

# Biofilme im Trinkwassersystem – Entstehung, Dynamik und Beseitigung

Wo Wasser dauerhaft mit einer Oberfläche im Kontakt steht, bilden sich Biofilme. Diese setzen sich unter normalen Umständen aus der natürlichen Wasserflora zusammen und lassen sich auch bei Einhaltung der allgemein anerkannten Regeln der Technik kaum vermeiden. Das gilt für Trinkwasseranlagen und schließt Trinkwasserbehälter ebenso ein wie Trinkwasserverteilung und Trinkwasserinstallation. Der Verbraucher erwartet zu Recht dauerhaft hygienisch einwandfreies Trinkwasser. In Bezug auf Biofilm in Trinkwassersystemen gibt es zusätzliche Faktoren, die der Wasserversorger oder der Betreiber nicht kontrollieren können. Der Betreiber ist jedoch verpflichtet, Risiken zu minimieren und die Anlage in einem Zustand zu halten, der die erforderliche Wasserhygiene langfristig gewährleisten kann. Biofilme regelmäßig zu entfernen ist eine Grundvoraussetzung hierfür.

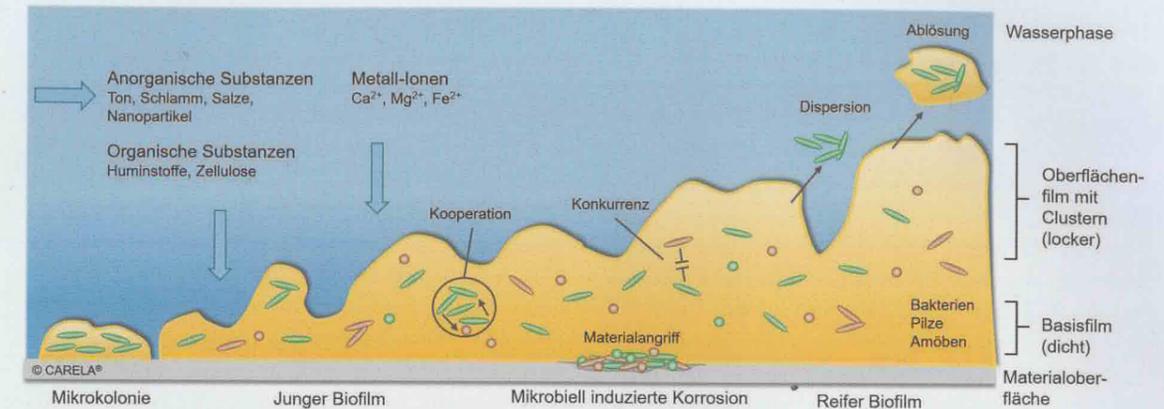
## 1. Eintrag von Mikroorganismen in das Trinkwasser-System

Es gibt grundsätzlich zwei Wege, auf denen Mikroorganismen in das Trinkwassersystem eingetragen werden: Sie stammen entweder direkt aus der Rohwasserquelle oder sie gelangen von außen in das Trinkwasser. Mikroorganismen, die von Natur aus in Grundwasser, Oberflächenwasser oder anderen Frischwasserquellen leben, können in sehr geringer Zahl auch nach der Wasseraufbereitung im Trinkwasser vorhanden sein. Man bezeichnet sie auch als natürliche oder autochthone Bewohner. In diesen sehr geringen Zahlen stellen sie weder für den Menschen noch das System eine Gefährdung dar. Problematisch wird es erst, wenn diese Mikroorganismen sich im Wassersystem absetzen und stark vermehren und damit in hohen Zahlen im Trinkwasser enthalten sind. In solchen Fällen können auch natürlich im Wasser vorkommende Bakterien eine Gefahr für den Menschen darstellen. Zu diesen gehören vor allem Legionellen, Pseudomonaden oder Mykobakterien, die unter bestimmten Umständen leichte bis schwerwiegende Krankheiten beim Menschen auslösen können. Auch wenn sich ein Biofilm am Ende der Wasserleitung, also beispielsweise an Armaturen ausgebildet hat, gefährdet dies das vorstehende Leitungssystem, da einige Bakterien sich aufgrund ihrer Bewegungsorganelle auch entgegen der Fließrichtung bewegen können (retrograde Kontamination).

Von außen können Mikroorganismen durch Rohrbrüche, Reparaturen, Neuinstallationen oder durch unzureichende oder fehlerhafte Instandhaltung sowie unsachgemäß durchgeführte Inspektionen in das Trinkwassersystem gelangen und beispielsweise im Sediment oder an den Wänden eines Trinkwasserbehälters oder an Rohrrinnenflächen einen neuen Lebensraum finden. Auf diese Weise werden vor allem Umweltbakterien eingetragen, zu de-

nen wiederum Pseudomonaden aber auch coliforme Bakterien gehören können. Durch unzureichend gewartete Belüftungsanlagen, schlecht gesicherte Öffnungen oder Undichtigkeiten können auch kleine wirbellose Tiere (Insekten, Spinnen, Würmer, Schnecken), in selteneren Fällen auch größere Tiere wie Mäuse oder Frösche in einen Trinkwasserbehälter eindringen und die Qualität des Trinkwassers nachhaltig zum Negativen beeinflussen, da diese wiederum Mikroorganismen und andere Verunreinigungen eintragen können. Das Vorkommen von Tieren kann also im Umkehrschluss Rückschlüsse über bauliche Mängel oder unzureichende Instandhaltung und damit notwendige Reinigung oder Wartung zulassen [1]. Einige wirbellose Tiere können auch zu den natürlichen Bewohnern des Rohwassers gehören und trotz Wasseraufbereitung im Trinkwasser verbleiben. Gelangen sie in den Trinkwasserbehälter oder das Leitungsnetz, können Sedimente und Biofilm Nahrung für sie darstellen und damit eine Grundlage für ihre Vermehrung bieten [1]. Zu einer Kontamination mit Bakterien fäkalen Ursprungs kann es vor allem bei Kontakt mit Abwasser oder unbehandeltem Flusswasser ausgelöst durch Starkregen- oder Hochwasserereignisse kommen. Wenn sich hochinfektiöse Bakterien wie *E. coli*, Salmonellen oder Enterokokken im Trinkwasser befinden, bei denen bereits sehr kleine Zellzahlen ausreichen, um eine Erkrankung auszulösen, muss meist ein Abkochgebot erlassen und das System schnellstmöglich saniert werden.

Solche Bakterien aus Verunreinigungen über Roh- oder Abwasser können sich für gewöhnlich im Trinkwasser nicht vermehren, da sie höhere Nahrungsansprüche haben. Allerdings können sie länger im System verbleiben und auch über längere Zeit an das Trinkwasser abgegeben werden, sollten sie auf einen geeigneten Rückzugsort treffen. Ein solcher Ort kann ein vorhandener bis dahin unauffälliger Biofilm sein.



Schematischer Aufbau und Dynamik eines Biofilms. Passive und aktive Prozesse wie die Aufnahme von Substanzen und Mikroorganismen, Stoffwechsel und Kommunikation, sowie Austrag von Mikroorganismen finden trotz stabiler Betriebsbedingungen im Leitungsnetz statt.

## 2. Entstehung und Aufbau eines Biofilms

Eine der entscheidendsten Voraussetzungen für die Etablierung eines Biofilms ist die Beweglichkeit einiger Bakterien. Nur mithilfe von Bewegungsorganellen können Bakterien zum einen die verschiedenen hydrodynamischen und physikalischen Kräfte an einer Wasser-Substrat-Grenzfläche überwinden und zum anderen an der Materialoberfläche anhaften [2]. Dies geschieht umso leichter, wenn sich bereits der sogenannte Konditionierungsfilm auf der Materialoberfläche ausgebildet hat, der aus verschiedensten im Wasser enthaltenen Partikeln und Substanzen bestehen kann. Bei der Entstehung eines Biofilms unterscheidet man vier Phasen:

1. Pioniere, also bakterielle Erstbesiedler, suchen die Oberfläche nach geeigneten Anhaftungsstellen ab. Dabei hinterlassen sie auf der Oberfläche Substanzen, die von anderen Bakterienzellen erkannt werden können.
2. Je höher die Dichte dieser Moleküle an einer Stelle ist, desto mehr Pioniere haften sich an [3]. Es entsteht eine Mikrokolonie.
3. Durch Vermehrung der bereits vorhandenen und Anlagerung neuer Bakterien wachsen die Kolonien zu einem Film heran, in dem sie sich in Struktur- und Verbindungsmolekülen – die sogenannte EPS<sup>1</sup>-Matrix – einbetten. Die Matrix ist die für das menschliche Auge sichtbare Schleimschicht des Biofilms.
4. Je mehr der Biofilm anwächst, desto komplexer wird er. An der Oberfläche können sich einem Gebirge gleich unterschiedlich breite und hohe Cluster ausbilden, während am Boden durch zunehmenden Sauer-

stoffmangel Bakterien aktiv werden können, die die Materialoberfläche angreifen und verstoffwechseln [4, 5].

Die Matrix bildet tatsächlich den Hauptanteil der Biomasse. Insgesamt können Biofilme je nach Bedingungen (Substratoberfläche, Ablagerungen, Fließgeschwindigkeit, Zusammensetzung) sehr unterschiedlich strukturiert sein, aber grundsätzlich bestehen sie fast immer aus dem unten liegenden Basisfilm, der sehr dicht und undurchlässig ist, und dem Oberflächenfilm, der locker und durchlässig ist und deren Cluster unterschiedlichste Formen annehmen können [5].

Häufig werden in der Praxis auch Sedimente, mineralische Ablagerungen und andere Partikeln mit Biofilmen vermischt aufgefunden. Anorganische Ablagerungen wie Kalk oder Eisen- und Manganablagerungen können aber auch förderlich für die Entstehung eines Biofilms sein. Die Ablagerungen bieten durch ihre Rauigkeit nicht nur bessere Anhaftungsmöglichkeiten, sondern auch Schutz vor äußeren Einflüssen wie veränderte Fließgeschwindigkeiten des Wassers oder Desinfektionsmittel. Bestimmte Materialien, wie einige Kunststoffe, können eine Anhaftung der Bakterien begünstigen und sind daher häufiger von Biofilmen betroffen als andere. Werden im Behälter, Leitungsnetz oder anderen Teilen des Systems unzulässige Materialien oder Substanzen eingesetzt, können diese eine Anhaftung und Vermehrung von Bakterien ebenfalls fördern [6]. Auch die Temperatur des Wassers hat einen erheblichen Einfluss auf die Vermehrungsfähigkeit von Mikroorganismen. Dabei liegen bei Wassertemperaturen zwischen 20 und 45 °C gute bis optimale Wachstumsbedingungen vor. Liegt die Temperatur darunter oder darü-

1 Extracellular polymeric substances

ber, ist das Wachstum eher gehemmt, kann aber nicht komplett ausgeschlossen werden.

Eine weitere Form von Biofilmen in Trinkwasseranlagen wurde erst in den letzten Jahren beobachtet, und zwar im äußeren Wirkungsbereich von UV-Desinfektionsanlagen. Ein Forschungsprojekt des DVGW hat ergeben, dass diese Biofilme aus Algen und Cyanobakterien bestehen, deren Wachstum wahrscheinlich gefördert wird durch einen Anteil an sichtbarem Licht, das von den UV-Anlagen abgegeben wird. Die Studie zeigte, dass in ca. 50 % der untersuchten Anlagen mit UV-Desinfektion ein solcher Biofilmbewuchs vorhanden war [7].

Es ist generell schwierig, eine pauschale Aussage darüber zu treffen, welche Bedingungen im Einzelnen sich positiv auf das Wachstum von Mikroorganismen innerhalb eines Biofilmes auswirken, da in den meisten Fällen das Zusammenspiel mehrerer Faktoren entscheidend dafür ist ob, wie stark und wie schnell sich ein Biofilm bildet. Außerdem können die initiale Entwicklung und das spätere Wachstum des Biofilmes unter verschiedenen Bedingungen optimal verlaufen. Zu solchen äußeren Bedingungen gehören, neben Material und Temperatur, Fließgeschwindigkeit, Zusammensetzung des Wassers (vor allem pH-Wert, Sauerstoff-Gehalt, Anteil an Metall-Ionen, Gehalt an gelösten Kohlenstoffquellen), Aufbereitungsmaßnahmen und Aufenthaltsdauer.

### 3. Dynamik eines Biofilmes

Biofilme sind Gemeinschaften unterschiedlicher Mikroorganismen, zu denen Bakterien, Pilze, Viren, Algen und Einzeller wie Amöben gehören können. Wie in jedem anderen Lebensraum herrscht ein steter Austausch von Informationen und Interaktionen zwischen diesen verschiedenen Mitgliedern selbst, wenn das nach außen nicht zu jeder Zeit messbar ist. Aus diesem Grund muss die Begrifflichkeit eines „stabilen“ Biofilmes in der Trinkwasserversorgung, wie sie beispielsweise in der DVGW-Information Wasser Nr. 81 (S. 6) erscheint, als äußerst kritisch betrachtet werden. Es ist inzwischen eine wissenschaftlich akzeptierte Annahme, dass Biofilme dynamische, aktive Lebensräume sind, die sowohl auf externe als auch auf interne Signale reagieren [4]. Das heißt, selbst wenn die äußeren Bedingungen stabil sind, kann man nicht davon ausgehen, dass der Biofilm starr ist oder ruht. Es gibt dabei zwei Vorgänge, die für das Trinkwassersystem von Bedeutung sind und die auch bei „stabilen Betriebsbedingungen“ (DVGW-Information Wasser Nr. 81) stattfinden: der Eintrag neuer Mikroorganismen und die Abgabe von Mikroorganismen oder Biofilmabschnitten aus einem bestehenden Biofilm an das Wasser.

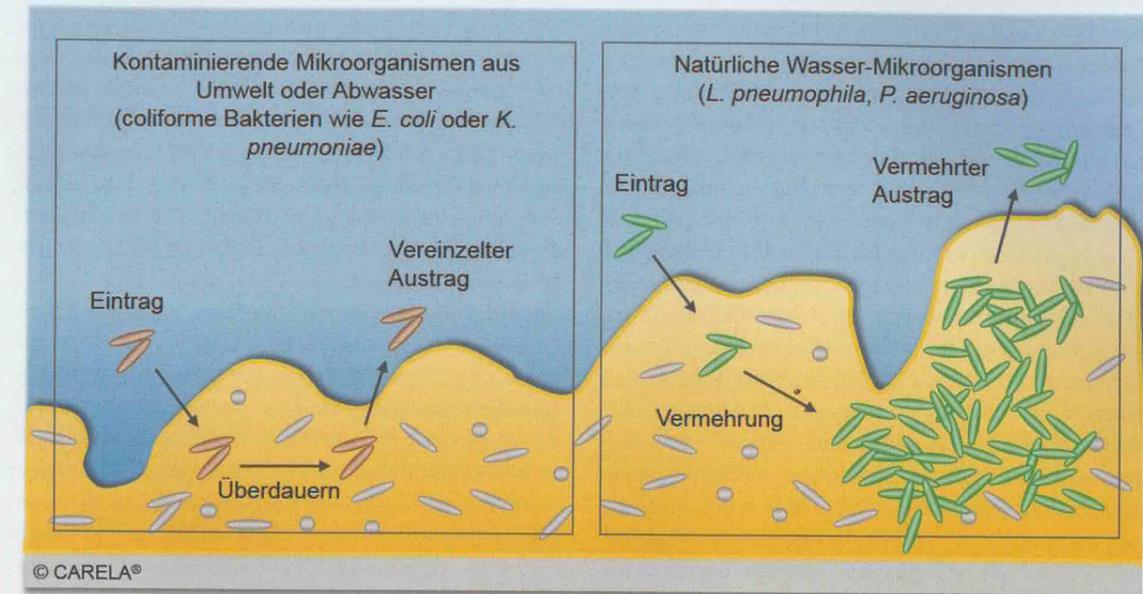
Es wurde beispielsweise für coliforme Bakterien, unter denen auch Krankheitserreger wie *Klebsiella pneumoniae* sein können, gezeigt, dass sie sich in einen bestehenden

Biofilm einlagern und dort über einen bestimmten Zeitraum überdauern konnten, währenddessen sie kontinuierlich an das Wasser abgegeben wurden [8]. Schwerer wiegt die Einlagerung des Erregers der Legionärskrankheit, *Legionella pneumophila*, in einen Biofilm. Biofilme sind eine ideale Nahrungsquelle für Amöben. Nehmen sie die im Biofilm befindlichen Legionellen auf, vermehren sich die Bakterien innerhalb der Amöbe [9] und können dann in größeren Mengen an das Wasser abgegeben werden. Selbst wenn zunächst keine Amöben vorhanden sind, überdauern die Legionellen im Biofilm, bis welche vom Wasser antransportiert werden. Auch dies geschieht bei konstanten äußeren Bedingungen [10].

Es ist durchaus richtig, dass vor allem plötzliche Veränderungen der Umweltbedingungen insbesondere der Fließgeschwindigkeit oder des Nährstoffgehaltes zu strukturellen Änderungen im Biofilm führen können und damit zu einem von außen bewirkten Abtrag von Mikroorganismen oder ganzen Biofilmabschnitten. Das wiederum kann zu einem Anstieg gemessener Parameter führen. Allerdings hat die Forschung auch gezeigt, dass solche Prozesse auch ohne äußere Einwirkung ausgelöst werden [4]. Grund hierfür ist zum einen der Konkurrenzkampf zwischen verschiedenen Mikroorganismen, der dazu führt, dass immer wieder Teile der Biofilmmatrix durch Enzyme umstrukturiert oder aufgelöst und damit Zellen freigegeben werden. Zum anderen kann eine gewisse Populationsdichte dazu führen, dass Zellen sich selbst aus dem Biofilm befreien. Diese von den Bakterien selbst eingeleitete Ablösung ermöglicht es ihnen, sich aktiv zu anderen Stellen im Trinkwassersystem zu bewegen, um dort einen neuen Biofilm zu bilden. Wissenschaftler haben ebenfalls festgestellt, dass solche Bakterien infektiöser sein können als solche, die beispielsweise durch Scherung, also passiv, abgelöst wurden [11]. Auch bei Legionellen gibt es Hinweise darauf, dass der Aufenthalt in Biofilmen zu einer erhöhten Infektionsfähigkeit führen kann [12]. Einen Biofilm als „stabil“ zu bezeichnen, insbesondere im Zusammenhang mit Trinkwassersystemen, kann aus diesen Gründen irreführend sein und sollte vermieden werden.

### 4. Auswirkungen von Biofilmen auf die Materialoberfläche, das Wasser und den Verbraucher

Ebenso wenig messbar ist auch bei gleichbleibenden äußeren Bedingungen, ob sich Mikroorganismen in den Biofilm eingelagert haben, die die Materialoberfläche angreifen können. In einem solchen Fall spricht man von einer mikrobiell induzierten Korrosion (MIC). Dabei werden durch den bakteriellen Stoffwechsel oder dessen Produkte Elektronen oder Ionen aus metallischen



© CARELA®

- Überleben im Ruhezustand (Tage - Monate)
- Keine Vermehrung
- Niedrige minimale Infektionsdosis\*
- Vermehrung und Überleben im Ruhezustand
- Massenhafte Vermehrung möglich
- Hohe minimale Infektionsdosis\*

Schematische Darstellung der Vorgänge bei Einlagerung verschiedener Mikroorganismen in einen Biofilm

\*minimale Infektionsdosis: Mindest-Anzahl/Menge lebender Bakterienzellen, die eine Infektion im Menschen auslösen kann.

Materialien freigesetzt. Bakterien produzieren entweder Säuren (beispielsweise Schwefelsäure), reduzieren oder oxidieren Eisen- oder Mangan-Ionen oder produzieren EPS-Moleküle, die Metall-Ionen binden können. Es kommt zur Lochkorrosion. Dabei hat man auch festgestellt, dass es in Biofilmen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Bakterien zu einem synergistischen Effekt kommt, der die Korrosion verstärkt [13]. Im Umkehrschluss kann man also davon ausgehen, dass die Wahrscheinlichkeit von Korrosion durch Mikroorganismen steigt, je mehr Bakterien sich im Biofilm ansiedeln. Einige Korrosionsprozesse laufen teilweise oder nur unter anaeroben Bedingungen ab, die sich erst in späteren Stadien des Biofilmes einstellen [4], wenn sich also Biofilme ungestört entwickeln können. Dies sind weitere Gründe dafür, dass Biofilme in Trinkwassersystemen nicht über längere Zeiträume unbehandelt gelassen werden sollten. Die Unterhalts- und Instandsetzungskosten überschreiten sonst bei weitem die vergleichsweise geringen Ausgaben für eine regelmäßige jährliche Hygienereinigung mit geprüften Qualitätsreinigern (z. B. gemäß DVGW W319).

Weiterhin können Biofilme zu

- einer Verunreinigung des Wassers durch Geschmack, Verfärbungen, mikrobiologische Produkte

- einer massenhaften Vermehrung von Legionellen, Pseudomonaden oder anderen potentiellen Krankheitserregern
- einem vermehrten Auftreten von Infektionen in Krankenhäusern, Pflege- und Senioreneinrichtungen
- einer verlängerten Aufenthaltszeit pathogener Mikroorganismen (*E. coli*, Viren)
- einem Blockieren der Rohre beitragen.

Diese Auswirkungen von Biofilmen führen beim Verbraucher im besten Fall zu einer Beeinträchtigung der Nutzung durch schlechten Geschmack, Geruch oder Farbe oder durch ein Abkochgebot. Im ungünstigen Fall erleidet der Verbraucher Infektionen, die von leichten Symptomen bis hin zu schwerwiegenden Krankheiten oder chronischen Infektionen reichen können. In beiden Fällen entsteht jedoch auch ein Vertrauensverlust.

### 5. Effiziente Entfernung von Biofilmen

Die DVGW-Information Wasser Nr. 81 sagt weiterhin aus, dass Desinfektionsmittel und Reinigungsmaßnahmen eine „Schädigung des Biofilms“ bewirken und damit zu einer Erhöhung der Koloniezahl führen können (S. 5-6).

Unabhängig davon, welche Auswirkungen der Biofilm auf die Koloniezahl hat, entsteht bei dieser Aussage der Eindruck, dass eine Reinigung schädlich ist und dass Biofilm „gut“ oder harmlos sei. Ein Biofilm kann tatsächlich harmlos sein, aber er muss das nicht bleiben! Und das kann nicht kontrolliert oder reguliert werden. Einer der Gründe hierfür ist, dass ein Biofilm eben, wie oben bereits dargelegt, keineswegs stabil ist oder bleibt und man nicht kontrollieren kann, welche Mikroorganismen hinein- oder hinausgelangen. Aufgrund der Risiken für Verbraucher, Material und System sollten Biofilme in Trinkwasseranlagen also regelmäßig mit geeigneten Methoden entfernt werden. Wenn es also durch eine Reinigung zu einer kurzzeitigen Erhöhung der Koloniezahl kommt, dann ist das genau das Ziel der Maßnahme – nämlich die Mikroorganismen aus dem Leitungsnetz zu entfernen. Ist die erhöhte Koloniezahl jedoch nicht nur temporär, weist das auf unzureichende oder ungeeignete Reinigungsmaßnahmen hin. Welche Reinigungs- und/oder Desinfektionsmaßnahmen sind also geeignet, um Biofilme effizient zu entfernen?

Würden in einer Trinkwasserinstallation erhöhte Mengen an Legionellen gemessen, ist es wahrscheinlich, dass sich weitere Legionellen im System befinden. Da nach Schätzungen 95 % aller Mikroorganismen im Wassersystem an den Wänden haften [14], ist diese Messung also ein guter Indikator für das Vorhandensein von Legionellen in Biofilmen. Noch immer wird von einigen Stellen die thermische Desinfektion als Maßnahme gegen erhöhte Legionellenwerte empfohlen. Neben dem hohen technischen Aufwand und dem gesteigerten Korrosionsrisiko [15] ist

die thermische Behandlung einer Trinkwasseranlage nicht gegen Legionellen wirksam, die in Biofilmen eingebettet sind [16]. Eine neuere Studie hat außerdem gezeigt, dass Legionellen bei der angewandten Temperatur von 70 °C, selbst wenn sie zehnmal länger behandelt wurden als empfohlen [17], in einen Ruhezustand (VBNC) übergehen können [18]. Sie sind dann nicht mehr durch Kultivierung nachweisbar und können sich somit unentdeckt weiterhin im System befinden und sich auch erneut vermehren, wenn sie auf Amöben treffen.

Biofilme sind keine starren Strukturen. Insbesondere die Oberflächen-Cluster können sich dynamisch an Veränderungen der Umweltbedingungen anpassen. Dies wurde in wissenschaftlichen Studien deutlich, die den Effekt von hydrodynamischem Stress auf die Struktur eines Trinkwasser-Biofilmes auf einer Rohrrinnenfläche untersuchten – dieser Stress entsteht beispielsweise bei einer Wasser-Spülung bzw. Luft-/Wasser-Spülung. Eine Studie hat dabei festgestellt, dass hydrodynamischer Stress durch eine Spülung, die ohne Reinigungsmittel durchgeführt wird, zwar Cluster aus dem Oberflächenfilm ablösen kann, aber dass die verbleibenden Schichten dabei verdichtet werden. Das bedeutet, dass der Biofilm durch die Spülung stabiler wird und damit eine erhöhte Toleranz gegenüber mechanischer Abreibung erwirbt [19]. Als Ergebnis kann der Biofilm noch schwerer entfernt werden und auch eine anschließende Desinfektion wird dadurch kaum Wirkung zeigen.

Bei einer Reinigung unter Verwendung von chemischen Reinigungsmitteln hingegen wird der Biofilm durch die Reaktion des Wirkstoffes mit der Biofilmmatrix

und den Mikroorganismen angegriffen und aufgebrochen. Die Cluster werden fragmentiert und aufgelockert und dabei wird deren Stabilität deutlich verringert [19]. Dadurch kann der Wirkstoff auch den Basisfilm erreichen und diesen aufbrechen. Ein Biofilm ist unbestritten Nährboden für Schadorganismen, auch für Pathogene wie *Legionella pneumophila* und *Pseudomonas aeruginosa*. Diese gilt es von Beginn an im Wassersystem auszugrenzen, nur so kann die notwendige Wasserhygiene erreicht und erhalten werden. Insbesondere für die Ablösung von Biofilmen hat sich eine mehrstufige chemische Reinigung bewährt, bei der der Biofilm in aufeinander abgestimmten Reinigungsschritten erst aufgebrochen und dann entfernt wird. Eine anschließende Desinfektion des jetzt vom Biofilm befreiten Trinkwassersystems sorgt für eine abschließende Reduzierung der verbliebenen Mikroorganismen auf der Materialoberfläche. Regelmäßig durchgeführt, schützt diese Herangehensweise nachhaltig vor einer unerwünschten Vermehrung potentieller Krankheitserreger. Wasserversorger, die von Beginn an hygienische Erfordernisse erfüllen und regelmäßig chemisch reinigen, werden i. d. R. keine Probleme mit Biofilmen bzw. pathogenen Mikroorganismen haben.

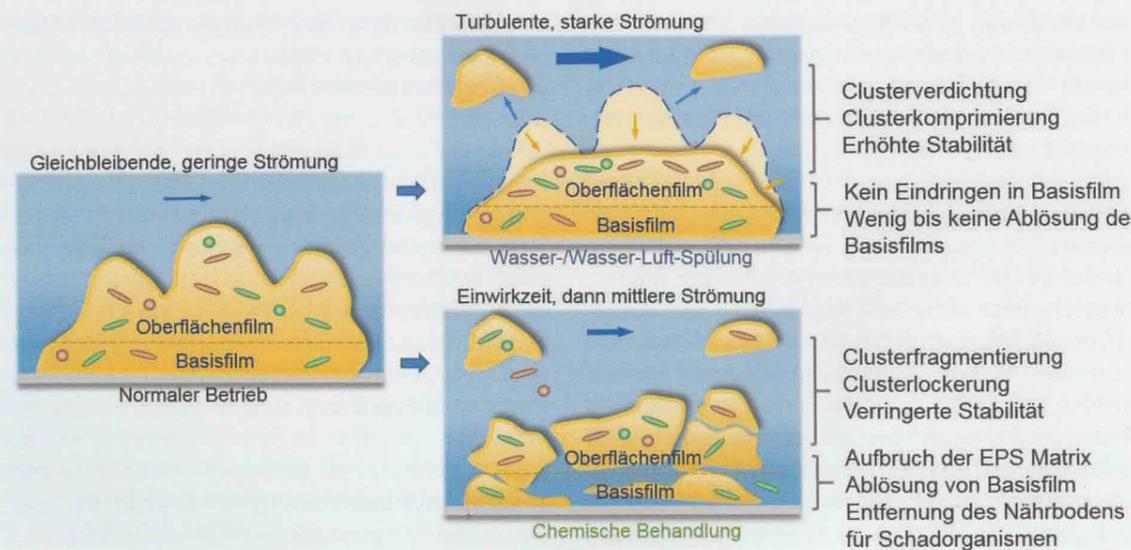
Eine weitere Aussage aus der DVGW-Information Wasser Nr. 1, die leider auch ohne Sachbezug von Referenzen des DVGW wiederholt wird, ist, dass eine Desinfektion eine „Nährstoffbildung“ zur Folge haben kann, die wiederum die Koloniezahl erhöhen kann (S. 5-6). Die Aussage ist grundsätzlich nicht falsch, sollte aber genauer erläutert werden, um Missverständnisse auszuschließen. Vermutlich soll hier darauf hingewiesen werden, dass durch die oxidierende Wirkung einiger Desinfektionsmittel eine erhöhte Menge an für Mikroorganismen leicht verdaulichen organischen Kohlenstoffen (AOC<sup>2</sup>) entsteht, was tatsächlich das Wachstum von Bakterien fördern kann [20]. Allerdings ist das vor allem in gechlortem oder ozoniertem Trinkwasser relevant und untersucht [21, 22], da dort die AOC-Menge dauerhaft höher ist und kontinuierlich durch das System transportiert wird. In diesen Anlagen bedarf es einer sorgfältigen Dosierungsstrategie, um die Hemmung des mikrobiellen Wachstums und die Erhöhung des AOC-Gehaltes auszugleichen. Solche Systeme sind in Deutschland aber eher die Ausnahme. Kaum gesicherte Erkenntnisse gibt es hingegen zu den Auswirkungen auf den AOC-Gehalt durch eine Anlagendesinfektion, wie sie in Deutschland durchgeführt wird. Allerdings dürfte diese Maßnahme einen weitaus geringeren, wenn nicht vernachlässigbaren Effekt auf den AOC-Gehalt des Trinkwassers und das Wachstum von Mikroorganismen haben, da der Großteil der entstehenden Verbindungen bereits während der Maßnahme

aus dem System gespült wird. Eine Anreicherung von organischen Verbindungen, die bei ineffizienten Desinfektionsmaßnahmen durch eine nur teilweise Entfernung eines Biofilmes entstehen, können durch einen vorherigen Reinigungsschritt mit einem geeigneten Spezialreinigungsprodukt vermieden werden.

## 6. Schlussfolgerungen

Aus wissenschaftlicher Sicht gibt es keine vertretbaren Argumente dafür, dass Biofilme in Anlagen der Trinkwasserversorgung nützlich sind, wenn sie auch nicht zwangsläufig immer und sofort negative Auswirkungen haben.

Von Nutzen können Biofilme in der Abwasseraufbereitung sein, wo sie beispielsweise auf Filtern eingesetzt werden, um sehr spezifisch bestimmte Stoffe abzubauen. Entscheidend hierbei ist, dass gezielt nur für die Reaktion benötigte Mikroorganismen eingesetzt werden, die nicht ins Wasser übergehen sollen oder nach der Aufbereitung wieder entfernt werden. Es handelt sich hier also um einen kontrollierten und kontrollierbaren Biofilm. Solche oder ähnliche Ansätze sind für das Trinkwasser völlig ungeeignet, da es nicht Ziel sein kann, das Wachstum von Mikroorganismen in irgendeiner Form zu fördern. Außerdem bleibt der Biofilm weiterhin unkontrollierbar in dem Sinne, dass man das Einlagern von gesundheitsschädlichen Mikroorganismen nicht verhindern bzw. nicht ausschließen kann, dass für einen scheinbar positiven Zweck eingesetzte (oder im System belassene) Mikroorganismen bei einer Vermehrung nicht gesundheitliche oder andere Schäden anrichten können. Ebenso häufig ist in diesem Zusammenhang die Argumentation, Biofilme müssten im System belassen werden, weil manche Biofilme die Ansiedlung von Schadorganismen verhindern sollen. Tatsächlich hat eine Studie gezeigt, dass die Anwesenheit eines Bakteriums Legionellen daran hindert sich im Biofilm einzulagern [12]. Es gab allerdings einen Haken – dieses Bakterium war *Pseudomonas aeruginosa*, selbst ein Schadorganismus und Krankenhauserreger [23]. Außerdem hatte sich gezeigt, dass dieser Effekt nur eintraf, wenn der Biofilm ausschließlich aus *P. aeruginosa* bestand, was in der Natur und im Trinkwasser sehr unwahrscheinlich ist. Befanden sich weitere Bakterien im Biofilm, konnten sich Legionellen auch in Anwesenheit von *P. aeruginosa* ansiedeln [12]. Die Anwesenheit des einen kann also die Einlagerung des anderen Bakteriums nicht verhindern. Beide Schadorganismen können gemeinsam im Netz auftreten, was auch Erfahrungen in der Praxis bestätigen. Biofilme und das mikrobielle Leben darin sind zu komplex, als dass man diese in der Trinkwasserversorgung nutzen kann ohne sie vom Lebensmittel Wasser abtrennen zu können. Eine Gefährdung der Gesundheit oder der Materialien im System kann dabei nie komplett



Schematische Darstellung der Behandlung von Biofilm mittels Wasser-/Wasser-Luft-Spülung oder mittels chemischer Zusätze.

<sup>2</sup> Assimilable organic carbon

ausgeschlossen werden. Verantwortliche sollten sich also ihrer Verantwortung sehr bewusst sein, da bei entstandenen Schäden der Verursacher klar haftet. Wissenschaftliche Erkenntnisse, wie sie hier dargestellt wurden, und Erfahrungen aus der Praxis müssen in Empfehlungen und technische Regelwerke regelmäßig einfließen, um weiterhin die bestmögliche Trinkwasserqualität gewährleisten zu können.

Quellen:

- [5] Merkl, G. Trinkwasserbehälter – Planung, Bau, Betrieb, Schutz und Instandsetzung. (2018).
- [6] Berne, C., Ducret, A., Hardy, G. G. & Brun, Y. V. Adhesins involved in attachment to abiotic surfaces by Gram-negative Bacteria. *Microbiol Spectr* 3, 1-45 (2015).
- [7] Zhao, K. et al. Psl trails guide exploration and microcolony formation in *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Nature* (2013). doi:10.1038/nature12155.
- [8] Flemming, H.-C. et al. Biofilms: an emergent form of bacterial life. *Nat. Rev. Microbiol.* 14, 563-575 (2016).
- [9] Biofilms. (Wiley, 1990).
- [10] Wricke, B. & Korth, A. Hygienische Sicherheit im Verteilungsnetz – Teil 1: Verhinderung des Eintrages von Krankheitserregern. *Energ. wasser-praxis* 10, 10-15 (2016).
- [11] Eggers, J., Hochmuth, D. & Schwarzenberger, T. Bestandsaufnahme zum Wachstum von Algen im äußeren Wirkungsbereich von UV-Anlagen, W 201516, Abschlussbericht. (2017).
- [12] Camper, A. K., Jones, W. L. & Hayes, J. T. Effect of growth conditions and substratum composition on the persistence of coliforms in mixed-population biofilms. *Appl. Environ. Microbiol.* 62, 4014-4018 (1996).
- [13] Molmeret, M., Horn, M., Wagner, M., Santic, M. & Kwaik, Y. A. Amoebae as training grounds for intracellular bacterial pathogens. *Applied and Environmental Microbiology* (2005). doi:10.1128/AEM.71.1.20-28.2005.
- [14] Murga, R. et al. Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology* 147, 3121-3126 (2001).
- [15] Petrova, O. E. & Sauer, K. Escaping the biofilm in more than one way: Desorption, detachment or dispersion. *Current Opinion in Microbiology* 30, (2016).
- [16] Abdel-Nour, M., Duncan, C., Low, D. E. & Guyard, C. Biofilms: The stronghold of *Legionella pneumophila*. *Int. J. Mol. Sci.* 14, 21660-21675 (2013).
- [17] Kip, N. & Van Veen, J. A. The dual role of microbes in corrosion. *ISME J.* 9, 542-551 (2015).
- [18] Flemming, H. C., Percival, S. L. & Walker, J. T. Contamination potential of biofilms in water distribution systems. *Water Sci. Technol. Water Supply* 2, 271-280 (2002).
- [19] DIN EN 12502-1:2005-03 Korrosionsschutz metallischer Werkstoffe – Hinweise zur Abschätzung der Korrosionswahrscheinlichkeit in Wasserverteilungs- und speichersystemen – Teil 1: Allgemeines. (2005).
- [20] Schindler, P. Legionellen im Trinkwasser. (2004).
- [21] DVGW. Technische Regel Arbeitsblatt W 551 Trinkwassererwärmungs- und Trinkwasserleitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Planung, Errichtung, Betrieb und Sanierung von Trinkwasser-Installationen. (2004).
- [22] Kirschner, A. K. T. Determination of viable legionellae in engineered water systems: Do we find what we are looking for? *Water Research* (2016). doi:10.1016/j.watres.2016.02.016.
- [23] Mathieu, L. et al. Drinking water biofilm cohesiveness changes under chlorination or hydrodynamic stress. *Water Res.* 55, 175-184 (2014).
- [24] Kooij, D. van der. Assimilable Organic Carbon as an Indicator of Bacterial Regrowth. *J. Am. Water Works Assoc.* 84, 57-65 (1992).
- [25] Escobar, I. C., Randall, A. A. & Taylor, J. S. Bacterial growth in distribution systems: Effect of assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon. *Environ. Sci. Technol.* (2001). doi:10.1021/es0106669.
- [26] Liu, X. et al. Effects of assimilable organic carbon and free chlorine on bacterial growth in drinking water. *PLoS One* 10, 1-11 (2015).
- [27] Exner, M. et al. Gesundheitliche Bedeutung, Prävention und Kontrolle Wasser-assoziiierter *Pseudomonas aeruginosa*-Infektionen. *Hyg. Medizin* 41, 3-32 (2016).

Autoren:

**Danielle Troppens, PhD**  
**Wissenschaftskommunikation**

Korrespondenzautorin  
 d.troppens@carela.com

**Bernd Krumrey, CEO**

CARELA GmbH  
 Schafmatt 5  
 79618 Rheinfelden  
 www.carela.com