

Untersuchung zur Wirksamkeit der „Aquadex“-Elektrolyseanlage

Elektrolytische Trinkwasserdesinfektion

Die mikrobiologische Kontamination in gebäudeinternen Leitungssystemen wird u. a. durch höhere Temperaturen, hohe Leitungsquerschnitte mit langen Wegstrecken, Stagnationsphasen usw. begünstigt. Zum Schutz der Trinkwasserverbraucher vor Krankheitserregern wie Legionellen, Pseudomonaden etc. sind geeignete Desinfektionsmaßnahmen erforderlich. Wie wirksam hierbei die von Aqua* entwickelte „Aquadex“-Elektrolyseanlage ist, zeigen die Ergebnisse einer aktuellen Untersuchung.

Von den Wasserwerken Deutschlands wird Trinkwasser als Lebensmittel in der gesetzlich vorgeschriebenen Qualität (Trinkwasserverordnung TVO) bis zur Übergabestelle (Wasserzähler) eines Gebäudes geliefert. Das Trinkwasser der Wasserwerke wird kontinuierlich allen erforderlichen laboranalytischen Tests unterworfen, um die Einhaltung der Grenzwerte der TVO zu garantieren. Die Übergabestelle von den Wasserversorgern zu den Gebäudebetreibern ist durch den Wasserzähler definiert. Dies bedeutet im wesentlichen,

daß der Eigentümer/Betreiber dafür Sorge tragen muß, Wasser mit Trinkwasserqualität in seinem Gebäude zu gewährleisten. Die mikrobiologische Kontamination in gebäudeinternen Leitungssystemen wird u. a. durch höhere Temperaturen (> 20 °C), hohe Leitungsquerschnitte mit langen Wegstrecken, Stagnationsphasen sowie Kurzschlüsse Kaltwasser/Warmwasser usw. begünstigt. Die daraus resultierende Belastung des Trinkwassers mit wassergängigen pathogenen Keimen ist unübersehbar. Zum Schutz der Trinkwasserverbraucher (Bade Gäste, Patienten, Altenheimbewohner usw.) vor solchen Krankheitserregern (wie Legionellen, Pseudomonaden, atypische Mykobakterien, Cryptosporidien usw.) sind

entsprechende gebäudeangepaßte regelmäßige Untersuchungen und Desinfektionsmaßnahmen erforderlich.

Wirkungsweise der elektrolytischen Desinfektion

Neben den Verfahren der thermischen Desinfektion, der chemischen Grunddesinfektion sowie der permanent wirkenden UV-Desinfektion stellt sich ein weiteres permanentes Verfahren als besonders wirkungsvoll dar, da es eine Vorhalte- bzw. Depotwirkung aufweist. Es handelt sich um ein elektrolytisches Verfahren, bei dem aus den natürlichen Wasserinhaltsstoffen die Desinfizienzien generiert werden. Die elektrolytische Desinfektion beruht auf der Erzeugung von desinfizierend wirkenden Stoffen aus dem Wasser selbst und seinen natürlichen Inhaltsstoffen. Hauptwirkstoffe sind dabei unterchlorige Säure, Sauerstoff sowie in Mindermengen Wasserstoffperoxid und Ozon. Die Effizienz der elektrolytischen Desinfektion beruht nicht nur auf der ausschließlichen Wirkung der einzelnen Desinfizienzien, sondern auch auf deren Kombinationen und den sich daraus ergebenden Wechselwirkungen und Wirkergänzungen. So ist es zu erklären, daß selbst bei Unterschreitung z. B. der elektrolytisch erzeugten Konzentration an unterchloriger Säure unter den minimalen Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 0,1 mg/l ein sicheres Absterben von schädlichen Mikroorganismen nachzuweisen ist. Mit Hilfe der elektrolytischen Desinfektion lassen sich nicht nur zuverlässig die Keimzahlen planktonischer, speziell auch pathogener Mikro-



Bild 1 Aufbau einer Elektrolysezelle

* Aqua Butzke-Werke, 14962 Ludwigsfelde, Telefon (0 33 78) 81 80, Telefax (0 33 78) 81 81 00

Funktionsprinzip der „Aquadex“-Anlage

Die von Aqua entwickelte „Aquadex“-Elektrolyseanlage wird installationsseitig generell im Bypass betrieben. Aus der im Funktionsschema in Bild 2 dargestellten Zirkulationsleitung wird ein Teil des zu desinfizierenden Wassers über eine Zirkulationspumpe (11) entnommen. Während des Arbeitens der Elektrolysezelle (2) wird ständig die Temperatur (8), die Durchflussmenge (6) und die Leitfähigkeit des Wassers (7) gemessen. Die in der Elektrolysezelle im Bypassstrom erzeugten Wirkstoffe werden in den Hauptstrom eingemischt. Über eine Chlormeßtechnik wird die Konzentration an freiem Chlor an zwei Meßpunkten erfaßt – zum einen nach dem Einmischen in den Hauptstrom und am Ende der Zirkulationsleitung. Hierzu wird das jeweilige Meßwasser über Magnetventile gesteuert an die Chlormeßzelle (3) geführt. Alle Meßwerte werden in der Steuereinheit registriert, über die integrierte intelligente Software ausgewertet und für die Steuerung der Anlage genutzt. Der im Hauptstrom anliegende Wert für die Konzentration an „freiem Chlor“ ist die wichtigste Kenngröße für die Steuerung der Elektrolysezelle. Durch Veränderung der Stromstärke bzw. über An- und Abschaltung wird freies Chlor

im Grenzwertbereich (0,1 – 0,3) mg/l produziert. Die für die elektrolytische Desinfektion notwendige Erzeugung von unterchloriger Säure ist abhängig von der Chloridionen-Konzentration des Wassers. Eine effiziente Betriebsweise erfordert Chloridkonzentrationen von > 20 mg/l. Enthält das zu desinfizierende Wasser diesen Mindestgehalt an Chloridionen nicht, ist eine zusätzliche Zufuhr von Natriumchlorid (Kochsalz) in das der Elektrolyse zu unterziehende Bypass-Wasser erforderlich. Op-

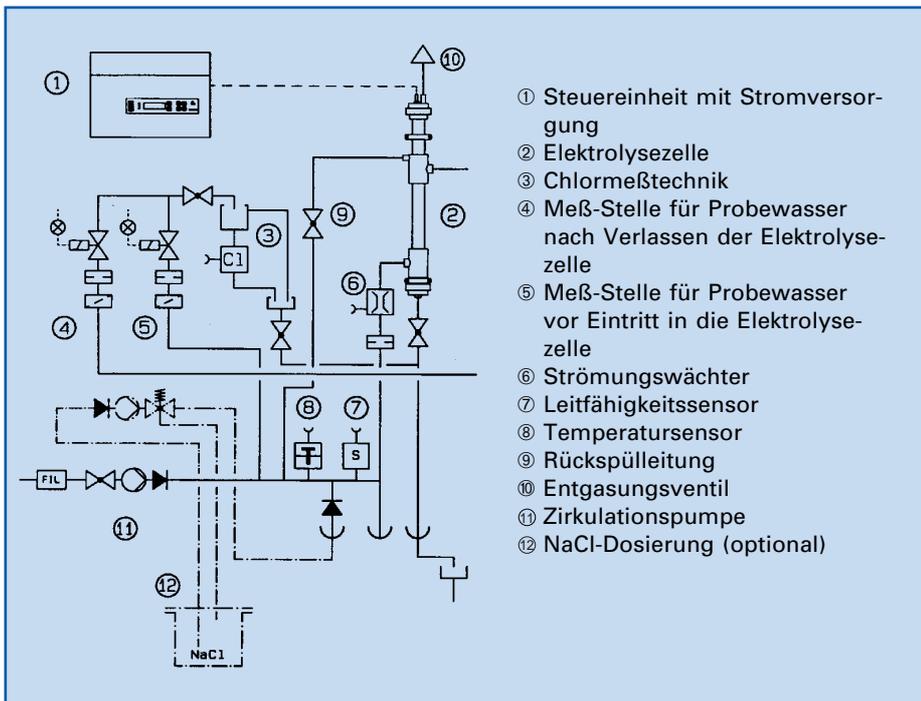


Bild 2 Funktionsschema einer „Aquadex“-Elektrolyseanlage

organismen um den für eine Desinfektion erforderlichen Reduktionsfaktor 5 (RF 5 = die Reduzierung der Keimzahl um 5 Zehnerpotenzen) reduzieren, sondern auch Biofilme zumindest mittelfristig abbauen. Eine hervorzuhebende Besonderheit der elektrolytischen Desinfektion ist die Funktionsweise ohne Stoff- und Chemikalieneintrag und ohne die Stoffbilanz des Trinkwassers sowie dessen sensorische Eigenschaften bleibend zu verändern. Es treten weder Farb-, noch Geschmacks- und Geruchsveränderungen auf.

Im Mittelpunkt aller desinfizierend wirkender Stoffe steht das anodisch erzeugte Chlor, vorwiegend in der Form unterchloriger Säure. Die Konzentration von Chlor/unterchloriger Säure korreliert mit der Desinfektionswirkung und wird daher ständig überwacht. Mittels geeigneter Sensoren sowie einer Meßwerterfassung und -verarbeitung ist es möglich, die Anlage in ihrem Betrieb so zu steuern, daß sie unter allen relevanten Betriebszuständen eine optimale Desinfektionsleistung erbringt. Ein derartiges System benötigt moderne Meß- und Regeltechnik, die Daten ermittelt, aus-

wertet, entsprechende Prozesse einleitet und z. B. zur Protokollierung und Überwachung über Modemfunktionen mit der Gebäudeleittechnik verbunden ist.



Bild 3 Elektrolyseanlage als vorgefertigte, kompakte Montageeinheit im Wandschrank aus Edelstahl

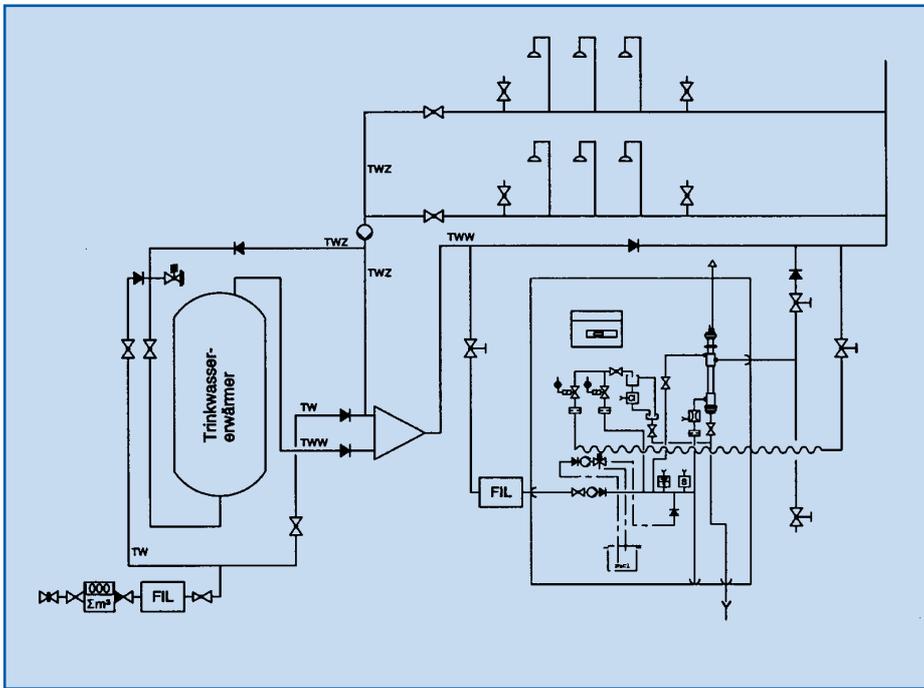


Bild 4 Strangschema mit Einbindung der Elektrolyseanlage in das Zirkulationssystem

tional läßt sich für eine derartige Zudosierung die Elektrolyseanlage mit einer Kochsalzsole-Dosiereinheit ausstatten. Zur Bestimmung der Chloridionen-Konzentration wird die Leitfähigkeit des Wassers im Bypass über einen Sensor (7) ständig überwacht. Bei Unterschreitung eines die Chloridionen-Konzentration repräsentierenden Wertes der elektrischen Leitfähigkeit wird über die Steuereinheit eine Dosierpumpe (12) zugeschaltet, die aus einem Vorlagebehälter Kochsalzsole bis zum stabilen Einstellen der vorgewählten Chloridionen-Konzentration in das Bypass-Wasser injiziert.

Vorlauftemperaturen von über 70° C, z. B. bei einer thermischen Desinfektion, über einen Zeitraum von mehreren Minuten würden beim Betrieb der Elektrolyseanlage die Spezialelektroden der Elektrolysezelle schädigen. Um dies auszuschließen, überwacht ein Sensor (8) permanent die Reaktortemperatur und schaltet bei Überschreitung eines vorgegebenen Maximalwertes die Zirkulationspumpe und die anliegende Spannung an der Elektrolysezelle ab.

Sämtliche Betriebszustände und Anlagenfunktionen der Elektrolyseeinheit werden überwacht und protokolliert. Alle Meßwerte, Steuersignale und Regelvorgänge werden in der Automationsstation hinterlegt und können regelmäßig für Auswertungen und Protokollzwecke abgerufen werden. So

sind z. B. Abfragen per Modem oder Aufschaltungen auf Systeme der Gebäudeautomation möglich. Mit Hilfe dieser Technologie werden eventuell erforderliche Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten schnell erkannt und können besonders effizient durchgeführt werden.

Aktuelle Untersuchungen zur Wirksamkeit

Das von Aqua entwickelte Verfahren zur Elektrolytischen Trinkwasserdesinfektion „Aquadec“ wurde einer systematisch wissenschaftlichen Untersuchung hinsichtlich der damit erreichbaren Abtötung von bakteriellen Infektionserregern unterzogen. Dabei standen sowohl der Einfluß elektrolytisch behandelten Wassers auf die Reduzierung vorhandener planktonischer Keime als

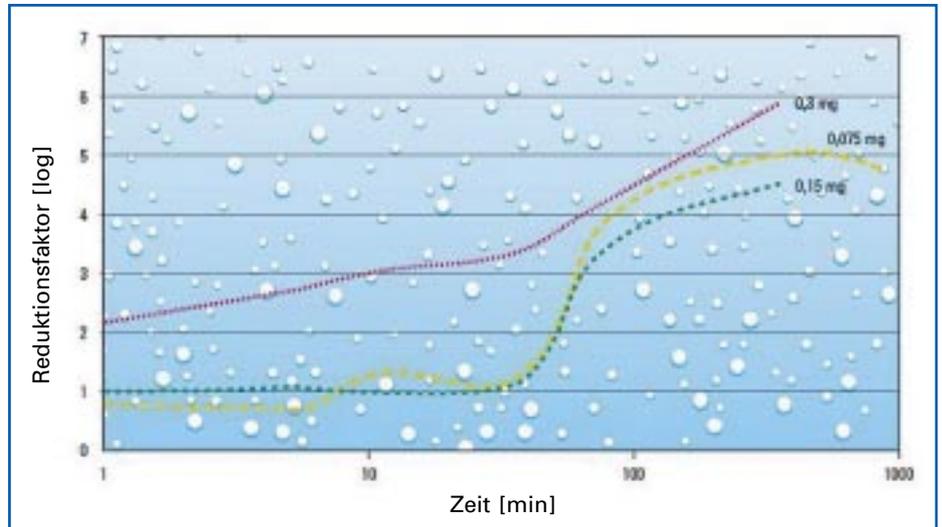


Bild 5 Reduktion von Pseudomonas aeruginosa im Trinkwasser durch elektrolytisch hergestelltes Chlor

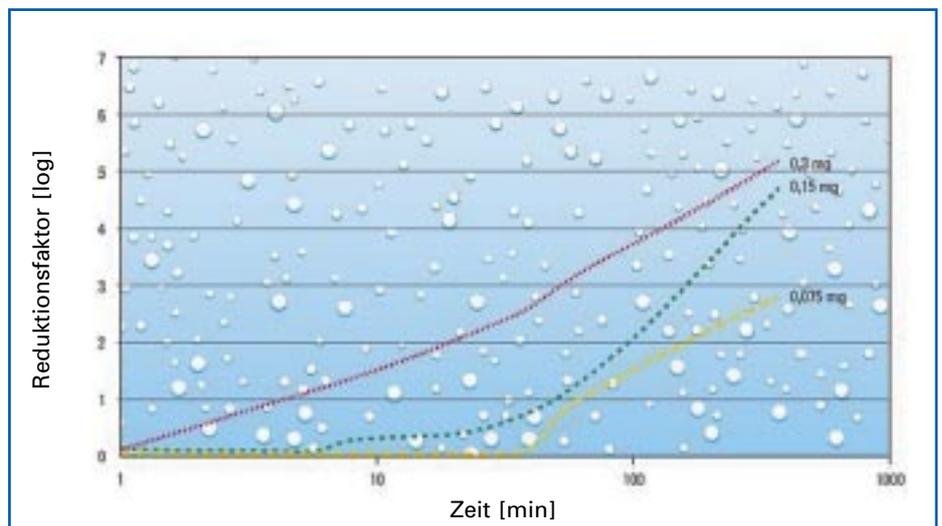


Bild 6 Reduktion von Legionella pneumophila im Trinkwasser durch elektrolytisch hergestelltes Chlor

auch die Wirkung auf den durch die Mikroorganismen gebildeten Biofilm im Mittelpunkt des Interesses. Über einen Gesamtzeitraum von sieben Monaten erfolgte die hygienetechnische Prüfung des Verfahrens Aquades Elektrolyse am Hygiene-Institut der Dr.-Horst-Schmidt-Kliniken GmbH in Wiesbaden mit der Zielsetzung einer Wirksamkeitsbewertung. Während dieses Zeitraumes wurden die Desinfektionswirkstoffe Chlor, Sauerstoff und Wasserstoff in der Anlage mittels Elektrolyse kontinuierlich produziert und in unterschiedlichen Konzentrationen auf ihre desinfizierende Wirkung untersucht.

Einfluß auf Krankheitserreger

Untersuchungsgegenstand waren die im Trinkwasserbereich besonders häufig vorkommenden Bakterienarten *Legionella pneumophila* und *Pseudomonas aeruginosa*. Die Bakterien der Spezies *Pseudomonas aeruginosa* wurden über 48 h bei $36 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ angezüchtet und die versuchsspezifisch erforderlichen Koloniezahlen eingestellt. Die Anzucht der Spezies *Legionella pneumophila* erfolgte über einen Zeitraum von 7 Tagen bei $36 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ mit der ebenfalls erforderlichen Einstellung der Koloniezahlen. Definierte Konzentrationen des – mit Hilfe der Elektrolyseanlage – in Trinkwasser elektrolytisch erzeugten Chlors wurden in Konzentrationen zwischen $0,075 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ und $0,6 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ hergestellt und mit einer Keimzahl von 10^6 – 10^7 KBE/ml (koloniebildende Einheiten pro Milliliter) beimpft. Die hierzu ausgewählten Stämme der Bakterienarten *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 15 442) und *Legionella pneumophila* (Serogruppe 1, Wildstamm) zählen zu den häufigsten bzw. infektiologisch bedeutsamsten Krankheitserregern aus aquatischen Systemen. Bei *Pseudomonas aeruginosa* ermöglicht ein ATCC-Stamm die Vergleichbarkeit mit bereits publizierten Untersuchungen, während ein Wildtyp von *Legionella pneumophila* direkt aus einem Trinkwasserversorgungsnetz isoliert wurde. Zur Durchführung der für den Wirkungsvergleich beider Behandlungsmethoden gegenüber gewaschenen Zellen beider Bakterienspezies erforderlichen Reduktionsversuche stand mit dem „Quantitativen Suspensionstest“ ein anerkanntes Standardver-

fahren der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie zur Verfügung.

Wirkung von elektrolytisch erzeugtem Chlor

Elektrolytisch erzeugtes Chlor erreicht eine signifikant höhere Wirksamkeit bei einer Konzentration von $0,3 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ im Vergleich zu $0,15 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ sowohl im Niveau des konzentrationsbezogenen Absterbeverhaltens als auch bei Betrachtung der Langzeitwirkung (360 Minuten); wobei sich eine

Einfluß auf Biofilme

Da bisher kein Standardverfahren zur Quantifizierung von Biofilmen beschrieben war, mußte dieses zunächst entwickelt werden. Hierzu wurden Biofilme der beiden Bakterienspezies *Pseudomonas aeruginosa* (vier Wildstämme) und *Legionella pneumophila* (Monokultur) angezüchtet und damit homogene Biofilm-beladene Prüfkörper hergestellt. Die Silikonoberflächen wurden mit den auf diesem Wege erzeugten Bakterien-suspensionen der Stämme *Pseudomonas ae-*

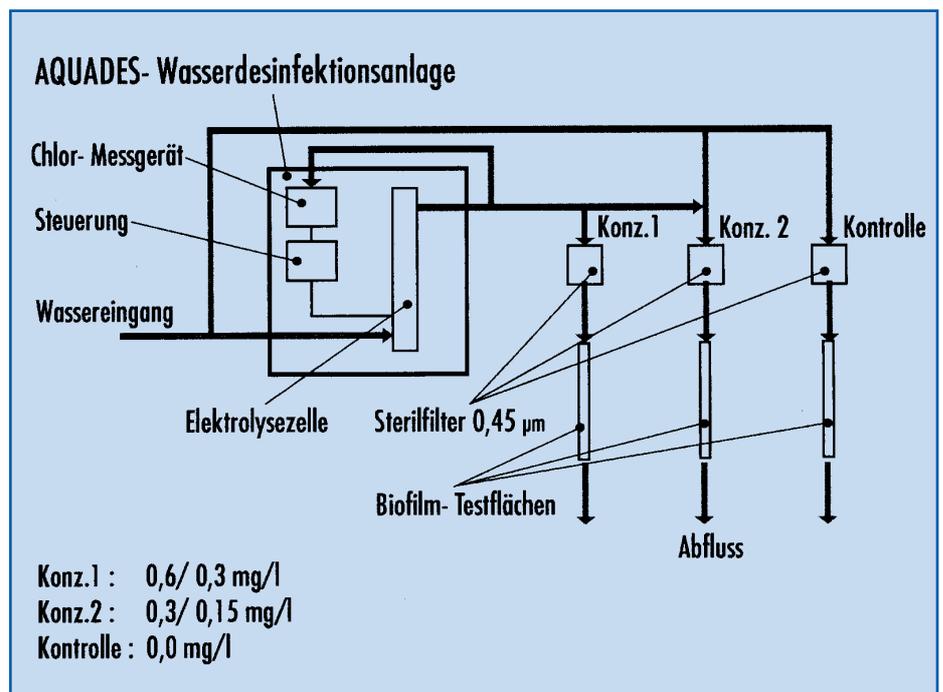


Bild 7 Versuchsaufbau zur Biofilm-Behandlung

Differenz der Reduktionsfaktoren von ca. $1,4 \log_{10}$ ($5,92$ vs. $4,54 \log_{10}$) zugunsten der $0,3 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ -Konzentration ermitteln ließ. Zwischen den Konzentrationen von $0,075$ und $0,15 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ konnte unter der Einwirkung von elektrolytisch erzeugtem Chlor kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Elektrolytisch erzeugtes Chlor erreicht eine signifikant höhere Wirksamkeit bei einer Konzentration von $0,3 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ im Vergleich zu $0,15 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ sowohl im Niveau des konzentrationsbezogenen Absterbeverhaltens als auch bei Betrachtung der Langzeitwirkung (360 Minuten); wobei sich eine Differenz der Reduktionsfaktoren von ca. $1,4 \log_{10}$ ($5,92$ vs. $4,54 \log_{10}$) zugunsten der $0,3 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ -Konzentration ermitteln ließ. Zwischen den Konzentrationen von $0,075$ und $0,15 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ konnte unter der Einwirkung von elektrolytisch erzeugtem Chlor kein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

ruginosa bzw. *Legionella pneumophila* in getrennten Ansätzen über einen Zeitraum von drei Monaten bei einer Temperatur von 23°C bebrütet; die Anzucht von *Legionella pneumophila* auf den Biofilm-Testflächen erfolgte unter Zusatz zellphysiologischer Wachstumsfaktoren. Die Quantifizierung des künstlich hergestellten Biofilms erfolgte zu verschiedenen Zeitpunkten. Wobei das einwirkende Trinkwasser in Parallelversuchen mit bzw. ohne elektrolytisch erzeugtem Chlor versetzt war. Mit Hilfe des patentrechtlich geschützten Herstellungsverfahrens von homogen mit Biofilm beladenen Prüfkörpern und der anschließenden chemischen Auflösung dieses Biofilms

Meß-Stelle	Koloniebildende Einheiten an Legionellen/ml nach Monaten					
	0	1	2	3	4	5
1	117	0	1	0	0	0
2	118	3	0	0	0	0
3	> 200	5	5	0	1	0
4	93	0	2	1	0	0
5	0	0	1	0	0	0

Quelle: AQUA Butzke-Werke

Bild 8 Dekontaminationsverlauf einer Mannschaftsduscheinrichtung mittels einer „Aquadex“-Elektrolyseanlage

einschließlich der darin fixierten gramnegativen Bakterienzellen wurde in einem abschließenden Analysenschritt die dabei freigesetzten Endotoxinaktivitäten im Standardverfahren des LAL-Tests nachgewiesen (Endotoxine sind eiweißartige Giftstoffe, die von den Bakterien produziert werden). Als Referenzstandard diente Endotoxin von *E.coli* (EC-6) entsprechend der United-States-Pharmacopoe. Diese indirekte Meßmethodik gibt Aufschluß über den Grad der Biofilm-Aktivität.

Patentrechtlich geschütztes Verfahren

Sowohl die Anzucht künstlich hergestellter homogener Biofilme aus gramnegativen Bakterien als auch die vollständige chemische Auflösung der Bakterienzellwände mit anschließender Analyse der darin enthaltenen Endotoxinaktivitäten stellt ein patentrechtlich geschütztes Verfahren dar. Unabhängig von der Art der exponierten Bakterien war in allen 4 durchgeführten Ver-

suchsreihen jeweils eine massive Zunahme der Biofilm-(Endotoxin-)Aktivität auf den Prüfkörpern nachzuweisen, welche mit nativem Trinkwasser, d.h. ohne Zusatz von elektrolytisch erzeugtem Chlor durchströmt worden waren. Zeitlich parallel hierzu ließ sich ausnahmslos in allen Versuchsreihen uniform eine im Vergleich zu den unbehandelten Prüfkörpern signifikante Reduktion der Biofilm-(Endotoxin)-Beladung unter Einfluß des elektrolytisch erzeugten Chlors nachweisen. Bei beiden Bakterienarten zeigte sich kein signifikanter Wirkungsunterschied zwischen den Chlorkonzentrationen von 0,3 und den mit 0,6 mg Cl_2/l behandelten Prüfkörper-Teilflächen. *Pseudomonas aeruginosa*: Die Halbwertszeit der Biofilmelimination unter dem verfahrenstechnisch optimierten Einsatz der Elektrolysetechnik betrug 4,9 Tage (0,3 mg Cl_2/l) bzw. 4,8 Tage (0,6 mg Cl_2/l). *Legionella pneumophila*: Der Biofilm der Spezies *Legionella pneumophila* wurde mit einer Sollkonzentrationen von 0,6 bzw. 0,3 mg Cl_2/l untersucht. Aus der exponentiell-

len Eliminationsfunktion des chlorelektrolytisch erzeugten Wirkstoffes gegenüber diesem Biofilm errechnet sich eine Halbwertszeit von 6,5 (0,6 mg Cl_2/l) bzw. 7,5 Tagen (0,3 mg Cl_2/l).

Hochwirksames Verfahren

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsergebnisse aus Langzeitbehandlungen von Biofilmen und der Resultate bei planktonischen Mikroorganismen der beiden für die Trinkwasserhygiene bedeutendsten Bakterienspezies *Pseudomonas aeruginosa* und *Legionella pneumophila* konnte die Eliminationswirkung des Verfahrens „Aquadex“ mit elektrolytisch erzeugtem Chlor als signifikant nachgewiesen werden. Aufgrund dieser Ergebnisse kann für die Betriebspraxis des Systems eine freie Chlorkonzentration zwischen 0,075 und 0,15mg Cl_2/l als sinnvolle Zielgröße empfohlen werden. Die Studie kommt zu folgendem Gesamtergebnis: Zusammenfassend ist das mit dem Trinkwasserbehandlungs-System „Aquadex“ elektrolytisch erzeugte Chlor zur Abtötung von Infektionserregern sowie zur Prävention und Elimination von vorhandenen Biofilmbelastungen in Wasseraufbereitungsmodulen bzw. -leitungsnetzen als hochwirksam zu bewerten und der Einsatz zu empfehlen. Mit diesen Ergebnissen werden die bereits seit zwei Jahren mit den „Aquadex“-Elektrolyseanlagen gesammelten praktischen Erfahrungen bestätigt: Ihr Betrieb ermöglicht eine zuverlässige Desinfektionswirkung auf planktonische Keime sowie eine zerstörende Wirkung auf deren Quelle mit dem letzten Ziel der Beseitigung von Biofilmen und der Legionellenabtötung in Trinkwasserinstallationssystemen. □

Wo... finden Sie gute Jobs



Natürlich in der Karrierebörse unter

www.shk.de