

Biofilme als Quelle für pathogene Keime und deren Abbau mit biostream ZERO

Rechtliche Grundlagen

Keime kommen ubiquitär (überall) in unserem Trinkwasser vor. Normalerweise werden die Grenzwerte gem. Anlage 1 zu §5 Abs. 2 und 3 der TVO 2001 nicht überschritten. Das Wasserwerk ist verantwortlich für die Einhaltung dieser Werte bis zum Übergabepunkt, der Wasseruhr.

In der Anlage 1 (zu § 5 Abs. 2 und 3) Mikrobiologische Parameter Teil I: "Allgemeine Anforderungen an Wasser für den menschlichen Gebrauch" werden als Grenzwerte in 100ml Probenwasser für Escherichia coli (E. coli), Enterokokken und Coliforme Bakterien die Anzahl der eben genannten Keime mit NULL festgelegt.

Als gesetzliche Grundlage für diese Grenzwerte ist der §5 der TVO 2001 festgelegt:

§ 5

Mikrobiologische Anforderungen

- (1) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen Krankheitserreger im Sinne des § 2 Nr. 1 des Infektionsschutzgesetzes nicht in Konzentrationen enthalten sein, die eine Schädigung der menschlichen Gesundheit besorgen lassen.
- (2) Im Wasser für den menschlichen Gebrauch dürfen die in Anlage 1 Teil I festgesetzten Grenzwerte für mikrobiologische Parameter nicht überschritten werden.

Hinter der Wasseruhr tritt das Wasser nunmehr in ein Leitungsnetz, z.B. einer Hausinstallation, in dem zumeist seit Erbauung dieses Netzes keinerlei Sanierungsmaßnahmen durchgeführt wurden. Die Mikroorganismen in diesen Leitungssystemen werden normalerweise durch die Strömung des Wassers auch aus selbigen wieder ausgetragen, so dass es nur zu Kontaminationen in Stagnationswasser kommen sollte, die durch Ausspülen beseitigt werden könnten.

Das Problem: Der Biofilm

An diesem Punkt ist der Biofilm zu berücksichtigen, der ähnlich wie ein Anker die Mikroorganismen vor dem Ausspülen aus dem Leitungssystem bewahrt und ihnen einen „Strömungsschutz“ für die ungehinderte Vermehrung bietet. Der Biofilm leistet diese Aufgabe sowohl für nicht pathogene als auch für pathogene Keime.

Zur Entstehung eines Biofilms bedarf es folgender Faktoren:

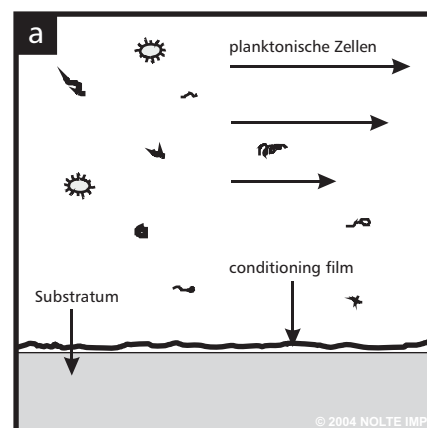
1. einer wasserberührten Oberfläche
2. ausreichend Wasser
3. Mikroorganismen
4. Nährstoffe

Die wasserberührte Oberfläche stellt das Kupferrohr, der Trinkwasserschlauch aber auch die Oberfläche von Getränkeautomaten, die mit dem Trinkwasser in unmittelbaren Kontakt kommen, dar. Die Nährstoffe sind in Form von Huminsäuren, Mikroorganismen und Abbauprodukten der Biofilme im Wasser vorhanden. Die Bildung eines Biofilms selbst in neu verlegten und gereinigten Rohren vollzieht sich in sehr kurzer Zeit und kann in sechs Phasen eingeteilt werden, wie nachfolgend erklärt wird.

Biofilme als Quelle für pathogene Keime und deren Abbau mit biostream ZERO

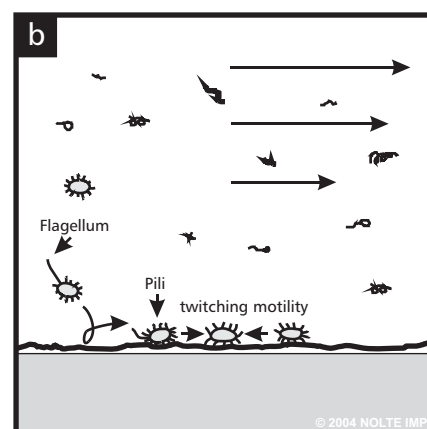
PHASE 1 (Abbildung a)

In der 1. Phase bildet sich auf der sauberen Oberfläche ein sogenannter *conditioning film*. Dieser wird durch Adhäsion an die wasserberührte Oberfläche von z. B. Huminsäuren, organischen Säuren und anderen organischen Inhaltsstoffen des Trinkwassers gebildet.



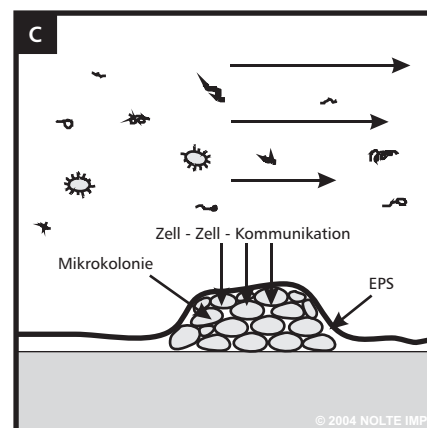
PHASE 2 (Abbildung b)

Vergleichbar ist der Biofilm mit einem „Klettband“, auf das sich nunmehr in der 2. Phase der Biofilmbildung die in dem Trinkwasserstrom vorkommenden Mikroorganismen anheften. Prädestiniert für diesen Vorgang sind vor allem Mikroorganismen der Gattung *Pseudomonas aeruginosa*. Nachdem sie sich auf dem *conditioning film* niedergelassen haben, bewegen sie sich aktiv aufeinander zu. Dies ist in der sogenannten Prandtl'schen Grenzschicht, der Schicht zwischen Rohrwandung und Wasserströmung in der keine Strömung existiert, möglich. Die Strömungskräfte können hier nicht die zunächst nur schwach gebundenen Mikroorganismen erfassen und aus dem Leitungssystem austragen.



PHASE 3 (Abbildung c)

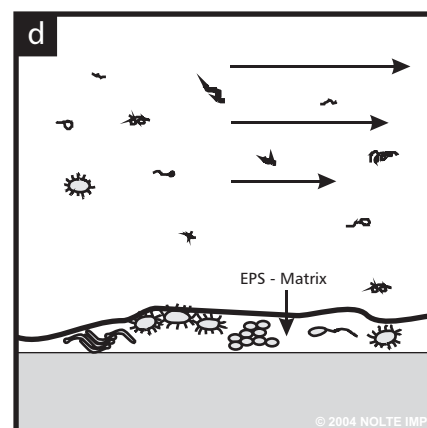
In der Phase 3 schließlich bilden die Mikroorganismen Mikrokolonien. Hierbei kommt es zwischen Ihnen zu *Zell-Zell-Kommunikationen*, die bewirken, dass sich der Stoffwechsel, d.h. der genetische Code, der Mikroorganismen umstellt und sie vermehrt die *Extrazelluläre Polymere Substanz (EPS)* produzieren. Diese Substanz besteht aus Proteinen und Zuckermolekülen und hat die Aufgabe, die Zellen miteinander zu verkleben. So ist es möglich, dass die Mikrokolonien aus der strömungslosen, sehr dünnen Prandtl'schen Grenzschicht in die Strömung wachsen können, ohne von ihr mitgerissen zu werden.



Biofilme als Quelle für pathogene Keime und deren Abbau mit biostream ZERO

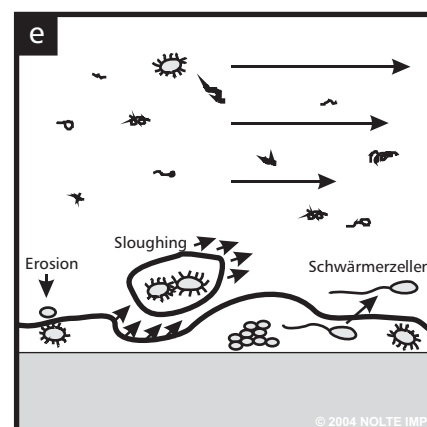
PHASE 4 (Abbildung d)

In der Phase 4 wachsen die Mikrokolonien aktiv zusammen. Die Mikroorganismen vermehren sich in der *EPS - Matrix*, die sie wiederum vor der Strömung des Leitungswassers schützt. Der pathogene Organismus *Pseudomonas aeruginosa* hat hier sogar die Möglichkeit, andere Mikroorganismen zu zersetzen, die ihm wieder als Nahrungsgrundlage dienen. Es kommt somit in diesen Biofilmen zu sehr hohen Konzentrationen an Mikroorganismen, die gegen Desinfektionsmittel weitestgehend durch die *EPS Matrix* geschützt sind. 1012 Zellen pro Milliliter Biofilm sind durchaus üblich.



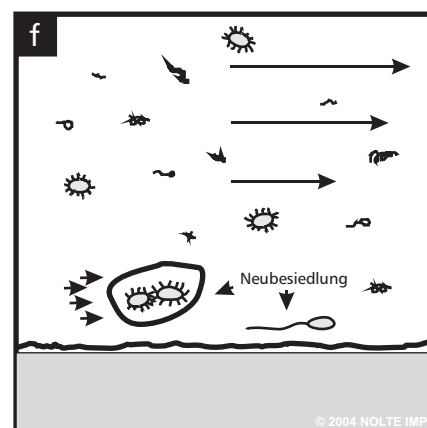
PHASE 5 (Abbildung e)

In der Phase 5 kommt es durch eine vermehrte Einengung des Leitungsquerschnittes zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit, die wiederum zu vermehrter Erosion des Biofilms führt. Auf diese Art und Weise werden Stücke des Biofilms aus diesem gerissen und in Strömungsrichtung mit den darin vorkommenden pathogenen Mikroorganismen weitertransportiert. Auch gibt es aktive *Schwärmerzellen*, die den Biofilm oberflächlich zersetzen können und somit gleichfalls in die Strömung gelangen. Dies führt dazu, dass es immer wieder zu erhöhten Keimzahlen bei solchen Vorgängen an den Wasserausläufen, bzw. am Eintritt des Wassers in die Schankanlage kommen kann.



PHASE 6 (Abbildung f)

Die Phase 6 ist schließlich die letzte Phase der Biofilmbildung und umschreibt die Besiedlung von noch nicht kontaminierten Oberflächen, z.B. in an das Trinkwassernetz angeschlossene Trinkwassersprudleranlagen oder aber in an den Hydranten angeschlossene KTW-Schläuche. Die Schwärmerzellen und Biofilmpartikel haften sich hier an den bereits vorhandenen *conditioning film* an und vermehren sich gemäß Phase 2.



Biofilme als Quelle für pathogene Keime und deren Abbau mit biostream ZERO

Die Beseitigung des Biofilms

Es gibt mehrere Desinfektionsverfahren, die zur Beseitigung der Mikroorganismen und auch des Biofilms zur Anwendung kommen. Hier unterscheidet man zum einen die physikalischen Verfahren wie die thermische Behandlung und den Einsatz von UV Strahlung und die chemische Behandlung.

Die physikalische Wärmebehandlung zerstört bei ca. 73°C die Mikroorganismen in dem Biofilm, der selber aber nicht angegriffen wird. D.h., dass nach erfolgter thermischer Behandlung es sehr schnell zu einer Neubesiedlung des vorhandenen nährstoffreichen Biofilms kommt und somit diese Maßnahme mit dem Nachteil eines enormen Energieaufwandes und der Gefahr der Verbrüfung in kurzen Abständen immer wieder ausgeführt werden muss.

Auch die UV Bestrahlung kann nicht sehr wirkungsvoll den Biofilm bekämpfen. Das UV Licht wirkt nur dort, wo es einstrahlt. In der UV-Kammer werden die durch das Trinkwasser eingetragenen Mikroorganismen zerstört und in Strömungsrichtung dem Biofilm wiederum als Nahrungsergänzung zugeführt, so dass sich dieser sogar besser entwickeln kann als ohne Einsatz einer UV Lampe.

Bei den chemischen Methoden sind zum einen die proteolytischen zu nennen, die durch die Zersetzung von Proteinen durch starke Alkalien wirken (Einsatz von Natronlauge). Diese Behandlung eines Biofilms muss mit heißer Natronlauge erfolgen und ist sehr zeitaufwändig, da der gesamte Biofilm von der Oberfläche her aufgelöst werden muss.

Weiterhin gibt es organische Biozide, die lediglich an der Oberfläche der Biofilme wirken können und in diese nicht eindringen. Somit können sich die pathogenen Mikroorganismen, geschützt durch die EPS Matrix weiterhin vermehren und bei Loslösung eines solchen Partikels gem. Phase 5 in hohen Konzentrationen an den Menschen gelangen.

Bei dem verbreitet als Desinfektionsmittel eingesetzten Oxidationsmittel Wasserstoffperoxid handelt es sich um ein sehr schwaches Desinfektionsmittel, dessen Wirkung stark pH - abhängig ist. Ein pH-Wert über 7 lässt das Redoxpotential dieses Oxidationsmittels bereits soweit sinken, dass es nicht mehr hinreichend desinfizierend wirkt. Die schlechte Ausspülbarkeit dieses nicht nach TVO 2001 zugelassenen Desinfektionsmittels und die mögliche Resistenzbildung durch das in allen Organismen vorkommende Enzym Katalase erlauben nicht in allen Fällen eine sichere Desinfektion einer Trinkwasseranlage.

Konservierungsmittel wie kolloidales Silber wird durch Reaktion mit der EPS sofort inaktiviert. Somit gelangt es nicht bis zu allen Mikroorganismen. Der Biofilm wird nicht abgebaut.

Es verbleiben noch die nach TVO 2001 zugelassene Desinfektionsmittel und -verfahren, Ozon, Chlor und Chlordioxid sowie UV.

Ozon ist ein hochgiftiges Gas und nur durch Anlagen herzustellen. Seine Handhabbarkeit ist daher auf den unmittelbaren Wasserwerksbereich eingeschränkt, da es dem Wasser vollständig wieder entzogen werden muss.

Der Einsatz von Chlor ist stark pH-abhängig. Bei pH - Werten > 7,5 liegen weniger als 50% des eingesetzten Chlors als Desinfektionsmittel unterchlorige Säure vor. Die unterchlorige Säure selbst zerfällt bei Temperatureinwirkung. Sie wird z.B. elektrolytisch hergestellt oder durch Versetzung von Chlorbleichlauge mit Säuren bzw. dem Eintrag von gasförmigen Chlor in Wasser. Die unterchlorige Säure erzeugt durch Reaktionen mit dem Biofilm sehr viele chlororganische Substanzen, die im Verdacht stehen Krebs zu erregen (z.B. Chloroform). Des Weiteren kommt es zu erheblichen Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung durch die Bildung von Chlorphenolen. Der Abbau von Biofilmen ist im pH-Wertebereich des Trinkwassers von 6,5 bis 9,5 nicht vollständig gegeben. Die Bildung von AOX-Verbindungen ist ferner bei der Ableitung des anfallenden Spülwassers in die Kanalisation hinsichtlich der zulässigen Grenzwerte zu beachten.

Die nach TVO 2001 zulässige UV-Desinfektion zeigt keinerlei Depotwirkung und wird daher von der TVO 2001 für diese Maßnahme im Einsatz mit Depotwirkung auch ausgeschlossen.

Biofilme als Quelle für pathogene Keime und deren Abbau mit biostream ZERO

biostream ZERO Chlordioxid

Als letztendlich verbleibendes zugelassenes Desinfektionsmittel laut TVO 2001 ist hier das biostream-Chlordioxid zu nennen. Chlordioxid durchdringt den Biofilm ohne dabei mit Aminen, Zuckern und langkettigen Carbonsäuren (Bestandteilen der EPS) zu reagieren. Dadurch verbraucht es sich nicht schnell im Biofilm und kann die Mikroorganismen abtöten. Es gelangt durch Diffusion bis an den *conditioning film* und kann dort durch die Reaktion mit Schwefelverbindungen (z.B. Proteine) die chemische Ablösung des gesamten Biofilms bewirken, der anschließend ausgespült wird.

Die einfache und anlagenfreie Herstellung von Chlordioxid ist durch das beim biostream ZERO genutzte Verfahren möglich. Es handelt sich um ein Herstellungsverfahren nach DIN EN 12671 (Peroxodisulfat - Chlorit Verfahren) und damit um zugelassene Stoffe für die Herstellung von Chlordioxid nach §11 TVO 2001 (<http://www.umweltdaten.de/daten/trink11.pdf> S.22 und S.13).

Das Peroxodisulfat - Chlorit Verfahren, wie es beim biostream ZERO verwendet wird, ist ferner ein geprüftes Chlordioxidherstellungsverfahren nach DVGW-Arbeitsblatt W291.

Die gefahrlose Herstellung von Chlordioxid nach diesem Verfahren ist außerdem durch die Berufsgenossenschaft bestätigt.

Durch biostream ZERO ist eine sichere Desinfektion möglich. Es ist ein Produkt, das im Vergleich zu anderen chlorhaltigen Produkten eine geringere Korrosivität aufweist, da es nahezu pH - neutral ist und nur einen sehr geringer Chloridgehalt aufweist.

Die Möglichkeit der chlorfreien(*) Herstellung von biostream-Chlordioxid ermöglicht es, dass es zu keinerlei Geschmacksbeeinträchtigungen unmittelbar nach der Herstellung kommt.

Durch biostream ZERO ist es möglich, Chlordioxidlösungen stabil bis zu drei Monate bei kühler und lichtgeschützter Lagerung zu halten.

Das sehr gute Ausspülverhalten und die leichte Messbarkeit mit Messstäbchen gewährleistet eine schnelle und effiziente Desinfektion - im Gegensatz zu Verfahren, die mit Wasserstoffperoxid oder mit Chlor/unterchlorige Säure arbeiten.

Quelle: Dr. Fritz Küke für biostream GmbH, (C) 2004 biostream GmbH

biostream GmbH

Aug.-Hennies-Weg 7 · D- 31319 Sehnde · Germany
Telefon: +49 (0)5138 - 708 78 38 · Telefax: +49 (0)5138 - 708 78 36
eMail: info@biostream.de · Internet: www.biostream.de

*) Freies Chlor nicht nachweisbar nach anerkanntem Analyseverfahren (AIETA) zum Zeitpunkt der Herstellung.