

Bedeutung von Wasser und gramnegativen Keimen in der Hygiene



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	S. 3
1. Nosokomiale Infektionen: Statistik und Verbreitung	S. 4
2. Nosokomiale Infektionen: Mortalität und Resistenzen	S. 5
3. Gramnegative Bakterien und Resistenzen	S. 6
4. Überschreitung von Grenzwerten	S. 7
5. Wasseraufbereitung und Verteilung	S. 8-9
6. Kontaminationspfade	S. 10
7. Handhygiene	S. 11
8. Biofilm	S. 12
9. Evidenz von endständigen Sterilfiltern zur Infektionsreduktion	S. 13-14
10. Anforderungen an endständige Sterilfilter im medizinischen Bereich	S. 15
11. Aktuelle Vorgaben	S. 16
12. Literatur	S. 17-19

Herausgeber und Verfasser:

i3 Membrane GmbH
Theodorstr. 41P
D-22761 Hamburg
info@i3membrane.de
www.i3membrane.de

Alle Rechte, auch die des Nachdrucks von
Auszügen, vorbehalten.

Mit freundlicher Unterstützung von
Herrn Dr. med. Johannes Tatzel
Institut für Krankenhaushygiene
Kliniken Landkreis Heidenheim gGmbH

Vorwort

Liebes Fachpublikum,

Wasser ist ein wichtiger Lebensraum für Mikroorganismen. Für uns Menschen ist Wasser lebensnotwendig, wohltuend, erfrischend und hilft im Rahmen von traditionellen therapeutischen Verfahren der klassischen Naturheilkunde, unsere Gesundheit zu erhalten. Im Kontakt mit Wasser nehmen wir Menschen ständig viele dieser kleinsten Lebensformen durch Trinken, durch Einatmen der Aerosole, durch Verschlucken oder über Kontakt von Wasser mit verletzter Haut oder Schleimhäuten in uns auf.

Die meisten der bei uns im Wasser vorkommenden Erreger lösen bei gesunden Personen keine Erkrankung aus. Anders verhält sich dies jedoch, wenn diese Mikroorganismen auf Menschen treffen, deren Immun- oder Barriersystem geschwächt ist. Hierunter können z. B. die Kleinsten unserer Gesellschaft sowie Menschen in höherem Lebensalter fallen, aber auch Personen, die gesundheitlich beeinträchtigt sind. Zu der letztgenannten Gruppe zählen unter anderem Menschen mit chronischen Wunden, mit hämatologischen Erkrankungen, mit Krankheiten der Lungen, mit großflächigen Erkrankungen der Haut bzw. Schleimhäuten, mit bestimmten Stoffwechselerkrankungen sowie Patienten, die einen oder mehrere Katheter (Harnweg- oder Blasenkatheter, Gefäßkatheter, Ernährungssonde etc.) benötigen.

Diese Populationen sollten entsprechend ihres Risikos, Infektionen durch im Wasser vorkommende Erreger, sogenannte Wasser-assoziierte Infektionen zu erleiden, einen besonderen Schutz erfahren. Denn im Gegensatz zu endogenen Infektionen, bei denen der Infektionserreger vom Mikrobiom des Patienten selbst stammt und deren nosokomiales Auftreten

in einem Teil der Fälle hygienisch nicht verhindert werden kann, sind Wasser-assoziierte nosokomiale Infektionen in aller Regel mit entsprechenden Maßnahmen vermeidbar.

Aus diesem Grund sind insbesondere in Einrichtungen des Gesundheitswesens, in denen sich für Wasser-assoziierte Erkrankungen anfällige Personengruppen häufen, intensive Kontrollen der Trinkwasserqualität zum Schutz der Patienten wichtig.

Die vorliegende Broschüre gewährt einen Einblick in die komplexe Welt der Wasserhygiene von der Entstehung von Biofilmen in Wassersystemen bis hin zur Epidemiologie und Verbreitung von Wasser-assoziierten Erkrankungen. Da auch heute noch viele nosokomiale Infektionen durch Erreger verursacht werden, deren Hauptreservoir wasserführende Systeme sind, muss ein wichtiges Ziel jedes Infektions- und Hygienemanagements sein, die Gefahrenstellen und Verbreitungspotentiale zu erkennen und durch wirksame Strategien eine konsequente Prävention Wasser-assoziiierter Infektionen zum Schutz der Patienten zu verfolgen.

Ihr



Dr. med. Johannes Tatzel

Institut für Krankenhaushygiene
Kliniken Landkreis Heidenheim gGmbH

Nosokomiale Infektionen: Statistik und Verbreitung

Ein Blick in die Statistik

In Deutschland lag die Gesamtprävalenz nosokomialer Infektionen im Jahr 2016 bei 4,6 %. Die Prävalenz der nosokomialen Infektionen, die während des aktuellen Krankenhausaufenthaltes erworben wurden, lag bei 3,3 % aller behandelten Patienten. Somit ist ein aktueller Krankenhausaufenthalt die Infektionsquelle von 72,6 % aller nosokomialen Infektionen. Besonders für große Krankenhäuser, spezifisch Universitätskliniken, wurde eine hohe Infektionsrate von 6,6 % nachgewiesen. **Die höchste Prävalenzrate (17,1 %) zeigte sich auf Intensivstationen, während die Prävalenz auf Nicht-Intensivstationen bei 3,84 % lag (2).**

Im Jahr 2011 lag die Prävalenz nosokomialer Infektionen bei 5,1 % und im Jahr 1994 bei 3,5 %. Somit steigt die Prävalenz nosokomialer Infektionen in Deutschland an (1). Nach Angaben des Robert Koch-Instituts, erkrankten jährlich 400.000 bis 600.000 Menschen an nosokomialen Infektionen (12). Laut Gastmeier et al. (2016) führen die Erreger *S. aureus*, *E. faecium*, *E.coli*, *K.pneumoniae* und *P. aeruginosa* zusammen zu 231.000 nosokomialen Infektionen pro Jahr. **Von diesen 231.000 Infektionen werden 29.000 durch multiresistente Erreger ausgelöst (13).**

In einem Bericht der World Health Organization (WHO) (2002) wurde angegeben, dass die Prävalenz nosokomialer Infektionen in vier Regionen der WHO (Europa, ostmediterranean Raum, Südostasien und westlicher Pazifik) bei 8,7 % aller Krankenhauspatienten lag (4). Nach Angaben der ECDC liegt die Punkt-Prävalenz nosokomialer Infektionen auf Intensivstationen bei 19,5 % und bei 52 % auf allen anderen Stationen kombiniert (5).

Im Jahr 1994 lag die Prävalenz von Patient mit Antibiotikaaanwendung in Deutschland noch bei 17,7 % (1).

2016 wurden 25,9 % aller Patienten mit Antibiotika behandelt, wobei bei nur 73 % dieser Patienten eine Indikation für die Behandlung mit Antibiotika nachgewiesen werden konnte (2). **Somit ist auch die Zahl der Antibiotikabehandlungen in Deutschland signifikant gestiegen.**

Gramnegative Keime

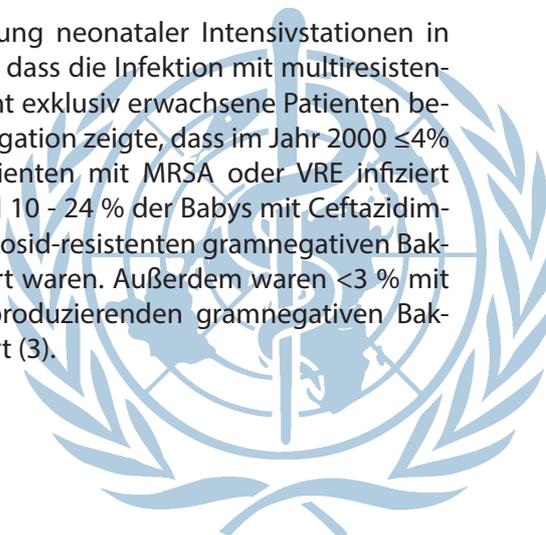
Im Abschlussbericht des NRZ zum Thema nosokomialer Infektionen und Antibiotikaaanwendungen (2017) heißt es: **Bei 42,3 % aller nachgewiesenen Erreger nosokomialer Infektionen handelt es sich um gramnegative Bakterien.** Während der Anteil grampositiver Erreger im Vergleich zu 2011 signifikant gesunken ist, bleibt der Anteil gramnegativer Bakterien im Jahr 2016 unverändert. Besonders häufige gramnegativer Erreger sind *Escherichia coli* (16,6 %), *Pseudomonas aeruginosa* (5,8 %), *Klebsiella pneumoniae* (4,5 %), *Proteus mirabilis* (2,8 %) und *Enterobacter cloacea* (2,6 %) (2).

Drei dieser Erreger wurden im Bericht "Surveillance of antimicrobial resistance in Europe 2016" der ECDC (2017) besprochen. **Die Untersuchung zeigte, dass 58,6 % der E.-coli-Isolate mindestens gegen eine der Leitsubstanzen resistent waren. 4,8 % waren gegen vier Leitsubstanzen resistent und <0,1 % waren gegen fünf Leitsubstanzen resistent.**

34,5 % der *Klebsiella pneumoniae*-Isolate zeigten eine Resistenz gegen mindestens eine der Leitsubstanzen und 4,4 % waren gegen vier Leitsubstanzen resistent.

Von den *Pseudomonas-aeruginosa*-Isolaten wiesen 33,9 % eine Resistenz gegen mindestens eine Leitsubstanz auf. 4,3 % der Isolate waren resistent gegen vier Leitsubstanzen und 4,4 % gegen fünf Leitsubstanzen. In den USA wurde dokumentiert, dass zwischen den Jahren 1999 bis 2003, der Anteil von Fluorchinolone-resistenten *Pseudomonas-aeruginosa*-Bakterien auf Intensivstationen von 23 % auf 29,5 % stieg (3).

Eine Untersuchung neonataler Intensivstationen in den USA zeigte, dass die Infektion mit multiresistenten Keimen nicht exklusiv erwachsene Patienten betrifft. Die Investigation zeigte, dass im Jahr 2000 $\leq 4\%$ der jungen Patienten mit MRSA oder VRE infiziert waren, während 10 - 24 % der Babys mit Ceftazidim- oder Aminoglykosid-resistenten gramnegativen Bakterien kolonisiert waren. Außerdem waren $< 3\%$ mit β -Lactamasen-produzierenden gramnegativen Bakterien kolonisiert (3).



Nosokomiale Infektionen: Mortalität und Resistenzen

Mortalität

In Deutschland sterben jährlich ungefähr 10.000 bis 15.000 Patient infolge einer nosokomialen Infektion (12), wovon 1.000-4.000 Todesfälle auf multiresistente Erreger zurückzuführen sind. Europaweit kommt es Schätzungen zufolge zu ungefähr 91.000 Todesfällen (14). Nach Angaben von Gastmeier et al. (2016) sterben europaweit 37.000 Menschen an nosokomialen Infektionen; 25.000 Todesfälle werden von multiresistenten Erregern ausgelöst. Jedoch wird von den Autoren darauf verwiesen, dass ungefähr 60 % der Infektionserkrankten schwere Grundkrankheiten aufwiesen, die auch ohne die zusätzliche Infektion zu einem baldigen Tod geführt hätten. Nach Ausschluss dieser Fälle läge die Anzahl der Todesfälle infolge nosokomialer Infektionen bei weniger als 6.000 Menschen in Deutschland (13).

Die CDC (Centers for Disease Control and Prevention) schätzen auf Datenbasis aus dem Jahre 2008, dass nosokomiale Infektionen in den USA für 1,7 Millionen Infektionen und 99.000 Tote verantwortlich sind. Davon werden 1.400 Tote allein dem gramnegativen Erreger *Pseudomonas aeruginosa* zugeschrieben (6). Aktuelleren Zahlen zufolge, kommt es in den USA zu 648.000 Erkrankungen durch nosokomiale Infektionen, wovon 23.000 infolge multiresistenter Erreger zum Tod führen (13). Patienten mit einem signifikant geschwächten Immunsystem, wie zum Beispiel Patienten die auf Intensiv-, Transplant- oder Onkologiestationen liegen, sind besonders anfällig für nosokomiale Infektionen (7).

Eine Studie von Benin, Beson und Besser (2002) zeigt, dass die Mortalität nosokomialer Legionärskrankheiten ungefähr 40 % höher ist, als die Mortalität von Patienten, die sich außerhalb des Krankenhauses mit der Krankheit infiziert haben.

Einstufung der Gefahr

Die WHO (2017) stuft antibiotikaresistente Bakterien als eine signifikante Gefahr für die öffentliche Gesundheit ein. Die drei Bakterien (*Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacteriaceae*) die auf der Global Priority List of Antibiotic-Resistant Bacteria in der Klasse, **Priority 1: Kritisch sind gram-negative Bakterien.**

Im Zuge dessen empfiehlt die WHO Strategien zu entwickeln, die sowohl die Entwicklungen neuer, spezifischer Antibiotika gegen multiresistente, gram-negative Bakterien in Angriff nehmen als auch gleichzeitig die Gefahr der Infektion und Verbreitung der Erreger eindämmen. Diese eindämmenden Schritte beinhalten vermehrte Impfungen und verbesserte Krankenhaushygiene sowie anhaltende Maßnahmen der Infektionsvorbeugung (8).



Abb. 1: WHO Priority Pathogens List

Gramnegative Bakterien und Resistenzen

Gramnegative Bakterien und ihre Überlebenskünste

Bakterien, die im wässrigen oder feuchtem Milieu leben, sind in der Regel gramnegative Bakterien. Die pathogenen unter ihnen geraten zunehmend in den Fokus, da sie Resistenzen gegenüber Antibiotika (insbesondere Carbapenem) aufweisen. Die Schwierigkeit im Umgang mit den pathogenen Vertretern gramnegativer Bakterien besteht in ihrer Genügsamkeit, Variabilität hinsichtlich der Nährstoffe und ihrer Fähigkeit, Biofilm zu bilden. *Pseudomonas aeruginosa* wächst optimal bei 30 °C, kann aber zwischen 4 °C und 42 °C gut überleben.

Das Bakterium lebt normalerweise aerob, kann aber auch auf Nitrat als Sauerstoffersatz umsteigen. Eine Teilung findet unter guten Bedingungen alle 30 Minuten statt. **Selbst in destilliertem Wasser kann sich der Keim gut vermehren (35) und auch auf trockenen Oberflächen überlebt der Keim bis zu 16 Monaten (36).** *Acetivobacter spp.* kann bis zu fünf Monaten auf dem Trockenen bleiben (36). Antibiotikaresistente *Pseudomonas aeruginosa* zeigen auch gegenüber Chlor Resistenzen mit bis zu 0,5 mg/l Chlor (37).

Resistenzen gegenüber Antibiotika – mission impossible in der Mikrowelt

Die Situation in Europa ist ernst. Die folgende Abbildung zeigt die Resistenzen von Enterobacteriaceae gegenüber Carbapenem in Europa (38). Man erkennt deutlich, dass in Griechenland die Situation endemisch ist und es ansonsten schon zu vielen Ausbrüchen kam.

Auch relativ unbekanntere pathogene Keime wie *Ralstonia pickettii* oder Mykobakterien gewinnen an Aufmerksamkeit, da sie in Bereichen wie Heater-Cooler-Einheiten oder in voll entsalztem Wasser (VE-Wasser zur Aufbereitung von Instrumenten) Probleme verursachen (34,35). *Ralstonia pickettii* ist vielfach in vollentsalztem Wasser nachgewiesen worden und steht im Verdacht, auch durch 0,2-Mikron-Filter zu durchdringen (39, 40).

Legionellen sind seit längerem im Fokus und stehen über die Trinkwasserverordnung in der regelmäßigen Überwachung, verursachen dennoch immer noch eine Vielzahl von Problemen.

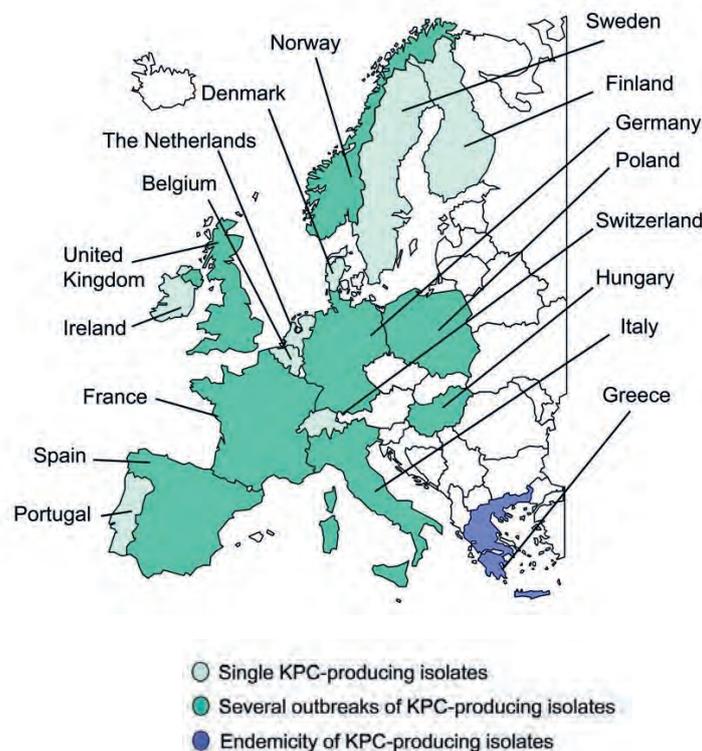


Abb. 2: Verteilung von Carbapenem-resistenten Enterobacteriaceae in Europa

Überschreitung von Grenzwerten

Kliniken in der Radarfalle

Untersuchungen aus zahlreichen Probenahmen (28) zeigen, dass Kliniken eine weitaus höhere Überschreitungshäufigkeit insbesondere bei *Pseudomonas aeruginosa* zeigen als andere öffentliche Einrichtungen wie Schulen oder Hotels. In fast 50 % der Kliniken wird der Grenzwert für Legionellen überschritten. In 30 % der Proben findet sich *Pseudomonas aeruginosa* in Wasserproben von Kliniken. Die u.a. Abbildung verdeutlicht diese dramatische Situation.

Die Zahlen zeigen, dass Patienten und Personal in vielen Fällen gramnegativen pathogenen Keimen ausgesetzt sind. Die Ursachen hierfür sind vielfältig. Schaut man in den Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit (47) weist dieser aus, dass 17,9 % der Wasserversorgungsgebiete nicht so häufig Proben nehmen wie sie sollten. Das bedeutet, dass jedes sechste Wasserversorgungsgebiet unzureichend untersucht wurde. Überschreitungen aus 2016 betragen bei coliformen Keimen 3,4 % und bei Enterokokken 2,1 % (47). Jede 30. Probe ist nicht in Ordnung. Zudem wird der pathogene Problemkeim *Pseudomonas aeruginosa* gar nicht erfasst.

Eine weitere Ursache liegt in der Infrastruktur von Kliniken, die häufig sehr alt ist und durch Neubauten (Anbauten) einen Mix unterschiedlicher Leitungsnetze aufweist. Häufig ist die Dokumentation des Wasseretzes lückenhaft. Nicht vollständig zurückgebaute

Verrohrung (Totstrecken), nicht genutzte Wasserstellen und veraltete Duschschräuche oder Armaturen können als Ursache für die genannten Überschreitungen mit aufgeführt werden. Wasseraufbereitungen wie Ionentauscher zur Reduzierung der Wasserhärte und VE-Wasseranlagen sind teilweise falsch dimensioniert und unzureichend gewartet.

Insbesondere bei einer Besiedlung von *Pseudomonas aeruginosa* gelingt es in vielen Fällen nicht, diesen Keim nachhaltig aus dem Wassernetz zu eliminieren (28). Der Keim ist ein ausgewiesener Biofilmbildner (vgl. Seite 12). Ist ein Biofilm vorhanden, ist entgegen einer Erhöhung der Wassertemperatur und chemischer Behandlung (Chlor, Chlordioxid) weitgehend beständig.

Weiterhin führen auch Kontaminationspfade zum Wasserhahn (vgl. Seite 10), sodass Keime in Proben, die nach Zweck C (DIN EN ISO 19458) genommen werden, durchaus von Patienten oder Personal stammen und nicht aus der Wasserleitung.

Aus den Werten lässt sich folgern, dass die Häufigkeit der Überschreitung so groß ist, dass man von einer dauerhaften Etablierung der Problemkeime in diesen Einrichtungen sprechen kann.

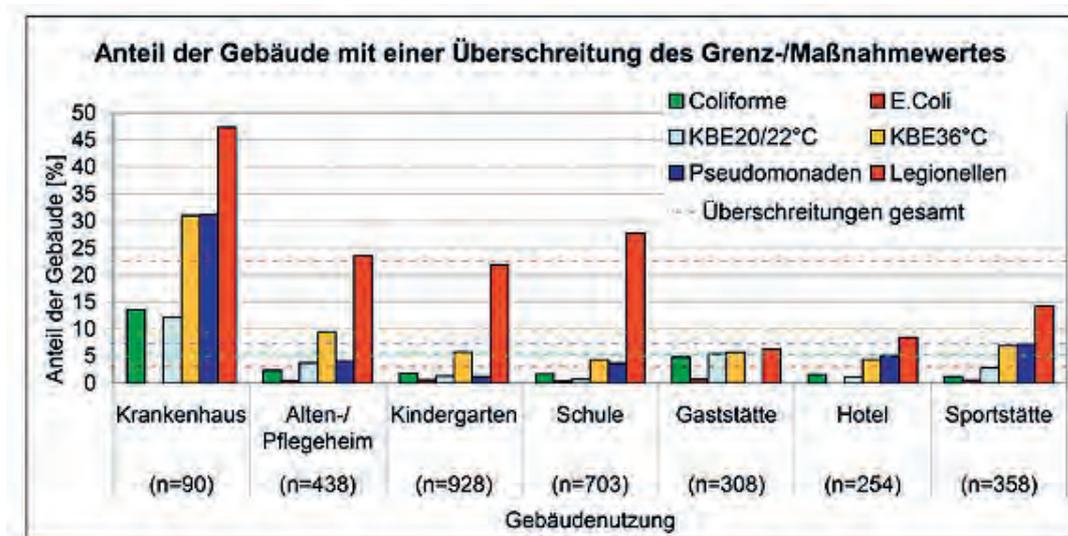


Abb. 3: Überschreitungen des Grenz-/Maßnahmewertes in verschiedenen Einrichtungen (28)

Wasseraufbereitung und Verteilung

Wasch mich, aber mach mich nicht krank

Das Trinkwasser in Deutschland wird zu über 70 % aus Grundwasser oder Uferfiltrat gewonnen (46). Aufbereitungsverfahren beginnen in aller Regel mit der Entfernung von Partikeln, häufig durch Flockung und (Sand-)Filtration, die manchmal durch eine Voroxidation ergänzt wird. Die Aufbereitung wird überwacht. Der Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit (47) weist allerdings aus, dass 17,9 % der Wasserversorgungsgebiete die Mindesthäufigkeit der routinemäßigen Überwachungsuntersuchungen nicht einhalten. Das bedeutet, dass jedes sechste Wasserversorgungsgebiet unzureichend untersucht wurde. Betrachtet man zudem die Überschreitungshäufigkeit aus 2016 bei coliformen Keimen (3,4 %) und Enterokokken (2,1 %) (47), so lässt sich hieraus folgern, dass jede 30. Probe eine Überschreitung aufweist. Es ergibt sich insgesamt ein Bild, das die gern zitierte Aussage, dass „Trinkwasser das am besten untersuchte Lebensmittel in Deutschland“ sei, zumindest infrage stellt. Zudem wird der pathogene Problemkeim *Pseudomonas aeruginosa*, der für eine Vielzahl von Infektionen verantwortlich ist, nicht separat erfasst.

Die Verteilung des Wassers erfolgt über eine zunehmend alternde Infrastruktur, die sicherlich auch einen Beitrag zu den in Abb. 3 gezeigten Überschreitungshäufigkeiten leistet. In der folgenden Abbildung ist ein Teil eines Rohres dargestellt, das aus einer Straße entnommen wurde. Teilweise wird dem Wasser Chlor beigegeben, um die Einhaltung der Parameter über die Verteilung sicherzustellen.

Der Grenzwert beträgt gemäß Trinkwasserverordnung 0,3 mg/l Chlor. Es zeigt sich jedoch, dass gegenüber Antibiotika resistente Keime auch gegenüber Chlor eine Unempfindlichkeit aufweisen, die über 0,3 mg/l Chlor liegt (5).



Abb. 4: Innenansicht eines Trinkwasserrohrs. Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Flemming, IWW Mülheim/Ruhr-Universität 2012.

Wasseraufbereitung und Verteilung

Destilliertes Wasser

Destilliertes Wasser wird durch Erhitzung (Sieden) von Wasser und Abkühlung des entstehenden Wasserdampfes erzeugt. Das so gewonnene Wasser hat äußerst wenig Mineralien, weswegen es sich besonders zur Aufbereitung von kleineren Mengen von Instrumenten maßgeblich in einer Praxis eignet. Es besteht vielfach die Meinung, destilliertes Wasser sei keimfrei. Das ist jedoch nicht der Fall (48, 49). Auch der Problemkeim *Pseudomonas aeruginosa* vermehrt sich in destilliertem Wasser. Ursache hierfür ist nicht das Erhitzen des Wassers, was die meisten Keime sicher abtötet, sondern die Behälter, die das destillierte Wasser auffangen und nicht sicher steril gehandhabt werden.

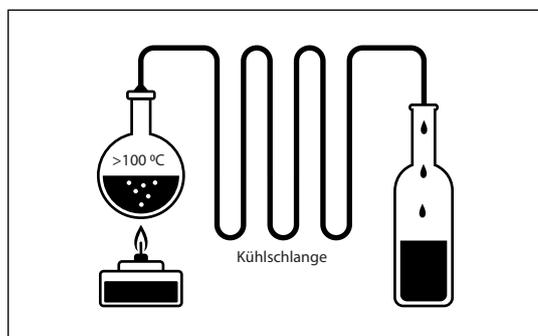


Abb. 5: Destillation

Umkehrosmose

Bei der Umkehrosmose handelt es sich um eine Art von Membranfiltration. Dabei sind die Poren der Membran so klein, dass die meisten Salze diese nicht passieren können. Der osmotische Druck sorgt natürlicherweise für einen Konzentrationsausgleich. Will man also Wasser entsalzen, so muss man gegen diesen Druck arbeiten, daher der Name Umkehrosmose. Mit hohem Druck werden gegen den osmotischen Druck Wassermoleküle durch eine Membran gedrückt. Da die Ausbeute (Durchfluss je m² Filterfläche) sehr gering ist, nutzt man in der Regel die Anlage dauerhaft (24 Stunden) und fängt das Filtrat in einem Ausgleichsbehälter auf. Dieser leert sich über den Gebrauch und füllt sich in Zeiten des Nichtgebrauchs wieder auf. Das so gewonnene, an mineralienarme Wasser, ist aufgrund des Ausgleichsbehälters nicht keimfrei.

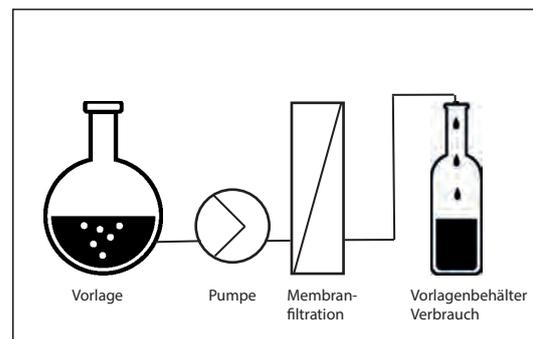


Abb. 6: Umkehrosmose

Ionentauscher

Als Ionentauscher bezeichnet man Granulate, die auf ihrer Oberfläche Ionen gebunden haben, die gegen andere ausgetauscht werden. Zur Entsalzung von Wasser werden Granulate genutzt, die auf der Oberfläche OH⁻- und H⁺-Ionen besitzen. Diese werden dann gegen Calcium (Ca²⁺)-Ionen oder Carbonationen (CO₃²⁻) getauscht. Das bedeutet, dass sich Calciumcarbonatmoleküle (Kalk) gegen Wassermoleküle (H⁺ und OH⁻ ergeben H₂O) tauschen lassen. Sind alle Stellen getauscht, wird das Granulat regeneriert. Dies geschieht unter Zufluss von Säure (Überschuss an H⁺-Ionen) und Lauge (Überschuss an OH⁻-Ionen).

Dies ist eines der gängigsten Verfahren zur Gewinnung von voll entsalztem Wasser, da es effizienter ist als die Umkehrosmose. Auch werden beide Verfahren teilweise kombiniert. Der Nachteil der Verwendung eines Granulates aus mikrobiologischer Sicht liegt in der sehr hohen spezifischen Oberfläche des Granulates. Dies begünstigt die Biofilmbildung und aus diesem Grunde ist es nicht verwunderlich, dass in vielen Fällen voll entsalztes Wasser gramnegative Keime beinhaltet.

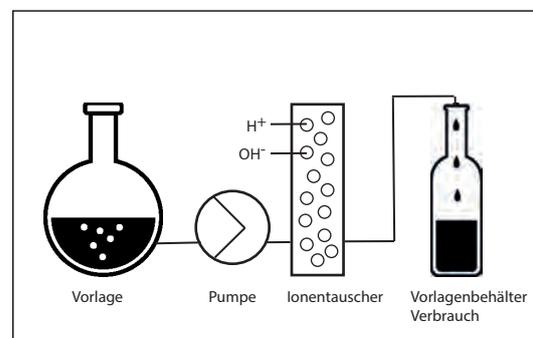
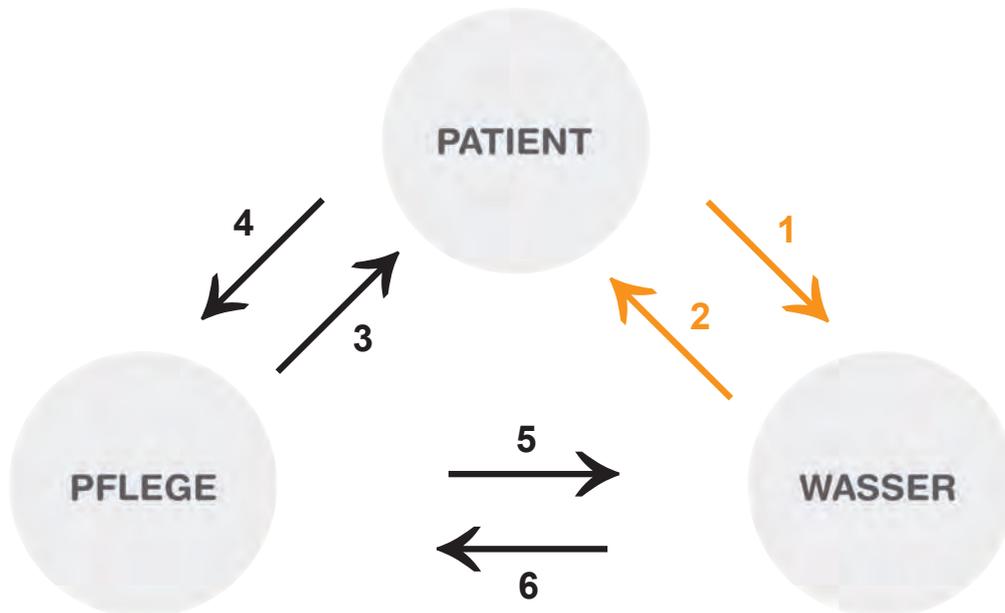


Abb. 7: Ionentausch

Kontaminationspfade



Eine Studie von Rogues et al. (9) und Trautmann et al. (19) hat die Kontaminationspfade von *Pseudomonas aeruginosa* auf einer Intensivstation untersucht. Mit Hilfe von mikrobiologischer Surveillance und genetischen Typisierungsverfahren konnte eine multidirektionale Verteilung von *Pseudomonas aeruginosa* innerhalb der Station dokumentiert werden.

Es wurde gezeigt, dass kontaminierte Wasserhähne *Pseudomonas-aeruginosa*-Erreger an Menschen weitergeben (2 und 6) und der Kontakt zwischen Pflege und Patient zu einer Kontaminierung des jeweils anderen führen kann (3 und 4). Des Weiteren wurde dokumentiert, dass eine retrograde Kontamination von infizierten Patienten auf Wasserhähnen stattfindet.

Dieser Kontaminationspfad von Patient zu Wasserhahn wurde mit elf Fällen öfter dokumentiert als die entgegengesetzte Kontaminationsrichtung von Wasserhahn zu Patient (sieben Fälle).

In Kliniken werden Wasserentnahmestellen nicht regelmäßig desinfiziert. Daher kommt diesen als Kontaminationsreservoir eine besondere Bedeutung zu. Verkeimung aus dem Wasser und durch Personal und Patienten führen zur Etablierung der Wasserentnahmestellen als einer möglichen dauerhaften Quelle pathogener gramnegativer Bakterien. Eine adäquate Handdesinfektion des Pflegepersonals nach dem Patientenkontakt wäre ein Schritt, um die retrograde Kontamination zu reduzieren. Das Forscherteam weist auf die Bedeutsamkeit weiterer Studien hin, die sich mit den dynamischen, multidirektionalen Kontaminationspfaden nosokomialer Erreger befassen und mögliche Interventionen gegen diese untersuchen, hin (9).

Es zeigt sich, dass Überschreitungen der Grenzwerte nicht nur auf die Wasserqualität zurückzuführen sind. Wasserentnahmestellen müssen vielmehr als Umschlagplätze für pathogene gramnegative Keime angesehen und auch so behandelt werden.

Handhygiene

Studien zeigen, dass Handhygiene eine der wichtigsten Interventionen in der Vermeidung nosokomialer Infektionen ist. Nichtsdestotrotz demonstrieren Kovacs-Litman et al. (2016), dass in der Einhaltung der Handhygiene des medizinischen Personals einer Klinik in Toronto, Kanada ein großer Raum für Verbesserung besteht. Die Forscher setzten zwei geschulte Studenten ein, die das Handhygieneverhalten der Ärzte, Assistenzärzte und des Pflegepersonals systematisch und versteckt beobachteten. Die erhobenen Daten der Studenten wurden mit einer offiziellen Überprüfung der Handhygiene, die im gleichen Zeitraum der Studien stattfand, verglichen.

Die Ergebnisse zeigten, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den heimlich und offiziell erhobenen Daten, sowohl bei den Ärzten als auch beim Pflegepersonal, bestand. Die gesamte Einhaltung der Handhygiene des medizinischen Service während der offiziellen Überprüfung lag bei 83,7 %, während sie bei der versteckten Beobachtung nur noch bei 50 % lag. Die geringsten Einhaltungen bei heimlicher Datenerhebung wurde auf der Station für Notfallmedizin (43,9 %), gefolgt von der Chirurgiestation (45,7 %), festgestellt.

Zur gleichen Zeit wurden auf den jeweiligen Stationen eine Einhaltung von 73,8 % und 91 %, während des offiziellen Audits, dokumentiert. **Das Pflegepersonal wies eine Übereinstimmung mit den Handhygienerichtlinien von 85,8 % während der offiziellen Überprüfung und 45,1 % während der heimlichen Dokumentation auf.**

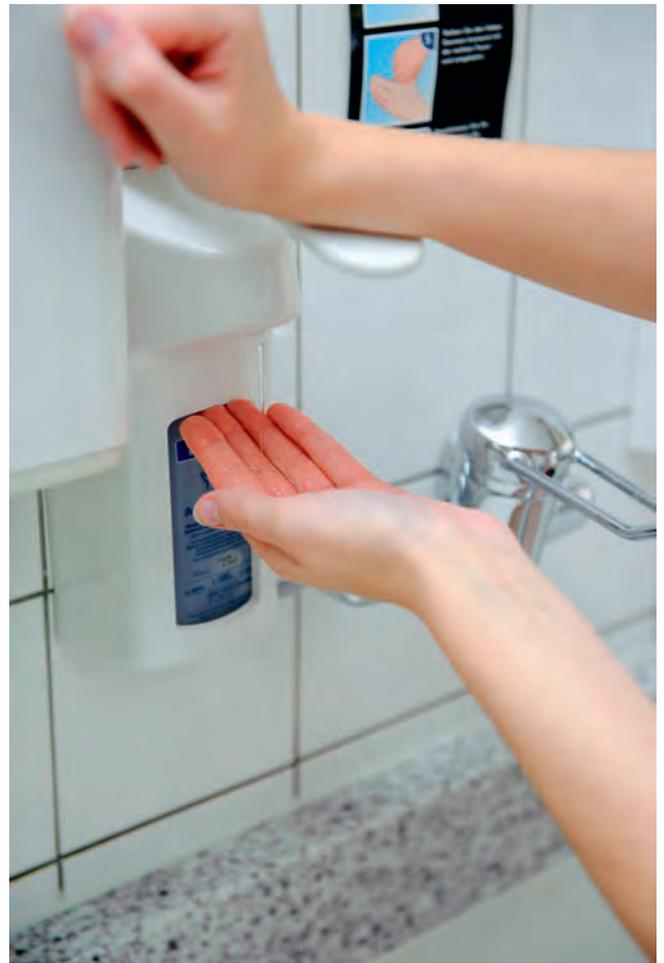
Die Ärzte zeigten eine übergreifende Einhaltung von 73,2 % im offiziellen Audit und 54,2 % während der versteckten Datenerhebung.

Die Autoren heben hervor, dass die Ärzte eine wichtige Vorbildfunktion für die Assistenzärzte erfüllen.

Die Einhaltung der Handhygiene der Ärzte in Ausbildung lag bei 79,5 %, wenn der Arzt sich die Hände desinfizierte, während sie nur noch bei 18,9 % lag, wenn der Arzte die Handhygiene ausließ.

Des Weiteren wurde dokumentiert, dass die Einhaltung der Richtlinien höher (74,8 %) war, wenn die eigene Leibesunversehrtheit (z. B. Patient in Isolation) potenziell gefährdet war. Zuletzt wurde verzeichnet, dass die Einhaltung in Gruppen von mehr als drei Personen höher war als in Gruppen von weniger als drei Personen (62,1 % vs. 42 %) (22).

Wasserassoziierte *Pseudomonas-aeruginosa*-Infektionen“ zeigen eindeutig, dass insbesondere *Pseudomonas aeruginosa* in seiner Wirkung bisher unterschätzt wurde. Das sollte zukünftig zu weiteren rechtlich abgesicherten präventiven Maßnahmen führen.



Biofilm

Biofilmbildung, der ideale Schutz vor Angriffen des Menschen

Pseudomonas aeruginosa ist ein typischer Vertreter der Biofilmbildung. Der Keim kann sogenannte extrazelluläre polymere Substanzen (EPS) bilden und sich sowie anderen Bakterien ein überaus hohes Maß an Schutz bieten. Die EPS dienen als Barriere für chemische Angriffe, da Stoffe nur diffusiv (langsamer Stofftransport) in die EPS dringen. Die EPS binden aber auch Nährstoffe adsorptiv, sodass immer genügend Nahrung für die ohnehin genügsamen Bakterien zur Verfügung steht.

Man unterscheidet bei der Biofilmbildung zwei Phasen.

1. Reversible Phase

Zunächst findet eine Konditionierung der Oberfläche durch Wasserinhaltsstoffe statt, die deren Ladung verändert. Die Bakterien lassen sich auf dieser Oberfläche nieder und werden durch schwache Wechselwirkungskräfte daran angeheftet. Dieser Vorgang ist reversibel. Bakterien lassen sich entfernen oder durch Desinfektionsmittel töten.

2. Irreversible Phase

Bleiben die Bakterien länger an der Oberfläche haften, beginnen sie mit der Bildung von EPS. Die EPS haften stark an Oberflächen und bieten den Biofilmbildnern einen sehr guten Schutz. Nun können sich auch andere Bakterien ansiedeln, die keine ausgewiesenen Biofilmbildner sind. Sie beginnen eine Biozönose zu bilden. Diese Bakterien mit der EPS wieder zu entfernen ist sehr schwierig und gelingt vollständig nur selten.

Versuche zur Abtötung von *Pseudomonas-aeruginosa*-Biofilmen mittels Antibiotika zeigten, dass eine 1.000-fache Konzentration von Antibiotika notwendig ist im Vergleich zu freischwimmenden (planktonischen) Bakterien (11). Dies erklärt, warum gramnegative Bakterien sich schwer aus Medizinprodukten (Endoskopen) oder Wasserführenden Leitungen entfernen lassen. Die Erfahrung zeigt, dass eine Behandlung mit vergleichsweise hohen Konzentrationen von chemischen Desinfektionsmitteln in der Regel nur kurzfristig gegen einen etablierten Biofilm hilft.

Austausch von Informationen – Bakterien haben viele Freunde

Forschungen aus der Kommunikationswelt von Bakterien (12) zeigen, dass diese rege miteinander im Austausch sind. Dabei werden nicht nur Gene ausgetauscht, sondern Bakterien „wissen“, wie viele von ihnen oder von anderen Arten in der Nähe sind. Es ist ein bisschen wie bei Facebook. Wenn man ständig Nachrichten an Freunde sendet, bekommt man Antworten. So senden Bakterien ständig bestimmte chemische Signale aus (quorum sensing) und besitzen Rezeptoren, die Signale von anderen empfangen können. So „wissen“ sie, wie viele insgesamt da sind, und können gemeinsam beispielsweise eine Infektion auslösen, die sie einzeln nicht bewerkstelligen könnten.

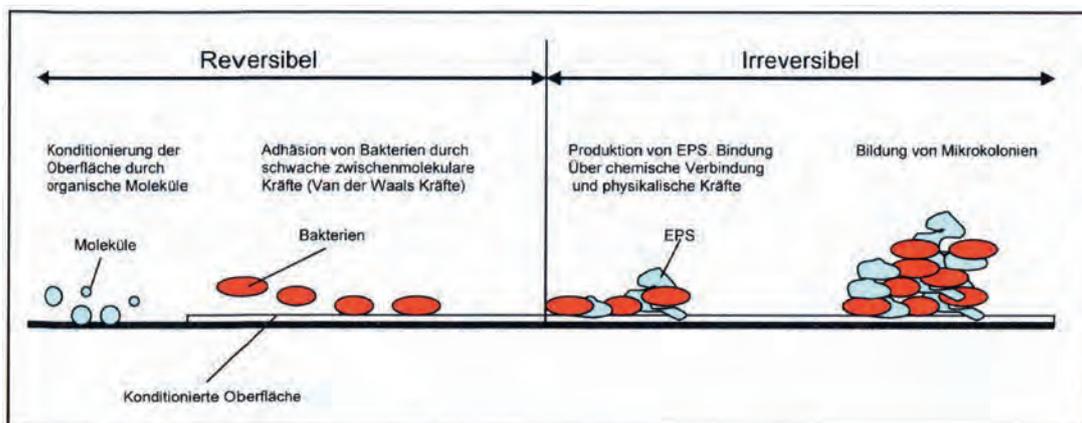


Abb. 8: Schematische Darstellung der Biofilmbildung in Anlehnung an (9), (10)

Evidenz von endständigen Sterilfiltern zur Infektionsreduktion

Die Effizienz, mit der Point-of-Use-Filter (POU Filter) pathogene Erreger aus Trinkwasser entfernen, wurde in den letzten Jahrzehnten ausführlich untersucht und dokumentiert (6, 23-27 etc.). Im Laufe der letzten Jahre hat sich eine Vielzahl an Wissenschaftlern mit der Wirksamkeit von Point-of-Use-Wasserfiltern in der Reduktion nosokomialer Infektionen in Krankenhäusern befasst. Im Jahre 2006 veröffentlichten Vianelli et al. einen Fachartikel, der sich mit dem Ausbruch von *P. aeruginosa* auf einer Hämatologiestation in den Jahren 2002 bis 2004 befasst. Um den Ausbruch im Universitätsklinikum Bologna, Italien zu dokumentieren, wurden Blutkulturen von allen Patienten genommen, die sich in diesem Zeitraum auf der Station in Behandlung befanden. Ende 2002 wurden sterile Einwegfilter an allen Wasserentnahmestellen der Station installiert. Die Zahl positiver Blutkulturen wurde durch diese Intervention signifikant verringert. Im Jahr 2002 wurden 61 Blutkulturen positiv auf *Pseudomonas aeruginosa* getestet, im Jahr 2003 waren es nur noch sieben positive Blutkulturen (2002 vs. 2003: $p = .0001$ [Rachenabstrich] und $p = .0008$ [Analabstrich])(15).

Auf einer Intensivstation in Budapest, Ungarn wurden über Jahre hinweg nosokomiale Infektionen mit *Pseudomonas aeruginosa* dokumentiert. Im Jahr 2008 wurden Point-of-Use-Filter für vier Wochen an allen Wasserentnahmestellen der Station angebracht. Die Untersuchung zeigte, dass die Anzahl nosokomialer Infektionen von 2,7 Fällen/100 Patiententage auf 0 Fälle/100 Patiententage reduziert wurde. Des Weiteren wurde mit Hilfe von genetischer Typisierung der *Pseudomonas-aeruginosa*-Erreger dokumentiert, dass fünf von sieben der Infektionsfällen durch den identischen Erregertyp ausgelöst wurden, der auch in der Wasserversorgungsanlage der Station gefunden wurde (16).

In China untersuchte ein Forscherteam den Einfluss von Point-of-Use-Wasserfiltern auf die Prävalenz von nosokomialen Infektionen auf einer Lebertransplantationsstation. Nach Angaben der Autoren handelt es sich hierbei um die erste Umweltanalyse von wasserbezogenen Erregern in Wasserversorgungssystemen von Kliniken in China. Eine mikrobiologische Untersuchung zeigte die Präsenz von *Legionella spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Mycobacterium spp.* und Fadenpilzen im Wasser. Im Zeitraum von Juli bis November 2010 wurden Filter an drei Wasserhähnen der Station installiert. Die statistische Analyse zeigte eine Reduktion der Infektion/Kolonisation von Patienten durch gramnegative Bakterien pro 1.000 Patiententage nach Nutzung der Filter (von $3,2 \pm 0,95$ auf $1,7 \pm 1,25$; $p = .067$). **Somit wurde die Anzahl nosokomialer Infektionen/Kolonisationen durch gramnegative Erreger um 46,9 % reduziert (17).**

Holmes et al. (2010) untersuchten, ob die Nutzung von Point-of-Use Wasserfiltern die Zahl nosokomialer Infektionen ausgelöst durch *P. aeruginosa* auf einer Subacute Care Unit (SACU) reduzieren würde. Die Untersuchung in den USA zeigte, dass nach fünfmonatiger Nutzung der Filter, die Anzahl der Infektionen signifikant reduziert wurde. Die Angaben erfolgten in Anzahl von Infektionen/Patiententage.

Die Anzahl der Patienten mit beatmungsassoziierter Pneumonie wurde um 90,2 % ($p = .0087$) reduziert, positive Kulturen mit *Pseudomonas aeruginosa* wurden um 68,3 % ($p = .0004$) reduziert und die Kolonisation der oberen Atemwege (Nase und Auswurf) durch *Pseudomonas aeruginosa* zeigte einen Rückgang von 58,6 % ($p = .0179$) (6).



Evidenz von endständigen Sterilfiltern zur Infektionsreduktion

Im Jahr 2005 veröffentlichten Vonberg et al. eine Studie, in der die Effektivität von Wasserfiltern in der Versorgung immunsupprimierter Patienten mit *Legionella-spp.*-freiem Wasser getestet wurde. Die Studie wurde auf einer Knochenmarktransplantationseinheit in der Charité-Universitätsmedizin Berlin und drei Intensivstationen der Medical School Hannover durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten unter anderem, dass keine neuen nosokomialen Infektionen nach Installation der Wasserfilter auftraten (18).

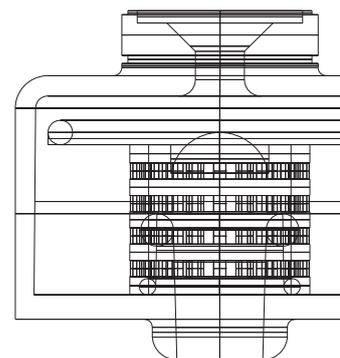
In einer groß angelegten Studie von Trautmann et al. (2008) wurden mehrere Variablen mit dem Hintergrund nosokomialer Infektionen und ihrer Bekämpfung mit Point-of-Use-Wasserfiltern auf einer chirurgischen Intensivstation in Süddeutschland untersucht. Diese Station wies zuvor ungefähr zwei bis fünf neue Infektionen mit *Pseudomonas aeruginosa* pro Monat auf und diese Epidemie bestand seit mehreren Jahren. Die Studie untersuchte zum einen die Prävalenz von *P. aeruginosa*-Infektionen bei Patienten und die Kolonisation von Wasserentnahmestellen durch *Pseudomonas aeruginosa*. Durch genetische Typisierungsverfahren wurden die Erregerstämme bestimmt. Zum anderen wurden die Kohorten an Patienten in der Phase vor und nach der Installation der Filter verglichen, sowie die generellen Stationsvariablen (z. B. Antibiotikanutzung), die potentiell zu der Infektion mit *Pseudomonas aeruginosa* beitragen könnten, investigiert. Die Untersuchungen dauerte zwei Jahre an, wobei die Filter für ein Jahr installiert waren. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Reduktion von *P. aeruginosa*-Kolonisationen (85 % [$<.0001$]) und invasiver Infektionen (56 % [$p<.0003$]), während kein signifikanter Unterschied in den Patientenkohorten festgestellt wurde.

Insgesamt wurde eine Reduktion nosokomialer Infektionen von 22 % erzielt, was ungefähr dem prozentualen Anteil von *Pseudomonas-aeruginosa*-Infektionen im Kontext aller nosokomialen Infektionen entspricht. Die genetische Typisierung zeigte, dass 100 % aller wasserisolierten Erreger dem Klonotyp A angehören. In der Phase vor Installation der Filter wurden 92,6 % der *Pseudomonas-aeruginosa*-Infektionen von besagtem Klonotyp A ausgelöst. Jeweils ein Patient war mit Klonotyp B und C infiziert (19).

Auf einer, nach Renovierungsarbeiten neu eröffneten, Hämatologie- und Onkologiestation wurden im Jahr 2014 eine Vielzahl an nosokomialen Legionelleninfektionen verzeichnet. Vor der Installation von Point-of-Use-Wasserfiltern wurden zehn Fälle von Infektionen dokumentiert, nach der Installation wurden keine neuen Fälle verzeichnet. Genetische Typisierung ergab, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Kontamination der stationären Trinkwasseranlage der Ursprung des Legionellenausbruchs war (20). Mit dem Hintergrund, dass das Wasserversorgungssystem von Kliniken wiederholt als Infektionsherd für Ausbrüche nosokomialer Erkrankungen durch gramnegative Bakterien identifiziert wurde, untersuchten Cervia et al. (2009), ob endständige Wasserfilter das Risiko dieser Infektionen reduzieren, auch wenn kein dokumentierter Ausbruch vorliegt.

Die Untersuchung fand über einen Zeitraum von neun Monaten auf einer Knochenmarktransplantationseinheit in einem Universitätsklinikum der USA statt. In Wasserproben wurden die Erreger *Pseudomonas aeruginosa* und *Stenotrophomonas maltophilia* registriert. Nach Installation der Filter wurden sowohl die Rate von Infektionen ausgelöst durch gramnegative Bakterien (0,4 vs. 0,09 Infektionen/100 Patiententage [$p=.0431$]) als auch die Rate aller Infektionen (1,4 vs. 0,18 Infektionen/Patiententage ($p=.0068$)) signifikant reduziert. Alle Infektionen, die während der Zeit der Filterinstallation dokumentiert wurden, waren durch nicht wasserassoziierte Erreger ausgelöst (21).

Alle Autoren der oben aufgeführten Studien empfehlen die Nutzung von Point-of-Use-Wasserfiltern sowohl in der akuten Bekämpfung nosokomialer Infektionsausbrüche, ausgelöst durch gramnegative Bakterien (6, 15, 16, 17, 18, 19, 20), als auch in der Prävention nosokomialer Infektionen, wenn kein akuter Ausbruch vorhanden ist (21).



Anforderungen an endständige Sterilfilter im medizinischen Bereich

Allgemeine Anforderungen

- Zur Vermeidung von nosokomialen Infektionen durch Wasserkeime müssen die Sterilfilter CE-gekennzeichnete Medizinprodukte sein [1,2]
- Es gelten die Anforderungen gemäß Medizinproduktegesetz und RKI-Richtlinien [2,3,4a-d,5]

Technische Produktanforderungen gemäß DVGW und RKI

- Einzel verpackte Sterilfilter mit Angabe der Mindesthaltbarkeitsdauer [3]
- Nominale Porengröße von 0,2 µm gemäß FDA-Vorgabe [6]
- Bakterienrückhalt (*Brevundimonas diminuta*) > 7 log pro cm² [6,7]
- Membrantest für jeden Filter (100%-Prüfung)
- Membrantest gemäß ASTM F838-15A (gültige Norm) [10]
- Filterbeständigkeit für den Einsatz bei mind. 60 °C und mind. 5 bar [3]
- Hygienische Prüfung der Filtermaterialien gem. § 17 TrinkwV 2001 (KTW, W270) [11]
- Adapter zur gezielten Wasserstrahlführung gem. RKI-Empfehlung [4a]
- Bakteriostatische Eigenschaften des Filtergehäuses [9]
- Filterbeständigkeit gegenüber gängigen Flächendesinfektionsmitteln
- Mindestabstand des Filterauslaufes zum maximalen Wasserstand von 20 mm darf nicht unterschritten werden [3]

Anforderungen an die Dokumentation und Qualitätssicherung

- Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems des Herstellers nach DIN EN ISO 13485:2016 [1,2,8]
- Individuelle Identifizierbarkeit und Rückverfolgbarkeit des Produktes durch einzelne Seriennummer [1,3,8]
- Geeignete und übersichtliche Gebrauchsanweisung [1,2]
- Einweisung in die Filterbenutzung und -anwendung
- Dokumentation / Wasserstellenmanagement [1,8]
- Klinische Erprobung der definierten Anwendungsdauer (Produktvalidierung) [1,2,3]
- CE-gekennzeichnetes Medizinprodukt, Klasse I [1,2]

Referenzen:

- [1] EU-Medizinprodukterichtlinie RICHTLINIE 93/42/EWG DES RATES vom 14. Juni 1993 über Medizinprodukte
- [2] Medizinproduktegesetz (BRD): Medizinproduktegesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 7. August 2002 (BGBl. I S. 3146), das zuletzt durch Artikel 16 des Gesetzes vom 23. Dezember 2016 (BGBl. I S. 3191) geändert worden ist"
- [3] DVGW, Temporärer Einsatz endständiger Filter in mikrobiell kontaminierten Trinkwasser-Installationen. Twin Nr. 12, März 2017
- [4a] RKI-Empfehlung: 'Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten' - Bundesgesundheitsbl. 2010 • 53:357-388 (S. 371/3.8)
- [4b] RKI-Empfehlung: 'Empfehlung zur Prävention nosokomialer Infektionen bei neonatologischen Intensivpflegepatienten mit einem Geburtsgewicht unter 1500 g' - Bundesgesundheitsbl. 2007 • 50:1265-1303
- [4c] RKI-Empfehlung: 'Infektionsprävention in der Zahnheilkunde - Anforderungen an die Hygiene' - Bundesgesundheitsbl. 2006 • 49:375-394
- [4d] RKI-Empfehlung: 'Anforderungen an die Hygiene bei der Aufbereitung von Medizinprodukten' - Bundesgesundheitsbl. 2012 • 55:1244-1310
- [5] Infektionsschutzgesetz (IfSG)-"Infektionsschutzgesetz vom 20. Juli 2000 (BGBl. I S. 1045), das zuletzt durch Artikel 4 Absatz 20 des Gesetzes vom 18. Juli 2016 (BGBl. I S. 1666) geändert worden ist"
- [6] FDA, Guidance for Industry Sterile Drug Products Produced by Aseptic Processing — Current Good Manufacturing Practice, 2004
- [7] ASTM-Methode F838-15A mit (*Brevundimonas diminuta* ATCC 19146)
- [8] DIN EN ISO 13485:2016 Medizinprodukte - Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen für regulatorische Zwecke
- [9] ISO 22196-2007: Messung von antibakterieller Aktivität auf Kunststoffoberflächen mit *Staphylococcus aureus* DSM 799/ATCC 6538 und *Escherichiacoli* DSM 1576/ATCC 8739
- [10] ASTM F838 - 15a: Standard Test Method for Determining Bacterial Retention of Membrane Filters Utilized for Liquid Filtration
- [11] DVGW twin Nr. 12 - Informationen des DVGW zur Trinkwasser-Installation: Temporärer Einsatz endständiger Filter in mikrobiell kontaminierten Trinkwasser-Installationen

Aktuelle Vorgaben

Die aktuellen Vorgaben zu Untersuchungsparametern und Häufigkeit der Probenahmen sind in der Trinkwasserverordnung (TrinkWV) (50), durch das Umweltbundesamt und durch den DVGW (TWIN) festgelegt. Die nachfolgende Tabelle zeigt diese Parameter auf. Zusätzlich muss nach Vorgaben des UBA vom 13.06.2017 (51) in folgenden Einrichtungen das Kaltwasser auf *Pseudomonas aeruginosa* untersucht werden:

- Schulen
- Hotels, Jugendherbergen
- Sonstige Ausbildungseinrichtungen
- Sportstätten
- Weitere Gemeinschaftsunterkünfte (wie z. B. Heime, Obdachlosenunterkünfte, Asylantenheime).

Die Häufigkeit erfolgt hier nach den Vorgaben des Gesundheitsamtes (in der Regel jährlich).

Parameter	Untersuchungsvolumen (ml)	Grenzwert (KbE)
<i>Escherichia coli</i>	100	0
Coliforme Bakterien	100	0
Enterokokken	100	0
Koloniezahl bei 22° und 36°C	1	100
<i>Legionella spp.*</i>	100	100
Legionella in Hochrisikobereichen**	100	0
<i>Pseudomonas aeruginosa**</i>	100	0

Abb. 9: Untersuchungsparameter und Häufigkeit der Probenahmen

*: Technischer Maßnahmenwert **: nach UBA-Empfehlung vom 13.6.2017

Die Frequenz zur routinemäßigen Überprüfung nach der TrinkWV (50) beträgt:

- Im Warmwasser auf Legionellen in Krankenhäusern jährlich
- Im Kaltwasser in Krankenhäusern nach Festlegung des Gesundheitsamts, i. d. R. jährlich.

Die DGKH empfiehlt weitaus strengere Grenzwerte, die in der folgenden Tabelle aufgeführt sind.

Das Robert Koch Institut (RKI) empfiehlt, sofern die vorgeschriebene mikrobiologische Wasserqualität auf Neonatologie Stationen nicht gewährleistet werden kann, die Installation endständiger Wasserfilter. Insbesondere bei der Körperpflege und Wundspü-

lung hochgradig immunsupprimierter Patienten (Risikogruppe 2 und 3) wird die Nutzung von Point-of-Use-Filtern empfohlen. Zur Vermeidung nahrungsmittel-assoziiertes Erkrankungen wird empfohlen Wasser und Eis mit 0,2 µm Filtration zu behandeln. Sollten endständige Filter installiert sein, kann die Untersuchungsfrequenz der Wasserqualität reduziert werden (30).

Bereich	Grenz-, Richt- und Maßnahmewert der DGKH	Maßnahmen bei Überschreitung der DGKH
Übergabestelle	- < 20 KbE/ml - < 1 <i>E. coli</i> /l - < 1 Coliforme/l - < 1 <i>P. aeruginosa</i> /l	- Meldung Gesundheitsamt - Nachbeprobung - Beurteilung durch FA Hygiene - Einbeziehung des Wasserversorgers - ggf. endständige Filter - Abklärung der Ursache bis in zentrales Wasserversorgungsnetz
Kaltwasser-Trinkwasser-Installation	- < 20 KbE/ml - < <i>E. coli</i> /100 ml - < Coliforme/100 ml - < <i>P. aeruginosa</i> /100 ml	- Meldung Gesundheitsamt - Nachbeprobung - ggf. endständige Filter im Patientenbereich
Warmwasser-Trinkwasser-Installation für Normalstation	- < 100 KbE Legionellen/100 ml - < 1 KbE <i>P. aeruginosa</i> /100 ml	- Bewertung durch FA für Hygiene - Meldung Gesundheitsamt
Wasser auf Hochrisikostationen wie Intensivstation, Hämato-Onkologische Station, Verbrennungsstation	Kaltwasser: - < 1 KbE Coliforme/100 ml - < 1KbE non-fermenter Bakterien/100 ml Warmwasser: - < 1 KbE <i>Legionellen spp.</i> /100 ml	- Bewertung durch FA für Hygiene - endständige Filter

Abb. 10: Grenz-, Richt- und Maßnahmewerte für bakterielle Indikatoren einschl. *P. aeruginosa* in Abhängigkeit von unterschiedlichen Bereichen mit Hinweisen zur Methode, Frequenz und zu den Maßnahmen (28)

Literatur

1. Nationales Referenzzentrum für die Surveillance von nosokomialen Infektionen. Deutsche nationale Punkt-Prävalenzerhebung zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung 2011 Abschlussbericht. <http://www.nrz-hygiene.de/fileadmin/nrz/download/PPS-Abschlussbericht-Stand05-08-2013final.pdf>. Published 2013. Accessed May 23,2018.
2. Nationales Referenzzentrum für die Surveillance von nosokomialen Infektionen. Deutsche nationale Punkt-Prävalenzerhebung zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung 2016 Abschlussbericht. http://www.nrz-hygiene.de/fileadmin/nrz/download/paps2016/PPS_2016_Abschlussbericht_20.07.2017.pdf. Published 2017. Accessed May 23,2018.
3. Siegel JD, Rhinehart E, Jackson M, Chiarello L, the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee. Management of Multidrug-Resistant Organisms In Healthcare Settings,2006.<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/mdro/>. Last updated July 15,2017. Accessed May 23,2018.
4. WHO/CDS/CSR/EPH. Prevention of hospital-acquired infections: a practical guide 2nd edition. http://www.who.int/csr/resources/publications/drugresist/WHO_CDS_CSR_EPH_2002_12/en/. Published December, 2002. Accessed May 23,2018.
5. European Centre for Disease Prevention and Control. Incidence and attributable mortality of healthcare-associated infections in intensive care units in Europe, 2008-2012. ECDC. 2018. doi: 10.2900/118774
6. Holmes C, Cervia JS, Ortolano GA, et al. Preventive efficacy and cost-effectiveness of point-of-use water filtration in a subacute care unit. *Am J Infect Control*. 2010;(38):69-71. doi:10.1016/j.ajic.2009.04.284
7. Sheffer PJ, Stout JE, Wagener MM, et al. Efficacy of new point-of-use water filter for preventing exposure to Legionella and waterborne bacteria. *Am J Infect Control*. 2005;(33):20-25. doi:10.1016/j.ajic.2005.03.012
8. WHO. Global priority list of antibiotic-resistant bacteria to guide research, discovery, and development of new antibiotics. <http://www.who.int/medicines/publications/global-priority-list-antibiotic-resistant-bacteria/en/>. Published February 27,2017. Accessed May 25, 2018.
9. Rugues A-M, Boulestreu H, Lashéras A, et al. Contribution of tap water to patient colonisation with *Pseudomonas aeruginosa* in a medical intensive care unit. *J Hosp Infect*. 2007;(67): 72-78. doi: 10.1016/j.jhin.2007.06.019
10. European Centre for Disease Prevention and Control. Surveillance Report: Surveillance of antimicrobial resistance in Europe 2016. Annual Report of the European Antimicrobial Resistance Surveillance Network (EARS-Net). ECDC. 2017. doi: 10.2900/296939
11. Benin AL, Beson RF, Besser RE. Trends in Legionnaires Disease, 1980-1998: Declining Mortality and New Patterns of Diagnosis. *Clin Infect Dis*. 2002;35(9): 1039-1046. doi: 10.1086/342903
12. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. KISS Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System, Modul NEO-KISS, Referenzdaten, Berechnungszeitraum: Januar 2004 bis Dezember 2008. http://www.nrz-hygiene.de/fileadmin/nrz/module/neo/200401_200812_NEO_reference.pdf. Published March 9,2009. Accessed May 29,2018.
13. Gastmeier P, Geffers C, Herrmann M, et al. Nosokomiale Infektionen und Infektionen mit multiresistenten Erregern – Häufigkeit und Sterblichkeit. *Dtsch Med Wschr*. 2016;141(06): 421-426. doi: 10.1055/s-0041-106299
14. Cassini A, Plachouras D, Eckmanns T, et al. Burden of Six Healthcare-Associated Infections on European Population Health: Estimating Incidence-Based Disability-Adjusted Life Years through a Population Prevalence-Based Modelling Study. *PLoS Med*. 2016;13(10): e1002150. doi:10.1371/journal.pmed.1002150
15. Vianelli N, Giannini MB, Quarti C, et al. Resolution of a *Pseudomonas aeruginosa* outbreak in a hematology unit with the use of disposable sterile filters. *Haematologica*. 2006;91(7): 983-985. <http://www.haematologica.org/content/91/7/983.long>. Published July 1, 2006. Accessed May 29,2018.
16. Barna Z, Antmann K, Pászti J, et al. Infection control by point-of-use water filtration in an intensive care unit – a Hungarian case study. *J Water Health*. 2014;12(4): 858-867. doi: 10.2166/wh.2014.052
17. Zhou ZY, Hu BJ, Qin L, et al. Removal of waterborne pathogens from liver transplant unit water taps in prevention of healthcare-associated infections: a proposal for a cost-effective, proactive infection control strategy. *Clin Microbiol Infect*. 2014;(20): 310-314. doi: 10.1111/1469-0691.12299
18. Vonberg R-P, Eckmanns T, Bruderek J, et al. Use of terminal tap water filter systems for prevention of nosocomial legionellosis. *J Hosp Infect*. 2005;(60): 159-162. doi: 10.1016/j.jhin.2004.10.018 2002. Accessed May 23,2018.

Literatur

19. Trautmann M, Halder S, Hoegel J, et al. Point-of-use water filtration reduces endemic *Pseudomonas aeruginosa* infections on a surgical intensive care unit. *Am J Infect Control*. 2008;36(6): 421-429. doi: 10.1016/j.ajic.2007.09.012
20. Francois Watkins LK, Toews K-AE, Harris AM, et al. Lessons From an Outbreak of Legionnaires' Disease on a Hematology-Oncology Unit. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2017;(38): 306-313. doi: 10.1017/ice.2016.281
21. Cervia JS, Farber B, Armellino D, et al. Point-of-use water filtration reduces healthcare-associated infections in bone marrow transplant recipients. *Transpl Infect Dis*. 2010;(12): 238-241. doi: 10.1111/j.1399-3062.2009.00459.x
22. Kovacs-Litman A, Wong K, Shojania KG, et al. Do Physicians Clean Their Hands? Insights From a Covert Observational Study. *J Hosp Med*. 2016;11(12): 862-864. doi: 10.1002/jhm.2632
23. Totaro M, Valentini P, Casini B, et al. Experimental comparison of point-of-use filters for drinking water ultrafiltration. *J Hosp Infect*. 2017;(96): 172-176. doi: 10.1016/j.jhin.2016.11.017
24. Loveday HP, Wilson JA, Kerr K, et al. Association between healthcare water systems and *Pseudomonas aeruginosa* infections: a rapid systematic review. *J Hosp Infect*. 2014;(86): 7-15. doi: 10.1016/j.jhin.2013.09.010
25. Walker J, Moore G. *Pseudomonas aeruginosa* in hospital water systems: biofilms, guidelines, and practicalities. *J Hosp Infect*. 2015;(89): 324-327. doi: 10.1016/j.jhin.2014.11.019
26. Exner M, Kramer A, Lajoie L, et al. Prevention and control of health care-associated waterborne infections in health care facilities. *Am J Infect Control*. 2005;33(5) Supplement I: 26-40. doi: 10.1016/j.ajic.2005.04.002
27. Springston JP, Yocavitch L. Existence and control of *Legionella* bacteria in building water systems: A review. *J Occup Environ Hyg*. 2017;14(2): 124-134. doi: 10.1080/15459624.2016.1229481
28. Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH). Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasser-assoziiierter *Pseudomonas aeruginosa*-Infektionen; Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene. *Hyg Med*. 2016; 41- Suppl.2. https://www.krankenhaushygiene.de/ccUpload/upload/files/2016_09_Empfehlung_Paeruginosa_DGKH.pdf. Published 2016. Accessed June 7, 2018.
29. Robert Koch Institute (RKI). Empfehlung zur Prävention nosokomialer Infektionen bei neonatologischen Intensivpflegepatienten mit einem Geburtsgewicht unter 1500g; Mitteilung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert-Koch-Institute. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforsch Gesundheitschutz*. 2007;(50): 1265-1303. doi: 10.1007/s00103-007-0337-0
30. RKI. Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten; Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention beim Robert-Koch-Institut (RKI). *Bundesgesundheitsblatt*. 2010;(53): 357-388. doi: 10.1007/s00103-010-1028-9
31. Simon A, Schmitt-Grohe S, Erdmann U, et al. Anforderungen an die Hygiene bei der medizinischen Versorgung von Patienten mit Cystischer Fibrose (Mukoviszidose). https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/Krankenhaushygiene/Kommission/Downloads/Mukoviszidose_AG.pdf?__blob=publicationFile. Published 2012. Accessed June 8, 2018.
32. Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, juris GmbH. Verordnung über Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung – TrinkwV 2001). *Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BFBI. I S. 459), die zuletzt durch Artikel 1 der Verordnung vom 3. Januar 2018 (BGBl. I S.99) geändert worden ist*. https://www.gesetze-im-internet.de/trinkwv_2001/TrinkwV_2001.pdf. Published May 21, 2001. Accessed June 8, 2018.
33. Kistemann T, Schreiber C, Völker S. BMBF-Projekt: Förderkennzeichen 02WT0832–Vorkommen mikrobieller Trinkwasserkontaminationen in Hausinstallation In: Fleming H-CH, editor. Vermeidung und Sanierung von Trinkwasser-Kontaminationen durch hygienisch relevante Mikroorganismen aus Biofilmen der Hausinstallation. *IWW-Schriftenreihe*, 2010:3–100.

Literatur

34. Annette E. LaBauve and Matthew J. Wargo* Growth and Laboratory Maintenance of *Pseudomonas aeruginosa*, *Curr Protoc Microbiol.* 2012 May; 0 6: Unit–6E.1..
35. W. V. Kayser, K. C. D. Hickman, W. W. Bond,* M. S. Favero and L. A. Carson - Bacteriological Evaluation of an Ultra-Pure Water-Distilling System- *APPU LD MICROBIOLOGY*, Oct. 1975, p. 704-706 Copyright©1975 American Society for Microbiology
36. Axel Kramer, Ingeborg Schwebke and Günter Kampf - How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. *BMC Infect Dis.* 2006; 6: 130.
37. Richa Shrivastava, R.K. Upreti, S.R. Jain, K.N. Prasad, P.K. Seth and U.C. Chaturvedia - Suboptimal chlorine treatment of drinking water leads to selection of multi-drug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* - *Ecotoxicol Environ Saf.* 2004 Jun;58(2):277-83
38. Nordmann P, Naas T., Poirel L. - Global spread of Carbapenemase-producing Enterobacteriaceae, *Emerg Infect Dis.* 2011 Oct;17(10):1791-8. doi: 10.3201/eid1710.110655.
39. Ryan MP, Pembroke JT, Adley CC. - *Ralstonia pickettii*: a persistent gram-negative nosocomial infectious organism. *J Hosp Infect.* 2006 Mar;62(3):278-84. Epub 2005 Dec 6.
40. C. Adley, *Ralstonia pickettii*: biofilm formation in high-purity water - Joseph Tony Pembroke
41. Ortolano G A, McAlister M B, Angelbeck J A, Schaffer J, Russell R L, Maynard E, Wenz B - Hospital water point-of-use filtration: A complementary strategy to reduce the risk of nosocomial infection; *AJIC Vol.33 No. 5*, 2004
42. Davies D G, Geesey G G; Regulation of the alginate biosynthesis gene *algC* in *Pseudomonas aeruginosa* during biofilm development in continuous culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 61: 860-867
43. Rodney M. Donlan and J. William Costerton, Biofilms: Survival Mechanisms of Clinically Relevant Microorganisms - *CLINICAL MICROBIOLOGY REVIEWS*, Apr. 2002, p. 167–193
44. Michael J. Federle, Bonnie L. Bassler - Interspecies communication in bacteria, *J Clin Invest.* 2003;112(9):1291-1299. <https://doi.org/10.1172/JCI20195>.
45. Empfehlung der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH) 2016, Aus „Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasser-assoziiierter *Pseudomonas aeruginosa*- Infektionen“
46. Umweltbundesamt 2109 <https://www.umweltbundesamt.de/trinkwasser-aufbereiten#textpart-2>
47. Bericht des Bundesministeriums für Gesundheit und des Umweltbundesamtes an die Verbraucherinnen und Verbraucher über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch* (Trinkwasser) in Deutschland 2014 – 2016 -Berichtszeitraum: 1. Januar 2014 bis 31. Dezember 2016 gemäß § 21 Trinkwasserverordnung anhand des Formats für die Berichterstattung der zuständigen obersten Landesbehörden (*Bundesgesundheitsblatt* 2013-56:1191-1215)
48. Apinya Pumpuang, Narisara Chantratita, Chanthiwa Wikraiphat, Natnaree Saiprom, Nicholas P.J.Day, Sharon J.Peacock, Vanaporn Wuthiekanun - Survival of *Burkholderia pseudomallei* in distilled water for 16 years, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, Volume 105, Issue 10, October 2011, Pages 598-600
49. S.Oie, M.Oomaki, K.Yorioka, T.Tatsumi, M.Amasaki, T.Fukuda, H.Hakuno, K.Nagano, M.Matsuda, N.Hirata, N.Miyano, A.Kamiya - Microbial contamination of 'sterile water' used in Japanese hospitals, *Journal of Hospital Infection* Volume 38, Issue 1, January 1998, Pages 61-65
50. DVGW twin Nr. 06 Durchführung der Probennahme zur Untersuchung des Trinkwassers auf Legionellen (ergänzende systemische Untersuchung von Trinkwasser-Installationen)
51. Empfehlung des Umweltbundesamtes (UBA): Empfehlung zu erforderlichen Untersuchungen auf *Pseudomonas aeruginosa*, zur Risikoeinschätzung und zu Maßnahmen beim Nachweis im Trinkwasser Empfehlung des Umweltbundesamtes nach Anhörung der Trinkwasserkommission - Stand 13. Juni 2017.



membrane

bringing power to separation

Autor Vorwort:
Dr. med. Johannes Tatzel
Institut für Krankenhaushygiene
Kliniken Landkreis Heidenheim gGmbH

i3 Membrane GmbH - Theodorstr. 41 P - DE-22761 Hamburg
info@i3membrane.de - www.i3membrane.de
Tel.: 040-2576748-0 - Fax: 040-2576748-48