

## Biofilm - Was ist das?

Biofilme bestehen aus einer dünnen Schleimschicht (Film), in der Mikroorganismen (z.B. Bakterien, Algen, Pilze, Protozoen) eingebettet sind. Biofilme entstehen, wenn Mikroorganismen sich an Grenzflächen ansiedeln. Sie bilden sich überwiegend in wässrigen Systemen, entweder auf der Wasseroberfläche oder auf einer Grenzfläche zu einer festen Phase.

Allgemein können jedoch alle Grenzflächen von Biofilmen bewachsen werden: zwischen Gas- und Flüssigphasen (z. B. freier Wasserspiegel), Flüssig- und Festphasen (z. B. Kies an der Gewässersohle) oder auch zwischen verschiedenen Flüssigphasen (z. B. Öltröpfchen im Wasser). Die Grenzfläche, auf der sich der Biofilm bildet, nennt man Substratum.

Biofilme können als die Urform des Lebens gelten, denn die ältesten Fossilien, die man bisher gefunden hat, stammen von Mikroorganismen in Biofilmen, die vor 3,5 Milliarden Jahren gelebt haben. Es handelt sich dabei um in Westaustralien gefundene Stromatolithen. Der Biofilm als Lebensform hat sich so gut bewährt, dass er bis heute weit verbreitet ist. Die weitaus überwiegende Zahl an Mikroorganismen lebt in der Natur in Form von Biofilmen.

Biofilme werden im Alltag oft als "Schleimschicht" oder "Belag" wahrgenommen. Andere, umgangssprachliche Bezeichnungen sind: Aufwuchs, Kahmhaut, Sielhaut.

Auf der Seite der biostream® - GmbH finden Sie einen ausführlichen und bebilderten Vortrag unter DOKUMENTE.

### Zusammensetzung

Der Biofilm enthält außer den Mikroorganismen hauptsächlich Wasser. Von den Mikroorganismen ausgeschiedene extrazelluläre polymere Stoffe (EPS) bilden in Verbindung mit dem Wasser Hydrogele, so dass eine schleimartige Matrix entsteht, in der Nährstoffe und andere Substanzen gelöst sind. Oft werden von der Matrix auch anorganische Partikel oder Gasbläschen eingeschlossen. Die Gasphase kann je nach Art der Mikroorganismen mit Stickstoff, Kohlenstoffdioxid, Methan oder Schwefelwasserstoff angereichert sein.

Die EPS bestehen aus Biopolymeren, die in der Lage sind, Hydrogele zu bilden und die somit dem Biofilm eine stabile Form geben. Dabei handelt es sich um ein weites Spektrum von Polysacchariden, Proteinen, Lipiden und Nukleinsäuren. In Biofilmen leben normalerweise mehrere verschiedene Mikroorganismen gemeinsam, außer den „Urbewohnern“ des Biofilms können auch andere Einzeller (Amöben, Flagellaten u. a.) integriert werden.

Im Abstand von wenigen hundert Mikrometern können aerobe und anaerobe Zonen vorkommen, was das Leben von aeroben und anaeroben Mikroorganismen eng nebeneinander zulässt.

Im Inneren von Biofilmen werden gelöste Stoffe überwiegend durch Diffusion transportiert. Konvektive Stofftransportvorgänge treten allenfalls in Kavernen und Gängen auf, wenn diese vom Wasser durchströmt werden. Im Bereich der Oberfläche des Biofilms können konvektive Mischungsvorgänge zusätzlich durch Bewegung von in die Strömung hineinragenden Auswüchsen (z. B. Fadenbakterien) ausgelöst werden.

### Form

Im Kernbereich ist der Biofilm meist kompakt (Basis-Biofilm). Der Randbereich (Oberflächen-Biofilm) kann entweder ebenfalls kompakt sein und eine ebenen Grenzfläche zum überströmenden Fluid hin bilden, oder auch unscharf ausgeformt und wesentlich lockerer sein.

Außerdem kann die Oberfläche entweder regelmäßig geformt sein oder einer Berg-und-Tal-Bahn ähneln, wenn beispielsweise Bakterienarten fadenförmig (filamentös) in das Fluid hineinwachsen oder wenn das Substratum mit Protozoen (z. B. Glockentierchen) oder höheren Organismenarten besiedelt ist.

Die so entstehende Biofilm-Matrix ist oft von Poren, Kavernen und Gängen durchzogen, die einen Stoffaustausch zwischen den Bakterienzellen und eine Versorgung mit Wasser ermöglichen.

An der Grenzschicht zum Wasser können immer wieder Zellen oder ganze Teile des Biofilms abgegeben und vom vorbeiströmenden Wasser aufgenommen werden.

## Bildung

Die Entstehung und Ausbildung eines Biofilms kann in drei Phasen unterteilt werden: die Induktionsphase, die Akkumulationsphase und die Existenzphase.

Einen ausführlichen Vortrag können Sie sich als PDF-Dokument direkt vom Hersteller eines Desinfektionsmittels auf Chlordioxid-Basis herunterladen: biostream - Vortrag. Der Biofilmbildung auf festen Oberflächen geht meist eine Induktionsphase voraus, andere Biofilme bilden sich oft auch ohne diese. In der Induktionsphase lagert sich an einer mit Wasser benetzten Oberfläche eine dünne, zähflüssige Schicht aus organischen Substanzen an. Dadurch können die Mikroorganismen sich besser an die Oberfläche anheften. Diese Biopolymere entstammen der Schleimhülle, die sich um Bakterienzellen bildet (EPS), sich gelegentlich ganz oder teilweise ablöst und beim Kontakt mit Grenzflächen adsorptiv gebunden wird.

Diese organische Schicht wird dann in der Akkumulationsphase von Keimen besiedelt, welche die organischen Substanzen als Nährstoffe nutzen. Die Verständigung der Mikroorganismen läuft über ein interzelluläres Kommunikationssystem, welches als "Quorum sensing" bezeichnet wird. Dadurch finden sich die einzelnen Organismen in großer Zahl zusammen. Infolge der Vermehrung der Zellen, die sich an einer Oberfläche angelagert haben, kommt es zu einer Ausbreitung der Organismen. Die Grenzfläche wird in Form eines Films (Biofilm) erst flächig besiedelt. Gleichzeitig oder später wachsen die Biofilme mehrschichtig auf und bilden schließlich dreidimensionale Strukturen.

Von der Existenzphase spricht man, wenn sich ein Gleichgewicht zwischen Zuwachs und Abbau des Biofilms einstellt. Die Tiefenausdehnung des Biofilms ist begrenzt, da sich regelmäßig ganze Teile des Biofilms ablösen (Häutung, engl. sloughing). Dafür gibt es verschiedene Ursachen:

\* In den tieferen Schichten des Biofilms kommt es leicht zu Substrat- oder Sauerstoffmangel. Dabei sterben aerobe (benötigen Sauerstoff) Bakterien ab, während an deren Stelle fakultativ anaerobe (sauerstofftolerant) bzw. strikt anaerobe (leben ohne Sauerstoff) Vertreter zum Wachstum kommen.

- Durch die zunehmende Dicke wird der Biofilm irgendwann zu schwer.

- Durch die Bildung von Gasblasen (z. B. durch Denitrifikation und Kohlendioxid) geht der Zusammenhalt von

## Biofilmteilen verloren

- Die Erhöhung des Strömungswiderstandes mit zunehmender Dicke führt zu einer erhöhten Erosion, wenn sich der Biofilm an angeströmten Oberflächen gebildet hat.

## Natürliches Vorkommen

Biofilme kommen überall vor - in allen Böden und Sedimenten, auf Gestein, auf Pflanzen, Tieren und Menschen, im Eis von Gletschern, in kochenden Quellen, auf Felsen in der Wüste, in verdünnter Schwefelsäure und verdünnter Natronlauge, in Flugzeugbenzin und in Öltanks, in Raumkapseln und U-Booten, sogar in stark verstrahlten Bereichen von Kernkraftwerken. Sie bilden mikrobielle Matten in Feuchtgebieten. Auch die Plaque, die sich auf Zähnen bildet, besteht aus Biofilmen.

## Ökologische Bedeutung

Biofilme sind an den globalen Kreisläufen von Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor und vieler anderer Elemente beteiligt. Sie mobilisieren Stoffe aus Mineralen. Sie binden viel Kohlenstoffdioxid, womit sie dem Treibhauseffekt entgegenwirken.

Die Organismen innerhalb der Biofilme sind in der Lage, durch ihr Zusammenwirken auch schwer abbaubare Stoffen abzubauen. Sie spielen eine zentrale Rolle in den Selbstreinigungsprozessen natürlicher Habitats. So sind sie wesentlich an der Selbstreinigung der Gewässer beteiligt.

## Leben im Biofilm – Schutz und Gemeinschaft

Die Lebensvorgänge der Bakterien im Biofilm unterscheiden sich deutlich von denen im planktonischen Zustand, also in freier Suspension. Bewegliche Bakterien trennen sich von ihren Flagellen und es werden andere EPS als im planktonischen Zustand gebildet.

Die Matrix bietet mechanische Stabilität und erlaubt es den Biofilm-Organismen, langfristige synergistische Wechselwirkungen aufzubauen, Hungerperioden zu überstehen und verhindert das Abschwemmen extrazellulärer Enzyme.

So werden einige Gene durch den Oberflächenkontakt an- und andere abgeschaltet. Durch spezielle Signalmoleküle können sie sich untereinander verständigen und gegenseitig weitere Gene an- und abschalten. Ihr genetisches Repertoire erweitern sie durch "horizontalen Gentransfer", indem sie Nachbarzellen besuchen und fleißig Gene austauschen, die sie für spezielle Abbauprozesse brauchen.

Dadurch ist eine ungemein flexible, leistungsfähige und universelle Lebensform entstanden, die sich ansatzweise mit multizellulären Organismen vergleichen lässt.

Der Biofilm bietet dem einzelnen Mikroorganismen darin einen ausgezeichneten Schutz und ermöglicht ihm, sich auf veränderte Umweltbedingungen einzustellen: So steigt die Toleranz gegenüber extremen pH-Schwankungen, Schadstoffen (z.B. Antibiotika), aber auch UV- und Röntgenstrahlung sowie Nahrungsmangel. Mögliche Ursachen dieser Hemmung sind

- Erschwerte Penetration, die Schadstoffe können nicht in die Biofilme eindringen
- Einzelne bakterielle Zellen an verschiedenen Stellen des Biofilms (mit anderen Worten "näher" oder "weiter entfernt" von Antibiotika oder Reaktionen des Immunsystems) verhalten sich unterschiedlich. Auch wenn einige sterben, bleiben welche übrig
- Langsamere Wachstumsraten der Bakterien im Biofilm.
- Die Bakterien zeigen im Biofilm einen reduzierten Stoffwechsel und nehmen deshalb so gut wie keine antibiotischen Gifte auf, sie schützen sich im Wesentlichen selbst durch Untätigkeit.
- Ungünstige Bedingungen für den Wirkstoff im Biofilm.

### Biofilme als Störung und Sicherheitsrisiko

Fast überall, wo Biofilme auftauchen, können sie auch unerwünschte oder sogar schädliche Wirkungen haben.

### Medizin

Im medizinischen Bereich kann es zur mikrobiellen Kontamination und Besiedlung von Kathetern, Implantaten und Instrumenten kommen. Da Biofilme häufig streuen, können sie eine kontinuierliche Quelle für Keime, Bakterien usw. bilden, die zur Infektion von Patienten führen können.

In etwa 65 Prozent aller bakteriellen Infektionskrankheiten schützen sich die Erreger durch die Bildung von Biofilmen vor dem Immunsystem.

### Lebensmittel

Um die Kontamination von Wasser und Lebensmitteln, aber auch von Medikamenten und Kosmetika durch Mikroorganismen zu verhindern, sind ständige Maßnahmen gegen Biofilmbildung nötig. Dabei fallen jedes Jahr große Mengen durch Reinigungs- und Desinfektionsmittel belasteten Wassers an.

### Bikorrosion

Die Ausscheidungen der Biofilm-Organismen können auch die Korrosion ihrer Unterlage beschleunigen, man spricht dann von Bikorrosion. Fast alle technischen Systeme sind davon betroffen: u.a. Kühlkreisläufe, Wasseraufbereitungs- und Brauchwassersysteme, die Energieerzeugung in Kraftwerken, die Produktion von Autos, Computern, Farben, die Öl-Industrie. In Bergbaualtlasten führt biologische Laugung von Mineralen durch Biofilme zu großflächigen Umweltschäden bei Böden, Gewässern und Luft durch Staubbelastung sowie Emission von Schwefelsäure, Schwermetallen, Radon und Radionukliden.

### Biofouling

Bei der Wasseraufbereitung durch Membranverfahren sind Biofilme für das Biofouling verantwortlich, das bei dieser

Technik zu schwerwiegenden Störungen führt.

Sonstiges

Biofilme, die sich an Schiffen bilden, führen zu erhöhter Reibung und dadurch zu erhöhtem Brennstoffverbrauch. Ein Biofilm von nur einem Zehntel Millimeter verringert die Geschwindigkeit eines Tankers um 10 bis 15 Prozent. Im Kampf gegen den Bewuchs werden spezielle Substanzen auf Schiffe gestrichen, deren Wirkstoffe an das Wasser abgegeben werden und eine ernst zu nehmende Umweltbelastung darstellen. Auf der anderen Seite ergibt sich eine nicht unerhebliche Entlastung der Umwelt durch den eingesparten Treibstoff. Eine Ermessensfrage.

Verhinderung von Biofilmen

Es gibt verschiedene Methoden, Biofilme zu verhindern. Wie so oft ist dabei Vorbeugen besser als heilen:

- \* Eintrag von organischen Nährstoffen minimieren, um den Mikroorganismen die Lebensgrundlage zu entziehen.
- \* Maßnahmen zur Desinfektion und Entkeimung des Wassers.
- \* Mechanische Zerstörung der Biofilme.
- \* Bakterien abweisende Beschichtungen bzw. Vermeidung rauer Oberflächen.
- \* Derzeit werden Möglichkeiten erforscht, die Kommunikation der Bakterien im Biofilm so zu stören, dass sie sich nicht mehr ansiedeln.
- \* In der Biotechnik müssen Biofilme in Rohrleitungen, die reines und hochreines Wasser transportieren, verhindert werden. In der Regel wird dazu Ozon eingespeist.

Quelle: Wikipedia