

**Spektrum**  
der Wissenschaft

**KOMPAKT**

Das Leben im Schleim

# BIOFILME

**Klinische Bedeutung**

Tödlich wie Krebs?

**Biofouling**

Bremsender Bakterienrasen

**Geologie**

Die ersten Lebensspuren



Antje Findeklee  
E-Mail: [findeklee@spektrum.de](mailto:findeklee@spektrum.de)

## Liebe Leserin, lieber Leser,

Sie kennen ihn bestimmt, diesen schmierigen, für viele Ekel erregenden Belag, der sich manchmal auf Oberflächen bildet. Besonders gefürchtet ist er im medizinischen Bereich, denn die Bewohner dieser Schleimschicht sind nicht selten ein Risiko für Patienten. Doch Biofilme gehören auch zu den frühesten Lebensgemeinschaften unseres Planeten! Wie sich Bakterien und Co in ihrem eigentümlichen Lebensraum organisieren, was uns Mikrobenmatten über die Geschichte des Lebens verraten und wie gefährliche Biofilme notfalls bekämpft werden können, sind Themen dieses Kompakts.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünscht Ihnen

Erscheinungsdatum dieser Ausgabe: 07.05.2018

Folgen Sie uns:

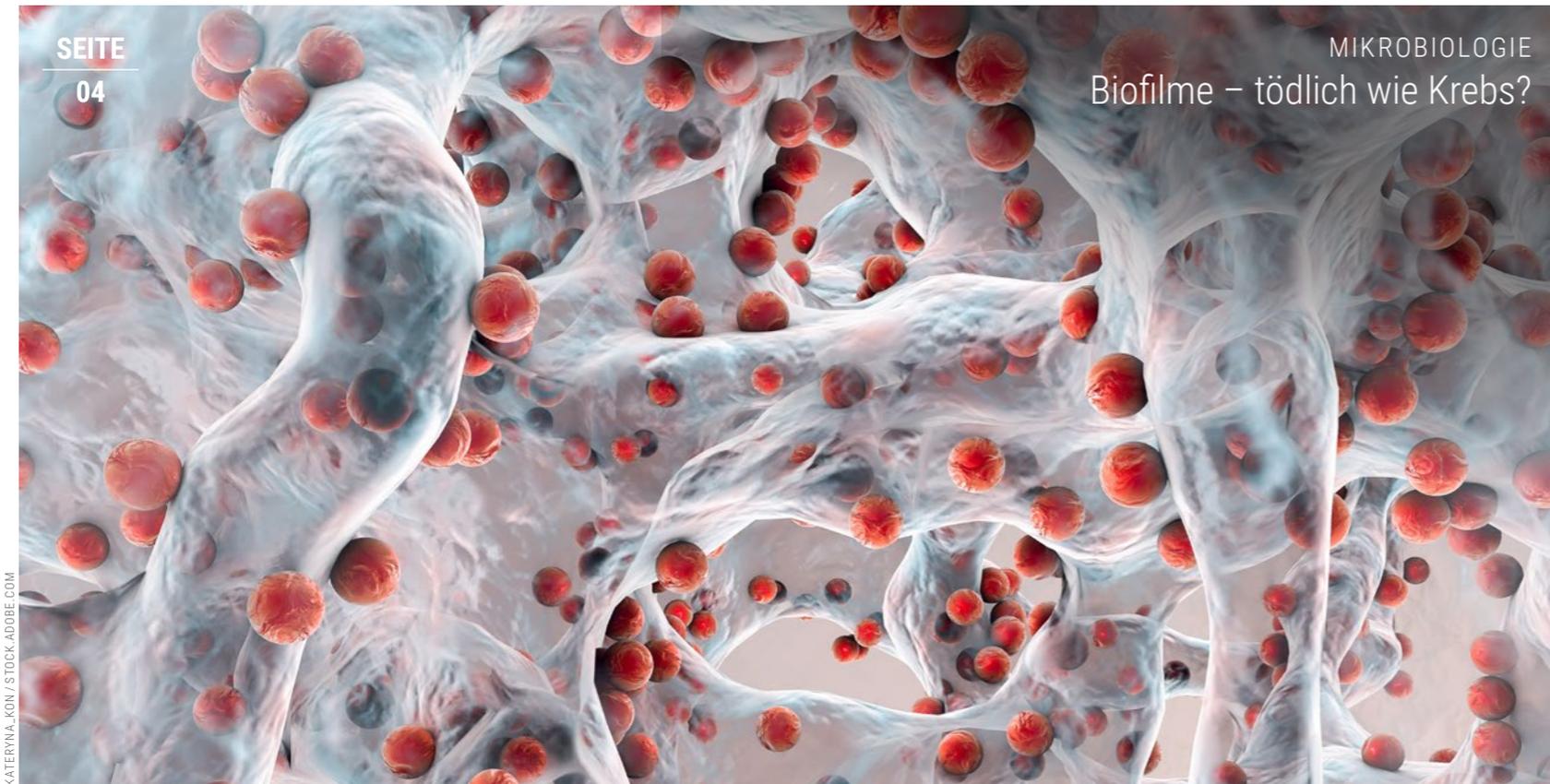


**CHEFREDAKTEURE:** Prof. Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.), Dr. Uwe Reichert  
**REDAKTIONSLEITER:** Dr. Hartwig Hanser, Dr. Daniel Lingenhöhl  
**ART DIRECTOR DIGITAL:** Marc Grove  
**LAYOUT:** Oliver Gabriel, Marina Männle  
**SCHLUSSREDAKTION:** Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle  
**BILDREDAKTION:** Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe  
**PRODUKTMANAGEMENT DIGITAL:** Antje Findeklee, Dr. Michaela Maya-Mrschtik  
**VERLAG:** Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Tiergartenstr. 15-17, 69121 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax 06221 9126-751; Amtsgericht Mannheim, HRB 338114, UStD-Id-Nr. DE229038528  
**GESCHÄFTSLEITUNG:** Markus Bossle, Thomas Bleck  
**MARKETING UND VERTRIEB:** Annette Baumbusch (Ltg.)  
**LESER- UND BESTELLSERVICE:** Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ilona Keith, Tel. 06221 9126-743, E-Mail: [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de)

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik).

**BEZUGSPREIS:** Einzelausgabe € 4,99 inkl. Umsatzsteuer  
**ANZEIGEN:** Wenn Sie an Anzeigen in unseren Digitalpublikationen interessiert sind, schreiben Sie bitte eine E-Mail an [service@spektrum.de](mailto:service@spektrum.de).

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH. Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2018 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bildnachweise: Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechtsinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.



SEITE  
04

MIKROBIOLOGIE  
Biofilme – tödlich wie Krebs?



SEITE  
19

MIKROBEN  
Der Kampf gegen  
den Biofilm



PARASITISMUS  
Ein Bakterium mit einzigartigem  
Lebensstil

SEITE  
38



RADIOAKTIVITÄT  
Gut leben im Endlager

SEITE  
48

- 14 Bakterien aus dem Badeentchen
- 16 Keimgefahr aus der Spülmaschine
- 23 Wirkstoff gegen Schläfer-Bakterien
- 25 Neue Beschichtung lässt Bakterien keine Chance
- 27 Nicht genetische Resistenz gegen Nanosilber
- 29 Künstliche Zellen sprechen Bakteriensprache
- 31 Viren sprechen miteinander
- 34 Verändertes Gen krepelt Ökosystem um
- 36 Explodierende Selbstmordbakterien opfern sich für die Gemeinschaft
- 42 Würmer bremsen Schiffe mit Hilfe von Bakterien
- 44 Kieselalgen vergiften ihre Nachbarn im Morgengrauen
- 46 Fracking lässt eigentümliche Bakterien heranwachsen
- 55 Lebende Fossilien in Tasmanien entdeckt
- 57 Die ältesten Lebensspuren

MIKROBIOLOGIE

# Biofilme – tödlich wie Krebs?

von Karin Sauer

Biofilme sind Mikroorganismen, die von einer Schleimschicht umgeben sind. Sie könnten Schätzungen zufolge ähnlich viele Menschen töten wie Krebserkrankungen. Da Antibiotika gegen diese Keime oft wirkungslos sind, wollen Forscher sie nun mit ihren eigenen Waffen besiegen.

**D**er Yellowstone-Nationalpark ist ein Ort, an den ich immer wieder gern zurückkehre. Vor allem die Regenbogenfarben der zahlreichen heißen Quellen, Geysire und Fumarolen des Parks faszinieren mich. Die Farbenvielfalt resultiert aus Abermillionen dicht gedrängter Bakterien, die von einer schleimigen Matrix umgeben sind. Zwar sind einzelne Zellen mit dem bloßen Auge nicht erkennbar, doch in der Schleimhülle bilden sie deutlich sichtbare Gemeinschaften: mikrobielle Matten beziehungsweise Biofilme. Durch ein Mikroskop betrachtet weisen solche Filme bemerkenswerte dreidimensionale Strukturen auf. Mikroben kleben aneinander und bilden komplexe

Fäden, verschlungene Pfade und Gebilde, die winzigen Türmen ähneln. Für mich sehen sie aus wie pulsierende Metropolen – mit Häuserblöcken, Wolkenkratzern und Straßen geschäftiger als jene in Tokio oder New York.

Jeder hat schon mal einen Biofilm gesehen – ob als dicke, schmierige Ansammlung im Abfluss oder als hartnäckigen Rand in der Badewanne. Doch während sie daheim höchstens lästig und in der Natur oft sogar hübsch anzuschauen sind, können Biofilme im medizinischen Bereich zur ernsthaften Bedrohung für unsere Gesundheit werden. Keime, die im menschlichen Körper Filme bilden, sind immun gegen Antibiotika und können chronische Infektionen von Operationswunden, Lungen und Harnwegen verursachen. Keimfilme kolonisieren Medizingeräte und Implantate wie Katheter, künstliche Gelenke und Herzklappen. Sie verursachen 65 Prozent aller Krankenhausinfektionen; allein in

AUF EINEN BLICK

## Resistente Mikrobenstädte

- 1 Biofilme entstehen, wenn sich Bakterienkolonien mit einer schleimigen Matrix umgeben, die Antibiotika und andere Wirkstoffe abwehrt. Derartige Keime verursachen eine hohe Zahl tödlicher Krankenhausinfektionen.
- 2 Forscher haben Signalmoleküle identifiziert, die Mikroben produzieren, wenn sie einen Film wieder auflösen. Als freie Einzeller sind Bakterien deutlich verwundbarer.
- 3 Weitere Strategien im Kampf gegen Biofilme ziehen Nutzen aus wirkstoffhaltigen Oberflächen oder solchen mit Antihafteffekt, Bakterien infizierenden Viren und Enzymen, die die schützende Matrix angreifen.

---

**Karin Sauer** ist Biologieprofessorin an der Binghamton University, State University of New York, und stellvertretende Direktorin des Binghamton Biofilm Research Center. Sie erforscht die Entstehung, Verbreitung und Resistenz von Biofilmen.

den USA trifft es jährlich 1,7 Millionen Menschen – etwa jeden 17. darunter tödlich. Schätzungen zufolge fordern Biofilme ebenso viele Opfer wie Krebs.

Das Problem resultiert vor allem aus einer falschen Strategie: Behandlungen bakterieller Infektionen richten sich gegen Einzelzellen, nicht gegen filmbildende Zellverbände. Letztere sind jedoch nicht nur in der Lage, unserer Immunabwehr auszuweichen, so dass Impfstoffe wirkungslos sind, häufig können ihnen auch Antibiotika nichts anhaben. Die hohe Widerstandsfähigkeit hat nichts mit tatsächlicher Wirkstoffresistenz zu tun oder gar mit der Entwicklung multiresistenter Erreger. Es ist die dreidimensionale bakterielle Matrix, die Biofilme so zäh macht. Darin eingebettet tauschen Bakterien Informationen aus, koordinieren die Organisation von Strukturelementen und unterstützen sich gegenseitig durch die Synthese von Proteinen und anderen überlebenswichtigen Molekülen.

Meinen Kollegen und mir ist es nun gelungen, in diese Matrix einzubrechen und den bakteriellen Nachrichtenverkehr abzuhören. Zudem können wir einzelne Botschaften abfangen und sie gegen die Erre-

ger verwenden, so als würden wir uns in das Computersystem einer Stadt hacken: Wir schalten eine Ampel auf Rot oder leiten den Verkehr um. Damit sind wir allmählich in der Lage, dem Zellverbund zu signalisieren, die schützende Matrix zu verlassen. Unsere Forschung basiert auf frühen Hinweisen, dass sich Bakterienfilme von einzelnen Zellen deutlich unterscheiden. Im Jahr 1998 zeigten die Mikrobiologen George A. O'Toole und Roberto Kolter, dass Bodenbakterien der Art *Pseudomonas fluorescens* bei der Biofilmsynthese 24 Gene aktivieren und spezielle Proteine bilden. Die Funktion der meisten dieser Gene war unbekannt, doch einige kodierten Haftproteine (Adhesine) – molekularen Klebstoff. Die Verwandlung der Zellen erforderte offenbar eine neue Physiologie. Im Jahr 2002 entdeckten wir, dass sich Mikroorganismen nicht einfach beim Kontakt mit einer Oberfläche verändern, sondern in der Folge mehrere Stadien durchlaufen und sich dabei immer wieder anpassen. Auf jeder Entwicklungsstufe produzieren Bakterien bestimmte Proteine, die das nächste Biofilm-Level einleiten.

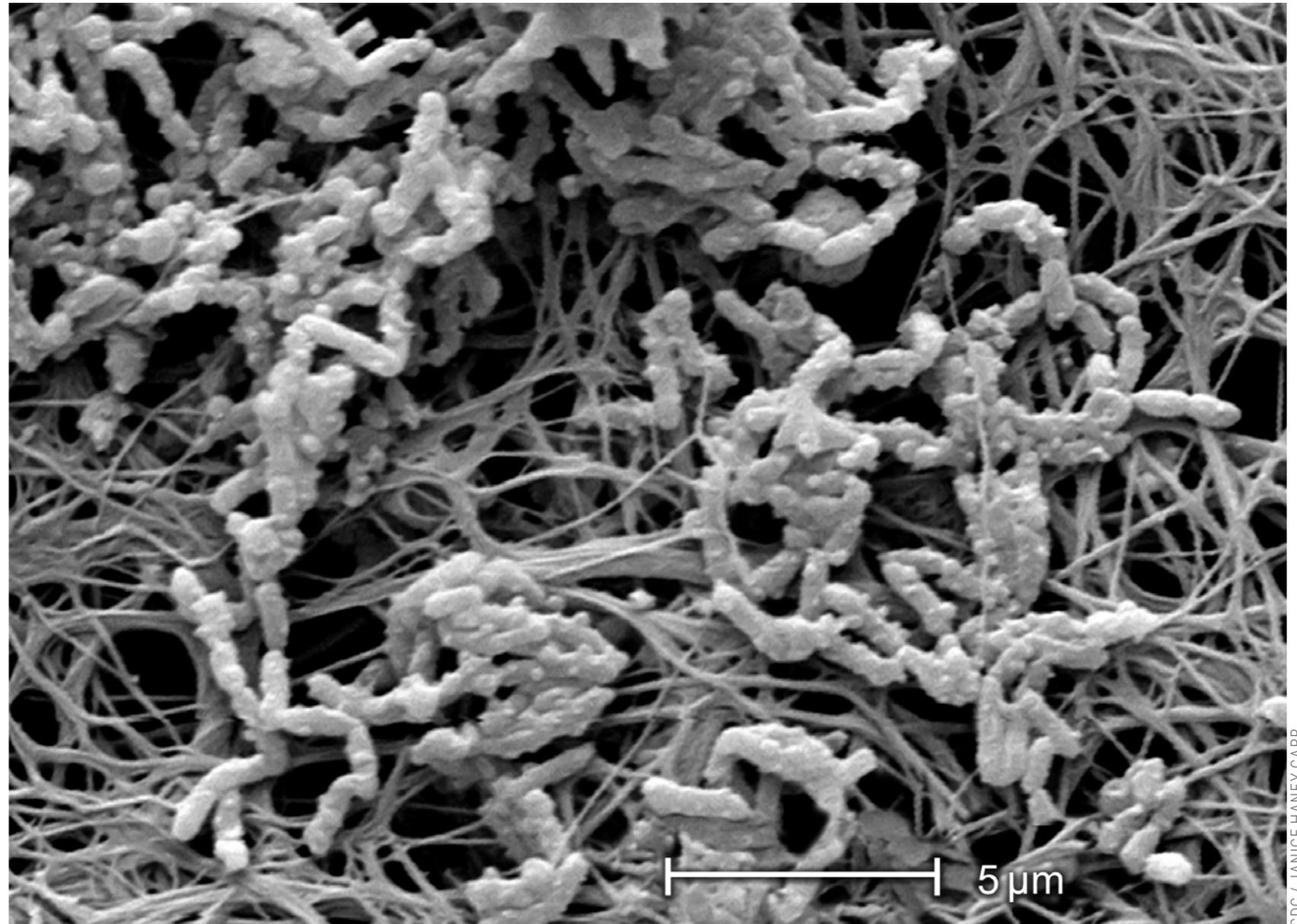
Unsere Ergebnisse deuten darauf hin, dass Biofilme – wie Städte – von Grund auf

Manche Erreger produzieren ein leicht modifiziertes Signalmolekül und rufen sich damit wie in einem Dialekt zu: Schwärmt aus!

erbaut werden und ihre Entstehung einem Masterplan mit verschiedenen Bauphasen folgt. Im Labor können wir durch Zugabe von Chemikalien, die Proteine hemmen oder ihre Wirksamkeit verstärken, einen Baustopp verhängen oder Umbaumaßnahmen einleiten, so dass der Zellverbund in ein früheres Stadium zurückfällt. Solche chemischen Angriffe können andere Maßnahmen wie etwa nanostrukturierte Antihaftbeschichtungen im Kampf gegen Keimfilme ergänzen.

### **Oberflächen so glatt wie Schmierseife – abgekupfert bei Haien, Muscheln und Blutzellen**

Denn es ist schon mal ein guter Ansatz, Erreger daran zu hindern, sich überhaupt irgendwo anzuheften. Im Kampf gegen Biofilme haben Forscher bislang vor allem Oberflächen und medizinische Komponenten mit antibakteriellen Substanzen versetzt. Eine Vielzahl solcher Materialien verwenden Ärzte bereits in Kliniken, darunter antibiotische Fäden und Knochenzement mit Antibiotikaperlen sowie Katheter, Verbände und Beatmungsschläuche, die mit kolloidalem Silber oder Nanosilberpartikeln beschichtet sind. Mikroorganis-



men sterben bei Kontakt mit den Silberionen. Der genaue Mechanismus dahinter ist noch nicht bekannt; man weiß aber, dass die Ionen oxidativen Stress verursachen und essenzielle Biomoleküle beschädigen, was schließlich zum Tod der Zelle führt. Neben Silber werden auch diverse Metalloxide und Metallsalze, die Eisen, Quecksil-

**ACHROMOBACTER XYLOSOXIDANS**  
**Die Innenseite eines Katheters ist mit einem Film von Bakterien überzogen, der eine Blutvergiftung auslösen kann.**