



# Die Welt der Mikroorganismen verstehen

TEIL 3

⬆️ Oben: Mikroorganismen waren die ersten Lebensformen, die sich auf der Erde entwickelt haben. Ihre Erfolgsgeschichte verdanken sie im Wesentlichen ihren spezifischen Vermehrungsformen.

<sup>1</sup> **Molare Konzentration** ist in der Wissenschaft die Bezeichnung für eine Stoffmengenkonzentration in Lösungen (nicht das Volumen) mit der Angabe mol/l.

<sup>2</sup> **atm** ist die Einheit des atmosphärischen Absolutdrucks 1 atm = 1013,25 hPa (Hektopascal).

Neben der praktischen Anwendung von EM gehört die Vermittlung von Fachwissen rund um Mikroorganismen zum Angebot des EM e.V. In dieser Serie geht es um Hintergründe aus der Welt der Mikroben, so dass die Funktionsweise der Effektiven Mikroorganismen verständlicher wird. Im dritten Teil erfahren Sie nicht nur, wie unterschiedlich sich Mikroorganismen vermehren, sondern auch, welche zahlreichen und faszinierenden Möglichkeiten der Fortbewegung sie nutzen.

Die Grundlagen der Mikroorganismen und deren Einteilung in die drei Domänen des Lebens, die aus Bakterien, Archaeen und Eukaryoten bestehen, sowie die Abgrenzung zu Viren wurden im ersten Teil dieser Serie in EMJournal 73 geklärt. Im zweiten Teil in EMJournal 74 ging es um Unterschiede zwischen Bakterien und Archaeen, deren verschiedene Lebensräume und enorme Anpassungsfähigkeit. Die immense Bedeutung der Mikroorganismen für den Menschen wurde herausgestellt – was für EM-Anwenderinnen und -Anwendern nicht verwunderlich sein dürfte. In diesem dritten Teil geht es um weitere spannende Erkenntnisse aus der Welt der Mikroorganismen.

## Vermehrung von Mikroorganismen und Viren

Damit Mikroben sich vermehren können, benötigen sie geeignete Bedingungen und bestimmte physikochemische (sowohl die Physik als auch die Chemie betreffende) Parameter:

### Temperatur:

Die ideale Temperatur für die Vermehrung liegt in der Regel zwischen 15 und 45 Grad Celsius.

### Salz:

Salz-Ionen umgeben sich mit Wasser und entziehen dafür Molekülen und Zellen deren Wasser. Die Verfügbarkeit von Wasser nennt man Wasseraktivität ( $a_w$ ), wobei 0 = vollkommen trocken und 1 = reines Wasser bedeutet. Mikroorganismen benötigen in der Regel eine  $a_w$  von 0,9 (entspricht 0,1 – 1 Molare Salzkonzentration<sup>1</sup> = 0,2 – 5 % NaCl (Kochsalz)).

### Druck:

Der Normbereich liegt zwischen eins und hundert atm<sup>2</sup>, aber auch hier gibt es Ausnahmen.

### pH-Wert:

Die Mehrheit der Mikroben bevorzugt Lebensräume mit einem pH-Wert zwischen fünf und neun. Viele Mikroorganismen sind acidotolerant (säuretolerant) und überleben auch bei niedrigeren pH-Werten.

Des Weiteren benötigen Mikroorganismen zur Vermehrung Energie, Nährstoffe sowie chemische Elemente und Verbindungen. Der Toleranzbereich gibt an, innerhalb welcher Grenzwerte der Organismus überleben kann.

Im Optimum vermehrt sich die Mikrobe bestmöglich. Im Präferenzbereich kann sich der Organismus noch immer gut entfalten, wachsen und fortpflanzen.

Sind die Voraussetzungen schlecht, bilden manche Organismen Dauerformen (Endosporen), die erst bei verbesserten Bedingungen wieder aktiv werden. In Bezug auf die Grenzwerte bestimmt der ungünstigste aller Parameter, ob der Organismus überlebt und wie vital er sich verhält. Liegt nur ein Parameter außerhalb der Toleranzkurve, stirbt der Organismus.

## Mikroorganismen verfügen über verschiedene Möglichkeiten der Vermehrung

Die Zellteilung ist die gängige Art der Vermehrung von Mikroorganismen. Gelangen Mikroben in eine neue Umgebung mit optimalen Bedingungen, zeigen sie ein exponentielles Wachstum und die Zellzahl verdoppelt sich innerhalb einer definierten Zeit. Exponentielles Wachstum ist nur möglich, so lange die Wachstumsbedingungen konstant sind. Da die Mikroben in der Realität mit sich ständig ändernden Bedingungen zurechtkommen müssen, durchlaufen sie vier verschiedene Phasen: Anlaufphase / exponentielle Phase / stationäre Phase / Absterbephase.

Manche Bakterien bilden bei einer Verschlechterung der Umweltbedingungen Endosporen als Überdauerungsform. Diese sind besonders widerstandsfähig gegen Trockenheit, Hitze, Chemikalien und auch elektromagnetische Strahlung. Eine Endospore kann Tausende (eventuell sogar Millionen) Jahre überleben, die Mehrheit von ihnen stirbt allerdings bereits nach einigen Jahrzehnten ab.

Endosporen zeigen keinen messbaren Stoffwechsel an. Verbessern sich die Umweltbedingungen für die Endospore, wird diese durch ein Aktivierungssignal aufgeweckt. So ein Weckruf kann beispielsweise eine Temperaturerhöhung sein. Aufgrund dieses Signals wird die Sporenhülle permeabel (durchlässig) für Signalstoffe. Sobald geeignete Substanzen wie mögliche Nährstoffe in das Innere der Endospore gelangen, setzt die Keimung ein. Beim Auswachsen der neu entstehenden Bakterienzelle wird die Sporenhülle gesprengt und die vegetative Form kann heranwachsen.

Zu den Mikroorganismen zählen auch einzellige Pilze wie zum Beispiel *Saccharomyces* (echte Hefen), die eine asexuelle (vegetative) Fortpflanzung nutzen, bei der die Nachkommen genetisch identisch mit dem Elter sind. Folgende Mechanismen existieren:

### Sprossung

Die Zellteilung erfolgt innerhalb der Zellwand. Die entstandene Tochterzelle verlässt die Zellwand durch eine Pore und bildet eine neue eigene Zellwand.

### Hyphenteilung

Wenn Pilzfäden (Hyphen) zerfallen, bilden die Bruchstücke ein neues Myzel (Pilzgeflecht). So wird beispielsweise Fußpilz übertragen.

### Sporen

Sie entstehen durch mitotische Teilung (Kernteilung, bei der zwei identische Tochterzellen entstehen) oder Hyphenumbildung. Sporen können ein- oder mehrzellig für die Verbreitung des Pilzes sorgen (wie bei Haut- oder Schimmelpilzen).

## Viren vermehren sich anders

Wie bereits in den beiden vorangegangenen Teilen dieser Serie erwähnt, können Viren sich nicht selbst vermehren. Sie sind auf den Syntheseapparat einer Wirtszelle angewiesen. Die jeweilige Wirtszelle produziert die einzelnen viralen Bestandteile und fügt sie zusammen. Alle Viren haben ein grundlegendes Vermehrungsschema:

**1. Adsorptionsphase:** Proteine in der Virenhülle erkennen Rezeptoren auf der Wirtszelle und verschmelzen mit der Plasmamembran der Wirtszelle.

**2. Injektionsphase:** Das Virus schleust sein Genom und eventuell wichtige Proteine in die Wirtszelle. Dabei oder anschließend wird die umhüllte virale DNA oder RNA aus ihrer Hülle entlassen, um in das Zellinnere der Wirtszelle zu gelangen.

**3. Latenzphase:** Der Syntheseapparat der Wirtszelle wird gezwungen, die Bausteine für neue Viren zu produzieren.

**4. Lytische Phase:** Freisetzung der neuen Viren aus der Wirtszelle, die zerstört wird.



**Autorin:** Bianca Garms

Dipl.-Biologin Bianca Garms, Mitarbeiterin des EM e. V., ermöglicht einen anschaulichen Blick auf das Leben der Mikroorganismen.



⬆ 3D-Illustration von Bakterien mit Flagellen, Pili und/oder Fimbrien. Das Bakterium *Vibrio vulnificus* gehört zur Gattung der *Vibrio*, die viele Unterarten hat wie zum Beispiel das *Vibrio cholerae*, welches Cholera auslöst.

Auf dem Bild sieht man die zur Fortbewegung genutzten Flagellen/Geißeln, die an einem Pol des Bakteriums konzentriert sind. Auf der gesamten Oberfläche verteilt finden sich die Pili beziehungsweise Fimbrien.

**Quelle:**  
Mikrobiologie, Olaf Fritsche,  
Springer Verlag 2016

## Fortbewegung der Mikroben

Mikroben haben unterschiedliche Mechanismen zur Fortbewegung entwickelt. Die Mehrzahl der Bakterien besitzt Flagellen zur Fortbewegung, wobei jede Bakterienart eine unterschiedliche Flagellengröße und -verteilung aufweist. Flagellen bestehen aus unterschiedlichen Proteinen, die in der Zellwand/Plasmamembran verankert sind.

### Wie kommt es zur Fortbewegung?

Die Bakterienzelle erfährt im sie umgebenden Milieu ein elektrochemisches Gefälle; darunter wird die vorhandene Protonenkonzentration inner- und außerhalb der Zelle verstanden. Dieses elektrochemische Gefälle bewirkt eine Rotation des äußeren Flagellenapparates, die sich auf den Haken in der Zellmembran fortsetzt und so die Zelle wie mit einem Propeller durch das Medium zieht beziehungsweise schiebt. Die Zelle kann eine Geschwindigkeit von bis zu sechzig Zelllängen pro Sekunde erreichen.

Die Richtung, in die ein Bakterium schwimmt, ist stets zufällig bestimmt. Trotzdem können Bakterienzellen steuern, wohin sie sich im Laufe der Zeit bewegen. Dafür wechseln Phasen, in denen die Zelle geradeaus schwimmt, mit Phasen ab, in denen sie zufällig die Richtung ändert. Dies bewerkstelligt sie durch einen Wechsel der Rotationsrichtung der Flagellen:

- Rotieren die Flagellen gegen den Uhrzeigersinn, schwimmt die Zelle geradeaus.
- Rotieren die Flagellen im Uhrzeigersinn, taumelt die Zelle auf der Stelle und ändert dabei zufällig ihre Ausrichtung und damit die Schwimmrichtung während der nächsten Phase.

### Warum ist ein Richtungswechsel nötig?

In jedem Milieu verändern sich die Bedingungen. Ein Richtungswechsel ist überlebenswichtig, wenn beispielsweise das Nährstoffangebot sinkt oder die Temperatur steigt und daher Bereiche mit besseren Bedingungen zu suchen sind. Eine gerichtete Wanderung von Bakterien als Reaktion auf einen Reiz, nennt man Taxis. Je nach Art des Reizes gibt es verschiedene Arten der Taxis:

- Chemotaxis: Verursacht durch beispielsweise Nährstoff als Lockmittel oder Giftstoff zur Abschreckung. Die Wahrnehmung erfolgt über Chemorezeptoren auf der Zellmembran.

- Phototaxis: Photosynthetisch aktive Bakterien wie Cyanobakterien suchen gezielt helle Regionen mit Lichteinfall bestimmter Wellenlängen.
- Aerotaxis: Hier löst Sauerstoff den Reiz aus, er ist anziehend für aerobe Bakterien und abstoßend für anaerobe Bakterien.
- Hydrotaxis: Einige Cyanobakterien weichen gezielt trockenen Regionen aus.
- Magnetotaxis: Die Steilheit der Feldlinien des Erdmagnetfeldes wird genutzt, um sauerstoffärmere tiefere Schichten von Gewässern zu finden.

Bei einigen Bakterienarten wurden weitere Fortbewegungsmöglichkeiten wie Fimbrien und Pili entdeckt. Beides sind fadenförmige Anhängsel aus Proteinen. Fimbrien sind oft über den ganzen Zellkörper verteilt und ermöglichen der Zelle, sich an Oberflächen zu heften. An der Grenzfläche von Flüssigkeit zu Luft bilden sie eine Kahmhaut. Viele pathogene Bakterien wie zum Beispiel Salmonellen binden sich über Fimbrien spezifisch an Zielproteine ihrer Wirtszellen. Pili sind dagegen häufig länger als Fimbrien und haben unterschiedliche Funktionen:

- Bindung an Wirtsgewebe
- F-Pili stellt den Kontakt zwischen zwei Zellen zum DNA-Austausch her
- Typ-IV-Pili nutzt die Zelle zur gleitenden Fortbewegung auf einer festen Oberfläche. Dabei sind die Pili auf die Zellpole beschränkt und kontrahieren und strecken sich abwechselnd.

Als Besonderheit seien die Cyanobakterien (Fotosynthesebakterien) erwähnt, die auf Oberflächen in einem Schleim gleiten, den sie sekretieren. Auch *Flavobacteria johnsoniae* (in Böden und Süßwasser lebend, innerhalb von Böden oft in der Rhizosphäre von Pflanzenwurzeln) hat eine besondere Form der Fortbewegung entwickelt: Es zieht sich mit Proteinen, die in seiner äußeren Membran verankert sind, über die Oberfläche und bewegt sich somit gleitend vor.

## Grundverständnis

Wer die drei Teile dieser Serie aufmerksam studiert hat, besitzt nun ein gutes Grundlagenwissen über die Welt der Mikroorganismen. So wird nicht nur der Einfluss der Mikroben auf sämtliche Bereiche des Lebens deutlich, sondern auch die Funktionsweise der Effektiven Mikroorganismen verständlicher.