

Enterobakterien, Coliforme und *Escherichia coli*

(Indikator- und Index-Keime: (K)ein zeitgemäßes Konzept?)

Enterobakterien:

Sie sind gramnegative, nicht sporenbildende Stäbchen, die Glucose fermentieren. Die Familie der Enterobacteriaceae umfaßt fast 100 Spezies. Sie sind in der Natur weit verbreitet. Obwohl viele Enterobakterien zu der normalen Darmflora gehören, können viele auch Opportunisten sein und bei Personen mit geschwächter Abwehr schwere Infektionen verursachen. Die meisten Enterobakterien können durch Antikörper, die gegen Oberflächenantigene gerichtet sind, in Serotypen eingeteilt werden.

E. coli

1886 veröffentlichte **Theodor Escherich** seine Arbeit "Die Darmbakterien des Säuglings und ihre Beziehungen zur Physiologie der Verdauung", in der er unter anderem auch von ihm *Bacterium coli* genannten Keim beschrieb. Die Gattung *Escherichia* umfaßt neben der Spezies *E. coli* noch die Arten wie *E. hermanni*, *E. vulneris*, *E. fergusonii*, *E. adecarboxylata* und *E. blattae*.

E. coli ist ein Bewohner des menschlichen und tierischen Darmtraktes und fakultativ pathogen. Sein Anteil beträgt etwa 1% der Darmflora. Außerhalb des Darmtraktes gilt *E. coli* als Indikatorbakterium für eine fäkale Verunreinigung von Wasser und Lebensmitteln. *E. coli* verursacht extraintestinale und intestinale Infektionen.

Die darmpathogenen *E. coli* werden in Hinblick auf Pathogenese und Krankheitsbild eingeteilt in:

1. **Enteropathogene *E. coli* (EPEC):** Einige Serotypen wie O55, O111 und O127, die vor allem bei Säuglingen (Dyspepsiecoli) schwere Durchfallerkrankungen verursachen und in Entwicklungsländern beträchtlich zur Säuglingssterblichkeit beitragen.
2. **Enterotoxische *E. coli* (ETEC):** Diese Stämme stellen eine der häufigsten Ursachen der sogenannten Reisediarrhoe (travellers diseases, Montezumas Rache, Tourista, Mexikanischer Twostep) dar. Charakteristikum dieser Stämme ist die Bildung extrazellulärer Toxine, die teils hitzestabil (ST) und teils hitzelabil (LT) sind. Die Letalität bei Säuglingen und Kleinkindern ist hoch.
3. **Enteroinvasive *E. coli* (EIEC):** Die invasiven Stämme rufen eine ruhrähnliche Infektion hervor, bei der die Erreger in das Epithel der Dickdarmschleimhaut eindringen, sich dort vermehren und Dickdarmschleimhaut zerstören. Die Pathogenese und das Krankheitsbild sind einer Ruhrerkrankung sehr ähnlich. Die Stämme können sowohl bei Kindern, als auch bei Erwachsenen auftreten.

4. **Diffuse-adhering *E. coli* (DAEC):** DAEC werden mit Diarrhoeausbrüchen bei Kindern in Mexiko in Verbindung gebracht. Diese Stämme verursachen leichte unblutige Diarrhoe ohne Leukozyten im Stuhl.
5. **Enteroaggregative *E. coli* (EAggEC):** EAggEC werden mit hartnäckigen Durchfallerkrankungen bei Kindern in Verbindung gebracht.
6. **Enterohämorrhagische *E. coli* (EHEC),** hervorgerufen vor allem durch den Serotyp O157:H7, der zunehmend bei verschiedenen Lebensmitteln nachgewiesen werden konnte (hemorrhagic-Kolitis und hemolytic-uremic-Syndrom).

Der Ursprung von Indikatorbakterien

Das Konzept der „Indikatorbakterien“ stammt schon aus dem letzten Jahrhundert. Vor allem die über kontaminiertes Trinkwasser verursachten Seuchen Typhus und Cholera führten zur Überlegung, durch relativ einfache Nachweismethoden die hygienisch-bakteriologische Qualität des Trinkwassers überwachen zu können. *E. coli* schien damals die wichtigsten Voraussetzungen als Indikatorkeim für diesen Bereich zu erfüllen. Da die Nachweismethoden für pathogene Mikroorganismen sehr zeit- und arbeitsaufwendig sind, werden vor allem in der Trinkwasserhygiene die Indikatorbakterien stellvertretend für die Krankheitserreger untersucht. Es ist nicht möglich alle pathogene Mikroorganismen routinemäßig zu untersuchen. Es sind allein über 100 verschiedene Viren von menschlichen Fäkalien und Abwasser isoliert worden (Payment, 1993). Die Nachweismethoden für pathogene Mikroorganismen werden primär nur dort angewandt, wo die Ursachen einer Epidemie abzuklären sind oder ein besonderer Verdacht vorliegt.

E. coli und coliforme Bakterien sind zweifellos die am häufigsten in Wasser und Lebensmittel bestimmten Hygieneindikatoren. Mossel (1982) definierte die Bezeichnung "Markerorganismus", die zwei unterschiedliche Funktionen, Index und Indikator, aufweisen können. "Indexorganismen" stehen direkt oder indirekt entweder mit der Gefährdung der Gesundheit oder mit der Anwesenheit der Krankheitserreger in Verbindung. "Indikatororganismen" wiederum weisen auf die mögliche Verunreinigung, ineffiziente Behandlung des Lebensmittel oder ungenügende Desinfektion des Wassers hin.

An Hygieneindikatoren werden folgende Anforderungen gestellt:

- Sie sollten ein Teil der normalen Darmflora von gesunden Menschen sein (ideal wäre, wenn sie nur im menschlichen Magen-Darm-Trakt vorkämen).
- Sie sollten nur dann anwesend sein, wenn es wahrscheinlich ist, dass Krankheitserreger fäkalen Ursprungs anwesend sind.

- Sie sollten in einer größeren Anzahl zu finden sein als die Krankheitserreger, die sie anzeigen sollen.
- Sie sollten auch außerhalb des Verdauungstraktes wachsen und in der Natur widerstandsfähiger sein als pathogene Mikroorganismen.
- Sie sollten unter natürlichen Lebensbedingungen sowie nach Wasseraufbereitung resistenter sein als Krankheitserreger und in größerer Anzahl überleben.
- Sie sollten einfach isolierbar, identifizierbar und zählbar sein.
- Sie sollten selbst nicht eine Krankheit verursachen.
- Die Anzahl der Indikatorbakterien sollte in Relation zur Menge der pathogenen Mikroorganismen stehen.

Es gibt keinen Organismus, der alle diese an einen Indikatorkeim gestellten Anforderungen erfüllt.

Was sind die coliforme Bakterien?

Die coliformen Bakterien sind eine heterogene Gruppe, die zu den Enterobakterien gehören. Zur Gruppe der coliformen Bakterien zählen verschiedene Genera, wie *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* und *Klebsiella*.

Tab. 1: Family, Genera and Species of Some Common Coliforms

Family	Genera	Species
<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Escherichia coli</i>
	<i>Klebsiella</i>	<i>Klebsiella pneumoniae</i>
	<i>Enterobacter</i>	<i>Enterobacter amnigenus</i>
	<i>Citrobacter</i>	<i>Citrobacter freundii</i>

Die meisten Definitionen der coliformen Bakterien basieren im wesentlichen auf allgemeinen biochemischen Eigenschaften. In den „Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater Teil 9221 und 9222; APHA et al., 1998“ werden coliforme Bakterien so beschrieben: Alle aeroben und fakultativ anaeroben, gramnegativen, nicht-Sporenbildende Stäbchen, die Laktose innerhalb 48 h bei 35°C fermentieren und Säure und Gas bilden (MPN, Abschnitt 3.1) oder alle aeroben und viele fakultativ anaeroben, gramnegativen, nicht-sporenbildenden Stäbchenbakterien, die eine rote Kolonie mit einem metallischen Glanz innerhalb von 24 h bei 35° C auf einem Endo-Agar bilden, das Laktose enthält (Membrane Filtertechnik; Abschnitt 3.2).

Durch die Verbesserung der Diagnostik in der Mikrobiologie wurde der Begriff coliformen Bakterien sich verändert:

Tab.2: Coliform Members by Evolving Definition

Vor 1994: Abbau von Laktose in Gas und Säure innerhalb von 24-48 Stunden bei $36 \pm 2^\circ\text{C}$, thermotolerante oder fäkal coliformen ($44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$).	Report 71(1994): <i>6. Ausgabe vom UK, Bacteriological Examination of Drinking Water Supplies (HMSO, 1994).</i> Definition von Coliformen wurde zu Säurebildung von Laktose geändert.	Enzyme-based β-Galactosidase: Neuerdings werden Bakterien, die das β -Galactosidase Gen (lac Z gene) enthalten, zur Gruppe der coliformen Bakterien gezählt.
<i>Escherichia</i> <i>Klebsiella</i> <i>Enterobacter</i> <i>Citrobacter</i>	<i>Escherichia</i> <i>Klebsiella</i> <i>Enterobacter</i> <i>Citrobacter</i> <i>Yersinia</i> <i>Serratia</i> <i>Hafnia</i> <u><i>Pantoea</i></u> <u><i>Kluyvera</i></u>	<i>Escherichia</i> <i>Klebsiella</i> <i>Enterobacter</i> <i>Citrobacter</i> <i>Yersinia</i> <i>Serratia</i> <i>Hafnia</i> <u><i>Pantoea</i></u> <u><i>Kluyvera</i></u> <u><i>Cedecea</i></u> <u><i>Ewingella</i></u> <u><i>Moellerella</i></u> <u><i>Leclercia</i></u> <u><i>Rahnella</i></u> <u><i>Yokenella</i></u>

bold type = coliforms which can be present in the environment as well as in human faeces.

bold and underline = coliforms which are considered to be primarily environmental.

Source: Kreig, 1984; Topley, 1997; Ewing, 1986; Ballows, 1992.

Das coliformen Konzept beinhaltet alle coliformen Bakterien und schließt daher auch Bakterien, die nicht fäkalen Ursprungs sind und kein Gesundheitsproblem darstellen, ein. Daher kann bei der Anwesenheit von coliformen Bakterien eine fäkale Verunreinigung von Wasser nur vermutet werden, sie muss aber nicht zwingend gegeben sein.

So wurde 1901 von MacConkey und 1904 von Eijkman zur weiteren Einengung der Begriff der „ fäkalen Coliformen“ geprägt, die durch Gasbildung aus Lactose bei einer Inkubationstemperatur von 43°C bzw. 45°C charakterisiert waren. Die Inkubationstemperatur stellt daher auch einen wesentlichen Punkt bei der Keimidentifizierung der fäkalen Coliformen dar.

Einen Kritikpunkt des coliformen Konzepts muss man aber in Betracht ziehen, nämlich, dass es vor beinahe einem Jahrhundert entwickelt worden ist und somit das Krankheitsprofil für diese Zeit und nicht der jetzigen reflektiert. In den vergangenen Jahren hat sich die Zahl der wasserbedingten Erkrankungen, die durch virale und parasitäre Überträger hervorgerufen wurden, erhöht. Das alles hat in der Wasserindustrie zu beachtlichen Sorgen geführt, vor allem, da zum einen diese Organismen generell widerstandsfähiger gegen konventionelle Behandlung als bakterielle Pathogene sind, und zum anderen auch schwieriger zu entdecken und nicht mit dem coliformen verbunden sind. Während das coliforme Konzept dazu

imstande ist, die Konsumenten vor den primären bakteriellen Pathogenen „begrenzt“ zu schützen, bietet es bei weitem nicht ausreichend Schutz vor den neuen viralen und parasitären Pathogenen, die nun für das Ausmaß an Wasser- und Lebensmittelerkrankungen verantwortlich sind.

In der USA gab es zwischen **1978-1986** 502 berichtete wasserbedingte Epidemien die mehr als 110,000 Fälle von gastrointestinale Erkrankungen verursachten. In vielen dieser Wasserproben wurden keine E.coli und schon gar keine coliformen Bakterien festgestellt (Sobsey, 1989). Eine weitere Studie in der USA stellte fest, daß ein Drittel der Wasserproben die Epidemien verursachten, keinen coliformen Bakterien aufwiesen (Craun et al., 1997). Moore et al. 1994 stellten fest, dass coliforme Bakterien zwar bei 88% aller bakteriell oder viral bedingte Erkrankungen aber nur bei 33% der parasitär bedingte Erkrankungen nachgewiesen wurden.

Im Laufe der Zeit wurden eine Reihe von Eigenschaften der coliformen Bakterien festgestellt, die Indikatorbakterien nicht besitzen sollten:

Vermehrung im Wasser: Indikatororganismen sollten sich im Wasser nicht vermehren, doch Untersuchungen zeigen, dass sich coliforme Bakterien unter bestimmten Bedingungen (auch außerhalb des Verdauungstraktes) viel stärker vermehren als krankheitsauslösende Keime.

Vermehrung in Wasserleitungen: Beim Durchgang von Trinkwasser durch das Leitungsnetz kann sich die Keimzahl vermehren (Power and Nagy 1989, LeChevalier 1990). Diese Keimzahlvermehrung kann mehrere Ursachen haben

- Mangelhaftigkeit oder Fehlen einer adäquaten Wasserdesinfektion;
- Ungenügende Wasseraufbereitung;
- An Sedimenten haftende Bakterien können die Wasserdesinfektion umgehen;
- die Widerstandsfähigkeit von Bakterien gegen die Wasserdesinfektion steigt, wenn das Wasser sehr stark verunreinigt ist (Algen, Nematoden, kolloidale Teilchen);

Unterdrückung im Wachstum der Coliformen bei einem starkem Gesamtbakterienwachstum:

Einige Bakterien besitzen die Fähigkeit, coliforme Bakterien im Wachstum zu unterdrücken. Zu diesen Antagonisten zählt man Pseudomonas, Micrococcus und andere Spezies. Es wurde beobachtet, dass gechlortes Wasser hohe Keimzahlen dieser Antagonisten enthält und daher die Anzahl der coliformen Bakterien sehr gering ist. Im Gegenzug dazu ist bei Abwesenheit dieser Antagonisten eine hohe Anzahl an coliformen Bakterien zu messen. Durch Gegenspieler der coliformen Bakterien kann daher die Anzahl der coliformen Keime um bis zu 80% reduziert werden.

Coliforme Bakterien sind kein Indikator für Gesundheitsgefährdung: Ein Fehlen von Indikatorbakterien bedeutet keine 100%ige mikrobielle Sicherheit des Trinkwassers.

Andererseits muss das Vorliegen von coliformen Bakterien nicht unbedingt mit einem Vorhandensein an Krankheitserregern assoziiert sein (PHLS 1994).

Mangelnde Korrelation zwischen der Anzahl der coliformen und der pathogenen Keime: Es gibt keine absolute Korrelation zwischen der Anzahl von Indikatorkeimen und der Anzahl von Krankheitserregern. In Untersuchungen wurde aus Wasser *Salmonella* sp. und *Vibrio* sp. isoliert, welches nur eine geringe Anzahl oder überhaupt keine coliformen Bakterien enthält. Diesen Ergebnissen kann eine Vielzahl von Ursachen zugrunde liegen. Eine Möglichkeit wäre eine stärkere Absterbensrate von coliformen Bakterien im Vergleich zu *Salmonella* sp. und *S. typhi*. Diese Krankheitserreger weisen möglicherweise auch eine stärkere Resistenz gegenüber der Chlordesinfektion auf. Aufgrund dieser Tatsache wird vorgeschlagen, den Test nach Indikatorbakterien durch den direkten Nachweis von Krankheitserregern zu ergänzen oder zu ersetzen.

Kein Zusammenhang in der Anzahl von coliformen Bakterien mit dem Vorhandensein von Parasiten und Viren: Vor allem in den USA und Kanada treten anstelle von bakteriellen Krankheitserregern in den letzten Jahren gehäuft Parasiten und Viren als Pathogene auf. In den USA ist der häufigste Erreger von Erkrankungen, die durch verunreinigtes Trinkwasser ausgelöst werden, *Giardia lamblia*, in England ist der vierte häufigste derartige Krankheitserreger *Cryptosporidium*. Viele Ausbrüche von Erkrankungen aufgrund von Viren, Parasiten oder Protozoen im Trinkwasser wurden durch Wasser ausgelöst, das frei von Indikatorkeimen waren. Daher gilt heute als gesichert, dass Indikatorkeime keine Aussage über das Vorhandensein von enteralen Viren treffen können. Viren und Protozoen können im Vergleich zu fäkalen Coliformen längere Zeit und bei tieferen Temperaturen ihre Pathogenität beibehalten.

Das Auftreten von falsch positiven und falsch negativen Ergebnissen:

Falsch positive Ergebnisse können aus folgenden Ursachen entstehen:

- Das Vorhandensein von aeroben oder fakultativ anaeroben, sporenbildenden Bakterien;
- Synergistische Fermentation von Laktose durch gasproduzierende Symbionten;
- Saisonales Vorhandensein von coliformen Bakterien, welche nicht die Nachweisverfahren überleben;
- Mikrobielle Antagonisten und das Vorhandensein von oxidase-positiven Bakterien;
- Bestimmte Spezies, wie z.B. *Aeromonaden* können Enterobakterien nachahmen. Diese Organismen können bei 37°C Gas produzieren und werden daher irrtümlich zu den coliformen Bakterien gezählt. Es gibt eine Vielzahl von Ursachen für das Auftreten von falsch-positiven Ergebnissen, dennoch kann nicht nur eine einzelne Bakteriengruppe für derartige Resultate verantwortlich gemacht werden. Ganz im Gegenteil: Falsch- positive Resultate sind das Ergebnis von komplexen Interaktionen zwischen einer Vielzahl an Genera.

Falsch- negative Ergebnisse: Da die Definition der coliformen Bakterien nicht taxonomisch ist, werden einige Spezies, die eigentlich zu den coliformen Bakterien zählen, nicht durch die übliche Methoden erfasst. Zu diesen Spezies zählt man anaerobe nicht laktoseverwertende sowie nicht thermotolerante Stämme von *E. coli*. Untersuchungen haben gezeigt, dass bis zu 20% der coliformen Bakterien laktosenegativ sein können. Aufgrund dessen können sehr leicht falsch- negative Ergebnisse entstehen.

Für die Spaltung von Laktose in die Glucose und Galaktose unter Bildung von Gas und Säure sind β -D-galactosidase und Permease, verantwortlich. Etwa 95% der Coliformen können Laktose fermentieren und Gas und Säure bilden, 5 % nicht. Weiteres wird das Vorhandensein jenes Genabschnitts (*lac Z* gene) vorausgesetzt, der das Enzym β -Galactosidase codiert. Die Expression dieses Gens ist aber stark von Faktoren wie Zeit, Temperatur und Nährmedium abhängig. Die Laktose- Fermentation findet unter veränderten Bedingungen ungenügend oder gar nicht statt.

Fäkal coliforme oder gesamt coliforme Bakterien?

Um die Probleme, die mit der Verwendung von Gesamtcoliformen Bakterien als Indikatorkeime entstehen, zu lösen, wird angestrebt zur Wasseruntersuchung anstelle derer nur die fäkal coliformen Bakterien heranzuziehen. Diese Vorgangsweise ist im Gegensatz zu den früheren Methoden relativ leicht durchzuführen.

Während hingegen *Citrobacter*, *Klebsiella* und *Enterobacter* nicht nur fäkalen Ursprungs sind, ist *E. coli* das einzige Bakterium, das ausschließlich fäkalen Ursprungs ist und 95% der Enterobakterien der Fäzes ausmacht.

Tab. 3: Distribution of Coliform Genera in Human and Animal Faeces, % of Total Coliforms

Sample Type	<i>E. coli</i>	<i>Klebsiella</i> spp.	<i>Enterobacter/ Citrobacter</i> spp.	Reference
Human faeces	96.8 94.1	1.5	1.7 5.9	Dufour (1977) Allen and Edberg (1995)
Animal faeces	94 92.6	2	4 7	Dufour (1977) Allen and Edberg (1995)

E. coli kann sehr leicht von anderen fäkalen Coliformen durch Indol- und β -D-Glucuronidase Nachweis unterschieden werden. Die ausschließliche Verwendung von fäkalen coliformen Bakterien hat den entscheidenden Vorteil in der Vermeidung von falsch- positiven Ergebnissen. Kritiker dieses Konzeptes meinen aber, dass Trinkwasser überhaupt keine coliformen Keime enthalten sollte, was den gesonderten Nachweis von coliformen Keimen fäkalen Ursprunges unnötig machen würde. Auch die Anzahl der coliformen Bakterien fäkalen Ursprungs ist weit geringer als die Gesamtzahl der coliformen Keime und daher kann ein Test,

der nur coliforme Keime fäkalen Ursprunges nachweist als weniger empfindlich angesehen werden. *E. coli* weist eine sehr geringe Überlebensrate im Wasser im Vergleich zu z.B. *Salmonella* spp. auf. Daher kann z.B. *Salmonella* spp., noch lange nachdem *E. coli* im Wasser nicht mehr nachweisbar ist, detektiert werden.

Kritische Überlegungen zum Nachweis von *E. coli* und Coliformen:

Auf Grund der zahlreichen Studien und Publikationen, bietet das Vorhandensein von β -D-Glucuronidase (*uidA* gene) ohne Zweifel eine optimale Methode um *E. coli* (vor allem in der Wasser- und Lebensmittelhygiene) nachzuweisen. Die Kombination von β -Glucuronidase und Indol Test erhöht die Genauigkeit der Identifizierung von *E. coli*. Es soll aber nicht vergessen werden, dass einige darmpathogene Stämme dieses Enzym nicht besitzen und durch β -D-Glucuronidase Nachweis nicht detektiert werden können.

Der Nachweis von coliformen Bakterien hingegen ist sehr umstritten. Die USEPA hat einige Methoden für Coliformen-Nachweis evaluiert: MPN, die Membran Filbertechnik und der presence/absence Test. AFNOR (1990) hat MPN und Membran Filbertechnik evaluiert. Unterschiedliche Methoden geben unterschiedliche Ergebnisse und können miteinander nicht verglichen werden. Unterschiedliche Bebrütungstemperatur und -zeit spielen für den Nachweis von coliformen Bakterien eine wichtige Rolle. Antagonistische Wirkung von Mikroorganismen, Laktose Langsamfermenter wie *Serratia* und *Hafnia*, und gestresste (geschädigte) Bakterien beeinflussen die Befunde. Unterschiedliche Nährmedien und sogar unterschiedlichen Probenvolumen beeinträchtigen die Untersuchungsergebnisse (z.B. 50ml Wasserprobe in Japan und 100ml anderswo). Abhängig von Umwelteinflüssen kann nur ein kleiner Teil (0,1-15%) der bakteriellen Gesamtpopulation durch kulturelle Methoden (Amann et al., 1990) erfasst werden. Der Anteil an VBNC (viable but non-culturable) oder ABNC (active but non-culturable) Bakterien können durch ungünstige Lebensbedingungen für Bakterien beeinflusst werden.

Alternative Indikatorsysteme für die Wasserqualität:

Da es sich in den letzten Jahren immer wieder zeigte, daß die Untersuchungen der Wasserqualität mittels coliforme Bakterien als Indikatorsystem oft nicht zu optimalen Ergebnissen führten, forschte man nach alternativen Indikatorsystemen.

Fäkale Streptokokken:

Vorteile gegenüber coliformen Bakterien:

- Sie vermehren sich kaum im Wasser
- Sie sind wesentlich stabiler gegenüber Umwelteinflüssen und Chlorung

- Sie überleben länger in der Umwelt (mit der Ausnahme von *S. bovis* und *S. equinus*, welche, sobald sie den tierischen Intestinaltrakt verlassen haben, sehr rasch sterben).

Nachteile gegenüber coliformen Bakterien:

- Sie kommen in geringeren Zahlen in den menschlichen Fäkalien vor und sind daher weniger sensitiv gegenüber Kontamination durch menschliche Fäkalien.
- *Enterococcus faecalis* kann wesentlich länger im Wasser überleben, als andere coliforme Bakterien.
- Es herrscht ein Mangel an Standardmethoden zur selektiven Spezifizierung.
- Sie sind taxonomisch und ökologisch gesehen unterschiedlich.

Weitere Alternativindikatoren sind: *C. perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, und Bakteriophagen.

ZUSAMMENFASSUNG:

Das Konzept, coliforme Keime als Hygieneindikatoren zu verwenden, revolutionierte die gesamte hygienische Trinkwasseruntersuchung. Die Wasseruntersuchung nach dem coliformen Konzept hat im Laufe der Geschichte zu einer starken Abnahme von wasserbedingten Krankheiten wie Cholera und Typhus geführt. Trotzdem weist das Vorhandensein von coliformen Bakterien nicht immer zwingend auf eine fäkale Wasserverunreinigung hin und bedeutet damit nicht unbedingt eine Gefahr für die Gesundheit. Auch das Gegenteil, die Abwesenheit von coliformen Keimen, impliziert nicht hundertprozentig eine Abwesenheit von Krankheitserregern. (Viren, Protozoen und Parasiten). Wasser muss daher auf das Vorhandensein von Viren, Protozoen und Parasiten getrennt von den Krankheitserregern bakteriellen Ursprungs untersucht werden.

Heute wird vermehrt angenommen, dass *E. coli*, das ausschließlich in den Fäzes von Warmblütern zu finden ist, besser als die Gesamtzahl der coliformen Bakterien zur Trinkwasserüberwachung geeignet ist. Als Definition der coliformen Bakterien wird das Vorhandensein des β -Galactosidase- Genes vorgeschlagen, welches die Spaltung von Laktose zu Glucose und Galaktose ermöglicht (β -Galactosidase Nachweis an stelle Gas und Säurebildung von Laktose). Diese einfache Definition wird es in Zukunft ermöglichen, neue Methoden zu ihrer Identifikation zu entwickeln.

References:

Allen, M.J. and Edberg, S.C. (1995) The public health significance of bacterial indicators in drinking water, The Royal Society of Chemistry 1999, Special Publication, Athenaeum Press, UK.

- Amann, R.I., Ludwig, W. and Schleifer, K-H. (1995)** Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiology Reviews*. 59:143-169.
- APHA (1998)** Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 20th ed. (Eds.: Clesceri, L.S., A.E. Greenberg and A.D. Eaton) American Public Health Association, Washington DC.
- Ballows, A. (1992)** The Prokaryotes. 2nd Edition. Springer Verlag, New York.
- Craun, G.F., Berger, P.S., Calderon, R.L. (1997)** Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. *Journal of the American Water Works Association*. 89(3):96-104.
- Dufour, A.P. (1977)** Escherichia coli:the faecal coliform, p48-58. In: Hoadley, AW and Dutka, B.J. (Eds) Bacterial Indicators/Health Hazards Associated with Water. ASTM Special Technical Publication 635, Philadelphia. Cited in McNeil (1985).
- Ewing, W.H. (1986)** Edwards and Ewing.s Identification of Enterobacteriaceae. 4th Edition. Elsevier Science Publishing Co. Inc. New York
- HMSO (1994)** Bacteriological Examination of Drinking Water Supplies 1982. The Microbiology of Water, 1994. Part 1 . Drinking Water. Report on Public Health and Medical Subjects No. 71. Methods for the Examination of Waters and Associated Material. 6th Edition. Her Majesty.s Stationery Office, London.
- Kreig, N.R. (1984)** Bergey.s Manual of Systematic Bacteriology. Editor Volume 1.
- LeChevallier, M.W. (1990)** Coliform regrowth in drinking water:a review. *Journal of the American Water Works Association*. 82:74-86.
- Moore, A.C., Herwaldt, B.L., Craun, G.F., Calderon, R.L., Highsmith, A.K. and Juranek, D.D. (1994)** Waterborne disease in the United States, 1991 and 1992. *Journal American Water Works Association*. 86:87-99.
- Mossel, D.A.A. (1982)** Marker (index and indicator) organisms in food and drinking water. Semantics, ecology, taxonomy and enumeration. *Antonie van Leeuwenhoek* 48, 609-611
- Payment, P. (1993)** Viruses: Prevalence of Disease. Levels and Sources. In: Safety of Water Disinfection:Balancing Chemical and Microbial Risks. Craun, G.F. (Ed). ILSI Press, Washington. pp. 99-113.
- PHLS (1994)** On the Health significance of heterotrophic bacteria growing in water distribution systems. Public Health Laboratory Services Report number 95/DW/02/1.
- Power, K.N. and L.A. Nagy (1989)** Bacterial regrowth in water supplies. Urban Water Research Association of Australia Report no 4.
- Sobsey, M.D. (1989)** Inactivation of health related microorganisms in water by disinfection processes. *Water Science and Technology*. 21(3):179-195.
- Topley, W.W.C. (1997)** Topley and Wilson.s Microbiology and Microbial Infections.