

Bekämpfung bakterieller Biofilme

Für einige der hartnäckigsten Infektionskrankheiten sind Biofilme, gut organisierte Verbände von Bakterien, verantwortlich. Wer ihnen beikommen will, muss das Kommunikationssystem dieser Mikroben ausspionieren. (Beispiele und Gegenmaßnahmen s. am Ende des Aufsatzes)

Von J. W. Costerton und Philip S. Stewart

übersetzt von Dr.
Andrea Kamphuis

Aus Spektrum der Wissenschaft November 2001, Seite 58 ff., Beitragstyp Artikel

Ohne Kommunikation kann keine menschliche Gemeinschaft funktionieren; sie ist einer der Lebensnerven unseres Zusammenlebens. Nicht anders verhält es sich bei Bakteriengemeinschaften.

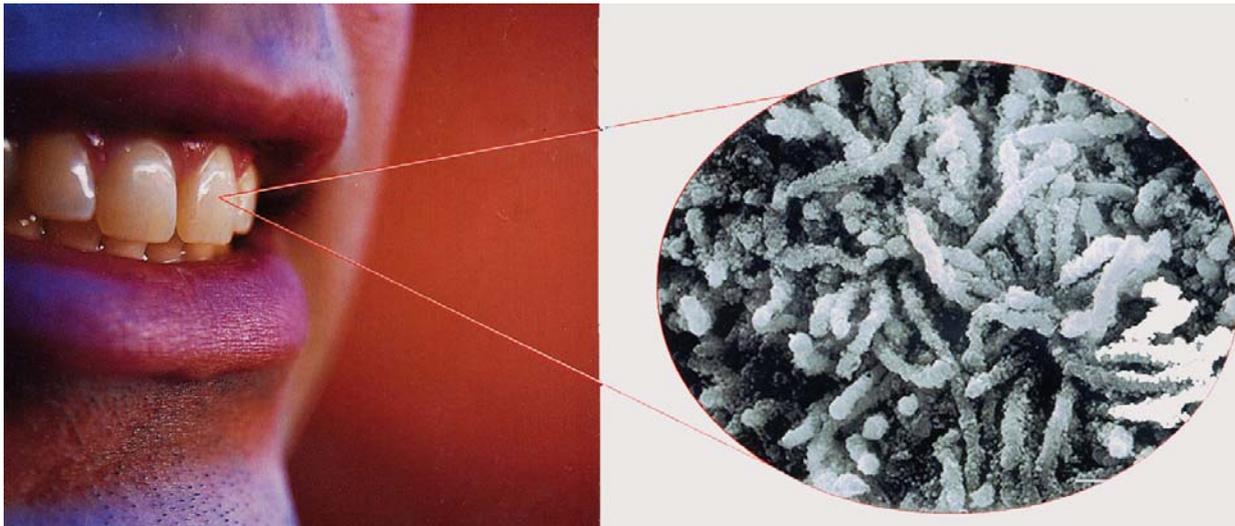


Abb.: Auch gewöhnlicher Zahnbelag ist ein Biofilm. Die Plaque-Bakterien scheinen sogar für Herzerkrankungen mitverantwortlich zu sein.

Etliche bakterielle Infektionen sind schwer zu kurieren, weil ihre Erreger sich großflächig zu komplexen, widerstandsfähigen Verbänden zusammenschließen. Diesen so genannten Biofilmen kann eine traditionelle Antibiotika-Behandlung kaum mehr etwas anhaben. Die Mikroben errichten und unterhalten ihr Bollwerk, indem sie sich über Botenstoffe verständigen. Diese vergleichsweise junge Erkenntnis offenbart aber zugleich die Schwachstelle im System: Gäbe es Medikamente, die diese Informationsübermittlung stören, ließen sich vermutlich Zusammenschlüsse verhindern oder bereits etablierte Bastionen unterminieren. Nützlich wären solche Mittel gegen diverse Erkrankungen: von den hartnäckigen Lungenentzündungen, die immer wieder Mukoviszidose-Patienten heimsuchen, bis zu den schleichenden Infektionen, die sich oft an den Oberflächen von Implantaten bilden.

Zurzeit werden Wirkstoffe, welche die Übermittlung entscheidender bakterieller Signale stören, in Tierversuchen erprobt. Warum aber wurde dieser elegante Ansatz nicht schon längst verfolgt, um unser medizinisches Arsenal aufzustocken? Im Grunde liegt es daran, dass die Mikrobiologen den Feind lange Zeit massiv unterschätzt haben. Seit Robert Koch im späten 19. Jahrhundert mit seinen Laboruntersuchungen eindeutig nachwies, dass Mikroben die Ursache vieler Krankheiten sind, stellen sich die meisten Menschen - selbst Naturwissenschaftler - Bakterien als einzelne Zellen vor, die frei im Wasser oder einer Körperflüssigkeit treiben oder aktiv schwimmen. Dieses schiefe Bild resultierte aus der üblichen Untersuchungsmethode der Forscher: Zum Beobachten legten sie unter ihr Mikroskop einen Objektträger mit einem Tropfen des Nährmediums, und darin schwebten die kultivierten Zellen. Das war zwar praktisch, verleitete aber zu Fehlschlüssen, denn diese Kulturbedingungen haben mit der normalen Umwelt der Mikroben meist nicht viel gemein. Folglich verhalten sich Bakterien in klassischen Laborkulturen oft völlig anders als in der freien Natur.

In den letzten Jahren haben wir und andere Bakteriologen viel über die tatsächliche Lebensweise der häufigsten krankheitserregenden Mikroben in Erfahrung gebracht. Wir entdeckten, dass viele dieser Organismen den kleinsten Teil ihrer Zeit als frei schwebende Einzelzellen verbringen. Vielmehr heften sie sich gerne an alle möglichen benetzten Oberflächen an, bilden dort Kolonien und schließen sich zu einer erstaunlichen Vielfalt von Lebensgemeinschaften zusammen.

Rückblickend erscheint es unglaublich, dass diese mikrobielle Lebensweise dem Auge der Forscher so lange entgehen konnte. Immerhin kommen Bakterien-Biofilme fast überall vor: Der lästige Zahnbelag, der glitschige Überzug eines Flusskiesels sowie die unvermeidliche Schleimschicht, die sich nach zwei, drei Tagen in jeder Blumenvase breit macht - all dies sind nur ein paar gängige Beispiele. Zwar haben wir uns auf die Untersuchung von Bakterien konzentriert, aber auch andere Mikroorganismen können Biofilme bilden. Gerade das breite genetische Spektrum der Zellen, die solche lebenden Überzüge bilden, und die Vielfalt von Nischen, die sie so erobern können, haben uns davon überzeugt, dass es sich bei dieser Fähigkeit um eine uralte Überlebensstrategie der Mikroben handelt - von der Wissenschaft aber bis in neuere Zeit schlichtweg verkannt.

Natürlich hatten einige Forscher schon viel früher versucht, die in Biofilmen lebenden Bakterien lichtmikroskopisch zu studieren. Die Mikroben an der Oberfläche konnten sie zwar gut erkennen. Da aber aus dem Inneren der Schichten keine klaren Bilder zu bekommen waren, nahmen sie an, die Zellen dort wären größtenteils längst abgestorben und lägen bloß zusammengewürfelt herum. Auch das Elektronenmikroskop, mit dem einige Forscher es später versuchten, brachte kaum mehr Aufschluss. Zellen lassen sich darin nicht lebend beobachten.

Die falsche Sicht hielt sich fast unverändert bis vor etwa zehn Jahren. Die Wende brachte eine neue Technik: die konfokale Laser-Scanning-Mikroskopie. Sie ermöglicht das Anfertigen optischer Schnitte in unterschiedlichen Tiefen innerhalb eines lebenden, intakten Biofilms. Diese zweidimensionalen Bilder lassen sich dann zu einer dreidimensionalen Darstellung "übereinander stapeln".

Mit dieser Methode entdeckten 1991 drei Forscher gemeinsam - John R. Lawrence vom kanadischen Nationalen Wasserforschungsinstitut, Douglas E. Caldwell von der University of Saskatchewan (Kanada) und einer von uns (Costerton) -, dass die Bakterien innerhalb des Films in winzigen Enklaven leben. In diesen Mikrokolonien, wie wir sie nannten, machen die Bakterien selbst aber gewöhnlich nicht einmal ein Drittel von allem aus. Der Rest besteht aus einer zähen von den Zellen abgesonderten Masse, die viel Wasser absorbiert und kleine Partikel einfängt.

Dieser schleimige Kleber - Fachleute sprechen von extrazellulärer Matrix - hält eine Mikrokolonie zusammen. Zwischen den zahllosen Enklaven in einem Biofilm erstreckt sich ein Netzwerk offener Wasserwege. Durch die winzigen Röhren gelangt Flüssigkeit zu jedem Mikroben-Häufchen, versorgt es mit Nährstoffen und entsorgt seine Stoffwechsel-Abfälle. Die Zellen am Rand kommen voll in den Genuss dieses Luxus; für jene tief im Inneren einer Mikrokolonie wird es dagegen schwieriger: Die dicht besiedelte Peripherie und die organische Matrix, in die sie eingebettet sind, behindern den Wasserdurchfluss. Daher müssen sich die zentralen Zellen mit den Nährstoffen bescheiden, die per Diffusion bis zu ihnen vordringen. So schlecht wie es aussieht, ist ihre Versorgungslage dennoch nicht: Da der Kleister selbst größtenteils aus Wasser besteht, können sich kleine Moleküle frei in ihm bewegen - allerdings mit einer wichtigen Einschränkung: Eine Substanz, die unterwegs mit den Zellen oder der Matrix reagiert, wird nur schwer zur Mitte vordringen.

Dass sich die Umweltbedingungen für die Zellen im Biofilm kleinräumig unterscheiden, war bereits bekannt, bevor wir mit Hilfe der konfokalen Mikroskopie die Ursache aufdeckten. So hatte 1985 unser Kollege Zbigniew Lewandowski das chemische Milieu in einem Biofilm direkt zu analysieren begonnen, indem er nadelförmige Mikroelektroden einführte, mit nur einem hundertstel Millimeter Dicke an der Spitze. Unter anderem stellte er fest, dass zwei Punkte mit nur fünf hundertstel Millimeter Abstand - das ist gerade einmal Haaresbreite - schon völlig andere Sauerstoffkonzentrationen aufweisen können.

Der Sauerstoffgehalt in einer Bakteriengesellschaft interessiert besonders, da er über den physiologischen Zustand der Zellen Auskunft zu geben vermag. In einem Biofilm beispielsweise, der einzig *Pseudomonas aeruginosa* enthält (den Erreger der Mukoviszidose-Lungenentzündung), können bloß die Zellen im Saum einer jeden Mikrokolonie wachsen und sich teilen. Denn der Sauerstoff dringt nicht tiefer als zwei bis drei hundertstel Millimeter weit ein. Die Zellen tief im Inneren sterben zwar nicht ab, gehen aber in ein Ruhestadium über. Dieses Nebeneinander verschiedener Stoffwechselzustände unterscheidet Biofilme deutlich von typischen Laborkulturen, in denen es allen Zellen in etwa gleich gut oder schlecht geht.

In einem Biofilm, mit seinen vielfältigen chemischen Milieus, kann eine Zelle ganz anders aussehen und sich verhalten als ihre genetisch identische Nachbarin. Außerdem beeinflussen die lokalen Bedingungen die bakterielle Produktion vieler giftiger und anderweitig gesundheitsschädigender Stoffe: Unter Umständen bereiten deshalb manche der Biofilm-Mikroben dem Wirtsorganismus kaum Probleme, während ihre Artgenossen nebenan ein tödliches Gift ausscheiden. Das breite Spektrum an Umweltbedingungen ermöglicht sogar das gedeihliche Zusammenleben mehrerer Bakterienarten in einem Biofilm. Dabei vertilgt manchmal eine Art die Stoffwechselabfälle einer anderen, was für beide von Vorteil ist.

Ein besonders interessantes Beispiel hierfür findet sich im Verdauungstrakt von Rindern und anderen Wiederkäuern. Bereits seit den vierziger Jahren weiß man - zumindest in groben Zügen -, was in deren Eingeweiden abläuft. Auf dem gefressenen Grünzeug bilden sich Biofilme, und zwar zunächst aus Organismen, die pflanzliche Zellulose abbauen und Fettsäuren produzieren. Sobald diese Zellulose zersetzenden Bakterien so viel Fettsäuren ausgeschieden haben, dass sie ihr eigenes Wachstum hemmen, wandern bewegungsfähige Bakterien der Gattung *Treponema* nebst weiteren Arten in den Biofilm ein und verwerten eben diese Fettsäuren als Brennstoff für ihren Stoffwechsel. Das Grünzeug verschwindet allmählich, und die Rinder verdauen schließlich die Schicht, mit der die Futterreste überzogen sind. Die Tiere leben also genau genommen nicht von Heu, sondern von bakteriellen Biofilmen.

Während Wiederkäuer auf Biofilme strikt angewiesen sind, stellen sie für uns ein Ärgernis dar, manchmal sogar eine lebensbedrohliche Gefahr. Was in Medizin und Industrie an Desinfektionsmitteln und Antibiotika eingesetzt wird, kann zwar frei treibende Bakterien wirksam vernichten, aber solchen in Filmen meist nicht viel anhaben. In der extrazellulären Matrix verborgen, entgehen die Keime selbst den Abwehrstoffen und -zellen des Immunsystems. Biofilm-Infektionen sind deshalb oft erschreckend hartnäckig.

Was genau aber macht Biofilme so widerstandsfähig? Öfter gelingt es den Antibiotika und Desinfektionsmitteln erst gar nicht, in die Schicht richtig einzudringen. Penicilline tun sich zum Beispiel sehr schwer mit Biofilmen, deren Zellen so genannte Beta-Lactamasen absondern. Diese Enzyme bauen die Antibiotika schneller ab, als sie durch Diffusion nachgeliefert werden, sodass die tieferen Zonen des Biofilms unbehelligt bleiben. Selbst der in Privathaushalten und der Industrie so beliebte Chlor- oder Bleichkalk hat Probleme. Zwar brennt sich das reaktionsfreudige Oxidationsmittel letzten Endes durch, aber es braucht eine ganze Weile, bis es die neutralisierende Wirkung des Biofilms Schicht um Schicht überwunden hat. Dieser Vorgang erfordert oft mehr Zeit und größere Mengen des Desinfektionsmittels, als der Anwender glaubt. So können noch etliche Zellen am Leben sein, während man sich längst in der Sicherheit wiegt, sie alle erledigt zu haben.

Weitere Faktoren tragen zur Widerstandsfähigkeit bei. Selbst wenn eine antimikrobielle Substanz tief in den Biofilm eindringt, überleben in seinem Schutz oftmals Zellen eine aggressive Behandlung, die "Singles" vernichten würde. Verantwortlich für diese lange rätselhafte Unempfindlichkeit ist die Vielfalt an Umweltbedingungen und Bakterienformen in einem Biofilm.

Betrachten wir noch einmal das Penicillin, das gegen eine Vielzahl von Bakterienarten wirkt. Es setzt bei sich teilenden Zellen an. In einem Biofilm mag es aber Regionen geben, in denen zum Beispiel ein so krasser Mangel an einem essenziellen Nährstoff herrscht, dass die Zellen zwar überleben, sich aber nicht mehr teilen können. Daher vermag das Penicillin ihnen nichts anzuhaben. Da aktive und inaktive Mikroben in einem Biofilm teilweise nah beieinander liegen und da alle abgetöteten Zellen ihren überlebenden Nachbarn als Rohstoffquelle dienen, kann sich der Biofilm aus einer Hand voll überlebender Bakterien

binnen weniger Stunden vollständig regenerieren. Das erklärt, warum antimikrobielle Substanzen, die sich in Laborkulturen bewährt haben, beim Einsatz gegen Biofilme oft versagen.

Neben Ärzten und Patienten kämpfen auch viele Ingenieure und Techniker gegen Biofilme: In der Industrie können Bakterien immense Schäden anrichten, indem sie beispielsweise Apparaturen verstopfen oder die Korrosion von Metallrohren beschleunigen. Mit Blick auf beide Interessengruppen errichtete die National Science Foundation der USA 1990 das Engineering Research Center an der Universität des Bundesstaates Montana, an dem wir beide seit fast einem Jahrzehnt zusammenarbeiten. Inzwischen heißt es Center for Biofilm Engineering.

Die Forschungen hier haben unter anderem Verblüffendes ergeben. Ein Beispiel: Wenn Bakterien sich an eine Oberfläche heften und einen Biofilm aufbauen, dann stellen sie Hunderte von Proteinen her, die sie als Singles offenbar nicht produzieren. Einige dieser Eiweißstoffe sind an den eigentümlichen Rangiermanövern beteiligt, die unmittelbar nach dem Andocken an der Oberfläche und vor dem endgültigen Fixieren stattfinden. Das haben Roberto Kolter und seine Mitarbeiter an der Harvard Medical School festgestellt, indem sie bestimmte Protein-Gene aus dem Erbgut von verschiedenen Bakterienarten entfernten. Wieder andere Wissenschaftler haben bei dem weit verbreiteten Krankheitserreger *Staphylococcus epidermidis* jene Gene ausfindig gemacht, die für den nächsten Entwicklungsschritt eines Biofilms zuständig sind: die Synthese der extrazellulären Matrix. Ohne diese Gene kann das Bakterium im Reagenzglas und - wie es scheint - auch im Gewebe von Versuchstieren keine Biofilme mehr aufbauen.

Auch bei anderen Bakterienarten wurden in jüngster Zeit ähnliche genetische Steuersysteme dingfest gemacht. So schaltet der Problemkeim *Pseudomonas aeruginosa* schon innerhalb einer Viertelstunde nach dem Andocken mehrere Gene ein. Eines davon, mit dem Kürzel *algC*, ist für die Produktion des gelatinösen Polymers Alginate zuständig, des Hauptbestandteils der extrazellulären Matrix.

Aber woher "wissen" die Pionier-Zellen, die sich auf einer Oberfläche versammeln, dass sie zur Bildung eines Biofilms bestimmte Gene einschalten müssen? Die Antwort wirft das herkömmliche Bild von Mikroben als primitiven Einzelgängern über den Haufen: Die Zellen stehen untereinander in einem ständigen chemischen Austausch. Bei *Pseudomonas aeruginosa* und einer Vielzahl ähnlicher Bakterien sind die wichtigsten Botenstoffe so genannte Acyl-Homoserinlactone. Sie werden immer in kleinen Mengen abgegeben, und sobald genügend Zellen zusammenkommen, steigt die Stoff-Konzentration so weit an, dass schließlich Dutzende von Genen auf dieses Signal hin ihre Aktivität verändern. Wie David G. Davies von der Universität Binghamton (US-Bundesstaat New York) nachwies, ist dieser Mechanismus, den Fachleute als Quorum-Wahrnehmung bezeichnen, ein Schlüsselement für die Biofilm-Entwicklung. (Unter "Quorum" versteht man unter anderem die zur Beschlussfähigkeit vorgeschriebene Anzahl abgegebener Stimmen.) Zum Beispiel können Laborstämme von *Pseudomonas aeruginosa*, denen das Gen für ein bestimmtes Acyl-Homoserinlacton fehlt, keine normalen Biofilme aufbauen; sie türmen sich einfach zu unorganisierten Zellhaufen auf.

Mittlerweile haben Forscher auch Kommunikationsmittel jener Bakterien identifiziert, die in den Biofilmen von Blasenkathetern und Ähnlichem wachsen. Zusammen mit filmbildenden Mikroben auf Implantaten verursachen sie die problematischsten Infektionen dieses Typs überhaupt; allein in den Vereinigten Staaten sind jedes Jahr schätzungsweise zehn Millionen Menschen betroffen. Diese Infektionen entwickeln sich in der Regel schleichend, können aber immer wieder heftig aufflackern und sind äußerst schwer loszuwerden. Auch für Zahnbetterkrankungen, Prostata-Infektionen, Nierensteine, Tuberkulose, die Legionärskrankheit und einige Formen der Mittelohrentzündung sollen Biofilme zumindest mitverantwortlich sein.

Dank der nun gewonnenen biologischen Erkenntnisse sollte es aber möglich sein, die Schwachstellen von filmbildenden Bakterien auszunutzen und dort gezielt mit neuen Medikamenten anzugreifen. Hier einige Beispiele:

- Man überschwemme die klebrigen "Enterhaken" auf den Zellen mit einer Substanz, die sich leicht diesen fädigen Strukturen anlagert und damit die Adhäsion der Bakterien an Oberflächen erschwert. Ohne Adhäsion kann erst gar kein Film entstehen.

- Man störe die Synthese der extrazellulären Matrix, indem man zum Beispiel medizinische Implantate mit Stoffen beschichtet, welche die Gene für die Matrix-Produktion ausschalten.

- Man blockiere Botenstoffe, mit denen die Bakterien kommunizieren, um das Biofilm-Wachstum oder zumindest die Giftproduktion und andere schädliche Vorgänge zu stoppen.

Die bisher versuchte Strategie, die Krankheitserreger durch massive Gabe von Antibiotika auszuknocken, vernichtet notgedrungen auch eine Menge harmloser oder sogar nützlicher Bakterien. Schon bald werden nun aber die schädlichen Aktivitäten solcher Zellen auf subtilere Weise zu unterbinden sein.

Ein neuartiger Wirkstoff, allerdings für einen etwas anderen Einsatzbereich, ist bereits auf dem Weg zur Marktreife: 1995 war Staffan Kjelleberg und Peter Steinberg von der Universität von New South Wales in Sydney (Australien) aufgefallen, dass die Rotalge *Delisea pulchra* in der Botany Bay nur selten von Biofilmen besiedelt ist. Obwohl dort im Meer Tausende von Bakterienarten vorkommen, bleiben die Pflanzen sauber. Wie schaffen sie das? Wie Kjelleberg und Steinberg feststellten, unterdrückt diese Rotalge mit so genannten substituierten "Furanonen" die Bildung von Biofilmen. Die beiden Wissenschaftler und ihre Universität haben daraufhin die Firma "Biosignal" gegründet, um mit diesen Verbindungen Anti-Biofilmbeschichtungen für Schiffsrümpfe und Aquakultur-Anlagen zu entwickeln.

Kürzlich hat Bonnie L. Bassler von der Universität Princeton eine weitere Klasse von Molekülen beschrieben, die praktisch alle Bakterien als zwischenartliches Kommunikationsmittel verwenden. Die Furanone aus den Rotalgen ähneln chemisch sowohl diesen Verbindungen als auch den Acyl-Homoserinlactonen, auf denen die Quorum-Wahrnehmung vieler Biofilm-Bakterien basiert. Sie docken offenbar an die bakteriellen Rezeptoren der Botenstoffe an, ohne im Zell-Inneren ein Signal auszulösen. So werden keine der für die Biofilm-Bildung notwendigen Gene ausgeschaltet.

Indizien zufolge beugen die substituierten Furanone nicht bloß vor, sondern können auch zum Abbau bereits bestehender Biofilme beitragen. Überdies scheinen sie sogar für medizinische Anwendungen geeignet zu sein: Sie sind ungiftig und im Körper ausreichend beständig. Wichtiger noch: Obwohl Furanone seit Jahrmillionen in den Weltmeeren existieren, sind Bakterien nicht dagegen resistent geworden. Somit besteht Hoffnung, dass dies auch bei filmbildenden Mikroben so bleibt, die medizinisch eingesetzte Materialien und menschliche Gewebe besiedeln.

All diese Forschungen bewegen noch etwas ganz anderes, das vielleicht keinen so unmittelbaren Nutzwert hat, sich aber letzten Endes als nicht minder bedeutsam erweisen könnte: Sie revolutionieren unser traditionelles Bakterien-Bild. Unter Biologen wird die Biofilm-Bildung mehr und mehr als Entwicklungsvorgang verstanden und mit einer Begrifflichkeit beschrieben, die aus der Embryologie entlehnt ist. So wie aus einer befruchteten Eizelle ein Organismus mit unterschiedlichsten Zelltypen entsteht, so differenzieren sich auch Bakterien, sobald sie sich auf einer Oberfläche niedergelassen haben. Sie synthetisieren Botenstoffe mit ähnlichen Aufgaben wie die Pheromone und Hormone der Insekten und Säugetiere. Und über diese Kommunikation koordinieren sie den Aufbau von Mikrokolonien mit ihrem raffinierten architektonischen Umfeld. Das angelegte System, das den Zufluss von Nährstoffen und den Abtransport von Abfällen ermöglicht, weckt Assoziationen zum Kreislaufsystem höherer Organismen. In manchen Biofilmen arbeiten sogar viele Arten von Bakterien zusammen, um eine Nahrungsquelle zu erschließen, die eine Art allein nicht so effektiv ausbeuten könnte. Diese Beobachtungen weisen darauf hin, dass Bakterien keineswegs die primitiven Geschöpfe sind, als die sie den meisten Biologen seit jeher galten. Fazit: Wir müssen ihnen im System der Lebensformen womöglich einen viel höheren Rang zubilligen, als wir uns das bislang vorstellen konnten.

STECKBRIEF

- Ein kostspieliges Problem für das Gesundheitswesen und die Industrie stellen Bakterien dar, die von einer vagabundierenden zu einer sesshaften Lebensweise übergehen. Sie schließen sich zu Wohngemeinschaften zusammen, deren gemeinsames Merkmal ein gallertiger Schutzfilm ist.



- In diesen Biofilmen entwickeln die Mikroben andere Eigenschaften, werden beispielsweise extrem widerstandsfähig gegen Antibiotika und Desinfektionsmittel

- Biofilme bilden sich nach neueren Erkenntnissen allerdings nur, wenn der Informationsaustausch zwischen den Bakterien funktioniert. Forscher arbeiten daher an Substanzen, die das "E-Mail-Netz" der Mikroben lahm legen.

Beispiele:



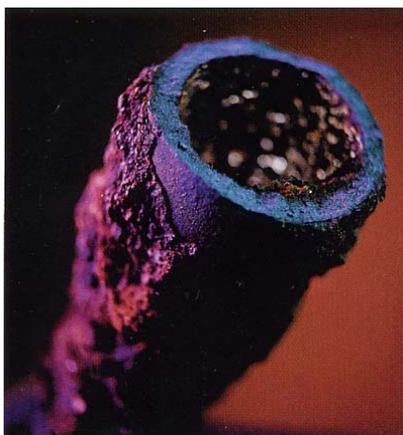
Invasion durch den Schlauch

Die Biofilme, die sich auf Blasenkathetern bilden, verursachen häufig Infektionen. Bei kurzer Verweildauer ist das Risiko gering, aber es steigt mit der Zeit stark an: Einer Studie von 1996 zufolge sind bereits nach einer Woche zehn bis fünfzig Prozent der Katheter-Patienten infiziert; nach einem Monat sind bei fast allen Keime in die Blase eingewandert



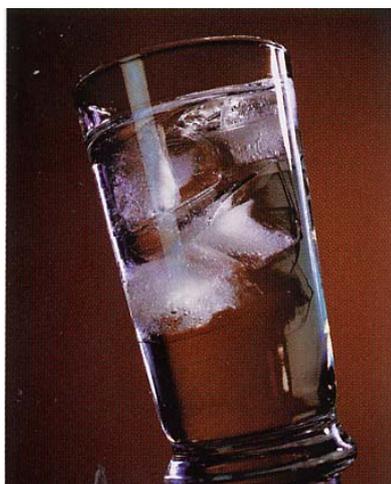
Tödliche Arznei

Trotz aufwändiger Sicherheitsvorkehrungen können Biofilm-Bakterien gelegentlich auch in Arzneimittel hineingeraten. In den Jahren 1993 und 1994 starben hundert Asthmatiker, weil sie ein Albuterol-Inhalationspräparat verwendet hatten, das mit filmbildenden Bakterien der Art *Pseudomonas aeruginosa* verunreinigt war. Als Keimquelle entpuppte sich ein Fermenter der Produktionskette. 1989 hatte sich *Pseudomonas cepacia* - ein weiteres bekanntes Biofilm-Bakterium - in Flaschen des Antiseptikums Polyvidon- oder Povidon-Iod angesiedelt und in einem Kinderkrankenhaus in Texas Infektionen ausgelöst



Korrosionsbeschleuniger

Biofilm-Kolonien, die sich zum Beispiel im Inneren von Metallrohren ansiedeln und dort die Korrosion fördern, können der Industrie sehr zu schaffen machen. Korrosion ist für die Hälfte aller außerplanmäßigen Abschaltungen dampfbetriebener Kraftwerke verantwortlich. Der Kampf mit derartigen Widrigkeiten kostet die Konzerne alljährlich Milliarden.



Brunnenvergifter

Die Reinheit des Trinkwassers kann durch Biofilme bedroht werden, die im Inneren der Versorgungsleitungen gedeihen. Dank ihrer zähen Schutzschicht vermehren sich die Mikroorganismen trotz Chlorierung. So haben Wissenschaftler der Stanford-Universität herausgefunden, dass der Cholera-Erreger *Vibrio cholerae* Biofilme bilden und so Chlor-Konzentrationen überleben kann, die 10- bis 20-mal über dem trinkwasserüblichen Wert liegen. 1996 war das Trinkwasser der Bundeshauptstadt Washington aufgrund von Biofilmen mehrmals so stark bakteriell kontaminiert, dass seine Keimzahl den bundesbehördlichen Grenzwert überschritt.



Wärmetauscher

Auf einem industriellen Wärmetauscher ist ein üppiger Biofilm gewachsen. Ein solcher Befall kann neben der Korrosion noch eine Senkung der Effizienz (Wärmeübertragung) bewirken.

Wie Biofilme entstehen und was man dagegen tun kann:

Neue Erkenntnisse über Biofilme liefern zugleich Ideen, wie dem Übel vorzubeugen oder es zu bekämpfen wäre. Die üblichen Antibiotika und Desinfektionsmittel scheitern oft, da sie nicht tief genug in die Filme eindringen, nicht gegen alle beteiligten Bakterienarten wirken oder Zellen im Ruhestadium verschonen.

- | | |
|---|---|
| 1) Einzelne zunächst frei schwimmende Bakterien lassen sich auf einer Oberfläche nieder, ordnen sich an und setzen sich fest. | <i>Gegenmaßnahme:</i>
Oberflächen mit Molekülen beschichten, die das Andocken verhindern oder die Rangiermanöver der Mikroben stören |
| 2) Die versammelten Zellen beginnen, eine zähe Matrix abzusondern. | <i>Gegenmaßnahme:</i>
Oberflächen mit Substanzen beschichten, welche die Botenstoff-Rezeptoren durch Produktion der Matrix beeinträchtigen |
| 3) Die Zellen regen einander zur Vermehrung und Bildung einer Mikrokolonie an. | <i>Gegenmaßnahme:</i>
Botenstoffrezeptoren durch andere Moleküle blockieren um das Entstehen eines Biofilms zu stoppen |
| 4) In dem Konglomerat bildet sich u.a. ein Sauerstoffgefälle aus, was die Koexistenz der verschiedenen Arten und Stoffwechselformen fördert | <i>Gegenmaßnahme:</i>
Antibiotika- und Desinfektionsmittel-Cocktails anwenden entsprechend den unterschiedlichen Überlebensstrategien der Biofilm-Zellen |
| 5) Manche Zellen gehen wieder zur freischwimmenden Lebensweise über und bilden anderorts womöglich neue Biofilme | <i>Gegenmaßnahme:</i>
Zellen zur Loslösung anregen um dann massiv mit Antibiotika oder Antikörpern, also Abwehrstoffen des Immunsystems angreifen. |

Literaturhinweise

Biofilme - die bevorzugte Lebensform der Bakterien. Von Hans-Curt Flemming und Jost Wingender in: *Biologie in unserer Zeit*, Bd. 31, Nr. 3, S. 169, 2001.

Biofilme - das Leben am Rande der Wasserphase. Von Hans-Curt Flemming in: *Nachrichten aus der Chemie*, Bd. 48, Nr. 4, S. 442, 2000.

Community Structure and Co-operation in Biofilms. Von D. G. Allison, P. Gilbert, H. M. Lappin-Scott und M. Wilson (Hg.). Cambridge University Press, 2001.

Bacterial Biofilms: A Common Cause of Persistent Infections. Von J. W. Costerton, Philip S. Stewart und E. P. Greenberg in: *Science*, Bd. 284, S. 1318, 1999.