

Aus der Abteilung für Hygiene und Infektionsprävention
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Überwachung der Trinkwasserhygiene in Deutschland seit dem 19. Jahrhundert

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Dr. med. dent. Lukas Olk
aus Aachen

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand: ---

1. Gutachter: ---

2. Gutachter: ---

Tag der Promotion: 06. Dezember 2022

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	III
1. Einleitung.....	1
2. Literaturdiskussion.....	2
2.1. Trinkwasserhygiene in DE im 19. Jahrhundert.....	2
2.1.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE.....	2
2.1.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene.....	3
2.1.3 Staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE.....	5
2.2 Trinkwasserhygiene in DE im 20. Jahrhundert.....	6
2.2.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE.....	6
2.2.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene.....	7
2.2.2.1 Mikroorganismen fäkalen Ursprungs im Trinkwasser.....	8
2.2.2.2 Mikroorganismen nicht-fäkalen Ursprungs im Trinkwasser.....	9
2.2.2.3 Die Entwicklung der mikrobiologischen Diagnostik für Trinkwasser....	9
2.2.2.4 Die mikrobiologische Trinkwasseraufbereitung.....	11
2.2.3 Staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE.....	11
2.3 Trinkwasserhygiene in DE ab dem Jahr 2000.....	13
2.3.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE.....	13
2.3.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene.....	14
2.3.2.1 Mikroorganismen im Trinkwasser.....	14
2.3.2.2 Die aktuelle mikrobiologische Diagnostik für Trinkwasser.....	15
2.3.2.3 Die aktuelle mikrobiologische Trinkwasseraufbereitung.....	16
2.3.3 Die aktuelle staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE.....	16
3. Material und Methoden.....	18
3.1 Quellen.....	18
3.2 Methodik der Recherche, Datenerhebung und Auswertung.....	18
4. Ergebnisse.....	21
4.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE seit dem 19. Jahrhundert.....	21
4.2 Die medizinischen Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene.....	24
4.2.1 Allgemeiner Überblick.....	24
4.2.2 Entdeckung von Krankheitserregern und Fäkalindikatoren (FÄ) mit Bedeutung für das Trinkwasser (Auswahl).....	33
4.3 Die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE.....	37

4.3.1 Allgemeiner Überblick.....	37
4.3.2 Deutsche Richtlinien mit Bezug zur Trinkwasserhygiene (Auswahl)	39
4.3.3 Deutsche Gesetze mit Bezug zur Trinkwasserhygiene	41
4.3.4 Die Entwicklung der deutschen TrinkwV seit 1975/76	44
4.4 Die aktuelle Qualität der deutschen Trinkwasserversorgung.....	53
5. Diskussion	54
5.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE seit dem 19. Jahrhundert.....	54
5.2 Die medizinischen Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene	56
5.3 Die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE	59
5.4 Die aktuelle Qualität der deutschen Trinkwasserversorgung.....	61
6. Zusammenfassung	62
7. Quellenverzeichnis.....	63
8. Anhang	75
9. Danksagung.....	76
10. Lebenslauf.....	77

Abkürzungsverzeichnis

AW1906	„Anleitung für die Errichtung, den Bau und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen“ aus dem Jahr 1906
AVBWasserV	Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser
BGBL	Bundesgesetzblatt
BMG	Bundesministerium für Gesundheit
BRD	Bundesrepublik Deutschland
CEN	Comité Européen de Normalisation, Europäisches Komitee für Normung
DE	Deutschland
DELIWA	Deutsche Licht- und Wasserfachbeamten
DHM	Deutsches Historisches Museum
DIN	Deutsches Institut für Normung
DVGW	seit 2000 „Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. - technisch-wissenschaftlicher Verein“
E. coli	Escherichia coli
EG	Europäische Gemeinschaft
EPEC	Enteropathogene E. coli
EU	Europäische Union
EUREAU	European Federation of National Associations of Water Services, Europäische Vereinigung der nationalen Verbände in der Wasserver- und Abwasserentsorgung
FIGAWA	Bundesvereinigung der Firmen im Gas- und Wasserfach e.V.
GAT	Gasfachliche Aussprachetagung
GIT	Gastrointestinaltrakt
GS	Geprüfte Sicherheit
HAV	Hepatitis-A-Virus
HBV	Hepatitis-B-Virus
HEV	Hepatitis-E-Virus
HLS	Historisches Lexikon der Schweiz

IDW	Informationsdienst Wissenschaft
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IKZ	Nordwestdeutsche Installateur- und Klempner-Zeitung
ISO	International Organization for Standardization, Internationale Organisation für Normung
IWA	International Water Association, Internationale Wasservereinigung
k. A.	keine Angabe
KBE	Koloniebildende Einheiten
KWB	Kompetenzzentrum Wasser Berlin gGmbH
LWL	Landschaftsverband Westfalen-Lippe
MTVO	Mineral- und Tafelwasserverordnung
RKI	Robert Koch Institut
SARS-CoV-2	Severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2, Schweres akutes Atemwegssyndrom Coronavirus Typ 2
SSA	Sulfitreduzierende sporenbildende Anaerobier
SWTR	Surface Water Treatment Rules, Regeln zur Oberflächenwasseraufbereitung
TAVO	Trinkwasseraufbereitungsverordnung
TrinkwV	Trinkwasserverordnung
TZW	Technologiezentrum Wasser
UBA	Umweltbundesamt
Usl	Der „Unternehmer und der sonstige Inhaber einer Wasserversorgungsanlage“ (§ 4 Absatz 2 TrinkwV)
VBNC	Viable but non culturable, lebend, aber nicht kultivierbar
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
WAT	Wasserfachliche Aussprachetagung
WHO	World Health Organization, Weltgesundheitsorganisation
WSP	Water Safety Plan, Trinkwassersicherheitsplan der WHO
Zobodat	Zoologisch-Botanische Datenbank

Tabellenverzeichnis

- **Tabelle 4.1** (S. 21):
Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE seit dem 19. Jahrhundert
- **Tabellensammlung 4.2.1** (S. 24):
Allgemeiner Überblick (Die Medizinischen Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene)
- **Tabelle 4.2.2** (S. 33):
Entdeckung von Krankheitserregern und Fäkalindikatoren (FÄ) mit Bedeutung für das Trinkwasser (Auswahl)
- **Tabelle 4.3.1** (S. 37):
Allgemeiner Überblick (Die Staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE)
- **Tabellensammlung 4.3.2** (S. 39):
Deutsche Richtlinien mit Bezug zur Trinkwasserhygiene (Auswahl)
- **Tabellensammlung 4.3.3** (S. 41):
Deutsche Gesetze mit Bezug zur Trinkwasserhygiene
- **Tabellensammlung 4.3.4** (S. 44):
Die Entwicklung der deutschen TrinkwV seit 1975/76
- **Tabelle 8.1** (S. 75):
Dokumentierte betroffene Städte/Regionen und Todesopferzahlen der Cholera-Epidemie in DE von 1831 bis 1873

1. Einleitung

Trinkwasser ist als „Wasser für den menschlichen Gebrauch“ definiert, welcher nicht nur das Trinken, sondern z.B. auch das Zubereiten von Speisen und Getränken sowie die Reinigung von Körper, Kleidung und Geschirr miteinschließt. Es ist das wichtigste Lebensmittel des Menschen und wird daher streng kontrolliert. Ein Rückblick auf die Wasserversorgung im 19. und 20. Jahrhundert zeigt deutlich, dass Trinkwasser ohne hygienische Standards und mikrobiologische Kontrollen ein zentrales Medium für die Übertragung von Infektionskrankheiten darstellen kann. In DE gab es viele Epidemien, die auf diese Weise entstanden, insbesondere durch Cholera- und Typhus-Erreger. Mit Begründung der mikrobiologischen Ära zum Ende des 19. Jahrhunderts, an der Robert Koch als deutscher Forscher maßgeblich beteiligt war, wurde ein Bewusstsein für die Bedeutung des Trinkwassers geschaffen und allmählich entwickelte sich nicht nur ein medizinisches Verständnis von Trinkwasserhygiene, sondern es wurden auch Maßnahmen vom Gesetzgeber ergriffen, um eine gesundheitlich einwandfreie Trinkwasserversorgung der Bevölkerung zu ermöglichen. Zentrale Bedeutung hatte dabei die deutsche Trinkwasserverordnung. Im Zuge der trinkwasserhygienischen Entwicklung ging die Frequenz trinkwasser-assoziiertes Epidemien in DE zurück. Inzwischen ist Trinkwasser für den deutschen Verbraucher praktisch zu 100% mikrobiologisch einwandfrei^(1,2,4,31,47,54,127).

Ziel dieser Auswertung war es, die Entwicklung der Trinkwasserhygiene in DE seit dem 19. Jahrhundert anschaulich darzustellen und drei Aspekte besonders zu beleuchten: Das Auftreten trinkwasser-assoziiertes Epidemien, der Gewinn medizinischer Erkenntnisse mit Bedeutung für das Trinkwasser sowie die vom Staat ergriffenen Maßnahmen, um eine sichere Trinkwasserqualität für die Bevölkerung zu gewährleisten. Dabei ging es ausschließlich um mikrobiologische Aspekte, d.h. andere potentielle Schadstoffe (z.B. Chemikalien) im Trinkwasser wurden nicht berücksichtigt.

2. Literaturdiskussion

2.1. Trinkwasserhygiene in DE im 19. Jahrhundert

2.1.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE

Cholera: Die erste große trinkwasser-assoziierte Epidemie im untersuchten Zeitraum begann im damaligen Preußen im Jahr 1831, dauerte insgesamt bis 1873 und war im Grunde die Summe vieler einzelner Cholera-Epidemien in zahlreichen deutschen Städten (s. Anhang, Tabelle 8.1, S. 75). Sie erfassten DE im Rahmen mehrerer europaweiter Cholera-Pandemien, die ihren Ursprung in Indien hatten und Europa über Russland erreichten. Die Erkrankung wurde daher auch als „Russische Pest“ und später von Robert Koch als „Cholera Asiatica“ oder „Asiatische Hydra“ bezeichnet^(1,2,7,9-13,27-29,31,43,57,63,66).

Ein weiterer großer, ebenfalls mit Trinkwasser assoziierter Cholera-Ausbruch ereignete sich im Jahr 1892 in Hamburg. Dies war gleichzeitig auch die letzte Cholera-Epidemie dieser Größenordnung in DE. Es wird angenommen, dass ähnlich der Cholera-Epidemie von 1831-1873 die Krankheitserreger durch infizierte Personen aus Russland eingeschleppt wurden und dass es sich auch hier um die asiatische Variante der Cholera handelte. Damals erkrankten ca. 17.000 der Hamburger Einwohner und ca. 8.600 starben daran^(1,2,42,43,47,54,63).

Typhus und Ruhr waren neben der Cholera weitere gefürchtete Erkrankungen. Im 19. Jahrhundert wurde eine ganze Reihe deutscher Städte vom Typhus erfasst, u.a. Hamburg, wo die Erkrankung in den 1880er Jahren über 15.000 Erkrankte und über 1.200 Todesopfer forderte^(1,47,54,57). Auch Soldaten waren häufig von Typhus oder Ruhr betroffen, beispielsweise 1870, als das deutsche Heer in Frankreich von einer kombinierten Epidemie erfasst wurde und über 100.000 Soldaten daran erkrankten⁽⁶⁴⁾.

Virushepatitis: Es finden sich Hinweise darauf, dass es in DE trinkwasser-assoziierte Virushepatitis-Epidemien im 19. Jahrhundert gab. Das Krankheitsbild wurde damals als „Ansteckende Gelbsucht“ oder auch als „Kriegsikterus“ bezeichnet, da häufig Soldaten im Laufe von Kriegen oder während der Revolution im Jahr 1848 daran erkrankten^(19,62).

2.1.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene

Der grenzüberschreitende und ansteckende Charakter der Cholera wurden zwar erkannt, aber ihre Ursache blieb lange unklar. Zur Krankheitsprävention wurden zwar bestimmte Verhaltensweisen und Quarantäne-Maßnahmen angeordnet, doch fehlte ihnen der Bezug zum Trinkwasser. Durch zunehmendes Elend gerieten Ärzte zeitweise in Verruf die Seuche absichtlich herbeizuführen^(2,10-12). Mit Beginn der mikrobiologischen Ära in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts wurden viele Mikroorganismen mit Bedeutung für das Trinkwasser entdeckt (s. 4.2.2). Außerdem wurden erste Methoden zur mikrobiologischen Untersuchung und Aufbereitung von Trinkwasser entwickelt. (Quellen: s.u.)

Begründung der Wasserbakteriologie anhand der Cholera-Forschung: In der medizinischen Forschung standen sich im 19. Jahrhundert zwei Ansätze der Krankheitsentstehung gegenüber: Max von Pettenkofer glaubte als Anhänger der althergebrachten Miasmen-Theorie, dass giftige Ausdünstungen aus dem Boden für die zahlreichen Epidemien in DE verantwortlich wären (Boden-Theorie). Robert Koch hingegen vertrat den neuartigen Ansatz, dass die Erkrankung durch übertragbare Keime verursacht würde (Keim-Theorie). Pettenkofers Theorie war zum damaligen Zeitpunkt wissenschaftlich anerkannt und hatte staatliche Auswirkungen (s. 2.1.3). Er selbst gilt bis heute als Mitbegründer der medizinischen Fachrichtung Hygiene (13,32-34,60,63,66).

Die Wasserbakteriologie hatte in den 1880er Jahren unter Robert Koch ihren Ursprung. Obwohl bereits in den 1850er Jahren Hypothesen zum Erreger und zur Entstehung der Cholera geäußert wurden, war Robert Koch derjenige, der 1883/84 den Beweis für die Existenz des Erregers sowie seine Übertragung durch Trinkwasser liefern konnte. In den darauffolgenden Jahren fand die Keim-Theorie in DE mehr Zuspruch und die Boden-Theorie rückte in den Hintergrund. Robert Koch wurde zum Leiter des kaiserlichen Gesundheitsamts (Gründung 1876) ernannt und in Berlin wurde 1891 das Institut gegründet, das heute als RKI bezeichnet wird. Es war die erste Einrichtung dieser Art in DE. Im Folgejahr wurde Koch nach Beginn der Cholera-Epidemie in Hamburg als medizinische Autorität dorthin geschickt und erkannte schnell die hygienischen Probleme der Stadt. Auf seinen Impuls hin wurden diverse Maßnahmen ergriffen, um die Epidemie einzudämmen (s. 2.1.3). 1893 veröffentlichte er seine Abhandlung „Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwässern durch

Sandfiltration“, einem Verfahren der Trinkwasseraufbereitung (s. 2.2.2.4), das erstmals 1829 in London eingeführt worden war. Außerdem legte er die sogenannte Koloniezahl (s. 2.2.2.3) als Leistungsmaßstab für das Verfahren fest und formulierte Empfehlungen für die bakteriologische Untersuchung des Trinkwassers. Er gilt bis heute als Mitbegründer der Bakteriologie. Seine Erkenntnisse hatten Auswirkungen auf die damalige Gesetzgebung und Entwicklung technischer Regeln (s. 2.1.3) für die Versorgung mit Trinkwasser^(1-3,10,11,31,43,47,55,59,60,63,66,68,75,76,79,97,98).

Typhus, Paratyphus und Ruhr: Über Typhus herrschte ähnlich wie über die Cholera lange Zeit Uneinigkeit und Verwirrung. Der Begriff Typhus („Nervenfieber“) stand zunächst für einen akuten Krankheitszustand, der mit Fieber und Benommenheit einherging und weitere Erkrankungen ähnlicher Symptomatik subsumierte, da keine Differenzierung möglich war. Auch die Abgrenzung zur Ruhr, die oftmals epidemisch mit Typhus kombiniert auftrat, war praktisch nicht möglich. Als die Miasmen-Theorie zugunsten der Keim-Theorie (s.o.) verlassen wurde, konnte in den 1880er Jahren der Erreger nachgewiesen werden und man erkannte den Zusammenhang zu verunreinigtem Trinkwasser. Die unterschiedlichen Definitionen des Wortes „Typhus“ im deutsch- und englischsprachigen Raum sind aus der komplizierten mikrobiologischen Forschungsgeschichte heraus entstanden und haben sich bis heute gehalten. Die mikrobiologische Abgrenzung des Paratyphus und der bakteriellen Ruhr wurde um 1900 durch die Entdeckung der ursächlichen Mikroorganismen ermöglicht^(38,41,60,61,64,77,79,81).

Virushepatitis: Über diese Erkrankung, die auch als „Ansteckende Gelbsucht“ oder „Kriegsikterus“ bezeichnet wurde, war praktisch nichts bekannt und sie konnte kaum von anderen Erkrankungen, insbesondere anderen Hepatitis-Formen, abgegrenzt werden. Jedoch entstand noch vor Beginn des 20. Jahrhunderts die Idee des viralen Krankheitserregers und kurz darauf konnten Viren bereits nachgewiesen werden (s. 2.2.2.1)^(19,62,88).

Parasiten: Die Ruhramöbe, die den Protozoen angehört, wurde u.a. von Robert Koch bereits zum Ende des 19. Jahrhunderts entdeckt und mit Trinkwasser in Verbindung gebracht. Weitere Mikroorganismen dieser Gruppe wurden in dem Zeitraum zwar beobachtet, doch ihre Bedeutung für das Trinkwasser wurde erst deutlich später erkannt (s. 2.2.2.1)^(14,25,77,83,85).

2.1.3 Staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE

Als die Cholera-Pandemie DE bzw. Preußen 1831 erreichte, wurden unterschiedliche staatliche Maßnahmen ergriffen. Neben intensiven Grenzkontrollen kam es zur staatlichen Beschränkung von Hauptverkehrs- und Schifffahrtswegen. Wer sich nicht an die Vorschriften hielt, konnte nach Kriegsrecht verurteilt werden. Den Maßnahmen fehlte allerdings der Bezug zum Trinkwasser^(10,11).

Erste Wasserwerke, Kanalisationen und Vereine: Ab 1848 wurde in DE mit dem Bau von Wasserwerken begonnen, welche die aus Holz bestehenden Vorgängerversionen aus dem 18. Jahrhundert ablösten. Hamburg war die erste Stadt Europas, die über ein Wasserwerk und eine zentrale Trinkwasserversorgung verfügte, allerdings ohne eine vorgeschaltete Anlage zur Filtration oder Desinfektion. Die erste deutsche Kanalisation entstand ab 1858 auf den Impuls von Max von Pettenkofer in München. Im Jahr 1859 wurde in Frankfurt a. M. der Verein gegründet, der sich ab 1882 DVGW ("Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern") nannte. Bau und Betrieb von Wasserwerken wurde zunehmend kommunal geregelt und die Technologie zur Trinkwasseraufbereitung weiterentwickelt. Eine einheitliche staatliche Regelung zur Kontrolle der Trinkwasserqualität war zu dieser Zeit noch nicht vorhanden. Außerdem bekam das Wasserwerk im preußischen Altona 1859 nach britischem Vorbild als erstes in DE eine Sandfilteranlage. Erst nach der staatlichen Anerkennung der Abhandlung Robert Kochs zur Sandfiltration (s. 2.1.2) wurde kurz vor Beginn der 20. Jahrhunderts dieses Verfahren deutschlandweit zur Trinkwasseraufbereitung etabliert (s.u.)^(1-3,13,58-60,63).

Erste Gesetze zum Trinkwasser: Unter Einfluss von Max von Pettenkofers Boden-Theorie (s. 2.1.2) wurde 1852 ein Bayrisches Strafgesetz zur Ahndung von unbefugter Verunreinigung von Trinkwasser erlassen, dessen Einhaltung durch die sogenannte Reinlichkeitspolizei kontrolliert wurde. In den 1860er und 1870er Jahren folgten „Maßregeln gegen Choleraverbreitung“, die von der preußischen Regierung erlassen wurden und allgemeine Hygienemaßnahmen vorgaben, die u.a. eine fäkale Verunreinigung des Trinkwassers verhindern sollten^(55,66).

Maßnahmen der Stadt Hamburg gegen die Cholera: Als die Cholera-Epidemie 1892 in Hamburg ausbrach, wurden die Behörden erst aktiv, als die Menschen zunehmend die Stadt verließen. Die Anwesenheit von Robert Koch, der vom preußischen Gesundheitsminister als medizinische Autorität nach Hamburg geschickt worden war,

veranlasste den Senat zum Handeln. Diverse Maßnahmen wurden ergriffen, beispielsweise die Bekanntmachung von Verhaltensregeln und Versammlungsverboten über Flugblätter, die Abriegelung des Hafens, die Gründung eines Hygiene-Institutes sowie die Ertüchtigung der Hamburger Wasserwerke. Ferner wurde eine grundlegende Sanierung der hygienisch prekären Stadtviertel eingeleitet^(2,31,43,63,66).

Erste Richtlinien zum Trinkwasser und das Reichseuchengesetz: Robert Kochs Abhandlung zur Sandfiltration (s. 2.1.2) aus dem Jahr 1893 führte dazu, dass der DVGW im selben Jahr das erste Regelwerk zur Verbesserung der Wasserhygiene durch Sandfiltration erstellte. Des Weiteren wurde seine Abhandlung in den folgenden Jahren vom kaiserlichen Gesundheitsamt anerkannt, vom Bundesrat genehmigt und von den Bundesstaaten als Empfehlung zur Trinkwasserversorgung bekanntgegeben. Außerdem wurde im Jahr 1900 unter der Mitwirkung von Robert Koch nach einem seit 30 Jahren andauernden Ausfertigungsprozess das Reichseuchengesetz erlassen^(3,45,47,55,65,97).

2.2 Trinkwasserhygiene in DE im 20. Jahrhundert

2.2.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE

Typhus und Ruhr: Im 20. Jahrhundert gab es zahlreiche Typhus-Epidemien der Zivilbevölkerung in DE, beispielsweise in Gelsenkirchen, Pforzheim und Hannover mit jeweils mehreren Tausend Erkrankten. Die Städte Berlin und Greifswald waren in der Nachkriegszeit besonders schwer von Typhus und Ruhr betroffen, was u.a. durch die im Krieg zerstörten Abwasser-Pumpwerke bedingt war. In Berlin erkrankten 1945/46 daran ca. 50.000 Menschen. Auch Soldaten waren häufig von Typhus und Ruhr betroffen. Im ersten Weltkrieg erfasste eine aus beiden Erkrankungen kombinierte Epidemie das deutsche Heer mit weit über 200.000 Erkrankten. Die beiden letzten bekannten Typhus-Epidemien in DE waren 1974 in Heidelberg, Stuttgart und 1980 in Jena. Die letzte reine Ruhr-Epidemie, d.h. ohne gleichzeitigen Typhus-Ausbruch, ereignete sich 1978 in Ismaning mit über 2.000 Erkrankten^(1,14,15,38-42,47,54,64,124,129).

Aeromonaden: Die letzte dokumentierte bakterielle trinkwasser-assoziierte Epidemie ereignete sich in DE im Jahr 1983. Sie fand im Oberen Vogtland statt und wurde durch Aeromonaden hervorgerufen⁽⁵⁴⁾.

Viruserkrankungen: Von der „Ansteckenden Gelbsucht“ oder dem „Kriegsikterus“ waren sehr häufig Soldaten betroffen. In beiden Weltkriegen gab es Krankheitsausbrüche in den Armeen. Im Laufe des zweiten Weltkrieges waren mehr als 10 Millionen Deutsche (Soldaten und Allgemeinbevölkerung) von einer Virushepatitis betroffen, die vermeintlich durch das HAV ausgelöst wurde und mit fäkal verunreinigtem Trinkwasser in Zusammenhang stand. In der Nachkriegszeit waren sehr viele deutsche Kinder und Jugendliche mit dem HAV infiziert^(19,22,37,62). Auch die Poliomyelitis (Kinderlähmung) manifestierte sich epidemisch in DE, mutmaßlich über verunreinigtes Trinkwasser. Von 1946 bis 1955 erkrankten daran beispielsweise deutschlandweit über 30.000 Kinder, von denen über 3.000 starben^(39,40). Die letzte mit Trinkwasser assoziierte Virus-Epidemie in DE ereignete sich 1981/82. Dabei gab es einen großen Krankheitsausbruch durch enterale Viren in Halle (Saale) nach einem schweren Hochwasser, von dem über 10.000 Menschen betroffen waren^(19,24).

Parasiten: Trinkwasser-assoziierte Epidemien durch Parasiten waren in DE extrem selten. Die Recherche ergab eine einzige Epidemie dieser Art im 20. Jahrhundert. Sie ereignete sich 1948 in Darmstadt und wurde durch Spulwürmer im Trinkwasser ausgelöst. Trinkwasser-assoziierte Epidemien durch Protozoen wurden in den USA und England beobachtet, aber nicht in DE^(14,25,36,54,79).

2.2.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene

Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden die im vorherigen Jahrhundert entdeckten Mikroorganismen weiter erforscht und eine ganze Reihe neuer Keime identifiziert, die sich im Trinkwasser befinden, vermehren und für den Menschen pathogene Eigenschaften haben können. Der Bezug zum Trinkwasser erfolgte entweder mit der Entdeckung des Erregers oder mit zeitlicher Verzögerung von Jahren oder sogar Jahrzehnten. In den folgenden Kapiteln findet sich eine systematische Darstellung der verschiedenen Keim-Gruppen und unter 4.2.2 ein tabellarischer Überblick. Des Weiteren werden die Aspekte ‚mikrobiologische Diagnostik‘ und ‚Trinkwasseraufbereitung‘ beschrieben. (Quellen: s.u.)

2.2.2.1 Mikroorganismen fäkalen Ursprungs im Trinkwasser

Bakterien: Mit der mikrobiologischen Forschung des 20. Jahrhunderts gewannen einige Bakterien, die durch fäkale Ausscheidungen von Menschen oder Tieren in das Trinkwasser gelangen können, erheblich an Bedeutung. Dazu gehören insbesondere E. coli, coliforme Keime, Fäkal-Streptokokken und SSA. Sie manifestierten sich als Parameter für die mikrobiologische Untersuchung des Trinkwassers (s. 2.2.2.3) (14,23,47,54,75,76,79).

Viren: Nachdem im 19. Jahrhundert bereits die Idee eines viralen Krankheitserregers entstanden war, konnten zu Beginn des 20. Jahrhunderts schon verschiedene Viren (z.B. das Poliomyelitis-Virus oder Bakteriophagen) identifiziert und nachgewiesen werden. In den 1920er bis 1940er Jahren war der Nachweis von Viren im Trinkwasser bereits möglich, allerdings weder standardisiert noch besonders sensitiv. In den 1940er Jahren konnte in den USA die fäkal-orale Übertragung einer Hepatitis-Form nachgewiesen werden, was die Grundlage zur Beschreibung des HAV war. Seit Mitte des 20. Jahrhunderts wurde vermehrt an Viren im Trinkwasser geforscht und man entdeckte weitere enterale Viren mit Relevanz für das Trinkwasser (z.B. Noroviren oder HEV). Darüber hinaus gewann man Erkenntnisse zum Verhalten von Viren in der Umwelt sowie gegenüber Trinkwasseraufbereitungsmaßnahmen. Seit 1986 wurden sie mit der Bezeichnung „Fäkalbakteriophagen und enteropathogene Viren“ in der deutschen TrinkwV als mikrobiologische Parameter bzw. Krankheitserreger berücksichtigt^(14,19,22,24,37,54,62,72,73,78,79,87-92).

Parasiten: Mehrere Krankheitserreger, die zur Gruppe der Parasiten bzw. Protozoen gehören, wurden bereits im 19. Jahrhundert oder zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckt (z.B. Ruhm-Öben, Giardien, Cryptosporidien oder Toxoplasmen). Die Bedeutung der meisten Protozoen für das Trinkwasser wurde erst am Ende des 20. Jahrhunderts erkannt. Es zeigte sich, dass nicht nur direkter Tierkontakt oder Konsum roher Milch, sondern auch fehlerhafte Düngung sowie das Trinken kontaminierten Wassers für eine Infektion verantwortlich sein kann, da manche dieser Erreger durch Tierexkremate in das Oberflächenwasser gelangen können. Sie wurden weiter erforscht und es ergaben sich mehrere Erkenntnisse, u.a. Hinweise auf ihr Verhalten in der Umwelt sowie gegenüber Trinkwasseraufbereitungsmaßnahmen (14,25,36,47,54,77,79,83,85,93,103).

2.2.2.2 Mikroorganismen nicht-fäkalen Ursprungs im Trinkwasser

Bakterien: Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden diverse bakterielle Keime weiter erforscht und neu entdeckt, die nicht aus menschlichen oder tierischen Exkrementen stammen, sich aber im Trinkwassernetz unter nährstoffarmen Bedingungen vermehren können und potentiell humanpathogen sind. Dabei zeigte sich, dass in den meisten Fällen andere Infektionswege als die orale Aufnahme kontaminierten Wassers zu einer Infektion führen. Aufgrund ihrer nicht-fäkalen Herkunft stellte sich heraus, dass die Keimvermehrung nicht mit einer Erhöhung der Fäkalindikatoren korreliert, dafür aber mit einer Erhöhung der Koloniezahl (s. 2.2.2.3). Die wichtigsten dieser bakteriellen Krankheitserreger sind *Pseudomonas aeruginosa*, atypische Mykobakterien, Legionellen und Aeromonaden⁽¹⁴⁾.

Viren: Auch in dieser Erregergruppe fand man Varianten nicht-fäkalen Ursprungs, die sich im Trinkwasser befinden und potentiell gesundheitsschädlich sein können, beispielsweise nicht-enterale Adenoviren⁽⁷⁸⁾.

Parasiten: Obwohl Akanthamoeben bereits im 19. Jahrhundert entdeckt worden waren, erkannte man ihre trinkwasserhygienische Bedeutung, wie bei den meisten anderen Protozoen, erst zum Ende des 20. Jahrhunderts. Sie wurden als Verursacher von schwer behandelbaren Entzündungen der Hornhaut des Auges („Kontaktlinsen-Keratitis“) identifiziert, die durch Spülung mit kontaminiertem Wasser entstehen können^(14,47,85).

2.2.2.3 Die Entwicklung der mikrobiologischen Diagnostik für Trinkwasser

In der Abhandlung Robert Kochs zur Sandfiltration aus dem Jahr 1893 (s. 2.1.2) und in der AW1906 aus dem Jahr 1906 (s. 2.2.3) wurden bereits bakteriologische Untersuchungen des Trinkwassers mit entsprechenden Methoden empfohlen. Die Weiterentwicklung der mikrobiologischen Untersuchungsmethoden erfolgte zu Beginn des 20. Jahrhunderts maßgeblich unter Mitwirkung des Hygienikers August Gärtner. Nach dem zweiten Weltkrieg gab es einen weiteren Aufschwung und die mikrobiologischen Untersuchungen des Trinkwassers bekamen 1970 ein europäischen Standard^(47,65,75,76).

Die Koloniezahl: Dieser Parameter wurde durch Robert Koch Ende des 19. Jahrhunderts als Gütekriterium für die Filtration im Rahmen der Trinkwasseraufbereitung festgelegt (s. 2.1.2) und hat seine wichtige Bedeutung für das Trinkwasser bis heute behalten. Er besagt, dass die Anzahl der gebildeten Kolonien bzw. KBE in einem Milliliter Trinkwasser nicht über 100 liegen darf und erlaubt eine Aussage über Veränderungen der allgemeinen Trinkwasser-Flora. Die Aussagekraft der Koloniezahl wurde weiter erforscht und zu einem elementaren Baustein der mikrobiellen Trinkwasserbeurteilung^(4,14,47,71-73,75,76,98).

Das Indikatorprinzip: Da der explizite Nachweis der meisten Mikroorganismen bzw. Krankheitserreger zeitlich, personell und finanziell sehr aufwendig sein kann, hat sich in der Praxis die Untersuchung auf Indikator-Keime durchgesetzt. Es handelt sich dabei um Mikroorganismen, deren Nachweis relativ leicht durchführbar ist und deren Anwesenheit im Trinkwasser mit der von Krankheitserregern korreliert werden kann. Beschrieben wurde diese Form der mikrobiologischen Interpretation bereits Ende des 19. Jahrhunderts in Zusammenhang mit Darmbakterien, deren wichtigster Vertreter später als E. coli bezeichnet wurde. E. coli ist daher der älteste und noch heute wichtigste Indikator für fäkale Verunreinigung des Wassers. Im Zuge der Forschung im 20. Jahrhundert und der ersten EG-Trinkwasser-Richtlinie (1980) kamen weitere Indikator-Keime hinzu (z.B. Fäkal-Streptokokken oder SSA) und man versuchte darüber hinaus, das Indikatorprinzip auf andere Arten von Mikroorganismen (s.u.) zu übertragen^(4,14,19,25,47,65,75,76,78).

Virologische Diagnostik für Trinkwasser: In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Viren im Trinkwasser intensiver erforscht und virologische Untersuchungsmethoden erarbeitet. Der direkte Virus-Nachweis im Trinkwasser gestaltete sich methodisch schwierig und aufwendig. Es war bekannt, dass der menschliche Darm oftmals für eine virale Verunreinigung des Trinkwassers das Erreger-Reservoir darstellte. Daraus leitete man die Schlussfolgerung ab, dass bakterielle Fäkalindikatoren (s.o.) ebenso eine Aussagekraft hinsichtlich einer viralen Kontamination haben könnten. Es wurde allerdings deutlich, dass das Fehlen bakterieller Fäkalkeime nicht per se die Anwesenheit von Viren ausschließen konnte. Zum Ende des 20. Jahrhunderts machte man sich die Erforschung von Bakteriophagen zunutze, um ein rein virales Indikatorsystem zu schaffen. Dieses wurde seit 1986 in der deutschen TrinkwV berücksichtigt^(14,19,24,72,73,78,88).

Diagnostik für Parasiten im Trinkwasser: Während enterale Würmer schon relativ früh als Krankheitserreger im Trinkwasser identifiziert wurden, stellte die Erregergruppe der Protozoen, insbesondere Giardien und Cryptosporidien, in dieser Hinsicht ein Problem dar. Einerseits können sie unspezifische klinische Beschwerden verursachen, sodass eine Infektion verkannt und die Kontamination des Trinkwassers nicht registriert wird, andererseits war noch lange nach ihrer Entdeckung der direkte Nachweis im Trinkwasser äußerst schwierig. Man versuchte auch hier das Indikatorprinzip (s.o.) anzuwenden, allerdings zeigte es eine begrenzte Aussagekraft^(14,25,47,54,79,83,85,93,103,107).

2.2.2.4 Die mikrobiologische Trinkwasseraufbereitung

Filtration und Flockung: Die kurz vor Ende des 19. Jahrhunderts in DE staatlich empfohlene Methode der Sandfiltration zur Trinkwasseraufbereitung (s. 2.1.3) wurde im Verlauf des 20. Jahrhunderts beibehalten und weiterentwickelt. Außerdem manifestierte sich die sogenannte Flockung als weitere Methode. Die Kombination der beiden Verfahren erwies sich als besonders sicherer Weg der mikrobiologischen Trinkwasseraufbereitung. Des Weiteren wurde erforscht, wie sich die Bodenpassage des Oberflächenwassers auf die mikrobiologische Beschaffenheit des Wassers auswirkt^(19,47,58,95,97).

Desinfektion: Hier bewährte sich das schon lange zur allgemeinen Desinfektion eingesetzte Chlor, da es sich aufgrund bestimmter Eigenschaften als gutes Mittel zur Wasserdesinfektion erwies. Weitere Chemikalien, die erprobt wurden und zur Anwendung kamen, waren beispielsweise Chlordioxid, Ozon, Silber-Verbindungen, Ammoniak und Kieselsäure. Ebenso wurde die UV-Bestrahlung des Wassers als mögliches Desinfektionsverfahren getestet. Um die menschliche Gesundheit nicht durch chemische Stoffe oder Nebenprodukte zu gefährden, wurde ihre Anwendung durch Richtlinien und Gesetze genau festgelegt^(2,10,19,25,47,58,65,73,95).

2.2.3 Staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE

Die Rolle des DVGW: Um 1900 wurde der DVGW ein e.V., arbeitete enger mit Medizinerinnen und Hygienikern zusammen und war an der Erstellung technischer Regeln bzw. Arbeitsblätter, Richtlinien und Gesetze (s.u.) zur Regulation der Trinkwasserversorgung beteiligt, was dabei half die Stellung der Wasserwerke

staatlich zu kontrollieren und auszubauen. Im Laufe des 20. Jahrhunderts wurden weitere Wasser-Vereine gegründet, die zum Teil mit dem DVGW kooperierten, beispielsweise DELIWA und FIGAWA. 1948 richtete der DVGW die erste Wasserfachliche Aussprachetagung („WAT“) in Hannover aus, die auch heute noch unter dem Namen „GATWAT“ stattfindet und dem regelmäßigen Erfahrungsaustausch dient^(1,3,17,18,44,45,95,127).

Vorgaben per Richtlinie und Norm: Im Jahr 1906 erstellte das kaiserliche Gesundheitsamt unter Mitarbeit des DVGW die „Anleitung für die Errichtung, den Bau und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen“ (AW1906), die daraufhin unter Zustimmung des Bundesrates als unverbindliche Richtlinie erlassen wurde. Obwohl hier schon eigenständige Kontrollen der Trinkwasserqualität durch ein Gesundheitsamt empfohlen wurden, erfolgte eine gesetzliche Regelung erst deutlich später (s.u.)^(3,45,47,65,97). Bei den zahlreichen DIN-Normen, die im 20. Jahrhundert zur Trinkwasserversorgung herausgegeben wurden, handelte es sich um technische Regeln. Nennenswert sind die DIN 1988 und DIN 2000. Letztere legt neben technischen, chemischen und physikalischen Anhaltspunkten auch hygienische Anforderungen hinsichtlich der Trinkwasserversorgung fest^(1,3,17,18,23,42,46,65,127).

Überwachung per Gesetz: Das im Jahr 1900 erlassene Reichseuchengesetz war das erste deutsche Gesetz zur allgemeinen Seuchenbekämpfung. Sein Bezug zum Trinkwasser war allerdings vage^(55,65). Im Verlauf des 20. Jahrhunderts folgten weitere Gesetze mit unterschiedlichem Bezug zur Trinkwasserversorgung, beispielsweise das Lebensmittelgesetz. Ab 1934/35 wurde die Kontrolle der Trinkwasserqualität Aufgabe von Gesundheitsämtern. Allerdings gab es hierfür immer noch keine gesetzlich festgelegten Anhaltspunkte. Erst mit dem Bundes-Seuchengesetz, das 1961 das Reichseuchengesetz ablöste, kam die Grundlage verbindlicher Normen für die Trinkwasserqualität zustande: Es forderte eine nicht gesundheitsschädliche Beschaffenheit des Trinkwassers und verwies in diesem Kontext auf den Erlass weiterer Rechtsverordnungen. Auf diesem Weg konnte die erste deutsche TrinkwV erlassen werden und in Kraft treten (1975/76). Damit war nun eine gesetzliche Grundlage mit konkreten Anhaltspunkten für die Überwachung der Trinkwasserhygiene geschaffen, die zum Ende des 20. Jahrhunderts mehrere Novellierungen erfuhr^(6,17,18,23,51,53,55,58,65,67,69,71-73).

Der europäische Einfluss auf die deutsche TrinkwV: 1980 konnte nach mehrjähriger politischer und fachlicher Diskussion die erste EG-Richtlinie über „die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch“ in Kraft treten. Dadurch war der deutsche Gesetzgeber verpflichtet Anpassungen der TrinkwV vorzunehmen. Die Ermächtigung durch das Bundes-Seuchengesetz (s.o.) war dafür zu gering ausgelegt, aber das neue Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz aus dem Jahr 1974 enthielt ebenfalls Ermächtigungen zum Erlass von Hygienevorschriften, sodass die Anpassung in mehreren Schritten erfolgen konnte^(18,65,67,69,72,73,127).

Im Jahr 1998 erschien unter Einfluss der zweiten WHO-Trinkwasser-Richtlinie (1993) die neue EG-Trinkwasser-Richtlinie „98/83/EG“, die für die neue TrinkwV aus dem Jahr 2001/03 von Bedeutung sein sollte (s. 2.3.3)^(4,8,14,19,127).

2.3 Trinkwasserhygiene in DE ab dem Jahr 2000

2.3.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE

Seit den trinkwasser-assoziierten Epidemien in den 1980er Jahren (s. 2.2.1) wurde in DE bis auf die unten beschriebenen Ausnahmen kein Krankheitsausbruch dieser Genese und Größenordnung mehr festgestellt und dokumentiert.

Legionellen: Seitdem für Legionellen eine Meldepflicht nach dem IfSG (2000/01) sowie spezifische Vorgaben der TrinkwV (2001/03) gelten, sind vermehrt Legionellen-Ausbrüche im Zusammenhang mit Trinkwasser dokumentiert worden, beispielsweise 2010 in Ulm und 2013 in Warstein mit zusammen über 200 Erkrankten. In beiden Fällen konnte eine Verdunstungskühlanlage als Infektionsquelle identifiziert werden^(4,20,21,47).

Parasiten: Von den oben genannten abgesehen, war der einzige in DE nach der Jahrtausendwende bekannte trinkwasser-assoziierte Krankheitsausbruch derjenige, der im Jahr 2000 in Neuwied durch Giardien (Protozoen) verursacht wurde. Es war gleichzeitig auch der einzige in DE überhaupt bekannte trinkwasser-assoziierte Krankheitsausbruch durch Protozoen^(47,48,54,107).

2.3.2 Medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene

In den folgenden Kapiteln werden die neueren Entwicklungen bzgl. Mikroorganismen im Trinkwasser, mikrobiologischer Diagnostik für Trinkwasser und mikrobiologischer Trinkwasseraufbereitung beschrieben.

2.3.2.1 Mikroorganismen im Trinkwasser

Die meisten über Trinkwasser übertragbaren Mikroorganismen bzw. Krankheitserreger wurden im 19. und 20. Jahrhundert entdeckt, wobei der Bezug zum Trinkwasser teilweise mit deutlicher Verzögerung hergestellt wurde (s. 4.2.2). Die WHO veröffentlichte seit der Jahrtausendwende zwei neue Trinkwasser-Richtlinien (2003 und 2017). Diese enthalten jeweils nach aktuellem Stand der internationalen Wissenschaft alle für Trinkwasser bedeutsamen Mikroorganismen. Für die Trinkwasserversorgung in DE ergibt sich die Auflistung relevanter Mikroorganismen aus der TrinkwV und dem IfSG^(4,47,96,117,121).

Bakterielle Biofilme in Wasserleitungen: Die Entstehung bakterieller Biofilme in Trinkwassersystemen wurde zwar schon zum Ende des letzten Jahrhunderts beobachtet, doch fand dieser Aspekt in den letzten zwei Dekaden zunehmend Beachtung, nicht zuletzt aufgrund von Legionellen- und Pseudomonaden-Kontaminationen in den Wasserleitungen öffentlicher Gebäude. Die Analyse der mikrobiologischen Bedingungen und konsekutiven Besiedlung in Biofilmen sowie die Interaktionen der dort lebenden Mikroorganismen mit den Werkstoffen der Wasserleitung sind Gegenstand aktueller Forschung^(14,47,111).

Parasiten bzw. Protozoen: Diese Erreger gehören gemäß dem IfSG (2000/01) und der TrinkwV (2001/03) ebenfalls zu den Krankheitserregern, die nicht in gesundheitsgefährdender Konzentration im Trinkwasser enthalten sein dürfen und im Falle von *Cryptosporidium parvum* und *Giardia lamblia* meldepflichtig sind. Das UBA hat im Jahr 2001 eine Stellungnahme zu wasserbedingten Parasitosen veröffentlicht. Demnach liegen aktuell keine Ergebnisse vor, die eine Kontamination des Trinkwassers mit Parasiten erwarten lassen. Allerdings sei die Datenlage hinsichtlich dieser Erregergruppe im Trinkwasser unsicher, was eine definitive epidemiologische Prognose erschwere^(4,107,117).

Pilze gehören gemäß dem IfSG (2000/01) und der TrinkwV (2001/03) ebenfalls zu den Krankheitserregern, die nicht in gesundheitsgefährdender Konzentration im Trinkwasser enthalten sein dürfen. Es wird seit Anfang des 21. Jahrhunderts vermehrt an der Übertragung von Pilzkrankungen durch kontaminiertes Trinkwasser geforscht^(4,30,110,112,117).

SARS-CoV-2: Im Rahmen der Corona-Pandemie ist im Jahr 2020 das Verhalten von Coronaviren im Trinkwasser genauer untersucht worden und das UBA hat dazu im März 2020 eine Stellungnahme veröffentlicht. Demnach bestehe keine Infektionsgefahr mit SARS-CoV-2 über Trinkwasser⁽¹⁰⁹⁾.

2.3.2.2 Die aktuelle mikrobiologische Diagnostik für Trinkwasser

Allgemeines: Dadurch, dass in DE in den letzten Jahrzehnten trinkwasser-assoziierte Epidemien praktisch nicht mehr vorgekommen sind, hat sich der Fokus der Trinkwasserüberwachung auf Chemikalien und andere potentielle Schadstoffe verschoben. Dennoch sind die mikrobiologischen Standards weiterhin elementar und orientieren sich am aktuellen Stand der Wissenschaft. Inzwischen sind hierfür zahlreiche Vorgaben, insbesondere DIN-Normen sowie vom UBA und den Landesbehörden veröffentlichte Empfehlungen, etabliert. Die Koloniezahl und das Indikatorprinzip sind dabei nach wie vor grundlegend, aber nicht für jede Art von Mikroorganismen aussagekräftig (s. 2.2.2.3)^(4,24,47,95,107,111,122).

Krankheitserreger: Mit Ausnahme bestimmter Keime ist nach der aktuellen TrinkwV die Untersuchung auf Krankheitserreger nicht als Routine-Untersuchung vorgesehen, kann aber vom Gesundheitsamt angeordnet werden. Für mehrere Bakterienarten gibt die TrinkwV DIN-EN-ISO-Normen für die mikrobiologische Untersuchung vor. Geht es um andere Krankheitserreger, sind die Untersuchungen nicht an bestimmte Nachweisverfahren gebunden und bleiben meist Speziallaboratorien vorbehalten, die dann nach aktuellem Stand der internationalen Wissenschaft sowie anerkannten Regeln der Technik agieren. Des Weiteren können die Labore auf Leitlinien des BMG oder UBA zurückgreifen, um eine Risikoabschätzung zu ermöglichen^(4,47,107,118).

2.3.2.3 Die aktuelle mikrobiologische Trinkwasseraufbereitung

Der Prozess der Trinkwasseraufbereitung in den Wasserwerken unterliegt den Arbeitsblättern des DVGW, den anerkannten Regeln der Technik sowie den aktuellen Empfehlungen des UBA (s. 2.3.3). Neben der Filtration und Flockung (s. 2.2.2.4) gehört nach wie vor die Desinfektion mit Chlor und weiteren Chemikalien zum Goldstandard. In der aktuellen Empfehlung des UBA finden sich Tabellen, die eine ganze Reihe von Aufbereitungsstoffen enthalten und zu jedem Stoff Reinheitsanforderungen, Höchstkonzentrationen und weitere Parameter angeben. Die Effizienz und Technik der Trinkwasseraufbereitung werden kontinuierlich ausgewertet und weiterentwickelt^(4,45,47,111,116,123,131).

2.3.3 Die aktuelle staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE

Die Rolle von DVGW und UBA: Der DVGW (seit 2000 „Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - technisch-wissenschaftlicher Verein“) hat als privates Unternehmen zur Trinkwasserversorgung diverse Richtlinien (s.u.) und Arbeitsblätter, die Normencharakter haben, herausgegeben und weiterentwickelt sowie den WSP der WHO (s.u.) in DE umgesetzt. Außerdem findet in regelmäßigen Abständen eine „GATWAT“ zum Erfahrungsaustausch statt. Das UBA gibt ebenso Empfehlungen zur Trinkwasserversorgung heraus, beispielsweise zur mikrobiologischen Diagnostik oder zur Trinkwasseraufbereitung, wobei es verpflichtet ist, Abweichungen zu prüfen und ggf. Sondergenehmigungen auszustellen. Des Weiteren führt es regelmäßig statistische Auswertungen der Trinkwasserqualität durch, nicht zuletzt, um den Erfolg des WSP der WHO zu dokumentieren. Der DVGW und das UBA kooperieren nicht nur mit der WHO, sondern auch mit weiteren (inter-)nationalen Organisationen, u.a. dem DIN, KWB, VDI, der IWA oder EUREAU^(1,3,4,26,35,44,45,47,49,52,56,116,123,127,131).

Aktuelle Vorgaben per Richtlinie und Norm: Die meisten Richtlinien zur Trinkwasserversorgung werden derzeit von der EU erlassen, die dann als CEN- und ISO-Normen europa- bzw. weltweit harmonisiert werden. Die Zuständigkeit für deutsches Trinkwasser liegt hier beim DVGW und dem DIN (s.o.). Es gelten zahlreiche technische Regeln bzw. Normen für die Trinkwasserversorgung. Nennenswert sind die DIN 2000, die seit ihrer Erstfassung (1941) mehrfach überarbeitet worden ist, sowie die Richtlinie VDI/DVGW 6023 aus dem Jahr 2013, welche Anforderungen an Planung, Bau, Betrieb und Wartung von Trinkwasserinstallationen festlegt. Die

mikrobiologischen und chemischen Nachweisverfahren (s. 2.3.2.2) müssen ebenfalls nach bestimmten Normen erfolgen, um eine bundesweite Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit sicherzustellen. Die Einhaltung sämtlicher Grenzwerte wird durch Prüfstellen, die von der DAkkS (Deutsche Akkreditierungsstelle) zugelassen wurden, gewährleistet^(3,4,8,23,26,35,46,47,49,52,56,59,127,131).

Aktuelle Überwachung per Gesetz: Die aktuelle deutsche TrinkwV, die 2003 in Kraft getreten ist, basiert rechtlich auf dem IfSG (2000/01) und setzt die europäische Trinkwasser-Richtlinie „98/83/EG“ (1998) in nationales Recht um. Die Verantwortung für die öffentliche Trinkwasserversorgung liegt im Aufgabenbereich der Bundesländer und ihrer Kommunen bzw. Behörden. Die Einhaltung der TrinkwV wird dabei zunächst durch die Versorgungsunternehmen selbst sichergestellt und von den genannten Prüfstellen bestätigt. Die Gesundheitsämter führen gemäß ihrer gesetzlichen Verpflichtung regelmäßig Kontrollen der „Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser“ durch^(4,5,8,47,52,55,59,96,127).

Der Einfluss der WHO auf das deutsche Trinkwasser: In den Jahren 2003 und 2017 hat die WHO weitere Trinkwasser-Richtlinien veröffentlicht. Sie enthalten den sogenannten Water Safety Plan (WSP). Dabei handelt es sich um ein neuartiges Trinkwassersicherheitskonzept in Form eines Qualitätsmanagement-Systems, das in DE 2008 durch den DVGW umgesetzt worden ist und die Trinkwasserhygiene in praktisch allen beteiligten Bereichen, d.h. von der Wassergewinnung bis zum Zapfhahn des Verbrauchers, gewährleisten soll. Es gilt auch für Klein- und Einzelversorger und beinhaltet verschiedene systematische, aufeinander aufbauende Schritte, die die Trinkwasserqualität dauerhaft sicherstellen sollen^(49,52).

3. Material und Methoden

3.1 Quellen

Zur Recherche wurden verschiedene Bücher verwendet, die zum Großteil aus dem bibliothekarischen Fundus des Erstgutachters stammten. Des Weiteren wurden Informationen von diversen Internetseiten gesammelt und dabei die Glaubwürdigkeit des Inhalts anhand der Angaben zum Betreiber bzw. Inhaber der Website (Impressum) oder zu den Autoren bzw. Verantwortlichen geprüft. Außerdem wurden über das Internet öffentlich zugängliche Gesetzestexte, E-Books, (Fach-)Zeitschriftenartikel und weitere Schriftdokumente als Quellen herangezogen.

3.2 Methodik der Recherche, Datenerhebung und Auswertung

Zentraler Aspekt der Recherche war die Bedeutung von Mikroorganismen im Trinkwasser, also von Bakterien, Viren, Parasiten/Protozoen und Pilzen. Andere potentielle Schadstoffe wie beispielsweise Chemikalien, radioaktives Material oder Hormone wurden nicht berücksichtigt. Die Quellen wurden mit Blick auf folgende Schwerpunkte durchgearbeitet: Trinkwasser-assoziierte Epidemien, medizinische Erkenntnisse mit Bedeutung für das Trinkwasser und staatliche Maßnahmen zur Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE.

Kriterien für trinkwasser-assoziierte Epidemien: Bei der Auflistung der Epidemien (Tabelle 4.1) wurden nur Ereignisse in DE berücksichtigt und folgende Daten erhoben: Zeitpunkt, Krankheitserreger, Stadt/Region sowie Anzahl der Erkrankten und Toten. Dabei wurden Ereignisse eingeschlossen, die konkret von der jeweiligen Quelle als trinkwasser-assoziierte Epidemie bezeichnet oder beschrieben wurden. Da die Definition der Epidemie nicht an eine Zahl, sondern nur an ein gehäuftes Auftreten von Erkrankten gebunden ist⁽¹⁶⁾, konnten auch verhältnismäßig kleine Krankheitsausbrüche aufgeführt werden. Allerdings wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit kleine Epidemien, die sich im Rahmen einer größeren Epidemie ereigneten, nicht alle explizit genannt. Legionellen-Epidemien wurden aufgrund ihrer Bedeutung für die deutsche TrinkwV exemplarisch aufgegriffen.

Kriterien für medizinische Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene: Bei der Darstellung der medizinischen Entwicklung der Trinkwasserhygiene wurde darauf geachtet, dass die jeweiligen Ereignisse, Entdeckungen und Publikationen im Sinne der Methodik (s.o.) einen relevanten Bezug zum Trinkwasser aufzeigten. Dabei wurden auch internationale Forschungsergebnisse und Veröffentlichungen berücksichtigt. Unter 4.2.1 wurde eine nach Chronologie und Themen orientierte systematische Auflistung der vielen einzelnen Erkenntnisse ausgearbeitet, um den medizinischen Fortschritt verständlich darzustellen. Die Tabelle 4.2.2 enthält hingegen eine Auswahl an Mikroorganismen, die im Laufe der Zeit für Trinkwasser bedeutsam wurden. Hierbei wurden folgende Merkmale erhoben:

Merkmal	Inhalt
Mikroorganismus	Name des Mikroorganismus (ggf. Fäkalindikator), ggf. dazugehörige Erkrankung
Entdeckung	Zeitpunkt/ -raum der erstmaligen Beschreibung bzw. des erstmaligen Nachweises, ggf. mit Land des Entdeckers
Bezug zum Trinkwasser	Zeitpunkt/ -raum, zu dem erkannt wurde, dass der Mikroorganismus im Trinkwasser potentiell gesundheitsschädliche Auswirkungen haben kann, ggf. mit Land des Entdeckers
TrinkwV	Ob der Mikroorganismus explizit in der TrinkwV genannt wurde

Im Anschluss wurden Angaben zum Ursprung der genannten Mikroorganismen und zu den jeweiligen Infektionswegen gemacht sowie weitere Anmerkungen formuliert. Erregerspezifische Forschungsergebnisse ohne Bezug zum Trinkwasser wurden nicht berücksichtigt.

Kriterien für die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene: Hier ging es um staatliche Maßnahmen in DE, d.h. Gesetze und Richtlinien im Ausland bzw. auf internationaler Ebene wurden nur aufgegriffen, wenn sie einen Einfluss auf die deutsche Gesetzgebung hatten (z.B. die EG-Trinkwasser-Richtlinien). Zunächst wurde eine allgemeine Übersicht aller Maßnahmen (4.3.1) erstellt, die im Sinne der Methodik (s.o.) relevant waren. Im Folgenden wurden bestimmte Inhalte von Richtlinien (4.3.2) und Gesetzen (4.3.3) sowie die Entwicklung der deutschen TrinkwV (4.3.4) herausgearbeitet. Die Nennung zweier Jahreszahlen bei einem Gesetz bezieht sich i.d.R. auf den Erlass und das Inkrafttreten des Gesetzes. Zur Anschaulichkeit und im Sinne der Methodik (s.o.) wurde(n):

- auf eine Auflistung aller technischen Regeln der Trinkwasserversorgung verzichtet,
- Richtlinien und Gesetze ohne direkten Bezug zur Trinkwasserhygiene nicht aufgegriffen (z.B. das Wasserrecht, das Wasserhaushaltsgesetz, die Verordnungen zum Gewässerschutz oder der Katalog wassergefährdender Stoffe),
- die MTVO nicht berücksichtigt, da Mineral- und Tafelwasser über andere Aspekte als Trinkwasser definiert wird⁽⁵⁰⁾,
- die Gründung und Aufgaben des DVGW dargestellt,
- relevante Baumaßnahmen (z.B. von Wasserwerken) sowie Gründungen von Einrichtungen (z.B. RKI oder UBA) kurz aufgegriffen,
- Ämter ohne entsprechende Relevanz (z.B. Wasserwirtschaftsamt, Chemisches Untersuchungsamt oder geologisches Landesamt) nicht berücksichtigt.

Auswertung: Die im Ergebnisteil aufgelisteten Daten wurden in der Diskussion kritisch bewertet. Dabei sollte gezeigt werden, welche Eckpunkte und Entwicklungen es im Sinne der festgelegten Schwerpunkte gab und welche Bedeutung sie hatten.

4. Ergebnisse

4.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE seit dem 19. Jahrhundert

Jahr	Epidemie	Bemerkung	Quellen
1822	Cholera-Epidemie in Hamburg	k. A.	43
1831-73	Landesweite Cholera-Epidemie „Russische Pest“, „Cholera Asiatica“, „Asiatische Hydra“	Summe vieler einzelner Epidemien im Rahmen der europaweiten Cholera-Pandemien mit zahlreichen Ausbrüchen in deutschen Städten (s. Anhang, Tabelle 8.1, S. 75), Todesopfer: >197.594 (DE inkl. Preußen)	1,2,7,9-13, 27-29,31, 43,57,63, 66
1849-68	Typhus-Epidemie in Erfurt	1.126 Tote	57
1870	Typhus- und Ruhr-Epidemie im dt. Heer	Typhus: >73.000 Erkrankte und >8.700 Tote, Ruhr: 39.000 Erkrankte	64
1871	Typhus-Epidemie in Halle	282 Erkrankte, 11 Tote	1,54
1872	Typhus-Epidemie in Stuttgart	180 Erkrankte, 14 Tote	54
1885-88	Typhus-Epidemie in Hamburg	15.804 Erkrankte, 1.214 Tote	47,54
1888	Typhus-Epidemie in Chemnitz	2.516 Erkrankte	47,54
1889	Typhus-Epidemie in Berlin	632 Erkrankte	47,54
1891	Typhus-Epidemie in Altona	685 Erkrankte, 47 Tote	47,54
1892	Cholera-Epidemie in Hamburg	Ca. 17.000 Erkrankte, 8.600 Tote	1,2,42,43, 47,54,63
1893	Cholera-Epidemie in Nietleben (Irrenanstalt)	122 Erkrankte, 52 Tote	1,54
1893	Typhus-Epidemie in München (Kaserne)	331 Erkrankte	54
1893	Typhus-Epidemie in Paderborn	150 Erkrankte	54
1897	Typhus-Epidemie in Beuthen (Oberschlesien)	>1.400 Erkrankte	1,54
1898	Typhus-Epidemie in Paderborn	234 Erkrankte, 32 Tote	54
1898/99	Typhus-Epidemie in Gräfrath (Kreis Solingen)	155 Erkrankte	54
1900	Typhus-Epidemie in Bochum	500 Erkrankte, 43 Tote	47,54
1901	Typhus-Epidemie in Gelsenkirchen	>3.200 Erkrankte, 350 Tote	1,42,47,54
1902/03	Typhus-Epidemie in Lebach	>70 Erkrankte	124
1904	Typhus-Epidemie in Detmold	780 Erkrankte, 54 Tote	1,42,54

1904	Typhus-Epidemie in Gräfrath (Kreis Solingen)	118 Erkrankte, 11 Tote	54
1908	Typhus-Epidemie in Greiz	140 Erkrankte	54
1909	Typhus-Epidemie in Altwasser	622 Erkrankte, 32 Tote	54
1909	Typhus-Epidemie in Reutlingen	290 Erkrankte	54
1914/15	Typhus- und Ruhr-Epidemie im dt. Heer	Typhus: >116.000 Erkrankte und >11.000 Tote, Ruhr: >155.000 Erkrankte und >8.600 Tote	64
1915	Typhus-Epidemie in Jena	537 Erkrankte, 60 Tote	42,54
1919	Typhus-Epidemie in Pforzheim	4.000 Erkrankte, 400 Tote	42,54
1923/24	Typhus-Epidemie in Alfeld	>1.100 Erkrankte, 100 Tote	54
1926	Typhus-Epidemie in Hannover	2.500 Erkrankte, 260 Tote	42,54
1939-1945	Hepatitis-A-Epidemie	Ca. 10.000.000 erkrankte Deutsche während des Krieges (ca. 60% Soldaten und 40% Zivilbevölkerung)	19,37,62
Nachkriegszeit	Hepatitis-A-Epidemie	Nach dem Krieg waren 80-90% der deutschen Kinder und Jugendlichen mit dem HAV infiziert.	22
1945/46	Typhus-Epidemie in Westerode	400 Erkrankte, 16 Tote	42
1945/46	Typhus- und Ruhr-Epidemie in Berlin	50.000 Erkrankte (Typhus oder Ruhr)	38,39
1945-47	Typhus-Epidemie in Greifswald	16.000 Erkrankte, 3.840 Tote	41
1945-47	Typhus- und Ruhr-Epidemie in Münster	Typhus: 114 Erkrankte, Ruhr: 32 Erkrankte	40
1945-49	Typhus-Epidemie in Bochum	480 Erkrankte, 96 Tote	40
1946-55	Deutschlandweite Polio-Epidemie	35.765 Erkrankte, 3.383 Tote (Kinder)	39,40
1946	Typhus-Epidemie in Klafeld	325 Erkrankte, 10 Tote	54
1946	Typhus-Epidemie in Neuötting	Ca. 400 Erkrankte	54
1948	Spulwurm-Epidemie in Darmstadt	90% der Einwohner erkrankten, 23 Tote	79
1948	Typhus-Epidemie in Neuötting	810 Erkrankte, 62 Tote	41
1949	Typhus-Epidemie in Waldbröl	127 Erkrankte, 11 Tote	1,47,54
1951	Typhus-Epidemie in Drolshagen	51 Erkrankte	1,54
1953	Typhus-Epidemie in Plettenberg (Thereker Mühle)	50 Erkrankte	54

1955	Typhus-Epidemie in Drolshagen	92 Erkrankte	47,54
1955/56	Typhus-/ Paratyphus-Epidemie im Ennepe-Ruhrkreis und in Hagen	>500 Erkrankte	1,54,79
1961	Deutschlandweite Polio-Epidemie	4.461 Erkrankte, 305 Tote (Kinder)	40
1971	Ruhr-Epidemie in Heidenau (Pirna)	482 Erkrankte	54
1972	Hepatitis-A-Epidemie in Dingelstedt	40 Erkrankte	54
1972	Ruhr-Epidemie in Worbis	1.400 Erkrankte	54
1974	Typhus-Epidemie in Heidelberg und Stuttgart	420 Erkrankte	14,15
1978	Ruhr-Epidemie in Ismaning	2.450 Erkrankte	1,14,54,129
1980	Typhus-Epidemie in Jena	63 Erkrankte	14,47,54
1981/82	Epidemie durch enterale Viren in Halle (Saale)	10.511 Erkrankte	19
1983	Epidemie durch Aeromonaden im Oberen Vogtland	k. A.	54
2000	Epidemie durch Giardien in Neuwied	8 Erkrankte	47,48
Ab 2000	Legionellen-Ausbrüche in 5 deutschen Städten	362 Erkrankte, 11 Tote (Summe der 5 Ausbrüche)	20

4.2 Die medizinischen Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene

Das Kapitel 4.2.1 zeigt chronologisch und themenorientiert einen allgemeinen Überblick über die trinkwasserhygienischen Erkenntnisse aus medizinischer Sicht. Für die Entdeckung der verschiedenen Krankheitserreger und Fäkalindikatoren mit Bedeutung für das Trinkwasser findet sich unter 4.2.2 eine eigene Tabelle.

4.2.1 Allgemeiner Überblick

Bis Mitte/Ende des 19. Jahrhunderts

- **Kein Bezug** zwischen medizinischen Maßnahmen und Trinkwasser

Quellen: 2,10-12

1880er Jahre

- Begründung der **Wasserbakteriologie** unter R. Koch als Verfechter der Keim-Theorie und Gegner der Boden-Theorie
- Nachweis des **Cholera-Erregers** sowie dessen Übertragung durch Trinkwasser durch R. Koch (1883/84)

Quellen: 2,10,11,13,31,63,66,75

1892

- R. Kochs trinkwasserhygienische Erkenntnisse zum **Cholera-Erreger** während der Epidemie in Hamburg:
 - Schnelle Keimvermehrung durch niedrigen Wasserstand der Elbe und sommerliche Temperaturen
 - Infektionen durch ungereinigte Trinkwasserentnahme aus der Elbe und aus Abwasserkanälen
 - Schnelle Ausbreitung der Keime durch zentrale Trinkwasserversorgung ohne vorgeschaltete Filtration oder Desinfektion
 - Beschleunigung der Keimausbreitung durch schlechte hygienische Verhältnisse in vielen Stadtvierteln
 - Scheinbar präventiver Effekt der Sandfiltrationsanlage im Wasserwerk von Altona
- Gipfel des **wissenschaftlichen Disputs** zwischen R. Koch und M. v. Pettenkofer: Pettenkofers Selbstversuch mit Cholera-Erregern

Quellen: 2,43,47,59,63,66

1893

- R. Kochs Abhandlung zur **Sandfiltration**: „Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwässern durch Sandfiltration“
- R. Kochs Definition der **Koloniezahl**:
 - max. 100 KBE pro ml Trinkwasser
 - Aussagekraft bzgl. der allgemeinen Trinkwasser-Flora

Quellen: 47,76,98

1896

- Erstmalige Beschreibung des **Indikatorprinzips** für die mikrobiologische Wasseruntersuchung durch F. Loeffler

Quelle: 75

Anfang des 20. Jahrhunderts

- Die mikrobiologische Diagnostik von **E. coli und coliformen Keimen** wird u.a. durch A. Gärtner vertieft und präzisiert (um 1910).
- Nachweis von **Viren** im Trinkwasser möglich, aber nicht standardisiert und wenig sensitiv (1920er bis 40er Jahre)

Quellen: 19,75

Im Verlauf des 20. Jahrhunderts (keine genauere Zeitangabe möglich)

- Weiterentwicklung der **Trinkwasseraufbereitung** in den Wasserwerken:
 - **Filtration**
 - Zunächst Einführung und Weiterentwicklung der Langsandsand-Filtration
 - Spätere Ablösung durch die Schnellsand-Filtration
 - Hohe Effektivität in Kombination mit Flockung
 - **Flockung**
 - Mikroorganismen und Schmutzpartikel bilden Präzipitate und können so durch Sedimentation aus dem Wasser entfernt werden.
 - In Kombination mit Filtration sehr effektiv
 - Stoffe/ Verfahren zur **Desinfektion** (Auswahl):
 - **Chlor** hat sich zur Wasserdeshinfektion bewährt.
 - Vorteile: relativ einfache Handhabung, desinfizierende Nachwirkung im Trinkwassernetz, gute Geruchswirksamkeit, kostengünstig und bei korrekter Anwendung gesundheitlich unbedenklich
 - Nachteile: allein nicht ausreichend, um Trinkwasser aufzubereiten, da manche Bakterien sowie bestimmte Viren oder Parasiten nicht vollständig eliminiert werden
 - **Chlordioxid** kann für Wasser mit erhöhten pH-Werten verwendet werden.
 - **Ozon** wird auch zugelassen, ist aber teuer und zeigt keine desinfizierende Nachwirkung im Trinkwassernetz.
 - Die **UV-Bestrahlung** erweist sich zwar als ungeeignet für die Anwendung bei getrübttem Wasser und in größeren Anlagen, wird aber im Verlauf auch als Desinfektionsmethode zugelassen.

Quellen: 19,25,47,58,76,95,131

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zur **natürlichen Wasseraufbereitung**:

- **Grundwasser** kann nach einer Filtration durch die Bodenschichten aus mikrobiologischer Sicht Trinkwasserqualität aufweisen.
- **Oberflächenwasser** (z.B. aus Talsperren, Seen oder Flüssen) bedarf aufgrund potentieller Kontaminationen immer einer intensiven künstlichen Aufbereitung, falls es zur Trinkwassergewinnung herangezogen wird.

Quellen: 19,47,95

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zum Einfluss der **Witterung**:

U.a. die Analyse der Typhus-Epidemie 1919 in Pforzheim macht deutlich, dass Krankheitserreger, wenn sie sich in **menschlichen Fäkalien** befinden, die zur Düngung auf Feldern verwendet werden, sich im Rahmen einer **Überschwemmung** durch Starkregen oder Schneeschmelze mit dem Wasser fortbewegen und beispielsweise in Brunnen gelangen können.

Quelle: 42

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Pseudomonas aeruginosa** (Entdeckung 1894):

- Orale Aufnahme kontaminierten Wassers i.d.R. gesundheitlich unkritisch
- Atemwegs-, Harnwegs- und Wundinfektionen durch Kontakt mit kontaminiertem Wasser möglich (**insbesondere nosokomiale Infektionen**)
- Sehr schnelle Keimvermehrung in wässrigem Milieu und daher auch im **Trinkwassernetz** möglich
- Bildung von **Biofilmen** in Wasserleitungen, die Nährstoffmangel kompensieren können und den Keim vor Umwelteinflüssen und Desinfektionsmaßnahmen schützen
- **Technische Aspekte** der Trinkwasserleitungen und -installationen sind entscheidend für die Keimvermehrung
- Keimvermehrung nicht mit Fäkalindikatoren, aber mit Erhöhung der Koloniezahl assoziiert

Quellen: 14,47,54,76,82

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **atypischen Mykobakterien** (Entdeckung Anfang des 20. Jahrhunderts):

- Orale Aufnahme kontaminierten Wassers i.d.R. gesundheitlich unkritisch
- Infektionen durch Inhalation von kontaminierten Wasseraerosolen oder durch (Schleim-)Hautkontakt mit kontaminiertem Wasser möglich
- Keimvermehrung im **Trinkwassernetz** möglich
- Bildung von **Biofilmen** in Wasserleitungen, die Nährstoffmangel kompensieren können und den Keim vor Umwelteinflüssen und Desinfektionsmaßnahmen schützen
- Verhalten bei der Trinkwasseraufbereitung: **Keine** vollständige Elimination durch Filtration
- Keimvermehrung nicht mit Fäkalindikatoren, aber mit Erhöhung der Koloniezahl assoziiert

Quellen: 14,47,54,102

Zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts (keine genauere Zeitangabe möglich)

- Weiterentwicklung und Differenzierung der **mikrobiologischen Diagnostik** unter Einfluss nationaler und internationaler Forschung:
 - **Koloniezahl:**
 - Abhängigkeit von der Dynamik des Wasserflusses, dem Nährstoffangebot für Mikroorganismen, den in Wasserleitungen verwendeten Materialien, Undichtigkeiten im Rohrsystem und den Bodenverhältnissen
 - Aussagekraft bzgl. Wiederverkeimung im Trinkwassernetz sowie Herkunft des Trinkwassers
 - Bedeutung für Kontaminationen mit Keimen nicht-fäkalen Ursprungs
 - Erforschung der diagnostischen Relevanz von Richt- und Grenzwerten und Bebrütungstemperaturen für die Koloniezahl
 - **Fäkalindikatoren:**
Modifizierung der Untersuchungsmethoden für E. coli und coliforme Keime
 - Etablierung eines **europäischen Standards** für die mikrobiologische Untersuchung von Trinkwasser im Jahr 1970
 - Einführung weiterer Indikator-Keime (EG-Trinkwasser-Richtlinie 1980):
 - **Fäkal-Streptokokken** bzw. Enterokokken mit Aussage über eine fäkale Verunreinigung
 - **SSA inkl. Sporen** mit Aussage über eine fäkale Verunreinigung und später auch über eine potentielle Kontamination mit parasitären Dauerformen (wissenschaftlich umstritten)

Quellen: 14,47,75,76

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu (enteralen) **Viren** (erste Nachweise im Trinkwasser 1920er – 1940er Jahre):
 - Aufgrund der viralen Interaktion mit Bodenpartikeln können Viren lange (teils viele Monate) im **Boden sowie Oberflächen- und Grundwasser** überleben und beispielsweise durch eine Überschwemmung reaktiviert werden (z.B. bei der Epidemie Halle (Saale) 1981/82).
 - Verhalten bei der **Trinkwasseraufbereitung:**
 - Konventionelle Desinfektionsmaßnahmen wirken zwar viruzid, genügen aber nicht für eine vollständige Viruselimination.
 - Die Untergrundpassage sowie Filtration und Flockung erreichen eine vollständige Virus-Elimination.
 - Konzentration im Wasser um den Faktor 10^3 - 10^5 kleiner als die von Bakterien, daher direkter **Virus-Nachweis** schwierig (sehr große Probenvolumina nötig) und begrenzte Aussagekraft bakterieller Fäkalindikatoren für eine virale Kontamination
 - Entwicklung eines viralen **Indikatorsystems** mit Hilfe von (Fäkal-) Bakteriophagen, da diese einfacher nachweisbar sind und Ähnlichkeit zu humanpathogenen Viren aufweisen
 - Entwicklung der molekularen Hybridisation zum Virus-Nachweis für spezielle Fragestellungen
 - Empfehlung in den **SWTR** (USA 1989) zur virologischen Diagnostik: Es sollten keine direkte virologische Diagnostik, sondern lediglich ein bestimmtes Maß an Desinfektionsmaßnahmen bei der Trinkwasseraufbereitung sowie detaillierte bakteriologische Untersuchungen erfolgen.

Quellen: 14,19,24,72,73,78,88

1970er Jahre bis zum Ende des 20. Jahrhunderts

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Legionellen** (Entdeckung 1976/77 in den USA):
 - Orale Aufnahme kontaminierten Wassers i.d.R. gesundheitlich unkritisch
 - Atemwegsinfektion durch Inhalation von kontaminierten Wasseraerosolen möglich
 - **Wichtige epidemiologische Bedeutung** (viele wasser-assoziierte Infektionen und Todesfälle in DE)
 - Keimvermehrung im **Trinkwassernetz** möglich
 - **Technische Aspekte** der Trinkwasserleitungen und -installationen sind entscheidend für die Keimvermehrung (z.B. warme Wassertemperaturen und stagnierender Wasserfluss)
 - Identifikation von z.B. Klimaanlage, Springbrunnen oder zahnärztlichen Einheiten als Infektionsquellen
 - Keimvermehrung weder mit Fäkalindikatoren, noch mit Erhöhung der Koloniezahl assoziiert
 - Legionellen vermehren sich mit/in Amöben

Quellen: 14,20,47,54,70,76

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse anhand der Shigellen-Epidemie in Ismaning (1978) und der Typhus-Epidemie in Jena (1980):
 - Die **Missachtung der technischen und staatlichen Vorgaben** zur Trinkwasserversorgung kann jederzeit, unabhängig vom medizinischen und gesetzlichen Status einer Gesellschaft, zu einer trinkwasser-assoziierten Epidemie führen.
 - Bei der **Ursachenklärung** einer trinkwasser-assoziierten Epidemie kommt es neben Personenstärke, Schnelligkeit und Koordination besonders auf eine ergebnisoffene und objektive Haltung an, damit Fehlinterpretationen und Informationsverluste vermieden werden.

Quellen: 14,129

1980er Jahre

- Veröffentlichung der ersten **EG**-Trinkwasser-Richtlinie (1980)
- Veröffentlichung der ersten **WHO**-Trinkwasser-Richtlinie (1984)
- Veröffentlichung der **SWTR** in den USA zur Aufbereitung von Oberflächenwässern (1989)

Quellen: 18,19,65,127

Ende des 20. Jahrhunderts/1990er Jahre

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Protozoen fäkalen Ursprungs** (Entdeckung 19. Jahrhundert oder Anfang 20. Jahrhundert):
 - Für die Trinkwasserversorgung sind von Bedeutung:
 - Kontaminationen durch **Abwässer, Wildtiere oder Oberflächenwässer**
 - **Undichtigkeiten** im Rohrsystem
 - Unsachgemäße **Düngung** in Trinkwasserschutzgebieten
 - besonders relevant für das Trinkwasser sind **Giardien und Cryptosporidien**
 - Orale Aufnahme kontaminierten Wassers kann zu Durchfallerkrankungen führen
 - Parasitäre Dauerformen (Oozysten) kommen ubiquitär vor und weisen eine **hohe Resistenz** gegenüber Umwelteinflüssen auf, sodass sie im Freien teils monatelang überleben können.
 - Verhalten bei der Trinkwasseraufbereitung:
 - **hohe Resistenz** gegenüber Desinfektionsmaßnahmen
 - Filtration und Flockung zeigen eine effektive Elimination dieser Erreger
 - Konzentration im Wasser deutlich kleiner als die von Bakterien, daher direkter **Nachweis** schwierig (sehr große Probenvolumina nötig)
 - Erheblich höhere Resistenz (s.o.) im Vergleich zu Bakterien bzw. Indikator-Keimen, daher stark begrenzte Aussagekraft bakterieller Fäkalindikatoren hinsichtlich einer Kontamination mit Protozoen
 - Ausnahme: **SSA (z.B. Clostridium perfringens)** weisen in Form ihrer Sporen ebenfalls eine hohe Resistenz (s.o.) auf und haben daher eine potentielle Aussagekraft als Indikator hinsichtlich einer Kontamination mit Protozoen (wissenschaftlich umstritten).
 - Amöben begünstigen die Vermehrung anderer Keime im Wasser, z.B. von Legionellen oder Cholera-Vibrionen.
 - Aktueller Stand (UBA 2001):
 - Häufigste Infektionsursachen seien direkter Kontakt zu Nutztieren und Verzehr von Rohmilch
 - Derzeit sei eine Kontamination des Trinkwassers mit Parasiten nicht anzunehmen, aber die **unsichere Datenlage** erlaube keine valide Prognose zur trinkwasserhygienischen Entwicklung.

Quellen: 7,14,25,36,47,54,83,85,93,103,107

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Aeromonaden** (Entdeckung 1980er Jahre in DE):
 - GIT-Infektion durch orale Aufnahme kontaminierten Wassers möglich
 - Weitere Infektionswege möglich
 - Keimvermehrung im **Trinkwassernetz** möglich
 - Keimvermehrung nicht mit Fäkalindikatoren, aber mit Erhöhung der Koloniezahl assoziiert

Quellen: 14,47,54,74

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Akanthamöben (Protozoen nicht-fäkalen Ursprungs)** (Entdeckung im 19. Jahrhundert):

- Orale Aufnahme kontaminierten Wassers i.d.R. gesundheitlich unkritisch
- Infektion der Hornhaut des Auges nach Kontakt mit kontaminiertem Wasser, insbesondere bei der unsachgemäßen Anwendung von Kontaktlinsen (schwer behandelbare „**Kontaktlinsen-Keratitis**“)
- Selten Entwicklung einer Enzephalitis nach Infektion
- Keimvermehrung im **Trinkwassernetz** möglich
- Amöben begünstigen die Vermehrung anderer Keime im Wasser, z.B. von Legionellen oder Cholera-Vibrionen.

Quellen: 7,14,47,85

➤ Veröffentlichung der zweiten **WHO**-Trinkwasser-Richtlinie (1993)

➤ Veröffentlichung der zweiten **EG**-Trinkwasser-Richtlinie „98/83/EG“ (1998)

Quellen: 4,8,14,19,127

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zum **HEV** (Entdeckung 1983):

- Trinkwasser-assoziierte Epidemien durch das HEV verlaufen deutlich **ausgeprägter** als durch das HAV.
- Entsprechenden Epidemien der Vergangenheit kann das HEV **nachträglich** als Ursache zugeschrieben werden.

Quellen: 19,78,87

Ab dem Jahr 2000

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Legionellen** (Entdeckung 1976/77 in den USA):

- **Häufung** von Legionellen-Ausbrüchen nach Einführung der Meldepflicht gemäß dem IfSG (2000/01) und spezifischer Vorgaben in der TrinkwV (2001/03)
- Feststellung erheblicher **Kontaminationen** in den Wasserleitungen öffentlicher Gebäude inkl. Krankenhäuser
- Opportunistisches Wachstum in **Biofilmen**, die den Keim widerstandsfähiger machen, möglich

Quellen: 4,20,21,47,70,106,111

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Pseudomonas aeruginosa** (Entdeckung 1894):

Feststellung erheblicher **Kontaminationen** in den Wasserleitungen öffentlicher Gebäude inkl. Krankenhäuser

Quellen: 82,111

- Veröffentlichung der dritten und vierten/aktuellen **WHO**-Trinkwasser-Richtlinie (2003 und 2017):
 - Aktualisierte **Liste an Mikroorganismen** mit trinkwasserhygienischer Bedeutung
 - Aktualisierte Darstellung der **relevanten Infektionswege** der jeweiligen Mikroorganismen:
 - Orale Aufnahme kontaminierten Wassers
 - Inhalation kontaminierter Wasseraerosole
 - (Schleim-)Hautkontakt mit kontaminiertem Wasser
 - Detaillierte Darstellung weiterer **spezifischer Faktoren bzw. Eigenschaften** der jeweiligen Mikroorganismen

Quellen: 47,121

- Bedeutung vom bakteriellen Stadium „**VBNC**“ (Viable but non culturable):
 - Es gibt ein bakterielles Stadium, in dem die Keime nicht durch kulturelle Anzucht nachweisbar, aber dennoch vorhanden sowie potentiell vermehrungsfähig und gesundheitsschädlich sind.
 - Die trinkwasserhygienische Bedeutung ist Gegenstand **aktueller Forschung**.

Quelle: 111

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zur **Trinkwasseraufbereitung**:
 - Jede Form der Trinkwasseraufbereitung inkl. Desinfektion birgt das Risiko einer neuen mikrobiellen Kontamination.
 - Es gilt daher ein **Minimierungsgebot**, also keine prophylaktischen Desinfektionsmaßnahmen durchzuführen.

Quelle: 111

- Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Biofilmen** in Wasserleitungen:
 - Als typische **Biofilm-Bildner** sind Pseudomonas aeruginosa und atypische Mykobakterien bereits bekannt.
 - **Dunkle Biofilme** an Trinkwasserinstallationen werden hauptsächlich durch Hefen gebildet (s. Pilze).
 - Problematisch ist auch das opportunistische Wachstum von **Legionellen** und anderer Mikroorganismen, die in Biofilmen widerstandsfähiger sind.
 - Relevante **technische Faktoren** der Biofilm-Bildung sind:
 - Warme Wassertemperaturen,
 - stagnierender Wasserfluss,
 - die in Wasserleitungen verwendeten Materialien, insbesondere Kunststoffe, die auf molekularer Ebene von Bedeutung sind. Selbst bei **fabrikneuen Werkstoffen** können Biofilme binnen weniger Wochen entstehen.
 - Aktueller Stand: Werkstoffe, die den **anerkannten Regeln der Technik** entsprechen, bieten die besten Voraussetzungen für Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen sowie gegen Biofilm-Bildung.

Quellen: 14,47,111

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **Pilzen** in Wasserleitungen
(Gegenstand aktueller Forschung):

- **Dunkle Biofilme** an Trinkwasserinstallationen werden hauptsächlich durch schwarze Hefen gebildet, deren Vorkommen im Trinkwasser nach aktueller Forschung gesundheitlich unbedenklich ist und die vermutlich nicht aus dem Trinkwassernetz, sondern aus der Umgebungsluft stammen.
- Problematisch sind **Aspergillen**, insbesondere in Wasserleitungen von Krankenhäusern oder Hausinstallationen immunsupprimierter Menschen:
 - Orale Aufnahme kontaminierten Wassers i.d.R. gesundheitlich unkritisch
 - Atemwegsinfektionen durch Inhalation von kontaminierten Wasseraerosolen möglich
- **Technische Aspekte** der Trinkwasserleitungen und -installationen sind entscheidend für die Keimvermehrung (z.B. stagnierender Wasserfluss).
- Endständige Einmal-Filter schützen wirksam vor einer Infektion.

Quellen: 30,110,112

➤ Trinkwasserhygienische Erkenntnisse zu **SARS-CoV-2**
(Entdeckung von Coronaviren 1964):

- **WHO-Trinkwasser-Richtlinie** (2017):
Coronaviren können durch Inhalation kontaminierter Wasseraerosole übertragen werden.
- **Stellungnahme des UBA** (März 2020):
Es besteht keine Gefahr einer Übertragung von SARS-CoV-2 durch Trinkwasser, denn Coronaviren persistieren nur relativ kurz im Wasser und würden durch die gängigen Aufbereitungsmaßnahmen leicht inaktiviert.

Quellen: 92,109,121

4.2.2 Entdeckung von Krankheitserregern und Fäkalindikatoren (FÄ) mit Bedeutung für das Trinkwasser (Auswahl)

Mikroorganismus	Entdeckung	Bezug zum Trinkwasser	TrinkwV	Quellen
Enterale Würmer	k. A.	Anfang/ Mitte 20. Jahrhundert	Nein	4,47,71-73,79
Entamoeba histolytica (Protozoen), Amöbenruhr	Mitte 19. Jahrhundert	1875/83 (DE)	Nein	4,14,47,71-73,77,85
Acanthamoeba (Protozoen), Amöbenkeratitis	Mitte 19. Jahrhundert	Ende 20. Jahrhundert	Nein	4,14,47,71-73,85
Aspergillus/ Schimmelpilz	Mitte 19. Jahrhundert	Anfang 21. Jahrhundert	Nein	4,71-73,112,119,120
Schistosoma (mansoni) (Würmer)	1851 (Ägypten)	k. A.	Nein	4,47,71-73,104,105
Giardia (Protozoen), Giardiasis	Mitte/ Ende 19. Jahrhundert	1990er Jahre	Nein	4,14,25,47,71-73,83
Vibrio cholerae, Cholera	1883/84 (DE)	1883/84 (DE)	Nein	2,4,31,47,63,66,71-73
Salmonella, Typhus	1880-90 (DE)	1880-90 (DE)	Nein	4,41,47,64,71-73
Pathogene Staphylokokken	1884 (DE) (Staph. aureus)	1966 (DE)	1986 – 2001/03	4,71-73,76,125,126
E. coli (FÄ)	1886 (DE)	1890er Jahre	Ab 1975/76	4,47,71-73,75,76,94
Campylobacter	1886 (DE)	k. A.	Nein	4,47,71-73,100
SSA bzw. Clostridium perfringens (FÄ, s. Anmerkungen), Gasbrand	1892 (USA)	Um 1900	Ab 1986	4,47,71-73,76,86,107
Pseudomonas aeruginosa	1894 (DE)	k. A.	Ab 1986	4,14,47,71-73,82
Yersinia	1894 (Schweiz)	k. A.	Nein	4,14,47,71-73,99,122
Salmonella, Paratyphus	1896 (Frankreich) Um 1900 (DE)	Anfang 20. Jahrhundert	Nein	4,41,47,71-73,81
Shigella, Bakterielle Ruhr	1897/98 (Japan) 1900 (DE)	k. A.	Nein	4,47,64,71-73,77
Coliforme Keime (FÄ, s. Anmerkungen)	Anfang 20. Jahrhundert (DE)	Anfang 20. Jahrhundert (DE)	Ab 1975/76	4,47,71-73,75,122
Atypische Mykobakterien	Anfang 20. Jahrhundert	1922	1990/91 – 2001/03	4,14,47,71-73,102
Fäkalbakteriophagen (FÄ)	Anfang 20. Jahrhundert	Ende 20. Jahrhundert	1986 – 2001/03	4,71-73,88
Cryptosporidien (Protozoen)	1907	1990er Jahre	Nein	4,14,25,47,71-73,93

Toxoplasma gondii (Protozoen)	1908 (Tunesien)	Ende 20. Jahrhundert	Nein	4,47,71-73, 103
Acinetobacter	1911 (Niederlande)	k. A.	Nein	4,14,71-73, 113
Burkholderia pseudomallei, Melioidose	1911 (Myanmar)	k. A.	Nein	4,47,71-73, 101
Flavobacterium	1923	k. A.	Nein	4,14,71-73, 114
Leptospira, Leptospirose	1927	1939 (DE)	Nein	4,47,71-73,79, 80
Fäkal-Streptokokken/ Enterokokken (FÄ)	1930er Jahre (USA)	1980er Jahre (WHO)	Ab 1986	4,47,71-73,76, 84
Pathogene E. coli (hier EPEC)	1945 (Großbritannien)	k. A.	Nein	4,14,47,71-73, 115
Legionella pneumophila/ Legionellen	1977 (USA)	1977 (USA)	Ab 1990/91	4,14,47,70-73
Aeromonas	1980er Jahre	1990er Jahre (USA)	Nein	4,14,47,71-74
Enterale Viren (Überbegriff)	s.u.	s.u.	1986 – 2001/03	4,19,47,71-73
➤ Poliomyelitis-Viren	1908 (Österreich)	1940er Jahre (USA)	Nein	4,14,19,71-73, 78,79,89
➤ Coronaviren	1964	k. A.	Nein	4,71-73,78,92
➤ Norwalk- und Noro-Viren (Caliciviren)	1972	1980er Jahre	Nein	4,19,47,71-73, 78,90,121
➤ HAV, Virushepatitis	1973 (s. Anmerkungen)	1940er Jahre (USA) (s. Anmerkungen)	Nein	4,19,22,47,62, 71-73,78,79
➤ Rotaviren	1973	1980er Jahre	Nein	4,19,47,71-73, 78,91
➤ Enterale Adenoviren	1975	1980er Jahre	Nein	4,19,47,71-73, 78,91
➤ HEV, Virushepatitis	1983 (Russland)	Um 2000	Nein	4,14,19,47, 71-73,78,87
Nicht-enterale Adenoviren	k. A.	1980er Jahre	Nein	4,71-73,78

Anmerkungen:

Ursprung der Erreger: Bei den allermeisten Krankheitserregern liegt ein fäkaler Ursprung vor (menschliche oder tierische Ausscheidungen). Dies gilt **nicht** für: Akanthamoeben, Aspergillus, Pseudomonas aeruginosa, Yersinien, atypische Mykobakterien, Acinetobacter, Burkholderia, Flavobakterien, Leptospiren (gelangen über tierischen Urin in das Wasser), Legionellen, Aeromonaden und nicht-enterale Adenoviren. Der Ursprung von „pathogenen Staphylokokken“ (z.B. Staphylokokkus aureus) ist sehr variabel. (Quellen: s. Tabelle)

Infektionsweg: Für die große Mehrheit der oben aufgeführten Krankheitserreger ist die orale Aufnahme von kontaminiertem Wasser für die Infektion entscheidend. Das gilt **nicht** für: Akanthamöben, Aspergillus, Schistosoma mansoni, Pseudomonas aeruginosa, Yersinien, atypische Mykobakterien, Acinetobacter, Burkholderia, Flavobakterien, Leptospiren, Legionellen und nicht-enterale Adenoviren. Bei diesen Krankheitserregern spielt die Inhalation von kontaminierten Wasseraerosolen oder der (Schleim-)Hautkontakt mit kontaminiertem Wasser die entscheidende Rolle. Für manche der in der Tabelle aufgelisteten Krankheitserreger kommen mehrere der genannten Übertragungswege in Frage. Angemerkt sei in diesem Kontext, dass die orale Aufnahme von den fünf Krankheitserregern, die in der Tabelle als Fäkalindikatoren (FÄ) bezeichnet werden, in aller Regel keinen Krankheitswert hat und auch hier andere Übertragungswege für eine Erkrankung relevant sind. (Quellen: s. Tabelle)

Weitere Anmerkungen:

SSA (z.B. Clostridium perfringens) bzw. deren Sporen besitzen einen Indikatorwert für fäkale Verunreinigung und potentiell auch für das Vorkommen desinfektions- und umweltresistenter Keime im Trinkwasser, beispielsweise parasitärer Dauerformen. Letzterer Zusammenhang ist allerdings wissenschaftlich umstritten. (Quellen: s. Tabelle)

Coliforme Bakterien sind keine eindeutigen Fäkalindikatoren. Sie haben auch eine Aussagekraft als Indikator für eine nicht-fäkale Verunreinigung, beispielsweise eines Brunnens durch Eintrag aus der umgebenden Bodenoberfläche. Ihnen gehören u.a. die Bakterien Citrobacter, Enterobacter oder Klebsiella an. (Quellen: s. Tabelle)

Das **HAV** wurde 1973 erstmals im Stuhl eines Erkrankten elektronenmikroskopisch nachgewiesen. Die fäkal-orale Übertragung dieser Hepatitis-Form, die trinkwasserhygienisch relevant ist, wurde aber schon in den 1940er Jahren erkannt. (Quellen: s. Tabelle)

Die früher sehr häufig in Zusammenhang mit Trinkwasser auftretende Erkrankung „**Brechdurchfall**“ bzw. „**Wasserkrankheit**“ wird hier nicht aufgeführt, da es sich um einen uneindeutigen klinischen Begriff handelt, der auf unterschiedliche Mikroorganismen zurückgeführt werden kann^(23,79).

Laut der **WHO**-Trinkwasser-Richtlinie aus dem Jahr 2017 sind zusätzlich zu den in der Tabelle aufgeführten folgende Mikroorganismen für das Trinkwasser von Bedeutung⁽¹²¹⁾:

- Mögliche Kontaminationen der Wasserleitungen:
Aktinomyzeten, Pilze, Cyanobakterien, Algen, wirbellose Tierchen und Eisenbakterien⁽¹²¹⁾
- Krankheitserreger:
Francisella, Helicobacter pylori, Tsukamurella, Astroviren, Echoviren, Sapoviren (Caliciviren), Balantidium coli (Protozoen), Blastocystis (Protozoen), Cyclospora cayetanensis (Protozoen), Isospora belli (Protozoen), Microsporidia (Protozoen), Naegleria fowleri (Protozoen), Dracunculus medinensis (Würmer), Fasciola (Würmer), Freie Nematoden (Würmer) und toxische Cyanobakterien⁽¹²¹⁾

4.3 Die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE

Die Tabelle 4.3.1 zeigt einen allgemeinen chronologischen Überblick der Maßnahmen zur Verbesserung der Trinkwasserhygiene in DE. Die darauffolgenden Kapitel heben die deutschen Richtlinien (4.3.2) und Gesetze (4.3.3) mit Bezug zum Trinkwasser sowie die Entwicklung der deutschen TrinkwV (4.3.4) hervor.

4.3.1 Allgemeiner Überblick

Jahr	Maßnahmen	Quellen
Bis Mitte 19. Jh.	Kein Bezug zwischen staatlichen Maßnahmen und Trinkwasser	10,11
Ab 1848	Bau der ersten Wasserwerke in DE, zuerst in Hamburg Rothenburgsort (1848) und Berlin (1856)	3
1852	Bayrisches Strafgesetz (s. 4.3.3)	66
1858	Bau der ersten Kanalisation in DE (München)	59,60
1859	Bau des ersten Wasserwerks mit Sandfiltrationsanlage in DE (Altona)	59
1859	Gründung des "Vereins deutscher Gasfachmänner und Bevollmächtigter deutscher Gas-Anstalten" (später DVGW) in Frankfurt a. M.	3
1866	„Maßregeln gegen Choleraüberbreitung“ (s. 4.3.3)	66
1870	Der „Verein deutscher Gasfachmänner und Bevollmächtigter deutscher Gas-Anstalten“ (später DVGW) bekommt eine eigene Wasser-Abteilung.	1,3
1876	Gründung des kaiserlichen Gesundheitsamtes	55,68
1882	Die erste Kläranlage geht in Frankfurt a. M. in Betrieb.	59
1882	Der „Verein deutscher Gasfachmänner und Bevollmächtigter deutscher Gas-Anstalten“ bekommt einen neuen Namen: "Deutscher Verein von Gas- und Wasserfachmännern" (DVGW)	3
1891	Gründung des RKI (damals „Königlich Preußisches Institut für Infektionskrankheiten“)	31

1892	<p>Trinkwasserhygienische Maßnahmen der Stadt Hamburg gegen die Cholera:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bekanntmachung von Verhaltensregeln (z.B. Abkochen von Wasser vor dem Verzehr) • Bereitstellung von Fasswagen, die abgekochtes Wasser für die Einwohner verteilen • Gründung eines Hygiene-Instituts ein Monat nach Beginn der Epidemie (seine Aufgaben waren z.B. Erregernachweise im Trink- und Abwasser oder die Lebensmittel-Überwachung) • Bau einer Sandfiltrationsanlage im Wasserwerk auf der Elbinsel Kaltehofe (Fertigstellung 1893) • Neue Gesetzgebung, um künftig Haus- und Wohnungsbau mit hygienisch einwandfreien (Wasser-)Verhältnissen zu ermöglichen 	2,31,43, 63,66
1893	Der DVGW erstellt das erste Regelwerk zur Verbesserung der Wasserhygiene (s. 4.3.2).	3
1898/99	„ Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwässern durch Sandfiltration “ werden zur staatlichen Empfehlung (s. 4.3.2).	47,65,97
1900	Reichseuchengesetz (s. 4.3.3)	55
1906	Unter Mitarbeit des DVGW veröffentlicht das kaiserliche Gesundheitsamt die AW1906 (s. 4.3.2).	3,45,47,65
1930	Erste Fassung der DIN 1988 (s. 4.3.2)	1,17
1934/35	Gesetz zur Vereinheitlichung des Gesundheitswesens (s. 4.3.3)	53,65,67
1941	Erste Fassung der DIN 2000 (s. 4.3.2)	3,23,46,65
1948	erste „ WAT “ des DVGW in Hannover	3
1958	Zweiten Fassung des Lebensmittelgesetzes (s. 4.3.3)	23,67
1959/60	TAVO (s. 4.3.3)	58,65
1961	Bundes-Seuchengesetz (s. 4.3.3)	51,55
1974	Gesetz zur Gesamtreform des Lebensmittelrechts: Neufassung des Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetzes (s. 4.3.3)	18,65,67, 69
1974	Gründung des UBA	128
1975/76	Erste Fassung der TrinkwV (s. 4.3.4)	3,65,71
1976	Der DVGW bekommt einen neuen Namen: "Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V. - technisch-wissenschaftliche Vereinigung"	3
1980	AVBWasserV (s. 4.3.3)	6,17,18

1986	Zweite Fassung der TrinkwV (s. 4.3.4)	69,72
1990/91	Dritte Fassung der TrinkwV (s. 4.3.4) mit Außerkrafttreten der TAVO	14,19,69,73
Um 2000	Fusion DVGW & DELIWA mit dem gemeinsamen Namen „Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. - technisch-wissenschaftlicher Verein“	3,44
2000/01	IfSG (s. 4.3.3) mit Außerkrafttreten des Bundes-Seuchengesetzes	5,55
2001/03	Vierte und aktuelle Fassung der TrinkwV (s. 4.3.4)	4
2008	Der DVGW setzt mit dem Arbeitsblatt W 1001 den WSP der WHO um.	49,52,127
2011	Änderung der gültigen TrinkwV , u.a. mit Einführung des technischen Maßnahmenwertes für Legionellen (s. 4.3.4)	106
2013	Herausgabe der Richtlinie VDI/DVGW 6023 durch den DVGW und VDI (s. 4.3.2)	35,56
2014	Kooperationsvereinbarung zwischen DVGW und DIN für Normung und Regelsetzung im Bereich des Trinkwassers	3

4.3.2 Deutsche Richtlinien mit Bezug zur Trinkwasserhygiene (Auswahl)

➤ Erstes Regelwerk des DVGW⁽³⁾

Jahr	1893
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	k. A.
Anmerkung	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Verbesserung der Wasserhygiene • Sammlung technischer Regeln, die sich an R. Kochs Abhandlung zur Sandfiltration orientiert (s. 4.2.1)

➤ „Grundsätze für die Reinigung von Oberflächenwässern durch Sandfiltration“^(47,65,97,98)

Jahr	1898/99
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	„Ein befriedigendes Filtrat soll beim Verlassen des Filters in der Regel nicht mehr als ungefähr 100 Keime im Kubikzentimeter enthalten.“ (Koloniezahl nach R. Koch, s. 4.2.1)
Anmerkung	<ul style="list-style-type: none"> • Vom Bundesrat genehmigte Empfehlung auf Grundlage von R. Kochs Abhandlung zur Sandfiltration von 1893 (s. 4.2.1) • Empfehlung von technischen und hygienischen Anhaltspunkten für die Trinkwasserqualität inkl. bakteriologischer Untersuchung & Methoden

➤ „Anleitung für die Errichtung, den Bau und die Überwachung öffentlicher Wasserversorgungsanlagen, welche nicht ausschließlich technischen Zwecken dienen“ (AW1906)^(3,45,47,65)

Jahr	1906
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	k. A.
Anmerkung	<ul style="list-style-type: none"> • Unter Mitarbeit des DVGW erstellt das kaiserliche Gesundheitsamt die AW1906, die nach Zustimmung des Bundesrates als unverbindliche Richtlinie veröffentlicht wird. • Empfehlung von technischen und hygienischen Anhaltspunkten für die Trinkwasserqualität inkl. bakteriologischer Untersuchung & Methoden • Empfehlung von Kontrollen durch ein eigenständiges Organ (Gesundheitsamt)

➤ **DIN 1988**^(1,17)

Jahr	1930 (Erste Fassung)
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkung	„ Technische Vorschriften für Bau und Betrieb von Wasserversorgungsanlagen für Grundstücke“

➤ **DIN 2000**^(3,23,46,65,127)

Jahr	1941 (Erste Fassung)
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	Trinkwasser muss keimarm und frei von Krankheitserregern sein.
Anmerkung	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung durch den DVGW: "Zentrale Trinkwasserversorgung; Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau und Betrieb der Anlagen" mit allgemeinen, technischen, chemischen, physikalischen und hygienischen Vorgaben (Trinkwasser darf keine gesundheitsschädlichen Eigenschaften haben) • Spätere Ergänzung durch die DIN 2001 („Leitsätze für Einzeltrinkwasserversorgung“)

➤ **VDI/DVGW 6023**^(35,56,108)

Jahr	2013
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	Das Wasser in Leitungen sollte alle 72 Stunden einmal komplett ausgetauscht werden, um einer Vermehrung von Legionellen vorzubeugen.
Anmerkung	Richtlinie des DVGW und VDI für die Hygiene in Trinkwasserinstallationen (Planung, Bau, Betrieb und Wartung) auf Grundstücken sowie in Gebäuden und auf Kauffahrtschiffen

4.3.3 Deutsche Gesetze mit Bezug zur Trinkwasserhygiene

➤ **Bayrisches Strafgesetz**⁽⁶⁶⁾

Jahr	1852
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Erarbeitung unter Einfluss von Max von Pettenkofers Boden-Theorie • Zur Ahndung von unbefugter Verunreinigung von Trinkwasser und Kontrolle durch die Reinlichkeitspolizei

➤ **„Maßregeln gegen Choleraverbreitung“**⁽⁶⁶⁾

Jahr	1866 (Erweiterung 1873/74)
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Erlass durch die preußische Regierung • Allgemeine Hygiene-Maßnahmen, u.a. zur Verhinderung der fäkalen Verunreinigung von Trinkwasser, die sich an dem Bayrischen Strafgesetz von 1852 orientieren

➤ **Reichseuchengesetz**^(55,65)

Jahr	1900
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Fertigstellung unter der Mitwirkung von R. Koch nach einem seit 30 Jahren andauernden Ausfertigungsprozess • Zur allgemeinen Seuchenbekämpfung • Staatliche Kontrolle von Wasserversorgungsanlagen, aber ohne feste bzw. konkrete Anhaltspunkte

➤ **Gesetz zur Vereinheitlichung des Gesundheitswesens und Durchführungsverordnungen**^(53,65,67)

Jahr	1934/35
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	Ab diesem Zeitpunkt sind Gesundheitsämter für die Kontrolle der Trinkwasserversorgung verantwortlich.

➤ **Zweite Fassung des Lebensmittelgesetzes^(23,67)**

Jahr	1958
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	Gesundheitsvorschriften: Trinkwasser darf nicht gesundheitsgefährdend sein.

➤ **Trinkwasseraufbereitungsverordnung (TAVO)^(58,65,69)**

Jahr	1959/60
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Aspekte der Trinkwasseraufbereitung (zugeetzte Stoffe und deren Höchstmengen) • Ab 1990/91 durch TrinkwV ersetzt (s. 4.3.4)

➤ **Bundes-Seuchengesetz^(51,65)**

Jahr	1961
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz des Reichseuchengesetzes • Trinkwasser darf weder durch Genuss noch Gebrauch die Gesundheit gefährden. • Wasserversorgungsanlagen müssen durch das Gesundheitsamt überwacht werden. • Verweis auf den Bundesinnenminister, der über eine weitere Rechtsverordnung die genauen Einzelheiten festlegen soll (Grundlage für die TrinkwV, s. 4.3.4).

➤ **Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz^(18,65,67,69)**

Jahr	1974 (Gesetz zur Gesamtreform des Lebensmittelrechts)
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Enthält Vorschriften zum Schutz der Gesundheit und gilt auch für Trinkwasser. • Enthält Ermächtigungen zum Erlass von Hygiene-Vorschriften (Relevanz für Neufassungen der TrinkwV 1986 und 1990/91, s. 4.3.4).

➤ **Erste Fassung der TrinkwV (1975/76, s. 4.3.4)**

➤ **Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser (AVBWasserV)^(6,17,18)**

Jahr	1980
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	-
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Regelung von primär technischen, wirtschaftlichen, und vertragsrechtlichen Aspekten der Wasserversorgung (z.B. Wasseranschluss, Messeinrichtungen, Haftungskriterien) • Bezug zu technischen Regeln (DIN, DVGW, GS), die dadurch einen verbindlichen Charakter bekommen

➤ **Zweite Fassung der TrinkwV (1986, s. 4.3.4)**

➤ **Dritte Fassung der TrinkwV (1990/91, s. 4.3.4)**

➤ **IfSG^(4,5,8,55,96,117)**

Jahr	2000/01
Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser	„ Wasser für den menschlichen Gebrauch muss so beschaffen sein, dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit, insbesondere durch Krankheitserreger, nicht zu besorgen ist.“ (§ 37 Absatz 1 IfSG)
Anmerkungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ersatz des Bundes-Seuchengesetzes • Gesetzliche Grundlage für die neue TrinkwV (2001/03, s. 4.3.4) • Krankheitserreger-Definition nach dem IfSG: „Ein vermehrungsfähiges Agens (Virus, Bakterium, Pilz, Parasit) oder ein sonstiges biologisches transmissibles Agens, das bei Menschen eine Infektion oder übertragbare Krankheit verursachen kann“ (§ 2 Nummer 1 IfSG)

➤ **Vierte und aktuelle Fassung der TrinkwV (2001/03, s. 4.3.4)**

4.3.4 Die Entwicklung der deutschen TrinkwV seit 1975/76

❖ Die Erste Fassung der TrinkwV (1975/76)^(3,65,71)

Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser

Grenzwerte (Routine-Untersuchung):

- Im Trinkwasser darf kein **E. coli** in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).
- Im Trinkwasser in verschlossenen Behältern für den Verbraucher darf die **Koloniezahl** 1.000 KBE pro ml nicht überschreiten.

Richtwerte (Routine-Untersuchung):

- Im Trinkwasser soll die **Koloniezahl** 100 KBE pro ml nicht überschreiten.
- Im Trinkwasser sollen **keine coliformen** Keime in 100 ml enthalten sein.
- Nach der Aufbereitung soll im Trinkwasser die **Koloniezahl** 20 KBE pro ml nicht überschreiten.
- Im Trinkwasser aus Vorratsbehältern, Schachtbrunnen, sonstigen Einzelversorgungen sowie in Versorgungsanlagen von Fahrzeugen soll die **Koloniezahl** 1.000 KBE pro ml nicht überschreiten.

Trinkwasser muss frei von **Krankheitserregern** sein (s. Anmerkungen).

Gesetzliche Grundlage: Bundes-Seuchengesetz (1961). (Quellen: s. Überschrift)

Grenz- und Richtwerte: In der ersten Fassung der TrinkwV werden erstmalig mikrobiologische Grenz- und Richtwerte gesetzlich festgelegt (s. Tabelle). (Quellen: s. Überschrift)

Krankheitserreger dürfen nicht im Trinkwasser vorkommen. Eine entsprechende Untersuchung, unabhängig von den in der Tabelle genannten Werten, kann von der zuständigen Behörde angeordnet werden und ist keine Routine-Untersuchung. Um welche Mikroorganismen es sich dabei, außer dem Indikator-Keim E. coli und coliformen Keimen, handeln könnte, wird nicht spezifiziert. (Quellen: s. Überschrift)

Mikrobiologische Untersuchungen: Im Anhang enthält diese Fassung der TrinkwV bereits Vorgaben für die mikrobiologischen Untersuchungen auf E. coli, coliforme Keime und die Koloniezahl. (Quellen: s. Überschrift)

Trinkwasseraufbereitung: Weiterhin wird für die Desinfektion auf Chlorbasis ein Nachweis durch entsprechende Chlorrückstände verlangt (mindestens 0,1 mg freies Chlor pro Liter). (Quellen: s. Überschrift)

Weitere Inhalte dieser Fassung der TrinkwV (Quellen: s. Überschrift):

- Die Beschaffenheit des Brauchwassers für Lebensmittelbetriebe
- Chemische und physikalische Parameter bzw. Grenzwerte
- Vorgaben zur Frequenz, Durchführung und Dokumentation der Untersuchungen durch den Usl
- Pflichten, die bei Abweichungen oder Auffälligkeiten vom Usl erfüllt werden müssen (z.B. Meldepflicht)
- Die Aufgaben des Gesundheitsamtes, z.B. Kontrolle von Wasserversorgungsanlagen und Einleitung weiterer Maßnahmen bei Abweichungen
- Definitionen von Ordnungswidrigkeiten und Strafbarkeit auf Grundlage des Bundes-Seuchengesetzes

❖ Die zweite Fassung der TrinkwV (1986)^(18,65,69,72,75,76)

Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser
<p>Grenzwerte (Routine-Untersuchung):</p> <ul style="list-style-type: none">• Im Trinkwasser darf kein E. coli in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser dürfen keine coliformen Keime in 100 ml enthalten sein. Dabei müssen mindestens 95% der Ergebnisse von mindestens 40 Untersuchungen negativ sein.
<p>Grenzwerte (erweiterte Untersuchung):</p> <ul style="list-style-type: none">• Im Trinkwasser dürfen keine Fäkal-Streptokokken in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser dürfen keine SSA in 20 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).
<p>Richtwerte (Routine-Untersuchung):</p> <ul style="list-style-type: none">• Im Trinkwasser soll die Koloniezahl 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 20° und 36°C) nicht überschreiten.• Nach der Aufbereitung soll im Trinkwasser die Koloniezahl 20 KBE pro ml (Bebrütung bei 20°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser aus Vorratsbehältern, Einzelversorgungen sowie in Versorgungsanlagen von Fahrzeugen soll die Koloniezahl 1.000 KBE pro ml (Bebrütung bei 20°C) bzw. 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 36°C) nicht überschreiten.
<p>Trinkwasser muss frei von Krankheitserregern sein (s. Anmerkungen).</p>

Gesetzliche Grundlage: Bundes-Seuchengesetz (1961) sowie Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (1974). (Quellen: s. Überschrift)

Diese Fassung der TrinkwV ist eine Novellierung, die durch die EG-Richtlinie aus dem Jahr 1980 angestoßen worden ist. Die neue TrinkwV soll die Richtlinie in deutsches Recht umsetzen. (Quellen: s. Überschrift)

Grenz- und Richtwerte: Die mikrobiologischen Grenz- und Richtwerte werden in dieser Fassung der TrinkwV an die EG-Richtlinie von 1980 angepasst. Zusätzlich werden an dieser Stelle auch bestimmte Bedingungen zu diesen Werten vorgeschrieben (95%-Regel und Bebrütungstemperaturen, s. Tabelle). (Quellen: s. Überschrift)

Krankheitserreger dürfen nicht im Trinkwasser vorkommen. Eine entsprechende Untersuchung, unabhängig von den in der Tabelle genannten Werten, kann von der zuständigen Behörde angeordnet werden und ist keine Routine-Untersuchung. Von nun an werden in diesem Kontext ausdrücklich folgende Mikroorganismen genannt (Quellen: s. Überschrift):

- Fäkal-Streptokokken (Fäkalindikator mit Grenzwert)
- SSA (Fäkalindikator mit Grenzwert)
- Pseudomonas aeruginosa
- Pathogene Staphylokokken
- Fäkalbakteriophagen (Fäkalindikator)
- Enteropathogene Viren

Mikrobiologische Untersuchungen: Im Anhang enthält diese Fassung der TrinkwV aktualisierte Vorgaben für die mikrobiologischen Untersuchungen auf E. coli, coliforme Keime, Fäkal-Streptokokken, SSA und die Koloniezahl. (Quellen: s. Überschrift)

Trinkwasseraufbereitung: Weiterhin werden die Vorgaben für den Nachweis einer wirksamen Desinfektion auf Chlorbasis erweitert. (Quellen: s. Überschrift)

Weitere Inhalte der TrinkwV (s. Anmerkungen zu Fassung 1): Diese werden im Wesentlichen beibehalten, angepasst oder erweitert. Die Meldepflicht beim Gesundheitsamt wird dahingehend angepasst, dass eine Anzeige nur bei nachgewiesener, nicht vermuteter Überschreitung der festgelegten Grenzwerte vorzunehmen ist. Ab dieser Fassung der TrinkwV werden auch „Sensorische Kenngrößen“ definiert. Das sind die Parameter Färbung, Trübung und Geruch des Wassers. (Quellen: s. Überschrift)

❖ Die dritte Fassung der TrinkwV (1990/91)^(19,53,65,69,73,76)

Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser

Grenzwerte (Routine-Untersuchung):

- Im Trinkwasser darf kein **E. coli** in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).
- Im Trinkwasser dürfen keine **coliformen Keime** in 100 ml enthalten sein. Dabei müssen mindestens 95% der Ergebnisse von mindestens 40 Untersuchungen negativ sein.

Grenzwerte (erweiterte Untersuchung):

- Im Trinkwasser dürfen keine **Fäkal-Streptokokken** in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).
- Im Trinkwasser dürfen keine **SSA** in 20 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).

Richtwerte (Routine-Untersuchung):

- Im Trinkwasser soll die **Koloniezahl** 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 20° und 36°C) nicht überschreiten.
- Nach der Aufbereitung soll im Trinkwasser die **Koloniezahl** 20 KBE pro ml (Bebrütung bei 20°C) nicht überschreiten.
- Im Trinkwasser aus Vorratsbehältern, Einzelversorgungen sowie in Versorgungsanlagen von Fahrzeugen soll die **Koloniezahl** 1.000 KBE pro ml (Bebrütung bei 20°C) bzw. 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 36°C) nicht überschreiten.

Trinkwasser muss frei von **Krankheitserregern** sein (s. Anmerkungen).

Gesetzliche Grundlage: Bundes-Seuchengesetz (1961) sowie Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz (1974). (Quellen: s. Überschrift)

Diese Fassung der TrinkwV wird u.a. deshalb verabschiedet, weil die EG 1990 gegen die BRD geklagt hat. Der Grund für diese Klage war, dass bestimmte Inhalte der EG-Richtlinie aus dem Jahr 1980 in der TrinkwV von 1986 nicht ausreichend in deutsches Recht umgesetzt wurden. (Quellen: s. Überschrift)

Grenz- und Richtwerte: Hinsichtlich der mikrobiologischen Grenz- und Richtwerte und der dazugehörigen Bedingungen (95%-Regel und Bebrütungstemperaturen) entspricht diese Fassung der Vorgängerversion von 1986 (s. Tabelle). (Quellen: s. Überschrift)

Krankheitserreger dürfen nicht im Trinkwasser vorkommen. Eine entsprechende Untersuchung, unabhängig von den in der Tabelle genannten Werten, kann von der zuständigen Behörde angeordnet werden und ist keine Routine-Untersuchung. Von nun an werden in diesem Kontext ausdrücklich folgende Mikroorganismen genannt (Quellen: s. Überschrift):

- Fäkal-Streptokokken (Fäkalindikator mit Grenzwert)
- SSA (Fäkalindikator mit Grenzwert)
- Pseudomonas aeruginosa
- Pathogene Staphylokokken
- Legionella pneumophila (**Neu**)
- Atypische Mykobakterien (**Neu**)
- Fäkalbakteriophagen (Fäkalindikator)
- Enteropathogene Viren

Mikrobiologische Untersuchungen: Im Anhang enthält diese Fassung der TrinkwV aktualisierte Vorgaben für die mikrobiologischen Untersuchungen auf E. coli, coliforme Keime, Fäkal-Streptokokken, SSA und die Koloniezahl. (Quellen: s. Überschrift)

Trinkwasseraufbereitung: Die Vorgaben für den Nachweis einer wirksamen Desinfektion auf Chlorbasis werden beibehalten. Allerdings enthält diese Fassung nun auch eine aktualisierte Regelung der allgemeinen Trinkwasseraufbereitung (Ersatz der TAVO). (Quellen: s. Überschrift)

Weitere Inhalte der TrinkwV (s. Anmerkungen zu Fassung 1 & 2): Diese werden im Wesentlichen beibehalten, angepasst oder erweitert. Nennenswert sind die im Sinne der EG-Richtlinie von 1980 eingeführten Begriffsdefinitionen, z.B. von Trinkwasser („Wasser für den menschlichen Gebrauch“) und der Hausinstallation, um den Anwendungsbereich der Verordnung sowie die Zuständigkeiten präziser zu fassen. Außerdem wird für den Fall einer Abweichung eine Mitteilungspflicht gegenüber der EG-Kommission festgelegt. (Quellen: s. Überschrift)

❖ Die vierte und aktuelle Fassung der TrinkwV (2001/03)

(4,6,8,14,19,26,46,47,56,96,106,116,117,122,127,131)

Bezug zu Mikroorganismen im Trinkwasser
<p>Grenzwerte (Routine-Untersuchung):</p> <ul style="list-style-type: none">• Im Trinkwasser dürfen keine coliforme Bakterien in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip, s. Anmerkungen).• Im Trinkwasser darf kein E. coli in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser dürfen keine Enterokokken in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser darf die Koloniezahl 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 36°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser am Zapfhahn des Verbrauchers darf die Koloniezahl 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 22°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser unmittelbar nach der Aufbereitung darf die Koloniezahl 20 KBE pro ml (Bebrütung bei 22°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter dürfen keine coliforme Bakterien in 250 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter darf kein E. coli in 250 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter dürfen keine Enterokokken in 250 ml enthalten sein (Indikatorprinzip).• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter darf die Koloniezahl 100 KBE pro ml (Bebrütung bei 22°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter darf die Koloniezahl 20 KBE pro ml (Bebrütung bei 36°C) nicht überschreiten.• Im Trinkwasser für verschlossene Behälter darf kein Pseudomonas aeruginosa in 250 ml enthalten sein.• Im Trinkwasser darf kein Clostridium perfringens (inkl. Sporen) in 100 ml enthalten sein (Indikatorprinzip). Der Wert gehört zur Routine-Untersuchung, wenn ein Bezug zu Oberflächenwasser besteht. <p>Anordnung (Routine-Untersuchung): Im Trinkwasser darf die Koloniezahl bei 22°C und 36°C keine anormalen Veränderungen aufweisen.</p> <p>Technischer Maßnahmenwert für Trinkwasserinstallationen (ab 2011, Routine-Untersuchung oder durch das Gesundheitsamt vorgegeben): Im Trinkwasser dürfen Legionellen den Wert 100 KBE pro 100 ml nicht überschreiten.</p> <p>„Im Trinkwasser dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nummer 1 des Infektionsschutzgesetzes, die durch Wasser übertragen werden können, nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.“ (§ 5 Nummer 1 TrinkwV)</p>

Gesetzliche Grundlage: IfSG (2000/01). (Quellen: s. Überschrift)

Diese Fassung der TrinkwV setzt die europäische Richtlinie „98/83/EG“ aus dem Jahr 1998, welche sich an der zweiten WHO-Trinkwasser-Richtlinie (1993) orientiert, in deutsches Recht um. (Quellen: s. Überschrift)

Grenz- und Richtwerte: Die mikrobiologischen Grenzwerte sind im Vergleich zur Vorgängerversion modifiziert worden (s. Tabelle). Ab dieser Fassung der TrinkwV gehören auch die coliformen Bakterien zu den Indikatorparametern, die theoretisch sowohl eine fäkale, als auch eine nicht-fäkale Verunreinigung anzeigen können. (Quellen: s. Überschrift)

Technischer Maßnahmenwert für Legionellen: Dabei handelt es sich um die erstmalige Festlegung eines Parameters für Legionellen, der im Rahmen der ersten Änderung der TrinkwV im Jahr 2011 eingeführt worden ist (s. Tabelle). Die Vorgaben zur Art und Frequenz der Untersuchung auf Legionellen bestehen in der TrinkwV schon seit 2001/03, werden aber mit der Einführung des Wertes noch einmal verschärft. Wird der Wert überschritten, muss der Usl diese Abweichung dem Gesundheitsamt melden und eine Gefährdungsanalyse sowie weitere Schutzmaßnahmen veranlassen. Liegt eine sehr hohe Kontamination vor (über 10.000 KBE pro 100 ml), muss eine direkte Gefahrenabwehr erfolgen. (Quellen: s. Überschrift)

Krankheitserreger: Eine Untersuchung auf Krankheitserreger ist mit Ausnahme von *Pseudomonas aeruginosa* und Legionellen keine Routine-Untersuchung, kann aber von der zuständigen Behörde angeordnet werden. Im § 5 (Mikrobiologische Anforderungen) führt die TrinkwV keine Krankheitserreger explizit auf, schließt aber im Sinne des IfSG alle Krankheitserreger (s.u.) mit ein, deren Übertragung durch Trinkwasser möglich ist. Außerdem hat sich hier die Formulierung dahingehend geändert, dass nicht mehr das Fehlen von Krankheitserregern im Trinkwasser gefordert wird, sondern, dass diese nicht in einer gesundheitsgefährdenden Konzentration im Trinkwasser vorkommen dürfen. (Quellen: s. Überschrift)

Krankheitserreger-Definition nach dem IfSG: „Ein vermehrungsfähiges Agens (Virus, Bakterium, Pilz, Parasit) oder ein sonstiges biologisches transmissibles Agens, das bei Menschen eine Infektion oder übertragbare Krankheit verursachen kann“ (§ 2 Nummer 1 IfSG)

Mikrobiologische Untersuchungsmethoden werden auch durch diese Fassung der TrinkwV vorgegeben. Dabei werden bestimmte DIN-(EN-ISO-)Normen genannt, welche Vorgaben zur Untersuchung auf coliforme Bakterien, *E. coli*, Enterokokken, *Pseudomonas aeruginosa*, die Koloniezahl, *Clostridium perfringens* (inkl. Sporen) und Legionellen liefern. Im Anschluss verweist die TrinkwV noch auf das UBA, die Beuth-

Verlag GmbH Berlin und die Deutsche Nationalbibliothek, die für die Veröffentlichung und Archivierung der entsprechenden Empfehlungen bzw. Richtlinien verantwortlich sind. (Quellen: s. Überschrift)

Trinkwasseraufbereitung: Die Aufbereitung und Desinfektion des Trinkwassers wird gemäß der Vorgängerversion komplett durch die TrinkwV geregelt. An dieser Stelle werden die Stoffe Chlor und Chlordioxid genannt und im Folgenden auf das UBA verwiesen, welches regelmäßig eine aktuelle Liste mit Stoffen und Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung veröffentlicht und verpflichtet ist, Abweichungen zu prüfen und ggf. Sondergenehmigungen auszustellen. Die Verfahren Filtration und Flockung sind fester Bestandteil der Trinkwasseraufbereitung in DE. (Quellen: s. Überschrift)

Weitere Inhalte der TrinkwV: Es ist festzustellen, dass die TrinkwV noch komplexer und differenzierter geworden ist. Das betrifft beispielsweise die Definition vom Zweck und Anwendungsbereich der TrinkwV, weitere Begriffsbestimmungen, Pflichten des Usl (Anzeigepflicht, Untersuchungspflicht, Frequenz der Untersuchungen, Verbraucher-Information etc.), chemische und physikalische Parameter, Akkreditierung von Prüflaboren, Probennahmeverfahren, „Anforderungen an Anlagen für die Gewinnung, Aufbereitung oder Verteilung von Trinkwasser“, Aufgaben des Gesundheitsamts, Sondervorschriften sowie Straftaten und Ordnungswidrigkeiten. (Quellen: s. Überschrift)

In Einklang mit der AVBWasserV gibt die TrinkwV vor, dass bis zum Hauptwasserhahn bzw. dem Ende der Gebäudeanschlussleitung der Wasserversorger für ihre **Einhaltung** verantwortlich ist. Ab diesem Punkt geht die Verantwortung auf den Gebäudeeigentümer bzw. den Betreiber der Trinkwasserinstallation (Trinkwassernetz zwischen Hauptwasserzähler und Entnahmemarmatur) über. Diese Pflicht schließt eine Gefährdungsanalyse ein. (Quellen: s. Überschrift)

In den allgemeinen Anforderungen wird die **Genusstauglichkeit** des Trinkwassers in Form bestimmter Merkmale gefordert. Hier verweist die TrinkwV auf die Einhaltung technischer Regeln (z.B. der DIN 2000, s. 4.3.2). Entsprechend sind die Parameter Färbung und Trübung sowie Geschmack und Geruch des Wassers in der Tabelle „Allgemeine Indikatorparameter“ der TrinkwV definiert und Bestandteil der Routine-Untersuchungen. (Quellen: s. Überschrift)

4.4 Die aktuelle Qualität der deutschen Trinkwasserversorgung

Aktuell nutzen 80% der deutschen Wasserversorger Grundwasser, 10% Oberflächenwasser und 10% Uferfiltrat oder angereichertes Grundwasser für die Trinkwasserbereitung. Während zum Ende des 20. Jahrhunderts ca. 60% des deutschen Trinkwassers mikrobiologisch als einwandfrei angesehen werden konnten, waren es ab 2010 den Daten des UBA zufolge bereits über 99%. Das bedeutet, dass aktuell etwa 90% der deutschen Bevölkerung mit im Sinne des IfSG und der TrinkwV tadellosem Trinkwasser versorgt werden. Dabei verfügen fast 100% der deutschen Bevölkerung über einen Anschluss an die öffentliche Trinkwasserversorgung. Die sehr gute mikrobiologische Trinkwasserqualität ist dem sogenannten „**Multi-Barriere-System**“ zu verdanken, das vereinfacht gesagt folgende drei Bereiche umfasst (Quellen: s.u.):

- ❖ Die Trinkwassergewinnung
- ❖ Die Trinkwasseraufbereitung und -verteilung
- ❖ Die Hausinstallation des Verbrauchers

Der Fokus der trinkwasserhygienischen Forschung hat sich in Richtung anderer Schadstoffe (z.B. Chemikalien) verschoben. Dennoch werden die mikrobiologischen Standards gemäß der TrinkwV kontinuierlich kontrolliert und ggf. angepasst. **Kritisch bis unzureichend** bei der Erfüllung der strengen mikrobiologischen Anforderungen der TrinkwV sind Klein- und Einzelversorgungen sowie Wasserversorgungsanlagen, welche die technischen Regeln (z.B. VDI/DVGW 6023) nicht einhalten. Letzteres ist von besonderer Relevanz für die komplexen Trinkwassersysteme von öffentlichen Gebäuden inkl. Krankenhäusern. Jüngere Untersuchungen haben gezeigt, dass zu einem nicht unerheblichen Anteil eine Legionellen- und/oder Pseudomonaden-Kontamination in diesen Wasserleitungen besteht^(4,45,47,53,59,95,111,127,131).

5. Diskussion

5.1 Trinkwasser-assoziierte Epidemien in DE seit dem 19. Jahrhundert

Allgemeine Häufigkeit: Anhand der Tabelle 4.1 wird gezeigt, dass verunreinigtes Trinkwasser in den vergangenen zwei Jahrhunderten sehr oft zu Epidemien in der Bevölkerung beigetragen hat. Es ist dabei anzunehmen, dass vor allem im 19. Jahrhundert, beispielsweise 1831-1873, die Zahl der Todesopfer sowie die Häufigkeit kleinerer Epidemien in Wirklichkeit größer war als die erhobenen Daten anzeigen. Dies liegt nahe, da mit sehr großer Wahrscheinlichkeit nicht jeder trinkwasserbezogene Krankheitsausbruch als solcher registriert und dokumentiert wurde und darüber hinaus Daten im Laufe der Zeit verloren gingen. Die teils eklatant hohen Zahlen von Erkrankten bei Epidemien in Heeren lassen sich mutmaßlich auf die schlechten hygienischen Bedingungen sowie unzureichende medizinische Versorgung der Soldaten im Rahmen von Feldzügen und Kriegshandlungen zurückführen. Insbesondere Typhus und Ruhr konnten sich in diesen Szenarien als Dauerzustand manifestieren⁽⁶⁴⁾.

Erregerspektrum: Bezüglich der unterschiedlichen Krankheitserreger lässt sich Folgendes vermuten: Die Eindämmung und Verhinderung der im Vordergrund stehenden Cholera-Epidemien wurden wahrscheinlich durch die Anerkennung der Erkenntnisse Robert Kochs sowie die konsekutiven staatlichen Maßnahmen zur Trinkwasserversorgung erreicht. Typhus-Epidemien hingegen fanden, wenn auch in geringerem Ausmaß, noch bis zum Ende des 20. Jahrhunderts in DE statt, was u.a. mit der insuffizienten Abwasserentsorgung in der Nachkriegszeit, der unsachgemäßen Anwendung menschlicher Fäkalien zur Düngung sowie der Nichteinhaltung staatlicher Vorgaben zur Trinkwasserversorgung erklärt werden kann^(14,39,40).

Die Tatsache, dass in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts zunehmend neue Krankheitserreger im Rahmen trinkwasser-assoziiierter Epidemien in den Vordergrund traten, hatte sicherlich die spätere Entdeckung bzw. Erforschung dieser Mikroorganismen als Ursache. Krankheitsausbrüche von beispielsweise HAV durch verunreinigtes Trinkwasser gab es mit Sicherheit schon häufiger in der Geschichte, aber sie wurden nicht als solche erkannt⁽⁶²⁾.

Die Dokumentation von HAV- und Poliomyelitis-Epidemien in der Liste trinkwasser-assoziiertes Epidemien ist insoweit berechtigt, als beide Viren fäkal-oral übertragen werden und verunreinigtes Trinkwasser, gerade während des Krieges und in der Nachkriegszeit, als Verbreitungsgrundlage in Frage kommt. Bei der schweren Hepatitis-Epidemie im zweiten Weltkrieg (über 10 Millionen erkrankte Deutsche) handelt es sich allerdings nur um eine Vermutung, dass das HAV der Krankheitserreger war. Dies ist naheliegend, da nach dem Krieg sehr viele der deutschen Kinder und Jugendlichen (80-90%) mit dem HAV infiziert waren und die oben angedeuteten Bedingungen für eine Verbreitung dieses Virus sprechen. Es ist aber davon auszugehen, dass ein gewisser Anteil der Erkrankungen nicht durch das HAV, sondern das HBV ausgelöst wurde, insbesondere durch die unsachgemäße Verwendung medizinischer Instrumente und Produkte in Feldlazaretten und Krankenhäusern^(19,40,62).

Die Aufführung des Giardien-Ausbruches mag aufgrund der geringen Anzahl an Erkrankten (8) unangemessen erscheinen, doch war dieses Ereignis zweifelsfrei durch kontaminiertes Trinkwasser bedingt. Außerdem stellen Protozoen im Sinne der Trinkwasserhygiene ein Problem dar (Resistenz und Nachweis) und der besagte Ausbruch im Jahr 2000 signalisiert daher, dass sie eine aktuelle Gefahr für den Verbraucher sein können.

Die Bedeutung der Legionellen-Ausbrüche wird unter 5.2 thematisiert.

Allgemeine Tendenz: Es wird deutlich, dass sich Frequenz und Ausmaß der trinkwasser-assoziierten Epidemien zum Ende des 20. Jahrhunderts verringerten, was sicherlich den staatlichen Maßnahmen zur Überwachung der Trinkwasserhygiene, aber auch anderen Faktoren zu verdanken ist, z.B. medizinischer Aufklärung und weiteren Präventionsmaßnahmen (z.B. Impfungen). Andererseits wird durch jüngere Epidemien, bei denen eine Nichteinhaltung der staatlichen Vorgaben zur Trinkwasserversorgung als Ursache identifiziert wurde (z.B. in Ismaning 1978 oder Jena 1980)^(14,129), oder durch aktuelle Überschreitungen von kritischen Grenzwerten (z.B. in Aachen 2021)⁽¹³⁰⁾ deutlich, dass die Überwachung der mikrobiologischen Trinkwasserqualität von großer Bedeutung ist, streng und kontinuierlich erfolgen muss und nicht an Aktualität verliert.

5.2 Die medizinischen Erkenntnisse zur Trinkwasserhygiene

Der Fortschritt: Die ersten und vermutlich wichtigsten Schritte für die Etablierung eines trinkwasserhygienischen Konzepts in DE wurden sicherlich durch Robert Koch initiiert. Durch die wissenschaftliche und staatliche Anerkennung seiner Keim-Theorie und trinkwasserbezogenen Erkenntnisse zum Ende des 19. Jahrhunderts sowie Umsetzung seiner Forderungen wurden die Wasserwerke ertüchtigt und ein Prozess in Gang gesetzt, der die kontinuierliche Erforschung und Überwachung der mikrobiologischen Gegebenheiten des Trinkwassers ermöglichte. Die Erarbeitung und Weiterentwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden (s.u.) war ebenfalls sehr wichtig, um eine valide Kontrollierbarkeit der mikrobiellen Trinkwasserqualität zu schaffen. Wenngleich nicht alle Mikroorganismen, die entdeckt und mit Trinkwasser in Zusammenhang gebracht wurden (s. 4.2.2), eine Relevanz für die Trinkwasserversorgung in DE hatten, so war es doch wichtig, ein möglichst großes Spektrum an potentiellen Krankheitserregern abzubilden, um hinsichtlich der Prävention optimal agieren zu können. Dieser mikrobiologische Umfang spiegelt sich in der aktuellen WHO-Trinkwasser-Richtlinie wider, die darüber hinaus erkennen lässt, wie bedeutsam die Überwachung der Trinkwasserhygiene aus medizinischer Sicht ist. Ein weiterer sehr wichtiger Schritt ist der Erlass der TrinkwV in DE gewesen. Sie liefert den medizinischen Inhalten den geeigneten rechtlichen Rahmen und durch ihre aktuelle Verknüpfung mit dem IfSG wird auch das angesprochene Erregerspektrum vollständig erfasst. Die Bedeutung der TrinkwV wird nochmals unter 5.3 aufgegriffen.

Bestimmte Mikroorganismen und Infektionswege: Wie bereits angesprochen, spielen für deutsches Trinkwasser nicht alle entdeckten Mikroorganismen mit Bezug zum Trinkwasser (s. 4.2.2) eine Rolle, doch die medizinischen Erkenntnisse und Erfahrungen aus stattgefundenen trinkwasser-assoziierten Epidemien zeigen, dass sowohl alt bekannte, als auch neue Mikroorganismen im Trinkwasser für den Menschen gefährlich werden können und daher allesamt berücksichtigt werden müssen. Dabei zeigt sich weiterhin, dass andere Infektionswege als die orale Aufnahme kontaminierten Wassers zum Tragen kommen. Insbesondere am Beispiel der Legionellen, die inzwischen sehr genau und differenziert in der deutschen TrinkwV erfasst werden, ergibt sich folgendes Fazit: Mikroorganismen, die nicht durch den üblichen Gebrauch von Trinkwasser übertragen werden, dürfen trotzdem nicht im Trinkwasser enthalten sein, wenn eine Infektion über Inhalation kontaminierter Wasseraerosole oder (Schleim-)Hautkontakt mit kontaminiertem Wasser möglich ist.

Das oben angesprochene Erregerspektrum wird durch diese Berücksichtigung zwar deutlich vergrößert, doch geschieht dies im Sinne der Prävention und ist medizinisch sinnvoll und notwendig. Letztere Einschätzung wird noch klarer, wenn man sich vor Augen führt, dass *Pseudomonas aeruginosa*, welcher ebenfalls nicht über die orale Aufnahme kontaminierten Wassers übertragen wird, oftmals für nosokomiale Infektionen im Zusammenhang mit Wasser verantwortlich ist.

Die Bedeutung von Viren im Trinkwasser kann anhand von in DE stattgefundenen trinkwasser-assoziierten Epidemien durch Viren, zuletzt 1981/82, und entsprechenden Erkenntnissen veranschaulicht werden (s. 5.1). Die epidemiologisch positive Einschätzung des UBA hinsichtlich einer Übertragung von Coronaviren über Trinkwasser während der SARS-CoV-2-Pandemie im März 2020 mag von einer gewissen Labilität dieser Viren im Wasser herrühren, zeigt aber doch auch, dass die deutsche Trinkwasserversorgung bzw. -aufbereitung in der Hinsicht viraler Kontaminationen ein bestimmtes Maß an Sicherheit aufgebaut hat.

Trinkwasser-assoziierte Epidemien durch Parasiten bzw. Protozoen sind der deutschen Bevölkerung weitgehend erspart geblieben, aber der kleine Giardien-Ausbruch im Jahr 2000, das Wissen über die Widerstandsfähigkeit dieser Erreger sowie die unsichere Datenlage machen hier deutlich, dass noch Forschungs- und Überwachungsbedarf besteht. Die zeitliche Diskrepanz zwischen der Erreger-Entdeckung und Bezugsherstellung zum Trinkwasser (z.B. ca. 100 Jahre bei Giardien oder ca. 90 Jahre bei Cryptosporidien) lässt vermuten, dass die Bedeutung dieser Erregergruppe im Trinkwasser lange unterschätzt wurde.

Weiterhin zeigen die Ergebnisse, dass das Vorkommen bestimmter Arten von Pilzen (z.B. *Aspergillus*) als vierte große Gruppe der Krankheitserreger im Trinkwasser ebenfalls ein gesundheitliches Problem mit sich bringen kann und derzeit erforscht wird. Ähnlich wie bei den Protozoen lässt die zeitliche Diskrepanz zwischen der Erreger-Entdeckung und Bezugsherstellung zum Trinkwasser (ca. 150 Jahre bei *Aspergillus*) vermuten, dass die Bedeutung auch dieser Erregergruppe im Trinkwasser lange unterschätzt wurde.

Die Ergebnisse zur trinkwasserhygienischen Erforschung von *Pseudomonas aeruginosa* und atypischen Mykobakterien deuten an, dass man schon früher die Problematik von Biofilmen in Wasserleitungen erkannt und untersucht hat. Dennoch ist klar, dass es sich dabei um ein aktuelles und gravierendes Problem handelt, wenn

man sich vor Augen führt, dass fabrikneue Werkstoffe in Wasserleitungen binnen kurzer Zeit mit Biofilmen bedeckt sein können. Es ist medizinisch angezeigt, dieses Themengebiet weiter zu erforschen, damit Kontamination in Wasserleitungen reduziert und Wirksamkeit desinfizierender Maßnahmen verbessert werden können.

Mikrobiologische Diagnostik: Die Definition der Koloniezahl und Entwicklung geeigneter Untersuchungsmethoden für *E. coli* und coliforme Keime (Fäkalindikatoren) waren vermutlich die wichtigsten Schritte, um konkrete und aussagekräftige Anhaltspunkte für die Kontrolle der mikrobiologischen Trinkwasserqualität zu etablieren. Ihre Bedeutung kann man daran erkennen, dass diese Parameter stetig im Fokus der Trinkwasser-Forschung standen, noch heute angewendet werden und seit 1975/76 in der TrinkwV verankert sind. Zudem haben in den vergangenen Jahren kontinuierlich diagnostische Optimierungen stattgefunden, um den Erregernachweis – beispielsweise mit speziellen Nährmedien – zu verbessern.

Leider ließ sich das Indikatorprinzip nicht ohne Weiteres auf Viren und Parasiten übertragen. Zwar gibt es für diese Erregergruppen inzwischen verschiedene Untersuchungsmethoden und Auswertungsvorschläge, doch besteht hier noch Forschungsbedarf, um analog zu den Bakterien einen akkuraten Standard aufzubauen. Dasselbe gilt für die Untersuchungsmethoden für Pilze.

Die Vorgabe der TrinkwV, dass die Untersuchungen auf *Pseudomonas aeruginosa* und Legionellen im Rahmen von Routine-Untersuchungen erfolgen, erscheint sinnvoll, da sich gezeigt hat, dass in Wasserleitungen öffentlicher Gebäude oftmals eine Kontamination mit diesen Keimen vorliegt, was besonders für immungeschwächte Menschen eine starke Gefährdung bedeuten kann.

Die Erforschung des bakteriellen Stadiums „VBNC“ könnte weitere Erkenntnisse dazu liefern, wie man Kontaminationen in Wasserleitungen besser erkennen und bekämpfen sowie die Resistenz von Keimen gegenüber Desinfektionsmaßnahmen verringern könnte⁽¹¹¹⁾.

Mikrobiologische Trinkwasseraufbereitung: Die Weiterentwicklung der Wasseraufbereitungsverfahren war ebenfalls äußerst entscheidend zur Eindämmung trinkwasser-assoziiertes Epidemien, da so die Arbeit der deutschen Wasserwerke effizienter wurde, um dem steigenden Bedarf gerecht zu werden und gleichzeitig die festgelegten Vorgaben einzuhalten. Auch hier war die staatliche Anerkennung der

Erkenntnisse Robert Kochs zum Ende des 19. Jahrhunderts von kolossaler Bedeutung. Durch die praktische Umsetzung seiner Abhandlung zur Sandfiltration wurden die Wasserwerke ertüchtigt und eine Grundlage für die Weiterentwicklung dieser Technik im 20. Jahrhundert geschaffen. Ebenso waren die Entwicklung der Flockung und die Einführung der Chlor-Anwendung zur Wasserdeseinfektion wichtige Schritte, da sie ein gutes Verhältnis von Wirksamkeit und Kosten aufzeigten und heute noch zum Standard der Trinkwasseraufbereitung gehören. Durch die Verbesserung dieser Verfahren und die zusätzlichen Erkenntnisse zur mikrobiellen Beschaffenheit von Oberflächenwasser war es möglich, diese zur Wassergewinnung zu nutzen und so weitere Trinkwasser-Ressourcen zu schaffen. Das sogenannte Minimierungsgebot macht deutlich, dass auch bei der Trinkwasseraufbereitung ökonomisch gehandelt werden sollte, da prophylaktische Desinfektionsmaßnahmen nicht nur das Risiko einer neuen Kontamination bergen können⁽¹¹¹⁾, sondern in gewisser Hinsicht auch Ressourcen verbrauchen.

5.3 Die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene in DE

Die Bedeutung des DVGW und staatlicher Einrichtungen: Es versteht sich von selbst, dass der Bau von Wasserwerken die Trinkwasserversorgung in DE erheblich verbesserte. Der DVGW war dabei sehr bedeutsam, um der technischen Wartung und Weiterentwicklung einen koordinierenden Rahmen durch Fachleute zu geben. Diese Bedeutung erkennt man daran, welchen Stellenwert die zahlreichen Arbeitsblätter, die vom DVGW ausgearbeitet wurden, erreicht haben. Außerdem ist ihm die deutsche Umsetzung des WSP der WHO zu verdanken.

Der Tätigkeitsbereich von staatlichen Einrichtungen (z.B. Hygiene-Instituten, Gesundheitsämtern, dem RKI und UBA) wurde bei der Auswertung dieser Arbeit nur tangiert, aber es zeigt sich, dass die genannten Einrichtungen dazu beigetragen haben, die Analyse medizinischer Problemstellungen jeglicher Art, also auch trinkwasserhygienischer Aspekte, zielgerichteter und akkurater zu gestalten. Dazu gehören beispielsweise mikrobiologische Untersuchungen und Kontrollen von Trinkwasser oder die Veröffentlichung von Statistiken und Empfehlungen zur Trinkwasserversorgung. Ohne diese zentralen Stellen wäre hier die Etablierung und Überwachung einheitlicher Standards nur schwer möglich gewesen.

Bedeutung von Richtlinien: Zwar stellt der Ergebnisteil dieser Arbeit nur eine kleine Auswahl an Richtlinien (s. 4.3.2) zur Trinkwasserversorgung dar, aber ihr Einfluss wird veranschaulicht. Obwohl Richtlinien rechtlich nicht bindend sind, sind sie für die allmähliche Entwicklung der staatlichen Trinkwasserüberwachung sehr wichtig gewesen. Zum einen konnten sie leichter und dadurch früher als entsprechende Gesetze herausgegeben werden: Das erste Regelwerk des DVGW zur Trinkwasserversorgung erschien 1893 und damit deutlich früher als die erste TrinkwV (1975/76). Zum anderen dienten Richtlinien durch ihre technischen und mikrobiologischen Anhaltspunkte den Wasserwerken als Hilfestellung für ihre Tätigkeit und gaben auch den Gesundheitsämtern eine Orientierung für die Kontrolle der Trinkwasserqualität. Außerdem liegt der Schluss nahe, dass sich der Staat bei den entsprechenden Gesetzesentwürfen an bestimmten Richtlinien, z.B. der DIN 2000 orientiert hat. Man kann davon ausgehen, dass die Umsetzung des WSP der WHO in Form des DVGW-Arbeitsblattes W 1001 auf lange Sicht weiteren Benefit für die deutsche Trinkwasserqualität bringen wird. Allerdings bleiben seine Langzeitergebnisse noch abzuwarten.

Bedeutung von Gesetzen: Mit den Ergebnissen dieser Arbeit wird deutlich, dass der Weg zum Erlass eines Gesetzes sehr langwierig sein kann, selbst, wenn es dabei um wichtige medizinische Problemstellungen geht. Zwar bezogen verschiedene Gesetze des 19. und vor allem 20. Jahrhunderts zur gesundheitlichen Bedeutung des Trinkwassers Stellung (s. 4.3.3) und diverse Richtlinien gaben trinkwasserhygienische Empfehlungen ab, doch lieferte erst die TrinkwV im Jahr 1975/76 rechtlich bindende, einheitliche und konkrete Anhaltspunkte für die staatliche Überwachung der Trinkwasserhygiene⁽⁶⁵⁾.

Sehr wichtig für die TrinkwV waren dabei das Bundes-Seuchengesetz (1961) und das Lebensmittel- und Bedarfsgegenständegesetz von 1974, welche die rechtlichen Grundlagen der ersten sowie der folgenden Fassungen der TrinkwV bildeten. Angemerkt sei an dieser Stelle auch die Bedeutung der AVBWasserV (1980), da sie diversen technischen Regeln einen verbindlichen Charakter gegeben⁽¹⁷⁾ und so sicherlich dazu beigetragen hat, die staatliche Kontrolle der Trinkwasserversorgung einheitlicher und stringenter zu gestalten.

Was die verschiedenen Neufassungen der TrinkwV (s. 4.3.4) betrifft, soll nicht unerwähnt bleiben, dass die EG die entscheidenden Impulse gegeben hat, um diese Novellierungen auf den Weg zu bringen, was anhand der Klage der EG gegen die BRD im Jahr 1990 nachzuvollziehen ist. Trotzdem spiegelt sich in der Entwicklung der TrinkwV auch die Komplexität des Themas Trinkwasser wider, von der diese Arbeit nur einen Ausschnitt beleuchtet.

Die Verknüpfung der aktuellen TrinkwV mit dem IfSG ist deshalb sinnvoll, weil so zweifelsfrei alle „Krankheitserreger [...], die durch Wasser übertragen werden können“ (§ 5 Absatz 1 TrinkwV), berücksichtigt werden. Durch die immense Fülle an Mikroorganismen, die so theoretisch erfasst werden, erscheint es auch sinnvoll, nicht mehr ihr absolutes Fehlen im Trinkwasser, sondern gesundheitlich unbedenkliche Konzentrationen einzufordern. Folglich wird die Kontrolle hier spezifischer und genauer, aber auch komplizierter. Wenngleich in der TrinkwV noch nicht für alle relevanten Mikroorganismen Grenzwerte und Untersuchungsmethoden angegeben werden, da zum Teil noch ein einheitlicher Standard fehlt, so sind ihre Inhalte inzwischen doch sehr ausführlich und differenziert geworden. Es liegt auf der Hand, dass der Einhaltung dieses Gesetzes die sehr gute Trinkwasserqualität in DE zu verdanken ist.

5.4 Die aktuelle Qualität der deutschen Trinkwasserversorgung

Die Ergebnisse unter 4.4 veranschaulichen, dass wir in DE mittlerweile eine sehr gute Trinkwasserqualität haben und im Abschnitt 5.1 (Allgemeine Tendenz) ist bereits erläutert worden, dass die Trinkwasserüberwachung ungeachtet der hohen Qualität ein strenger und kontinuierlicher Prozess sein muss, da aus der Nichteinhaltung staatlicher Vorgaben jederzeit wieder trinkwasser-assoziierte Krankheitsausbrüche resultieren können. Die Verschiebung des Fokus der trinkwasserhygienischen Forschung hin zu anderen Schadstoffen liegt vermutlich in dem aktuellen Niveau der mikrobiologischen Trinkwasserqualität begründet⁽⁹⁵⁾. Medizinisch ist dieser Trend sicherlich nützlich und sinnvoll, vorausgesetzt, dass dadurch keine Vorgaben der TrinkwV vernachlässigt werden.

6. Zusammenfassung

Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel des Menschen und wird daher streng kontrolliert. Das Ziel dieser Arbeit war, die Entwicklung der Trinkwasserhygiene in DE seit dem 19. Jahrhundert anschaulich darzustellen. Dabei wurden ausschließlich Mikroorganismen im Trinkwasser berücksichtigt, d.h. die Bedeutung anderer potentieller Schadstoffe (z.B. Chemikalien) wurde nicht erhoben.

Die Ergebnisse dieser Arbeit konnten veranschaulichen, dass es in DE bis zum Ende des 20. Jahrhunderts viele trinkwasser-assoziierte Epidemien gab. Dabei wurden Ausmaß sowie ursächliche Krankheitserreger bei nahezu allen Epidemien dargestellt. Weiterhin zeigte sich, dass ein medizinischer Durchbruch notwendig war, um sowohl die Wissenschaft als auch den Staat davon zu überzeugen, dass Trinkwasser mit krankmachenden Keimen verunreinigt sein kann. Nach Beginn der mikrobiologischen Ära zum Ende des 19. Jahrhunderts wurden immer mehr Mikroorganismen identifiziert, medizinische Erkenntnisse zum Trinkwasser gesammelt und allmählich ein hygienisches Konzept für Trinkwasser in DE geschaffen. Lange Zeit standen den Gesundheitsämtern nur Richtlinien und Empfehlungen zu Verfügung, um die Trinkwasserqualität zu überwachen. Erst mit der TrinkwV, die erstmals 1975 erlassen und seitdem mehrfach novelliert wurde, entstand ein rechtlich bindender und bundesweit einheitlicher Rahmen für die Überwachung der Trinkwasserhygiene.

Frequenz und Ausmaß trinkwasser-assoziiierter Epidemien haben in DE zum Ende des 20. Jahrhunderts stark nachgelassen und inzwischen ist, mit Ausnahme von einigen Legionellen-Ausbrüchen, der letzte größere Krankheitsausbruch dieser Art knapp 40 Jahre her. Die Trinkwasserqualität ist in DE auf einem sehr guten Niveau, aber die Ergebnisse aktueller Forschung sowie die möglichen Konsequenzen einer Nichteinhaltung staatlicher Vorgaben machen sehr deutlich, dass die Überwachung des Trinkwassers nicht nur von großer Bedeutung ist, sondern auch streng und kontinuierlich erfolgen muss und nicht an Aktualität verliert.

7. Quellenverzeichnis

1. DVGW: Vermeidung von Beeinträchtigungen des Trinkwassers und des Rohrnetzes bei Löschwasserentnahmen am Hydranten bzw. Standrohr, Trinkwasserqualität und Rohrnetz [Internet]. [zitiert am 2.11.2020]. URL: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/netze/bundschuh-sadlowski-w405b1.pdf>
2. Hygiene-Institut Hamburg: Cholera in Hamburg 1892 [Internet]. 2003 [zitiert am 20.11.2020]. URL: <https://www.hamburg.de/contentblob/111730/a807a2dd5fe86b4b4652c8da43811787/data/grossbuch.pdf>
3. DVGW: Die Geschichte des DVGW von 1859 – 2019 [Internet]. [zitiert am 12.11.2020]. URL: <https://www.dvgw.de/der-dvgw/geschichte/chronik-des-dvgw/>
4. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz: TrinkwV 2001 [Internet]. 2001, zuletzt geändert 2020 [zitiert am 6.1.2021]. URL: https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/BJNR095910001.html
5. RKI.de: IfSG [Internet]. 2020 [zitiert am 8.1.2021]. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/IfSG/ifsg_node.html
6. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz: AVBWasserV [Internet]. 1980, zuletzt geändert 2014 [zitiert am 2.11.2020]. URL: <https://www.gesetze-im-internet.de/avbwasserv/AVBWasserV.pdf>
7. Das Klärwerk: 3. Die Entdeckung des Cholera- Erregers [Internet]. [zitiert am 22.11.2020]. URL: <https://www.klaerwerk-krefeld.org/index.php/die-entdeckung-des-cholera-erregers/>
8. UBA: Trinkwasser - Rechtliche Grundlagen, Empfehlungen und Regelwerk [Internet]. 2019 [zitiert am 21.10.2020]. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/rechtliche-grundlagen-empfehlungen-regelwerk>
9. TipBerlin: Pandemien, Pest bis Corona in Berlin: Ein kurzer Abriss der Pandemien zwischen Spree und Havel [Internet]. 2020 [zitiert am 22.11.2020]. URL: <https://www.tip-berlin.de/stadtleben/pest-bis-corona-in-berlin-abriss-der-pandemien/>
10. Nolte-Schuster, B. Medizingeschichte: Preußen im Kampf gegen die Cholera. Deutsches Ärzteblatt. 2007; 104(38): A-2566 / B-2267 / C-2199

11. LEMO (Lebendes Museum Online): Die Choleraepidemie 1831 [Internet]. 2015 [zitiert am 6.11.2020]. URL: <https://www.dhm.de/lemo/kapitel/vormaerz-und-revolution/alltagsleben/die-choleraepidemie-1831.html>
12. IDW: Köln in Zeiten der Cholera [Internet]. 2002 [zitiert am 6.11.2020]. URL: <https://idw-online.de/de/news49557>
13. Ludwig-Maximilians-Universität München, Max von Pettenkofer Institut: Geschichte [Internet]. [zitiert am 21.11.2020]. URL: <http://www.mvp.uni-muenchen.de/institut/geschichte/>
14. Botzenhart K. Mikroorganismen im Trinkwasser. Deutsches Ärzteblatt. August 1996; 93(34-35): A-2142–2144
15. Iwand, A. Typhus abdominalis Erfahrungsbericht über die Epidemie 1974 in Baden-Württemberg. Deutsches Ärzteblatt. 1976; 73(46): A-2947
16. Duden.de: Epidemie oder Pandemie? [Internet]. [zitiert am 19.11.2020]. URL: <https://www.duden.de/sprachwissen/sprachratgeber/Epidemie-Pandemie>
17. H.-G. Moll. Die Regelung für die Hausinstallation nach der Trinkwasserverordnung, der AVBWasserV und der DIN 1988. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 89-94
18. W. Steuer. Gesetzliche Grundlagen, Richtlinien, Normen für Trinkwasser, Mineralwasser und Heilwasser. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 600-4
19. K. Botzenhart. Trinkwasser, Viren im Trinkwasser [E-Book im PDF-Format]. In: R. Walter. Umweltvirologie. Wien: Springer-Verlag; 2000; S. 57-84
20. RKI.de: Untersuchung von Legionellose-Ausbrüchen [Internet]. 2018 [zitiert am 17.12.2020]. URL: https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/L/Legionellose/OEGD/Vortragsfolien.pdf?__blob=publicationFile
21. RKI.de: Legionellose [Internet]. 2019 [zitiert am 19.11.2020]. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_Legionellose.html

22. Roche: Hepatitis-Infektion [Internet]. [zitiert am 21.12.2020]. URL:
<https://www.roche.de/diagnostics/krankheiten-erkennen/infektiologie-virologie/hepatitis/infektion-hepatitis.html>
23. J. Borneff. Hygiene. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1971; S. 54-59
24. Gelsenwasser: Viren und Trinkwasser, Trinkwassersicherheit [Internet]. 2018 [zitiert am 15.1.2021]. URL:
<https://www.gelsenwasser.de/wasser/trinkwasserqualitaet/hintergrundinformationen/viren-und-trinkwasser/>
25. Willmitzer H. Chlorresistente Parasiten im Trinkwasser. Naturwissenschaftliche Rundschau.1997; 50/2:62-63
26. UBA: Empfehlung, Empfehlungen für die Durchführung einer Gefährdungsanalyse gemäß Trinkwasserverordnung [Internet]. 2012 [zitiert am 7.1.2021]. URL:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/empfehlungen_gefaehrdungsanalyse_trinkwv.pdf
27. Schultze. Besonderer Bericht des Arztes im grössten Cholera-Lazareth [E-Book]. In: Die asiatische Cholera in der Stadt Magdeburg 1831-1832, Geschichtlich und ärztlich dargestellt nach amtlichen Nachrichten auf höhere Veranlassung. Magdeburg: Creutz'sche Buchhandlung; 1832; S. 59
28. Münchener Zeitensprünge: Ab 9. November 1873, Die dritte Cholera-Epidemie bricht in München aus [Internet]. [zitiert am 10.11.2020]. URL:
http://hartbrunner.de/fakten/d_fakten.php?id=5176
29. L. Auburger. Das Cholera-Jahr 1854 in Perlach [E-Book im PDF-Format]. In: Sommerpfarrbrief 2014. Perlach: Pfarrei St. Michael Perlach mit St. Georg Unterbiberg; 2014; S. 18-21
30. DVGW: Schwarze Biofilme an Trinkwasserzapfstellen [Internet]. [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://tzw.de/projekte/projektetails/detail/schwarze-biofilme-an-trinkwasserzapfstellen-vorkommen-relevanz-und-forschungsbedarf>
31. RKI.de: Robert Koch: Der Mitbegründer der Mikrobiologie [Internet]. 2018 [zitiert am 24.11.2020]. URL:
https://www.rki.de/DE/Content/Institut/Geschichte/Robert_Koch.html
32. J. Borneff. Hygiene. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1971; S. 16-17

33. Universität Münster: Einführungen in die Wirtschafts- und Sozialgeschichte des 19. und 20. Jahrhunderts, Max von Pettenkofer [Internet]. [zitiert am 24.11.2020]. URL: https://www.uni-muenster.de/Geschichte/SWG-Online/sozialstaat/glossar_pettenkofer.htm
34. Traunsteiner Tageblatt: Pettenkofer stoppt Cholera in Traunstein [Internet]. 2012 [zitiert am 24.11.2020]. URL: https://www.traunsteiner-tagblatt.de/das-traunsteiner-tagblatt/chiemgau-blaetter/chiemgau-blaetter-2020_ausgabe,-pettenkofer-stoppt-cholera-in-traunstein-_chid,994.html
35. VDI: VDI/DVGW 6023, Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung [Internet]. 2013 [zitiert am 21.11.2020]. URL: https://www.vdi.de/fileadmin/pages/vdi_de/redakteure/richtlinien/inhaltsverzeichnis/1929953.pdf
36. W. Lang. Tropenmedizin in Klinik und Praxis, 2. aktualisierte Auflage. New York/Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1996; S. 69
37. W. Lang. Tropenmedizin in Klinik und Praxis, 2. aktualisierte Auflage. New York/Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1996; S. 379-80
38. W. Lang. Tropenmedizin in Klinik und Praxis, 2. aktualisierte Auflage. New York/Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1996; S. 196-8
39. berlingeschichte.de: Viele starben an Ruhr oder Typhus [Internet]. 2000 [zitiert am 30.11.2020]. URL: <https://berlingeschichte.de/bms/bmstxt00/0012prof.htm>
40. Internet-Portal „Westfälische Geschichte“: Aufwachsen in Westfalen, Krisenjahre und Aufbruchsstimmung - die Nachkriegszeit in Deutschland 1945-1965 [Internet]. [zitiert am 7.12.2020]. URL: https://www.lwl.org/westfaelische-geschichte/portal/Internet/input_felder/langDatensatz_ebene4.php?urlID=890&url_tabelle=tab_websegmente
41. K. Bingold. Typhus abdominalis und Paratyphus [E-Book im PDF-Format]. In: R. Aschenbrenner et al. Infektionskrankheiten. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 1952; S. 1400-18
42. J. Borneff. Hygiene. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1971; S. 75-78
43. Hamburgs-Geschichte.de: 1892 Die Cholera Epidemie [Internet]. [zitiert am 20.11.2020]. URL: <http://www.hamburgs-geschichte.de/1892cholera.html>
44. DVGW: DELIWA und DVGW – Ein gemeinsamer Weg [Internet]. [zitiert am 16.11.2020]. URL: <https://www.dvgw.de/der-dvgw/geschichte/chronik-der-deliwa/>

45. DVGW: Trinkwasserhygiene [Internet]. [zitiert am 7.1.2021]. URL:
<https://www.dvgw.de/themen/wasser/wasserqualitaet/trinkwasserhygiene/>
46. Wasserlexikon: DIN 2000 [Internet]. [zitiert am 17.11.2020]. URL: <http://wasserlexikon.de/din-2000/>
47. Hummel A. Mikrobiologische Überwachung der Trinkwasserqualität. Internistische Praxis. 2016; 56(4):1-11
48. Gornik V, Behringer K, Kölb B, Exner M. Erster Giardiasisausbruch im Zusammenhang mit kontaminiertem Trinkwasser in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. April 2001; 44:351–357
49. UBA: Sicheres Management von Trinkwasserversorgungen, Trinkwassersicherheitsplan - das Water Safety Plan-Konzept (WSP) der WHO [Internet]. 2019 [zitiert am 7.1.2021]. URL:
<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/sicheres-management-von-trinkwasserversorgungen#trinkwassersicherheitsplan-das-water-safety-plan-konzept-wsp-der-who>
50. Verordnung über natürliches Mineralwasser, Quellwasser und Tafelwasser (Mineral- und Tafelwasser-Verordnung) vom 1. August 1984. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 667-84
51. Bundesgesetzblatt Online, Bürgerzugang: Bundes-Seuchengesetz [Internet]. 1961 [zitiert am 4.12.2020]. URL:
[https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//*\[@attr_id=%27bgbl161s1012.pdf%27\]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl161s1012.pdf%27%5D__1605818416681](https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//*[@attr_id=%27bgbl161s1012.pdf%27]#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl161s1012.pdf%27%5D__1605818416681)
52. DVGW: Merkblatt W 1001 2020-11 Sicherheit in der Trinkwasserversorgung – Risiko- und Krisenmanagement [Internet]. [zitiert am 7.1.2021]. URL:
<https://www.dvgw-regelwerk.de/plus#technische-regel/dvgw-merkblatt-w-1001/69b31b>
53. W. Steuer. Aufgaben und Erfahrungen der Überwachungsbehörden bei der Durchführung der Trinkwasserverordnung. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 62-81

54. D. Schoenen. Beeinträchtigung der Wasserbeschaffenheit in der Trinkwasser-Installation [E-Book]. In: DVGW. Wasserverwendung – Trinkwasser-Installation. München/Wien: Oldenbourg Industrieverlag; 2000; S. 53-8
55. Hess BJ. Seuchengesetzgebung in den Deutschen Staaten und im Kaiserreich vom ausgehenden 18. Jahrhundert bis zum Reichseuchengesetz 1900 [Dissertation]. Heidelberg: Philosophische Fakultät; 2009; S. 344-48
56. VDI: VDI/DVGW 6023 Hygiene in Trinkwasser-Installationen [Internet]. [zitiert am 8.1.2021]. URL: <https://www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-6023>
57. L. Pfeiffer. Die Cholera in Thüringen und Sachsen während der dritten Cholera Invasion 1865-1867 [E-Book im PDF-Format]. Jena: Druck und Verlag von Friedrich Mauke; 1871; S. 16-109
58. J. Borneff. Hygiene, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1974; S. 106-9
59. ARD Planet Wissen: Wasserversorgung in Deutschland [Internet]. 2020 [zitiert am 26.11.2020]. URL: https://www.planet-wissen.de/natur/umwelt/wasserversorgung_in_deutschland/index.html
60. ARD Planet Wissen: Max von Pettenkofer – Hygiene für München [Internet]. 2020 [zitiert am 27.11.2020]. URL: <https://www.planet-wissen.de/gesellschaft/sauberkeit/hygiene/pwiemaxvonpettenkoferhygienefuermuenchen100.html>
61. Historisches Lexikon der Schweiz (HLS): Typhus [Internet]. 2014 [zitiert am 27.11.2020]. URL: <https://hls-dhs-dss.ch/de/articles/022718/2014-01-21/>
62. S. Winkle. Kulturgeschichte der Seuchen, Ansteckende Gelbsucht. Düsseldorf/Zürich: Komet; 1997; S. 949-964
63. S. Winkle. Kulturgeschichte der Seuchen, Cholera Asiatica. Düsseldorf/Zürich: Komet; 1997; S. 153-251
64. S. Winkle. Kulturgeschichte der Seuchen, Ruhr und Typhus. Düsseldorf/Zürich: Komet; 1997; S. 339-421
65. W. Schumacher. Entwicklung der Rechtsnormen für Trinkwasser. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 13-23

66. Hess BJ. Seuchengesetzgebung in den Deutschen Staaten und im Kaiserreich vom ausgehenden 18. Jahrhundert bis zum Reichseuchengesetz 1900 [Dissertation]. Heidelberg: Philosophische Fakultät; 2009; S. 181-88
67. J. Borneff. Hygiene, 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 1974; S. 239-41
68. M. Kirchner. Robert Koch [E-Book]. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 1924; S. 25
69. J. F. Hallauer. Neue Rechtsnormen für Trinkwasser. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 24-32
70. Thieme: Legionella-Pneumonie, Monster im Duschkopf [Internet]. 2008 [zitiert am 8.12.2020]. URL: <https://m.thieme.de/viamedici/klinik-faecher-innere-1535/a/legionellose-3954.htm>
71. Bundesgesetzblatt Online, Bürgerzugang: Trinkwasserverordnung [Internet]. 1975 [zitiert am 9.12.2020]. URL: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl175s0453.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl175s0453.pdf%27%5D__1611575931377
72. Bundesgesetzblatt Online, Bürgerzugang: Trinkwasserverordnung [Internet]. 1986 [zitiert am 9.12.2020]. URL: https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=//*%5B@attr_id=%27bgbl186s0760.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl186s0760.pdf%27%5D__1607523429454
73. Verordnung über Trinkwasser und über Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung – TrinkwV) vom 12. Dezember 1990. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 605-38
74. Stelzer W, Jacob J, Feuerpfeil I, Schulze E. Untersuchungen zum Vorkommen von Aeromonaden in einem Trinkwasserversorgungssystem. Zentralblatt für Mikrobiologie, Gustav Fischer Verlag Jena. 1992; 147:231-5

75. J. Borneff. Die Bestimmung von E. coli und coliformen Keimen und ihre Bedeutung. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 95-105
76. K. Seidel. Bewertung und Nachweis weiterer mikrobiologischer Parameter. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 106-18
77. G. Walther. Krankheiten durch Shigellen – Die bakterielle Ruhr [E-Book]. In: G. Erdmann et al. Krankheiten durch Bakterien. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 1968; S. 692-3
78. J. M. López Pila. Viren und Trinkwasser. In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 119-25
79. Zobodat: Seuchenhygienische Gefahren bei der Einbringung von Abfallstoffen aus Siedlungen in Gewässer [Internet]. 1956 [zitiert am 17.12.2020]. URL: https://www.zobodat.at/pdf/WasserAbwasser_1956_0058-0065.pdf
80. Jüttemann A. Die Geschichte des Schlesischen Schlammfiebers. ASU Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed. 2020; 55:776–781
81. K. Bingold. Typhus abdominalis und Paratyphus [E-Book im PDF-Format]. In: R. Aschenbrenner et al. Infektionskrankheiten. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 1952; S. 1492-1519
82. Moore NM, Flaws ML. Introduction: Pseudomonas aeruginosa. American Society for Clinical Laboratory Science. 2011; 24(1):41-42
83. C. Schieferstein, G. Just-Nübling. Giardia lamblia [E-Book]. In: W. F. Caspary, M. Kist, J. Stein. Infektiologie des Gastrointestinaltraktes. Heidelberg: Springer-Verlag; 2006; S. 335-41
84. DocCheck Flexikon: Enterokokken [Internet]. 2018 [zitiert am 10.1.2021]. URL: <https://flexikon.doccheck.com/de/Enterokokken>
85. Ockert G. Limax-Amöben-Infektionen beim Menschen in Mitteleuropa: Überblick und aktuelle Probleme. Mitteilungen der Österreichischen Gesellschaft für Tropenmedizin und Parasitologie. 1997; 19:1-10

86. A. C. Rodloff. Obligat anaerobe, sporenbildende Stäbchen (Clostridien) [E-Book]. In: S. Suerbaum et al. Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. Berlin/Heidelberg: Springer-Verlag; 2012; S. 324
87. RKI.de: Epidemiologisches Bulletin, Hepatitis-E-Virus-Infektion aus virologischer Sicht [Internet]. 2015 [zitiert am 21.12.2020]. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2015/Ausgaben/15_15.pdf?__blob=publicationFile
88. R. Armon, Y. Kott. Bakteriophagen als Virusindikatoren [E-Book]. In: R. Walter. Umweltvirologie. Wien: Springer-Verlag; 2000; S. 175-6
89. Schweizerische Vereinigung der Gelähmten: Polio-Virus [Internet]. [zitiert am 21.12.2020]. URL: <http://polio.ch/poliomyelitis/ursache/polio-virus/>
90. DocCheck Flexikon: Norovirus, Geschichte [Internet]. 2019 [zitiert am 22.12.2020]. URL: <https://flexikon.doccheck.com/de/Norovirus>
91. Günther M, Wichmann O, Jelinek T. Akute virale Gastroenteritis. Online ZFA, Die Zeitschrift für Allgemeinmedizin. 2003; 79:380-3
92. Bayerischer Rundfunk: June Almeida - die vergessene Coronavirus-Entdeckerin [Internet]. 2020 [zitiert am 22.12.2020]. URL: <https://www.br.de/nachrichten/wissen/june-almeida-die-vergessene-coronavirus-entdeckerin,S014sCl>
93. Joachim A, Dauschies A. Humane Kryptosporidiose in Europa. Denisia. 2004; 13:403-10
94. Biologie Seite: Theodor Escherich [Internet]. [zitiert am 22.12.2020]. URL: https://www.biologie-seite.de/Biologie/Theodor_Escherich
95. A. Grohmann. Zusatzstoffe für die Desinfektion von Trinkwasser (Chlor, Chlordioxid, Ozon und Silber). In: K. Aurand et al. Die Trinkwasserverordnung, Einführung und Erläuterungen für Wasserversorgungsunternehmen und Überwachungsbehörden, 3. neubearbeitete Auflage. Berlin: Erich Schmidt Verlag; 1991; S. 496-505
96. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz: IfSG, 7. Abschnitt, Wasser [Internet]. 2000, zuletzt geändert 2020 [zitiert am 7.1.2021]. URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/ifsg/index.html>
97. A. Gärtner. Die Hygiene des Wassers, Gesundheitliche Bewertung, Schutz, Verbesserung und Untersuchung der Wässer [E-Book]. Braunschweig: Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; 1915; S. 613-5

98. R. Koch. Wasserfiltration und Cholera [E-Book im PDF-Format]. Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten. 1893; Band XIV:193
99. Rakin A. Yersinia pestis, Eine Bedrohung für die Menschheit. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 2003; 46:949–95
100. W. F. Caspary, M. Kist, J. Stein. Infektiologie des Gastrointestinaltraktes [E-Book]. Heidelberg: Springer-Verlag; 2006; S. 215-8
101. Göbels K, Teichmann D, Richter J, Zysk G, Häussinger D. Diagnose: Melioidose. Deutsches Ärzteblatt. 2005; 31–32:A2166-A2167
102. Forke A. Sind atypische Mykobakterien im Trinkwasser eine Gefahr für neutropene Patienten? [Dissertation]. Ulm: Universitätsklinikum; 2012; S. 1 und S. 10-12
103. Molzberger S. Untersuchungen zur Epidemiologie, Diagnose und Therapie der Toxoplasmose unter besonderer Berücksichtigung der Augenbeteiligung [Dissertation]. München: Medizinische Fakultät der Technischen Universität; 2002; S. 3 und S. 14
104. Schuchart S. Berühmte Entdecker von Krankheiten: Theodor Bilharz sah etwas Wunderbares unter dem Mikroskop. Deutsches Ärzteblatt. 2017; 114(37):112
105. DocCheck Flexikon: Schistosoma mansoni, Pathogenese [Internet]. 2020 [zitiert am 10.1.2021]. URL: https://flexikon.doccheck.com/de/Schistosoma_mansoni
106. Becker W, Luther S. Legionellen im Trinkwasser – Überwachungspraxis im Gesundheitsamt (Praxisbericht). Kommunale Gesundheitsberichterstattung Freie Hansestadt Bremen. 2018; November-Ausgabe: S. 6-7
107. Empfehlung des Umweltbundesamtes: Empfehlung zur Vermeidung von Kontaminationen des Trinkwassers mit Parasiten. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 2001; 44:406-8
108. VDI-Blog: Legionellen im Trinkwasser [Internet]. 2015 [zitiert am 13.1.2021]. URL: <https://blog.vdi.de/2015/07/legionellen-im-trinkwasser/>
109. UBA: Stellungnahme des Umweltbundesamtes, Trinkwasser und Coronavirus, SARS-CoV-2-Übertragung unwahrscheinlich [Internet]. 2020 [zitiert am 13.1.2021]. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/374/dokumente/stellungnahme_uba_sars-co2_und_trinkwasser-1.pdf

110. Heinrichs G. Dunkel pigmentierte Biofilme an Trinkwasserarmaturen – mykologische Analyse und hygienische Bewertung, Ursachen und Abhilfemaßnahmen [Dissertation]. Aachen: Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der RWTH; 2013; ii-iii
111. IKZ.de: Biofilme in der Trinkwasserinstallation, Über Ursachen, Vorkommen und Beseitigungsmaßnahmen [Internet]. 2010 [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://www.ikz.de/detail/news/detail/biofilme-in-der-trinkwasserinstallation-ueber-ursachen-vorkommen-und-beseitigungsmassnahmen/>
112. Management & Krankenhaus: Trinkwasser: Pilze auf dem Vormarsch! [Internet]. 2013 [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://www.management-krankenhaus.de/topstories/hygiene/trinkwasser-pilze-auf-dem-vormarsch>
113. Poppel MS. Isolierung und Charakterisierung von *Acinetobacter* spp. aus Tier- und Umweltproben [Wissenschaftliche Abschlussarbeit]. Bonn: Fachgebiet Lebensmittelchemie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität; 2013; S. 1
114. J.F. Bernardet, J.P. Bowman. The Genus *Flavobacterium* [E-Book im PDF-Format]. In: M. Dworkin et al. *The Prokaryotes*. New York: Springer-Verlag; 2006; S. 481-531
115. Díez MA. Vorkommen und Charakterisierung von enteropathogenen *Escherichia coli* Isolaten aus Lebensmitteln, Wasser und humanen Ursprungs [Dissertation]. München: Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität; 2009; S. 4
116. UBA: Bekanntmachung der Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 der Trinkwasserverordnung – 20. Änderung – [Internet]. 2018 [zitiert am 16.1.2021]. URL: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/3521/dokumente/18_1205_20._bekanntmachung_der_liste_der_aufbereitungsstoffe_und_desinfektionsverfahren_gemaess_ss_11_der_trinkwasserverordnung.pdf
117. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, Bundesamt für Justiz: IfSG, 1. Abschnitt, Begriffsbestimmungen [Internet]. 2000, zuletzt geändert 2020 [zitiert am 15.1.2021]. URL: <http://www.gesetze-im-internet.de/ifsg/index.html>
118. UBA: Trinkwasserqualität, Mikrobiologie [Internet]. 2019 [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/trinkwasser/trinkwasserqualitaet/mikrobiologie#mikrobiologische-uberwachung-der-trinkwasserqualitaet>
119. Biologie Seite: Gießkannenschimmel, Historisch [Internet]. [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://www.biologie-seite.de/Biologie/Gie%C3%9Fkannenschimmel>

120. DocCheck Flexikon: Schimmelpilz [Internet]. 2017 [zitiert am 15.1.2021]. URL: <https://flexikon.doccheck.com/de/Schimmelpilz>
121. WHO: Guidelines for Drinking-water Quality (Trinkwasser-Richtlinie). Katalogisierungsdaten der WHO-Bibliothek. 2017; S. 117-123 und 221-305
122. Empfehlung des Umweltbundesamtes: Coliforme Bakterien im Trinkwasser. Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz. 2009; 52:474-82
123. DVGW: Wasserwerk und Aufbereitung [Internet]. [zitiert am 16.1.2021]. URL: <https://www.dvgw.de/themen/wasser/wasserwerk-und-aufbereitung>
124. H. H. Krämer. Vom Dorfbrunnen zum Wasserwerk, Geschichte der Trinkwasserversorgung an der Saar. Blieskastel: Gollenstein Verlag; 1999; S. 128 ff.
125. Todar's Online Textbook of Bacteriology: Staphylococcus aureus and Staphylococcal Disease [Internet]. [zitiert am 18.1.2021]. URL: <http://www.textbookofbacteriology.net/staph.html>
126. DocCheck Flexikon: Staphylokokkus aureus [Internet]. 2020 [zitiert am 18.1.2021]. URL: https://flexikon.doccheck.com/de/Staphylococcus_aureus
127. DVGW: Das Multi-Barrieren-Prinzip: Basis für eine sichere und nachhaltige Trinkwasserversorgung [Internet]. 2010 [zitiert am 24.1.2021]. URL: https://www.dvgw.de/medien/dvgw/wasser/management/1011castell_multibarriere.pdf
128. UBA: Wer wir sind, Für Mensch und Umwelt [Internet]. 2020 [zitiert am 24.1.2021]. URL: <https://www.umweltbundesamt.de/das-uba/wer-wir-sind>
129. Böhm A, Dreher M, Gran H, Hirmer R, Lehrnbecher M, Metz H, Moritz P, Schmidt HW. Über die Ruhrepidemie (Shigella sonnei) in Ismaning. Öffentliches Gesundheitswesen. 1978; 40:643-52
130. Aachener Nachrichten: Colibakterien in geringer Menge, Abkochempfehlung für Aachener Trinkwasser gilt weiter [Internet]. 2021 [zitiert am 28.1.2021]. URL: https://www.aachener-nachrichten.de/lokales/aachen/abkochempfehlung-fuer-aachener-trinkwasser-gilt-weiter_aid-55902365
131. Trinkwasserspezi: Übersicht über Aufbereitungsverfahren in der Trinkwasseraufbereitung [Internet]. [zitiert am 2.2.2021]. URL: <http://www.trinkwasserspezi.de/uebersi.htm>

8. Anhang

Tabelle 8.1:

Dokumentierte betroffene Städte/Regionen und Todesopferzahlen der Cholera-Epidemie in DE von 1831 bis 1873^(1,2,7,9-13,27-29,31,43,57,63,66)

Jahr	Betroffene Stadt/Region	Todesopfer
1831/32	Berlin* Hamburg Magdeburg (Stadt) Preußen	>1.400 >1.900 69 41.000
1831-59	Erfurt (Regierungsbezirk) Magdeburg (Regierungsbezirk) Merseburg (Regierungsbezirk)	3.077 11.855 5.525
1832	Halle (Stadt) Rheinprovinz	489 >700
1833/34	Aachen Düsseldorf Koblenz	166
1836/37	München	984
1848	Hamburg	k. A.
1849	Köln	1.250
1849/50	Halle (Stadt) Leipzig (Stadt) Saalkreis	1.513 626 591
1853/54	Bayern inkl. München	7.370
1855	Halle (Stadt) Saalkreis	430 54
1859	Hamburg	k. A.
1866	Bautzen (Regierungsbezirk) Berlin* Dresden (Regierungsbezirk) Hamburg Leipzig (Regierungsbezirk) Leipzig (Stadt) Preußen (ohne Ostpreußen) Saalkreis Zwickau (Regierungsbezirk)	527 >6.000 236 k. A. 3.376 1.658 >100.000 1.219 2.585
1866/67	Halle (Stadt)	1.594
1873	Hamburg	k. A.
1873-75	München	1.400
1831-1873	Summe aller Städte und Regionen	>197.594

*In Berlin gab es von 1831-1873 insgesamt 13 Cholera-Ausbrüche⁽⁹⁾

9. Danksagung

Mein Dank gilt --- für die Bereitstellung des Dissertationsthemas, die ausgehändigte Literatur und freundliche Zusammenarbeit.

Ebenso danke ich meiner Familie und meiner Freundin --- für ihre Unterstützung und Ermutigung.

10. Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name und Titel Dr. med. dent. Lukas Olk
geboren 1989 in Aachen

Eltern ---

Staatsangehörigkeit Deutsch

Familienstand ---

Schulbildung:

1996-2009 ---

Bisherige berufliche Laufbahn:

2009-2011 ---

April 2011 Beginn des Studiums der Zahnmedizin an der Universität Mainz

Juni 2016 Abschluss des Studiums der Zahnmedizin an der Universität Mainz

Oktober 2016 Beginn des Studiums der Humanmedizin an der Universität Mainz

Dezember 2018 Zahnmedizinische Promotion

Mai 2022 Abschluss des Studiums der Humanmedizin an der Universität Mainz