

Fragebogen „PopSci“

Abteilung für Kognitionswissenschaft

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg im Brsg.

sascha@cognition.uni-freiburg.de

Instruktion

Bitte lesen Sie den folgenden Text komplett durch.

Nach dem Text werden wir Ihnen ein paar Fragen stellen – bitte blättern Sie nicht mehr in den Text zurück, sobald Sie zum Fragenteil fortgeschritten sind.

Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!

Alle Ihre Daten werden selbstverständlich anonym behandelt!

Leben & Umwelt

Das geheime Sozialleben der Bakterien

Über Jahrzehnte glaubten Wissenschaftler, dass Bakterien Einzelkämpfer sind. Doch weit gefehlt: Die unterschätzten Mikroben organisieren sich und besitzen eine Menge gefährlichen Gemeinsinn.

Die Beute, die sich das hungrige Rudel ausgesucht hat, ist riesig – gut 20-mal so groß wie die Jäger selbst. Nur wenn sie jetzt zusammenhalten, haben sie eine Chance, ihr Opfer zu überwältigen. Mit ihren langen, peitschenartigen Fangarmen halten sich die winzigen Bodenmikroben aneinander fest und vereinen sich zu einem großen, netzartigen Organismus. Jetzt kann die Jagd losgehen. Wie Enterhaken schleudert das Bakterienrudel seine Fangarme nach vorne und prescht auf die Beute zu. 0,3 Millimeter pro Stunde erreichen die Bakterien gemeinsam, eine einzelne Zelle könnte sich höchstens halb so schnell bewegen. Als die Bakterien ihr Opfer – eine Hefezelle – erreichen, geht alles sehr schnell. Die Myxobakterien scheiden einen Schwall von Verdauungsenzymen über dem Einzeller aus – und bald ist von der überwältigten Hefezelle nur noch flüssiger Nahrungsbrei übrig, den die Bakterien gierig aufsaugen.

Wenn es um das Leben von Mikroorganismen ging, waren sich Wissenschaftler bislang sicher: Bakterien sind Einzelkämpfer, die kaum wahrnehmen, was um sie herum geschieht, geschweige denn zu irgendeiner Form von sozialer Zusammenarbeit fähig sind. Der Grund für diese falsche Vermutung waren die Arbeitsmethoden der Mikrobiologen: „Die Wissenschaftler entnahmen einzelne Bakterienzellen aus der Natur, sie kratzten sich einige Exemplare von einem Stein oder holten eine Wasserprobe aus einem Tümpel. Im Labor vermehrten sie die Zellen dann in Zuchtkolben mit reichhaltiger Nährlösung“, erklärt Hanscurt Flemming, Leiter des Biofilm Centre der Universität Duisburg-Essen. Das natürliche Gesellschaftsgefüge der Bakterien wurde dabei zerstört.

So blickten die Forscher zwar jahrzehntelang auf die Mikroben, ohne zu erkennen, welche Bedeutung deren Organisationsform hat: Einzelzellen organisieren sich zu so genannten Biofilmen. Typische Vertreter für diese wichtigste bakterielle Lebensform sind die glitschigen Schichten auf Flusssteinen, der Belag auf den Zähnen und der Schmodder in Wasserleitungen. Die langjährige Blindheit der Forscher hatte fatale Folgen für die moderne Medizin. Immer wieder standen Ärzte vor einem Rätsel, wenn ein Patient, etwa nach dem Einsetzen eines künstlichen Hüftgelenks oder Herzschrittmachers, an einer bakteriellen Infektion litt, die resistent gegen viele Antibiotika war. Heute weiß man, dass etwa 60 Prozent aller bakteriellen Infekte an Implantaten im Körper durch Biofilme verursacht werden. Und sobald Bakterien im menschlichen Körper einen Biofilm gebildet haben, sind sie nur noch sehr schwer zu bekämpfen – immer wieder stoßen hier auch die Allzweckwaffen der neuzeitlichen Medizin, die Antibiotika, an ihre Grenzen.

„Ein Biofilm entsteht, wenn ein Bakterium auf eine Oberfläche trifft – oder auf ein anderes Bakterium“, sagt Flemming. Dann setzen sich die Mikroorganismen an der Oberfläche fest, vermehren sich und scheiden einen zähen Schleim von Zucker, Proteinen, Lipiden und Nukleinsäuren aus. So entsteht eine millimeterdicke Schleimmatte, in der die Mikroben eine aktive Gesellschaft aufbauen können.

Heute weiß man, dass gut 90 Prozent aller Bakterienarten Biofilme bilden. Diese Form des Zusammenlebens zählt zu den urtümlichsten überhaupt. Die ältesten Fossilien stammen von Mikroorganismen in Biofilmen, die vor 3,5 Milliarden Jahren entstanden waren.

Das Leben im Biofilm funktioniert nur gemeinsam, zum Beispiel bei der gemeinsamen Jagd auf Beutebakterien – wie bei den Myxobakterien – oder bei der Spezialisierung einzelner Zellen zu reinen Futterproduzenten. Bei Wurzelknöllchen- und Cyanobakterien („Blualgen“) verändern einige Zellen ihr Aussehen und ihren Stoffwechsel so sehr, dass sie die Nahrungsversorgung für die Gemeinschaft übernehmen können. Sie fixieren Luftstickstoff und versorgen so alle Zellen der Gemeinschaft mit lebenswichtigen Nährstoffen. Diese Zellen verändern sich so sehr, dass sie selbst nicht mehr in der Lage sind, sich fortzupflanzen. Diese Aufgabe überlassen sie anderen Mitgliedern des Biofilms.

Noch weiter in der sozialen Fürsorge für die Gemeinschaft gehen manche Arten des menschlichen Darmbakteriums *Escherichia coli*. Wenn eine Zelle der Kolonie von aggressiven Viren befallen wird, produziert sie ein Selbstmord-Gift, an dem sie – aber auch die Viren – zugrunde gehen. So wird verhindert, dass die anderen Zellen erkranken. Auch hier verzichtet die einzelne Mikrobe auf die Möglichkeit, sich fortzupflanzen und ihre Gene in die nächste Generation weiterzugeben – um die Gemeinschaft zu retten.

Im Tierreich finden sich etliche Beispiele, bei denen Tiere anderen helfen, ohne einen offensichtlichen Vorteil davon zu haben – manchmal schaden sie sich damit sogar. Arbeitsbienen im Bienenstock etwa helfen pausenlos bei der Aufzucht ihrer Geschwister und beim Sammeln von Nahrung – buchstäblich bis sie tot umfallen. Doch grundsätzlich gilt: Wenn Tiere sich derart altruistisch verhalten, dann immer nur Verwandten gegenüber. Das oberste Ziel ist immer die Weitergabe der eigenen Gene, und manchmal ist es – so erstaunlich es auch klingt – dafür besser, keine eigenen Kinder zu bekommen. Arbeitsbienen etwa sind genetisch näher mit ihren Schwestern verwandt als mit ihren eigenen Nachkommen. Helfen sie also, ihre eigenen Schwestern aufzuziehen, bringen sie eine größere Zahl der eigenen Gene in die nächste Generation, als wenn sie selbst Kinder zeugen würden. Dieses Prinzip geht bei Bakterien noch viel weiter: eine Bakterienkolonie entsteht durch Teilung aus einem einzigen Bakterium. Alle Mitglieder besitzen also einen gemeinsamen Genpool, sie sind Klone. Deshalb ist es letztlich egal, wer die Gene weitergibt.

Das soziale Leben im Biofilm bietet den Mitgliedern entscheidende Vorteile: Gemeinsam lässt sich leichter Nahrung für alle heranschaffen, gemeinsam sind die Chancen besser, Stressphasen, etwa Hungerzeiten, zu überstehen, und gemeinsam lassen sich Schadstoffe leichter abwehren oder abbauen.

Dass Bakterien in Biofilmen robust gegenüber Schadstoffen sind, nutzt man schon lange, ohne es zu verstehen: In Kläranlagen zerlegen Bakterien Schmutz in seine Bestandteile und ernähren sich davon. Da sie mit ihrem Biofilm fest an die Oberfläche gebunden sind, werden sie nicht mit dem gereinigten Wasser zusammen aus der Kläranlage ausgeschwemmt. Die Robustheit, die Biofilmen bei der Abwasserreinigung nutzt, macht sie aber zu einem großen Problem in der Medizin. Denn für die Winzlinge sind Antibiotika nichts anderes als Schadstoffe und müssen von der Gemeinschaft im Biofilm fern gehalten werden. Einige Bakterienarten produzieren einen Schleim, der das Eindringen von Antibiotika verhindert. Andere Biofilm-Bakterien lassen Antibiotika zwar bis an die Zellen heran, scheiden das Mittel dann aber schnell wieder aus, ohne dass es ihnen zuvor schaden konnte.

Dabei nutzen sie aus, dass die meisten Antibiotika gegen die Zellwandsynthese – und damit gegen die Vermehrung von Bakterien – gerichtet sind. Im Biofilm jedoch fahren die Zellen ihren Stoffwechsel im Allgemeinen zurück und wachsen auch nicht. Dem Antibiotikum fehlt somit der Angriffspunkt. „Manche Biofilme schleusen Antibiotika in der 50-fachen tödlichen Konzentration einfach durch – und es passiert nichts“, sagt Wolf-Rainer Abraham, Abteilungsleiter für Chemische Mikrobiologie am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung in Braunschweig. Vor Kurzem entdeckten die Braunschweiger Mikrobiologen bei einem Patienten

ten mit einer schweren Infektion des Knies sogar einen Biofilm, der Antibiotika nicht nur verträgt, sondern ihn sogar frisst und von ihm lebt.

Gegen einige Biofilme wirken Antibiotika, die nicht die Zellwandsynthese angreifen, sondern die Proteinherstellung. „Doch meist hilft nur die Anwendung von Antibiotika-Gemischen in sehr hohen Dosen“, sagt Abraham. Aber auch diese Strategie kann nach hinten losgehen: Im Biofilm leben oft Hunderte verschiedene Bakterienstämme zusammen, und nur einige wenige davon sind krankheitserregend. „Üblicherweise schießt man mit den Antibiotika nur einige Mitglieder aus dem Biofilm“, erklärt Abraham. „Wenn man Glück hat, waren es die krankmachenden Erreger. Doch wenn man Pech hat, tötet man gutartige Biofilmbewohner, die zuvor noch die Pathogene etwas im Schach gehalten haben. Dann wird es schlimmer als zuvor.“

Da herkömmliche Antibiotika gegen Biofilme meist machtlos sind, forschen die Wissenschaftler an neuen Möglichkeiten. Erfolg verspricht folgende Strategie: Im Biofilm sind die Bakterien praktisch unantastbar, wirksame Medikamente müssen also den sozialen Zusammenhalt der Mikroben zerstören. Die größten Hoffnungen wecken derzeit Medikamente, die der Bakteriengesellschaft „die Stimme“ rauben. Denn um einen Biofilm zu bilden, müssen die Bakterien sich untereinander absprechen. Dafür haben sie ein spezielles Kommunikationssystem entwickelt: Sie verständigen sich über biochemische Botenstoffe, die sie nach außen abgeben. Haben sich ausreichend viele Botenstoffe in der Umgebung angesammelt, wissen die Bakterien: Jetzt sind genug von uns da, um einen Biofilm zu gründen. Die neuen Medikamente sollen diese Dichtemessung der Bakterien stören und so die Bildung eines Biofilms verhindern. „In der Forschung funktioniert das ganz gut“, berichtet Abraham. Doch bisher können die Mittel nicht an Patienten getestet werden: Sie sind noch zu giftig.

Eine zweite Möglichkeit, die Bildung von Biofilmen zu verhindern, untersuchen Forscher am Institut Pasteur in Paris. Sie haben eine spezielle Beschichtung aus komplexen Zuckern entwickelt, um die Besiedlung von Kunststoffmaterialien, aus denen Implantate, Katheterschläuche oder Kontaktlinsen bestehen, zu verhindern.

Die Beobachtung, dass eine Antibiotika-Therapie Infektionen manchmal noch verschlimmert, brachte Forscher auf die Idee, Bakterien mit Bakterien zu bekämpfen. Im Biofilm werden krankmachende Bakterien teils von den gutartigen Mikroben, mit denen sie zusammenleben, zurückgehalten. Ebenso könnten speziell gezüchtete Bakterienstämme Infektionen bekämpfen, indem sie die pathogenen Erreger verdrängen. Ärzte können die Helfer vor allem bei chronischen Mittelohrentzündungen gut gebrauchen. Denn aus einer normalen, mit Antibiotika gut zu behandelnden Mittelohrentzündung wird durch einen Biofilm im Ohr eine chronische, schwer zu bekämpfende Erkrankung.

Um einen bereits bestehenden Biofilm zu zwingen, sich in seine Einzelzellen aufzulösen, wollen die Forscher das natürliche Verhalten vieler Biofilmbewohner bei Nahrungsmangel ausnutzen: Der Biofilm löst sich auf, damit Einzelbakterien eine Chance haben, in einen neuen, vielleicht besseren Lebensraum zu gelangen. Wenn also ein Medikament den Bakterien vorgaukeln würde, dass nicht mehr genug Nahrung da ist, würden sich die Erreger aus ihrem schützenden Biofilm lösen. Und in dem Moment könnte man wieder mit den altbewährten Antibiotika zuschlagen.

Nun beginnt der Fragenteil. Bitte kreuzen Sie pro Frage nur eine Antwort an. Bitte benutzen Sie nur die Kreise: O (nicht den Platz dazwischen), um Ihre Antwort abzugeben.

Hatte der Text für Sie einen roten Faden?

definitiv							
nicht			unentschieden				definitiv
O	O	O	O	O	O	O	O

Mussten Sie einzelne Textabschnitte mehrmals lesen, um sie verstehen zu können?

keine			unentschieden			sehr viele
O	O	O	O	O	O	O

Haben Sie das Gefühl, dass Sie nun ein besseres Verständnis der im Text vermittelten Zusammenhänge haben?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
O	O	O	O	O	O	O

Haben Sie das Gefühl, dass die im Text vorkommenden Fachwörter ausreichend erklärt wurden?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
O	O	O	O	O	O	O

Hätten Sie sich für ein besseres Verständnis zusätzliche Grafiken, Schaubilder oder Ähnliches gewünscht?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
O	O	O	O	O	O	O

Wie hilfreich fanden Sie gegebene Zwischenfragen, Zwischenüberschriften oder Paragraphenüberschriften?

überhaupt						
nicht			unentschieden			sehr
hilfreich						hilfreich
<input type="radio"/>						

Wirkten die einzelnen Sätze auf Sie leicht verständlich oder eher kompliziert und zu lang?

definitiv						
leicht			unentschieden			definitiv zu
verständlich						kompliziert
<input type="radio"/>						

Würden Sie jemandem, der sich in diesem Fachbereich überhaupt nicht auskennt, sich aber für die Thematik interessiert, empfehlen den Text zu lesen?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
<input type="radio"/>						

Könnten Sie gut sagen, welche neuen Informationen die/der Autor/in des Textes vermitteln wollte?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
<input type="radio"/>						

Wurden Sie durch den Text motiviert, andere Texte aus diesem Fachbereich zu lesen?

definitiv						
nicht			unentschieden			definitiv
<input type="radio"/>						

Fanden Sie den Text so langweilig, dass Sie Probleme hatten, beim Lesen „dranzubleiben“?

sehr langweilig			unentschieden			überhaupt nicht langweilig
<input type="radio"/>						

Für wie glaubwürdig halten Sie den Text?

sehr glaubwürdig			unentschieden			überhaupt nicht glaubwürdig
<input type="radio"/>						

Hätten Sie sich mehr fachliche Informationen gewünscht, um den Text gut verstehen zu können?

definitiv nicht			unentschieden			definitiv
<input type="radio"/>						

Hat es Ihnen Spaß gemacht, den Text zu lesen?

sehr			unentschieden			überhaupt nicht
<input type="radio"/>						

Finden Sie, die/der Autor/in des Textes konnte Informationen gut und prägnant auf den Punkt bringen?

definitiv nicht			unentschieden			definitiv
<input type="radio"/>						

Für wie korrekt halten Sie die Informationen, die durch den Text vermittelt wurden?

definitiv falsch				unentschieden				definitiv korrekt
<input type="radio"/>								

Geben Sie bitte eine generelle Bewertung ab, wie verständlich Sie den Text fanden.

komplett unverständlich				unentschieden				perfekt verständlich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Wenn Sie die Möglichkeit hätten, im Text etwas zu verändern, um die Verständlichkeit zu verbessern, was würden Sie verändern?

Versuchen Sie bitte, die Hauptaussage des Textes mit einem Satz zu umschreiben!

Wir bitten Sie, noch einige Informationen zu sich selbst anzugeben. Diese Informationen werden selbstverständlich anonym behandelt – es ist kein Rückschluss auf Ihre Identität möglich.

Wie alt sind Sie? _____ **Bitte geben Sie Ihr Geschlecht an:** weiblich männlich

Welche ist Ihre Muttersprache? deutsch andere: _____

Welches ist Ihr höchster Bildungsabschluss?

kein Schulabschluss

Hauptschulabschluss

Mittlere Reife

Abitur

Hochschulabschluss

Promotion

Habilitation

Bitte geben Sie Ihre Studienfächer bzw. Ihren Beruf an. Lassen Sie einfach die Felder frei, die Sie nicht benötigen.

Fach 1 / Beruf: _____

Fach 2: _____

Fach 3: _____

Haben Sie sich für das Thema des eben gelesenen Textes schon vorher interessiert?

auf							
keinen Fall			unentschieden				sehr
<input type="radio"/>							

Würden Sie sagen, dass Sie über Wissen in diesem Gebiet verfügen, das über alltägliches Wissen hinausgeht?

auf							
keinen Fall			unentschieden				definitiv
<input type="radio"/>							

Vielen herzlichen Dank für Ihre Kooperation!