



# energie | wasser-praxis

Sonderdruck aus  
9/2006

## Effektive Entfernung des „biologischen Rasens“ – Oxidation mit maßgeschneidertem Wasserstoffperoxid

*Dr. rer. nat. Christian Schauer*  
*Dr. rer. nat. Ottmar Hofmann*



# Effektive Entfernung des „biologischen Rasens“ – Oxidation mit maßgeschneidertem Wasserstoffperoxid

Bei positiven Befunden von pathogenen Keimen in Trinkwasser-Installationen wie *Legionella pneumophila* und *Pseudomonas aeruginosa* spielt sehr oft der Biofilm („biologischer Rasen“) eine wichtige Rolle als Reservoir für diese Mikroorganismen. Dessen nachhaltige Entfernung als kurzfristige Notmaßnahme, bis das jeweilige Trinkwassernetz in der Hausinstallation saniert ist, kann durch den Einsatz von stabilisiertem Wasserstoffperoxid erheblich erleichtert werden.

Um eine mikrobielle Veränderung des Trinkwassers zu verhindern, kann es notwendig sein, die Ursache für die Verkeimung, den Biofilm (Oberflächenbewuchs), durch eine kurzfristige Grunddesinfektion (chemische Desinfektion; Oxidation) als Notmaßnahme zu entfernen (DVGW-Arbeitsblatt W 291 „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“). Das hierbei angestrebte Ziel aller Maßnahmen muss aber letztendlich eine technische Sanierung der kontaminierten Installation sein [1].

## Struktur und Vorkommen von Biofilmen

Unter einem Biofilm (biologischer Rasen) versteht man die Ansiedlung von Mikroorganismen an den Grenzflächen des Wassers. Diese Definition umfasst sowohl Flocken, wie etwa an den Grenzflächen Wasser-Luft oder Wasser-Öl, als auch an festen Oberflächen in Form von

an Filmen haftenden Zellen. Diese Aggregate werden zusammengehalten von einer Mischung aus Biopolymeren mikrobiellen Ursprungs, den so genannten extrazellulären polymeren Substanzen (EPS, ein bis zwei Prozent). Zum überwiegenden Teil besteht er aber aus Wasser (85 bis 97 Prozent der Feuchtmasse) und enthält  $10^9$ - $10^{11}$  Mikroorganismenzellen pro Milliliter.

Die Abkürzung EPS steht für verschiedene Klassen von Makromolekülen wie Polysaccharide, Proteine, Nucleinsäuren, (Phospho)lipide, die im interzellulären Raum der Biofilme nachgewiesen wurden. In die EPS können aber auch anorganische Stoffe (mineralische Ablagerungen) eingelagert sein. Diese Bestandteile sind verantwortlich für den Zusammenhalt der Zellen und die Morphologie dieser Gel-Matrix, in der die Zellen leben. Somit bildet die EPS das so genannte Haus der Mikroorga-

nismen (Schutzbarriere). Die EPS schützen vor kurzfristigen Änderungen der äußeren Bedingungen (pH-Wert, Temperatur, Strahlung, Strömungsbedingungen, Bioziden) und ermöglichen eine Anreicherung von Nährstoffen aus dem umgebenden Wasser. Selbst bei Abwesenheit von Nährstoffen können die Stoffwechselaktivitäten der Zellen noch über Tage aufrechterhalten werden [2]. Das System eines auf einer festen Oberfläche wachsenden Biofilms zerfällt im Wesentlichen in drei Teile:

- feste Oberfläche
- Biofilm
- flüssige Phase (Bulkphase)

Die Struktur der Gelmatrix (Biofilm) kann relativ komplex sein. Der einfachen Vorstellung eines homogenen Gels kommen Zahnbeläge am nächsten. Im Plaque sind Mikroorganismen relativ dicht in Mikrokolonien angeordnet, zwischen denen sich keine ausgedehnten Kanäle befinden. Die häufigste Biofilmstruktur, die man in der Natur findet, ist von vergleichsweise großen Kanälen durchzogen. Häufig wächst direkt auf der Oberfläche ein zusammenhängender, dichter Basisbiofilm, auf dem größere Aggregate aufwachsen. Man spricht in diesem Fall vom mushroom model, da die Biofilmaggregate oft pilzartige Strukturen ausbilden (Abb. 1).

In dieser Struktur sind größere Aggregate nur über dünne Stiele mit der Oberfläche verbunden. Durch die sich dadurch ausbildenden Kanäle können auch in dicken Biofilmen noch ausreichend Nährstoffe und Sauerstoff transportiert werden. Die Schicht-

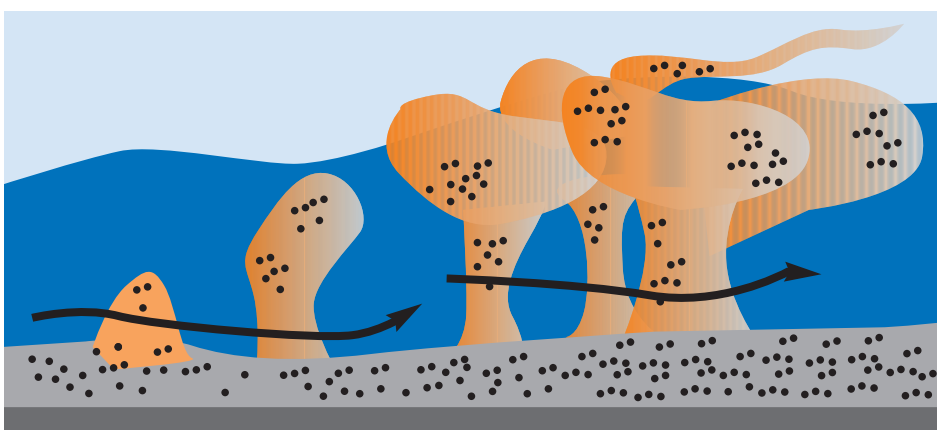


Abb. 1: Aufbau eines Biofilms gemäß dem „mushroom model“

Quelle: [3]

dicken solcher Biofilme reichen von einigen 100 µm bis zu einigen Millimetern. Tiefenaufgelöste mikroskopische Untersuchungen an Abwasserbiofilmen haben beispielsweise gezeigt, dass die flächenbezogene Porosität im Basisbiofilm bei 30 Prozent und im Oberflächenbiofilm bei 90 Prozent liegt. Die Kanäle im Oberflächenbiofilm lassen sich in Mikroporen mit Durchmessern von etwa 10 µm und Makroporen einteilen, die einen Durchmesser von 20 bis 200 µm haben können.

Eine Extremform des mushroom models ist das so genannte „heterogeneous mosaic model“, in dem sich nur dünne, filamentartige Aggregate auf dem Basisbiofilm befinden (Abb. 2). Hier wachsen nur vereinzelte Aggregate auf dem Basisbiofilm, die nicht miteinander in Kontakt stehen. Gefunden werden solche Biofilme in Trinkwasserverteilungssystemen, wobei es sich dabei überwiegend um Hausinstallationen handelt, aus denen Wasser für den menschlichen Gebrauch an Verbraucher abgegeben wird.

Welche Biofilmstruktur sich ausbildet, hängt hauptsächlich vom Nährstoffangebot und den Strömungsbedingungen ab. Hohe Nährstoffkonzentrationen führen zu dichten Biofilmen (mushroom model), wogegen sich Biofilme in sehr nährstoffarmem Wasser (Trinkwasser, Reinstwasser) am besten mit dem „heterogeneous mosaic model“ beschreiben lassen. Im Bereich mittlerer Nährstoffkonzentrationen dominiert das „mushroom model“. Die Biofilmentwicklung untergliedert sich in die Anheftung der Mikroorganismen an die Oberfläche, die Bildung von Mikrokolonien bis hin zu einem ausgebildeten „reifen“ Biofilm [3]. Die Biofilmbildung findet in natürlichen und industriellen Systemen bevorzugt in Bereichen hoher Scherkräfte (hohe Strömungsgeschwindigkeiten, Turbulenzen) statt. Unter hohen Scherkräften entwickeln sich dünne, kompakte Biofilme, die auch besonders unempfindlich gegenüber mechanischem Stress sind. Auch die Topographie der Oberfläche von Rohrleitungen beeinflusst indirekt über lokale Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit die Biofilmstruktur [4].

Biofilme sind weit verbreitet und können fast alle festen Oberflächen in der Natur besiedeln. Beispiele hierfür sind die Mikroorganismen im Boden oder Oberflächengewässern. Nach Schätzungen leben etwa 99 Prozent aller Mikroorganismen in Biofilmen, und weniger als ein Prozent des mikrobiellen Lebens entfällt auf vereinzelt in Wasser suspendierte Zellen. Auch in technischen Anlagen sowie in Trink- und Abwasserleitungen können Biofilme gefunden werden.

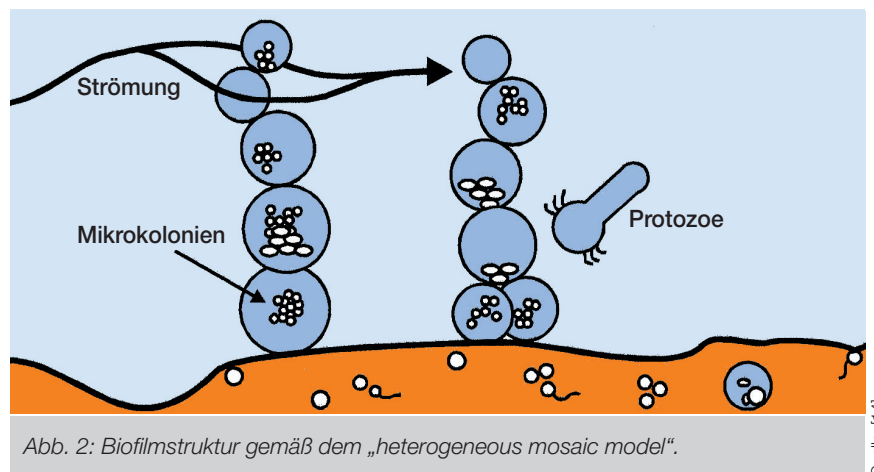


Abb. 2: Biofilmstruktur gemäß dem „heterogeneous mosaic model“.

Kommt es zu unerwünschtem Biofilmwachstum in technischen Prozessen, so spricht man von Biofouling, wobei der Begriff Fouling allgemein die negativen Auswirkungen von Ablagerungen bezeichnet [5]. Biofouling kann in fast jedem technischen System, insbesondere in Wasserkreisläufen auftreten.

Technisch und wirtschaftlich von enormer Bedeutung ist die durch Biofilme verursachte mikrobiell induzierte Korrosion (MIC). Ursache für daraus resultierende Materialschäden (u. a. Lochfraß) sind die von der Lebensfähigkeit der Bakterien (Gallionella, Nitrosomonas, sulfatreduzierende Bakterien) verursachten korrosionsfördernden Bedingungen an der Grenzfläche zwischen Gel-Matrix und Material (Änderung des elektrochemischen Potentials, Säureproduktion). Zusätzlich ist neben den rein physikalischen Auswirkungen des Biofouling, wie etwa der Erhöhung des Strömungswiderstandes oder der Beeinflussung des Wärmetauschprozesses in Wärmetauschern, natürlich auch die Herabsetzung der Wasserqualität zu nennen, die eine kontinuierliche Überwachung von Trinkwasserbehältern und -verteilungssystemen sowie von Produktionsabläufen in der Lebensmittelindustrie notwendig macht. In einigen Fällen führt Biofilmbildung nicht nur zur Anhäufung biologischen Materials auf Oberflächen, sondern unterstützt die Ausfällung von Mineralien (Scaling). Das führt zu Belägen aus biologischem und nichtbiologischem (anorganischem) Material, die teilweise nur schwer zu entfernen sind. Die Abscheidung von Kalk ist ein wichtiger Aspekt beim Scaling von Oberflächen, z. B. in Warmwasserboilern, Rohrleitungen und auf Separationsmembranen.

#### Biofilmstabilität und -ablösung

Biofilme können ein Habitat für pathogene Keime (z. B. Legionella pneumophila, Pseudomonas aeruginosa) darstellen. Die häufigsten Bereiche, in denen diese Bakte-

rien auftreten und eventuell zu Problemen führen, sind z. B. Altenheime, Krankenhäuser, Hotels, Schulen und Schwimmbäder. Als mögliches Gefährdungspotenzial für die Nutzer von Trinkwasserinstallationen verdient der Biofilm aus diesem Grund besondere Aufmerksamkeit in Hausinstallationen.

Um die beschriebenen Auswirkungen von Biofilmen auszuschließen, ist im Falle des Nachweises von pathogenen Keimen die Vermeidung der weiteren Biofilmbildung oder nachhaltige Entfernung der Biofilme (Oberflächenbewuchs) in der Wasserverteilungsanlage (Rohrleitung, Wasserspeicher etc.) erforderlich. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass eine natürliche Oberflächenbesiedlung auf allen von Trinkwasser benetzten Flächen stattfindet. Aus dieser Oberflächenbesiedlung kann sich aber ein Oberflächenbewuchs entwickeln. Da die Stabilität von Biofilmen im Wesentlichen von der EPS bestimmt wird, kann durch Beeinflussung dieser EPS-Matrix eine Biofilmbilddung (Flockenabriss) ausgelöst werden. Hier werden grundsätzlich vier Ablösungsmechanismen unterschieden:

- Abrasion
- Erosion
- Abschälen („sloughing off“)
- Abweiden durch höhere Organismen

Abrasion und Erosion bezeichnen das Herauslösen mikroskopisch kleiner Aggregate aus der Oberfläche des Biofilms. Es ist jeweils nur die oberste Schicht des Oberflächenbiofilms betroffen, dafür wirkt sich eine solche Ablösung häufig relativ gleichmäßig auf die gesamte Fläche des Biofilms aus. Während Erosion durch die Strömung und die dadurch auf den Biofilm wirkenden Scherkräfte ausgelöst wird, ist Abrasion auf die Kollision von Partikeln mit Biofilmaggregaten zurückzuführen. Unter Abschälen oder „sloughing off“ versteht man

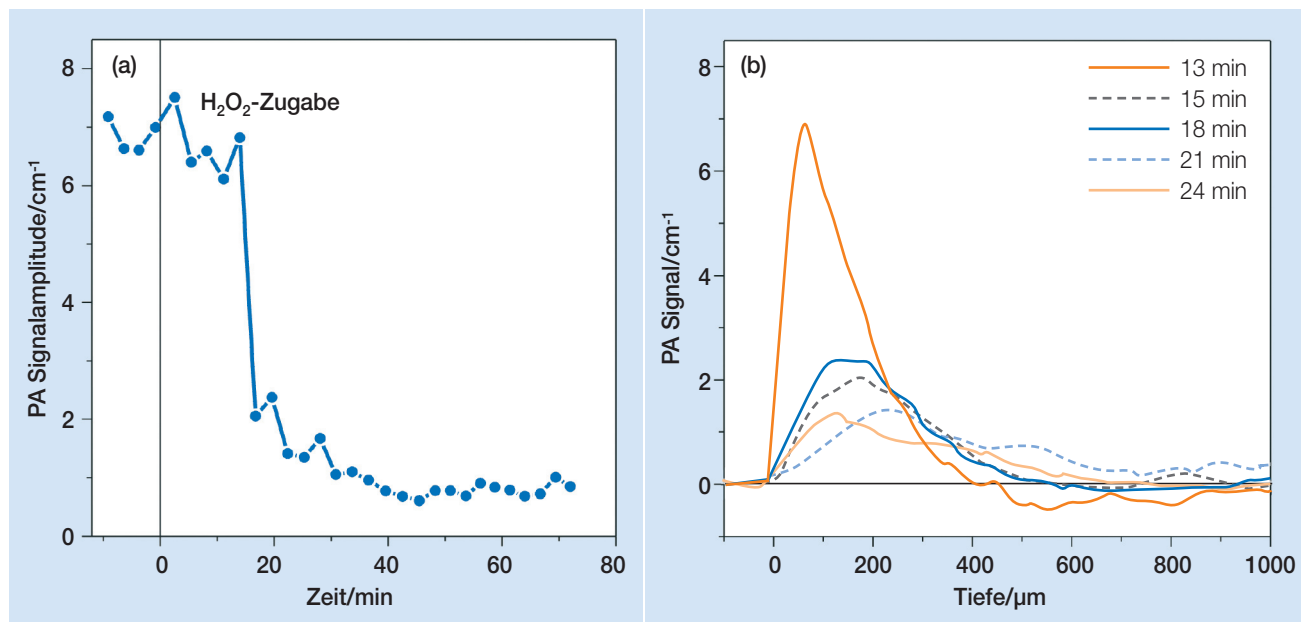


Abb. 3: Biofilmbilgung durch 200 ppm H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> mit Katalysator: Verlauf der fotoakustischen Signalamplituden (a) und der tiefenaufgelösten Messungen (b)

Quelle: [9]

das Ablösen makroskopischer Bereiche des Biofilms. Das Abschälen des Biofilms findet schrittweise räumlich begrenzt statt.

### Entfernung von Biofilmen

Übliche Maßnahmen mit der Zielstellung der Verminderung oder Verhinderung von Biofilm- und Bakterienwachstum im Trinkwasser (DVGW-Arbeitsblatt W 290 „Trinkwasserdesinfektion – Einsatz- und Anforderungskriterien“) sind die Errichtung von Keimbarrieren, z. B. Filter, Thermische Desinfektion, UV-Desinfektion und Chlordioxid-Anlagen. Diese Barrieren sollten aber erst dann eingesetzt werden, wenn im nachfolgenden Trinkwasserverteilungssystem möglichst kein oder nur noch wenig Biofilm oder Biomasse (Oberflächenbesiedlung) vorhanden ist. Dies kann, wie auch bei der Neuverlegung von Rohrleitungen, im Außenbereich, bei Hausinstallationen durch die chemische Desinfektion im Standverfahren erreicht werden (W 291 „Reinigung und Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen“). Chlor erwies sich bisher als effizientes Mittel zur Bekämpfung von Keimen im fließenden Trinkwasser, zeigt aber bei der Ablösung von Biofilmen von der Rohrwand fast gar keine Wirkung. Bei Versuchen mit Natriumchlorbleichlaugung und Chlor wurde festgestellt, dass es zwar zu einer Inaktivierung der Bakterien in der fließenden Welle und zu einer Kompression des Biofilms (Reduktion der Schichtdicke) kommt, aber nicht zu einer vollständigen Inaktivierung der im Biofilm eingebetteten Mikroorganismen oder gar zu einer Ablösung des Biofilms [6]. Ebenso gibt es bisher keine (Langzeit-)Studie über die nachhaltige Wirkung bei der Dauerdosie-

rung von Chlordioxid (zwei- bis dreimal höheres Oxidationspotenzial als Chlor), das nach mehreren Monaten trotz der sehr geringen Konzentration von 0,2 mg/l zu einer Ablösung des Biofilms führen soll.

Bei der Trinkwasserdesinfektion (W 290), d. h. bei Dauerdosierung, zeigt es in der Praxis auf jeden Fall eine nachhaltigere Wirkung als Chlor (Legionellenprophylaxe). Eine 17-monatige Studie über den Einsatz einer Chlordioxidanlage in einem Krankenhaus zeigte eine Reduktion der Legionellen um ca. 90 Prozent, aber hierfür war immerhin eine Konzentration von 0,8-1,0 ClO<sub>2</sub> ppm nötig, die weit über dem zulässigen Grenzwert liegt [7]. Das Ergebnis zeigt eine eindeutige Unterdrückung des Legionellenwachstums, aber keine Beseitigung des Biofilms. Vor allem kann bei dieser Konzentration der Grenzwert von Chlorit (0,2 mg/l) sehr leicht überschritten werden. Außerdem stellt auch das nachweislich hohe korrosive Potenzial des Chlordioxids noch ein erhebliches Problem dar. Die meisten Metalle werden in diesem Sinne von ClO<sub>2</sub> zu einer Mischung aus Oxiden und Chloriden oxidiert. Chlordioxid ist ein Radikal und ein „gelöstes“ Gas, das bei Erwärmen über 45 °C sehr leicht zerfällt [8]. Die permanente oder prophylaktische Zugabe von Desinfektionsmitteln hat aber das DVGW-Lenkungsausschuss 3 „Wasserverwendung“ als nicht sinnvoll erachtet. Eine prophylaktische Desinfektion von Trinkwasser in Hausinstallationen, die nach den Regeln der Technik errichtet und betrieben werden, ist weder notwendig noch sinnvoll und widerspricht dem Minimierungsgebot der Trinkwasser-

verordnung [1]. Während des Zeitraums einer technischen Sanierung oder bis zur Stabilität des jeweiligen Trinkwassersystems kann eine Zugabe von Desinfektionsmitteln als Notmaßnahme erfolgen.

Als interessantes Verfahren, das dem Minimierungsgebot der Trinkwasserverordnung entspricht, ist der Einsatz von UV-Anlagen zu bewerten, die zwar nur punktuell wirken, aber vor allem bei einem annähernd sauberen System als Keimbarriere oder in der Zirkulation sehr wirksam und nachhaltig sein können. Weitere Vorteile liegen in der Umweltfreundlichkeit, d. h. dem Trinkwasser muss kein chemisches Biozid zugegeben werden, die chemische Zusammensetzung des Wassers wird nicht verändert, die UV-Behandlung kann mit anderen Wasseraufbereitungsmethoden wie Umkehrosmose, Filtration problemlos kombiniert werden und ist vielfältig einsetzbar (z. B. Getränkeindustrie). Voraussetzung ist aber wiederum eine einwandfreie Trinkwasser-Installation, die in jeder Hinsicht den allgemein anerkannten Regeln der Technik entspricht. Ein effizientes Verfahren zur Entfernung des Biofilms ist der Einsatz von stabilisiertem Wasserstoffperoxid, das zur Grundreinigung von Wasserverteilungssystemen (W 291, TrinkwV 2001 § 11) verwendet werden kann. Erst kürzlich veröffentlichte Ergebnisse von Laborexperimenten unter realistischen Bedingungen mit 200 ppm eines mit einem Katalysator stabilisierten Wasserstoffperoxids (30-prozentig) im Fließverfahren zeigten, dass das Oxidationsmittel mit der EPS-Matrix reagiert und innerhalb von Minuten zum Abschälen großer, zusammenhängen-

der Biofilmbereiche führt (Abb. 3 a + b). Bei höheren  $H_2O_2$ -Konzentrationen wurde dieser Prozess beschleunigt. Bei reinem Wasserstoffperoxid (ohne Katalysator) kam es schon kurze Zeit nach der Ablösung zu einer erneuten Adsorption von Biofilmaggregaten an der festen Oberfläche [9].

Die zerstörungsfreie, tiefenaufgelöste Untersuchung (Schichtdickenbestimmung) erfolgte dabei mittels fotoakustischer Spektroskopie, die damit auf dem Gebiet des Biofilm-Monitorings erstmals ihr Potenzial aufgezeigt hat. Mit dieser Methode ist es inzwischen möglich, die Zunahme (Wachstum) und Abnahme (Flockenabriss) von Biofilmen und Ablagerungen in Echtzeit (Online) zu verfolgen.

Eine weitere Studie konnte zeigen und frühere Studien bestätigen, dass reines Wasserstoffperoxid (30-prozentig) nur zu einer unvollständigen Ablösung des Biofilms führt. Auch der reine Zusatz von Silber- und Eisenionen konnte durch den synergistischen Effekt kaum zu einer Steigerung der Biofilmbilddung beitragen. Aber es konnte eindeutig eine vermehrte Abtötung der Keime durch ein Gemisch aus Wasserstoffperoxid und Korrosionsprodukten bei zunehmender Einwirkzeit und damit zunehmender Eisenkonzentration beobachtet werden, das nach zwei Stunden zur vollständigen Abtötung aller Bakterien führte. Daraus resultierte trotz mehrmaliger Behandlung mit  $H_2O_2$  eine rasche Wiederverkeimung des Systems, d. h. je länger die Behandlung mit  $H_2O_2$  dauerte, desto mehr ließ die Wirkung des Wasserstoffperoxids nach. Die Versuche wurden mit der hygienisch relevanten Bakterienart *Pseudomonas aeruginosa* im mittlerweile bewährten Testsystem des Drehkolbenreaktors durchgeführt, was bedeutet, dass auch die hohe Adaptionsfähigkeit der Pseudomonaden in diesem Fall zu einer Inaktivierung von  $H_2O_2$  geführt hat. Dabei stellt die erhöhte Katalaseproduktion den entscheidenden Resistenzfaktor dar [10]. Dies ist einer der Gründe dafür, warum die Formulierungen allein auf der Basis von Wasserstoffperoxid nur eine durchschnittliche Wirksamkeit zeigen. Vor allem bleibt aber noch festzustellen, dass es bei der reinen Mischung von Silbersalzen und Wasserstoffperoxid zu einer Selbstzersetzung des Peroxids kommt, was sich auf dessen Wirksamkeit entscheidend auswirken kann.

### Wirkung von stabilisiertem Wasserstoffperoxid

Der Einsatz von mit einem speziellen Silbersalzkomplex stabilisiertem Wasserstoffper-

oxid (50-prozentig) erzeugt einerseits einen verstärkten synergistischen Effekt und andererseits wird die Wasserstoffperoxid-Lösung zusätzlich stabilisiert (Abbau von einem bis zwei Prozent pro Jahr). Dieses quasi „maßgeschneiderte“ Wasserstoffperoxid erzeugt nun durch dessen Abbau molekulares Sauerstoffgas, das Turbulenzen an der Oberfläche und in der Umgebung des Biofilms erzeugt und Frakturen in diesem hervorruft, die wie oben beschrieben zum Abschälen von großen Biofilmbruchstücken führen. Die abgelösten Biofilmpartikel und der sehr dünne, noch an der Rohrwand anhaftende Basisbiofilm werden anschließend während der Standzeit (auch im Fließverfahren) durch das Desinfektionsmittel leichter oxidiert. Dies wurde schon Ende der 80er-Jahre in einer Studie bestätigt, die sich mit der Biofilmbilddung verschiedener Desinfektionsmittel befasste und dabei feststellte, dass die Erstentwicklung dieses speziell stabilisierten Wasserstoffperoxids einen nachhaltigen Effekt auf die Ablösung des Biofilms ausübt. Der Grund liegt in dem gerade beschriebenen mechanischen Effekt, der zu einem regelrechten Flockenabriss führt, wodurch auch sehr viele Mikroorganismen mit der Strömung weggespült werden [11]. Der Einsatz chemischer Produkte, die vollständig wasserlöslich sind, ergibt ohne den Beitrag von mechanischer Energie kein optimales Ergebnis. Die Literatur beschreibt die Wirkmechanismen von Wasserstoffperoxid und Silbersalzen sowie vorhandene Beziehungen zwischen diesen Mechanismen. Veröffentlichte Ergebnisse zeigen, dass positiv geladene Silberionen an der Zellmembran, die negativ geladen und somit durchlässig ist, adsorbiert werden. Es erfolgt eine Eliminierung der Liposaccharide in der Membran von gram-negativen Bakterien. Anschließend reagieren die Silberionen mit den SH-Resten von Enzymen unter Bildung von Metallsulfiden. Der Komplex erzeugt mit den Silberionen auch einen synergistischen Effekt, der es ermöglicht, auf gram-positive Bakterienwände einzuwirken. Zusätzlich sind die Silberionen in der Lage, Carboxylfunktionen von Proteinen zu blockieren. Die bakterizide Wirkung des Desinfektionsmittels  $H_2O_2$  kann auf Grund folgender Reaktionen erklärt werden: Einmal wird in Gegenwart des Enzyms Myeloperoxidase in den Bakterienzellen vorhandenes Chlorid durch Wasserstoffperoxid zu Hypochlorit oxidiert, einem potenten Oxidations- und Desinfektionsmittel, das bei der Phagozytose eine entscheidende Rolle spielt. Auf der anderen Seite wirkt Wasserstoffperoxid durch die Produktion von Hydroxylradikalen ( $OH\cdot$ ). Der Desinfektionsprozess beruht somit auf drei Wirktypen: der Oxidation, der Hemmung und der

Membranveränderung. Zahlreiche Desinfektionsmittel beruhen hingegen nur auf einer dieser drei Wirkmechanismen.

In Frankreich wird gegen Legionellen Wasserstoffperoxid mit Silbersalzen zur akuten und zeitweisen Behandlung von Rohrleitungen und Wasserspeichern für Betriebswasser empfohlen. In den USA genießt Silber einen RED (registration eligibility decision)-Status. Die Wirksamkeit der stabilisierten Formulierungen mit 50-prozentigem Wasserstoffperoxid und komplexierten Silbersalzen wurde gemäß den europäischen Normen an zahlreichen Mikroorganismen (z. B. *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger* etc.) durch das Pasteur-Institut in Frankreich gezeigt. Die minimale Wirkkonzentration liegt dabei bei 100 ppm bei einer Kontaktzeit von mindestens zwölf Stunden, während eine Konzentration von zwei Prozent innerhalb von 5 bis 15 Minuten zum Absterben der Mikroorganismen führt. Das deutsche PIA-Institut hat die Wirksamkeit der Formulierung auch auf Abwässer aus Frachtschiffen bestimmt. Die IMO-Norm (International Maritime Organisation) fordert, dass nach der Behandlung und vor dem Ablassen maximal 250 *Escherichia coli* pro 100 ml vorhanden sind. Dieses Ziel wurde mit dem „maßgeschneiderten“ Wasserstoffperoxid bei einer Einwirkungszeit von 15 Minuten erreicht.

Bei Legionellen kann im Zusammenhang mit dem Biofilm eine zusätzliche Schwierigkeit auftreten. Obwohl diese Bakterien von bestimmten Protozoen phagozytiert werden, stellen die Protozoen für sie einen Zufluchtsort dar und übernehmen die Rolle von Wirtszellen. Eine klassische Desinfektion mit 0,5 mg/l Chlor müsste das Bakterium töten. Im Gegensatz dazu sind aber mehr als 50 mg/l Chlor nötig, um das Protozoon unschädlich zu machen. In der Literatur wird berichtet, dass stabilisiertes Wasserstoffperoxid auf Grund seiner Wirkung auf den Biofilm über ein breites mikrobizides Spektrum und eine lang anhaltende Wirkung verfügt und auch bei den vorher erwähnten niedrigen Anwendungskonzentrationen das Protozoon unschädlich machen kann [12].

Darüber hinaus existieren noch weitere Formulierungen des Wasserstoffperoxids, die extra für spezielle Anwendungen entwickelt wurden. Eine mögliche Erweiterung dieses mit einem Silberkomplex stabilisierten Wasserstoffperoxids ist das System mit Peressigsäure. Diese Formulierung kann auch für die Bekämpfung von katalaseproduzierenden

den Mikroorganismen (*Pseudomonas aeruginosa*) angewendet werden. Die Peressigsäure als Bestandteil ist ein starkes Oxidationsmittel und sehr reaktiv gegenüber Doppelbindungen und SH-Gruppen. Sie verstärkt die Biofilmbilddung und sie wirkt ab einem Gehalt von 0,25 Prozent bakterizid, fungizid, virizid und ab 0,35 Prozent auch sporizid. Die Peroxid/Persäure-Gemische diffundieren leicht durch die Zellmembranwände und modifizieren die Permeabilität der Cytoplasmamembranen. Es folgt eine Diffusion von gelösten Stoffen wie Kalium, Aminosäuren, Proteine, Zucker und Nucleinsäuren durch die Zellen. Das Membranpotenzial fällt ebenso ab wie die Protonentriebkraft. Dadurch wird die ATPase gehemmt, was den intrazellulären pH-Wert absenkt, einen Reproduktionsstopp und letztendlich den Zelltod bewirkt [12]. Peressigsäurehaltige Produkte werden wegen ihrer breiten mikrobiziden Wirksamkeit und ihren guten ökologischen Eigenschaften (Abbaubarkeit) bereits erfolgreich im Bereich der Getränkeindustrie und der Milchverarbeitung eingesetzt.

### Fazit

Durch eine Studie wurde mit Hilfe des modernen Analyseverfahrens der fotoakustischen Spektroskopie in Echtzeit nachgewiesen, dass stabilisiertes Wasserstoffperoxid zu einer Abschälung des Biofilms führt. Diese speziellen Produkte stellen somit ein wirksames Mittel zur Entfernung des Biofilms und gegen beispielsweise *Legionella pneumophila* bei der Grunddesinfektion nach DVGW-Arbeitsblatt W 291 dar. Die Formulierungen sind biologisch abbaubar und zersetzen sich dabei in

Wasser und Sauerstoff. Auch die Silber-salz-Restgehalte (< 0,1 mg/l) liegen bei der Anwendungskonzentration von 100 ppm  $H_2O_2$  weit unter den Grenzwerten und sind somit vernachlässigbar gering. Die einzelnen Wasserstoffperoxid-Lösungen sind gefahrlos und universell zur Desinfektion von Wasserverteilungsanlagen und auch bei der Oberflächendesinfektion/Sprüh-desinfektion (3-prozentig) einsetzbar.

### Literatur:

- [1] W. Nissing: *Hygienische und korrosionschemische Aspekte bei der Desinfektion von Trinkwasser-Installationen*; DVGW energie | wasser-praxis 2006 (4), 10-14.
- [2] H.-C. Flemming, J. Wingender: *Extracellular polymeric substances (EPS): structural, ecological, and technical aspects*; in: eds. G. Bitton, *Encyclopedia of environmental microbiology*; New York 2002, 1223-1231.
- [3] J. Wingender, H.-C. Flemming: *Autoaggregation in flocs and biofilms*; in: eds. J. Winter, *Biotechnology*, Vol. 8, 1999, 63-86.
- [4] T. R. Scheuermann, A. K. Camper, M. A. Hamilton: *Effects of substratum topography on bacterial adhesion*; *J. Colloid. Interface Sci.* 1998 (208), 23-33.
- [5] H.-C. Flemming: *Biofouling in water systems – cases, causes and countermeasures*; *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2002 (59), 629-640.
- [6] M. Exner, J. Gebel, V. Vacata: *Wirksamkeit der Desinfektion auf Biofilme*; in: eds. H.-C. Flemming, *Erfassung des Wachstums und des Kontaminationspotentials von Biofilmen in der Verteilung von Trinkwasser*; IWW-Schriftenreihe: *Berichte aus dem IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung gemeinnützige GmbH* 2003, 303-339.
- [7] A. Srinivasan, G. Bova, T. Ross, K. Mackie, N. Paquette, W. Merz, T. M. Perl: *A 17-month evaluation of a chlorine dioxide water treatment system to control legionella species in a hospital water supply*; *Infect. Control Hosp. Epidemiol.* 2003 (24), 575-579.
- [8] F. A. Hollemann, N. Wiberg: *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, Berlin 1985, 439-440.
- [9] T. Schmid, U. Panne, J. Adams, R. Niessner: *Investigation of biocide efficacy by photoacoustic biofilm monitoring*; *Water Res.* 2004 (38), 1189-1196.
- [10] S. Schulte: *Wirksamkeit von Wasserstoffperoxid gegenüber Biofilmen*; *Dissertation aus dem IWW* 2003.
- [11] M. Exner, G.-J. Tuschewitzki, J. Schamag: *Influence of biofilms by chemical disinfectants and mechanical cleaning*; *Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Org. B* 1987 (183), 549-563.
- [12] P. Guiot, J.-M. Thomas, A. Terraz: *Das maßgeschneiderte Wasserstoffperoxid: Seine Anwendungsmöglichkeiten bei der Desinfektion von Wasserleitungssystemen*; *Forschungsbericht Feldmann Chemie GmbH*, Juli 2003.
- [13] J. W. Costerton, Z. Levandowski, D. E. Caldwell, D. R. Korber, D. de Beer, G. James: *Biofilms: the customized microniche*; *J. Bacteriol.* 1994 (176), 2137-2142.
- [14] J.T. Walker, C. W. Mackerness, J. Rogers, C. W. Keevil: *Heterogeneous mosaic – a heaven for waterborne pathogens*; in: eds. H.M. Lappin-Scott, and J. W. Costerton, *Microbial biofilms*; Cambridge University Press, Cambridge, UK 1995, 196-204.

### Autoren:

Dr. rer. nat. Christian Schauer  
Herlisil GmbH  
Silostr. 65  
65929 Frankfurt/Main  
Tel.: 069 314028-42  
Fax: 069 314028-35  
E-Mail: schauer@herli.de  
Internet: www.herlisil.de

Dr. rer. nat. Ottmar Hofmann  
SWM Services GmbH S-NA-QS-LB  
Emmy-Noether-Str. 2  
80287 München  
Tel.: 089 2361-3460  
Fax: 089 2361-3453  
E-Mail: hofmann.ottmar@swm.de  
Internet: www.swm.de

