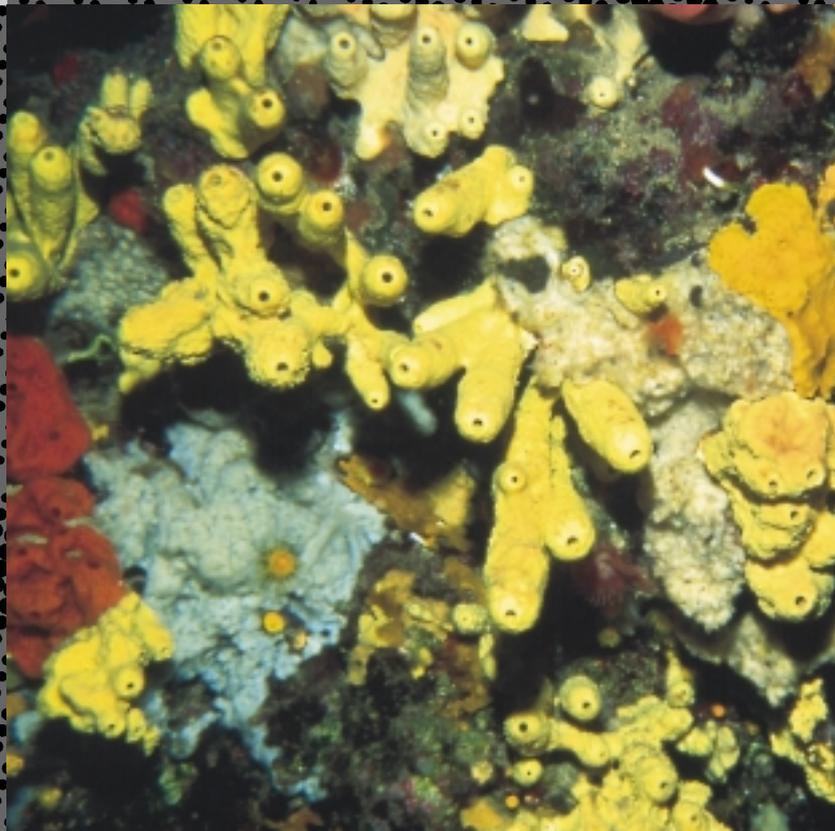


Franz Brümmer
Hans-Dieter Götz

Intrazelluläre Bakterien – Freunde oder Feinde?





Legionärskrankheit aus Klimaanlage? Augeninfektionen durch Kontaktlinsen? Bergen Protozoen und Niedere Tiere neue Krankheitserreger? Lange bevor es Tiere und Pflanzen gab, wurden die Zellen der einzelligen Lebewesen (Protozoen) von Bakterien befallen. Wir wissen somit, Infektionskrankheiten sind viel älter als die Menschheit. Und manche dieser garstigen Krankheitserreger haben sich gewissermaßen in den Menschen verirrt, da sie sonst in Protozoen, beispielsweise in Amöben, leben. Aber auch heute finden wir in jedem Tümpel, im Meer oder im Boden Protozoen und kleine Tiere, die von Mikroorganismen besiedelt werden. Den intensiven Kontakt mit solchen infizierten Kleinstlebewesen sollten wir meiden, aus ihrem Studium können wir jedoch eine Menge lernen.

Protozoen und Niedere Tiere ernähren sich von Mikroorganismen, hauptsächlich von Bakterien. Es verwundert deshalb nicht, wenn viele Bakterien schon in der Frühphase des Lebens auf unserer Erde Schutzmechanismen „erfunden“ haben und dadurch günstige Voraussetzungen für eine intrazelluläre Lebensweise besitzen. Für die Kommunikation mit ihren Wirten haben Bakterien zunehmend komplexe Mechanismen und Strukturen entwickelt. Entsprechend häufig und vielfältig sind bakterielle Infektionen schon bei Protozoen. Auch im Wassertropfen ist das Leben also keineswegs paradiesisch. Die vielen Kleinstlebewesen fressen sich nicht nur gegenseitig, sondern müssen sich auch gegen die infektiösen Erreger wehren. Um trotz Infektionen zu überleben, haben sich die Wirte anpassen müssen, haben Abwehrmechanismen entwickelt oder gar „gelernt“, die eingedrungenen Keime ihrerseits auszubeuten. In der Tat sind mikrobielle Infektionen gute Beispiele dafür, wie vielfältig Lebewesen interagieren, und das Studium intrazellulärer Infektionen offenbart uns interessante Einsichten in interzelluläre Kommunikationsmechanismen.

Als mit der Weiterentwicklung des Lebens vielzellige Tiere auftraten, haben sie zwangsläufig manche Bakterien von den

Einzellern übernommen. Seit es Menschen gibt, werden auch sie von Bakterien und anderen Mikroorganismen besiedelt. Allein in der Mundhöhle des Menschen vermutet man bis zu 300 verschiedene Bakterienarten. Manche intrazellulären Mikroorganismen wie zum Beispiel Tuberkelbazillen, Listerien und Malaria-Erreger schaden uns mehr oder weniger, auch wenn es gewissermaßen alte Bekannte sind. Gelegentlich werden wir aber mit neuen Erregern konfrontiert, deren plötzliches Auftreten und deren Herkunft zunächst oft rätselhaft ist. Infizierte Protozoen können unter bestimmten Bedingungen eine mögliche Quelle für infektiöse Mikroorganismen sein.

Protozoen als Wirte von Mikroorganismen

Besonders häufig sind Protozoen von Bakterien befallen. Das verwundert nicht, da viele Protozoen sich von Bakterien ernähren. Bei solcher Nahrung muß man mit dem Risiko leben, daß sich manches Bakterium nicht verdauen läßt, sondern in der Zelle weiterlebt. Es hat vielleicht irgendwelche unverdaulichen Substanzen auf seiner Oberfläche und kann daher in dem kleinen Bakterienfresser weiterleben und ihn von innen aufzehren. In einer gefährlichen Welt, umgeben von gefräßigen Räubern, ist es für ein solches Bakterium ein großer Vorteil, daß es einen Schutzmantel besitzt und unangreifbar ist.

Franz Brümmer / Hans-Dieter Görtz ■
Intrazelluläre Bakterien – Freunde oder Feinde? ■

Für die Untersuchung von Infektionen sind Protozoen und Niedere Tiere besonders geeignet, weil man die Zellen gut mikroskopisch beobachten und relativ leicht im Labor kultivieren kann. Sie eignen sich deshalb als Modellorganismen für die Untersuchung intrazellulärer Infektionen. Die meisten Bakterien sind außerdem wirtsspezifisch, das heißt, sie befallen nur eine bestimmte Einzeller-Art. Es ist dann relativ ungefährlich, mit ihnen zu arbeiten.



Paramecium bursaria, das grüne Pantoffeltierchen, wird von bis zu 300 einzelligen Algen besiedelt, die dort leben und Photosynthese betreiben. Sie liefern ihren Pantoffeltierchen in großem Umfang energiereichen Zucker. Zusätzlich können die grünen Paramecien von Bakterien befallen sein.



Lichtmikroskopische Aufnahme (mit Mikroblick) eines Parameciums mit zahlreichen stäbchenförmigen Bakterien im Zellkern.

Protozoen

Was sind Protozoen?

Protozoen sind einzellige Lebewesen mit Zellkernen und Zellorganellen. Sie gehören also zu den Eukaryonten. In einer einzigen Zelle vereinen sie alle Fähigkeiten, sich zu ernähren, zu reagieren, sich zu bewegen und sich zu vermehren. Die größten Protozoen werden bis zu einem halben Millimeter lang und sind mit bloßem Auge sichtbar.

Zu den bekanntesten Protozoen gehören die

Amöben („Wechseltierchen“),

Flagellaten („Geißeltierchen“), **Dinoflagellaten** („Panzergeißeltierchen“) und

Ciliaten („Wimpertierchen“, zum Beispiel Paramecium, das Pantoffeltierchen).

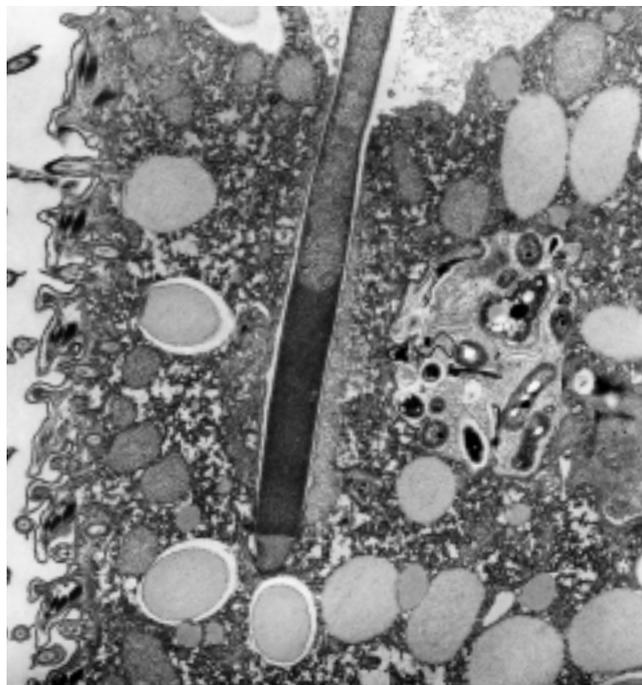
Wenn man sie als „Tierchen“ bezeichnet, darf das nicht mißverstanden werden. Sie gehören nicht zu den eigentlichen, den vielzelligen Tieren, sondern sind viel ursprünglicher und bilden eigene Stämme.

Wovon ernähren sich Protozoen?

Schon ihr sehr vielfältiges morphologisches Erscheinungsbild deutet an, daß sie ganz unterschiedliche Lebensstrategien haben und oft an extreme Bedingungen angepaßt sind. Die meisten Protozoen ernähren sich von Mikroorganismen. Andere sind räuberisch, fressen also gleichgroße Protozoen oder sogar kleine Tiere. Wieder andere Protozoen leben als Parasiten in größeren Tieren oder Pflanzen.

Wo leben Protozoen?

Protozoen leben in Seen, Flüssen, Wasserpfützen, im Meer, im Sandlückensystem, im Boden, in Moosen: kurz überall, wo mindestens zeitweilig etwas Wasser vorhanden ist. Manche Arten können Trockenperioden überstehen und werden sogar als Dauerzysten mit dem Wind verbreitet. Protozoen sind wichtige Glieder in Nahrungsketten und Ökosystemen. Auch Tiere und Pflanzen werden von Protozoen besiedelt. Im Regenwurm leben Protozoen beispielsweise im Darm, in der Leibeshöhle oder in den Hodenbläschen. Im Rinderpensan finden sich Protozoen ebenso wie im Blut von Schlafkrankheits-Patienten oder in der Mundhöhle mancher gesunder Menschen.



Elektronenmikroskopische Aufnahme eines Bakteriums, das in eine Protozoenzelle eindringt.

Unterschiedlichste Formen des Zusammenlebens

Bestimmte Bakterien sind für ihre Protozoenwirte äußerst infektiös. Nimmt ein Paramecium („Pantoffeltierchen“) einen solchen Keim mit der Nahrung auf, ist es unweigerlich infiziert. Bakterien der Gattung *Holospora*, die in der Stuttgarter Zoologie untersucht werden, dringen dann innerhalb einiger Minuten sogar in den Zellkern ein. Genauer gesagt zwingen die Bakterien die Wirtszelle, sie zum Zellkern zu bringen und dort einzuschleusen. Solche Bakterien vermehren sich ausschließlich in den Kernen ihrer Wirtszellen. Erstaunlicherweise können die

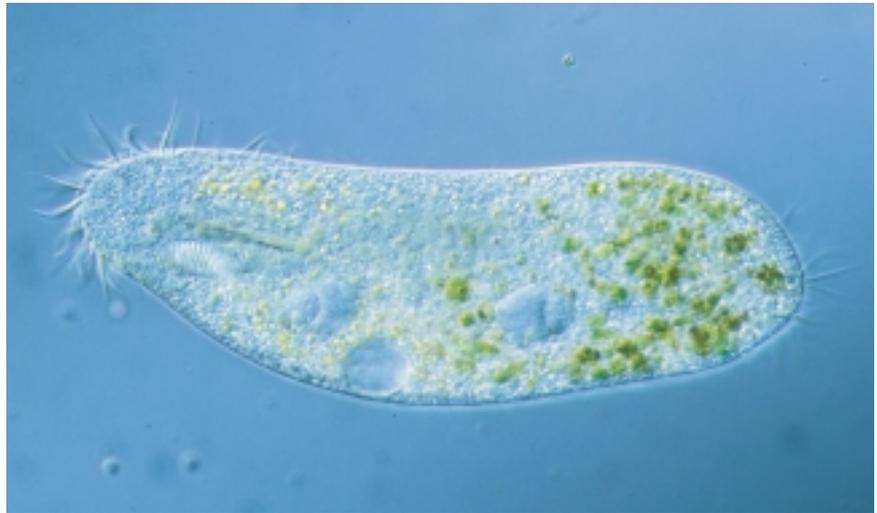
Wirte in den meisten Fällen trotz der Infektion weiterleben, sich auch weiter teilen und vermehren. Sie werden allerdings durch den Befall mit den parasitischen Bakterien deutlich belastet.

Holospora-Bakterien haben auch Mechanismen entwickelt, mit denen sie die Paramecien, ohne sie zu zerstören, bei deren Zellteilungen wieder verlassen können. Das ist nicht selbstverständlich, denn Zellen sind durch Membranen nach außen abgeschlossen. Die freigesetzten Bakterien können dann neue Wirte infizieren und sich in einer Population schnell ausbreiten, ja sämtliche Paramecien eines Gewässers befallen.

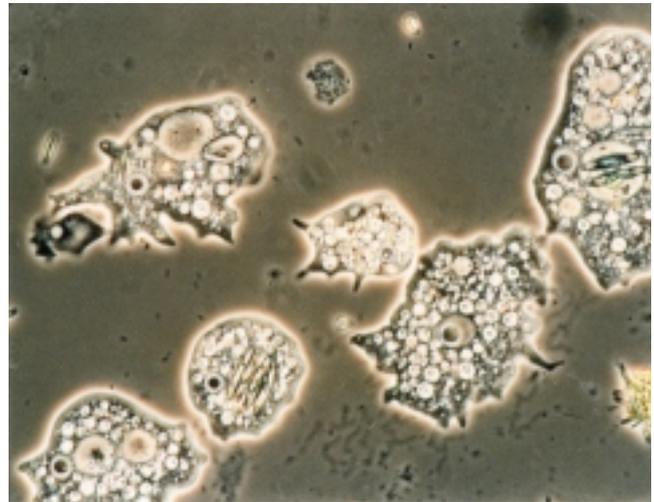
Aber längst nicht alle Bakterien sind infektiös. Manche leben vielmehr permanent in ihren Wirtszellen. Sie können weder ihre Wirte verlassen noch in andere Zellen eindringen. In bestimmten Ciliaten („Wimpertierchen“) findet man Bakterien, die dort offenbar seit Millionen von Jahren existieren und während dieser langen Zeit des Zusammenlebens einen Großteil ihres Genoms (Erbanlagen) verloren haben. Sie können nicht mehr außerhalb der Protozoen überleben und sind komplett von ihnen abhängig. Oft sind diese Bakterien für ihre Wirtszellen essentiell geworden. Werden die Ciliaten von solchen Symbionten „befreit“, etwa durch Antibiotika-Behandlung, so sterben sie nach wenigen Tagen.

Eine merkwürdige Form der Abhängigkeit zeigt das „Killer-Phänomen“. Paramecien, die von bestimmten Bakterien besiedelt werden, geben Toxine ab, sind aber selbst gegen die Toxine resistent. Die Toxine töten andere Paramecien, die selbst keine solchen Symbionten besitzen. Komplizierter werden die Verhältnisse dadurch, daß nur solche Bakterien die Toxizität vermitteln, die selbst von Phagen (Viren) befallen sind. In getrennter Laborkultur wachsen Paramecien mit Killer-Symbionten schlechter als unbefallene. Befallene Paramecien sterben sogar, wenn sie für einige Zeit leicht hungern, während unbefallene Zellen eine leichte Hungerphase gut überstehen. In Mischkulturen setzen sich die Paramecien mit Killer-Symbionten aber immer durch, weil ja alle nicht-befallenen abgetötet werden. Infizierte Zellen haben also einen Vorteil, solange sie mit nicht-infizierten Paramecien um die Nahrung konkurrieren müssen. Jede Zelle, die sich etwa von ihren Bakterien befreien kann, verliert ihre Resistenz gegen das Toxin und stirbt. Nur wer befallen ist, überlebt, auch wenn es ihm wohl nicht besonders gut geht.

Ein Einfluß intrazellulärer Bakterien auf Toxinbildung wird auch bei Dinoflagellaten („Panzergeißeltierchen“) vermutet. Das sind Einzeller, die auch zu den „Mikroalgen“ gerechnet werden, weil sie grün sind und Photosynthese betreiben. Kommt es zu einer Massenvermehrung, sogenannten Blüten solcher toxischen Mikroalgen, drohen Fischsterben und Muschelvergiftungen. Ein unmittelbarer Nutzen der Toxinbildung für die Protozoen ist bislang nicht eindeutig zu erkennen. In der Stuttgarter Zoologie wird nicht nur der Einfluß intrazellulärer Bakterien auf die Toxinbildung analysiert, son-



Schon die große Formenvielfalt der Protozoen deutet auf ihre unterschiedlichen Lebensstrategien und Stoffwechseleigenarten hin. Hier werden kleine Amöben des Bodens und ein Ciliat aus einem Süßwassertümpel gezeigt. Alle diese Kleinstlebewesen ebenso wie Niedere Tiere, beispielsweise die Schwämme, werden von verschiedensten intrazellulären Mikroorganismen bewohnt.



dern mit Arbeitsgruppen des Alfred-Wegener-Instituts für Meeresforschung und anderen Instituten auch versucht, ein Früherkennungssystem für Algenblüten in der Nordsee zu entwickeln.

Biodiversität intrazellulärer Bakterien

Heute sind weniger als 10.000 Bakterienarten bekannt – die meisten von ihnen freilebend. Vermutlich existieren aber erheblich mehr intrazellulär lebende als freilebende Bakterien. Wir kennen erst die wenigsten, weil nur wenige Protozoen und Niedere Tiere bislang intensiver auf intrazelluläre Bakterien hin untersucht wurden. In diesen analysierten Arten wurden jeweils zahlreiche, meist wirtsspezifische Bakterien gefunden. Die Wirtsspezifität ist unter anderem dadurch begründet, daß die verschiedenen Wirtsarten ganz unterschiedliche Lebensräume bewohnen, ganz unterschiedliche Lebensstrategien haben und, soweit das beobachtet

wurde, auch spezifische Stoffwechseleigenarten haben.

Paramecien sind hinsichtlich der Vielfalt bakterieller Infektionen recht gut untersucht. Bei einzelnen Paramecienarten sind bis zu acht intrazelluläre Bakterienarten gefunden worden. Einige davon hat man erst in den letzten Jahren entdeckt, und es ist damit zu rechnen, daß die Zahl der gefundenen Arten weiter zunimmt. Flüchtige Untersuchungen bei anderen Protozoen zeigen, daß Paramecien bezüglich der Zahl ihrer intrazellulären Gäste keine Ausnahme sind.

Nimmt man die wirbellosen Tiere hinzu, wird das Spektrum an Wirten und damit auch die Vielfalt an darin lebenden Mikroorganismen noch einmal deutlich größer. Von Schwämmen als ganz einfache Tiere weiß man, daß sie Lebensraum für viele Bakterienarten sind. Nur wenige dieser Bakterien sind bisher untersucht oder hinsichtlich ihrer verwandtschaftlichen Stellung zu anderen Bakterien eingeordnet. Erst kürzlich konnten in Schwammzellen Bakterien auch in Zellkernen nachgewiesen werden.

Für Verwandtschaftsuntersuchungen werden auch Sequenzanalysen an bestimmten Genen durchgeführt. Kennt man die Sequenzen, kann man die Zellen unter Verwendung komplementärer Sonden mit der Technik der Fluoreszenz-*in situ*-Hybridisierung (FISH-Technik) behan-

FISHen nach nicht kultivierbaren Mikroorganismen

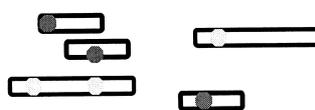
In den letzten Jahren wird es immer wichtiger, Bakterien im natürlichen Lebensraum, quasi vor Ort (in situ) – auch intrazellulär –, zu identifizieren. Hauptargument hierfür ist die Tatsache, daß sich die meisten Bakterien im Labor nicht außerhalb ihres Wirtes züchten lassen. Hier helfen sogenannte Sonden, die bei der Fluoreszenz-*in situ*-Hybridisierung – kurz FISH genannt – eingesetzt werden.

Die FISH-Technik nutzt die Tatsache, daß Bakterienzellen viele tausend Kopien an ribosomalen RNA-Molekülen (rRNA) besitzen. Die Basensequenzen der rRNA-Moleküle der verschiedenen Bakterien ist bekannt oder kann ermittelt werden. Es werden nun kurze, zu diesen Sequenzen komplementäre Teilstück-Sonden (Oligonukleotide) hergestellt und mit Fluoreszenzfarbstoffen markiert, um eine Bakterienart zu identifizieren.

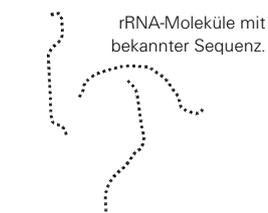
Die markierten Sonden werden in die chemisch permeabilisierten Zellen eingebracht. Paßt die Sequenz einer Sonde exakt komplementär zu den gewünschten Zielregionen der rRNA einer Zelle, bindet sie an die rRNA – sie hybridisiert. Über den angehängten Fluoreszenzfarbstoff ist die hybridisierte Sonde im Fluoreszenzmikroskop sichtbar.

Ergebnis

Benutzt man verschiedene Fluoreszenzfarbstoffe an unterschiedlichen Sonden, so kann man die Verbreitung und Verteilung mehrerer Bakterien in derselben Probe analysieren.



Mit farblich unterschiedlich markierten Sonden können verschiedene Bakterien in einer Probe / Zelle detektiert werden.



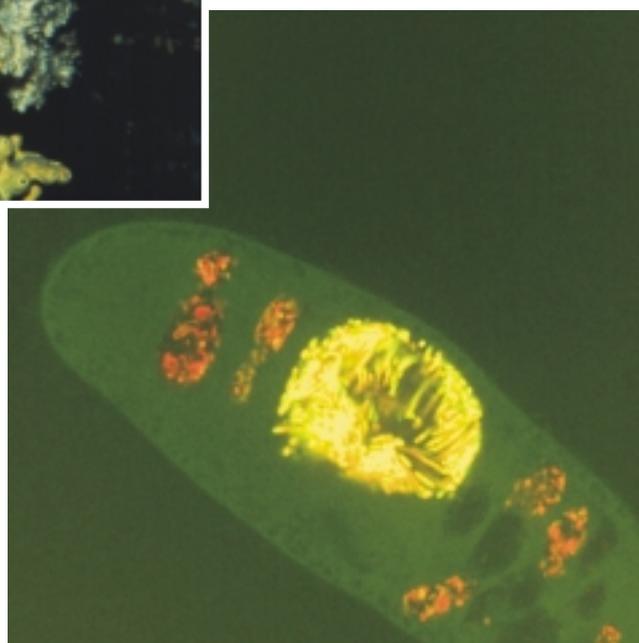
Sonden binden an komplementäre Sequenzen und sind über die Farbstoffe mikroskopisch zu erkennen.



Schwämme sind offenbar als Wirte für Bakterien besonders geeignet. Das Bild zeigt den Mittelmeerschwamm *Aplysina aerophoba*.

deln. Nukleinsäure-Sonden werden mit Fluorochromen markiert, damit man sie im Fluoreszenzmikroskop erkennen kann. Die Fluorochrommarkierten Sonden diffundieren unter geeigneten Bedingungen in die Zellen und sogar in intrazelluläre Bakterien ein. Nur die spezifischen Sequenzen werden dabei von den Sonden erkannt und damit angezeigt. Auf diese Weise kann man neuentdeckte Bakterien schon mikroskopisch bestimmten Ver-

In situ-Hybridisierung zum Nachweis bestimmter Bakterien in der Wirtszelle. Gezeigt ist ein Paramecium, in dessen Zellkern mit einer spezifischen Sonde (gelb) *Holospira obtusa* Bakterien nachgewiesen werden. In den Nahrungsvakuolen (Phagosomen) – mit Nahrung gefüllte Bläschen im Zellplasma – werden mit einer anderen Sonde (magenta) die Futterbakterien angezeigt.



wandtschaftsgruppen zuordnen, also systematisch einordnen. Man kann damit also auch ihre Verwandtschaft zu humanpathogenen Bakterien überprüfen. Die Methode ist besonders geeignet, weil dazu keine Vermehrung der Bakterien nötig ist. Bei den meisten intrazellulären Bakterien von Einzellern ist nämlich eine Kultur auf künstlichen Nährböden bisher nicht gelungen. Sie lassen sich nur in ihren Wirtszellen halten und vermehren.

Ergebnisse von FISH-Untersuchungen und Sequenzanalysen zeigen, daß die intrazellulären Bakterien in Protozoen und Niederen Tieren in unterschiedlichste Verwandtschaftsgruppen der Bakterien gehören. Wir finden Vertreter von Archaea und Eubakterien, aber auch Arten aus allen Untergruppen der Proteobakterien oder Verwandte von Chlamydien sind vertreten. Offensichtlich wurde der Schritt hin zur intrazellulären Lebensweise von verschiedensten Bakterien – teils wiederholt und oft mit Erfolg – versucht.

Müssen wir mit neuen Krankheitserregern aus Einzellern rechnen?

Die Bedeutung von Infektionskrankheiten nimmt heute eher zu als ab. Alte Krankheiten wie zum Beispiel Tuberkulose sind wieder auf dem Vormarsch, und zusätzlich müssen wir mit neuen Erregern rechnen, weil wir unser Verhalten und unsere unmittelbare Umwelt verändern. Auch Cholera und Typhus erlangten erst im 19. Jahrhundert große Bedeutung; man weiß nicht einmal, ob diese Krankheiten vorher überhaupt existierten. In beiden Fällen wurden Ausbreitung und Epidemien durch gestiegene Bevölkerungsdichte und ein verändertes Verhalten des Menschen verursacht, besonders durch die damals zunehmende Reisetätigkeit.

In unserer Umwelt kommen wir mit intrazellulären Bakterien aus Einzellern oder Niederen Tieren, etwa Schwämmen, normalerweise wenig in Berührung und brauchen sie deshalb nicht zu fürchten. Befallene Einzeller kommen beispielsweise im Boden, in Seen, Flüssen, Gräben oder im Meer vor, oft in abgelegenen Lebensräumen unserer Gewässer, wie etwa an der Grenze zum Faulschlamm, im Sandlückensystem oder in abgestorbenen Tier- oder Pflanzenteilen. Wir sind ihnen also wenig ausgesetzt. Außerdem sind die intrazellulären Mikroorganismen typischerweise sehr wirtsspezifisch. Sie haben sich so gut an ihren Wirt angepaßt, daß sie kaum in anderen Wirten überleben, ja nicht einmal in sie eindringen können. Von daher ist es ungefährlich, mit bloßen Händen Gartenerde zu bearbeiten oder in natürlichen Gewässern oder im Meer zu baden, obwohl dort überall bakteriell infizierte Einzeller und Tiere leben.

Intensive Kontakte mit befallenen Organismen können aber problematisch

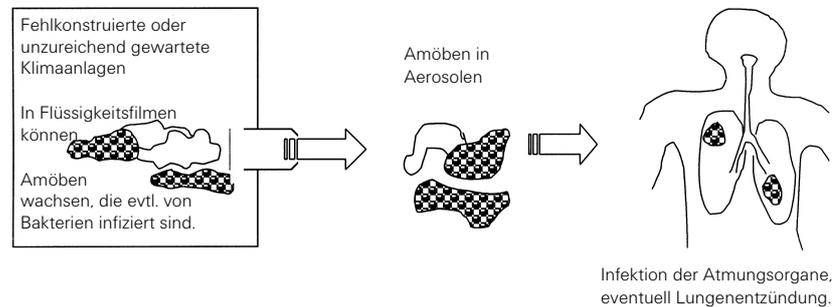
sein. Abschreckendes Beispiel sind die Legionellen. Diese Bakterien kennt man erst seit Ende der siebziger Jahre. Damals wurden sie als Verursacher der sogenannten Legionärskrankheit entdeckt, einer atypisch verlaufenden Lungenentzündung. Unbehandelt führt sie zum Tode. Extrazellulär können Legionellen wohl nur im Labor existieren. Intrazellulär leben sie in Amöben, also in Protozoen. Manche Amöben brauchen zum Überleben nur dünne Flüssigkeitsfilme, wie sie in Klimaanlage entstehen können. Aus solchen Klimaanlage können sie mit Aerosolen in die Atemluft gelangen und dann eine Gefahr darstellen.

Speicherbehältern zu niedrig eingestellt sind.

Besonders im Gesundheitsbereich ist im Hinblick auf Infektionen durch neue Erreger Aufmerksamkeit nötig. Das zeigt die Beobachtung, daß der enge Raum zwischen Augen und Kontaktlinsen einen geeigneten Lebensraum für Amöben bietet. Die Amöben können die Hornhaut lokal zerstören. Sie sind außerdem oft selbst von Bakterien infiziert und gefährden das Auge auch als potentielle Überträger solcher Bakterien. Vorsichtig muß man natürlich auch bei der Herstellung und Lagerung von Nahrungsmitteln sein,

Protozoen als Reservoir von Legionellen

Lebensraum von Amöben sind Gewässer, Moose oder Böden. Dünne Flüssigkeitsfilme reichen oft aus. Solche dünnen Flüssigkeitsfilme finden sich auch in Feuchträumen oder Klimaanlage.



Nicht selten sind Amöben von Bakterien befallen, mit denen sie gut leben können. Werden die Flüssigkeitsfilme in kleine Tröpfchen (Aerosole) zerstäubt, können die Bakterien mit den Amöben in die Atemluft gelangen. Sind die Bakterien fakultativ humanpathogen, können sie auf diesem Wege die menschlichen Atmungsorgane infizieren.

Zweifellos kann schon die Vernachlässigung alter Hygieneregeln allein Infektionen begünstigen. Konkrete Vorsicht muß aber gelten, wenn mit neuen technischen Errungenschaften günstige Lebensbedingungen für bestimmte Organismen geschaffen werden und dabei gleichzeitig intensiver Kontakt dieser Organismen zum Menschen hergestellt wird. Dafür sind Klimaanlage nur ein Beispiel. Entsprechende Vorsicht sollte man auch bei der Aufstellung von Luftbefeuchtern, Raumspringbrunnen oder ähnlichen Einrichtungen gelten lassen, damit keine Erregerherde entstehen. Auch Duschen und Warmwasseranlagen können unter Umständen für infizierte Einzeller günstige Lebensbedingungen bieten, zumal wenn die Wassertemperaturen in

etwa wenn zugunsten von Naturbelassenheit auf Konservierungsmittel verzichtet wird. Allgemein müssen wir beim Einsatz neuer Technologien in der unmittelbaren Umgebung des Menschen überwachen, ob wir dadurch in intensiven Kontakt mit Protozoen oder Tieren gelangen können und neuen Risiken für Infektionen mit intrazellulären Bakterien ausgesetzt sind.

Modelle für Infektionsbiologie und Symbiose

Jede lebende Zelle ist von einer Zellmembran umgeben. Zerstört ein Keim die Membran, ist die Zelle tot. Zellen besitzen aber Mechanismen, mit denen sie Partikel, auch Bakterien, aufnehmen können, die dann normalerweise verdaut werden. Dabei werden von der Membran in die Zelle hinein sogenannte Endocytosevesikel gebildet. Für das Eindringen müssen Bakterien deshalb geeignete Signalmoleküle tragen, um nach dem Schlüssel-Schloß-Prinzip an Rezeptorproteine der Wirtsmembran zu binden und in ein Endocytosevesikel der Zelle aufgenommen zu werden. Sie müssen gewissermaßen den Code für die Aufnahme besitzen. Auch ein Verlassen des Aufnahmevesikels, um weiter in die Zelle einzudringen, erfolgt gegebenenfalls wieder über Signal-Rezeptor-Mechanismen von Bakterien- und Wirtsproteinen. In den verschiedenen Phasen einer Invasion binden bakterielle Proteine an das Cytoskelett der Wirtszelle, induzieren Membranfusionen und erreichen schließlich beispielsweise ihre Einschleusung in den Zellkern. Dort binden Proteine der Bakte-

rien an Chromatin und andere Strukturen und erreichen, daß sie bei den Kernteilungen mit den Chromosomen verteilt werden oder den Zellkern wieder verlassen können. Die entsprechenden bakteriellen Proteine werden gesucht und analysiert, zum Beispiel um neue Induktoren für Membranfusionen zu erhalten oder um den Schlüssel in den Zellkern zu finden und damit gezielt Vektoren für einen Transport in Zellkerne bauen zu können.

Es erscheint rätselhaft, daß Protozoen mit stark befallenen Zellkernen leben und sich vermehren können. Die Stoffwechsellaktivität im Zellkern (zum Beispiel die RNA-Polymerase-Aktivität) ist dann stark erhöht. Man muß annehmen, daß die Protozoen sehr effektive Reparaturmechanismen besitzen, um von den Bakterien bewirkte Zerstörungen beheben zu können. Unter bestimmten Bedingungen wehren sich infizierte Protozoen erfolgreich gegen die eingedrungenen Bakterien. Dann werden Bakterien auch im Zellkern in kurzer Zeit zerstört und die Wirtszellen befreien sich vollständig von ihnen. Hier besitzen die Protozoen Mechanismen, die unsere Körperzellen möglicherweise nicht besitzen. Es wäre interessant, die zugrundeliegenden zellulären Abwehrmechanismen kennenzulernen.

Bestimmte Protozoen sind besonders anfällig gegen Infektionen. Sie sind damit für die Konstruktion experimenteller Symbiosen geeignet. In der Stuttgarter Zoologie wurden stabile Symbiosen von Ciliaten mit verschiedensten Mikroorganismen erzielt. Die Wirtszellen erhalten somit neue Eigenschaften. Mit solchen ex-

perimentell induzierten Symbiosen könnten schwer kultivierbare Bakterien vermehrt und allgemeine Kommunikationsmechanismen intrazellulärer Mikroorganismen mit ihren Wirtszellen untersucht werden.

Literatur

- Amann, R., Springer, N., Ludwig, W., Görtz, H.-D., Schleifer, K.-H.: Identification in situ and phylogeny of uncultured bacterial endosymbionts. *Nature* 351: 161-164 (1991)
- Barbaree, J. M., Fields, B. S., Feeley, J. C., Gormann, G. W., Martin, W. T. (1986) Isolation of protozoa from water associated with a legionellosis outbreak and demonstration of intracellular multiplication of *Legionella pneumophila*. *Appl. Environ. Microbiol.* 51: 422-424
- Brümmer, F. and Görtz, H.-D. Bacterial infections in protozoa. In: Müller, W.E.G. (ed.) *Modern aspects in monitoring of environmental pollution in the sea*, pp. 251-255. Akad. Gemeinnütziger Wiss., Erfurt
- Görtz, H.-D. (1998) Aquatic symbionts and pathogens. In: Greenblatt, Ch. L. (ed.) *Digging for Pathogens. Ancient emerging disease - their evolutionary anthropology and archaeological context*, pp. 97-114. Balaban Publishers, Rehovot.
- Görtz, H.-D., Brigge, T. (1998) Intracellular bacteria in protozoa. *Naturwissenschaften* 85:359-368

Symbiose und Parasitismus

Symbiose

Symbiose wird im deutschsprachigen Raum als Zusammenleben artunterschiedlicher Individuen verstanden, aus dem beide Partner im Ergebnis einen Nutzen ziehen.

Parasitismus

Der meist größere Wirt wird vom kleineren Parasiten ausgenutzt, ohne aber in kurzer Zeit von ihm getötet zu werden. Ein gut angepaßter Parasit schädigt seinen Wirt wenig. Die Schädigung kann unterschiedlich ausgeprägt sein – von geringer Ausnutzung bis hin zur parasitischen Kastration oder gar (partieller) körperlicher Zerstörung. Parasitische Bakterien werden meist nicht als Parasiten, sondern als Pathogene bezeichnet.

So einfach die Begriffe zu definieren sind, so schwer ist es oft zu entscheiden, ob zwei Partner in Symbiose oder Parasitismus zusammenleben. Das Ausmaß des Nutzens einer Symbiose kann mit den äußeren Bedingungen variieren; ein Symbiont kann zum Parasiten, ein Parasit / Pathogen kann zum Symbiont werden.



Dr. Franz Brümmer

Privatdozent, Jahrgang 1956, Studium der Biologie an der Universität Stuttgart, dort 1987 Promotion zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur interzellulären Kommunikation tierischer Zellen. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Biophysik widmete er sich den Themen Nierensteinertrümmerung und mögliche Auswirkungen des Ultraschalls auf Zellen und Gewebe. 1994 Habilitation und Venia legendi für Zoologie und Biophysik. Seit 1995 ist Franz Brümmer in der Zoologie tätig und führt dort regelmäßig die Lehrveranstaltungen zur Allgemeinen und Speziellen Zoologie und zur Ökologie durch. Dazu zählen auch meeresbiologische Exkursionen und Veranstaltungen für Studierende der Geologie und Geographie sowie der Umweltschutztechnik. In seiner wissenschaftlichen Arbeit untersucht er marine Schwämme als mögliche Lieferanten wertvoller Naturstoffe und dies unter den Aspekten einer nachhaltigen Nutzung mariner Ressourcen. Weitere Schwerpunkte seiner Forschungen sind die Entstehung und Ausbreitung giftiger Algenblüten sowie die Identifizierung intrazellulärer Symbionten bei Protozoen. Als deren Gründungsmitglied engagiert sich Franz Brümmer in der Wissenschaftlichen Tauchgruppe der Universitäten Stuttgarts (WiTUS) sowie als Umweltreferent im Verband Deutscher Sporttaucher (VDST e.V.). Dr. Brümmer ist Mitglied im Umweltbeirat des Landes Baden-Württemberg.

Prof. Dr. Hans-Dieter Görtz

Geboren 1945, studierte Biologie an der Universität Münster, dort 1975 Promotion zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur Morphogenese und Zellbiologie eines Ciliaten. 1983 Habilitation und Venia legendi für Zoologie. Seit 1992 vertritt Hans-Dieter Görtz als Ordinarius für Zoologie sein Fach an der Universität Stuttgart mit Lehrveranstaltungen der Allgemeinen und Speziellen Zoologie im Studiengang Technische Biologie sowie im Studiengang Umweltschutztechnik. In seiner wissenschaftlichen Arbeit untersucht er mikrobielle Infektionen in Protozoen, die Infektionsmechanismen und die Diversität intrazellulärer Bakterien in Protozoen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind die Kultur schwerkultivierbarer Protozoen und die Massenkultur von Protozoen für die Naturstoffgewinnung. Prof. Görtz ist Managing Editor des European Journal of Protistology und Vizepräsident der Deutschen Gesellschaft für Protozoologie.