



Stadt Zürich
Wasserversorgung

DAS KLEINE EINMALEINS DER TRINKWASSERKEIME



WISSENSWERTES AUS DEM LABOR
ZU BAKTERIEN, VIREN UND
«WASSERPILZEN»



INHALT

Vom Rohwasser zum Trinkwasser Wissenswertes über das Zusammenleben von Mikroben und Menschen

4	Vorbemerkungen: Trinkwasser ist ein «Naturprodukt»
7	Mikrobiologische Qualitätskontrollen in der Wasserversorgung Zürich
8	Neues zu den Trinkwasserbakterien
10	Mit der Durchflusszytometrie messen
13	Das Mikrobiologielabor der Wasserversorgung Zürich
24	Wasserreinigende Bakterien im Dienste der Wasserversorgungen
28	Die Trinkwasserflora sorgt für biostabiles Wasser
31	Biofilme als Kinderstube der Bakterien
34	Die grosse Bakterienvielfalt schützt das Trinkwasser
39	Unterhalt der Hausinstallationen
41	«Krankheitserreger» (Legionellen & Co.)
48	Blick in die Zukunft: Wohin geht die Forschung?

ANHANG

52	Einführung in die Wunderwelt der Mikroben
58	Wissenswertes zu den Keimen
61	Die Krankheitserreger im Allgemeinen
66	Antibiotikaresistenz im Trinkwasser

VORBEMERKUNGEN: TRINKWASSER IST EIN «NATURPRODUKT»

WASSER – EINE KLARE SACHE

In der Stadt Zürich stammen 70 % des Trinkwassers aus dem See. Bei der Aufbereitung von Seewasser tötet das Ozon alle Keime ab. Die wasserschützenden Bakterien gelangen wiederum über die biologischen Langsamfilter ins Trinkwasser. Hinzu kommen jene wasserreinigenden Bakterien, die den Biofilmen im Leitungsnetz entstammen.

Natürliche Wässer – und somit auch gesundes Trinkwasser – enthalten nicht nur H₂O, sondern auch eine Reihe von Substanzen, die sowohl erwünscht als auch bei Überschreiten bestimmter Grössenordnungen unerwünscht sind – und dazu zählen auch die Keime.

WAS SIND KEIME?

Zu den Keimen zählen Bakterien, Viren und Pilze. Algen als pflanzliche Mikroorganismen sind beim Trinkwasserkonsum bedeutungslos – obschon manche Arten Giftstoffe produzieren. Sie werden bei der Aufbereitung entfernt. Vor ihnen allen braucht man sich also nicht zu fürchten.

Dass Mikroorganismen wie Bakterien ein schlechtes Image haben, ist ungerechtfertigt, denn sie stabilisieren u.a. das natürliche Gleichgewicht im Wasser und wirken somit positiv auf das menschliche Leben. Sie stellen sozusagen den Motor für den natürlichen Reinigungsprozess dar.

Dass auch im Trinkwasser (genauso wie in der Luft) Bakterien leben, ist normal und unterliegt natürlichen Gesetzmässigkeiten. Diese für die menschliche Gesundheit unbedenklichen Bakterien leben vor allem im Innern

von Leitungsrohren, an deren Wänden sie Biofilme bilden. In dichte Siedlungen angeordnet, leben verschiedenste Bakterien eng beieinander.

Grundsätzlich ist es falsch, von guten und schlechten Bakterien zu sprechen, da sie einen unabdingbaren Bestandteil aller Ökosysteme darstellen. In der Regel ist das Vorhandensein von Keimen nur dann bedenklich, wenn sich bestimmte Keime in Massen vermehren können. Das Trinkwasser wird regelmässig untersucht und dabei wird vor allem auch darauf geachtet, ob irgendwelche Veränderungen stattfinden. Der Nährstoff- beziehungsweise Substratgehalt von biostabilem Wasser bildet keine gute Grundlage für krankmachende Keime.

NATÜRLICHE REINIGUNGSKRAFT

80 % des Schweizer Trinkwassers stammen aus kontrollierten Quell- und Grundwasservorkommen. In den Bodenschichten fand eine natürliche Reinigung statt. Es ist bakteriologisch unbedenklich und kann sorgenfrei getrunken werden – wobei rund 60 % davon in zusätzlichen, mehr oder weniger aufwändigen Aufbereitungsschritten vor der Verteilung behandelt werden.

A woman with brown hair tied back, wearing a white lab coat and purple gloves, is seated at a desk in a laboratory. She is looking at a computer monitor and has her hand on a mouse. The background is filled with various pieces of laboratory equipment, including a blue rack of test tubes, a computer tower, and other monitors. The scene is brightly lit, suggesting a clean and professional environment.

DIE QUALITÄT DES ZÜRI-WASSERS
WIRD **STÄNDIG ÜBERWACHT.**

MIKROBIOLOGISCHE QUALITÄTS- KONTROLLEN IN DER WASSER- VERSORGUNG ZÜRICH

Die Wasserversorger müssen zu jeder Zeit Trinkwasser von hoher Qualität zur Verfügung stellen. Dies wird periodisch mit Messungen von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Parametern überprüft. So ist auch gewährleistet, dass das Zürcher Trinkwasser stets von ausgezeichneter Qualität ist.



Mikrobiologielabor
der Wasserversorgung
Zürich.

Der Inhalt der Broschüre handelt von den Keimen (Bakterien, Viren und Pilzen) und insbesondere von der Bakterienwelt im Trinkwasser. Der Inhalt ist so angelegt, dass zu Beginn eine rasche Übersicht zum Thema möglich ist. In den Kapiteln werden einzelne Themenschwerpunkte vertieft oder in verschiedenen Zusammenhängen beleuchtet. Deswegen liegen Wiederholungen einzelner Themenkreise vor, weshalb das E-Book sowohl zum Nachschlagen als auch zum Schmökern verwendet werden kann.

NEUES ZU DEN TRINKWASSERBAKTERIEN

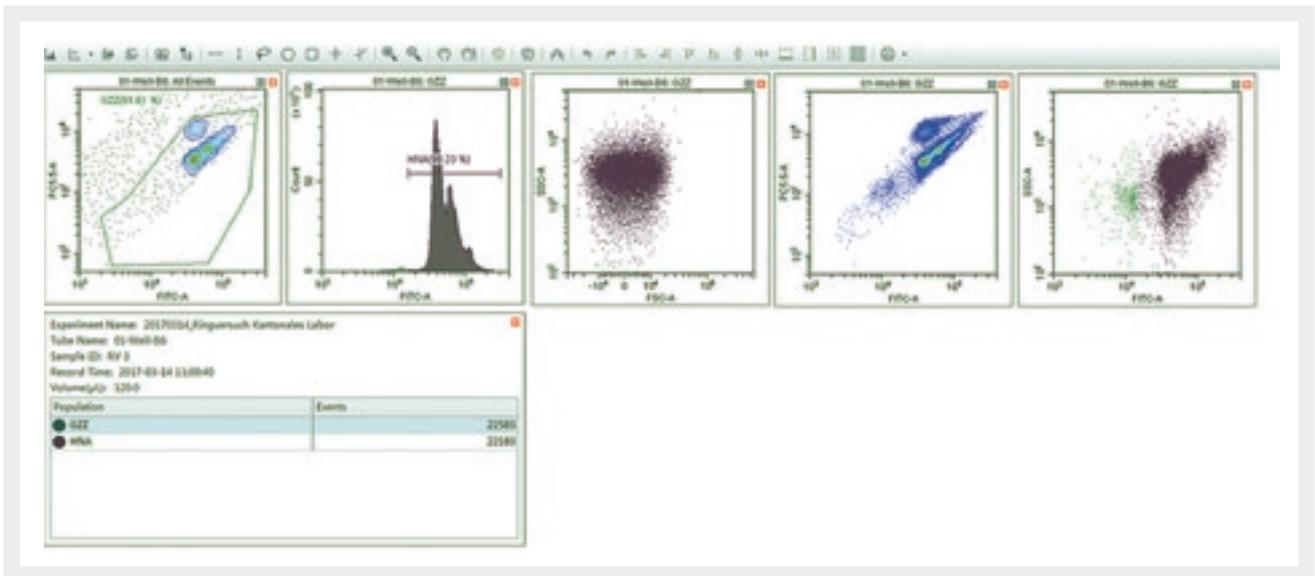
TRINKWASSER- ANALYSEN

Die Stichproben der Aufsichtsbehörde (Kantonales Labor Zürich) bestätigen jeweils die einwandfreie Qualität des Zürcher Trinkwassers. In weit- aus grösserem Umfang führt das Labor der Wasserversorgung vielfältige Routineunter- suchungen im Rohwasser, in den Aufbereitungsprozessen, den Reservoirs und dem Verteilnetz durch. Insgesamt werden pro Jahr über 10'000 Proben untersucht, welche die gute Qualität des Trinkwassers umfassend bestätigen.

Um zeiteffizient präzise Aussagen über den mikrobiolo- gischen Zustand von Wasser machen zu können, bedarf es schneller und einfacher Methoden. Die Eawag (Eidge- nössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreini- gung und Gewässerschutz) als Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs hat eine neue Messmethode entwi- ckelt. Die Wasserversorgung Zürich war daran betei- ligt. Was man schon vorher wusste, liess sich nun bele- gen. Einwandfreies Trinkwasser hat zwischen 100- und 10'000-mal mehr Bakterien, als bei der ursprünglichen Auszählmethode wachsen konnten.

Die Eawag-Forschung geht in Zukunft weiter; sie zielt auf das Messen von Bakterien im Trinkwasser ab, um ein tiefergehendes Verständnis zum Verhalten der Trinkwas- sermikrobiologie zu erlangen. Hierfür wird der gesamte Gewinnungs-, Aufbereitungs- und Verteilprozess von der Quelle bis zum Wasserhahn betrachtet.

Mit dem Wissenszuwachs stehen die Bakterien ver- mehrt im Rampenlicht. Diese Broschüre vermittelt daher Grund- und Spezialwissen, um das Bakterienleben im Trinkwasser und die Zusammenhänge des Mikrogen- kosmos besser zu verstehen. Das hier zusammengetra- gene Wissen soll das Vertrauen in das Trinkwasser stär- ken, denn die Qualität des Zürcher Trinkwassers ist stets einwandfrei, was durch die Eigenanalysen im Labor der Wasserversorgung und die Messungen des Kantonsche- mikers belegt werden kann.



Auswertung einer Messung:

Darstellung einer Clusterverteilung.

Daraus wird beispielsweise der Anteil kleiner wie auch grosser Bakterien ersichtlich.

MIT DER DURCHFLUSS- ZYTOMETRIE MESSEN

WICHTIGE KONTROLLEN

Bei den seltenen Trinkwasserereignissen mit gesundheitlichen Auswirkungen, sprich, bei denen Konsumentinnen und Konsumenten vom Genuss abgeraten werden muss, handelt es sich fast ausschliesslich um Ereignisse mit mikrobiologischem Hintergrund. Deswegen sind mikrobiologische Trinkwasseranalysen unverzichtbarer Bestandteil der Kontrollen.

Die Durchflusszytometrie (Durchfluss-Zellvermessung) ist ursprünglich ein Messverfahren aus der Biologie und der Medizin. Für die sehr kleinen Zellen der Trinkwasserflora wurde die Methode durch die Eawag und verschiedene grosse Wasserversorger angepasst und getestet. Für die Bestimmung der Anzahl aller in einer Probe vorhandenen Zellen werden fluoreszierende Farbstoffe eingesetzt. Nach dem Anfärben der Zellen und einer kurzen Einwirkungszeit fliesst die Probe durch das Durchflusszytometer. Jede den Laserstrahl passierende Zelle führt je nach Einfärbungsgrad zu einer stärkeren oder schwächeren Fluoreszenzstrahlung. Diese wird jeweils erkannt und mittels der Analysesoftware einer spezifischen Fluoreszenz zugeordnet. Somit können mehr als 1000 kleine und grosse Zellen pro Sekunde erfasst werden. Das ganze Prozedere dauert nicht länger als eine Viertelstunde.

Diese Methode erlaubt es, alle vorhandenen Zellen zu erfassen, auch jene, die nicht auf Nährstoffplatten zu Kolonien heranwachsen würden. Der Anteil an kultivierbaren Zellen einer Probe kann zudem je nachdem zwischen 0,01 und 10 % der vorhandenen Zellen variieren. Das Trinkwasser der Stadt Zürich hat also nicht zwischen 0 und 10 KbE/ml (keimbildende Einheiten), wie das die ursprüngliche AMK-Methode offenlegt, sondern in der Regel zwischen 80'000 und 150'000 Zellen/ml. Das sind Werte, die auch für stilles Mineralwasser in Flaschen typisch sind.



Probenvorbereitung

Die genauen Untersuchungen ergaben zudem, dass in Wasserproben aus der Umwelt meist 80 bis 90 % der anwesenden Zellen eine intakte Zellmembran aufweisen und somit lebensfähig sind.

Auch wenn mit dem neuen Verfahren mehr Zellen erfasst werden, hat sich deswegen natürlich nichts an der guten Wasserqualität geändert. Trotzdem ist es offensichtlich, dass die nun gemessenen Mengen ein Umdenken und eine entsprechende Akzeptanz gegenüber der Bakterienvielfalt voraussetzen, nicht nur in der Trinkwasserbranche selbst, sondern auch bei den Konsumentinnen und Konsumenten. Daher ist es wichtig das Bakterienleben zu verstehen.



DAS MIKROBIOLOGIELABOR DER WASSERVERSORGUNG ZÜRICH



Die Wasserversorgung Zürich nimmt verschiedene Qualitätskontrollen vor. Dazu zählen die Überwachung des Zürichsees beziehungsweise des Phytoplanktons (Algen) und Zooplanktons sowie während und nach der Aufbereitung chemische wie auch mikrobiologische Untersuchungen. Letztere beinhalten also die Bakterienuntersuchungen.

Arbeiten unter der Sterilbank

TRINKWASSERANALYSEN

Das Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen (BLV) legt Höchstwerte für im Trinkwasser vorkommende Substanzen und Mikroor-



Das Mikrobiologielabor ist ein geschützter Bereich – es gibt verschiedene Sicherheitsstufen.

Zutritt ist z.B. nur mit «Schutzkleidern» wie Labormantel und Schuhüberzügen möglich.



Die Herstellung von Nährmedien für die Kultivierung von Bakterien (Agarkochen).

ganismen fest. Für deren Einhaltung sorgen die Selbstkontrollen der Wasserversorger und die amtlichen Kontrollen der kantonalen Behörden beziehungsweise der Kantonschemikerinnen und Kantonschemiker.

DAS MIKROBIOLOGIELABOR

Neue Methoden erlauben heute eine schnellere und umfassendere Analyse des mikrobiologischen Zustandes des Trinkwassers. Es können auch unterschiedliche Verfahren kombiniert werden.

Die klassische Methode der Bakterienkultivierung auf Substratplatten wird noch heute durchgeführt. Hierbei werden Bakterienkolonien auf mit Agar ausgelegten Petrischalen (Nährstoffplatten) kultiviert, um allfällige Veränderungen im Trinkwasser erkennen zu können. Ebenso wird routinemässig auf Filtern aufbereitetes Trinkwasser auf sogenannte Selektivmedien aufgebracht (kultiviert), um bei einer allfälligen Verunreinigung mit Fäkalbakterien sofort reagieren zu können.

Sauberes Trinkwasser darf nicht mehr als 300 koloniebildende Einheiten aerobe mesophile Keime (AMK) enthalten. Damit solche Keime überhaupt heranwachsen können, braucht es drei Tage bei 30 °C. Falls nach spezifischen Krankheitserregern (z.B. Legionellen im Warmwasser) gesucht wird, kann eine Analyse auch deutlich länger dauern. Die klassische Methode ist immer noch eine gute wie auch günstige Möglichkeit der Qualitätsüberwachung.

Die Durchflusszytometrie (FCM, für Flow Cytometry) hat die Qualitätskontrolle sehr viel schneller gemacht. Bei dieser Methode wird eine Wasserprobe nach Anfärben der darin enthaltenen Bakterien mit fluoreszierenden Farbstoffen durch eine Glaskapillare geschleust, so dass die einzelnen Zellen nacheinander an einem Laserstrahl vorbeifliessen. Die dabei entstehenden optischen Signale werden von einem Detektor beziehungsweise der entsprechenden Software ausgewertet. Bereits nach 15 Minuten kann die Gesamtzellzahl generiert werden. Darüber hinaus lassen sich Bakterienpopulationen mit unterschiedlicher Zellgröße bestimmen. Die damit erkennbar werdenden «Fingerabdrücke» der Wasserproben erlauben es, Populationsveränderungen zu erkennen oder beim Einsatz spezieller Farbstoffe tote oder lebende Zellen voneinander zu unterscheiden.

ZUR GESCHICHTE

Robert Koch (1843–1910) ist der Begründer der wissenschaftlichen medizinischen Mikrobiologie. Er führte die Plattenmethode zur Gewinnung von Bakterienkulturen ein, die auch heute noch Anwendung findet.

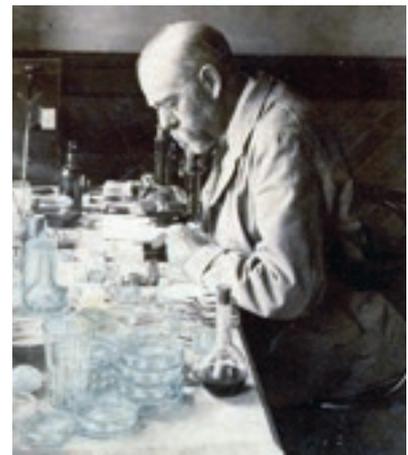


Foto: Wikipedia

In den 1960er–1980er Jahren waren vor allem chemische Wasserinhaltsstoffe (z.B. Nitrat, Pestizide) von Interesse. Heute ist das Wissen um die Mikrobiologie im Trinkwasser zentraler denn je, haben doch die Vorfälle in der Vergangenheit deutlich gezeigt, dass diese meist mikrobiologischen Ursprungs waren.

ZUR GESCHICHTE

Im Jahr 1855 veröffentlichte John Snow (1813–1858) seine Untersuchungen über die Ausbreitung der Cholera durch das Londoner Brunnenwasser. Nur mit leistungsfähigen Labormikroskopen – nicht zu verwechseln mit Hausmikroskopen (Lupen) – können auch kleinste Bakterien erkannt werden.

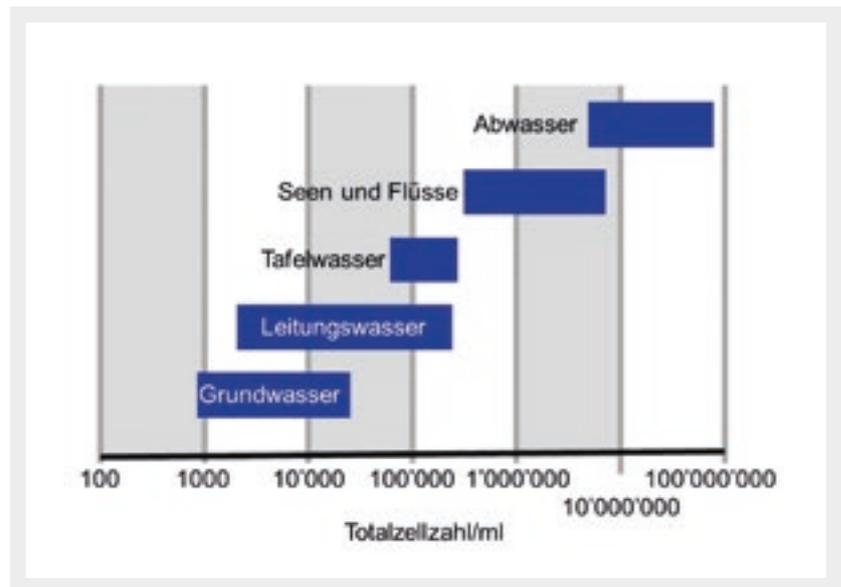


Bild: Mikroskop von Carl Zeiss von 1879, wie es auch der deutsche Mediziner und Mikrobiologe Robert Koch verwendete. Weil eine Mikroskopleuchte fehlte, musste Koch häufig auf Sonnenschein warten.

Foto: Wikipedia

KEINE ANGST VOR KEIMEN

Die Ergebnisse der Durchflusszytometrie führten zu einem Umdenken bei der mikrobiologischen Beurteilung des Trinkwassers. Hohe Zellzahlen sind per se nichts Negatives. Die Fähigkeit der wasserreinigenden Bakteri-



Bereiche der Gesamtzellzahlen (Zellen/ml), wie sie üblicherweise mit Hilfe der Durchflusszytometrie erfasst werden.

en, kleinste Mengen an Nährstoffen zu verwerten, trägt dazu bei, dass beispielsweise Krankheitserreger, die Cholera, Typhus oder Ruhr hervorrufen, im Wasser schlechte Überlebenschancen vorfinden und eine Vermehrung gar unmöglich ist.

DIE BEDEUTUNG DER BAKTERIEN

In der Regel lebt der Mensch ganz gut mit den Bakterien. In seinem Darm sind sie beispielsweise für die Produktion gewisser Vitamine unumgänglich. Die Schleimhäute sind allesamt von Bakterien besiedelt, und schon seit Jahr-



Naturjoghurt; ähnlich wie die Stoffwechselprodukte (Säure) der Milchsäurebakterien beim Joghurt sorgen die wasserreinigenden Bakterien beim Substratabbau, der stabilisierend wirkt, für eine längere Haltbarkeit des Trinkwassers.

Foto: Internetquelle

tausenden helfen Bakterien bei der Lebensmittelherstellung, sei dies nun bei Brot, Bier, Wein und Essig oder bei Joghurt, Käse und Sauerkraut. Heutzutage erfreuen sich die Milchsäurebakterien, welche rechtsdrehende Milchsäure produzieren, grösster Beliebtheit. Die sogenannten Probiotika sind Präparate, die lebensfähige Mikroorganismen enthalten und als gesundheitsfördernd angesehen werden. Gesundes Trinkwasser enthält typischerweise zwischen 20'000 und 150'000 Bakterien pro Milliliter. Stilles Mineralwasser aus der Flasche liegt in der gleichen Grössenordnung.

SAUBERES WASSER

Die Bakterien sorgen für sauberes und gesundes Trinkwasser. Die Wasserversorger sprechen dann von «bio-

Bakterienleistung: **MILCHSÄURE**

Bakterien beziehungsweise ihre Stoffwechselprodukte werden seit Jahrtausenden zur Verfeinerung und Haltbarmachung von Lebensmitteln genutzt.

In vielen Produkten steckt eine Mischung aus rechts- und linksdrehender Milchsäure, und zwar nicht nur in Milchprodukten, sondern in vielen fermentierten Lebensmitteln wie z.B. Sauerkraut, eingelegtem Gemüse, Oliven oder sogar Rohwürsten.

Die von Bakterien produzierte Milchsäure erzeugt ein saures Milieu, in dem sich andere Bakterien nicht mehr gut vermehren können: Dadurch werden die Produkte länger haltbar.

Bakterien sind unverzichtbare Begleiter des Menschen.



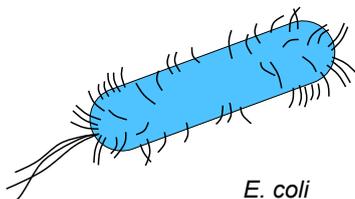
stabilem Wasser». Aufgrund des niedrigen Nährstoffgehaltes (Substratgehalt) des Trinkwassers wachsen die Bakterien nicht oder nur langsam (die Zellteilung bleibt aus). Ihre Anzahl bleibt mehr oder weniger konstant. Wäre Substrat (Nährstoff) im Überfluss vorhanden, käme es zu einer starken Vermehrung (Verkeimung). Das ist unerwünscht, weil sie für krankmachende Keime eine ideale Lebensgrundlage wäre und Geruchs- und Geschmacksprobleme im Trinkwasser hervorrufen könnte.

DIE VORLIEBEN DER BAKTERIEN

Die Bakterien können sozusagen in zwei Milieugruppen aufgeteilt werden: Zum einen benötigen viele der pathogenen, sprich krankmachenden Bakterien hohe Nährstoffgehalte zum Leben und zur Vermehrung; zum anderen sind die Bakterien im Trinkwasser sehr genügsam. Sie verwerten die wenigen vorhandenen Nährstoffe. Je nach Nährstoffgehalt (Substratbeschaffenheit) gedeiht demzufolge die eine oder andere Bakteriengruppe besser.

Qualitätskontrolle

Bei der routinemässigen Trinkwasseranalyse werden die Keimzahl beziehungsweise die Anzahl *Escherichia coli* und die Anzahl Enterokokken bestimmt. *Escherichia coli* und Enterokokken gehören zu den Darmbakterien und deuten auf eine fäkale Verunreinigung des Wassers hin.



Während der Aufbereitungsprozesse in den Seewasserwerken werden auch die nährstoffhaltigen Partikel mechanisch im Schnellfilter herausgefiltert. Die im Wasser gelösten Nährstoffe werden von den Bakterien direkt verwertet. Zudem bereitet die Oxidationskraft der Ozonung das Substrat zur besseren Verwertung (Futteraufnahme) vor. Davon profitieren die wasserreinigenden Bakterien in den Aktivkohle- und Langsamfiltern. Die entstandenen Abbauprodukte werden von den Bakterien verstoffwechselt.

CHEMISCHE LEISTUNG (ENANTIOMERE):

Was ist der Unterschied zwischen rechts- und linksdrehender Milchsäure?

Verschiedenartige Milchsäuren verfügen über dieselbe chemische Verbindung und besitzen dennoch unterschiedliche Eigenschaften. Sehen lässt sich dies an der optischen Aktivität, einer Eigenschaft mancher durchsichtiger Materialien, welche es ermöglicht, die Polarisationsrichtung des Lichts in die eine oder andere Richtung zu drehen.

Bakterienleistung: «GESUNDE» LEBENSMITTEL

Sauerkraut ist Lebensmittel und probiotisches Nahrungsergänzungsmittel in einem – sagt man. Es ist voller hochwirksamer und lebenswichtiger Mikroorganismen. Diese Mikroorganismen fördern das menschliche Immunsystem und schützen im vorbeugenden Sinne den Organismus vor gewissen Krankheiten, manchen Parasiten, diversen Viren und vor schädlichen Bakterien.

BIOLOGISCH STABILES WASSER BRAUCHT KEIN CHLOR

Auch Bakterien benötigen Nährstoffe, den sogenannten AOC (assimilierbaren organischen Kohlenstoff), für ihr Wachstum. Mikrobiell stabiles Wasser enthält als Faustregel weniger als 50 Mikrogramm AOC pro Liter Wasser. Daher kann bei intaktem Leitungsnetz auf eine Zugabe von Desinfektionsmitteln (Chlor) vollständig verzichtet werden.

UNBELIEBTE GÄSTE

Manche Bakterien können geruchsintensive Stoffe hervorbringen – in seltenen Fällen auch im Wasser. Diese Organismen sind zwar gesundheitlich unbedenklich, aber in grösseren Ansammlungen sehr unbeliebt und haben im Trinkwasser nichts zu suchen.

DIE SESSHAFTEN UND DIE NOMADEN

Die Bakterien bevorzugen unterschiedliche Lebensweisen. Die «sesshaften Bakterien» leben lieber in Biofilmen. Dort haben sie mehr Zeit, auch grosse Moleküle zu verwerten. Die planktonischen Bakterien leben dagegen bevorzugt im freien Wasser und verwerten kleinere Moleküle. Von Bedeutung ist dabei der AOC-Gehalt. Dieser stellt den von Bakterien assimilierbaren organisch gebundenen Kohlenstoff dar. Er ist Bestandteil des natürlich vorkommenden organischen Kohlenstoffs, entsteht aber verstärkt bei der Desinfektion beziehungsweise Ozonung von Trinkwasser. Die Oxidation macht beim Aufbereitungsprozess schwer abbaubare Verbindungen wieder bakterienverfügbar.

SICHERHEIT DURCH KONTROLLIERTE VIELFALT

Man geht davon aus, dass im sauberen Trinkwasser bis zu 2000 Bakterienarten leben. Noch vor 20 Jahren war die Bakterienvielfalt kaum untersucht, da die meisten Arten nicht kultivierbar sind. Ausserdem sind viele Bakterien in der Lage, bei ungünstigen Lebensbedingungen ihren Stoffwechsel auf ein Minimum herunterzufahren, wobei sie die Vermehrung einstellen und in eine Art Dornröschenschlaf fallen.

Einige Bakterienarten bilden als Reaktion auf schlechte Lebensbedingungen sogenannte Endosporen. Diese können lange überdauern. Sobald die Lebensumstände wie die Nährstoffbeschaffenheit (Substratbeschaffenheit) und die Temperatur- oder Strömungsverhältnisse sich positiv verändern, können die Sporen wieder zu einem



Blick ins Glaslager.

Bakterium «aufkeimen» (sporulieren). Ein sehr guter Schutz vor unverhofftem Bakterienaufkommen sind daher gleichbleibende Arbeitsprozesse, die beispielsweise bei der Aufbereitung und Verteilung von Trinkwasser beachtet werden.

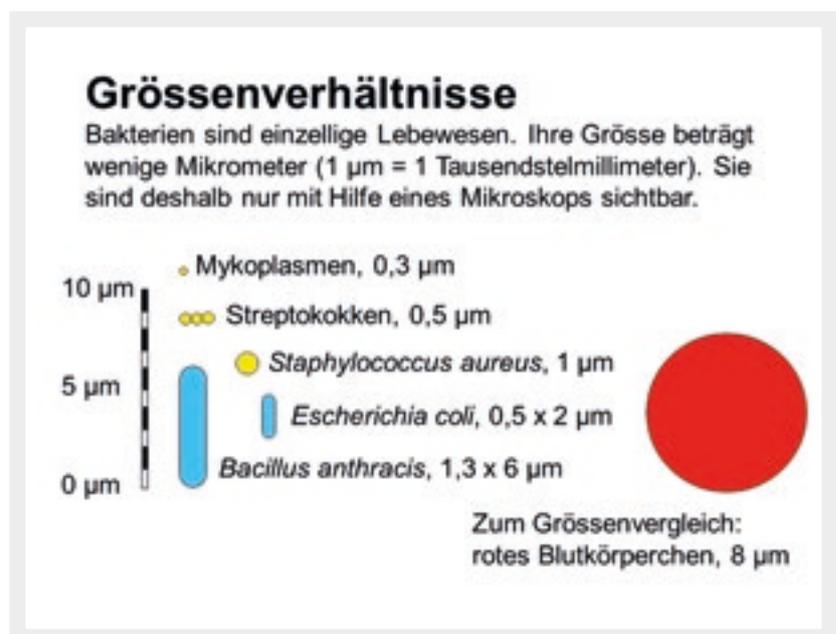
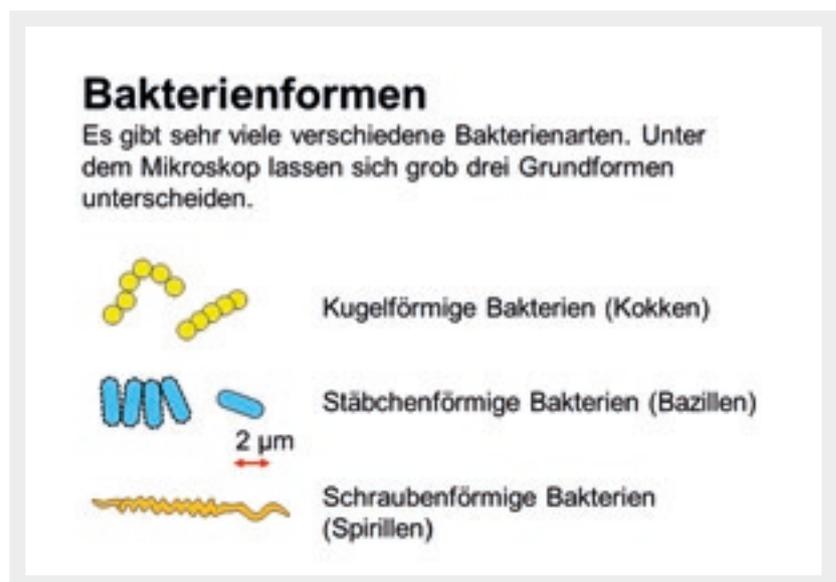
Die Zahl der Mikroorganismen, die zu Infektionen beim Menschen führen können, ist im Vergleich zur Gesamtmenge in der Umwelt sehr klein. Die meisten vermehren sich in der Umgebung – im Wasser, im Boden, bei Tieren und Pflanzen wie auch Lebensmitteln ohne dass sie vom Menschen je wahrgenommen werden oder gar zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führen.

AOC (ASSIMILABLE ORGANIC CARBON) WAS BEDEUTET ASSIMILIEREN?

Assimilation (Biologie): die schrittweise erfolgende Stoffumwandlung körperfremder in körpereigene Stoffe sowohl im Pflanzen- als auch im Tierreich.

GROSSE UND KLEINE KEIME

Umgangssprachlich versteht man unter Keimen die Vielfalt an Bakterien, Viren und Pilzen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen sind einzelne Bakterienzellen mit bloßem Auge nicht zu erkennen.





Waldspielgruppe; beim Spielen in der Natur nehmen die Kinder viele Bakterien auf, die das Immunsystem stärken – darunter auch viele Boden- und Wasserbakterien.

Foto: Internetquelle

Die Grösse von Bakterien ist sehr unterschiedlich: Ihr Durchmesser liegt zwischen etwa 0,1 und 700 Mikrometern (μm), bei den meisten bei 0,6 bis 1,0 μm . Im Trinkwasser finden sich grosse Bakterien bis hin zu den superkleinen Arten, wie den sogenannten «Ultramikrobakterien» (UMB), mit einer Grösse von 0,05 bis 0,15 μm . In der Regel finden sich im Trinkwasser kleinere Bakterien, da ungünstige Lebensbedingungen vorliegen.

Noch kleiner als die UMB sind die Viren. Viren sind sozusagen «vagabundierende Gene», die sich einen Wirt (Zelle) suchen, um sich zu vervielfältigen. Als Bakteriophagen – oder in der Kurzform einfach als Phagen – bezeichnet man bestimmte Virentypen, die auf Bakterien als Wirtszellen spezialisiert sind. Darunter gibt es Formen, die zur Bakterienbekämpfung eingesetzt werden können, da sie sich im Bakterium so lange vermehren, bis dieses sich auflöst.

WASSERREINIGENDE BAKTERIEN IM DIENSTE DER WASSERVERSORGUNGEN



Trinkwasser ist natürlich, gesund, aber nicht rein. Sauberes Trinkwasser enthält eine Menge an verschiedenen Wasserinhaltsstoffen, wie beispielsweise Kalzium, sowie einen natürlichen und gesundheitsfördernden Bakterienreichtum. Die Keime im Trinkwasser werden auch wasserreinigende Bakterien genannt. Darunter finden sich Unmengen an Lebensformen, die in den vorliegenden Artenvielfalten und Mengenverteilungen keine Gefahr für die Gesundheit darstellen.

Probenvorbereitung im Labor.

[Die Schweiz führte 2013 die Durchflusszytometrie als anerkanntes Analyseverfahren weltweit als erstes Land ein.](#)
[Die Wasserversorgung Zürich übernimmt hier seit 2011 eine Vorreiterrolle.](#)

Die Bakterien sorgen dafür, dass die natürliche Reinigungskraft des Wassers selbst in einem intakten Leitungsnetz einer Trinkwasserversorgung aufrechterhalten bleibt. Das heisst: Ähnlich wie beim Joghurt sorgen die wasserreinigenden Bakterien dafür, dass die gute Lebensmittelqualität gesichert ist. Schon seit den 1960er-Jahren ist vieles über die Artenvielfalt der «Wasser-

bakterien» bekannt. Und in den kommenden Jahrzehnten wird dank neuen Methoden die Artenbestimmung weiter vorangetrieben werden.

MESSEN VON BAKTERIEN

Die Zahl lebender Keime in einer Wasserprobe gibt noch keine Auskunft über die Wasserbelastung. Das Darmbakterium *Escherichia coli* zeigt jedoch an, ob das Wasser mit Abwasser verunreinigt ist. Je mehr solcher Bakterien im Wasser vorkommen, umso grösser wird die Gefahr, dass sich krankmachende Keime im Wasser finden lassen. Daher gilt für diese Keime im Trinkwasser die sogenannte Nulltoleranz.

Laut Lebensmittelrecht dürfen keine Coli-Bakterien im Trinkwasser (in 100 ml) nachweisbar sein. Zudem werden von der «nährstoffhungrigen Bakteriengruppe», den aerob mesophilen Keimen (AMK), nicht mehr als 300 Keime pro Milliliter Wasser toleriert.

VOM SUMMENPARAMETER ZUR PRÄZISIONSMESSUNG

Die Wasserversorgung Zürich legt grossen Wert darauf, möglichst umfassend zu kontrollieren. Mit der Durchflussszytometrie lassen sich Störungen (z.B. im Leitungsnetz) frühzeitig erkennen. So könnte beispielsweise ein Nährstoffeintrag zu höheren Keimzahlen führen.

Das Potenzial der Messmethode ist noch nicht ausgeschöpft. Mit speziellen Farbstoffen kann zwischen lebenden und toten Bakterien unterschieden werden. Studien

GUTES WASSER!

Der beste Schutz vor krankmachenden Mikroben sind z.B. die Schutzmassnahmen bei Quellen und ein sorgfältiges Arbeiten bei Gewinnung, Aufbereitung und Verteilung des Trinkwassers. Hierfür tragen die Wasserversorgungen entsprechend Sorge.

Anmerkung: Sollten die Ergebnisse einer Quellwasseranalyse z.B. nach sehr starken Regenfällen zeitweilig nicht den gesetzlichen Vorschriften entsprechen, wird am Brunnen bis zur Entwarnung ein Schild (Kein Trinkwasser) angebracht.



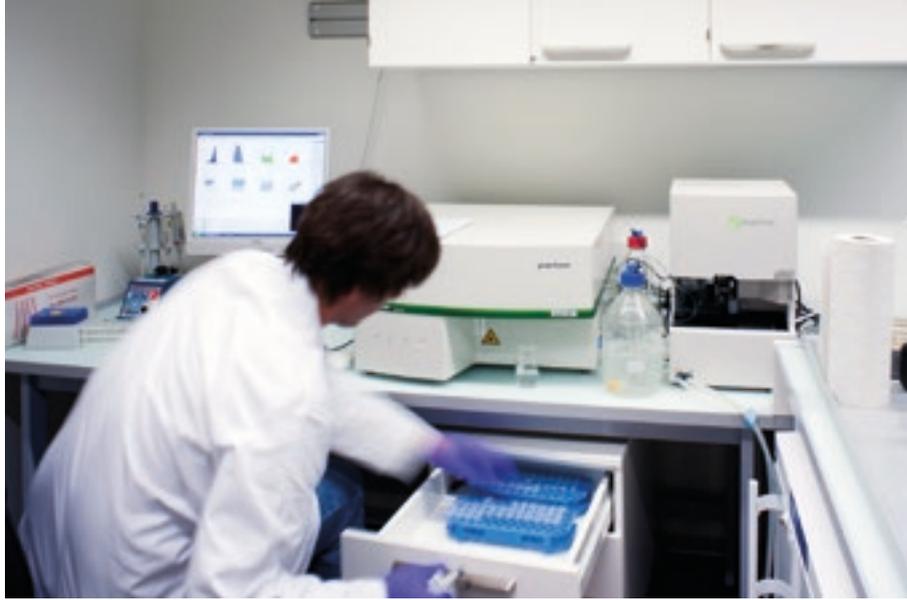
SCHUTZ DES QUELLWASSERS

Die engere Schutzzone (S2) bei Quell- oder Grundwasser soll verhindern, dass krankmachende Mikroorganismen in das gewonnene Wasser gelangen.

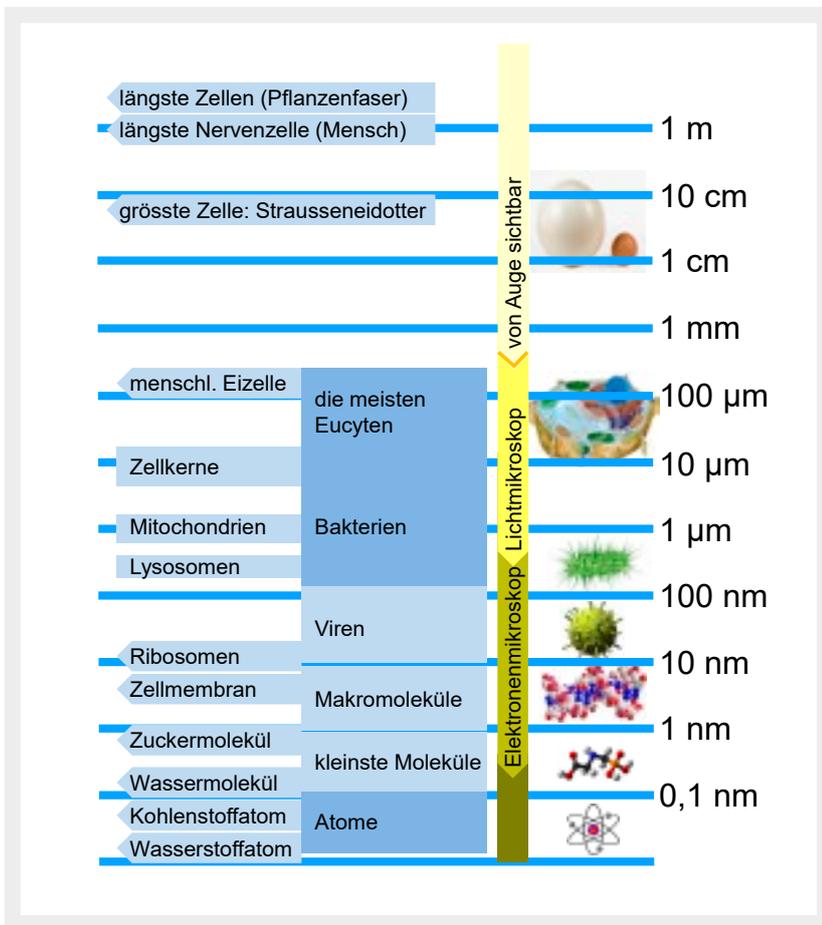
haben gezeigt, dass gut 90 % der Mikroben in ungechlortem Trinkwasser noch aktiv sind. Bereits werden spezifische Tests mit fluoreszierenden Antikörpern durchgeführt, die sich an die Oberfläche von Krankheitserregern heften.

Die relativ hohe Zahl natürlicher «Wasserbakterien» ist keine Bedrohung für den Menschen. Vielmehr bringen die Bakterien einen grossen Vorteil als Besetzer der ökologischen Nischen.

Dank guter Aufbereitung können die meisten Schweizer Wasserversorgungen ungechlortes «biostabiles» Wasser anbieten. Das heisst: Das Trinkwasser hat derart wenig Nährstoffe, dass es in den Verteilnetzen zu keiner unerwünschten Verkeimung mehr kommt.



Petrischalen in Vorbereitung.
Messung am Durchflusszytometer.



Größenvergleich ganz unterschiedlicher Zellen.

DIE TRINKWASSERFLORA SORGT FÜR BIOSTABILES WASSER

NATÜRLICHE ABBAUPROZESSE

Die für eine Verkeimung notwendigen AOC-Verbindungen entstehen durch natürliche Abbauprozesse und bei der Trinkwasseraufbereitung während chemischer Oxidationsprozesse (z.B. Ozonung, Chlorung) – auch werden sie langsam aus dem Material der Leitungen und Dichtungen herausgelöst. Bei Raumtemperaturen laufen diese Prozesse wesentlich schneller ab als bei den im Verteilnetz üblichen Temperaturen (meist < 10–20 °C).

Da selbst in der Luft viele Bakterien leben, würde sogar steriles Wasser nur kurze Zeit bakterienfrei bleiben.

Die Durchflusszytometrie lässt uns die wichtige Funktion der natürlichen mikrobiellen Trinkwasserflora besser verstehen. Die Messungen zeigen, dass in qualitativ hochwertigem Trinkwasser nicht selten bis zu 100'000 Zellen/ml oder mehr vorliegen. Genau diese Mikroorganismen – sprich wasserreinigenden Bakterien – besetzen sozusagen als Platzhalter die «ökologischen Nischen» im Trinkwasser und schliessen so das Wachstum unerwünschter mikrobieller Eindringlinge aus.



Fluoreszierende Bakterien.

Foto: Archiv WVZ

In der Schweiz wie auch in einigen anderen Ländern wird Trinkwasser oft ohne chemische Desinfektionsmittel ins Verteilsystem gegeben. Dies setzt jedoch das Vorhandensein von nährstoffarmem und qualitativ hochwertigem Grund- oder Quellwasser beziehungsweise aufbereitetem Trinkwasser aus Seewasser voraus. Der Verzicht auf Netzschutzmittel (Chlor) verlangt zugleich

nach einer sorgfältigen mikrobiologischen Qualitätskontrolle. Entscheidend ist neben dem geringen Nährstoffgehalt ein gut unterhaltenes Leitungsnetz, in welches Fremdwasser nicht eindringen kann.



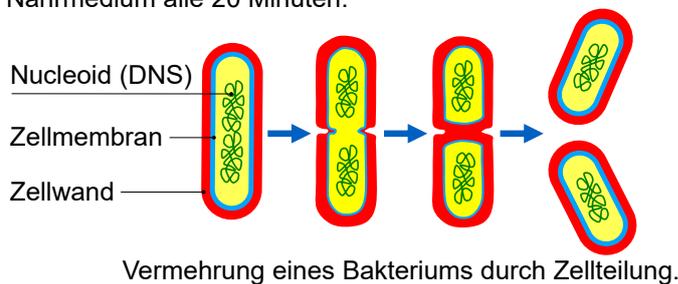
Testmethode zur Identifizierung von Bakterien auf biochemischem Weg; Schnelltestsystem nach 24 Stunden Inkubation.

Foto: Archiv WVZ

Ein zentraler Punkt bei der Verteilung von Trinkwasser ist der Schutz vor «unerwünschter Verkeimung». Dabei soll eine unkontrollierte Vermehrung mikrobieller Keime im Reservoir sowie im Leitungssystem verhindert werden. Biologisch stabiles Wasser weist kein bedeutsames Heranwachsen zusätzlicher Mikroorganismen auf. Es fehlt an Nährstoffen.

Vermehrung

Bakterien vermehren sich ungeschlechtlich durch Zellteilung. Wenn die Lebensbedingungen gut sind, teilen sie sich sehr schnell. So verdoppelt sich zum Beispiel das Darmbakterium *Escherichia coli* in einem geeigneten Nährmedium alle 20 Minuten.



Als Faustregel gilt: Das Wasser darf dafür nicht mehr als 50 µg/Liter assimilierbare organische C-Verbindungen (AOC) enthalten. Denn nur schon aus 1 µg AOC können bis zu 10 Millionen Zellen gebildet werden.



Zur Überwachung der mikrobiologischen Wasserqualität gab es lange nur das klassische Agarverfahren. Dieses erfasst nur einen Bruchteil der Bakterien. Mit einem Zeitaufwand von drei bis zehn Tagen werden die Bakterien bei Temperaturen von 20 bis 45 °C jeweils in Petrischalen auf einem festen Nährstoffmedium kultiviert und danach von Auge oder per Koloniezählmaschine ausgezählt.

BAKTERIEN IN PETRISCHALEN ZÜCHTEN (AMK-METHODE)

Zur Bestimmung und Beurteilung der mikrobiologischen Qualität von Trinkwasser werden die Bakterien auf festen Nährböden (Agargelmedium) in Petrischalen kultiviert. Darauf kann ein breites Spektrum an Bakterien heranwachsen. Hierfür wird eine Wasserprobe auf einem Schälchen mit Nährbo-



Inkubator (Brutkasten) zum Heranziehen der Bakterienkulturen.

den ausgebracht und während einer bestimmten Zeit und bei einer entsprechenden Temperatur bebrütet. Die Zellen, die sich unter diesen Bedingungen vermehren, wachsen somit zu einer erkennbaren Kolonie heran. Das Auszählen der Kolonien ergibt die Zahl kolonienbildende Einheiten (KBE) einer Wasserprobe. Diese Mikroorga-

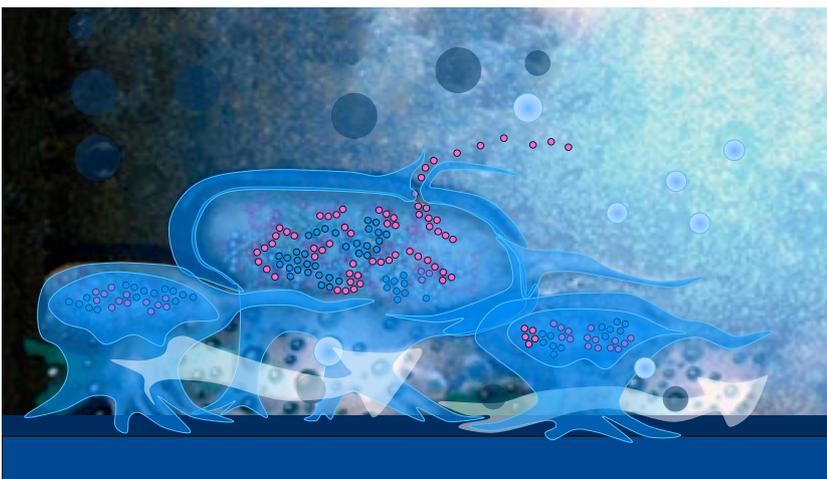
nismen werden als aerobe mesophile Keime (AMK) bezeichnet. Bei diesem herkömmlichen Nachweisverfahren von Robert Koch aus den 1890er-Jahren weist einwandfreies Trinkwasser nach der Aufbereitung weniger als 20 KBE/ml und im Netz weniger als 300 KBE/ml auf. Im Vergleich dazu darf eine Quelle an der Fassung nicht mehr als 100 KBE/ml hervorbringen (Bestimmungsdauer: 3 Tage). In ähnlicher Weise lässt sich mit Hilfe eines Selektivmediums nach Fäkalkeimen, den sogenannten Indikatorbakterien, suchen. Dazu zählen *Escherichia coli* und Enterokokken als hygienerelevante Parameter.

BIOFILME ALS KINDERSTUBE DER BAKTERIEN

Biofilme sind in Trinkwasserverteilsystemen allgegenwärtig. Es handelt sich meist um eine relativ dünne, unregelmässige Besiedlung in Form einzelner Zellen und von Mikrokolonien; manchmal können aber auch flächendeckende Biofilme vorliegen.

Obligat pathogene Mikroorganismen sind nicht vorhanden; fakultativ pathogene Mikroorganismen (z.B. Legionellen) sind gelegentlich vorhanden (im zentralen Versorgungsnetz in relativ geringen Konzentrationen).

Der Einsatz von Desinfektionsmitteln (Chlor) unter praxisrelevanten Bedingungen führt aber nicht zur vollständigen Entfernung von Biofilmen. Quelle: IWW Zentrum Wasserforschung Mülheim (Biofilm Centre)



Schema: Gewisse Bakterien sind am Aufbau des Biofilms beteiligt.

FOLGEN DER AUFBEREITUNG

Wichtig zu wissen ist: In der Aufbereitung tötet das Ozon die Keime ab.

Durch das Ozon in der Aufbereitung werden Nährstoffe aufgespalten und somit wiederum für Bakterien als Nahrung verfügbar gemacht. Die biologischen Filter enthalten die entsprechenden wasserreinigenden Bakterien, welche diese Nährstoffe nutzen.

Die wasserreinigenden Bakterien finden ihren Weg vom biologischen Langsamfilter ebenfalls ins Leitungsnetz. Die Mikrobiologie macht das Wasser biologisch stabil, dadurch entsteht ein Wasser mit geringer Verkeimungsneigung.

UNERWÜNSCHTE BAKTERIEN

Die Pseudomonaden stellen eine Bakteriengruppe dar, die sich bevorzugt in natürlichen Biofilmen aufhält und vermehrt. Dabei erzeugen sie eine spezielle Schutzhaut über ihre Populationen, die diese vor äusseren Einflüssen schützt (z.B. vor Chlor). Berüchtigt ist *Pseudomonas aeruginosa*.

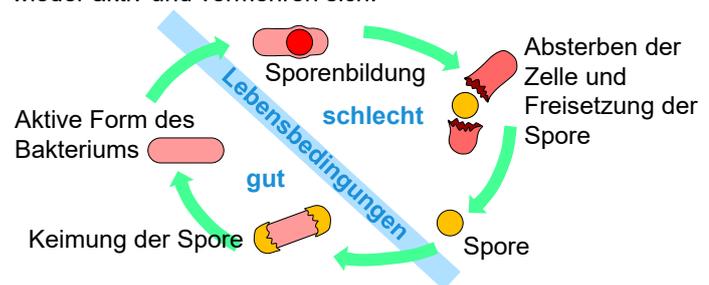
Es handelt sich um ein unter Umständen krankmachendes (humanpathogenes) Bakterium. Infektionen beim Menschen werden durch eine geschwächte Immunität begünstigt, deshalb gilt diese Art als Spitalkeim. Ausserdem kommen bei diesem Bakterium auch Antibiotikaresistenzen vor.

DAS LEBEN IN KUNSTSTOFFROHREN

Trinkwasser fliesst frisch und bekömmlich aus der Leitung direkt ins Haus. Für die Aufrechterhaltung der Wassergüte in den Liegenschaften sind die Hauseigentümer und die Mieter verantwortlich. Eine sinnvolle Instandhaltung und ein regelmässiges Durchspülen der Leitungen sorgen dafür, dass das Trinkwasser bekömmlich bleibt. Trinkwasserleitungen geben im Allgemeinen geringe Mengen an Nährstoffen ins Wasser ab. Die Kunststoffleitungen setzen beispielsweise Weichmacher frei – die HDPE-Rohre der Wasserversorgungen jedoch kaum.

Lebenszyklen: Bakteriensporen

Manche Bakterienarten (z.B. *Bacillus anthracis*) bilden bei ungünstigen Lebensbedingungen Dauerformen aus. Diese widerstandsfähigen Sporen sind inaktiv. Sie können sehr lange überleben, weil sie nahezu keinen Stoffwechsel aufweisen. Bei besseren Lebensumständen werden sie wieder aktiv und vermehren sich.



Es sind dann wiederum die heranwachsenden wasserreinigenden Bakterien, die auch hier dafür sorgen, dass die Biostabilität des Trinkwassers unverändert bleibt. Zum einen sorgen Biofilme dafür, dass sich die Nährstoffe



nicht anreichern, und zum anderen betrachten die Bakterien gewisse Weichmacher als Nahrung und verstoffwechseln diese – eine Akkumulation findet u.a. wegen der kurzen Verweildauer nicht statt. In der Folge finden sich kaum nennenswerte Mengen an Fremdstoffen im Trinkwasser, welche zudem nach heutigem Ermessen absolut unbedenklich sind.

Bis zum Haus sorgt die Wasserversorgung für qualitativ einwandfreies Trinkwasser. Jede Konsumentin und jeder Konsument sollte nach längeren Unterbrüchen beim Wasserbezug das Wasser etwas laufen lassen, damit es wieder frisch aus dem Hahn fließt.

DIE GROSSE BAKTERIENVIELFALT SCHÜTZT DAS TRINKWASSER

WACHSTUMS- POTENZIAL

Bei der Abtötung von Bakterien werden die ökologischen Nischen wieder von neuem besiedelt. Dies ist auch bei den Aufbereitungsprozessen der Fall, in denen die mikrobielle Flora ganz oder teilweise eliminiert, inaktiviert oder abgetötet wird. Darunter fallen beispielsweise die UV-Desinfektion oder eine chemische Desinfektion. Oft werden bei einer chemischen Oxidationsreaktion (Chlor oder Ozon) zusätzliche Nährstoffe (AOC) gebildet, wodurch das Wachstumspotenzial für die Bakterien zunimmt.

Selbst das nährstoffarme Trinkwasser hält «ökologische Nischen» zum Überleben von Mikroorganismen bereit. Letztendlich sind diese in einem grösseren Zusammenhang mit der natürlichen «Selbstreinigungskraft» des Wassers zu betrachten.

Einfachere Filtermethoden oder eine Desinfektion (Chlor) führen nur kurzzeitig zu niedrigen Keimzahlen, die unmittelbar darauf wieder auf das vorherige Niveau ansteigen. Allerdings verringert sich dann die Artenvielfalt zu Gunsten der anpassungsfähigeren Arten, die die «ökologische Nische» für sich zu nutzen wissen.

Im Gegensatz zur früheren Lehrmeinung, dass humanpathogene Bakterien in der aquatischen Umwelt nicht überleben können und schnell absterben, wurde nachgewiesen, dass in keimfrei gemachtem See- oder Trinkwasser bakterielle Krankheitserreger wie beispielsweise gewisse «Coli-Stämme» eine Zeit lang überleben könnten. Sie stehen jedoch im Wettbewerb mit der natürlichen harmlosen Süsswasserbakterienflora. Daher ist es unsinnig, das Wasser keimfrei zu machen, denn dadurch entsteht eine instabile Situation und in den frei gewordenen «ökologischen Nischen» könnten womöglich auch potenzielle Krankheitserreger länger überleben.

COLI-BAKTERIEN

Es gibt unterschiedliche Gruppen von Coli-Bakterien. Von unbedenklichen bis stark krankmachenden Arten (extremer Durchfall). Sind Coli-Bakterien vorhanden, können auch andere Krankheitserreger im Trinkwasser vorkommen. Deswegen dienen sie als Zeigeorganismen (Fäkalindikatoren).

In einem vollumfänglich besetzten Ökosystem stehen Krankheitserreger in harter Konkurrenz um die wenigen Nährstoffe mit der vorhandenen, gut angepassten, natürlichen mikrobiellen Flora. Somit bleibt das Überlebenspotenzial so oder so sehr bescheiden. Eine wichtige Voraussetzung dafür ist, dass die Temperatur des Wassers im Netz tief bleibt und nicht wesentlich über 25 °C ansteigt.

SCHUTZ VOR KRANKHEITSERREGEN

Die Wasserversorgung verfügt bei der Seewasseraufbereitung über ein sogenanntes Multibarrierensystem. Dazu zählen z.B. im Seewasserwerk Lengg eine zweifache Ozonung sowie eine Schnell-, eine Aktivkohle- und eine Langsamfiltration.

HAUSHALTSTIPP: ABKOCHEN

Der beste Schutz vor Keimen im Trinkwasser ist das Abkochen, was für den Normalgebrauch nicht nötig ist (etwas Vorspülen reicht aus).

Bereits einmaliges kurzes Aufkochen genügt, um alle Keime abzutöten. Dies ist beispielsweise in Kinderkrippen eine routinemässige Vorkehrung bei der Schoppenzubereitung.

UNBEDENKLICHE BAKTERIEN

Die Bakterien im Trinkwasser sind Spezialisten, die mit extrem wenig Nährstoffen in einem kalten Milieu überleben. Diese Bakterien leben schon seit jeher im Wasser und sind unbedenklich.

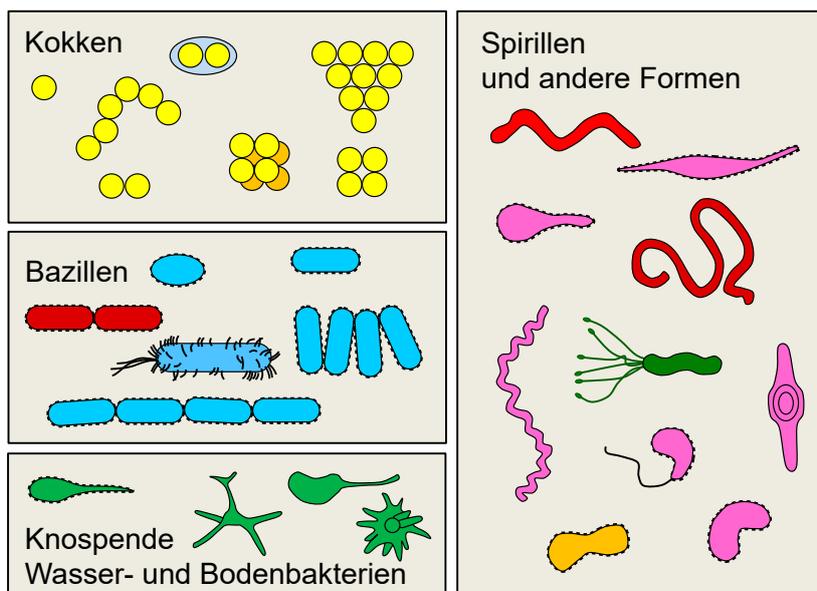
ENTKEIMUNG

Übliche Massnahmen zur Entkeimung sind die Ozonung des Wassers, der Einsatz von Chlor, z.B. in Form von Chlordioxid, oder die UV-Bestrahlung. Sie machen nur Sinn, wenn man Keime abtöten oder inaktivieren möchte (Desinfektion). Jedoch werden dabei gleichzeitig Nährstoffe generiert.

VORTEILE DER BIOLOGISCHEN FILTER

Eine abschliessende biologische Aufbereitung, wie eine Langsandsandfiltration, unterstützt den Zustand des biologisch stabilen Wassers.

Im Langsandsandfilter wird der verfügbare Nährstoffgehalt (AOC) durch die an den Sandkörnern anhaftenden Mikroorganismen weiter reduziert und überdies werden, als Folge der Besiedelung des Sandkörpers, artenreiche



Die Vielfalt an verschiedenen Bakterienformen ist sehr gross. Die Zellform von Bakterien sagt kaum etwas über die verwandtschaftlichen Verhältnisse aus.

und optimal angepasste Zellen ins Wasser abgegeben, die für eine erste, gute Besetzung der «ökologischen Nische» im Leitungssystem sorgen.

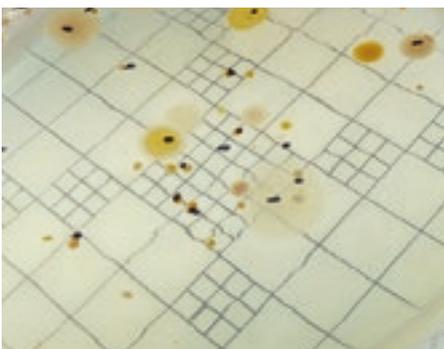
Anmerkung: Bei der Ultrafiltration (einer Wasseraufbereitungstechnik, die mit Hilfe von Spezialmembranen Stoffe, Bakterien und einen Teil der Viren beseitigt) findet der Prozess zum Erhalt der biologischen Stabilität des Trinkwassers auf einem nachgeschalteten Biofilter und im Leitungsnetz statt.



Auszählen von
Bakterien.

SAUBERES WASSER IN DEN HAUSHALTUNGEN

In gut unterhaltenen Verteilnetzen bleibt die hervorragende Qualität des Trinkwassers erhalten. Damit dies bis zum Hahn auch so bleibt, braucht es eine entsprechende Hausinstallation. Doch das Wichtigste vorweg: Bei einem normalen Gebrauch des Trinkwassers ist auch dort keine Qualitätseinbuße zu befürchten.



In Gebäuden kann nach einer Stagnation über Nacht die Zellzahl stark variieren. Möglich ist eine Zunahme um einen Faktor 2 bis 100. Ein übermässiger Anstieg der Zellzahlen in den Gebäudeinstallationen lässt sich folgendermassen erklären:

Ausgezählte Bakterienkolonien (AMK)
in einer Petrischale. Foto: Archiv WVZ

höhere Temperaturen (Erwärmung im Haus), kleine Rohrdurchmesser und damit grosse Oberflächen zur Biofilmbildung sowie teilweise ungeeignetes Rohrmaterial (Kunststoffe oder alte, beschädigte Rohre).

SAUBERES WASSER

Das Trinkwasser ist frei von toxischen Inhaltsstoffen und Krankheitserregern.

Leitungen nach Abwesenheit zu spülen oder periodisch das Wasser kurz aus dem Hahn laufen zu lassen, gehören schon bis anhin zu den normalen Verhaltensmassnahmen, um frisches Trinkwasser ab dem Hahn in optimaler Qualität geniessen zu können.

MESSWERTE INTERPRETIEREN

Die Interpretation der nach der neuen Durchflusszytometrie-Methode ermittelten Zellzahlen ist für die Konsumentinnen und Konsumenten schwierig. Auch können nur unzureichend Vergleiche zwischen den einzelnen Versorgern angestellt werden.

Da keine einheitliche Beurteilung der Zellzahlen möglich ist, muss jeder Wasserversorger über längere Zeit hinweg an verschiedenen Orten eigene Erfahrungswerte über die Entwicklung der Zellzahlen sammeln. Letztendlich stellen die Zellzahlen nur einen Parameter bei der gesamten Qualitätsüberwachung dar und lassen somit keine allumfassende Beurteilung über die Wassergüte zu.

UNTERHALT DER HAUSINSTALLATIONEN

Wichtig zu wissen ist: Ungenutzte Hausinstallationen sind zu entfernen und selten genutzte regelmässig zu spülen. Der Wasserversorger ist bis zum Hausanschluss für die Wasserqualität verantwortlich. Danach liegt die Verantwortung beim Hausbesitzer.

TRINKWASSER IST EIN NATÜRLICHES TRINKWASSER

Das Bakterienleben im Trinkwasser verändert sich vom Weg der Fassung bis zum Hahn – dabei spielen die Temperatur und die Verweildauer im Leitungsnetz eine Rolle. Biologisch stabiles Trinkwasser bleibt auch bei etwas längerer Verweilzeit im Leitungsnetz und in Reservoirs sauber. Unterstützt wird dies durch die «Trinkwasser-Biofilme» als Wiege der wasserreinigenden Bakterien. Die regelmässigen bakteriologischen Kontrollen geben Sicherheit und bestätigen somit die gute Qualität des Trinkwassers. Unter Umständen können bei den Hausinstallationen, beispielsweise durch beschädigte Rohre, erhöhte Bakterienzahlen beobachtet werden. Dies heisst aber noch nicht, dass das Wasser deswegen qualitative Mängel aufweist.

CHLORFREI

Aufgrund der guten Beschaffenheit des Zürcher Trinkwassers kann auf eine Enddesinfektion mit Chlor beziehungsweise Chlordioxid verzichtet werden. Die Anlagen stehen jedoch bereit, falls ein entsprechender Einsatz notwendig sein sollte.



WAS GEHÖRT ZUR HAUSINSTALLATION?

- > Die Anschlussleitung intern ab der Hauseinführung bis zum Wasserzähler
- > Alle Leitungen ab Wasserzähler, Apparate und Armaturen, die für die Trinkwasserversorgung notwendig sind

Diese Installationen werden durch eine konzessionierte Sanitärfirma ausgeführt.

«KRANKHEITSERREGER» (LEGIONELLEN & CO.)

Zu den sogenannten Wasserkeimen zählen unzählige Arten. Darunter finden sich einige Arten, die bei unsachgemässer Handhabung der Trinkwasserinstallationen pathogenen Charakter entwickeln. Bestes Beispiel hierfür sind die Legionellen, bei welchen es in zu gering erhitzten Warmwasserspeichern zur Massenvermehrung kommt.

Im Wasser können vereinzelt potenziell gefährliche Bakterienarten vorkommen, den grossen Rest jedoch bilden harmlose Arten. Das Bakterienleben in seiner Gesamtheit sorgt dafür, dass sich allfällige Krankheitserreger nicht vermehren. In sauberem Trinkwasser bei einem gut unterhaltenen Leitungsnetz ist eine bakterielle Kontamination mit pathogenen Keimen so gut wie ausgeschlossen. Gleichzeitig gilt es, mittels Kontrollen ein Aufkommen der sogenannten «Verderbsflora» auszuschliessen.

PSEUDOMONADEN

Pseudomonaden sind in der Umwelt allgegenwärtig. Sie werden ungerne auch als «Pfützenkeime» bezeichnet, sind aber nichtfäkalen Ursprungs. Man findet sie im Boden, im Wasser sowie in oder auf Pflanzen und Tieren. Als Kühlhausflora sind manche Arten im Zusammenhang mit der Lebensmittellagerung unerwünscht. In aeroben Abwasserreinigungsanlagen treten Pseudomonaden vermehrt auf und sind am erwünschten Abbauprozess von Schadstoffen – auch von Fetten und Ölen – beteiligt.

Die Pseudomonaden leben meist von abgestorbenem organischem Material. Auch wenn sich darunter einige Krankheitserreger befinden, wirken

LEGIONÄRS- KRANKHEIT

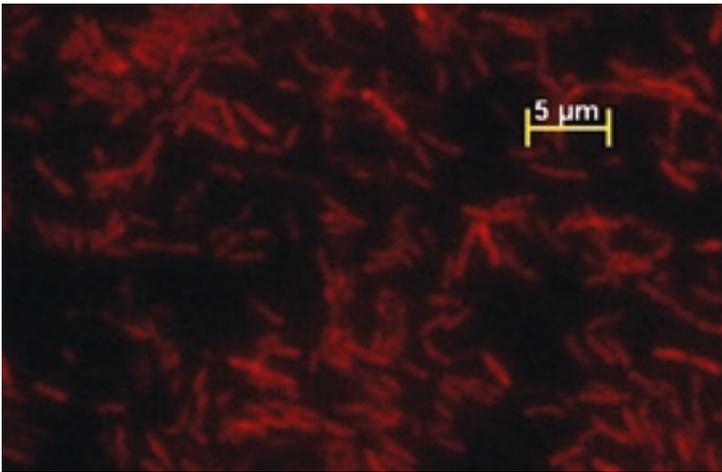
Es gibt rund 50 Arten von Legionellen, wobei *Legionella pneumophila* häufiger vertreten und zugleich als Erreger der Legionellose oder Legionärskrankheit bekannt ist. Die Infektion wurde 1976 zum ersten Mal beschrieben. Ihren Namen erhielt sie nach einem Treffen der Kriegsveteranenvereinigung American Legion, das in einem Hotel in Philadelphia (USA) stattfand. Damals waren 181 Personen lebensbedrohlich erkrankt. Diese der Lungenentzündung ähnliche Krankheit muss zwingend vom Arzt behandelt werden. Als etwas mildere Form ist das «Pontiac-Fieber» mit grippeähnlichen Symptomen bekannt.

viele Arten positiv auf die Sauberhaltung des Trinkwassers, weil sie die Krankheitserreger sozusagen verdrängen. Einige Arten sind in der Lage, Nitrat zu reduzieren.

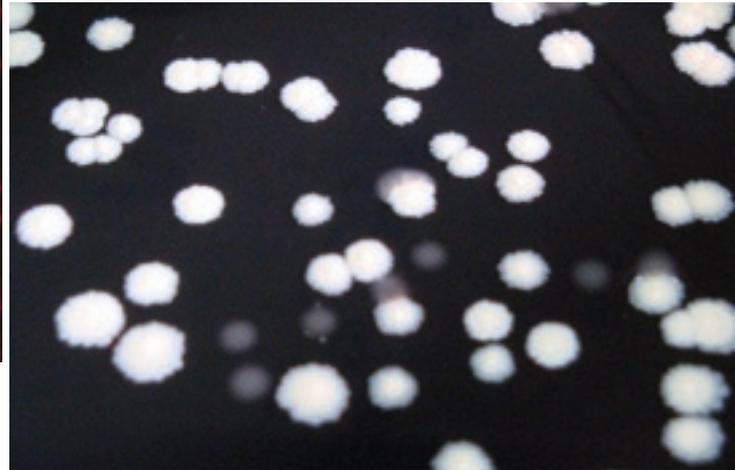
Pseudomonas aeruginosa ist ein weitverbreiteter Boden- und Wasserkeim (Nasskeim), der in feuchten Milieus vorkommt (neben feuchten Böden und Oberflächengewässern auch in Leitungswasser, Waschbecken, Duschen, Toiletten, Spülmaschinen, Dialysegeräten, Medikamenten und Desinfektionsmitteln). In der Hygiene gilt er daher als bedeutender Spitalkeim. Aber auch als Lebensmittelverderber spielt er eine Rolle. Er kann selbst in destilliertem Wasser oder einigen Desinfektionsmitteln überleben und wachsen, wenn kleinste Spuren organischer Substanzen vorhanden sind.

LEGIONELLEN

Die Legionellen (*Legionella*) sind eine Gattung stäbchenförmiger Bakterien, die vereinzelt im Wasser vorkommen. Sie vermehren sich beispielsweise in unzureichend erhitzten Warmwasserverteilanlagen (Boilern) bei lauwarmen Temperaturen von 20–50 °C. Die eingestellte Solltemperatur im Warmwasserspeicher einer Heizanlage ohne Zirkulation sollte nicht unter 55 °C liegen. Moderne Heizungssteuerungen für Kleinheizanlagen erhöhen die Speichertemperatur kurzzeitig in regelmäßigen Abständen. Eine Atemwegsinfektion ist möglich, wenn eine grosse Zahl an Legionellen über fein zerstäubte Wassertröpfchen (Aerosole) beim Duschen in die tiefen Lungenabschnitte des Menschen gelangen. Das



Unter dem Mikroskop: Legionella pneumophila.
Foto: Archiv WVZ

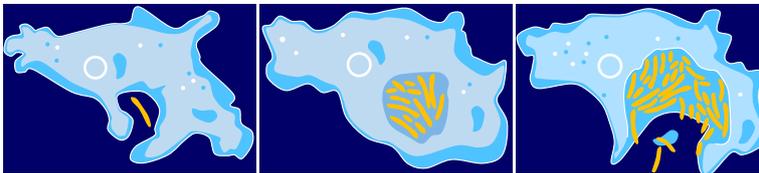


Oben: Plattenfoto mit Legionellen.

Trinken von legionellenhaltigem Wasser beinhaltet jedoch keine Gesundheitsgefahr. Nebelbrunnen oder -erzeuger können aber als eine Gefahrenquelle angesehen werden.

Amöben im Biofilm

Amöben sind Wirtsorganismen für *Legionella spp.*, *Mycobacteria spp.* und andere «amöbenresistente Bakterien». Diese werden in die Amöben aufgenommen, ohne verdaut zu werden, und vermehren sich dort innerhalb der Vakuolen (Zellorganellen). Wenn die Vermehrungsrate eine bestimmte Dichte erreicht hat, werden sie aus den Vakuolen ins Wasser freigesetzt.



BRUNNENWASSER VORÜBERGEHEND GESPERRT

Nach sehr starken Niederschlägen können unter Umständen zeitweilig unerwünschte Mikroorganismen ins Quellwasser gelangen. Sollten die Werte über den Grenzwerten liegen, werden Brunnen bis zur Normalisierung mit einer Tafel «Kein Trinkwasser» versehen.

In solchen Fällen kann die Wasserversorgung die Qualität nicht mehr garantieren; ein Trinken vom Brunnen geschieht auf eigene Verantwortung.

Die Wasserversorgung ist für die Wasserlieferung bis zum Haus verantwortlich. Im Haus selbst muss der Hauseigentümer zusammen mit einer konzessionierten Sanitärfirma für einwandfreie Wasserverhältnisse sorgen. Die Schweizer Sanitärfirmen legen die Temperaturbereiche in der Regel so fest, dass sich die Bakterien nicht vermehren können und somit eine Erkrankung ausgeschlossen werden kann.

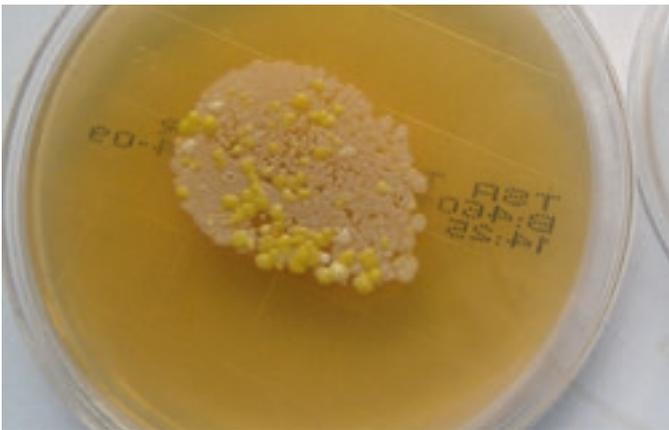
Bauliche Massnahmen stellen ebenfalls eine gute Vorsorge dar. Lange in den Leitungen stehendes Wasser ist zu vermeiden. Beispielsweise sollten ungenutzte Leitungen entfernt oder Spülautomaten eingebaut werden.

KONZEPT FÜR DIE QUALITÄTSSICHERUNG

Es werden regelmässige biologische Qualitätskontrollen während der Trinkwasseraufbereitung und an den Fassungsstellen der Quellen (auch Grundwasser) sowie im Leitungsnetz durchgeführt. Probenahmestellen sind beispielsweise Brunnen oder Hydranten. Somit werden bereits geringfügige Qualitätsschwankungen im Rahmen der gesetzlichen Vorgaben registriert, was frühzeitiges Handeln erlaubt.

Der Verzicht auf einen Netzschutz (z.B. Chlor) erlaubt es, allfällige Qualitätsschwankungen im Netz frühzeitig zu erkennen. Geeignete Gegenmassnahmen lassen sich somit rascher einleiten. Bei der Beigabe eines Desinfektionsmittels könnten Störlagen gegebenenfalls lange unbemerkt bleiben, weil das Bakterienwachstum unterdrückt wird. Somit könnte die Störung unbemerkt gravierende-

re Ausmasse erlangen, bis sich dann die Situation zuspitzt und gefährlich ausweitet. Zeitweilig kann es bei Quelfassungen nach starken Regenfällen zu erhöhten Keimwerten kommen. Werden Grenzwerte erreicht, wird das Wasser verworfen – das heisst, es wird in einen Bach statt in einen



Je ein Fingerabdruck auf dem Agar von unterschiedlichen Personen.

Foto: WVZ

Brunnen geleitet. Ist dies nicht möglich, wird ein Schild «Kein Trinkwasser» am Brunnen angebracht. Solch ein Brunnen wird dann so lange vermehrt kontrolliert, bis sich die Werte verbessern und das Schild wieder entfernt werden kann. Gegebenenfalls ist der Einbau einer Desinfektion oder eine Sanierung der Fassung vorzusehen.



Wo können unbemerkt Qualitätseinbussen entstehen? Bei unbemerkten Leckagen könnten Schmutzstoffe ins Trinkwassernetz gelangen – trotz 3-10 Bar Leitungsdruck. Grund dafür können Baustellensituationen sein oder starke Druckeinflüsse bei Hangwassersituationen. Bei ungenügend genutzten Endsträngen können unter Umständen auch langsam heranwachsende Keimbelastungen registriert werden. Als Sofortmassnahmen dienen die Leitungsspülung beziehungsweise die Leckortung und die



Reparatur. Allfällige Qualitätseinbussen liessen sich unter Umständen auch durch Verringern der Rohrdurchmesser beheben.

VORGEHEN BEI EINER VERMINDERTEN MIKROBIOLOGISCHEN WASSERQUALITÄT

Der betroffene Leitungsstrang wird ausgiebig gespült und vermehrte Nachkontrollproben werden entnommen – allenfalls auch täglich. Wichtig ist, dass die Qualitätsparameter gemäss Hygieneverordnung eingehalten werden. Zusätzlich gilt es, die Kontaminationsquelle zu lokalisieren, indem Leckortungen, Netzmodellierungen und gezielte Probenahmen durchgeführt werden. Bei gravierenden Störfällen wird ein chlorhaltiger Netzschutz zugegeben und falls angezeigt eine Abkochvorschrift erlassen.

TIPPS FÜR DEN HAUSHALT:

- 1 Wasser laufen lassen: Wenn Wasser zu lange in der Leitung steht, wie z.B. während eines Urlaubs, empfiehlt es sich, dieses vor dem ersten Gebrauch laufen zu lassen, bis kühleres Wasser kommt!
- 2 Warmwasserregler am Boiler zur Hygiene richtig heiss stellen, was auch ein allfälliges Legionellenaufkommen verhindert. Die Morgentemperatur am entferntesten Hahn muss mindestens 50 °C betragen (Boiler mindestens 60 °C).
- 3 Warmwasserspeicher regelmässig warten, um Ablagerungen gering zu halten.
- 4 Moderne und zertifizierte Wasserinstallationen verwenden, um die Keimbesiedlung zu minimieren.

BLICK IN DIE ZUKUNFT: WOHIN GEHT DIE FORSCHUNG?

PORTRÄT EINER MIKROBEN- GEMEINSCHAFT IN DEN RÖHREN

Für die neuen Erkenntnisse zur Mikrowelt in den Wasserleitungen ist die sehr präzise Sequenzieretechnologie verantwortlich – das Next Generation Sequencing (NGS). Früher waren weniger als 10 % der Bakterien mittels Nährstofflösungen (Agar) in Trinkwasser überhaupt kultivierbar. Nun zeigt die neue Methode ein kompletteres Bild der Mikrobengemeinschaft in den Biofilmen der Leitungen und des Trinkwassers.

In der Laboranalytik der Zukunft wird es verstärkt darum gehen, die mittlerweile zahlreichen chemischen und biologischen Methoden geschickt miteinander zu kombinieren, um ein möglichst aussagekräftiges Resultat zur Wasserqualität zu erhalten.

Kurz vor dem Durchbruch steht ein Gerät, welches mikrobiologische Informationen in Echtzeit liefert. Bei diesem Online-Durchflussszytometer handelt es sich um eine Weiterentwicklung des bewährten Laborgeräts zur Zellzahlbestimmung im Wasser. Erste Testmessungen mit dem neuen Gerät zeigen erfreuliche Resultate und bestätigen das Potenzial zur Anwendung in der kontinuierlichen Prozessüberwachung.

Mit all diesen Entwicklungen verfolgen wir nicht nur unser eigenes wissenschaftliches Interesse am Trinkwasser, sondern werden vor allem der Erwartungshaltung der Konsumenten und der Aufsichtsbehörden an ein einwandfreies und streng kontrolliertes Produkt gerecht.

DER FORTSCHRITT STEHT VOR DER TÜRE

Schon bald dürfte die Online-Durchflussszytometrie sich an verschiedensten Stellen bei der Untersuchung von Trinkwasser etablieren – sowohl bei der Aufbereitung als auch im Leitungsnetz.



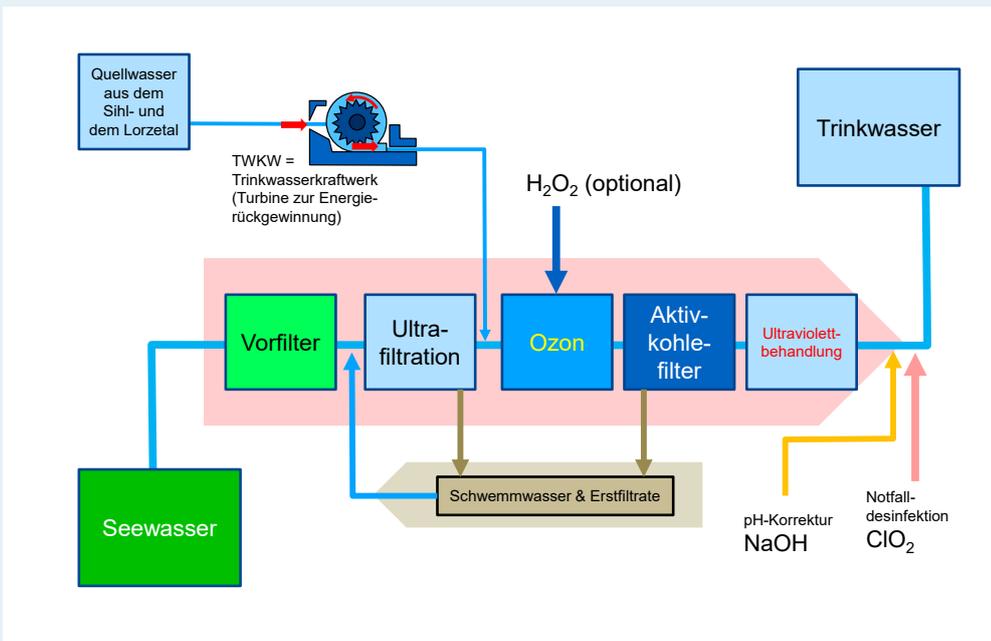
Zur Überwachung der mikrobiologischen Wasserqualität gäbe es noch weitere Möglichkeiten, wie beispielsweise die DNS-Analyse.

In Kombination mit den bestehenden Tests kämen noch andere Verfahren infrage. Der ATP-Test ist beispielsweise eine Methode, um die eingelagerte Energie bei einem funktionierenden Stoffwechsel zu ermitteln. Dies, indem man die Menge an Adenosintriphosphat (ATP) der Zellen misst. Damit lassen sich auch Bakterien-, Hefen- und Schimmelpilzzellen untersuchen. Noch aussagekräftiger wäre bei der Artenbestimmung der Einsatz von Gentests, was heutzutage jedoch noch sehr kostenintensiv ist.

Populationsdichten und die Artenverteilung sowie die Lebensleistungen von Bakterien sind ein breites Gebiet, welches es noch zu erforschen gilt. Die Bakterien können u.a. ganz unterschiedliche Stoffwechselprodukte mit beispielsweise sehr unterschiedlichen pH-Werten hervorbringen.

ULTRAFILTRATION IM ERNEUERTEN SEEWASSERWERK MOOS

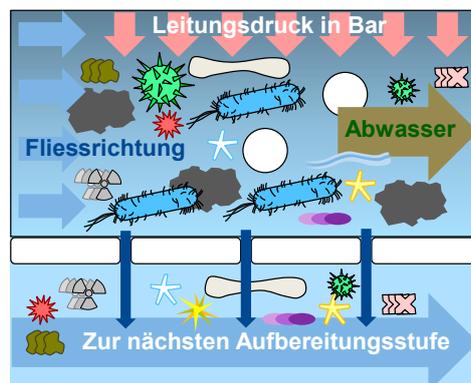
Die geplante Verfahrenskette zeichnet sich durch den Einsatz von Membranfiltern aus. Mit dieser Technologie werden die Sandfilter abgelöst. Die biologische Stabilität des Trinkwassers bleibt durch den Abbau der Nährstoffe im Aktivkohlefilter im Leitungsnetz erhalten.



Entkeimung: Das Abtöten (Ozon) und das Abscheiden (Membran) der Mikroorganismen sind effiziente Verfahren.

- Anorganische Stoffe
- Antibiotika
- Asbest
- Bakterien
- Betablocker
- Hormone
- Östrogene
- PAK
- Pestizide
- Pilze
- Radioaktive Teilchen
- Schmerzmittel
- Sedimente
- Viren (teilweise)

PAK: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (Verbrennungsrückstände)



Die Ultrafiltration als moderne Aufbereitungsmethode schützt sehr effizient vor Keimen.



ANHANG

EINFÜHRUNG IN DIE WUNDERWELT DER MIKROBEN

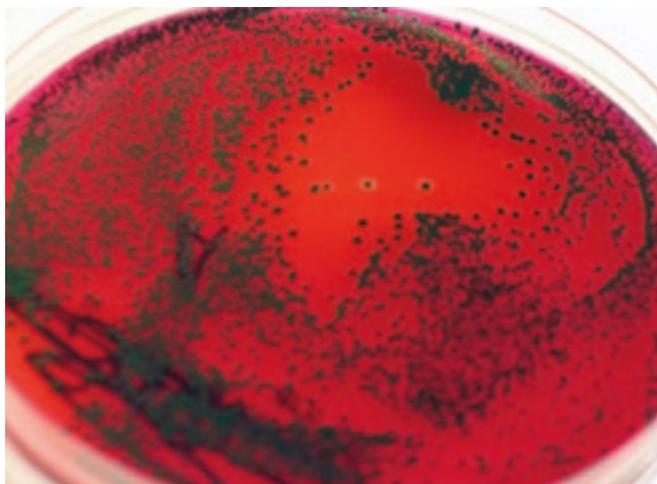
Bakterienleistung:

WIE KOMMEN DIE LÖCHER IN DEN KÄSE?

Die Antwort ist ganz einfach. Die Löcher entstehen durch Gasblasen, die im Käseireifprozess von Bakterien produziert werden. Die Mikroorganismen werden dem Käse während seiner Herstellung zugesetzt. Während der Käse langsam reift, sorgen die Bakterien dafür, dass der Milchzucker, die Laktose, fast vollständig über Milchsäure zu Propionsäure abgebaut wird. Ab zirka drei Monaten ist die Laktose vollständig abgebaut.

Die Lebensleistungen der Bakterien sind mannigfaltig: Phototrophe Bakterien nutzen Licht zur Energiegewinnung. Leuchtbackterien erzeugen Licht durch Biolumineszenz. Bakterien kommen beinahe überall vor.

In nur 200 Gramm Erde leben rund 1,5 Billionen Mikroorganismen wie Bakterien und Algen. In 1 Liter sauberem Seewasser leben ca. 1 Milliarde Bakterien. Und auf dem Meeresgrund vor Afrika (vor Namibia) in 100 Metern Tiefe – aber auch an anderen Orten der Welt – leben die

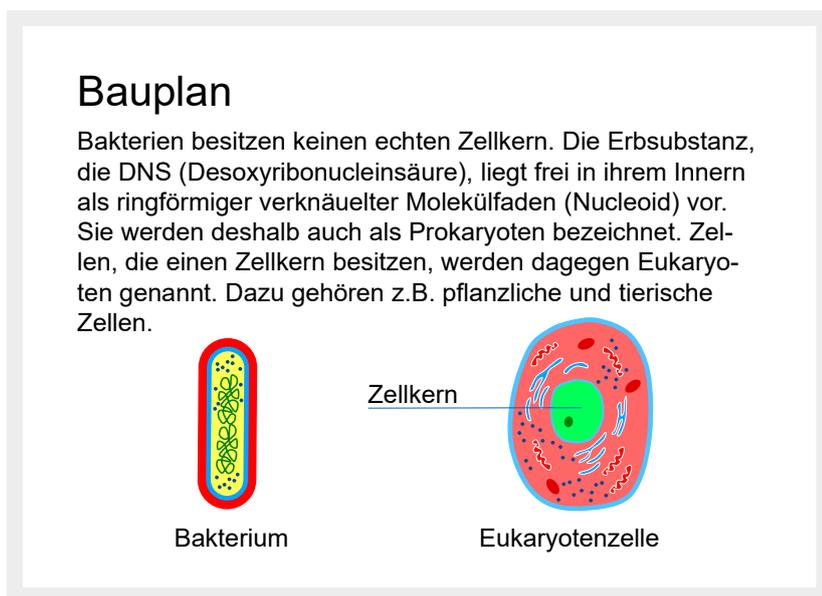


Salmonellen in Petrischale. Foto: Archiv WVZ

grössten Bakterien der Welt. Die «Schwefelperlen von Namibia» namens *Thiomargarita namibiensis* sind mit einem Durchmesser von 0,75 Millimetern riesig und von blossen Auge zu erkennen. Normalerweise sind Bakterien jedoch nur wenige Tausendstel millimeter gross.

DIE WELT DER BAKTERIEN ENTSCHLÜSSELN

Früher ging man davon aus, dass Bakterien zu den Pflanzen gehören, obschon Bakterien die einfachste Lebens-



form (Einzeller) darstellen. Daher spricht man auch heute noch fälschlicherweise von einer Wasser- oder Darmflora (richtigerweise Darm-Mikrobiota).

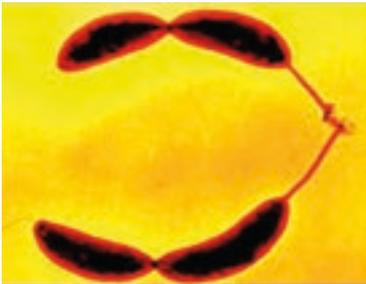
Bakterien fehlt im Gegensatz zu anderen Organismen ein Zellkern. Wissenschaftler bezeichnen sie als Prokaryoten (Zellen ohne Kern) im Gegensatz zu den Eukaryoten (alle anderen Zellen mit echtem Zellkern). Es gibt Bakterien, die Sauerstoffatmung betreiben, andere, die sowohl ohne als auch mit Sauerstoff existieren können, und solche, die Sauerstoff nicht tolerieren. Die Vermehrung erfolgt über Zellteilung.

GRAM-FÄRBUNG

Die Gram-Färbung ist eine vom dänischen Bakteriologen Hans Christian Gram (1853–1938) entwickelte Methode zur differenzierenden Färbung von Bakterien für die mikroskopische Untersuchung. Sie ermöglicht es, Bakterien in zwei grosse Gruppen, die sich im Aufbau ihrer Zellwände unterscheiden, einzuteilen. Es werden grampositive und gramnegative Bakterien unterschieden. Allerdings können nicht alle Bakterienarten durch diese Technik klassiert werden, so gibt es auch gramvariable und gramunbestimmte Arten.

KOLLEKTIVES GEDÄCHTNIS

Einzelne Bakterienzellen vergessen sehr schnell. Aber Bakteriengruppen können ein



kollektives Gedächtnis bilden, das ihnen helfen kann, besser mit Stress umzugehen. Das wies eine in der Zeitschrift «PNAS» veröffentlichte Studie der Eawag und der ETH Zürich 2016 erstmals experimentell nach.

Im Bild das «Modellbakterium» *Caulobacter crescentus*, dessen Gedächtnis die Forschenden untersuchten.

Foto: Wikipedia

Aus praktischen Gründen werden Bakterien bisweilen in Anlehnung an die früheren klassischen Systeme nach ihrer Form und ihrer Organisation unterteilt. Die drei Hauptformen der klassischen Bakterien sind stäbchenförmige Bazillen, rundliche Kokken und gebogene bis geschraubte Spirillen.

Grampositive und gramnegative Bakterien unterscheiden sich in ihrem Aufbau: Bei grampositiven Bakterien handelt es sich hauptsächlich um Kokken. Sie verfügen u.a. über eine dicke Zellwand. Dazu zählen beispielsweise: Staphylokokken, Streptokokken, Listerien, Clostridien, Mykobakterien, Nokardien.

Bei gramnegativen Bakterien handelt es sich hauptsächlich um Stäbchen. Sie haben eine dünne Zellwand. Dazu zählen beispielsweise: Pseudomonaden, Legionellen, Bordetellen, *Campylobacter*, *Helicobacter pylori*, Borrelien, Chlamydien, Nisserien, Enterobakterien (z.B. *E. coli* und Salmonellen).

DIE MIKROBIOTA (MIKROFLORA)

Mikroorganismen (Mikroben) sind mikroskopisch kleine Lebewesen, die als Einzelwesen mit bloßem Auge meist nicht erkennbar sind. Es handelt sich dabei überwiegend um Einzeller. Dazu zählen Bakterien (wie Milchsäurebakterien), viele Pilze (wie beispielsweise Backhefe) oder gewisse mikroskopisch kleine Algen.

Man unterscheidet Prokaryoten «ohne Zellkern» (Bakterien und Cyanobakterien mit einer Zellgröße von 1 bis

10 Mikrometern) und die Eukaryoten «mit Zellkern» (Pilze, Pflanzen- und Tierzellen mit einer Zellgrösse von 10 bis 100 Mikrometern).

Bis heute haben rund 5000 (genau 4500; Stand 2016) Prokaryotenarten (Bakterien und Archaeobakterien) einen wissenschaftlichen Namen erhalten. Jährlich werden rund 500 bis 800 Prokaryotenarten neu entdeckt und beschrieben. Lediglich etwa 200 Bakterienarten sind überhaupt pathogen. Dabei sind Cholera, Typhus und Gelbsucht typische «Wasserkrankheiten», die man heutzutage nur noch aus den Tropen kennt. Die Erreger kommen allerdings gelegentlich im Abwasser und vereinzelt auch in Oberflächengewässern vor.

Selbst in 1 Liter Meerwasser können mehr als 20'000 unterschiedliche Arten von Mikroorganismen leben. Ausserdem gibt es aber noch weit über 10'000'000'000 unbekannte Arten, wobei vielen Mikrobiologen fraglich erscheint, ob die herkömmliche Artendefinition auf Prokaryoten anwendbar ist.

Prokaryoten leben bis in 77 Kilometer Höhe in der Atmosphäre und bis zu 4 Kilometer tief im Erdboden. Dabei leben mehr als die Hälfte aller Prokaryoten im Bereich zwischen 10 und 100 Metern Tiefe im Boden.

Die meisten Mikroorganismen verursachen keine Krankheiten. Im Gegenteil – so ist beispielsweise die Darmflora unverzichtbar. Es werden Vitamine (Biotin, Folsäure und Vitamin K) produziert. Das Immunsystem wird gestärkt und die Ansiedlung und Ausbreitung von krankmachen-

WOHER KÖNNEN DIE KRANKHEITS- KEIME IM TRINK- WASSER STAMMEN?

Die Verunreinigung von Wasser durch krankmachende Keime erfolgt in den allermeisten Fällen über eine Fäkalkontamination. Daher dürfen Trinkwasser- und Abwassersysteme keine Verbindungen aufweisen. Anzeichen für eine Infektion durch stark verunreinigtes Trinkwasser sind Bauchkrämpfe, Durchfall oder Fieber.



Auch Bakterien in den Petrischalen können «duften»: Jeder Mensch trägt eine spezielle Zusammensetzung von Bakterien auf der Haut, die u.a. in Zusammenarbeit mit der Schweißabsonderung am Körpergeruch beteiligt sind. So entsteht ein typischer Geruch – und dieser kann dann auf den einen mehr und auf den anderen weniger anziehend wirken!

den Bakterien und Pilzen verhindert. Die Bakterien wirken positiv durch ihre große Anzahl: Etwa 2 Kilogramm des menschlichen Gewichtes sind auf Mikroorganismen zurückzuführen. Selbst in der Lunge gesunder Menschen leben über 100 Arten von Bakterien.

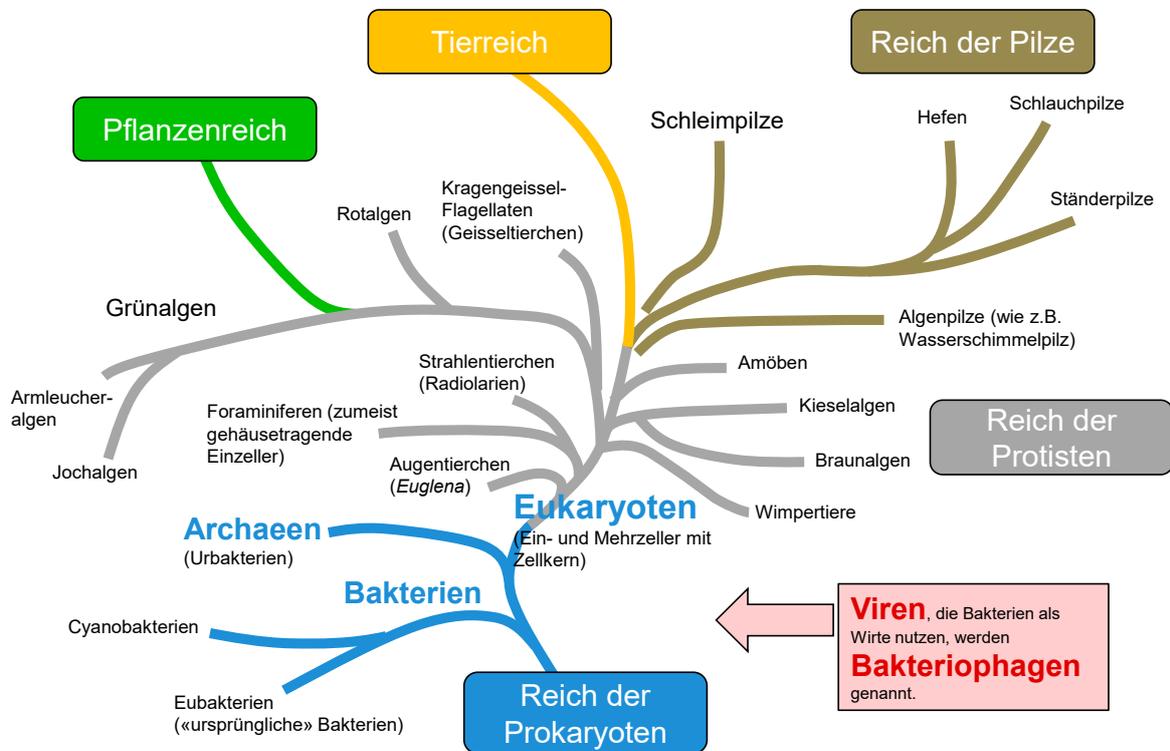
Der Mikrobenzirkus

Obschon ihnen die entsprechenden Organe fehlen, können manche Bakterien z.B. dank ihren chemischen Sinnen so etwas wie sehen, tasten und riechen.



Die Hautflora trägt wesentlich dazu bei, die Haut beziehungsweise den Organismus vor Krankheitserregern zu schützen. Insgesamt leben rund 10¹⁰ bis 10¹¹ Bakterien auf unserer Hautoberfläche.

Stammbaum des Lebens



Die Einteilung der Lebewesen in Systematiken ist kontinuierlicher Gegenstand der Forschung. So existieren neben- und nacheinander verschiedene systematische Klassifikationen.

WISSENSWERTES ZU DEN KEIMEN

Wissenschaft:
**DEN CHOLERA-
BAKTERIEN
AUF DER SPUR**

Dübendorf, 23. August 2007 – Cholera Bakterien können nicht nur im menschlichen Darm, sondern auch im Süsswasser und in Konkurrenz mit den dort natürlich vorkommenden Bakterien bestens überleben und sich sogar vermehren. Bisher ging man davon aus, dass der Krankheitserreger in der Umwelt nur im Brackwasser wachsen kann. Die Resultate, die ein Eawag-Team mit Greifensee Wasser erarbeitet hat, erlauben nun, das Cholerarisiko realistischer abzuschätzen.

Keime tummeln sich überall: im Haushalt, am Arbeitsplatz, in öffentlichen Gebäuden und Verkehrsmitteln. Selbst unbelastete Luft enthält pro Kubikmeter etwa 100 bis 1000 Bakterien und Pilze.

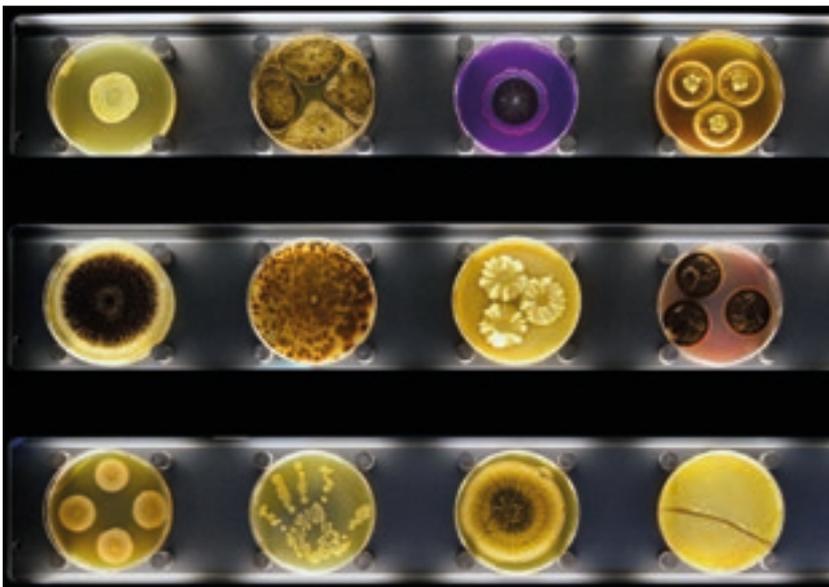
BAKTERIEN SIND ALLGEGENWÄRTIG

Dort, wo man es am wenigsten erwarten würde – auf dem stillen Örtchen –, ist es hygienischer als anderswo: Gemäss einer Studie der Universität Arizona befinden sich im Kühlschrank mehr als tausendmal so viele Bakterien wie auf dem WC. Der Ort mit der grössten Bakteriendichte ist aber die Computertastatur. Überall, wo Leute denselben Computer benutzen, an Schulen oder in Internetcafés, kann es über die Tastatur theoretisch zur Übertragung von Krankheiten kommen.

In der Gnadenkapelle zu Altötting (D) war der Befund am ekligsten. Bei der Untersuchung beim Institut für Hygiene der LMU München wurden 100 Millionen Keime in nur einem Milliliter Weihwasser gefunden. Ausserdem fand man im Weihwasser Fäden, Sporen, Kügelchen und koagulasepositive Staphylokokken (Verursacher von Abszessen, Furunkeln und kurzen Durchfällen).

Doch Keime haben für uns nicht zwangsläufig gesundheitliche Probleme zur Folge. Der menschliche Körper schlägt sich tagtäglich mit unzähligen Viren, Bakterien,

Parasiten und Pilzen herum, ohne krank zu werden – und trainiert so die Abwehrkräfte. Problematisch wird es erst, wenn ein gefährlicher Erreger in einer kritischen Menge auftaucht.



Mikrobenzoo in Amsterdam. Ein Ausschnitt der Wand mit 150 Petrischalen mit verschiedenen Mikroorganismen.
Internet-Bildquelle: Micropia; Foto: Maarten van der Wal

Wer die wichtigsten Regeln zur Hygiene befolgt, kann das Risiko einer Infektion bereits deutlich senken. Allein mit häufigem gründlichem Händewaschen lässt sich die Übertragungskette der Krankheitserreger durchbrechen.

ABWASSER-QUALITÄT MESSEN

A. fischeri findet bei der Untersuchung der Wasserqualität Anwendung. Die Bakterien reagieren sehr empfindlich auf Verunreinigungen und Giftstoffe. Nach EN ISO 11348 werden Abwasserproben mit Salz (NaCl) versetzt, anschließend mit einer geringen Konzentration Leuchtakterien beimpft und dann deren Leuchtintensität gemessen. Nach 30 Minuten Inkubation bei 15 °C wird die Messung der Leuchtintensität wiederholt.

Die Differenz der Leuchtstärke gibt Aufschluss über die Wasserqualität, da die Leuchtakterien ihre Vermehrungsrate und Leuchtstärke der Wasserqualität anpassen. Der Rückgang der Lichtintensität verhält sich proportional zur Menge an Verunreinigungen.

Bakterienleistung:

MYSTERIUM IM AMERIKANISCHEN BÜRGERKRIEG

Die Schlacht von Shiloh 1862 (Tennessee) war schrecklich; man zählte 3000 tote Soldaten und rund 15'000 Verwundete. Letztere harrten tagelang im kalten, feuchten Aprilwetter aus. Wundbrand war eine häufige Todesursache. Bei einigen Verletzten zeigten die Wunden ein bläuliches Leuchten. Und es waren oft gerade diese Männer, die überlebten, daher erhielt die wundersame Erscheinung den Namen «Angel's Glow». Jahrzehnte später klärte sich das Mysterium auf: Wahrscheinlich hatte es sich um einen Befall mit leuchtenden Bakterien (*Photobacterium* sp.) gehandelt. Die Bakterien kommen im Speichel von Nematoden (Würmern) vor. Die Nematoden übertragen die Bakterien auf Insekten, und die Bakterien wiederum scheiden Toxine aus, die Insekten töten können. Sie entfalteten demnach – dank tiefen Aussentemperaturen – eine antibakterielle Wirkung auf den Wunden, obschon die menschliche Körpertemperatur unter normalen Bedingungen zu hoch für eine Vermehrung dieser Bakterien ist.

ALIIVIBRIO FISCHERI

Aliivibrio fischeri wurde 1889 von Martinus Willem Beijerinck entdeckt und ist ein gramnegatives, fakultativ anaerobes Bakterium. Es hat zur Fortbewegung sogenannte Flagellen. Zudem ist es biolumineszent – es kann leuchten.

Diese Bakterien kommen in geringen Konzentrationen in allen Weltmeeren vor, besonders verbreitet in Symbiosen mit anderen Meereslebewesen wie z.B. Heringen oder Kalmaren.

Grössenvergleich

Viren: 0,02 bis 0,04 µm

Bakterien: 0,5 bis 5 µm

Hefepilze: 5 bis 10 µm

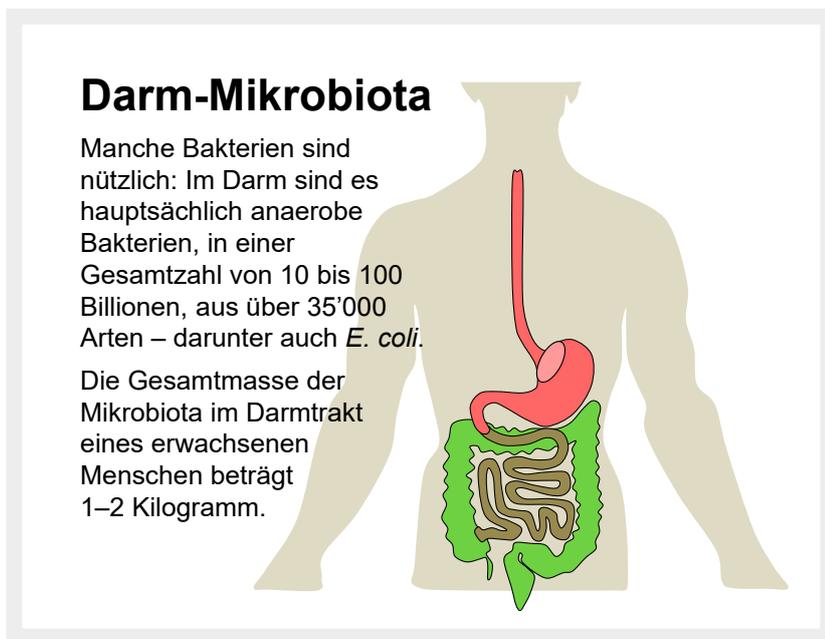
Schimmelpilze*: 1000 bis 2000 µm

* Filamentöse Pilze: Schimmel oder auch Nahrungsmittelveredler für Schimmelkäse und Salami, Bioquelle für Antibiotika (Penicillin).

Alle leuchtenden Bakterien und möglicherweise auch einige Pilze haben ein biochemisch ähnliches Leuchtsystem. Auch bei der Lumineszenz von Bakterien handelt es sich um eine Oxidationsreaktion. Der Wellenlängenpeak des ausgesendeten Lichtes liegt bei 490 nm. Das entspricht dem blau-grünen Bereich des Lichtspektrums.

DIE KRANKHEITSERREGER IM ALLGEMEINEN

Nasskeime (auch als Feuchtkeime, Wasserkeime, Pfützenkeime oder Spitalkeime bezeichnet) werden Bakterien genannt, die sich auch mit geringem Nährstoffangebot vorwiegend in feuchten Umgebungen vermehren. Wie bei anderen Bakteriengruppen auch können einige Arten Resistenzen gegen Desinfektionsmittel entwickeln oder erwerben. Dies wird dann problematisch, wenn die Art gleichzeitig eine Pathogenität gegen Menschen aufweist.



Von den Pathogenen sind u.a. *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus sp.*, *Klebsiella sp.*, *Acinetobacter sp.* und *Stenotrophomonas maltophilia* am bekanntesten. Sie lassen sich z.B. in Waschbeckenabflüssen oder selbst in Shampoos finden. Der Erreger der Legionellose, *Legionella pneumophila*, vermehrt sich in Warmwasserleitungen, insbesondere bei Temperaturen von 20–50 °C). Die von diesen Erregern verursachten Spitalinfektionen nennt man auch nosokomiale Infektionen.

Jeder Mensch hat eine ganz eigene Bakterienzusammensetzung im Darm, sozusagen seinen eigenen «Zoo». Der hat entscheidenden Einfluss darauf, was man verträgt – und in welchen Mengen.



BAKTERIEN IN LEBENSMITTELN

Bei der Herstellung vieler Lebensmittel sind Bakterien beteiligt, z.B. die Laktobazillen bei der Produktion von Joghurt. Bakterien können aber auch als Lebensmittelverderber auftreten.

Sichtbar wird dies bei den Fäulnisregnern. Krankheitserreger wie Salmonellen oder Campylobacter in Nahrungsmitteln können zu einer «Lebensmittelvergiftung» führen.

Im Labor können sowohl Art wie auch Anzahl der Bakterien in einem Lebensmittel ermittelt werden. Beispielsweise werden bei der routinemässigen Trink-

wasseranalyse die aeroben mesophilen Keime, die Anzahl Escherichia coli und die Anzahl Enterokokken bestimmt. Escherichia coli und Enterokokken gehören zu den Darmbakterien und deuten auf eine fäkale Verunreinigung des Wassers hin.

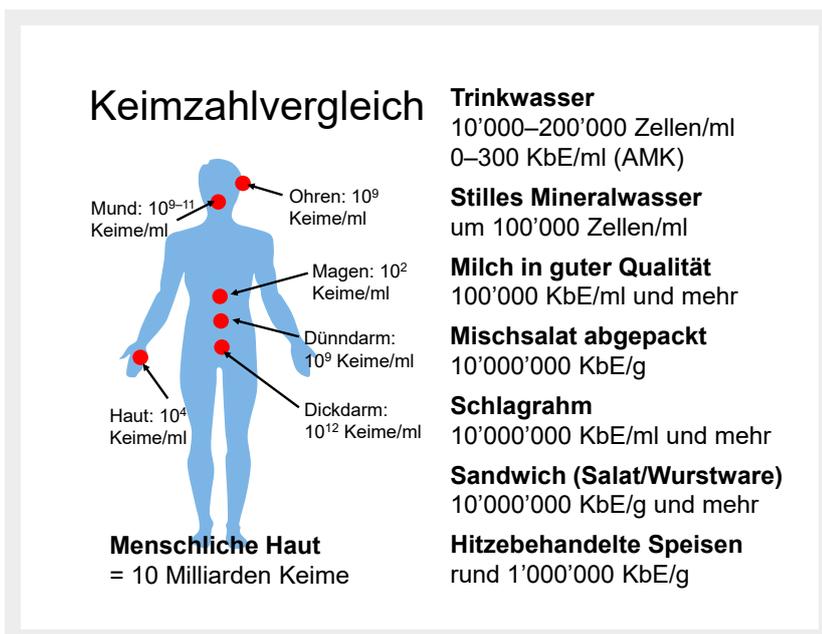


Tabelle der Krankheitserreger beziehungsweise der Erkrankungen, die auf fäkal-oralem Weg (Mensch und Tier) mit dem Wasser übertragen werden können:

Bakterien	Viren	Protozoen (Parasiten)
Cholera	Poliomyelitis (Kinder-	Amöbenruhr
Typhus	lähmung)	Giardiasis (Lamblienruhr)
Paratyphus	Hepatitis A und E (Gelbsucht)	Cryptosporidiose
Salmonellose	Enteroviren	Toxoplasmose
Shigellenruhr	Rotaviren	
Yersinien	Adenoviren	
Campylobacter	Norwalk-Viren	
<i>E. coli</i> (EHEC)	Coxsackie-Viren	
Leptospirose (Morbus Weil)	ECHO-Viren	
Tularämie		

Bei den Erregern, die in der Regel nicht zu schweren Erkrankungen führen (z.B. Durchfall), kann es bei gesundheitlich vorgeschädigten Personen trotzdem zu schweren Komplikationen kommen. Daher gilt die Nulltoleranz. Es dürfen keine Krankheitserreger in 100 ml Trinkwasser nachweisbar sein.

KEIMFREI

Wie lange und bei welcher Temperatur müssen Fleisch, Eier und Geflügel durchgebraten beziehungsweise genügend heiss gekocht werden, um allfällige Keime abzutöten?
Antwort: 10 Minuten bei 75 °C. Beim Trinkwasser reicht einmaliges Aufkochen, um es keimfrei zu machen. Siehe Merkblatt Abkochvorschrift des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches SVGW.

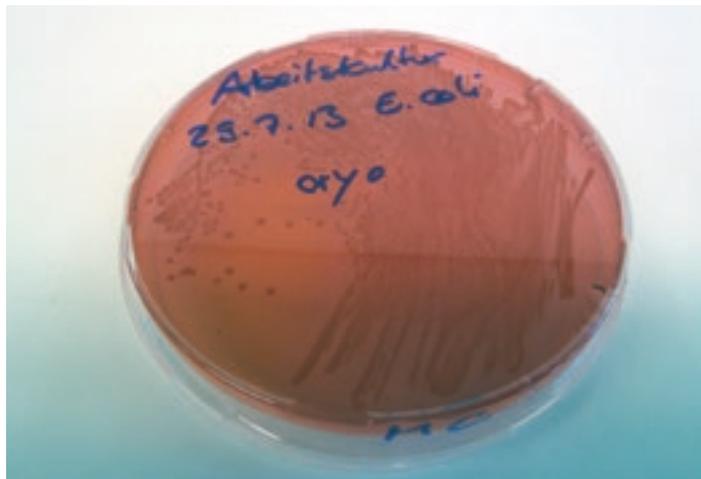
WO ENTSTEHEN PROBLEME?

Jährlich sterben 800'000 Menschen an «Wasserkrankheiten» – vorwiegend in Ländern mit sehr schlechter Versorgungslage.

Was gemeinhin Lebensmittelverderb genannt wird, bezeichnet das mikrobielle Wachstum zur Verwertung organischen Materials, welches im ökologischen Kreislauf aufbereitet wird (z.B. Kompostierung). Letztendlich ist dies eine wichtige Aufgabe der Bakterien und Pilze.

ANWENDUNG IN DER PRAXIS

In der Gesamtkeimzahl oder Keimzahl sind neben den unerwünschten krankheitserregenden Keimen vor allem unproblematische oder gar erwünschte Mikroorganismen

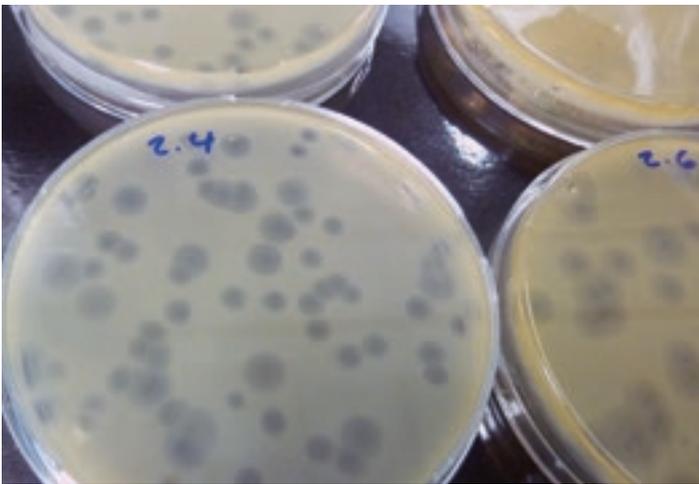


Plattenfoto mit E. coli.

en enthalten, z.B. Milchsäurebakterien in fermentierten Lebensmitteln wie Joghurt oder Käse. Bei diesen Lebensmitteln kann deshalb mit Hilfe der aeroben mesophilen Keime (Kontaminationskeime) der Hygienestatus bestimmt werden.

Nicht die Keimzahl ist massgebend, sondern die Summe der Kontrollen:

Eine hohe Gesamtkeimzahl weist grundsätzlich auf eine schlechte mikrobielle Qualität eines nicht fermentierten Lebensmittels hin. Für eine genaue gesundheitsrelevante Aussage sind aber weitere spezifische Untersuchungen notwendig.



Platten mit positiven Befunden an Coliphagen.

Fotos: Archiv WVZ

Der Umkehrschluss allerdings ist nicht möglich, eine tiefe Gesamtkeimzahl bedeutet nicht unbedingt, dass ein Lebensmittel einwandfrei ist; um dies festzulegen, müssen weitere Indikatorkeime bestimmt werden.

FERMENTIERUNG

Bei der Fermentierung entstehen Stoffe, die zum Teil zum Absterben oder zumindest zur Stabilisierung der mikrobiellen Flora führen (z.B. Sauerrahm).

ZUR GESCHICHTE

1993 erkrankten rund 400'000 Menschen in Milwaukee (USA) an einem parasitären Cryptosporidien-Ausbruch im Trinkwasser, nachdem Abwasser ins Trinkwasser gelangt war. U.a. deswegen erhielt die regelmäßige Kontrolle des Trinkwassers weltweit eine noch grössere Bedeutung.

ANTIBIOTIKARESISTENZ IM TRINKWASSER

UNTERSCHIEDLICHE KEIMZAHLEN

Nicht nur Fleisch ist mit gefährlichen Keimen belastet. Ein «Kassensturz»-Test zeigte 2015 erstmals: Importiertes Gemüse und Gewürzpflanzen aus Asien können massiv mit antibiotikaresistenten Keimen verunreinigt sein. Ein Drittel der Proben war kontaminiert.

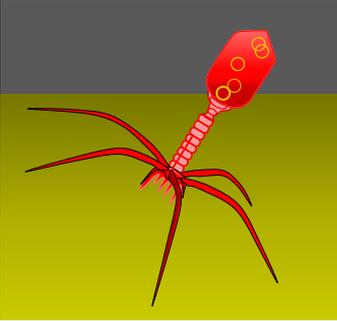
Antibiotikaresistente Bakterien gelangen durch hochdosierten unsachgemässen Gebrauch von Antibiotika (z.B. bei der Nutztierzucht) ins Abwasser. In einem gut funktionierenden Multibarrierensystem, wie es bei den Seewasserwerken vorhanden ist, werden alle Bakteriengruppen stark reduziert.

WENIG ANTIBIOTIKARESISTENZEN IM TRINKWASSER

Das Schweizer Trinkwasser ist im Vergleich mit anderen Lebensmitteln wenig mit antibiotikaresistenten Bakterien oder Resistenzgenen belastet. Das zeigt eine Übersichtsstudie, die Eawag-Forschende im Auftrag des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) und von Trinkwasserunternehmen in acht Trinkwassersystemen durchgeführt haben. Während die Wissenschaftler in den Rohwasserproben gegen alle getesteten Antibiotika resistente Bakterien nachweisen konnten, waren diese im aufbereiteten Trinkwasser deutlich reduziert oder nicht mehr detektierbar. Auch die analysierten Resistenzgene blieben oft unterhalb der Nachweisgrenze. Obwohl die Forschenden nicht gänzlich ausschliessen können, dass sich im Schweizer Trinkwasser Resistenzen entwickeln und weiter verbreiten, erachten sie die Übertragungsraten von Resistenzgenen auf pathogene oder menschliche Darmbakterien als gering.

Quelle: Bürgmann H. und Imminger S.: Antibiotikaresistenzen im Trinkwasser? Aqua & Gas Nr. 10, 2017

AUFS TÖTEN VON BAKTERIEN PROGRAMMIERT

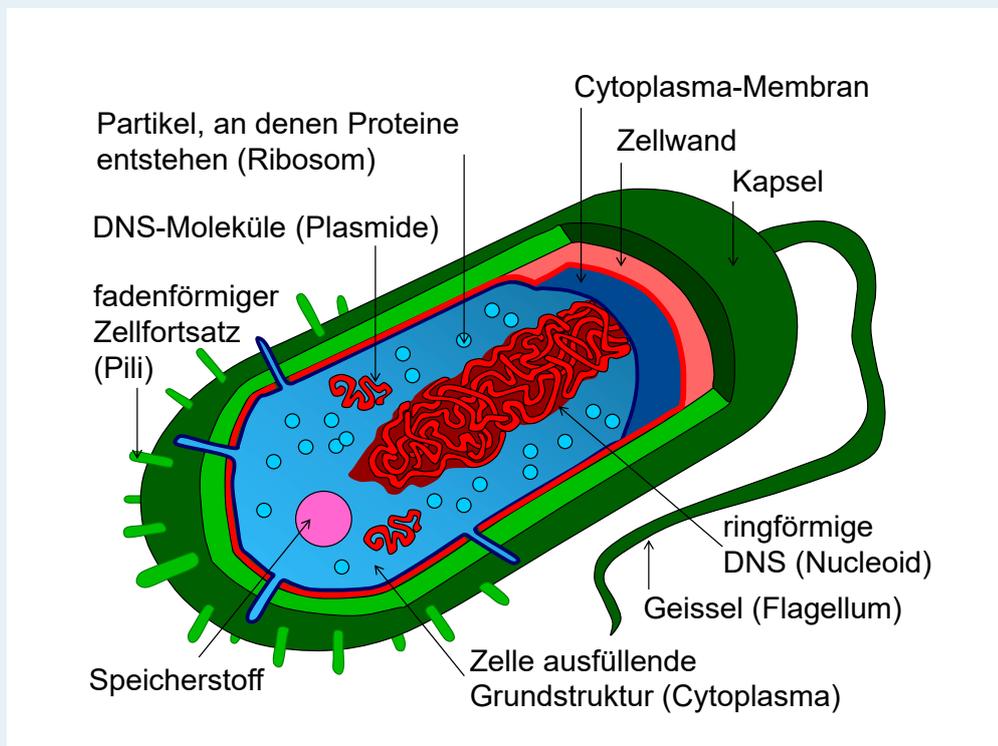


Ansicht einer Phage.

Bakteriophagen gelten als Hoffnungsträger in der Bekämpfung multiresistenter Erreger. Noch streiten Forscher, ob und wie die Therapien zum Einsatz kommen sollen.

Phagen (siehe Bild) haben die Gestalt winziger Marsroboter und vernichten Bakterien mit einer besonders perfiden Methode. Sie heften sich an ihre Oberflächen, injizieren DNS und programmieren das Bakterien-Erbmaterial zu einem Bauplan für neue Phagen um. So entstehen ganze Hundertschaften, die die Bakterienhülle mit Hilfe von zerstörerischen Eiweißstoffen regelrecht zum Platzen bringen, worauf sie über weitere Bakterien herfallen können.

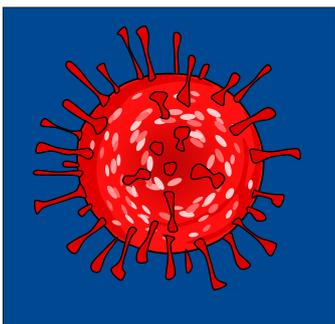
BAUPLAN EINES BAKTERIUMS



VIREN

Trinkwasser ist nicht keimfrei. Auch nach sachgerechter Aufbereitung enthält es harmlose Wasserbewohner beziehungsweise Bakterien und Viren, die in den nach der Aufbereitung verbleibenden Konzentrationen keine gesundheitliche Bedrohung darstellen.

Generell gilt: Es ist davon auszugehen, dass Oberflächenwässer durch die eingeleiteten Abwässer mit Viren belastet sein können. Die Sicherheit der Verbraucher ist jedoch über die Leistungsfähigkeit der Aufbereitungsanlagen gewährleistet.



Künstlerische Darstellung eines Norovirus-Partikels.

Aus Sicherheitsgründen zählt das Abkochen von Trinkwasser für Säuglinge bis 6 Monate, aber auch für Kinder bis 2 Jahre aufgrund des im Aufbau befindlichen Immunsystems und der damit einhergehenden Empfindlichkeit zu den klassischen Hygienemassnahmen. Nach Aussagen von Kinderärztinnen und -ärzten ist dies in der Schweiz nicht nötig.

Anmerkung: Eine Erkrankung mit Viren ist dagegen in den Wintermonaten bei trockenen Räumen über die Luft am ehesten möglich.

Alle in der Fachliteratur beschriebenen Epidemien durch Trinkwasser (ausgelöst durch verschiedene Viren, Bakterien und Parasiten) sind auf massive fäkale Verunreinigung des Trinkwassers aufgrund technischen oder menschlichen Versagens zurückzuführen.

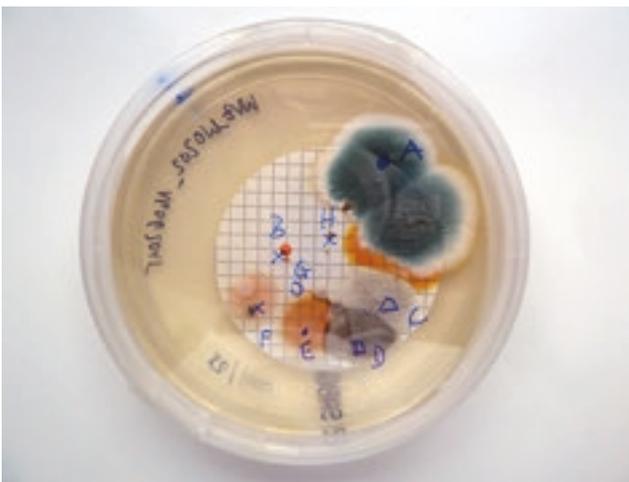
BEISPIEL NOROVIREN

Das Norovirus ist widerstandsfähig, hochinfektiös und zwingt seine Opfer, enorme Mengen Viruspartikel vehement in die Umwelt zu versprühen. Wenn es erst einmal da ist, breitet es sich rasant aus, besonders dort, wo viele Menschen auf engstem Raum wohnen. In Krankenhäusern und Pflegeheimen genauso wie in Kasernen und auf Kreuzfahrtschiffen. Experten schätzen, dass vor allem in den Entwicklungsländern jährlich 200'000 Kinder unter 5 Jahren daran sterben. Bei entsprechender medizinischer Versorgung geht in unseren Breiten von Viren eine weit geringere Gefahr aus. Noroviren können einige Tage in der Umwelt überleben und bleiben in dieser Zeit ansteckend. Der Kontakt mit kontaminierter Wäsche (Bettwäsche, verschmutzte Kleider usw.) von Erkrankten kann für eine Ansteckung genügen. Eine sachgemässe Behandlung der verschmutzten Wäsche ist deshalb wichtig.

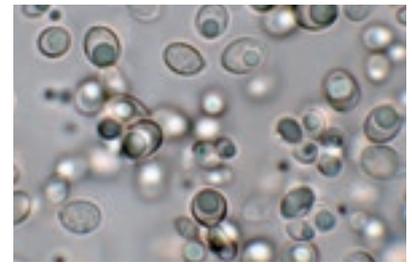
PILZE IM WASSER

«Wasserpilze» finden sich in natürlichen Gewässern (Bächen, Flüssen, Teichen und Seen und in den Weltmeeren). Sie ernähren sich vom dort vorhandenen organischen Material und unterstützen somit das Selbstreinigungspotenzial – auch beim Binden von Schwermetallen. Manche Arten können bei starker Vermehrung z.B. Fische und Krebse schädigen.

Es gibt wenige Pilze, die zeitweilig in Wassernähe untergetaucht zu finden sind, und wohl unzählige Arten von einzelligen oder körperbildenden Pilzen im Wasser. Von den einzelligen Pilzen sind die Wein- und Bierhefen die bekanntesten Nutzpilze. «Wasserpilze» überdauern im Wasser und sind neben Bakterien typische Bestandteile in komplexen Lebensgemeinschaften, von denen man annimmt, dass sie auf vielfältige Weise an den Stoffumsetzungen in natürlichen Gewässern beteiligt sind. Dazu zählt auch ihr Vorhandensein in den Biofilmen. Viele dieser Pilzgruppen kommen als Sporen auch in der Luft vor.



Pilze aus dem Zürichsee aus 30 Metern Tiefe: Pilz-Rohplatte auf Sabouraud-Agar (mit Gentamycin- und Chloramphenicol-Zusatz [Antibiotika]), A: *Penicillium expansum*, D: *Cladosporium spec.*, E/F: *Aureobasidium pullulans*; die übrigen Pilze waren nicht bestimmbar.



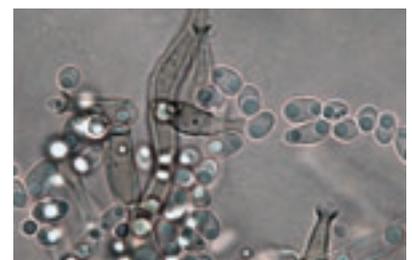
Exophiala castellanii, Hefeform (z.B. am Wasserhahn).



Ausgeschwemmte Konidie (eine der ungeschlechtlichen Sporenformen) von *Dictyosporium spec.* aus einem Grundwasservorkommen im Zürcher Unterland (Pilz wächst z.B. auf Holz und Blättern).



Konidie von *Clavatospora tentacula* (syn. *Heliscus tentaculus*), einem «echten» Wasserpilz (Limmat).



Cadophora spec., Phialiden mit Colaretten («Kragenbildung»), Konidien.

IMPRESSUM

Herausgeberin	Wasserversorgung Zürich
E-Paper & Auflage	10 Exemplare Digitaldruck
Text	Wasserversorgung Zürich
Fotos	Maurice K. Grünig, Romano De Marchi, Archiv der Wasserversorgung Zürich,
Titelfoto	Maurice K. Grünig
Grafiken	Hans Gonella
Redaktion	Hans Gonella
Lektorat	Lektorama, Zürich
Gestaltung	Muota Design, Angela Zimmermann, www.muotadesign.ch
Publikation E-Papier	GeoPrint-Shop, Stadt Zürich, Geomatik + Vermessung
Digitaldruck	GeoPrint-Shop, 100 % Recyclingpapier

Stadt Zürich Wasserversorgung

Hardhof 9, Postfach, 8021 Zürich

Telefon 044 415 21 11, Fax 044 415 25 57

E-Mail wvz-info@zuerich.ch

www.stadt-zuerich.ch/wasserversorgung



Stadt Zürich
Wasserversorgung

natürlich **züri**
wasser