistente Organismen hinterfragt werden. Voraussetzung ist hierzu ein Konsens, auch über die Nachweismethodik und das Bewertungsverfahren. Es wird empfohlen, dass hierzu eine Arbeitsgruppe eingerichtet wird, um entsprechende Lösungen zu erarbeiten.

8.4 Trinkwasser

Die Untersuchung des Trinkwassers auf coliforme Bakterien, *E. coli* und Enterokokken gibt keine sichere Aussage, ob obligat-pathogene Erreger mit niedriger Infektionsdosis enthalten sind und zu einer Gesundheitsgefährdung führen können. Da jedoch die zur Untersuchung auf gesundheitsrelevante Konzentrationen dieser Erreger nötigen Trinkwasservolumina die Möglichkeiten der routinemäßigen deutlich überschreiten, wird seitens der WHO empfohlen, das Rohwasser auf diese Organismen zu untersuchen und bei Nachweis entsprechender Organismen zu prüfen, ob die jeweilige Trinkwasseraufbereitung die nötige Reduktionskapazität aufweist. Hierzu wurden im Kapitel Rohwasser bereits Empfehlungen gegeben.

Während die Aufbereitung von Trinkwasser und die Untersuchung des Trinkwassers nach Aufbereitung in der Regel einwandfreie Ergebnisse liefern, kommt es immer wieder zu Berichten über das Auftreten von systemischen Kontaminationen des Transport- oder Verteilungsnetzes mit coliformen Bakterien oder *P. aeruginosa*. In diesen Fällen sollte

- eine Differenzierung der Coliformen-Arten,
- eine Antibiotika-Resistenzbestimmung

durchgeführt werden.

Sofern auffällige Antibiotika-Resistenzen festgestellt werden, insbesondere bei Nachweis von Carbapenem-Resistenz oder Carbapenemasen, müssen Risikoeinrichtungen, wie z.B. Krankenhäuser, hierüber informiert werden.

Da diese Untersuchungen besondere Expertise voraussetzen, sollten hierfür regional zugewiesene Referenzinstitute bestimmt werden, die über die notwendige instrumentelle und personelle Ausstattung in der Analytik verfügen und gleichzeitig eine hygienisch-medizinische Bewertung durchführen können. Ansonsten gelten die Kriterien der Leitlinien zu den §§ 9 und 10 der TrinkwV.

Diese zugelassenen und benannten Referenzinstitute sollten nach gleicher Methodik arbeiten und sollten an Ringversuchen hierzu teilnehmen.

In Hausinstallationssystemen sollten entsprechend nach Trinkwasser-Verordnung und der entsprechenden Empfehlungen des UBA Untersuchungen auf Legionellen durchgeführt werden. Ein besonderes Augenmerk sollte hier *Legionella pneumophila* gelten.

In medizinischen Einrichtungen muss ein Wasserhygieneplan in allen Häusern vorhanden sein.

Grundsätzlich sollten hygienisch-medizinische Einrichtungen an der Übergabestelle hinter dem Wasserzähler eine Trinkwasserprobenahmestelle aufweisen, um eine

sachgerechte Probenahme zur Kontrolle der Eingangswasserqualität hinsichtlich der Parameter der TrinkwV, aber auch möglicher Krankheitserreger, wie oben beschrieben, durchführen zu können.

Sofern in medizinischen Einrichtungen bei halbjährlicher Untersuchung systemische Auffälligkeiten festgestellt werden, die auf einen Eintrag von außen hin deuten -z.B. durch Nachweis der Mikroorganismen bereits an der Übergabestelle-, müssen Gesundheitsamt und Wasserversorger unterrichtet werden, da dies ein Hinweis auf eine systemische Kontamination aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz sein kann. Dies muss immer zu einer Ursachenabklärung führen, wozu entsprechend ausgewiesene Referenzinstitute (s.o.) mit einbezogen werden sollten.

Bei systemischem Nachweis von coliformen Bakterien, *P. aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii* in Trinkwasserinstallationssystemen von medizinischen Einrichtungen sollte eine Antibiotika-Resistenzbestimmung durchgeführt werden.

8.5 Strukturelle Voraussetzungen für Referenzinstitute und für ein lernendes, resilientes Störfall- und Ausbruchmanagement-System

Vor dem Hintergrund der hoch komplexen Anforderungen an die hygienisch-mikrobiologische Analytik und deren Bewertung insbesondere bei Störfällen und Ausbrüchen muss eine Infrastruktur in Nordrhein-Westfalen vorhanden sein, durch die es gelingt, rasch und effizient Krankheitserreger im Trinkwassersystem sicher zu erkennen, diese zu charakterisieren, zu typisieren und auf die Ursachen zurückzuführen. Hierzu reicht die bisher vorhandene Laborinfrastruktur hinsichtlich der komplexen Anforderungen an die Aufklärung von Kontaminations- und Infektionsketten durch Typisierungsverfahren absolut nicht aus.

Diese oben genannten Referenzinstitute haben die Funktion, sowohl für Gesundheitsämter als auch für Wasserversorger ebenso wie für medizinische Einrichtungen und für Verbraucher als neutrale Institutionen eine rasche und resiliente Abklärung und Bewertung durchführen zu können.

Es wird empfohlen, hierzu kurzfristig einen Plan zu entwickeln, um die noch vorhandenen Institute zu einem Netzwerk zusammenzuführen.

8.6 Notwasserversorgung

Vor dem Hintergrund der neuen Einschätzung der militärischen Bedrohungssituation sollte neben einem Notbrunnensystem im Verantwortungsbereich der Innenministerien insbesondere für medizinische Einrichtungen ein Notfallplan erstellt und gepflegt werden. Hierbei muss die Wasserver- und Abwasserentsorgung bei Unterbrechung der Trinkwasserversorgung akut auf eigene Notwasserkonzepte umgestellt werden können. Krankenhäuser gehören zur kritischen Infrastruktur. Je nach örtlichen Gegebenheiten sind auf das konkrete Objekt angepasste Lösungen erforderlich.

Die bisherigen Entwicklungen sind hierzu noch nicht ausreichend.

Aus diesem Grunde wird nachdrücklich empfohlen, diesen Prozess kurzfristig für alle medizinischen Einrichtungen insbesondere für Krankenhäuser der Tertiärversorgung im Sinne eines Wassernotplanes in Abstimmung mit dem Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe anzustoßen.

Literaturverzeichnis

1. Kistemann, T., Claßen, T., Exner, M., *Der erste Giardiasis Ausbruch durch Trinkwasser in Deutschland*. bbr Fachmagazin für Brunnen und Leitungsbau, 2003: p. 40 - 46.
2. WHO, *Ending Cholera - A Global Roadmap to 2030*
<https://www.who.int/cholera/publications/global-roadmap.pdf>, 2018.
3. Exner, M., Nissing, W., *Bedeutung des Gesundheitsschutzes für die Trinkwasserversorgung – Gegenwart und Zukunft*. energie Wasser praxis, 2016(12): p. 82 - 89.
4. WHO, *Guidelines for Drinking water Quality*.
<http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/254637/1/9789241549950-eng.pdf>, 2017.
5. Mac Kenzie, W.R., et al., *A massive outbreak in Milwaukee of cryptosporidium infection transmitted through the public water supply*. N Engl J Med, 1994. **331**(3): p. 161-7.
6. WHO, *Surveillance and outbreak management of water-related infectious diseases associated with water-supply systems*. , W.R.O.f. Europe;, Editor. 2019, WHO Regional Office for Europe;: Copenhagen.
7. Benedict, K.M., et al., *Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water - United States, 2013-2014*. MMWR Morb Mortal Wkly Rep, 2017. **66**(44): p. 1216-1221.
8. Craun, G.F., et al., *Causes of outbreaks associated with drinking water in the United States from 1971 to 2006*. Clin Microbiol Rev, 2010. **23**(3): p. 507-28.
9. Guzman-Herrador, B., et al., *Waterborne outbreaks in the Nordic countries, 1998 to 2012*. Euro Surveill, 2015. **20**(24).
10. Quirnbach, M., Freistühler, E., Papadakis, I., *Auswirkungen des Klimawandels in der Emscher-Lippe-Region – Analysen zu den Parametern Lufttemperatur und Niederschlag*. dynaklim-Publikation No. 30, November 2012. Ruhrverband (2013): (Stand: Oktober 2013).
<http://www.ruhrverband.de/fluesse-seen>, 2012.
11. Osmancevic, E., Engelfried, M., *Erhöhte Temperaturen in Trinkwasser-Versorgungssystemen - Ursachen und Gegenmaßnahmen*. energie wasser-praxis 2018(9): p. 58 - 63.
12. Rose, J.B., et al., *Climate variability and change in the United States: potential impacts on water- and foodborne diseases caused by microbiologic agents*. Environ Health Perspect, 2001. **109 Suppl 2**: p. 211-21.
13. Patz, J.A., et al., *The potential health impacts of climate variability and change for the United States. Executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment*. J Environ Health, 2001. **64**(2): p. 20-8.
14. Hackbusch, S., et al., *Potentially human pathogenic Vibrio spp. in a coastal transect: Occurrence and multiple virulence factors*. Sci Total Environ, 2019. **707**: p. 136113.
15. Guzman Herrador, B.R., et al., *Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review*. Environ Health, 2015. **14**: p. 29.

16. Curriero, F.C., et al., *The association between extreme precipitation and waterborne disease outbreaks in the United States, 1948-1994*. Am J Public Health, 2001. **91**(8): p. 1194-9.
17. Kistemann, T., et al., *Microbial load of drinking water reservoir tributaries during extreme rainfall and runoff*. Appl Environ Microbiol, 2002. **68**(5): p. 2188-97.
18. Cann, K.F., et al., *Extreme water-related weather events and waterborne disease*. Epidemiol Infect, 2012. **141**(4): p. 671-86.
19. Rose, J.B., D.E. Huffman, and A. Gennaccaro, *Risk and control of waterborne cryptosporidiosis*. FEMS Microbiol Rev, 2002. **26**(2): p. 113-23.
20. Gelting, R., et al., *Use of a systems-based approach to an environmental health assessment for a waterborne disease outbreak investigation at a snowmobile lodge in Wyoming*. Int J Hyg Environ Health, 2005. **208**(1-2): p. 67-73.
21. Auld, H., D. MacIver, and J. Klaassen, *Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: the Walkerton example*. J Toxicol Environ Health A, 2004. **67**(20-22): p. 1879-87.
22. Charron, D., et al., *Vulnerability of waterborne diseases to climate change in Canada: a review*. J Toxicol Environ Health A, 2004. **67**(20-22): p. 1667-77.
23. Dura, G., et al., *Environmental health aspects of drinking water-borne outbreak due to karst flooding: case study*. J Water Health, 2010. **8**(3): p. 513-20.
24. Yamamoto, N., et al., *Outbreak of cryptosporidiosis after contamination of the public water supply in Saitama Prefecture, Japan, in 1996*. Kansenshogaku Zasshi, 2000. **74**(6): p. 518-26.
25. Wallender, E.K., et al., *Contributing factors to disease outbreaks associated with untreated groundwater*. Ground Water, 2014. **52**(6): p. 886-97.
26. Frank, S., N. Goeppert, and N. Goldscheider, *Fluorescence-based multi-parameter approach to characterize dynamics of organic carbon, faecal bacteria and particles at alpine karst springs*. Sci Total Environ, 2018. **615**: p. 1446-1459.
27. Ohad, S., et al., *Microbial Source Tracking in Adjacent Karst Springs*. Appl Environ Microbiol, 2015. **81**(15): p. 5037-47.
28. Corso, P.S., et al., *Cost of illness in the 1993 waterborne Cryptosporidium outbreak, Milwaukee, Wisconsin*. Emerg Infect Dis, 2003. **9**(4): p. 426-31.
29. Gradus, S.e.a., *Milwaukee and the Cryptosporidium Outbreak 1993*, in *Routledge Handbook of Water and Health*, P.A.C. Jamie Bartram with Rachel Baum, David M. Gute, David Kay, Stéphanie McFayden, Katherine Pond, William Robertson and Michael J. Rouse, Editor. 2015, London and New York: London and New York.
30. Hrudey, S.E., Hrudey, E.J., *Walkerton – Systemic Flaws Allow a Fatal Outbreak*, in *Routledge Handbook of Water and Health*. , , J. Bartram, with Baum, R., Cocolanis, P.A., Gute, D. M., Kay, D., McFayden, S., Pond, K., Robertson, W. and Rouse, M.J. (eds), Editor. 2015, Routledge London and New York.
31. Hrudey, S.E. and E.J. Hrudey, *Published case studies of waterborne disease outbreaks--evidence of a recurrent threat*. Water Environ Res, 2007. **79**(3): p. 233-45.
32. Breathnach, A.S., et al., *Multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa outbreaks in two hospitals: association with contaminated hospital wastewater systems*. J Hosp Infect, 2012. **82**(1): p. 19-24.

33. Engelhart, S., Wolf, D., Abels, S., Exner, M., *Toiletten als Reservoir für 4-fach resistente P. aeruginosa*. Hyg & med, 2014. **39, Suppl.** : p. 13.
34. Garvey, M.I., C.W. Bradley, and E. Holden, *Waterborne Pseudomonas aeruginosa transmission in a hematology unit?* Am J Infect Control, 2017. **46(4)**: p. 383-386.
35. Kerr, J.R., et al., *Investigation of a nosocomial outbreak of Pseudomonas aeruginosa pneumonia in an intensive care unit by random amplification of polymorphic DNA assay*. J Hosp Infect, 1995. **30(2)**: p. 125-31.
36. Kizny Gordon, A.E., Mathers, A.J., Cheong, E.Y.L., Gottlieb, T., Kotay, S., Walker, S., Peto, T.E.A. et al., *The Hospital Water Environment as a Reservoir for Carbapenem-Resistant Organisms Causing Hospital- Acquired Infections—A Systematic Review of the Literature*. Clinical Infectious Diseases 2017. **64(10)**: p. 1435 - 1444.
37. Kossow, A., et al., *Control of Multidrug-Resistant Pseudomonas aeruginosa in Allogeneic Hematopoietic Stem Cell Transplant Recipients by a Novel Bundle Including Remodeling of Sanitary and Water Supply Systems*. Clin Infect Dis, 2017. **65(6)**: p. 935-942.
38. Anaissie, E.J., S.R. Penzak, and M.C. Dignani, *The hospital water supply as a source of nosocomial infections: a plea for action*. Arch Intern Med, 2002. **162(13)**: p. 1483-92.
39. Exner, M., et al., *[Water as a reservoir for nosocomial infections in health care facilities, prevention and control]*. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2007. **50(3)**: p. 302-11.
40. Ferranti, G., et al., *Etiology, source and prevention of waterborne healthcare-associated infections: a review*. J Med Microbiol, 2014.
41. Hota, S., et al., *Outbreak of multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa colonization and infection secondary to imperfect intensive care unit room design*. Infect Control Hosp Epidemiol, 2009. **30(1)**: p. 25-33.
42. Hamsch, B., Ho, J., Lipp, P., *Krankheitserreger in Fließgewässern und nach Langsandsfiltration - Vorkommen und Risikobewertung*
2019.
43. WHO, *Water Safety in Distribution Systems*.
http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/Water_safety_distribution_systems_2014v1.pdf, 2014.
44. Walger, P., Popp, W., Exner, M., *Stellungnahme der DGKH zu Prävalenz, Letalität und Präventionspotenzial nosokomialer Infektionen in Deutschland 2013*. Hyg Med, 2013. **38**: p. 329 - 338
45. Cassini, A., et al., *Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis*. Lancet Infect Dis, 2018.
46. Zacher, B., et al., *Application of a new methodology and R package reveals a high burden of healthcare-associated infections (HAI) in Germany compared to the average in the European Union/European Economic Area, 2011 to 2012*. Euro Surveill, 2019 **24(46)**.
47. Exner, M., Nissing, W., Behringer, K., Engelhart, S., Pleischl, S., Koch, C., Trautmann, M., Kramer, A., Walger, P., Martiny, H., Jatzwauk, L., *Empfehlung der DGKH - Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasser-assoziiertes Pseudomonas aeruginosa- Infektionen*. Hygiene & Medizin 2016. **41(Suppl. 2)**: p. 1 - 32.

48. Exner, M., W. Nissing, *Wie sicher ist unser Trinkwasser aus krankenhaushygienischer Sicht?* Hyg & Med, 2017. **42**: p. 123 - 125.
49. Sommerstein, R., et al., *Burkholderia stabilis outbreak associated with contaminated commercially-available washing gloves, Switzerland, May 2015 to August 2016.* Euro Surveill, 2017. **22**(49).
50. Heo, S.T., et al., *Hospital outbreak of Burkholderia stabilis bacteraemia related to contaminated chlorhexidine in haematological malignancy patients with indwelling catheters.* J Hosp Infect, 2008. **70**(3): p. 241-5.
51. Molina-Cabrillana, J., et al., *Intrinsically contaminated alcohol-free mouthwash implicated in a nosocomial outbreak of Burkholderia cepacia colonization and infection.* Infect Control Hosp Epidemiol, 2006. **27**(11): p. 1281-2.
52. Akinboyo, I.C., et al., *Multistate Outbreak of an Emerging Burkholderia cepacia Complex Strain Associated With Contaminated Oral Liquid Docusate Sodium.* Infect Control Hosp Epidemiol, 2018. **39**(2): p. 237-239.
53. Martin, M., et al., *[Outbreak of Burkholderia cepacia complex caused by contaminated alcohol-free mouthwash].* Anaesthetist, 2012. **61**(1): p. 25-9.
54. Matrician, L., et al., *Outbreak of nosocomial Burkholderia cepacia infection and colonization associated with intrinsically contaminated mouthwash.* Infect Control Hosp Epidemiol, 2000. **21**(11): p. 739-41.
55. Voigt, A.M., et al., *The occurrence of antimicrobial substances in toilet, sink and shower drainpipes of clinical units: A neglected source of antibiotic residues.* Int J Hyg Environ Health, 2019. **222**(3): p. 455-467.
56. Sib, E., et al., *Antibiotic resistant bacteria and resistance genes in biofilms in clinical wastewater networks.* Int J Hyg Environ Health, 2019.
57. de Jonge, E., et al., *Effects of a disinfection device on colonization of sink drains and patients during a prolonged outbreak of multidrug-resistant Pseudomonas aeruginosa in an intensive care unit.* J Hosp Infect, 2019.
58. Aranega-Bou, P., et al., *Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae dispersal from sinks is linked to drain position and drainage rates in a laboratory model system.* J Hosp Infect, 2019. **102**(1): p. 63-69.
59. Parkes, L.O. and S.S. Hota, *Sink-Related Outbreaks and Mitigation Strategies in Healthcare Facilities.* Curr Infect Dis Rep, 2018. **20**(10): p. 42.
60. *Water, sanitation, hygiene, and waste management for SARS-CoV-2, the virus that causes COVID-19*, WHO, Editor. 2020: Geneva. p. 11.
61. KRINKO, *Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert Koch-Institut (RKI).* Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz, 2010. **53**: p. 357–388.
62. Chang, Q., et al., *Antibiotics in agriculture and the risk to human health: how worried should we be?* Evol Appl, 2014. **8**(3): p. 240-7.
63. Vaz-Moreira, I., O.C. Nunes, and C.M. Manaia, *Bacterial diversity and antibiotic resistance in water habitats: searching the links with the human microbiome.* FEMS Microbiol Rev, 2014. **38**(4): p. 761-78.
64. Bloomfield, S., et al., *Lesser-known or hidden reservoirs of infection and implications for adequate prevention strategies: Where to look and what to look for.* GMS Hyg Infect Control, 2015. **10**: p. Doc04.
65. Roca, I., et al., *The global threat of antimicrobial resistance: science for intervention.* New Microbes New Infect, 2015. **6**: p. 22-9.

66. Laurens, C., et al., *Transmission of IMI-2 carbapenemase-producing Enterobacteriaceae from river water to human*. J Glob Antimicrob Resist, 2018. **15**: p. 88-92.
67. Westphal-Settele, K., Konradi, S., Balzer, F., Schönfeld, J., Schmithausen, R., *Die Umwelt als Reservoir für Antibiotikaresistenzen – Ein wachsendes Problem für die öffentliche Gesundheit?* . Bundesgesundheitsbl, 2018(<https://doi.org/10.1007/s00103-018-2729-8>): p. 1 - 10
68. Mills, M.C. and J. Lee, *The threat of carbapenem-resistant bacteria in the environment: Evidence of widespread contamination of reservoirs at a global scale*. Environ Pollut, 2019 **255**(Pt 1): p. 113143.
69. J, B., et al., *Healthcare-Associated Legionnaires' Disease, Europe, 2008–2017*. Emerg Infect Dis, 2020. **26**(10): p. 2309-2018.
70. Khodamoradi, Y., et al., *The Role of Microbiota in Preventing Multidrug-Resistant Bacterial Infections*. Dtsch Arztebl Int, 2019. **116**(40): p. 670-676.
71. Gargano, J.W., et al., *Mortality from selected diseases that can be transmitted by water - United States, 2003-2009*. J Water Health, 2017. **15**(3): p. 438-450.
72. Collier, S.A., et al., *Direct healthcare costs of selected diseases primarily or partially transmitted by water*. Epidemiol Infect, 2012. **140**(11): p. 2003-13.
73. Adam, E.A., et al., *Prevalence and direct costs of emergency department visits and hospitalizations for selected diseases that can be transmitted by water, United States*. J Water Health, 2017. **15**(5): p. 673-683.
74. ECDC, *Survey of healthcare workers' knowledge, attitudes and behaviours on antibiotics, antibiotic use and antibiotic resistance in the EU/EEA.*, ECDC, Editor. 2019: Stockholm.
75. WorldBank., *Drug-Resistant Infections: A Threat to Our Economic Future.* . <http://documents.worldbank.org/curated/en/323311493396993758/final-report>, 2017.
76. Feuerpfeil, I., López-Pila, J.Schmidt, R., Schneider, E., Szewzyk, R. , *Antibiotikaresistente Bakterien und Antibiotika in der Umwelt*. Bundesgesundheitsbl, 1999. **32**: p. 37 - 50
77. Schwartz, T., et al., *Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms*. FEMS Microbiol Ecol, 2003. **43**(3): p. 325-35.
78. Volkmann, H., et al., *Detection of clinically relevant antibiotic-resistance genes in municipal wastewater using real-time PCR (TaqMan)*. J Microbiol Methods, 2004. **56**(2): p. 277-86.
79. Obst, U., T. Schwartz, and H. Volkmann, *Antibiotic resistant pathogenic bacteria and their resistance genes in bacterial biofilms*. Int J Artif Organs, 2006. **29**(4): p. 387-94.
80. Baquero, F., J.L. Martinez, and R. Canton, *Antibiotics and antibiotic resistance in water environments*. Curr Opin Biotechnol, 2008. **19**(3): p. 260-5.
81. Schreiber, C., *The spread of bacterial antibiotic resistance in the aquatic environment*. Water & Risk, 2011. **18**: p. 8 - 10.
82. Schreiber, C. and T. Kistemann, *Antibiotic resistance among autochthonous aquatic environmental bacteria*. Water Sci Technol, 2013. **67**(1): p. 117-23.
83. Schwartz, T., et al., *Whole genome and transcriptome analyses of environmental antibiotic sensitive and multi-resistant Pseudomonas aeruginosa isolates exposed to waste water and tap water*. Microb Biotechnol, 2014. **8**(1): p. 116-30.

84. Alexander, J., et al., *Microbiological characterization of aquatic microbiomes targeting taxonomical marker genes and antibiotic resistance genes of opportunistic bacteria*. *Sci Total Environ*, 2015. **512-513**: p. 316-325.
85. Berendonk, T.U., et al., *Tackling antibiotic resistance: the environmental framework*. *Nat Rev Microbiol*, 2015. **13**(5): p. 310-7.
86. Zurfluh, K., et al., *Emergence of Escherichia coli producing OXA-48 beta-lactamase in the community in Switzerland*. *Antimicrob Resist Infect Control*, 2015. **4**: p. 9.
87. Fernando, D.M., et al., *Detection of Antibiotic Resistance Genes in Source and Drinking Water Samples from a First Nations Community in Canada*. *Appl Environ Microbiol*, 2016. **82**(15): p. 4767-4775.
88. Kittinger, C., et al., *Enterobacteriaceae Isolated from the River Danube: Antibiotic Resistances, with a Focus on the Presence of ESBL and Carbapenemases*. *PLoS One*, 2016. **11**(11): p. e0165820.
89. Exner, M., Schmithausen, R., Schreiber, C., Bierbaum, G., Parcina, M., Engelhart, S., Kistemann, Sib, E., Walger, P., Schwartz, T., *Zum Vorkommen und zur vorläufigen hygienisch-medizinischen Bewertung von Antibiotika-resistenten Bakterien mit humanmedizinischer Bedeutung in Gewässern, Abwässern, Badegewässern sowie zu möglichen Konsequenzen für die Trinkwasserversorgung*. *Hyg Med*, 2018. **43**: p. D46 - D54.
90. Schwartz, T., Pinnekamp, J., Exner, M., *Verbreitung antibiotikaresistenter Bakterien durch Abwasser: Erste Erkenntnisse aus dem BMBF Verbundprojekt HyReKA, in Essener Tagung für Wasserwirtschaft "Wasserwirtschaft im Umbruch"*, J. Pinnekamp, Editor. 2018, Gesellschaft zur Förderung der Siedlungswasserwirtschaft an der TRWTH Aachen e.V.: Aachen. p. 15 / 0 - 15 /11.
91. Exner, M., Schwartz, T., *RiSKWa-Statuspapier Bewertungskonzepte der Mikrobiologie mit den Schwerpunkten neue Krankheitserreger und Antibiotikaresistenzen*
Ergebnisse des Querschnittsthemas „Bewertungskonzepte der Mikrobiologie“, ed. D. e.V. 2015, Frankfurt am Main.
92. ECDC, *Rapid risk assessment: Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae* European Centre for Disease Prevention and Control, Stockholm: , 2016.
93. Tacconelli, E., et al., *Discovery, research, and development of new antibiotics: the WHO priority list of antibiotic-resistant bacteria and tuberculosis*. *Lancet Infect Dis*, 2017. **18**(3): p. 318-327.
94. van den Bunt, G., et al., *Prevalence, risk factors and genetic characterisation of extended-spectrum beta-lactamase and carbapenemase-producing Enterobacteriaceae (ESBL-E and CPE): a community-based cross-sectional study, the Netherlands, 2014 to 2016*. *Euro Surveill*, 2019 **24**(41).
95. Mughini-Gras, L., et al., *Attributable sources of community-acquired carriage of Escherichia coli containing beta-lactam antibiotic resistance genes: a population-based modelling study*. *Lancet Planet Health*, 2019. **3**(8): p. e357-e369.
96. Walsh, T.R., et al., *Dissemination of NDM-1 positive bacteria in the New Delhi environment and its implications for human health: an environmental point prevalence study*. *Lancet Infect Dis*, 2011. **11**(5): p. 355-62.
97. Zhang, X., X. Lu, and Z. Zong, *Enterobacteriaceae producing the KPC-2 carbapenemase from hospital sewage*. *Diagn Microbiol Infect Dis*, 2012. **73**(2): p. 204-6.

98. Picao, R.C., et al., *The route of antimicrobial resistance from the hospital effluent to the environment: focus on the occurrence of KPC-producing Aeromonas spp. and Enterobacteriaceae in sewage*. *Diagn Microbiol Infect Dis*, 2013. **76**(1): p. 80-5.
99. Zhang, C., et al., *Higher isolation of NDM-1 producing Acinetobacter baumannii from the sewage of the hospitals in Beijing*. *PLoS One*, 2013. **8**(6): p. e64857.
100. Koh, T.H., et al., *High counts of carbapenemase-producing Enterobacteriaceae in hospital sewage*. *Infect Control Hosp Epidemiol*, 2015. **36**(5): p. 619-21.
101. Meir-Gruber, L., et al., *Population Screening Using Sewage Reveals Pan-Resistant Bacteria in Hospital and Community Samples*. *PLoS One*, 2016. **11**(10): p. e0164873.
102. White, L., et al., *Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae in hospital wastewater: a reservoir that may be unrelated to clinical isolates*. *J Hosp Infect*, 2016. **93**(2): p. 145-51.
103. Khan, F.A., et al., *Related carbapenemase-producing Klebsiella isolates detected in both a hospital and associated aquatic environment in Sweden*. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*, 2018.
104. Parvez, S. and A.U. Khan, *Hospital sewage water: a reservoir for variants of New Delhi metallo-beta-lactamase (NDM)- and extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing Enterobacteriaceae*. *Int J Antimicrob Agents*, 2018. **51**(1): p. 82-88.
105. Qiao, M., et al., *Review of antibiotic resistance in China and its environment*. *Environ Int*, 2018. **110**: p. 160-172.
106. Wendel, A.F., et al., *Detection and termination of an extended low-frequency hospital outbreak of GIM-1-producing Pseudomonas aeruginosa ST111 in Germany*. *Am J Infect Control*, 2015. **43**(6): p. 635-9.
107. Wendel, A.F., et al., *Species Diversity of Environmental GIM-1-Producing Bacteria Collected during a Long-Term Outbreak*. *Appl Environ Microbiol*, 2016. **82**(12): p. 3605-10.
108. Wendel, A.F., et al., *Protracted Regional Dissemination of GIM-1-Producing Serratia marcescens in Western Germany*. *Antimicrob Agents Chemother*, 2017. **61**(3).
109. Chen, K., et al., *Widespread distribution of mcr-1-bearing bacteria in the ecosystem, 2015 to 2016*. *Euro Surveill*, 2017. **22**(39).
110. Hembach, N., et al., *Occurrence of the mcr-1 Colistin Resistance Gene and other Clinically Relevant Antibiotic Resistance Genes in Microbial Populations at Different Municipal Wastewater Treatment Plants in Germany*. *Front Microbiol*, 2017. **8**: p. 1282.
111. Wang, Y., et al., *Comprehensive resistome analysis reveals the prevalence of NDM and MCR-1 in Chinese poultry production*. *Nat Microbiol*, 2017. **2**: p. 16260.
112. Yang, F., et al., *Discharge of KPC-2 genes from the WWTPs contributed to their enriched abundance in the receiving river*. *Sci Total Environ*, 2017. **581-582**: p. 136-143.
113. Brown, P.C., et al., *Impact of the particulate matter from wastewater discharge on the abundance of antibiotic resistance genes and facultative pathogenic bacteria in downstream river sediments*. *Sci Total Environ*, 2019. **649**: p. 1171-1178.

114. Tanner, W.D., et al., *Multi-state study of Enterobacteriaceae harboring extended-spectrum beta-lactamase and carbapenemase genes in U.S. drinking water*. Sci Rep, 2019. **9**(1): p. 3938.
115. Stange, C., et al., *Antibiotic resistance and virulence genes in coliform water isolates*. Int J Hyg Environ Health, 2016. **219**(8): p. 823-831.
116. Schiavano, G.F., et al., *Prevalence and antibiotic resistance of Pseudomonas aeruginosa in water samples in central Italy and molecular characterization of oprD in imipenem resistant isolates*. PLoS One, 2017. **12**(12): p. e0189172.
117. Döhla M, S.E., Dericks B, et al., *Assessment of the prevalence of antibiotic-resistant bacteria and the concentration of antibiotics in EU bathing waters in Western Germany*. Exposure and Health, 2019
118. WHO, *Water Safety Plan Manual Step-by-step risk management for drinking-water suppliers*. World Health organization , Geneva 2009.
119. UBA, *Vorgehen zur quantitativen Risikobewertung mikrobiologischer Befunde im Rohwasser sowie Konsequenzen für den Schutz des Einzugsgebietes und für die Wasseraufbereitung- Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*, 2014. **57** p. 1224 - 1230.
120. Exner, M., Döhla, M., Koch, K., *Verbreitung von Krankheitserregern über den Wasserpfad*, in *52. Essener Tagung für Wasserwirtschaft " Wasser und Gesundheit"* J. Pinnekamp, Editor. 2019, Gesellschaft zur Förderung des Institus für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachene.V.: Aachen. p. 1/ 1 - 1/15.
121. Exner, M., Christiansen, B., Flemming, et.al. , *Pseudomonas aeruginosa – Plädoyer für die Einführung eines technischen Maßnahmewertes in die Novelle der Trinkwasserverordnung*. Hyg & med, 2010. **35**: p. 370 - 379.
122. UBA, *Empfehlung des Umweltbundesamtes Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf Pseudomonas aeruginosa, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser*. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/empfehlung_zur_risikoeinschaetzung_pseudomonaden.pdf, 2017.
123. UBA, *Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission des Bundesministeriums für Gesundheit Hygienisch-mikrobiologische Untersuchung im Kaltwasser von Wasserversorgungsanlagen nach § 3 Nr. 2 Buchstabe c TrinkwV 2001, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit im Sinne des § 18 Abs. 1 TrinkwV 2001 bereit gestellt wird*. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz, 2006. **49**:: p. 693–696.
124. Kistemann, T., et al., *A comparison of efficiencies of microbiological pollution removal in six sewage treatment plants with different treatment systems*. Int J Hyg Environ Health, 2008.
125. Kistemann T., K.C., Claßen T., Rechenburg A., Kramer F., Herbst S., Franke C., Rind E., Höser C., Exner M. (2009): , , *Mikrobielle Fließgewässerbelastungen durch abwassertechnische Anlagen und diffuse Einträge*. N. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (Hrsg.), Editor. 2009: Düsseldorf.
126. Schreiber, C., Rechenburg, A., Koch, C., Christoffels, E., Claßen, T., Willkomm, M., Mertens, F. M., Brunsch, A. F., Herbst, S., Rind, E. & T. Kistemann and *Two decades of system-based hygienic–microbiological research in Swist river catchment (Germany)* Environ Earth Sci, 2016. **75**: p. 1393.

127. N.N., *Sichere Ruhr- Badegewässer und Trinkwasser für das Ruhrgebiet*. http://www.ruhrverband.de/fileadmin/pdf/wissen/Forschung_u_Entwicklung/abschlussbericht_Sichere-Ruhr_Gesamtverbund_final-2.pdf.
128. Kistemann, T., et al., *A comparison of efficiencies of microbiological pollution removal in six sewage treatment plants with different treatment systems*. Int J Hyg Environ Health, 2008. **211**(5-6): p. 534-45.
129. Gregersen, P., et al., *Pontiac fever at a sewage treatment plant in the food industry*. Scand J Work Environ Health, 1999. **25**(3): p. 291-5.
130. Mathieu, L., et al., *Legionella bacteria in aerosols: sampling and analytical approaches used during the legionnaires disease outbreak in Pas-de-Calais*. J Infect Dis, 2006. **193**(9): p. 1333-5.
131. Nogueira, R., et al., *Strategies for the reduction of Legionella in biological treatment systems*. Water Sci Technol, 2016. **74**(4): p. 816-23.
132. Loenenbach, A.D., et al., *Two Community Clusters of Legionnaires' Disease Directly Linked to a Biologic Wastewater Treatment Plant, the Netherlands*. Emerg Infect Dis, 2018. **24**(10): p. 1914-1918.
133. Caicedo, C., et al., *Legionella occurrence in municipal and industrial wastewater treatment plants and risks of reclaimed wastewater reuse: Review*. Water Res, 2019. **149**: p. 21-34.
134. Vietoris, F., Dericks, B., Schmithausen, R.M., Döhla, M., *Untersuchung von Badegewässern in NRW*, in *Gewässerschutz, Wasse, Abwasser*, J. Pinnekamp, Editor. 2019, Gesellschaft zur Förderung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen Aachen. p. 9/1 - 9/12.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl wasserübertragbarer Krankheitserreger fäkalen Ursprungs (WHO-Leitlinien für Trinkwasserqualität (verändert nach (WHO, 2011))	37
Tabelle 2: Einteilung wasserassoziierter Krankheitserreger in Abhängigkeit von Pathogenität, Herkunft und Antibiotikaresistenz	40
Tabelle 3: Beispielhafte Tabelle der dem RKI gemeldeten Erreger mit Antibiotikaresistenz und Clostridioides difficile-Erkrankungen bis zur 51. Woche in Abhängigkeit von Land und Jahr.	50
Tabelle 4: Empfehlung des Umweltbundesamtes (118) nach Anhörung der Trinkwasserkommission zur Untersuchung unterschiedlicher mikrobiologischer Indikatoren in medizinischen und übrigen Einrichtungen.....	64
Tabelle 5: 10 Stufen Plan für das Management wasserbedingter Ausbrüche nach WHO (6)	70

Liste universitärer oder vergleichbarer hygienisch-medizinischer Untersuchungsinstitute in NRW mit Zulassung gemäß §15.4 Trinkwasserverordnung

Institut	Adresse
Ruhr-Universität Bochum Abteilung für Hygiene, Sozial- und Umweltmedizin	Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit am Universitätsklinikum Bonn	Venusberg-Campus 1, Gebäude 63, 53127 Bonn
Universitätsklinikum Düsseldorf Zentrum für Medizinische Mikrobiologie, Virologie und Krankenhaushygiene	Universitätsstraße 1, 40225 Düsseldorf
Universitätsklinikum Essen Institut für Medizinische Mikrobiologie	Hufelandstraße 55, 45122 Essen
Hygiene-Institut des Ruhrgebiets Institut für Umwelthygiene und Toxikologie	Rotthausener Straße 21, 45879 Gelsenkirchen
Universitätsklinikum Köln Institut für Medizinische Mikrobiologie, Immunologie und Hygiene	Goldenfelsstraße 19-21, 50935 Köln
Universitätsklinikum Münster Institut für Hygiene Bereich Umwelthygiene	Robert-Koch-Straße 41, 48149 Münster

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Variierender Anteil der Herkunft des Wassers für die öffentliche Wasserversorgung in NRW 2013	15
Abbildung 2: Anteil der Rohwasserressourcen in % für die Trinkwasserversorgung in Wasserversorgungsgebieten in Deutschland, in denen mehr als 1 000 m ³ Trinkwasser pro Tag verteilt oder mehr als 5 000 Personen versorgt werden (Berichtsjahr 2016)	15
Abbildung 3: Schematische Darstellung der Einflussfaktoren auf die Trinkwassertemperatur nach Osmaneovic et al. (11)	19
Abbildung 4: Temperaturentwicklung im Trinkwasser im Verteilungsnetz Oberhausen von Juli 2010 bis Januar 2011 (Quelle: IWW) Dynamische Anpassung an die Auswirkungen des Klimawandels (Dynaklim)	19
Abbildung 5: Prozentuale Verteilung der E. coli-Frachteinträge ohne Basisabfluss der Ruhr bei Trockenwetter (Basisszenario).....	24
Abbildung 6: Prozentuale Verteilung der E. coli-Frachteinträge ohne Basisabfluss der Ruhr bei Regenwetter (Basisszenario)	24
Abbildung 7: Schätzung der Pflegebedürftigen nach Altersgruppen, Deutschland 2013 bis 2060	25
Abbildung 8: Versorgungsgebiete der 10 Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden	32
Abbildung 9: Entwicklung der Anzahl von Wasserversorgungsunternehmen in den Niederlanden	32
Abbildung 10: Trinkwassernotbrunnen in Hamburg (BBK)	34
Abbildung 11: Faktoren, die die Pathogenität/Virulenz bei fakultativ-pathogenen Erregern im Wechselspiel zu den die Disposition bestimmenden Faktoren der exponierten Personen bestimmen (modifiziert nach Duncan and Edberg, S.C. 1995, Crit. Rev. Microbiol, 21, 85-100).....	42
Abbildung 13: Phasen der Infektionspathogenese: nach Yascha Khodamoradi et al. The role of microbiota in preventing multidrug-resistant bacterial infections (65)	43
Abbildung 14: Grundlagen für die Erstellung eines angepassten Bewertungskonzepts nach Schwartz (86).....	48
Abbildung 15: Water Safety Konzept der WHO vom Einzugsgebiet über Rohwasserqualität, Aufbereitung, Trinkwasserverteilungsnetz und in Europa bis zum Trinkwasserinstallationssystem hin zum Zapfhahn bzw. Duschkopf – „From Watershed to showerhead“.....	58
Abbildung 16: Vorgehen zur Erfassung mikrobieller Gefährdungen im Einzugsgebiet, mikrobiologischer Auffälligkeiten im Rohwasser und Konsequenzen für Maßnahmen zur Ri-sikobeherrschung entsprechend den Empfehlungen des Umweltbundesamtes nach Anhörung der TWK (114).....	61
Abbildung 17: Wasserzähleranlage mit Entnahmevorrichtung für mikrobiologische und chemische Wasserproben am Ventil V2 (Entleerung/Kundenseite) nach Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der TWK (117).....	64