

Hygiene und Mikrobiologie – unter besonderer Berücksichtigung der Wasserversorgung

Welche Rolle spielen mikrobiologische Beurteilungsparameter in der modernen Hygiene?

- Aus der Sicht einer umfassenden Siedlungshygiene -

von

Martin Exner

**(Vortrag gehalten am 10.04.2003, Wasser Berlin 2003
2. WaBoLu-Symposium)**

Prof. Dr. med. Martin Exner

**Direktor des Institutes für Hygiene
und Öffentliche Gesundheit
der Universität Bonn**

martin.exner@ukb.uni-bonn.de

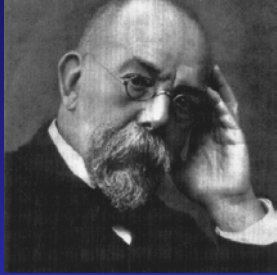
Herrn N. Nobis-Wicherding in Anerkennung seiner Verdienste als Geschäftsführer
des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene gewidmet.

1. Einleitung

Vor 120 Jahren, am 23. Juni 1883, hielt der damalige Geheime Regierungsrat am Kaiserlichen Gesundheitsamt, *Dr. Robert Koch*, auf dem XI. Deutschen Ärztetag in Berlin einen Vortrag zu dem von ihm gewählten Thema:

„Über die neuen Untersuchungsmethoden zum Nachweis der Mikrokosmen in Boden, Luft und Wasser“.

First publication of Robert Koch concerning the detection of microorganisms in soil, air and water (1883)



Robert Koch
(1843 - 1910)

Über die neuen Untersuchungsmethoden zum Nachweis der Mikrokosmen in Boden, Luft und Wasser.¹⁾
Von
Dr. R. Koch,
Geh. Regierungsrat.

¹⁾ Vortrag auf dem XI. Deutschen Ärztetag in Berlin am 23. Juni 1883. Aus *Ärztliches Vereinsblatt für Deutschland*, 1883, Nr. 137. Kommissions-Verlag von F. C. W. Vogel, Leipzig.


 Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn Prof. Dr. med. M. Exner

Abb.1: Originaltitel des von Robert Koch auf dem XI. Deutschen Ärztetages 1883 gehaltenen Vortrages zu den Untersuchungsmethoden zum Nachweis von Mikrokosmen in Boden, Luft und Wasser. (1)

Hierin beschreibt er grundsätzlich die Untersuchungenmethoden zum Nachweis von Mikroorganismen in Wasser, Luft und Boden durch Verwendung fester Nährböden, wobei der Zusatz von Gelatine Nährlösungen in feste Nährsubstanzen verwandelte. Hierdurch war es möglich, bei der Untersuchung von Boden, Luft und Wasser die hierin befindlichen Mikroorganismen sowohl

- zu quantifizieren,
- zu mikroskopieren und
- für die Weiterzuchtung in Reinkulturen zugänglich zu machen.

Bis dahin standen zur Charakterisierung einer möglichen Gesundheitsschädlichkeit von Umweltmedien lediglich die **chemische bzw. physikalische** Untersuchung oder die 1854 von *John Snow* im Rahmen der in London auftretenden Cholera-Epidemie beispielhaft angewandte **epidemiologische Methodik** zur Verfügung.

Die von Koch entwickelten Untersuchungsmethoden haben epochale Bedeutung erlangt und sind bis heute die Grundlage der mikrobiologischen Beurteilung nicht nur von Wasser, sondern auch von Boden und Luft geblieben.

Koch befasste sich in seinem Vortrag abschließend mit der Frage, welche Bedeutung man mikrobiologischen Untersuchungsbefunden von Umweltmedien beimessen sollte:

„Soll man Luft oder Wasser oder Boden, welche Mikroorganismen in Menge enthalten, ohne Weiteres für gesundheitsschädlich erklären? Davor möchte ich jedoch warnen, es ist bis jetzt noch nicht gelungen, unter allen diesen zahlreichen in Luft, Erde und Wasser gefundenen Bakterien pathogene Arten zu finden, und es lässt sich annehmen, dass unter der großen Zahl nur verhältnismäßig sehr wenige schädliche vorkommen. Andererseits dürfen wir aber auch nicht außer Acht lassen, dass, wenn man ein Wasser z. B. nach seinem Gehalt an Ammoniak, Chlor, Salpetersäure usw. beurteilt, und allein schon für gesundheitsschädlich erklärt, es noch mehr zu solch einem Urteil berechtigen würde, wenn man in dem Wasser außerdem noch eine Menge von Mikroorganismen nachweist, selbst wenn darunter keine pathogenen gefunden sind. Außerdem ist es aber durchaus nicht unwahrscheinlich, dass es auch noch gelingen wird, die pathogenen Arten, z. B. die Typhus-Bazillen direkt im Wasser oder Boden nachzuweisen. Denn von den pathogenen Bakterien wachsen mehrere, z. B. die von Dr. Gaffky in Reinkulturen gewonnenen Typhus-Bazillen, die Erysipel-Mikrokokken, die Milzbrand-Bazillen ausgezeichnet in derselben Nährgelatine, welche für die Untersuchung von Luft, Wasser, Boden diente. Es würde nur darauf ankommen, große Reihen von Untersuchungen anzustellen, um diese nicht überall verbreiteten pathogenen Bakterien doch irgendwo einmal anzutreffen. Ihre Unterscheidung von anderen gleichzeitig sich entwickelnden Kolonien ist nicht schwierig, da sie in der Gelatine charakteristische und ziemlich leicht kenntliche Formen annehmen, was hier an einigen Reinkulturen dieser Typhus-, Erysipel-, und Milzbrand-Bakterien, welche ich Ihnen hier vorzeige, ersehen können.

Ich glaube, Ihnen hinreichende Beispiele dafür geliefert zu haben, dass diese neuen Untersuchungsmethoden in der Tat schon in einer Menge von Fragen auf dem Gebiete der **Hygiene** und der **Ätiologie der Infektionskrankheiten** wichtige Aufschlüsse geliefert haben. Es ist zu erwarten, dass mit Hilfe derselben auch noch weitere Resultate erreicht werden, und es ist deswegen

erforderlich, dass ein **jeder Arzt**, der sich für die Ätiologie der Infektionskrankheiten und die damit zusammenhängenden **Fragen der Hygiene** interessiert, sich mit **diesen Untersuchungsmethoden** bis zu einem gewissen Grade **vertraut macht.**“ (1)

Die Gelegenheit, Krankheitserreger im Wasser nachweisen zu können, bot sich Robert Koch noch im gleichen Jahr, als aus *Damiette, Ägypten* die Nachricht kam, dass die Cholera große Verheerungen anrichtete und sich über ganz Ägypten ausbreitete. Die Grenzen Europas schienen bedroht, und die deutsche Regierung war sofort entschlossen, eine Expedition zur Erforschung der Seuche auszurüsten. Am Abend des 16. Augustes 1883 trat Robert Koch die Reise nach Ägypten an, die ihn schließlich nach Kalkutta in Indien weiterführte. (2)

Aus dem Bericht über die Tätigkeit der zur Erforschung der Cholera entsandten Kommission nach Kalkutta an das Kaiserliche Gesundheitsamt Berlin (2)

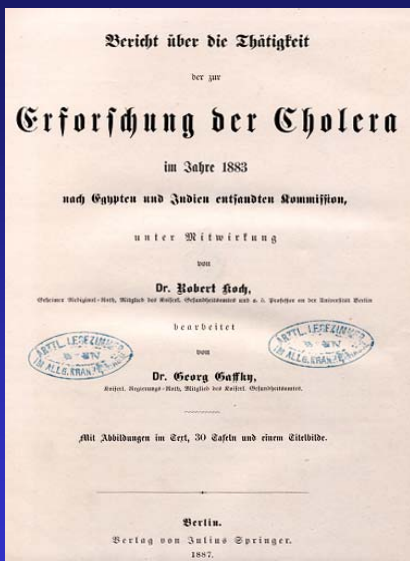
von Robert Koch, 16.12.1883

„Die ferneren Aufgaben, welche die Kommission im Hinblick auf die Gewinnung praktisch verwertbarer Resultate zu erledigen haben wird, habe ich zusammengestellt und erlaube mir, dieselben Ew. Exzellenz im nachstehenden vorzulegen.

- I) Mikroskopische Untersuchung eines möglichst zahlreichen Obduktionsmaterials zur Erweiterung und zur Prüfung der in Ägypten erhaltenen Befunde über das Vorkommen von Bazillen in der Darmschleimhaut von Choleraleichen; insbesondere auch Versuche über spezifische Eigenschaften dieser Bazillen in mikroskopischer Beziehung, um eine sichere Unterscheidung derselben von anderen, in Gestalt und Größe ähnlichen Bazillen zu gewinnen*
- II) Nachforschungen über das Vorkommen von Cholera bei Tieren, Wiederaufnahme der Infektionsversuche mit Cholerastoffen an verschiedenen Tiergattungen; namentlich auch mit Methoden, welche bisher noch nicht benutzt wurden, z. B. Direktinjektion in den Darm*
- III) Gewinnung von Reinkulturen der im Darm der Choleraleichen gefundenen Bazillen und Benutzung dieser Reinkulturen zu Infektionsversuchen an Tieren*
- IV) Bestimmung der biologischen Eigenschaften dieser Bazillen, insbesondere Sporenbildung, Lebensdauer, Verhalten in verschiedenen Nährmedien und bei verschiedenen Temperaturen*
- V) Desinfektionsversuche, um die Bazillen im Wachstum zu behindern, respektive zu vernichten*
- VI) Untersuchung von Boden, Wasser und Luft in ihren Beziehungen zum Cholera-Infektionsstoff, namentlich in Bezug auf die Frage, ob derselbe in den endemischen Choleragebieten unabhängig vom menschlichen Körper, beispielsweise an bestimmte Zersetzungs Vorgänge im Boden gebunden, existieren kann*

VII) *Spezielle Nachforschungen über die Cholerverhältnisse in Indien, und zwar: a) Zusammenhang der Cholera in den endemischen Gebieten mit besonderen Eigentümlichkeiten der daselbst lebenden Bevölkerung und ihrer Umgebung b) Cholera-Ausbrüche in Gefängnissen, unter Truppen, auf Schiffen c) Verhältnisse der im endemischen Gebiete der Cholera am meisten heimgesuchten sowie der von der Krankheit verschonten Plätze d) Art und Weise der Verschleppung der Cholera über die Grenzen des endemischen Gebietes und die Wege, auf welchen die Verschleppung sowohl in Indien als über die Grenze Indiens hinaus stattfindet (Die Kommission hat hierbei besonders die Beförderung der Infektion durch gewisse religiöse Bräuche und die Ausbreitung der Krankheit durch das Pilgerwesen im Auge, ferner die Verbreitung durch Schifffahrt und auf Handelsstraßen.) e) Die in Indien bewährt gefundenen Maßregeln zur Verminderung der Cholera in Gefängnissen und unter den Truppen und den Bedingungen, unter denen in einigen indischen Städten, wie Madras, Pondichery, Guntur, Kalkutta eine auffallende Abnahme der Cholerasterblichkeit stattgefunden hat. Die Kommission beabsichtigt für den Fall, dass die Untersuchung über die mikroskopischen Erreger der Cholera nicht zu dem Grad der Sicherheit gelangen, um praktischen Maßnahmen zugrunde gelegt werden zu können, den unter IV aufgeführten Punkten eine besondere Aufmerksamkeit zu widmen, um Ew. Exzellenz demnächst praktisch verwertbare Vorschläge zur Abhaltung respektive zur Minderung der Cholerafahre für das Deutsche Reich unterbreiten zu können.*

In Kalkutta gelang ihm nicht nur die Entdeckung der „Cholera-Bazillen“ (*Vibrio cholerae*), sondern am **08.02.1884** auch der Nachweis von **Cholera-Bazillen** mit Hilfe des Gelatineplatten-Verfahrens in **Wasserproben** eines Tanks, der u. a. zur Wasserversorgung von Häusern diente, bei deren Bewohnern eine lokale Cholerahäufung aufgetreten war. (2)



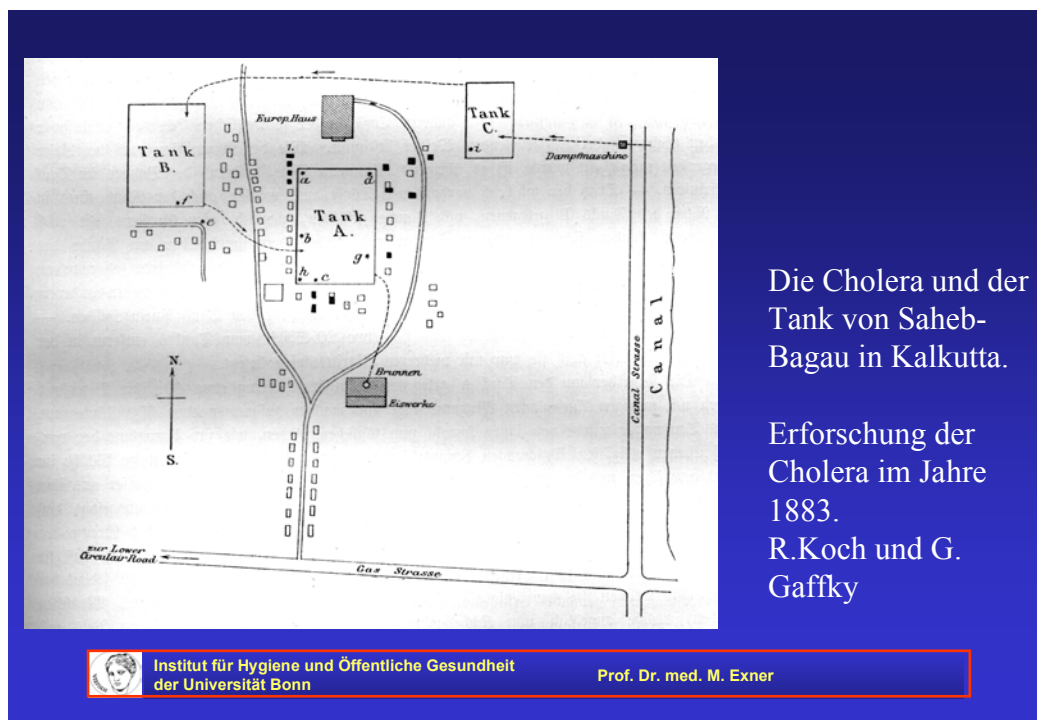
**Report of Robert Koch on
the detection of *Vibrio
cholerae* in Calcutta, 1883,
in the corpses of cholera
victims and in water**



**Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit
der Universität Bonn**

Abb 2: Titelblatt des Berichtes über Erforschung der Cholera, worin Prävalenzangaben der Cholera in Abhängigkeit vom Stadtgebiet enthalten sind .Bemerkenswert ist ,daß im Bereich des britischen Forts die Choleraprävalenz bei 0 liegt. (2)

Abb 3: Lageplan des Tanks ,in welchem Koch und Gaffky am 8.2.1884 in Wasserproben von



Tank A an den Entnahmestellen b und c erstmalig Choleravibrionen nachweisen konnten. Bei Bewohnern, die aus diesem Tank Trinkwasser entnommen hatten, war Cholera festgestellt worden. Damit wurde die ursächliche Beziehung von Cholera und Trinkwasser mit hygienisch-mikrobiologischen Verfahren erstmalig unter Beweis gestellt.(2)

Hiermit wurde erstmalig der Nachweis erbracht, dass nicht nur eine epidemiologische Beziehung zwischen dem Trinken von Wasser und Cholera-Ausbrüchen bestand, wie dies von **John Snow 1854** im Falle der sogenannten **Broad Street Pump** in London beschrieben worden war (3), sondern auch mit hygienisch-mikrobiologischen Nachweisverfahren eine Assoziation zwischen Cholera-Erkrankung und dem Nachweis des Erregers im verwendeten Wasser hergestellt werden konnte.

Mit der Einführung des Gelatineplatten-Verfahrens und dem Nachweis von Cholera-Bazillen im Wasser wurde die hygienisch- mikrobiologische Charakterisierung von Wasser, Boden, Luft in der Siedlungshygiene begründet und blieb bis heute ein unverzichtbares Instrumentarium bei der Verhütung und Kontrolle umweltassoziierter Erkrankungen.

Weitere Mikroorganismen mit Indikatorfunktion wurden zur Beurteilung der Umweltmedien eingeführt. In der Folgezeit wurden die Anforderungen an Methodik und Interpretation immer weiter verfeinert.

Dennoch besteht gegenwärtig der Eindruck, dass hygienisch-mikrobiologische Beurteilungsparameter in den letzten Jahrzehnten nur noch zu einem Selbstzweck geworden sind, ohne dass jedoch die Kunst zur hygienisch-mikrobiologischen Charakterisierung und zur gesundheitlichen Beurteilung von Umweltmedien mehr unbedingt beherrscht werden. Hiervor hatte bereits **August Gärtner** 1915 in seinem Standardwerk: "**Hygiene des Wassers**" (4) gewarnt:

*„ Eine chemische und bakteriologische Untersuchung in den ausgefahrenen Gleisen der üblichen Methoden zu machen, ist nicht schwer; aber die genaue Feststellung einer Reihe von Zahlen allein genügt zur Beurteilung eines Wassers nicht. Es kommt darauf an, **den Geist zu erkennen**, der entsprechend den lokalen Verhältnissen in den Zahlen steckt und zu wissen, ob unter anderen Bedingungen , **z.B.nach Regen, nach Düngung, bei Hochwässern die Zahlen andere werden**, ob der Wert des Wassers sich ändert“*

Diese Sätze haben nichts von Ihrer Richtigkeit und argumentativen Durchschlagskraft verloren und entsprechen der aktuellen WHO-Philosophie des **Water Safety** Principle der 3. Drinking Water Guideline der WHO mit Stand 2003..

Neue Erkenntnisse mit neuen analytischen und epidemiologischen Verfahren einschließlich moderner Feintypisierungsverfahren, neue Erreger (sog. emerging pathogens) und Erkrankungsrisiken, sowie neue Anforderungen an die Beurteilung von Umweltmedien, insbesondere von Trinkwasser, sowie die Zunahme von Risikopopulationen in unserer Bevölkerung machen es jedoch erforderlich, sich wiederum intensiv wissenschaftlich mit der Bedeutung hygienisch-mikrobiologischer Beurteilungsparameter in der modernen Hygiene auseinander zu setzen, ihre Möglichkeiten zu erkennen, zu verfeinern und wiederum zu lernen, mit den Möglichkeiten dieser Beurteilungsparameter sinnvoll umzugehen und diese zur gesundheitlichen Charakterisierung von Umweltmedien zu nutzen.

Von Bedeutung ist in diesem Zusammenhang die Notwendigkeit u. a. durch die in der EU-Richtlinie festgelegte Anforderung - in den § 5 der Trinkwasser-Verordnung 2001 übernommen - dass Wasser für den menschlichen Gebrauch **Krankheitserreger** im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes **nicht in**

Konzentrationen enthalten darf, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.

Neben den gesetzlichen Anforderungen an das Vorkommen von Mikroorganismen für die Gewährleistung eines gesicherten Wassers kommt jedoch leider auch im Zusammenhang mit **bioterroristischen Absichten** ausgebrachten Krankheitserregern in Wasser, Boden und Luft aktuelle Bedeutung zu, die es ebenso erfordern, sich intensiv mit diesen Fragen auseinander zu setzen.

Vor diesem Hintergrund soll es das Ziel des Beitrages sein, mit besonderer Berücksichtigung des Trinkwassers

- auf die Entwicklung und derzeitige Anwendung hygienisch-mikrobiologischer Beurteilungsparameter einzugehen und
- einen Ausblick auf die zukünftigen Anwendungsmöglichkeiten hygienisch-mikrobiologischer Untersuchungsverfahren in der modernen Siedlungshygiene zu geben.

2. Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten hygienisch-mikrobiologischer Beurteilungsparameter

Hygienisch-mikrobiologische Beurteilungsparameter können unterschiedlichen Zwecken dienen:

- Charakterisierung der mikrobiellen Belastung z.B. von Rohwasser zur Bestimmung des Schutzes des Einzugsgebietes und des erforderlichen Aufbereitungserfordernis z.B. der Filtration und Desinfektion
- Hygienisch-mikrobiologische Charakterisierung von Trinkwasser, Boden und Luft, um präventiven Zwecken wie der Beurteilung der gesundheitlichen Unbedenklichkeit zu dienen, u. a. im Rahmen der Wasserüberwachung.
- bei Auftreten bzw. Überschreiten von Grenzwerten Hinweise über mögliche Ursachen und notwendige Kontrollmaßnahmen zu geben
- bei Auftreten umweltassoziierter Infektionskrankheiten hygienisch-mikrobiologische Beurteilungsparameter zu nutzen, um eine Assoziation und eine Ursachenfindung zu ermöglichen.

Im folgenden soll die Bedeutung mikrobiologischer Beurteilungsparameter unter Berücksichtigung klassischer Beurteilungsparameter, wie Koloniezahl, E. coli, Coliforme Bakterien, Enterokokken für die Beurteilung des Trinkwassers auch im Hinblick auf neuere Parameter wie Legionellen, Parasiten, Viren und die Möglichkeiten der Feintypisierung sowie molekularbiologischer Verfahren

für die Beurteilung des Wassers aus hygienisch-medizinischer Sicht erläutert werden.


.Entsprechend der Trinkwasser-Verordnung 2001 wird von „**Wasser für den menschlichen Gebrauch**“ gesprochen, welches sowohl

- Trinkwasser,
- Wasser zum Kochen, zur Zubereitung von Speisen und Getränken
- und zu anderen häuslichen Zwecken wie Körperpflege und –reinigung,
- Reinigung von Gegenständen, die bestimmungsgemäß mit Lebensmitteln in Berührung kommen und
- solchen Gegenständen, die bestimmungsgemäß nicht nur vorübergehend mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommen, einschließt.

Dies entspricht der Bezeichnung, die August Gärtner 1915 in seinem Standardwerk “Hygiene des Wassers,, (4) mit der Bezeichnung: „**Trink-und Hausgebrauchswasser**“ wählte.

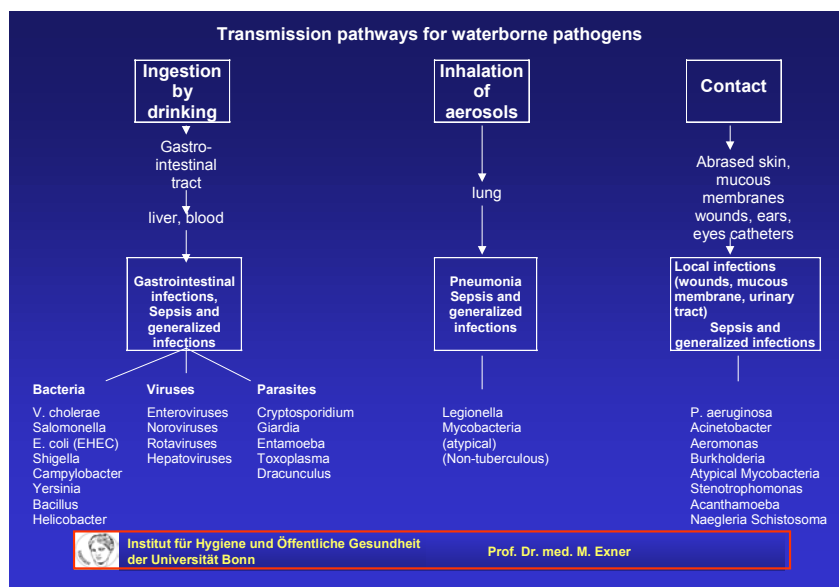
Während im 19. Jahrhundert nur ein schmales Spektrum chemischer Schadstoffe und wasserübertragener Krankheitserregern als relevant angesehen wurde,wie Salmonella typhii,paratyphii, Vibrio cholerae und Shigellen, musste mit dem heutigen Kenntnisstand das Spektrum wasserübertragener Krankheitserreger deutlich erweitert werden.

Abb.4: Auflistung, der von A. Gärtner 1915 als relevant angesehenen wasservermittelten Erkrankungen.

Wasservermittelte Krankheiten durch Trink- u. Hausgebrauchswasser	Waterborne diseases by drinking water suitable for domestic purposes
<u>Infections</u>	<u>Intoxications by</u>
- Cholera	- mercury and arsenic
- Typhoid fever	- Barium and tin
- Paratyphoid fever	- Zinc and copper
- Shigellosis	- lead
- Leptospirosis	- organic toxins
- Gastro-intestinal infections	- toxins for fish
- Anthrax (?)	
August Gärtner: Hygiene des Wassers, 1915	
 Prof. Dr. med. M. Exner	

Eine Auflistung der aus heutiger Sicht relevanten Mikroorganismen in Abhängigkeit vom Aufnahmepfad (Trinken-Ingestion über Magen-Darm-Trakt, Inhalation über Respirationstrakt, Kontakt über Schleimhaut, Wunden) ist der **Abb. 5** zu entnehmen.

Abb.5 Aufnahmepfade von unterschiedlichen Krankheitserregern durch Trinken, Inhalation bzw. Kontakt



2.1 Koloniezahl bei 22°C bzw. 36°C

Die **Koloniezahl** wurde von Robert Koch (1883) als Indikatorparameter etabliert (1) und hat wie kaum ein anderer Parameter die Beurteilung und Verbesserung der Trinkwasserqualität nachhaltig beeinflusst. Trotz der historischen Bedeutung ist die Koloniezahl als Indikatorparameter oder Grenzwert wahrscheinlich heute der am stärksten **unterschätzte mikrobiologische** Beurteilungsparameter für die Qualität des Trinkwassers, den es neu zu entdecken gilt.

Robert Koch hat sich intensiv mit den Konsequenzen der Koloniezahlbestimmung befasst und im Falle von Cholerafällen, die während des kalten Winters 1893 in Altona auftraten, welches 1892 von der Cholera verschont worden war, einen Zusammenhang zu dem Wasserwerk gesehen bzw. einer unzureichenden Filtration. (5)

Vom 01. Februar 1893 standen die Untersuchungsergebnisse der 10 unterschiedlichen Filter des Wasserwerkes für Altona einzeln zur Verfügung. Robert Koch führt zu diesen Untersuchungsergebnissen Nachfolgendes aus (5):

„Zunächst geht daraus hervor, dass am 01. Februar das Filter Nr. 8 schlecht funktionierte, ebenso die Gruppe 9 und 10, in welcher, wie die getrennte Untersuchung vom folgenden Tage ergab, das Filter Nr. 10 das schlecht filtrierende war. Auch die Gruppe 5, 6, 7 lieferte noch kein genügend gereinigtes Wasser. Im Reinreservoir wurden zu gleicher Zeit nur 154 Keime im cm^3 gefunden, eine Zahl, welche kaum Veranlassung gegeben hätte, eine Störung im Filterbetrieb zu vermuten; und doch funktionierten mindestens zwei Filter schlecht. Aber der daraus resultierende Fehler wurde durch die bessere Leistung der übrigen Filter soweit verdeckt, dass das Gesamtwasser des Reinwasserreservoirs nur noch eine Andeutung davon erkennen ließ, welche auch leicht hätte übersehen werden können. In den vorübergehenden Tagen, in welchen im Leitungswasser noch bedeutend höhere Keimzahlen gefunden waren, müssen die Störungen im Filterbetrieb erheblich größer gewesen sein. Vermutlich hatten sie sich durch die bei der Filtration notwendigerweise zunehmende Verschlammung der Filter schon wieder bis zu dem Grade ausgeglichen, der am 01. Februar konstatiert wurde.

Ferner ist noch auf das bakteriologische Verhalten der Filter unmittelbar nach geschehener Reinigung aufmerksam zu machen. Die Tabelle lehrt, dass ein solches Filter fast regelmäßig längere Zeit ungenügend funktioniert. Aus den Zahlen der folgenden Monate, welche im Großen und Ganzen mit denen des Februars übereinstimmen und deswegen hier nicht wiedergegeben zu werden brauchen, geht auch hervor, dass die Erneuerung der Sandschicht, welche für jedes Filter von Zeit zu Zeit erfolgen muss, eine noch größere Störung wie die einfache Reinigung bedingen. So hatte Filter Nr. 10, nachdem am 13. März Sand aufgefüllt war, am 15. März 1880 Keime und am 24. März noch 148.

Das Filter Nr. 8 hatte vor der Erneuerung des Sandes tagelang 20 – 30 Keime, unmittelbar darauf 1364 Keime (an den beiden darauffolgenden Tagen 468 und 244).

Im Übrigen bestätigte die täglich durchgeführte Untersuchung die früheren Erfahrungen, dass ein regelrecht funktionierendes Filter in Wasser mit einer geringeren Keimzahl als 100 liefern muss.

Diese Verhältnisse sind für die zukünftige Beurteilung der Leistungen eines Filterwerkes von hoher Bedeutung, und ich werde später darauf zurückkommen müssen.

Das am schlechtesten funktionierende Filter war nach den Untersuchungen am 01. Februar das Filter Nr. 8 gewesen. An diesem musste man versuchen, den Fehler aufzufinden, welcher die Störung in der Filtration veranlasst hatte. Nach Ablassen des über den Sandfilterschichten stehenden Wassers und der Entfernung der Schlammsschicht fand man dabei, dass die Sandschicht an der Oberfläche gefroren war.

Als Fehler im Filtrationsbetrieb hat sich also das Einfrieren der Sandschicht an der Oberfläche während der Reinigung herausgestellt. Die Vereisung des Sandes macht ihn vollständig undurchlässig für Wasser, und das Filter ging deswegen anfangs überhaupt nicht.

Glücklicherweise haben solche Störungen, welche auf fast allen Filterwerken oft genug vorkommen, nicht immer gleich gefährliche Epidemien zur Folge. Es muss schon

- *das Vorhandensein von Infektionsstoffen im Rohwasser mit der*
- *Insuffizienz der Filteranlage*

zufällig zusammentreffen, um ein solches Unglück zustande kommen zu lassen.

Es ist bereits erwähnt, dass schon in der ersten Dezemberwoche vorübergehend die Filtration ungenügend gewesen war. Damals war Hamburg wochenlang von Cholera frei gewesen, und es traten gerade die ersten vereinzelt Fälle der Nachepidemie auf. Es fehlte also noch an Infektionsstoff im Elbwasser und der Filtrationsfehler blieb deswegen ohne üble Folgen für Altona. Inzwischen entwickelte sich aber die kleine Nachepidemie in Hamburg (vom 20. – 27. Dezember 1892, 27 Fälle), welche dafür sorgte, dass Infektionsstoff in die Elbe gelangte, und als nun gegen Ende Dezember die ausführlich beschriebene Störung der Altonaer Filterwerke eintrat, da wurden über die Stadt die Infektionskeime ausgebreitet und bewirkten das Auftreten von verstreuten Fällen, für welche keine Einschleppung aufzufinden war. Die Infektion des Elbwassers kann wegen der kleinen Zahl von Cholerafällen in Hamburg nur eine geringe gewesen sein, es sind auch anscheinend nur zwei Filter defekt gewesen, und diesem Umstande ist es zuzuschreiben, dass der Cholera-Ausbruch in Altona sich in geringen Dimensionen hielt und, sobald das Filterwerk in Ordnung gebracht war, bald wieder aufhörte. Hätte Hamburg damals mehr Infektionsstoff geliefert und wäre der Filterbetrieb längere Zeit gestört geblieben, dann würde es wohl nicht bei dieser kleinen Nachepidemie geblieben sein. Es wäre dann auch zu fürchten gewesen, dass in Altona, dessen Abgänge bekanntlich

ebenfalls in die Elbe gehen, ein *Circulus viciosus* entwickelt hätte, vermittle dessen die Cholera dort überwintern konnte, was aber mit allen Mitteln verhütet werden musste.

Wenn ich von einem Infektionsstoff sprach, welcher von Hamburg ausgehend in das Elbwasser gelangte, dann ist das keineswegs eine Hypothese, es ist, wie schon in einer vorhergehenden Mitteilung erwähnt wurde, gelungen, in dem Elbwasser die Cholerabakterien nachzuweisen. Sie wurden in demselben, nicht weit unterhalb der Einmündung des Hamburger Stammsiels gefunden. Auch in dem Wasser eines der beiden Absetzbehälter des Filterwerkes, also unmittelbar vor der Filtration, sind sie nachgewiesen. In dem filtrierten Wasser sind sie zwar nicht gefunden, doch würde auch dies wohl gelungen sein, wenn viel größere Quantitäten Wasser verarbeitet wären, als geschehen ist.

....

Dennoch ist daran festzuhalten, dass auch in Zukunft eine Filtrationsgeschwindigkeit von 100 mm die erste Bedingung sein muss, aber wir müssen unsere Forderungen genauer präzisieren und so weit ergänzen, dass der beabsichtigte Zweck sicher erreicht wird. Dies geschieht durch folgende etwas erweiterte Forderung:

1. Die Filtrationsgeschwindigkeit von 100 mm/Stunde darf nicht überschritten werden. Um dies durchführen zu können, muss jedes einzelne Filter mit einer Einrichtung versehen sein, vermittle welcher die Wasserbewegung im Filter auf eine bestimmte Geschwindigkeit eingestellt und fortlaufend auf das Einhalten dieser Geschwindigkeit kontrolliert werden kann.
2. Jedes einzelne Filterwasser muss, solange es in Tätigkeit ist, täglich einmal bakteriologisch untersucht werden. Es soll daher eine Vorrichtung haben, welche gestattet, dass Wasserproben unmittelbar nach dem Austritt aus dem Filter entnommen werden können.
3. Filtriertes Wasser, welches mehr als 100 entwicklungsfähige Keime im cm^3 enthält, darf nicht in das Reinwasserreservoir geleitet werden. Das Filter muss daher so konstruiert werden, dass ungenügend gereinigtes Wasser entfernt werden kann, ohne dass es sich mit dem gut filtrierten Wasser mischt.

....

Wenn die bakteriologische Kontrolle der Wasserfiltration in größerem Umfange durchgeführt werden soll, dann muss sie in möglichst kurzer Zeit Resultate geben. Es wird sich zu diesem Zweck empfehlen, die Gelatineplatten ähnlich wie bei den Cholerauntersuchungen bei einer Temperatur von 22°C im Brütapparat zu halten. Vielleicht lässt sich die Zeit der Untersuchung durch Verwendung von Agarplatten bei 37°C noch erheblich weiter abkürzen. In dieser Beziehung verweise ich auf das, was ich über die verbesserte bakteriologische Choleradiagnose mitgeteilt habe.

Die Annahme, dass filtriertes Wasser mit einem höheren Keimgehalt als 100 nicht genügend gereinigt sei, ist durch die Erfahrung des Altonaer Wasserwerkes, welche durch diejenigen anderer Werke bestätigt werden, vollauf begründet. Dieselbe ist selbstverständlich nicht so zu verstehen, dass ein Wasser mit 101 oder 105 Keimen schon ohne weiteres zu verwerfen ist. Es kommt eben auf eine

verständige Beurteilung des Einzelfalles an und die Zahl 100 soll nur einen durch die Erfahrung gewonnenen Anhalt für diese Beurteilung geben.“

Content of pathogens in the water utility of Altona

Keimgehalt des Wassers der Altonaer Wasserwerke.														
Fehlnr.	Filter										R. W.	E. W.	Bemerkungen	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
1.							832					154	28520	R. = Reinigung des Filters
2.		88				212	550	908				142	35340	R.W. = Reinwasserreservoir
3.		106				374	R. 76	636				110	40920	E. W. = Elbwasser vor der Filtration
4.		123				276	208	96	530			146	31980	
5.		176				206	544	84	362			105	38480	
6.		418				306	401	82	334			68	39680	
7.		224				204	446	94	R.			94	41660	
8.	50	22	40	24	28	186	146	368	84	152		130	25560	
9.	48	28	R.	32	54	194	152	182	64	122		72	44140	
10.	108	50	88	20	28	120	98	110	58	112		126	42160	
11.	68	60	76	78	36	140	R. 126	76	204			152	34100	
12.	72	58	240	60	38	110	288	80	70	282		82	26040	
13.	34	30	560	48	28	82	214	168	86	374		104	24800	
14.	40	46	354	24	18	52	164	142	46	364		142	34080	
15.	26	28	76	14	18	44	74	48	26	72		49	40380	
16.	38	26	84	24	22	52	76	60	R.	120		78	25420	
17.	20	36	156	R.	22	48	82	86	324	180		95	26400	
18.	26	18	102	54	32	54	112	72	82	126		91	26440	
19.	24	20	88	78	28	44	98	82	64	102		70	24800	
20.	26	22	70	104	24	36	96	88	34	78		46	19840	
21.	20	14	80	68	R.	34	96	44	80	152		50	34720	
22.	34	R.	46	62	158	34	68	36	64	verungl.		42	18250	
23.	46	246	52	66	138	46	56	54	72	174		68	14560	
24.	22	42	32	36	72	22	72	76	34	44		54	11080	
25.	18	36	30	28	48	16	48	42	36	88		48	12380	
26.	14	20	24	21	34	12	40	36	28	34		32	9870	


 Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn

Abb. 6: Keimgehalt des Wassers der Altonaer Wasserwerke aus der Publikation von R.Koch „ Wasserfiltration und Cholera „ 1893. (5)

Mit der Koloniezahlbestimmung bei 22°C als auch 36°C werden sogenannte heterotrophe Bakterien erfasst, die **Bakterien** und **Pilze**, nicht jedoch Viren und Parasiten einschließen.

Die **Indikatoreigenschaften** beziehen sich auf

- die allgemeine Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit
- - ohne direkte Korrelation zum Vorkommen von obligat-pathogenen Krankheitserregern

- - mit Erfassung eines hohen Anteils von Mikroorganismen, die fakultativ-pathogene Eigenschaften besitzen, wie Pseudomonaden spp., Acinetobacter spp. etc.
- - ohne gesicherte Korrelation zum Vorkommen von Legionellen
- die Beurteilung der Effizienz von Wasseraufbereitungsverfahren wie
 - - Filtration
 - - Desinfektion
- die Entfernung von bakteriellen Krankheitserregern, ggf. auch von Parasiten, Viren
- das Wiederverkeimungspotential oder die Bioreaktoreigenschaften eines wasserführenden Systems
- die Erkennung von Biofilmen.

Mit der Koloniezahlbestimmung bei 22°C werden in erster Linie eher autochthone Wassermikroorganismen erfasst, bei 37°C eher solche Mikroorganismen, die ggf. fakultativ-pathogene Eigenschaften für den Menschen haben.

Indikatoreigenschaften von Koloniezahlen

- allgemeine Charakterisierung der Wasserbeschaffenheit (ohne Korrelation zum Vorkommen obligat-pathogener Krankheitserreger)
- Beurteilung der Effizienz von Wasseraufbereitungsverfahren wie
 - Filtration
 - Desinfektion
- Charakterisierung des Wiederverkeimungspotentials eines wasserführenden Systems
- mögliche Erkennung von Biofilmen in wasserführenden Systemen



Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit
der Universität Bonn

Abb 7 : Indikatoreigenschaften von Koloniezahlen

Faktoren ,die die Erhöhung der Koloniezahl beeinflussen, sind

- Stagnation im Wasserverteilungssystem oder in der Hausinstallation
- Stagnation in abgepackten Wässern (Flaschen), wasserführenden Geräten
- erhöhte Temperatur
- Verfügbarkeit von Nährsubstrat (z. B. aus Materialien oder Wasserinhaltsstoffen)
- Fehlen oder unzureichende Desinfektionskapazität
- Vorkommen von Biofilmen in wasserführenden Systemen.

Als Beurteilungsgrundsätze bei der Feststellung erhöhter Koloniezahlen ist **nicht** die **absolute Höhe entscheidend**, sondern die **plötzliche** oder die **kontinuierliche Veränderung bzw. Erhöhung der Koloniezahl** im Vergleich zu einem Basislevel.

Ein plötzlicher Anstieg der Koloniezahl weist auf einen Einbruch oder Einfluss kontaminierten Wassers hin.

Ein kontinuierlicher Anstieg weist ggf. auf die Ausbildung von Biofilmen hin.

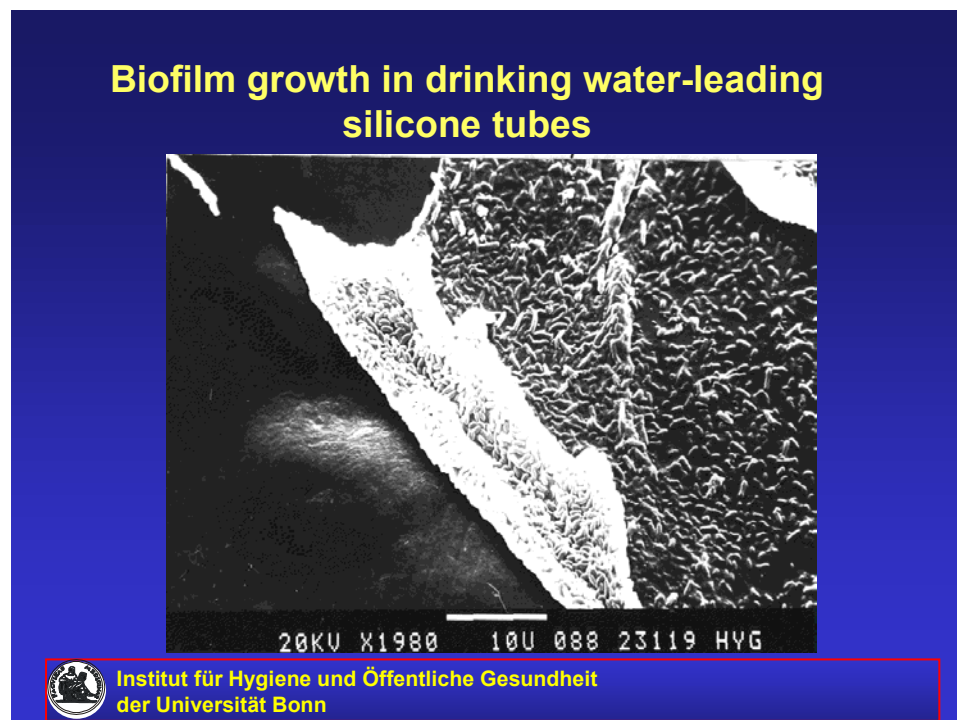
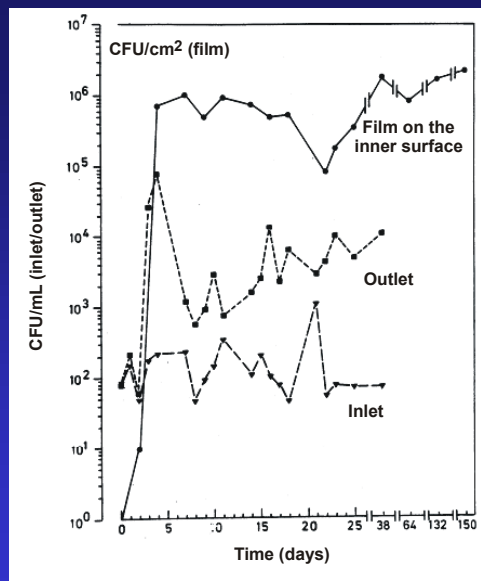


Abb. 8: Biofilm im Innenlumen eines mit Leitungswasser durchströmten Silikonschlauches

Colony count in water at the inlet and outlet of a silicone tube and at its internal surface



Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit
der Universität Bonn

Abb. 9: Darstellung des Verlaufes von Koloniezahlen im Zulauf und im Auslauf eines mit Leitungswasser durchströmten Silikonschlauches sowie im Biofilm pro cm² Innenwandung des Silikonschlauches. (6)

Wegen dieser Eigenschaften wird zukünftig die Koloniezahl als Indikatorparameter wieder verstärkt berücksichtigt werden müssen und zusätzlich für die Charakterisierung der Wasserqualität von Hausinstallationssystemen einbezogen, um hierdurch das Wasser auch auf solche Mikroorganismen zu „screenen“, die sich mit den Methoden der Koloniezahlbestimmung indizieren lassen, und über andere Aufnahmepfade als dem Trinken Gesundheitsgefährdungen verursachen können. Hierzu zählen insbesondere Krankheitserreger wie *Pseudomonas aeruginosa*, Flavobakterien, Acinetobacter, Klebsiella, Serratia, Aeromonas und einige langsam wachsende Mykobakterien.

Während das **Trinken** (per ingestionem) von Wasser mit hohen Koloniezahlen trotz Vorkommen fakultativ-pathogener Mikroorganismen (wie Acinetobacter, Aeromonas, Flavobacterium, Klebsiella, Moraxella, Mycobacterium, Serratia, Pseudomonas und Xanthomonas) bei gesunden Personen nach bisherigem Kenntnisstand erst bei sehr

hohen Koniezahlen eine erhöhte Gesundheitsgefährdung beinhaltet, kann jedoch bei Personen, die mit Antibiotika behandelt werden, oder bei Personen mit Immunabwehrschwäche wie AIDS, nach Organtransplantation oder Chemotherapie bei Leukozytenzahlen < 1000 ml eine Gesundheitsgefährdung durch Gastroenteritis, Haut- und Schleimhautinfektionen nicht ausgeschlossen werden. (7)

Da, wie eingangs erwähnt, nach der heutigen Definition sich die Gefährdungsbeurteilung jedoch nicht mehr nur allein auf die Gefährdung durch Aufnahme von Wasser über den Gastrointestinaltrakt (**per ingestionem**) bezieht, sondern auch über **Kontakt** bei Reinigung über Haut und Schleimhautkontakt bedarf es einer erneuten Gefährdungsbeurteilung für diese Zwecke. Diese liegt derzeit noch nicht im Konsens vor.

Nichtsdestotrotz sollte im Sinne eines umfassenden Gesundheitsschutzes Wasser mit hohen Koloniezahlen nicht für die Anwendung bei Personen mit Immunschwäche oder zur Reinigung bei Patienten mit invasiven Systemen (Harnwegskatheter etc.) verwendet werden.

Eine der großen Herausforderungen bei der Etablierung neuer Beurteilungsparameter liegt in der Beurteilung sogenannter fakultativ-pathogener Mikroorganismen, die bei Personen mit geschwächter Immunität oder die über andere Aufnahmepfade als über das Trinkwasser, z. B. über Kontakt mit Haut, Schleimhaut oder Inhalation aufgenommen werden. Diese Krankheitserreger können bei Störungen von generellen Abwehrmechanismen, aber auch bei älteren Personen oder Frühgeborenen (< 1500 g Gewicht sog. very low birth neonates) , bei Patienten mit Verbrennungen oder ausgedehnten Wunden, bei immunsuppressiver Therapie oder bei Vorliegen z. B. von AIDS zu Infektionen führen. Wasser mit erhöhten Koloniezahlen, welches bei solchen Patienten nicht nur zum Trinken, sondern auch zum Reinigen, Baden, Duschen oder zur Reinigung von Katheter-Eintrittsstellen verwendet wird, kann verschiedene Infektionen der Haut und der Schleimhaut von Auge, Ohr, Nase verursachen. Da in zunehmendem Maße auch Patienten zu Hause medizinisch versorgt werden, kann man jedoch nicht mehr nur davon ausgehen, dass solche Krankheitserreger nur in Krankenhäusern relevant sind. (8,9)

Bezugnehmend auf die Bestimmungsverfahren der Koloniezahl nach der Trinkwasser-Verordnung alter Fassung können bei gutem Wassermanagement nach Erfahrung der Verfasser Koloniezahlen sowohl bei 22°C wie 36°C von **weniger als 10 KBE/ml** erreicht werden. Durch Verlängerung der Bebrütungszeit kommt es methodenbedingt zur Feststellung höherer Koloniezahlen, was ggf. für eine bessere Stratifizierung entsprechender Einflussfaktoren oder zur Ursachenabklärung bei Veränderung der Koloniezahl genutzt werden kann.

Zukünftig wird nach den Empfehlungen der Trinkwasserkommmission die Koloniezahl zur Beurteilung des mikrobiologischen Zustandes der Hausinstallation in öffentlichen Einrichtungen genutzt werden. Hierbei wird durch Untersuchung von Wasserproben, entnommen an der Übergabestelle in das Hausinstallationssystem und an einer peripheren Entnahmestelle innerhalb des Hausinstallationssystems, ermittelt, ob eine mikrobielle Vermehrung im System wahrscheinlich ist

Insgesamt handelt es sich um einen Indikatorparameter, der - richtig angewandt und beurteilt - eine hohe Attraktivität wegen seiner Einfachheit hat. Zudem bedeutet eine Erhöhung der Koloniezahl nicht in jedem Fall direkt bzw. zwingend eine erhöhte Gesundheitsgefährdung, die z. B. zu einer Information des Verbrauchers oder zu einem Abkochgebot führen müsste. Die Einzelumstände sind hierbei jedoch zu berücksichtigen.

Auf der anderen Seite weist eine Erhöhung der Koloniezahl vorzeitig auf mögliche Probleme im Wassersystem hin, lange bevor es zum Nachweis von Coliformen Bakterien, E. coli, Enterokokken oder Clostridium perfringens im Trinkwasser kommen kann. In jedem Fall muss eine hygienisch-medizinische Abklärung erfolgen.

Die Koloniezahl ist und bleibt daher ein unverzichtbarer Grundparameter für die hygienisch- mikrobiologische Beurteilung der Wasserqualität.

2.2 Coliforme Bakterien einschließlich thermotoleranter Coliformen, E. coli und Enterokokken

Insbesondere die Einführung von **Coliformen Bakterien** als Indikatoren für eine fäkale Verunreinigung hat die Validierung und Verifizierung der einwandfreien Wasserqualität erheblich verbessert.

Zu den Colifomen Bakterien (aerobe oder , fakultativ-anaerobe, gramnegative, nicht sporenbildende Bakterien, die Laktose fermentieren und innerhalb von 24 Stunden bei 35°C Gas produzieren) zählen sowohl solche Bakterien fäkalen Ursprungs wie aber auch heterotrophe Bakterien, die in der Lage sind, sich in aquatischen Biotopen zu vermehren.

Zu den **thermotoleranten Coliformen Bakterien** zählen hauptsächlich Escherichia, Citrobacter, Klebsiella und Enterobacter spp., die noch besser eine fäkale Verunreinigung des Trinkwassers indizieren.

Im Gegensatz zu den übrigen Coliformen Bakterien vermehrt sich **Escherichia coli** nur bedingt – wenn überhaupt – in aquatischen Biotopen.

Coliforme Bakterien werden als Indikatoren für die allgemeine Wasserqualität und als Hinweis für eine **mögliche** fäkale Verunreinigung angesehen. **Escherichia coli** gilt allgemein als spezifischer Indikator für eine **definitive** fäkale Verunreinigung.

Trotz der großen Bedeutung von Coliformen Bakterien und E. coli als Indikatoren für die allgemeine Wasserqualität und als spezifische Indikatoren für eine fäkale Verunreinigung haben sie den Nachteil, dass sie nach heutigem Kenntnisstand nicht sicher die Anwesenheit persistenter Krankheitserreger wie Viren oder Parasiten im behandelten Trinkwasser indizieren.

Enterokokken (fakultativ-anaerobe grampositive Bakterien) kommen sowohl in den Faeces von Mensch und Tieren, wenn auch in geringerer Anzahl als Coliforme Bakterien vor, sind jedoch gegenüber Umweltbedingungen deutlich resistenter als diese.

Sie können zwar längere Zeit als E. coli bzw. Coliforme Bakterien in aquatischen Biotopen überleben, kommen jedoch in geringerer Konzentration in Faeces von Mensch und Tier vor.

Coliforme Bakterien werden weiterhin weltweit der wichtigste Indikator neben E. coli für die Überprüfung der Wasserqualität bleiben.

Enterokokken haben als zusätzliche Indikatoren für die Güte der Wasserqualität und die Effizienz der Wasserbehandlung eine wichtige Funktion bzw. als ein sekundärer Indikator bei Nachproben, sofern Coliforme Bakterien oder E. coli in Wasserverteilungssystemen nachgewiesen wurden.

1982 wurden neue sog. **enterohämorrhagische E.coli** entdeckt, die sich von den bisherigen E.coli aufgrund ihrer deutlich niedrigeren Infektionsdosis unterscheiden und zu neuen Krankheitsbilder führten.. Zu den wichtigsten enterohämorrhagischen E. coli zählt **E. coli O157:H7** und andere EHEC-Serotypen, die bei geringer Infektionsdosis neben Diarrhoen zur **hämorrhagischen Colitis** und/oder zum **haemolytisch-urämischen Syndrom (HUS)** führen können. Der größte Trinkwasser- bedingte Ausbruch mit diesem Escherichia coli O157:H7 ereignete sich im Jahre 2000 in **Walkerton**, Ontario, in Kanada, wo 7 Personen verstarben und mehr als 2.300 Personen erkrankten. (10).

In diesem Zusammenhang ist von Bedeutung, dass eines der derzeit in Deutschland vom Umweltbundesamt zugelassenen Nachweisverfahren für den E. coli-Nachweis (**Colilert 18**) **E. coli O157:H7** nicht als E. coli, sondern nur als Coliforme Bakterien indiziert. Dies ist bei der Interpretation der Untersuchungsergebnisse zu berücksichtigen. Bei Verwendung dieser Systeme müssen daher bei Nachweis von Coliformen Bakterien ggf. weitergehende Untersuchungen auf das Vorkommen von E. coli durchgeführt werden. Zusätzlich ist zu berücksichtigen daß mit diesem Nachweisverfahren bestimmte Enterobacteriaceae wie **Enterobacter cloacae** oder **Serratia marcescens** mit höherer Wahrscheinlichkeit als mit anderen Nachweisverfahren indiziert werden.

Enterobacter cloacae kann sich über weite Strecken in Fließgewässern, insbesondere im Spätsommer, Frühherbst in hohen Konzentrationen ausbreiten und ist in der Lage Aufbereitungsverfahren wie die Flockungsfiltration zu überwinden und ins Trinkwasser zu gelangen. Warum es zu einer Vermehrung zu dieser Jahreszeiten kommt, bedarf weiterer Abklärung. In Talsperren muss eine

Freisetzung aus Sediment im Zusammenhang mit der zu dieser Jahreszeit einsetzenden Vollzirkulation diskutiert werden.

Bei der Bewertung dieser Befunde ist zu berücksichtigen, daß **Enterobacter cloacae** zu den fakultativ-pathogenen Erregern nosokomialer Infektionen (Wund-, Atemwegsinfektionen, Septikämie) zu zählen ist und sich in Biofilmen in Hausinstallationen vermehren kann (16,17). In Abhängigkeit von der Befundlage ist bei der Gefährdungsbeurteilung abzuwägen, ob eine Information von Krankenhäusern mit Intensivstationen und Hämodialysestationen notwendig ist

Bei Nachweis von **E. coli** nach der Aufbereitung oder an verschiedenen Stellen im Wasserverteilungssystem als Hinweis für eine systemische Kontamination müssen **unverzüglich Maßnahmen zur Information der Bevölkerung**, ggf. ein **Abkochgebot, Desinfektionsmaßnahmen** und ein umgehendes **Management zur Aufdeckung und Beseitigung der Ursachen** für die Kontamination durchgeführt werden. In keinem Fall ist es ausreichend, ohne Ursachenabklärung Wasserversorgungssysteme, in welchen E. coli systemisch nachgewiesen wurde, lediglich zu desinfizieren, da es in solchen Fällen nach Beendigung der Desinfektionsmassnahme zu einem Wiederauftreten von E.coli kommen kann, was dann zu einem Vertrauensverlust bei den Verbrauchern führen wird.

Bei Nachweis von **Coliformen Bakterien** nach Aufbereitung bzw. im Wasserverteilungssystem und nach Ausschluss falsch-positiver Proben sollte **unverzüglich eine Ursachenklärung** der Kontaminationsquelle, eine Desinfektion, eine **Weiterdifferenzierung der Coliformen Bakterien** sowie ggf. eine **Information der Verbraucher** bzw. ein Abkochgebot oder Pasteurisation (in Abhängigkeit von der Risikoanalyse) herausgegeben werden.

In Abhängigkeit von der Differenzierung der Coliformen Bakterien durch ein unabhängiges hygienisch-medizinisches Institut sollten vor dem Hintergrund der Zunahme infektionsgefährdeter Personen in der Bevölkerung die Maßnahmen durch ein **Störfallmanagement-Team** unter Hinzuziehung eines **Arztes für Hygiene und Umweltmedizin** im Detail abgeklärt werden und über weitere Maßnahmen entschieden werden. In jedem Fall müssen engmaschige Proben zusätzlich auf das Vorkommen von E. coli und Enterokokken und ggf. weiterer wasserassoziierter

Krankheitserreger wie Viren und Parasiten (Cryptosporidien, Giardien) überprüft werden.

Bei dem hohen Anspruch an die Versorgungsqualität mit Trinkwasser ist es in Deutschland nicht mehr vertretbar, wenn **ohne Ursachenklärung** ein Befund Coliformer Bakterien im Trinkwasser geduldet wird.

Obwohl mit den heutigen zugelassenen Nachweisverfahren für E. coli und Coliformen Bakterien bzw. Enterokokken grundsätzlich eine Quantifizierung möglich ist, ist der systemische Nachweis im Wasserverteilungsnetz von E.coli/ Coliformen Bakterien in 100 ml Trinkwasser unabhängig von der Quantität aus gesundheitlicher Sicht nicht akzeptabel. Dies gilt natürlich nicht für falsch-positive Befunde bzw. das Auftreten von E. coli aufgrund einer unzureichenden Probenahme oder ungünstiger einzelner Probeentnahmestellen.

Ein grundsätzlicher Nachteil von E.coli/ Coliformen Bakterien und Enterokokken ist, dass **Krankheitserreger nicht fäkaler Herkunft (Legionellen, P. aeruginosa)** nicht sicher bzw. nicht indiziert werden. Darüberhinaus sind diese Parameter nur **einseitig positive Indikatoren** für andere fäkal- ausgeschiedene Erreger wie Viren und Parasiten, die aufgrund höherer Desinfektionsmittelresistenz bzw. Persistenzeigenschaften/ Tenazität in aquatischen Biotopen vorkommen können. Daher kann aus dem fehlenden Nachweis dieser Indikatoren nicht sicher auf das Fehlen von Viren und Parasiten geschlossen werden. Inwieweit diese grundsätzliche Unsicherheit durch die Einführung von **Clostridium perfringens** als Indikator für die Qualität von Oberflächenwässern bzw. oberflächenbeeinflussten Wässern ausgeschlossen werden kann, ist noch weiter wissenschaftlich abzuklären.

Microbiological and parasitological test results	Sample point	Date	Crypto [/100l]	Giardia [/100l]	CFU 20°C	CFU 36°C	Total coli-forms	E. coli	Faecal strept	Clostridia
	Rengsdorf reservoir	10-26	-	4.3	5	8	+	-	+	+
	Bonefeld reservoir	10-26	-	0.9	2	0	-	-	-	+
	spring 1	11-07	-	-	0	1	-	-	-	-
	spring 2	11-07	-	-	0	2	+	-	-	-
	spring 3	11-14	-	-	140	116	-	+	+	-
	spring 4	11-14	-	70.5	2700	2960	+	+	+	+
	spring 5	11-20	-	-	1	1	-	+	+	-
	well 1	11-07	-	-	0	0	-	-	-	-
	well 2	11-07	-	-	4	0	-	-	-	-
	well 3	11-14	-	-	0	0	-	-	-	-
well 4	11-14	-	-	3	3	-	-	-	-	

Source: Gornik et al., Bundesgesundheitsbl 44, 2001: 358-363

Institut für Hygiene und Öffentliche Gesundheit der Universität Bonn Prof. Dr. med. M. Exner

Abb. 9: Untersuchungsergebnisse im Zusammenhang mit einer wasserbedingten Giardiasisendemie in Deutschland mit Nachweis von Clostridien an verschiedenen Entnahmestellen. In den Fällen, in denen Giardien in Wasserproben nachgewiesen wurden, konnten immer auch Clostridien, nicht jedoch immer E. coli, Coliforme Bakterien oder Faekalstreptokokken nachgewiesen werden. (Gornik et al. 2001 ,(11))

Somit ist die Forderung der Trinkwasserverordnung 2001 im Falle des Nachweises von Clostridium perfringens in Oberflächen- oder Oberflächen beeinflussten- Wässern bei der periodischen Trinkwasseruntersuchung in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten eine Untersuchung auf Parasiten (Cryptosporidien; Giardien) zu veranlassen , sinnvoll .

Dennoch bleiben E.coli/Coiliforme Bakterien/Enterokokken auch für die Zukunft unverzichtbare und bewährte hygienisch-mikrobiologische Indikatoren

2.3 Legionellen

Legionellen nehmen unter den wasserübertragenen Krankheitserregern eine Sonderstellung ein. Es handelt sich um heterotrophe Bakterien, die u. a. in Hausinstallationssystemen sich zu hohen Konzentrationen in Biofilmen oder in

Amöben vermehren können. Sie sind somit **nicht fäkaler Herkunft** und können daher auch mit den bisherigen, in der Wasserhygiene üblichen mikrobiologischen Qualitätsmarkern und Indikatorsystemen nicht sicher indiziert werden.

Sie werden nicht über den Magen-Darmtrakt (per ingestionem) aufgenommen bzw. führen nicht über diesen Weg zur Infektion, sondern über den **Inhalationsweg**.

Der Nachweis von Legionellen in wasserführenden Systemen erfordert besondere Nachweisverfahren, wodurch sie auch über die Bestimmung der Koloniezahl nicht sicher bzw. nicht indiziert werden.

Lange Zeit wurde daher nach Identifizierung dieser 1977 entdeckten Krankheitserreger- die Frage diskutiert, ob bzw. wie diese wasserbedingten Krankheitserreger mit hygienisch-mikrobiologischen Untersuchungsverfahren von Hausinstallationen im Rahmen der Validierung und Verifizierung der Wasserqualität zu erfassen seien.

1990 wurde vom Verfasser ein erstes System zur Risikobewertung der in Hausinstallationssystemen ermittelten Legionellenzahlen vorgeschlagen, das schließlich 1994 bzw. 1995 vom DVGW in dessen Regelwerke als Orientierung übernommen wurden. (12)

Mittlerweile bestehen in zahlreichen europäischen Ländern Anforderungen zur regelmäßigen Untersuchung von Legionellen in Hausinstallationssystemen zur Verifizierung und Validierung des Wartungszustandes von Hausinstallationssystemen.

In der Trinkwasser-Verordnung 2001 ist in der Anlage 4 die Untersuchung auf Legionellen geregelt.

Hierin heißt es: „Der periodischen Untersuchung unterliegt auch die Untersuchung auf **Legionellen in zentralen Erwärmungsanlagen der Hausinstallation** nach § 3 Nr. 2c, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit bereitgestellt wird.“

Hierunter fallen **Krankenhäuser, Pflegeheime, Altenheime, Hotels sowie öffentliche Badeanstalten und Sporteinrichtungen sowie übrige Einrichtungen u.a. Jugendherbergen**, in denen bestimmungsgemäß geduscht wird.

Somit wurde in den letzten Jahren neben den klassischen Beurteilungsparametern ein neuer hygienisch-mikrobiologischer Parameter eingeführt und mittlerweile in der Trinkwasserverordnung festgeschrieben. Ziel der periodischen Untersuchung ist festzustellen, ob das warmwasserführende System so betrieben und gewartet wird, daß eine Vermehrung von Legionellen unter Kontrolle gehalten wird.

2.4 Pseudomonas aeruginosa

Pseudomonas aeruginosa als gramnegatives aerobes Stäbchen kommt natürlicherweise in aquatischen Biotopen vor und kann sich hierin auch unter extrem nährstoffarmen Bedingungen vermehren. *Pseudomonas aeruginosa* wird sowohl in neu verlegten Rohrleitungssystemen wie in Hausinstallationssystemen, insbesondere im Endstrang sowie in Warmwassersystemen nachgewiesen.

Pseudomonas aeruginosa wird durch *E. coli*, Coliforme bzw. Enterokokken nicht indiziert und steht nur bedingt in Korrelation zu einer erhöhten Koloniezahl. Trotz niedriger Koloniezahlen kann *Pseudomonas aeruginosa* also zum Teil in hohen Konzentrationen vorhanden sein.

Der Aufnahmepfad über das **Trinken** bzw. die Aufnahme von *Pseudomonas aeruginosa* über den Magen-Darmtrakt gilt insbesondere bei gesunden Personen **nicht** als relevanter Expositionspfad.

Über **Kontakt** von disponierter Haut, Schleimhaut, Fremdkörpern, Wundreinigung oder Reinigung von Katheter-Eintrittsstellen kann es jedoch zur Kolonisation und schließlich zu schwer verlaufenden Infektionen kommen. Neben Hautinfektionen mit Pusteln oder Ohrinfektionen wie der **Otitis externa** kann es insbesondere bei vorgeschädigter Haut wie Verbrennungen oder über Katheter-Eintrittsstellen wie Harnwegskatheter zu schwer verlaufenden **Wundinfektionen, Pneumonien, Harnwegsinfektionen** und **Sepsis** kommen.

Pseudomonas aeruginosa gilt mit als der häufigste und gefährlichste **Erreger nosokomialer Infektionen**, wobei eine hohe natürliche Antibiotika-Resistenz besteht.

Durch Anwendung von **Feintypisierungsverfahren** mittels Pulsfeldgelelektrophorese (PFGE) konnte in den letzten Jahren eine ursächliche Beziehung zwischen kontaminierten Wasserleitungssystemen im Krankenhaus und Infektionen bei Patienten nachgewiesen werden. Nach Untersuchungen von Reuter et al. (14) sind bis zu 40 % der auf Intensivstationen auftretenden *Pseudomonas aeruginosa*-Infektionen mit einer Kontamination des Wasserleitungssystems, insbesondere des Warmwasserleitungssystems ursächlich assoziiert sowie mehr als 30 % der auf peripheren Stationen auftretenden *Pseudomonas aeruginosa*-Infektionen.

Untersuchungen von Anaissie E.J. et al. (15) weisen darauf hin, dass schätzungsweise **1.400 Todesfälle jedes Jahr** in den Vereinigten Staaten als Ergebnis einer wasserbedingten **nosokomialen Pneumonie durch *Pseudomonas aeruginosa*** bedingt werden.

Als weitere relevante wasserassoziierte *Pseudomonas aeruginosa*-bedingte Infektionen sind darüber hinaus die bei **Kontaktlinsenträgern** auftretenden **Keratitis** mit erheblicher epidemiologischer Bedeutung anzusehen.

Das Vorkommen von *Pseudomonas aeruginosa* in Trinkwasser weist auch nach Einschätzung der Weltgesundheitsorganisation (Drinking Water Guideline 2003 in Vorbereitung) auf eine ernsthafte nachteilige Verschlechterung der bakteriologischen Wasserqualität hin.

Diese neueren Erkenntnisse zur epidemiologischen Bedeutung machen dringend es notwendig, Überlegungen zur Prävention wasserassoziierter Pseudomonaden-Infektionen anzustellen und abzuklären, ob in bestimmten Bereichen bzw. Situationen *Pseudomonas aeruginosa* als mikrobiologischer Beurteilungsparameter der Wasserqualität eingeführt werden muss.

Die Trinkwasserkommission hat daher im Zusammenhang mit den Untersuchungen der Trinkwasser-Verordnung entsprechend §§ 18 – 20 empfohlen, dass bei Untersuchungen des Hausinstallationssystems durch das Gesundheitsamt in

öffentlichen Einrichtungen, wie z. B. Krankenhäusern und Altenheimen bzw. Pflegeheimen die Wasserqualität auch auf *Pseudomonas aeruginosa* untersucht werden sollte. ***Pseudomonas aeruginosa* darf in 100 ml nicht nachweisbar** sein.

2.4 Weitere wasserassoziierte Krankheitserreger

Die Kriterien für weitere wasserassoziierte Krankheitserreger im Trinkwasser wie z. B. **Cryptosporidien, Giardia, Campylobacter, Enteroviren** sind bislang nicht im Konsens abgestimmt und bedürfen dringend weiterer Konsentierung. Die Risikoeinschätzung sowohl für Parasiten wie auch für Enteroviren weisen darauf hin, dass bereits bei extrem niedrigen Konzentrationen dieser Erreger im Trinkwasser, die durch übliche Nachweisverfahren nicht mit der ausreichenden Sensitivität erfasst werden können, Infektionen nicht auszuschließen sind.

Dies bedeutet, dass der Nachweis von Enteroviren bzw. Parasiten wie Cryptosporidien oder Giardia in den jeweiligen Untersuchungsvolumina im Trinkwasser, welches bei Cryptosporidien 100, 500 bzw. 1000 Liter beträgt, aus hygienisch-medizinischer Sicht nicht akzeptabel ist.

Die zukünftige Strategie der WHO wird darin bestehen, die Rohwasserqualität auf das Vorkommen von Cryptosporidien, Giardien zu untersuchen und in Abhängigkeit von der Konzentration die notwendigen Aufbereitungsverfahren und deren Leistung zu definieren.

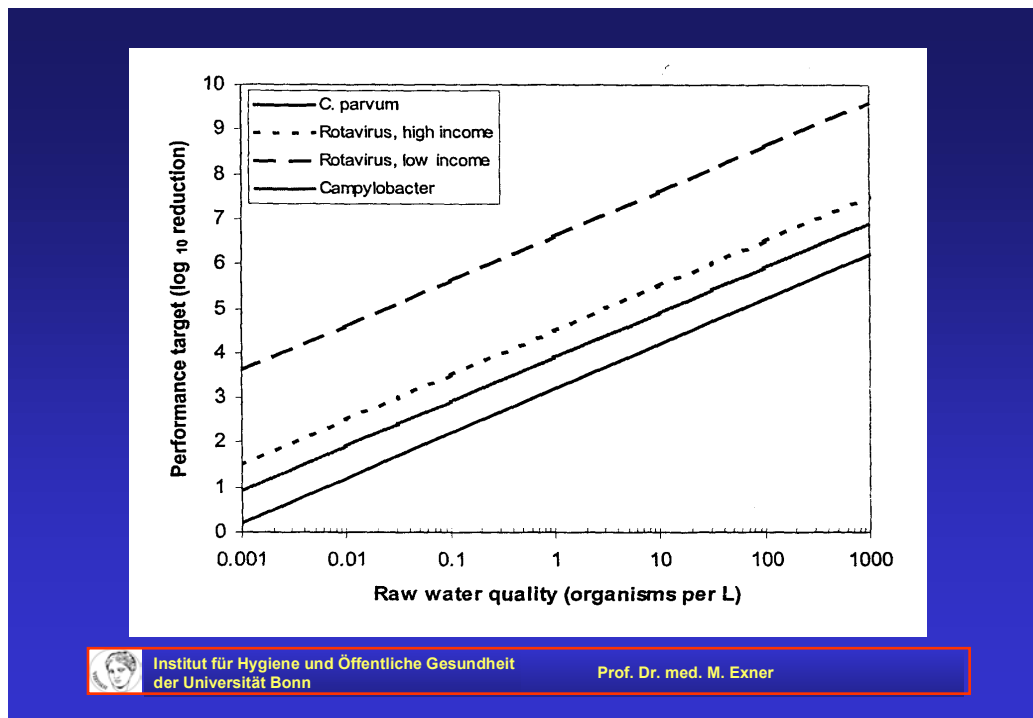


Abb.10: Zielvorgabe für die Reduktion von Krankheitserregern in log-Stufen Reduktionsleistung in Abhängigkeit von der Konzentration der Krankheitserreger im Rohwasser entsprechend den Vorgaben im Entwurf der 3. Drinking Water Guideline der WHO

Zur gesundheitlichen Gefährdungseinschätzung derartiger potentieller Krankheitserreger besteht weiterer Abklärungsbedarf. Auf die mittlerweile umfangreiche weiterführende Literatur wird ausdrücklich verwiesen.

2.5. Bioterroristische Bedrohung

Risikoanalysen u. a. der Weltgesundheitsorganisation kommen zu dem Schluss, dass auch die Ausbreitung von Krankheitserregern, die mit bioterroristischer Absicht in das Wassernetz eingespeist wurden, als Gefahrenpotential zukünftig nicht mehr auszuschließen sind. Vor diesem Hintergrund wird die Entwicklung sehr rascher, ggf.

auf molekularer Ebene erfolgreicher Nachweisverfahren entwickelt werden müssen. Auch hierzu besteht dringender Handlungsbedarf, um hierbei mikrobiologische Beurteilungskriterien verfügbar zu haben.

2.6 Feintypisierungsverfahren

Mit Hilfe der modernen Typisierungsverfahren, wie z. B. der **Pulsfeldgelelektrophorese (PFGE)** lassen sich im Falle des Auftretens wasserassoziierter Erkrankungen eindeutige, (gerichtsverwertbare) Zusammenhänge zu der ggf. vorhandenen Kontamination von Wasserleitungssystemen führen. Darüber hinaus können auch die Ursachen von Kontaminationen mit einer bislang nicht gekannten Eindeutigkeit auf Zusammenhänge u. a. des Rohwassers zurückgeführt werden.

Im Falle des Nachweises von **Enterobacter cloacae** innerhalb des Aufbereitungssystems einer Trinkwasseraufbereitungsanlage konnte vom Verfasser unter Einbeziehung der Pulsfeldgelelektrophorese eine ursächliche Abklärung der Herkunft im 50 km entfernten Einzugsgebiet durchgeführt werden. Weiterhin konnte vom Verfasser mit den Möglichkeiten der Feintypisierung eine systemische Kontamination einer Wasserversorgung mit **E.coli**, die zu einer Abkochempfehlung und einer Desinfektion des Wassers geführt hatte, auf Biofilme in einem neu an den Anfang eines Wasserverteilungsnetzes eingesetzten Hydranten ursächlich zurückgeführt werden.

Die Möglichkeiten der Feintypisierungsverfahren stellen eine wichtige Bereicherung und Ergänzung der klassischen hygienisch-mikrobiologischen Parameter dar, wobei diese in der Wasserhygiene noch nicht annähernd in ihrer Bedeutung erfasst und angewandt werden, wohingegen sie z.B. in der Krankenhaushygiene mittlerweile unverzichtbar geworden sind.

3. Ausblick und Fazit

Die historischen und aktuellen Aspekte der Rolle hygienisch-mikrobiologischer Beurteilungsparameter in der modernen Hygiene zeigen, dass sowohl bakterielle Indikatoren für eine hygienisch nachteilige Veränderung wie auch der direkte Nachweis von Krankheitserregern eine Renaissance erleben und zukünftig wieder an

Bedeutung gewinnen werden. Dies gilt sowohl für die Wasserhygiene, die Krankehaushygiene, die Lufthygiene (Schimmelpilzuntersuchungen im Schimmelpilzleitfaden des Umweltbundesamtes), Bodenuntersuchungen (Millzbrandsporen in Abdeckereien bzw. im Zusammenhang mit der Gefährdung durch bioterroristische Ansachläge).

Richtig eingesetzt und beurteilt stellen hygienisch-mikrobiologische Beurteilungsparameter eine wichtige Stütze bei der Verifizierung und Validierung der Wasserqualität sowie bei der Früherkennung von wasserassoziierten Erkrankungsrisiken dar, die es gestatten, ggf. rechtzeitig vor Auftreten wasserassoziiertes Erkrankungen Kontrollmaßnahmen einzuleiten.

Durch die Anforderungen der Trinkwasser-Verordnung konzentrationsabhängige Beurteilungsverfahren für Krankheitserreger anzuwenden, wird die hygienisch-medizinisch gestützte Einbeziehung mikrobiologischer Beurteilungsparameter in der Siedlungshygiene weiterhin unverzichtbar und in Zukunft noch wichtiger.

Die von Robert Koch 1883 eingeführten „**Nachweisverfahren für Mikrokosmen in Boden ,Luft und Wasser**“ werden daher auch für die Zukunft ihre Bedeutung bei der Beurteilung der hygienisch einwandfreien Qualität unserer Umweltmedien in der .Siedlungshygiene behalten. Zukünftig müssen alle Methoden der chemisch-physikalischen Charakterisierung wie auch epidemiologische Methoden und die hygienisch-mikrobiologische Untersuchung zu einer sinnvollen Synthese wieder zusammengeführt werden, wie dies Robert Koch und August Gärtner beispielhaft beherrschten.

Da nach der Trinkwasser-Verordnung bei Grenzwertüberschreitungen eine unverzügliche Gefährdungsbeurteilung durch den Amtsarzt erforderlich ist, wird auch die Forderung von Robert Koch bestätigt, dass ein jeder Arzt, der sich für die Ätiologie der Infektionskrankheiten und der damit zusammenhängenden Frage der **Hygiene** interessiert, sich mit diesen Untersuchungsmethoden vertraut machen muss. Der **Arzt für Hygiene und Umweltmedizin** ist der einzige Arzt, der diese Anforderungen während seiner Weiterbildung vermittelt erhält. Vor diesem Hintergrund ist es unverzichtbar, dass sowohl Gesundheitsämter wie auch Wasserversorgungsunternehmen sich des Sachverstandes von **Ärzten für Hygiene und Umweltmedizin** bedienen.

120 Jahre nach Veröffentlichung der grundsätzlichen Arbeit von Robert Koch ist der richtige Zeitpunkt gekommen sich der Einführung der hygienisch-mikrobiologischen Umwelt-Diagnostik durch diesen grossen Hygieniker zu erinnern.

Literatur:

1. Koch R.: Über die neuen Untersuchungsmethoden zum Nachweis der Mikroorganismen in Boden, Luft und Wasser. Vortrag auf dem XI. Deutschen Ärztetag in Berlin am 23. Juni 1883. In: Gesammelte Werke von Robert Koch ,Band 1. Verlag von Georg Thieme, Leipzig 1912.
2. Koch R., Gaffky G. : Bericht über die Thätigkeit der zur Erforschung der Cholera im Jahre 1883 nach Egypten und Indien entsandten Kommission. Berlin, Verlag von Julius Springer ,1887.
3. Snow, J.: On the Mode of Communication of Cholera. London. Churchill 1855.
4. Gärtner,A.: Die Hygiene des Wassers . Fried.Vieweg, Braunschweig 1915
5. Koch,R.: Wasserfiltration und Cholera. In: Gesammelte Werke von Robert Koch ,Band 2,erster Teil. Verlag von Georg Thieme, Leipzig 1912.
6. Exner,M. : Die mikrobielle Besiedlung von Rohr-, Schlauch-und Katheter-systemen. Habilitationsschrift,1985,Universität Bonn
7. Glasmacher A., Engelhart S. Exner M.: Protection of immuno-compromised patients from waterborne infections:risk definitions, preventive measures and the need for simple screening methods to protect immuno-compromised patients. Presented at the NSF International / World Health Organization Symposium on HPC Bacteria in Drinking Water; April 22-24, 2002, Geneva.

8. Engelhart S., Glasmacher A., Kaufmann F., Exner M.: Protecting vulnerable groups in the home: the interface between institutions and the domestic setting. *J.Infect.*, 2001; 43: 57-59
9. IFH: Guidelines for prevention of infection and cross-infection in the environment www.ifh-homehygiene.org/2public/2pubgu00.htm
10. O'Connor DR: Report of the Walkerton Inquiry: The events of May 2000 and related issues. Part 1: A summary. Ontario Ministry of the Attorney General. Queen's Printer for Ontario 2002
11. Gornik V. et al.: Erster Giardiasisausbruch-Ausbruch im Zusammenhang mit kontaminiertem Trinkwasser in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt*. 2001; 44: 351-357.
12. Exner, M.: Verhütung und Bekämpfung von Legionellen-Infektionen im Krankenhaus. *Forum Städtehygiene* 1991; 42: 178-191
13. DVGW–Arbeitsblatt W 551/552: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Massnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, Bonn 1993/1996
14. Reuter. S. et al. : Analysis of transmission pathways of *Pseudomonas aeruginosa* between patients and water outlets. *Crit. Care Med.* 2002; 30: 222-228
15. Anaissie E J et al.: The hospital water supply as a source of nosocomial infections. A Plea for action. *Arch.Intern.Med* 2002; 162: 1483-1492
16. Edberg, S.C., Patterson J.E., Smith D.B. Differentiation of Distributing Systems, Source Water, and Clinical Coliforms By DNA Analysis. *J.Clin.Microbiol.* 1994; 32: 139-142

17. CDC Draft Guideline for Environmental Infection Control in ealthcare
Facilities,2001.www.cdc/ncidod/hip/enviro/env_guide_draft.pdf