



Biofilme – Freund oder Feind?

Der richtige Umgang mit dem Begleiter
des Menschen

Biofilme – Freund oder Feind?

Der richtige Umgang mit dem Begleiter des Menschen

- 01 – Einleitung
- 02 – 1. Die Lebensgemeinschaft Biofilm
- 03 – 2. Von der Erstbesiedlung zum Belag
- 04 – 3. Aufbau und Zusammensetzung – Was ist drin?
- 05 – 4. Eine zerstörerische Gemeinschaft – Biofouling und Hygiene
- 07 – 5. Biofilmbekämpfung
- 08 – 6. Maßnahmen zur Reduzierung von Biofilmen

Einleitung

Mikroorganismen werden von den meisten Menschen als krankmachende und wenig nützliche Erreger angesehen. Jedoch stellen Bakterien die älteste und erfolgreichste Lebensform unseres Planeten dar. Sie besiedeln die Erde seit ungefähr 3,5 Milliarden Jahren und sind seitdem stetig und ständig damit beschäftigt, den Stoffkreislauf unseres Lebensraums aufrechtzuerhalten. Cyanobakterien (auch Blaualgen genannt) waren die ersten Organismen, welche den Sauerstoff unserer Atmosphäre auf den heutigen für uns lebensnotwendigen Gehalt von 21% anreicherten. Ebenso unentbehrlich sind verschiedenste Bodenbakterien, welche die Nährstoffe aus abgestorbenen Pflanzen- und Tierresten neu heranwachsenden Pflanzen und Kleinstlebewesen zur Verfügung stellen. Was wären wir ohne Bakterien im Wasser – das Wasser würde mehr und mehr verschmutzt, irgendwann ungenießbar für den menschlichen Gebrauch.

Da wir wissen, dass es unzählige Arten gibt, die sich auf ihren jeweiligen Lebensraum (Habitat) spezialisiert haben, finden wir beim genauen Hinschauen Bakterien in allen unseren Lebenslagen wieder. Ein ganzes Kraftwerk hat z.B. jeder einzelne Mensch von uns in seinem Körper - genauer im Darm. Hier wird alles was wir uns schmecken lassen in für unseren Organismus notwendige Energie umgewandelt. Neben diesen Darm - Bakterien beherbergt unser Körper aber auch weitere für uns nützliche Bakterien auf unserer Haut – sie bilden einen Schutzschild gegen die noch kleineren Organismen namens Viren, indem sie kontinuierlich Enzyme ausscheiden und den bekannten Säureschutzmantel erneuern, um Viren keine Chance zu geben, über unsere Haut in unseren Kreislauf zu gelangen. Diese unterschiedlichen Bakterienarten leben jedoch nicht, wie man vielleicht vermuten könnte, getrennt voneinander, sondern in unzähligen Kombinationen nebeneinander.

Schauen wir uns in der Natur näher um, finden wir Bakterien auf nahezu allen Oberflächen – zum Beispiel auf einem feuchten Stein im Bach, diese glitschige Oberfläche besteht aus Bakterien und Algen, welche Nährstoffe aus dem Wasser filtern und für ihren Stoffwechsel nutzen. So entstehen Matten von Bakterien, welche maßgeblich an der Reinigung unserer Flüsse beteiligt sind. Diese Beläge, in denen eine Vielzahl von Bakterien zusammengehalten wird von ihren Stoffwechselprodukten, wie z.B. Eiweißen und Zuckermolekülen (auch extrazelluläre polymere Substanzen oder kurz EPS genannt), in Symbiose miteinander leben, nennt man Biofilme. Biofilme wurden erstmals vor 60 Jahren wahrgenommen und werden seitdem für die Wissenschaft und Technik immer interessanter.



Biofilm aus dem Oberlauf des Flusses Platanero auf Rhodos

1. Die Lebensgemeinschaft Biofilm

Biofilme sind also Mikroorganismen und andere partikuläre Stoffe wie z.B. Sand, welche sich an Oberflächen (Grenzflächen) anlagern. Dort bilden sie eine Schleimmatrix aus extrazellulären polymeren Substanzen (EPS), in denen die Zellen immobilisiert sind.

Die Voraussetzungen für die Entstehung von Biofilmen sind fast überall gegeben: Mikroorganismen, Grenzflächen, Nährstoffe und Feuchtigkeit. Der Biofilm selbst stellt für Mikroorganismen einen Schutz- und Lebensraum dar, der ein symbiotisches Zusammenleben verschiedenster Arten begünstigt. Als vorteilhaft gegenüber der so genannten planktonischen Lebensweise (das Leben eines einzelnen, frei schwimmenden Bakteriums z.B. im See) stellt sich vor allem der Schutz vor Umwelteinflüssen heraus, welche in Form von:

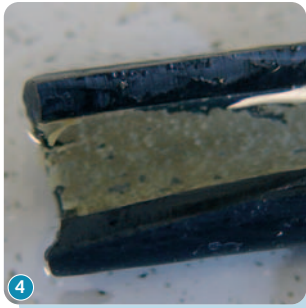
- Austrocknung,
- extremen pH-Werten,
- Desinfektionsmitteln sowie
- der Beanspruchung durch Strömung

auftreten können. In diesem Schutzraum können sich verschiedenste Arten und Spezies entfalten, insbesondere durch das Vorhandensein ökologischer Nischen (z.B. Strömungstotzonen oder sauerstofffreien Zonen in den tieferen Schichten eines Biofilms). Hinzu kommt, dass die EPS-Matrix auch als Nährstoffspeicher für schlechte Zeiten fungiert.

Die Anheftung von Mikroorganismen an Oberflächen kann somit als Überlebensstrategie bezeichnet werden, gleichzeitig können die Oberflächen auch als Nährstoffquelle dienen (z.B. bei der Zersetzung von Pflanzenresten oder Kunststoffen). Selbst in Duschschläuchen wurden bereits Biofilme gefunden. Hier nutzen die Biofilme den Kohlenstoff (Weichmacher) aus dem Kunststoffschlauch als Nährstoffquelle. Der Schlauch wird mit der Zeit spröde und kann nach einigen Jahren sogar einreißen. In den nachfolgenden Abbildungen sind Biofilme aus einem herkömmlichen Duschschlauch, einem Pumpenkopf und einem Abflussrohr abgebildet.

2. Von der Erstbesiedlung zum Belag

Damit ein Biofilm entsteht, müssen einige Voraussetzungen geschaffen sein. Zum einen muss eine Grenz- bzw. Oberfläche vorhanden sein, welche im Kontakt mit Wasser bzw. feuchter Luft steht. Zum anderen müssen Mikroorganismen anwesend und Nährstoffe für das Wachstum vorhanden sein. Anfänglich ist es für die



4

Biofilme in einem Duschschlauch,



5

in einem Pumpenkopf



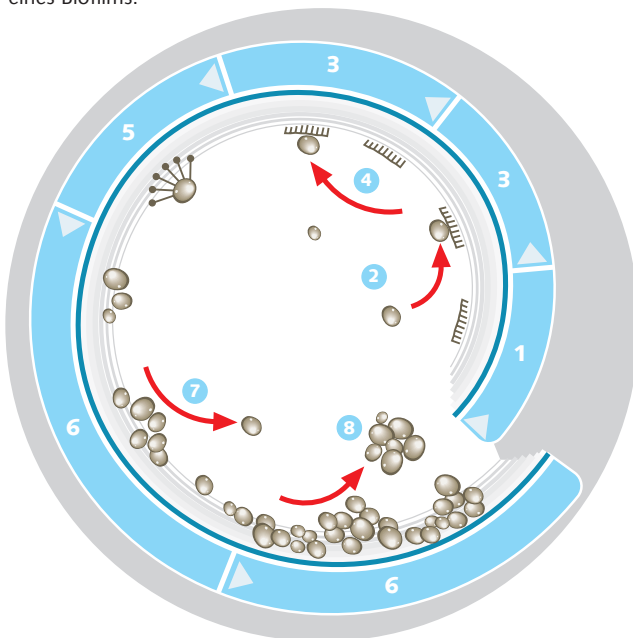
6

und einem Abflussrohr

Bakterien nicht ganz einfach, auf einer Oberfläche zu siedeln. Dies wird dadurch begünstigt, dass eine Art natürlicher Klebstoff bestehend aus Huminstoffen, Eiweißen und Zuckermolekülen die Oberfläche vorbereitet. Diese Stoffe gelangen durch Abbauprodukte organischen Materials aus der Wasserphase auf die Oberfläche und bilden den so genannten „conditioning film“.

Für die Mikroorganismen ist es auf Grundlage diese Films einfacher, sich auf der Oberfläche anzuheften und die Erstbesiedelung vorzunehmen. Hierbei binden einige Bakterien reversibel und einige irreversibel an der Oberfläche. Die irreversibel anhaftenden Bakterien nutzen nun die Nährstoffe aus der wässrigen Phase, um sich auf der Oberfläche zu vermehren und Stoffwechsel zu betreiben. Diese Phase wird Wachstumsphase genannt. Aufgrund der sich bei jeder Teilung verdoppelten Anzahl der Organismen wird diese Phase auch exponentielle Wachstumsphase genannt.

Während des Wachstums scheiden die Bakterien Stoffwechselprodukte wie die oben beschriebene EPS aus. Diese Substanzen ermöglichen es den Mikroorganismen, sich gegen die äußeren Einflüsse wie Fressfeinde (höhere Organismen z.B. Protozoen), Nährstoffknappheit und mechanischen Beanspruchungen (Strömung) in Kolonien zu organisieren und in Symbiose mit andern Spezies zu leben. Die EPS-Matrix ist also ein wichtiger Baustein eines Biofilms.



- 1 Konditionierung der Aufwuchsfläche
- 2 Suspensierte Zellen lagern sich an
- 3 Reversible Adhäsion der Zellen
- 4 Deadhäsion
- 5 Irreversible Adhäsion der Zellen
- 6 Wachstum und Zellakkumulation
- 7 Abtrag durch Erosion
- 8 Abtrag durch "sloughing"

Abbildung A: Die verschiedenen Schritte bei der Bildung, dem Wachstum und dem Abtrag von Biofilmen

Der limitierende Faktor des Wachstums ist der Abtrag einzelner Bakterien oder ganzer Kolonien (Sloughing und Erosion genannt). Dies tritt dann auf, wenn die EPS-Matrix aufgrund ihrer Dicke entweder der mechanischen Beanspruchung nicht mehr standhält und von der Oberfläche abreißt, oder wenn aufgrund Nährstoffmangels die EPS-Matrix von den Bakterien selbst aufgelöst wird. Die Prozesse Wachstum und Abtrag schwanken in einem stabilen System um einen bestimmten Gleichgewichtszustand, dieser Zustand wird auch Plateauphase genannt. In den Abbildungen A und B ist einerseits das Entstehen eines Biofilms mit seinen einzelnen Wachstumsphasen (Abbildung A) und eine allgemeine Wachstumskurve (Abbildung B) dargestellt.

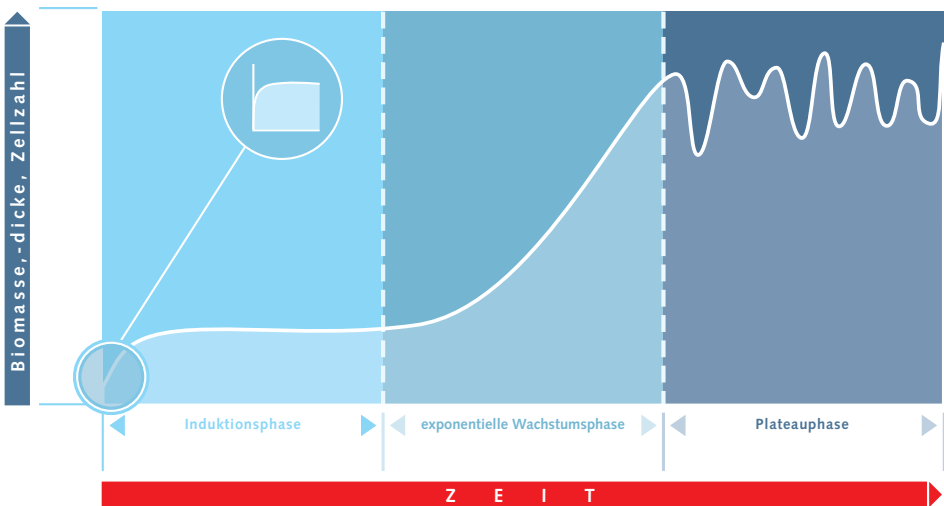


Abbildung B: Bildung von Biofilmen (Characklis, 1990)

3. Aufbau und Zusammensetzung – Was ist drin?

Im Allgemeinen setzen sich Biofilme aus den Mikroorganismen, den extrazellulären polymeren Substanzen (EPS), eingelagerten anorganischen Partikeln, wie Sand und gelösten Stoffen z.B. Metallen zusammen. Der größte Teil des Biofilms besteht aus Wasser. Der Wassergehalt kann zwischen 50 und 95% variieren. Die EPS machen, bezogen auf das Trockengewicht, etwa 60 bis 90% der gesamten organischen Substanz im Biofilm aus.

Die EPS sind organische Polymere, die hauptsächlich aus Polysacchariden, Proteinen, Glykoproteinen, Nukleinsäuren und Lipiden bestehen. Dabei handelt es sich um Zellausscheidungen, die unterschiedlich fest an die Zelloberfläche gebunden sind. Sie umgeben die Bakterienzelle als Hülle, formen den Raum zwischen den Mikroorganismen und halten sie in ihrer dreidimensionalen Anordnung.

Biofilme können je nach ihrer mechanischer Beanspruchung (Strömung) sehr locker oder sehr fest aufwachsen. Es wurden bereits Biofilme gefunden, welche sehr hohen Strömungsgeschwindigkeiten ausgesetzt waren und eine fast gummiartige Schicht ausbildeten.

4. Eine zerstörerische Gemeinschaft – Biofouling und Hygiene

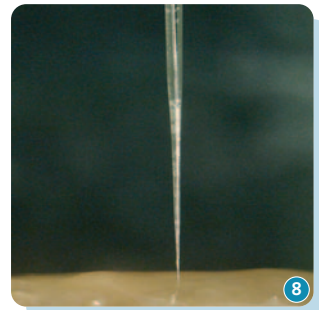
Bilden sich innerhalb technischer Anlagen Biofilme, die sich störend auf die Betriebsweise oder das hergestellte Produkt auswirken, so wird von Biofouling gesprochen.

Die durch Biofouling entstehenden Probleme sind sehr verschiedenartig. Durch Biofilme kann Korrosion der bewachsenen Werkstoffe beschleunigt oder hervorgerufen werden, der Druckverlust von Rohrleitungen und auch Membrananlagen kann ansteigen, der Wärmeübergang in Wärmetauschern dagegen deutlich abnehmen. Außerdem können durch abgerissene Biofilme Produkte verunreinigt oder andere Prozesse gestört werden. In Reinst- und Trinkwasseranlagen hingegen ergibt sich aus der Anwesenheit von wenigen Mikroorganismen bereits ein Hygieneproblem.

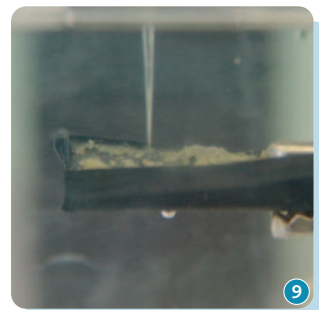
In Tabelle 1 sind die „extremen“ Umweltbedingungen dargestellt, bei denen das Wachstum von Biofilmen bereits detektiert werden konnte. Da technische Systeme in größerem Maßstab nicht oder nur mit unvermeidbarem Aufwand komplett frei von Mikroorganismen zu halten sind, kann sich in allen Systemen, die innerhalb der in Tabelle 1 gezeigten Parameter liegen, ein Biofilm bilden. Um eine möglichst kostengünstige Betriebsführung zu erreichen, wird versucht, die Zeit zu verlängern, bis der Biofilm auf Grund seines Wachstums zu stören beginnt und damit zum Biofoulingproblem wird.



Unterschiedliche Strukturen von Biofilmen von sehr locker,



bis sehr kompakt



Messungen mit einer Mikroelektrode

Tabelle 1

Spannweite mikrobieller Existenz in Form von Biofilmen (Flemming, 1991)	
Temperaturbereiche	von -12 °C (kalte, salzhaltige Lösungen) bis 110 °C (Sulfatreduzierer in schwefelhaltigen Quellen unter Druck)
pH-Bereich	von 0 (Thiobacillus ferrooxidans) bis > 13 (Plectonema nostocorum; Natronbakterien)
Hydrostatischer Druck	von 0 (verschiedene Bakterien) bis > 1400 bar („barophile Bakterien“)
Redoxpotenzial	Gesamter Bereich der Redox-Stabilität des Wassers
Salzgehalt	von 0 (Bakterien in bidestilliertem Wasser) bis zu gesättigten Lösungen in Salzseen (obligat halophile Bakterien)
Nährstoffangebot	ab 10 µg/L C _{org} (Systeme mit hochreinem Wasser; extrem oligotrophe) bis zu Leben direkt auf der Nährstoffquelle
Oberflächenmaterialien	Metalle (auch Kupfer), Beton, Kunststoffe, Glas, Mineralien, Mineralöle und Fette, pflanzliches und tierisches Gewebe, Knochen u.v.a.
Strahlenbelastung	Biofilme auf Quarzschutzhüllen von UV-Lampen Biofilme auf radioaktiven Strahlungsquellen (> 500 krad)
Biozid-Konzentrationen	> 2 mg/L freies Chlor Biofilme in Desinfektionsmittel-Leitungen

Hygiene

Tabelle 1 zeigt deutlich, dass es kaum einen Lebensraum gibt, in dem Biofilme nicht wachsen. Die Frage ist nur, wie schädlich bzw. tolerierbar sie für den Menschen sind? In Zeiten der Legionärskrankheit fragt man sich, wo kommen diese pathogenen Keime her? Prinzipiell ist in Deutschland das Trinkwasser in einem einwandfreien Zustand. Dies garantiert der Gesetzgeber bzw. das Wasserwerk bis an den Anschluss unserer Hausinstallation.

Ab hier fangen aber die Probleme an. Aufgrund nicht vorschriftsmäßig verlegter Rohre kann es zu Totzonen kommen, in denen sich ein Biofilm aufgrund sehr geringer Strömungsgeschwindigkeiten bevorzugt ansiedelt. Ein weiteres Problem kann auftreten, wenn die Kaltwasserleitung neben einer unisolierten Warmwasserleitung verlegt wurde, dies führt zu einem vermehrten Auftreten von Keimen. Sind diese ersten Voraussetzungen geschaffen, kann sich im Laufe der Zeit der Biofilm und damit die sich darin unter Umständen befindlichen pathogenen Keime ausbreiten und zu weitreichenden Problemen führen. In Krankenhäusern ist man aus Sicherheitsgründen dazu übergegangen, keine Warmwasserleitungen mehr in den sanitären Anlagen zu installieren. Oder besser noch am Ende der Leitung einen Durchlauferhitzer zu nutzen, welcher auf eine Temperatur über 60°C eingeregelt wird. Durch die hohen Temperaturen können die meisten Keime abgetötet werden und es kommt zu keiner Ansammlung von Krankheitserregern.

5. Strategien zur Biofilmbekämpfung

Es kann zwischen chemischen und physikalischen Methoden zur Biofilmbekämpfung unterschieden werden, wobei die letztere (hauptsächlich die mechanischen Reinigungen) auch einen Erfolg bei der Ablösung der Biofilme versprechen.

Ziel jeder Behandlung, ob chemisch, physikalisch oder eine Kombination daraus, sollte es also immer sein, den Biofilm zu entfernen. Dem kann eine Abtötung vorausgehen, dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

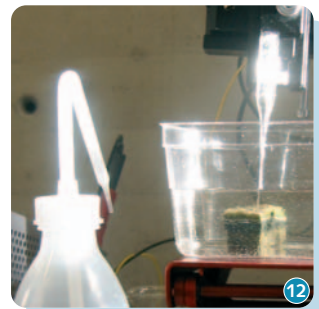
Die am häufigsten angewendete chemische Bekämpfung beruht auf oxidativen Bioziden. Oxidative Biozide reagieren relativ unspezifisch besonders mit organischer Materie. Auf diese Weise werden sowohl Mikroorganismen getötet, als auch oft die EPS-Matrix geschwächt, was ein anschließendes Ablösen des Filmes erleichtert. Allerdings ist die Wirkung dieser Oxidationsmittel (z.B. Wasserstoffperoxid, Ozon und Chlor) nicht auf Biofilme beschränkt; viele dieser Biozide greifen auch die bewachsenen Werkstoffe selbst an. Zudem sind einige von ihnen, z. B. Chlor und Brom, ökologisch bedenklich. Wichtig ist, dass die Konzentration aller eingesetzten Biozide nicht zu niedrig angesetzt wird. Die Biofilmmatrix stellt eine Diffusionsbarriere dar, welche die Organismen im Basisfilm vor toxischen Stoffen in der Wasserphase schützt. Werden nicht alle Organismen im Biofilm getötet oder abgelöst, so besteht die Gefahr einer schnellen Neubildung des Belages.



Biofilm mit sulfatreduzierenden Bakterien

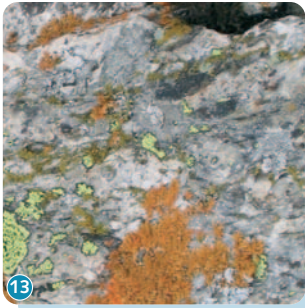


Biofilm aus einem Hochmoor in der Schweiz



Untersuchung eines 2,5 cm dicken Biofilms

Die meisten der verwendeten physikalischen Reinigungsstrategien wenden mechanischen Stress (also hohe Strömungsgeschwindigkeiten oder Druckstöße) an, um die unerwünschten Biofilme zu entfernen. Eine Abtötung der Organismen im Biofilm kann aber auch durch die Bestrahlung mit UV-Licht erreicht werden. Dies aber nur mit begrenztem Erfolg (siehe Tabelle 1), da die UV-Strahlen meist nicht in die tiefen Regionen des Biofilms vordringen können und so das Wachstum nahezu ungehindert weiter fortschreitet. Auch wenn ein einzelner Biofilm mit Hilfe einer Bürste oder anderen Hilfsmitteln leicht entfernbar scheint, so sind Biofilme z.T. doch in der Lage, sehr hohen Strömungen zu widerstehen.



13
Biofilm und Flechten auf einem Stein



14
Detailaufnahmen eines überströmten Steines



15
Flussbiofilm

6. Maßnahmen zur Reduzierung von Biofilmen

Wie bereits oben beschrieben, ist zur Reduzierung von Biofilmen die Kombination verschiedener Reinigungsstrategien am sinnvollsten. Dazu gehört eine regelmäßige Wartung nach Angaben des Herstellers. Zusätzlich lassen sich aber auch präventive Maßnahmen ergreifen, um Mikroorganismen gar nicht erst oder nur in sehr geringen Konzentrationen in das System zu schleusen. Um die zusätzliche Verkeimung von geschlossenen Systemen zu reduzieren, sollten beim Öffnen von Filtergehäusen besondere Vorsichtsmaßnahmen (z.B. sterile Einweghandschuhe) ergriffen werden. Anzuraten ist ebenfalls eine Reinigung des Gesamtsystems (z.B. Wasserautomat), bzw. der mit der Umgebung in Verbindung stehenden Öffnungen wie Schlauchanschlüsse und Zapfstelle.

Im ersten Schritt wird meist mechanisch mit Hilfe einer Bürste gereinigt, danach sollten alle groben Ansammlungen abgespült werden, bevor eine Desinfektion mit speziellen Lösungen empfehlenswert ist. Bekannt ist auch, dass Bakterien bei niedrigen Temperaturen eine geringere Wachstumsgeschwindigkeit besitzen. Für die Praxis bedeutet dies, die Systeme möglichst an einem Ort aufzubewahren, der kühl ist und keiner direkten Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. In regelmäßigen Abständen gewartet (Filterwechsel) und gereinigt, können so der Biofilm und die Keimbelastung auf einem für den Menschen ungefährlichem Niveau gehalten werden.

Impressum

Herausgeber:

CARBONIT Filtertechnik GmbH, Salzwedel
www.carbonit.com

LAGOTEC

Sensortechnik und mikrobielle Anlagensicherheit GmbH
www.lagotec.de

Design/Layout:

toolboxx-design, Magdeburg
www.toolboxx.net

Druck:

Stelzig Druck, Magdeburg