

Mikroorganismen im Trinkwasser - Mikrobiologische Parameter

1. Erreger im Trinkwasser

Erregerklassen:

- Viren
- Bakterien
- Pilze
- Parasiten

In Deutschland sind bakterielle Erreger vornehmlich von Relevanz.

Subtropische Länder: Zusätzlich auch Viren (z.B. Hepatitis-A) und Parasiten (z.B. Erreger der Flußblindheit = *Dracunculus mediensis*).

Grundsätzlich gilt:

- Die meisten Erreger sind niedrig-pathogen, es sind hohe Dosen von z.T. über 1 Mio. Keime / ml Wasser erforderlich, um eine Infektion auszulösen.
- Wenige Erreger sind hoch-pathogen: z.B. *Salmonella typhi* oder Noroviren

Differenzierung der relevanten Mikroorganismen im Trinkwasser:

- Umweltassoziierte Mikroorganismen, z.B.
 - *Nitrosomonas* sp. / *Nitrobacter* sp.
 - *Clostridium* sp.
 - Coliforme Bakterien der Umwelt
- Aquatische Mikroorganismen, z.B.
 - *Pseudomonas* sp.
 - *Legionella* sp.
- Fäkale Mikroorganismen, z.B.
 - *Citrobacter*
 - *Escherichia coli*
 - Coliforme Bakterien des Darmtraktes

2. Mikrobiologische Untersuchungen

Die mikrobiologischen Untersuchungen nach Trinkwasserverordnung erstreckten sich auf die Bestimmung der Koloniezahl/ml bei 22°C und 36°C, auf coliforme Keime und Escherichia coli in 100 ml Wasserprobe, auf Fäkalstreptokokken in 250 ml, auf Pseudomonas aeruginosa in 250 ml, auf sulfitreduzierende sporenbildende Anaerobier in 100 ml, sowie auf Salmonellen, Yersinien und weitere Vertreter der Enterobacteriaceae.

Koloniezahl bei 22 / 36 °C

Grenzwert:

Koloniezahl bei 22 °C – 100 KBE/ml am Zapfhahn (Anl. 3, Nr. 10 - Indikatorparameter)

20/ml nach der Aufbereitung

Koloniezahl bei 36 °C - 100 KBE/ml (Anl. 3, Nr. 11 - Indikatorparameter)

KBE - koloniebildende Einheiten (auch Keimzahl (KZ) genannt)

Der empirische Richtwert für die Koloniezahl von 100/ml geht auf Robert Koch zurück. Dieser schreibt 1883: "Wenn ein Filterwerk in jeder Beziehung zufriedenstellend arbeitet, dann finden sich erfahrungsgemäß in filtriertem Wasser weniger als 100 entwicklungsfähige Keime auf 1 cm³". Diese Feststellung hatte Robert Koch anlässlich der Choleraepidemie in Hamburg im Vergleich mit anderen Typhus- und Choleraepidemien gemacht. Er stellte fest: Immer wenn die Koloniezahlen unter 100/ml waren, dann kam es nicht zu einer Epidemie.

Die Koloniezahl kann auch als koloniebildende Einheit (KBE) bezeichnet werden. Der Begriff Koloniezahl wurde in der Trinkwasserverordnung vom 3. Januar 1975 erstmals in der Bundesrepublik Deutschland rechtlich verbindlich festgelegt. Die früher übliche Bezeichnung "Gesamtkeimzahl" wird nicht mehr verwendet, da sie etwas anderes ausdrückt. Mit dem Begriff "Koloniezahl" soll deutlich gemacht werden, daß nur die zu Kolonien auswachsenden Bakterien erfasst werden, und dass darüber hinaus Bakterien, die evtl. in Verbänden vorkommen, in die Berechnung nur einmal eingehen.

Es ist bekannt, dass Koloniezahlen im Wasser schwanken können. Geht dies mit Witterungsveränderungen einher, so deutet dies auf mangelnde Filtrationskraft des Bodens hin, was sich seuchenhygienisch als bedenklich erweisen kann. Die Koloniezahlen können weiterhin plötzlich ansteigen:

- bei Rohrbruch,
- bei Verwendung von Kunststoffmaterialien, die den Bakterien als Nährstoffquelle dienen,
- nach Behälterreinigung (Reinigungsmittel können als Nährstoffquelle dienen),
- bei Neuanschlüssen,
- nach (unter hygienischen Gesichtspunkten) zu früh verlegten Hausanschlüssen, die nicht genutzt werden,
- bei langen Standzeiten
- bei geringer Abnahme und zu groß dimensionierten Rohrleitungen.

Bei der Bewertung der Koloniezahl-Befunde geht man somit heute davon aus, dass für die Einhaltung einer sicheren Wasserversorgung nicht nur die Einhaltung des Richtwertes von 100/ml notwendig ist, sondern jede Änderung der Koloniezahl einer gesonderten Betrachtung unterzogen werden muss.

Coliforme Keime

Grenzwert: 0/100 ml (Anl. 3, Nr. 5) (Indikatorparameter)

Mit der Änderung der Trinkwasserverordnung 2011 wurden die Coliformen Keime in die Indikatorparameter eingestuft. Bis dahin gehörten sie zu den mikrobiologischen Parametern nach Anlage 1. Auf Grundlage neuer Erkenntnisse und der Auswertung der bisherigen Befundlagen wurde die "Gefährlichkeit" der Coliformen heruntergestuft.

"Coliforme Keime" ist ein Überbegriff für eine Gruppe von coliformen Keimen - zu der auch *Escherichia coli* gehört (s. unten) - als auch für andere laktosespaltende Enterobacteriaceae. Zu den coliformen Bakterien gehören hauptsächlich die Gattungen *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* und *Serratia*. Von den genannten Gattungen ist nur *Escherichia* eindeutig fäkalen Ursprungs. Alle anderen Gattungen können auch in der Umwelt vorkommen.

Der Nachweis coliformer Keime ist ein Hinweis auf Verunreinigungen, die fäkaler, aber auch nicht-fäkaler Art sein können. Sie zeigen vielmehr allgemeine Mängel in der Aufbereitung und im Leitungsnetz an.

Auch wenn der Grenzwert eindeutig 0/100 ml ist, und durch die Gesundheitsämter darüber auch streng gewacht wird, so bedeutet das Auftreten von coliformen Keimen nicht gleich eine Gesundheitsgefahr. Im Körper - im Darmtrakt - befinden sich deutlich mehr Keime als man aufnehmen kann. Die Gefahr besteht eigentlich darin, dass sie Indikatoren für fäkale Verunreinigungen sind und somit in deren Begleitung andere Krankheitserreger auftreten können. Beim Auftreten Coliformer ist es also nicht erforderlich gleich Abkochgebote auszusprechen oder Desinfektionen anzuordnen. Vielmehr ist es erforderlich die Ursache aufzuklären und Maßnahmen einzuleiten, die die Quellen beseitigen, damit wieder hygienisch einwandfreies Wasser an die Verbraucher abgegeben werden kann. Im Rahmen der Ursachenaufklärung und um sicher zu sein dass keine Krankheitserreger im Trinkwasser vorhanden sind, sind weitere Mikroorganismen zu untersuchen - insbesondere *Escherichia coli* und Enterokokken. Das Gesundheitsamt kann bei Verdacht auch die Untersuchung weiterer Spezies verlangen. Auch sind die gefundenen Coliformen weiter zu spezifizieren.

Beim Nachweis von coliformen Keimen im Trinkwasser wird unterschieden zwischen:

- Einzelbefunden bzw. dezentraler Kontamination an einzelnen Entnahmestellen (z.B. bei einmaligem Nachweis coliformer Bakterien an einer Trinkwasserentnahmestelle) und
- einer sog. systemischen Kontamination. Nachweis an mehreren Probenahmestellen zeitgleich im Wasserverteilsystem oder in der Trinkwasserinstallation von Gebäuden.

Zu beachten ist, dass Coliforme Keime nicht im Trinkwasserrohrnetz vorhanden sind, sich dort nicht vermehren und nur ca. 1 bis 2 Wochen überleben können, da es dort in der Regel zu kalt und nährstoffarm ist. Werden diese Keime im Wasser nachgewiesen, dann sind sie immer von aussen eingetragen worden und sie sind relativ frisch. Die Befunde spiegeln also das Maß der Kontamination wieder. Wenn die Quelle beseitigt ist oder keine Keime mehr eingetragen werden, dann nimmt die

Konzentration kontinuierlich ab und nach ca. 10 bis 15 Tagen sind die Keime abgestorben. Da Coliforme sich auch nicht an der Rohwandung anlagern, kann man sie sehr gut mittels Spülungen entfernen. Eine Desinfektion ist bei einem nicht übermäßigen Befall meist nicht erforderlich. Wird doch desinfiziert, muss man damit rechnen, dass nach der Desinfektion die Koloniezahl der Keime bei 22 und 36 °C deutlich ansteigt, da der Biofilm in den Rohrleitungen zerstört wurde und sich wieder erst ein biologisches Gleichgewicht bilden muss.

Bereich Rohwassergewinnung und Aufbereitung im Wasserwerk	Bereich Verteilungsnetz	Bereich Trinkwasser-Installation in Gebäuden
<ul style="list-style-type: none"> • Belastung des Rohwassers • eine Kontamination des Filtermaterials • fehlende oder unzureichende Aufbereitung im Wasserwerk (bzw. unzureichende Reduktionsleistung) • Aufkeimung im Reinwasserbehälter • Störung im technologischen Ablauf der Trinkwassergewinnung und -aufbereitung • unsauberes Arbeiten bei Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten • unzureichende Desinfektion des Reinwassers 	<ul style="list-style-type: none"> • Verunreinigung im Hochbehälter • Schlecht unterhaltene Rohrnetze • Aufkeimung im Verteilungsnetz • Eintrag von Mikroorganismen ins Verteilungsnetz infolge technischer Störungen oder unsachgemäßen Anschlusses von Entnahmestellen (Hydrantenstandrohre) • unzureichende Desinfektion im Hochbehälter/ im Verteilungsnetz nach Instandhaltungsmaßnahmen • unzulässige Verbindung mit anderen Wassersystemen • coliforme Bakterien aus Biofilmen, z.B. auf Komponententeilen wie Gummischiebern (weichdichtende Schieber) • Aufwuchs auf Gleitmitteln, die beim Zusammenstecken von Rohren verwendet werden. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eintrag von Mikroorganismen in die Trinkwasser-Installation in Gebäuden, z.B. bei Havarien, Reparaturen, Neuanschlüssen • Stagnationsprobleme • Einsatz ungeeigneter Materialien, Aufwuchs von Biofilmen auf Kunststoffen, z.B. in flexiblen Schläuchen zum Anschluss von Waschtischarmaturen • Belastung der Trinkwasser-Installation durch Mikroorganismen in Biofilmen

Tab: Auswahl möglicher Ursachen für das Auftreten mikrobieller Verunreinigungen und Coliformer Keime

Escherichia coli (E.coli)

Grenzwert: 0/100 ml (Anl. 1, Nr. 1)

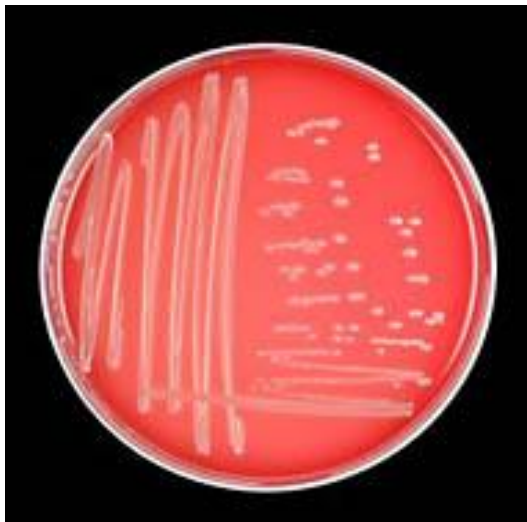
Escherichia coli ist ein Bakterium aus der Gruppe der Coliformen Bakterien. Es ist ein normaler Darmbewohner von Mensch und warmblütigem Tier. In der Regel ist *E. coli* kein Krankheitserreger, sondern er ist ein Indikator für eine fäkale Verunreinigung, d. h. für Ausscheidungen von Mensch oder warmblütigem Tier.

In den letzten Jahrzehnten wurden auch pathogene *E. coli* identifiziert. Von diesen Stämmen ist EHEC der bedeutendste.

Es gibt aber auch humanpathogene *E. coli*-Stämme. So geschehen in Walkerton/Kanada im Jahr 2001, wo es in einer 5000 Seelen-Gemeinde zur Erkrankung von 2000 Einwohnern kam und 11 Personen starben. Ursache war unzureichender Grundwasserschutz. Bei einem Starkregen wurden Dung und/oder Abwässer aus intensiver Tierhaltung von Feldern in Brunnen eingespült. 14 Tage später kam es dann zum Ausbruch der Erkrankungen. Wenn also coliforme Keime in einer Trinkwasserprobe festgestellt werden, sollte man erst einmal prüfen, was die Ursache sein könnte. Werden mal nur 1 oder 2 Keime festgestellt, kann es auch durch mangelhafte Probenahme verursacht sein. Ist die Flasche nicht richtig steril oder der Probenehmer hat schmutzige Hände oder der Probenahmehahn wurde nicht richtig desinfiziert (gewöhnlich durch Abflammen), so sind schnell einige Keime zu finden und es sollte die Probe wiederholt werden.

Im Stuhl kommt *E. coli* in großen Mengen vor, und zwar 10⁸ und 10⁹ *E. coli*-Bakterien pro Gramm Stuhl. *Escherichia coli* ist ein speziell definierter coliformer Keim. Da die meisten Krankheitserreger über den Darm ausgeschieden werden, bedeutet der Nachweis von *Escherichia coli* im Trinkwasser, dass in diesem Wasser mit Krankheitserregern gerechnet werden muss.

Abb.: Nachweis von *Escherichia coli* in einer Petrischale



Enterokokken (Fäkalstreptokokken)

Grenzwert: 0/250 ml (Anl. 1, Teil I, Nr. 2, Teil II, Nr. 2)

Zusätzlich zu den bisherigen Grenzwerten für *Escherichia coli* und coliforme Keime wird für Fäkalstreptokokken ein Grenzwert entsprechend der EG-Richtlinie, Anhang I, Parameter 59, festgesetzt. Fäkalstreptokokken sind ebenfalls Fäkalindikatoren, die aber resistenter gegenüber Umwelteinflüssen sind. Das Vorkommen von Enterokokken weist auf ältere Verunreinigungen hin, da diese in der Umwelt länger überleben können. Selbstverständlich gibt es Wasserproben, in denen als einziger Hinweis auf eine Verunreinigung Fäkalstreptokokken gefunden werden, wie es auch Proben gibt, in denen nur coliforme Keime und nicht *Escherichia coli* oder Fäkalstreptokokken nachweisbar sind

Pseudomonas aeruginosa

Grenzwert: 0/250 ml (Anl.1, Teil II, Nr. 3)

Dieses Bakterium ist der Erreger des blaugrünen Eiters und kann Durchfall bei empfindlichen Personen verursachen. Daher spielt *Pseudomonas aeruginosa* besonders eine Rolle bei Wasser für Lebensmittelbetriebe, bei Wasser für Krankenhäuser und bei Füllwasser für Schwimm- und Badebecken. Von Weber wurde 1971 *Pseudomonas aeruginosa* im Trinkwasser als Todesursache bei Neugeborenen beschrieben.

Nach DIN 19643 "Aufbereitung und Desinfektion von Schwimm- und Badebeckenwasser" darf in Beckenbadewasser in 100 ml *Pseudomonas aeruginosa* nicht vorhanden sein. Darüber hinaus wird grundsätzlich gefordert, dass das Füllwasser für Badebecken in hygienischer Hinsicht Trinkwassereigenschaften aufweisen muss

***Clostridium perfringens* (einschließlich Sporen)**

Grenzwert: 0/100 ml (Anl. 3, Nr. 4)

Anmerkung: Braucht nur bestimmt werden, wenn Wasser von Oberflächenwasser stammt. Wird Grenzwert nicht eingehalten ist zu prüfen, ob Gefahr durch *Cryptosporidium* besteht.

(Auch genannt: Sulfitreduzierende sporenbildende Anaerobier (Clostridien))

Sulfitreduzierende Clostridien, auch als sulfitreduzierende sporenbildende Anaerobier bezeichnet, gehören je nach der systematischen Definition zur Gattung *Clostridium*, nach der charakteristischen Art dieser uneinheitlichen Gruppe auch als *Clostridium perfringens* bezeichnet.

Der Nachweis von Endosporen sulfitreduzierender Clostridien zeigt Verunreinigungen an, welche fäkaler Natur sein können. Diese Verunreinigungen können, durch die Sporenresistenz bedingt, bereits sehr lange zurückliegen. Die Sporen können Desinfektionsmaßnahmen widerstehen.

Beim Nachweis von sulfitreduzierenden Clostridien werden sowohl humanmedizinisch bedeutsame Arten wie der Gasbranderreger *Clostridium perfringens*, der auch als Lebensmittelvergifter eine Rolle spielt, aber auch apathogene Clostridienarten erfasst.

Da Clostridien größer sind, werden sie bei der Partikelfiltration - also bei der Bodenpassage als auch bei der Filtration - weitestgehend zurück gehalten.

Legionellen

Die Untersuchungspflicht ergibt sich aus Anlage 4, I. 2. für zentrale Erwärmanlagen, aus denen Wasser für die Öffentlichkeit abgegeben wird. Im kalten Wasser werden Legionellen regelmäßig nicht nachgewiesen. Grenzwerte sind nicht festgesetzt. Es sollen aber nicht mehr als 100/ml vorkommen.

Sonstige Mikroorganismen, die auf besondere Anforderung im Trinkwasser untersucht werden können:

Salmonellen

Salmonellen sind oxidase-negative, fakultativ anaerobe, nicht sporenbildende gramnegative Stäbchenbakterien aus der Familie der Enterobacteriaceae, die in unterschiedlichem Maße für Mensch und Tier pathogen sind. Es wird hauptsächlich unterschieden zwischen *Salmonella typhi* und den etwa 2000 verschiedenen Enteritis-Salmonellen (Serovare).

Hierzu gehören Krankheitserreger wie Salmonellen und Yersinien und z. B. *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae* - wenn diese die Laktose spalten, werden sie auch als coliforme Keime bezeichnet.

Yersinien

Der Gattung *Yersinia*, die zu den Enterobacteriaceae gehört, werden z. Zt. elf Spezies zugeordnet, von denen drei - *Yersinia pestis*, *Yersinia pseudotuberculosis* und bestimmte Serovare von *Yersinia enterocolitica* - Bedeutung als Krankheitserreger haben.

Die Erreger sind weit verbreitet, vor allem in gemäßigten Zonen. Sie kommen vorzugsweise im Darm des Menschen und im Darm von warmblütigen Wild- und Nutztieren vor.

Enterobacteriaceae

Die Familie der Enterobacteriaceae (Darmbakterien) besteht aus gramnegativen, sporenlösen, aerob und fakultativ anaerob wachsenden Stäbchenbakterien von 1 bis 6 µm Länge und 0,3 bis 1,0 µm Dicke. Sie sind oxidasenegativ. Sie wachsen auf einfachen Nährböden und bauen Glucose fermentativ ab.