

NORBERT W. HOPF  
ILLUSTRIERT VON BORIS KRAUB

# BIOLOGIE

## macchiato

CARTOONKURS FÜR SCHÜLER UND STUDENTEN



2. Auflage

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.dnb.de> abrufbar.

Die Informationen in diesem Buch werden ohne Rücksicht auf einen eventuellen Patentschutz veröffentlicht. Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt. Bei der Zusammenstellung von Texten und Abbildungen wurde mit großer Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht ausgeschlossen werden. Verlag, Herausgeber und Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische Verantwortung noch irgendeine Haftung übernehmen. Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind Verlag und Herausgeber dankbar.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien. Die gewerbliche Nutzung der in diesem Produkt gezeigten Modelle und Arbeiten ist nicht zulässig.

Fast alle Produktbezeichnungen und weitere Stichworte und sonstige Angaben, die in diesem Buch verwendet werden, sind als eingetragene Marken geschützt. Da es nicht möglich ist, in allen Fällen zeitnah zu ermitteln, ob ein Markenschutz besteht, wird das ® Symbol in diesem Buch nicht verwendet.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

15 14 13

ISBN 978-3-86894-180-7

© 2013 by Pearson Deutschland GmbH,

Martin-Kollar-Str. 10-12, D-81829 München

Alle Rechte vorbehalten

[www.pearson.de](http://www.pearson.de)

A part of Pearson plc worldwide

Programmleitung: Birger Peil, [bpeil@pearson.de](mailto:bpeil@pearson.de)

Lektorat: Irmgard Wagner, [irmwagner@t-online.de](mailto:irmwagner@t-online.de)

Fachlektorat: Professor Dr. Armin Lude, Pädagogische Hochschule Ludwigsburg, Biologie und ihre Didaktik

Korrektorat: Petra Kienle, Fürstenfeldbruck

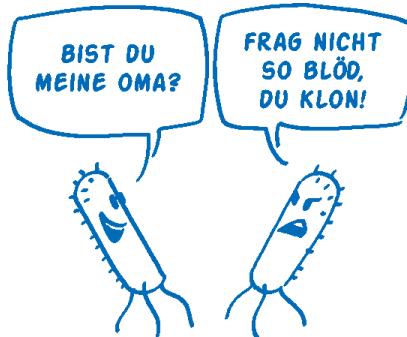
Herstellung: Martha Kürzl-Harrison, [mkuerzl@pearson.de](mailto:mkuerzl@pearson.de)

Satz: m2 design, Sterzing, [www.m2-design.org](http://www.m2-design.org)

Druck und Verarbeitung: GraphyCems, Villaluerta

Printed in Spain

Teilen sich ein Bakterium einmal und die Nachkommen ein weiteres Mal und deren Nachkommen auch wieder, dann zählen wir nach 20 Teilungsschritten über eine Million Nachkommen. Alle besitzen das gleiche Erbmaterial und Erscheinungsbild. Genetisch identische Bakterienzellen gehören zum selben Klon.

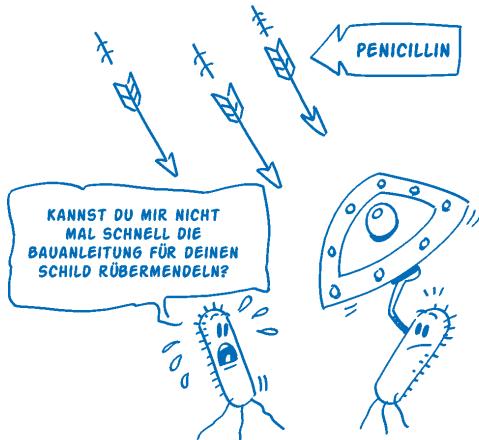


Wir wissen nicht, ob die Bakterien unter diesem gleichgemachten Da-sein leiden.



Auf jeden Fall wären diese Bakterienklone vom Lebensgesetz der Evolution ausgeschlossen, wenn keine Variabilität im Erbgut auftauchen könnte – von zufälligen Änderungen im Genom mal abgesehen. Das ist nicht nur schade, sondern gefährlich: Eine Änderung in den Umweltbedingungen kann alle Klonmitglieder auslöschen.

Dass das bakterielle Erbgut jedoch gar nicht starr in der Zusammensetzung ist, zeigt ein Beispiel: Wir beobachten, wie schnell Krankheitskeime die Fähigkeit erwerben, Antibiotika unwirksam werden zu lassen. Der Erwerb einer Resistenz gegen ein Antibiotikum, beispielsweise die Bauanleitung für ein Antibiotikum spaltendes Enzym, ist aus der Sicht von parasitierenden Bakterien überlebenswichtig. Wie sonst könnten sie den Schwall einer Antibiotikumtherapie überleben?



Bei Bakterien gibt es keinen Genaustausch über Geschlechtszellen. Prokaryonten kennen keinen Sex. Aber über welche Wege können dann Bakterien in den Besitz von Eigenschaften gelangen, die sich bei anderen Zellgenossen schon im Kampf ums Dasein bewährt haben?

Dieses Bedürfnis zum Genaustausch wird ersatzweise zum Sex durch drei Mechanismen befriedigt, die wir heute als Transformation, Konjugation und Transduktion bezeichnen. Im Folgenden nehmen wir das Beispiel des Darmbakteriums *Escherichia coli*.



### Die Transformation

Aus dem Lateinischen übersetzt bedeutet **Transformation** Umbildung. Frei betrachtet steht dahinter das Fischen von genetischem Treibgut eines Bakteriums aus seiner Umgebung. Einmal in die Zelle eingeholt kann sie sich auf Grundlage dieser neuen genetischen Information „umbilden“. Es können neue Proteine gebildet werden, die zu neuen Eigenschaften und Fähigkeiten führen.



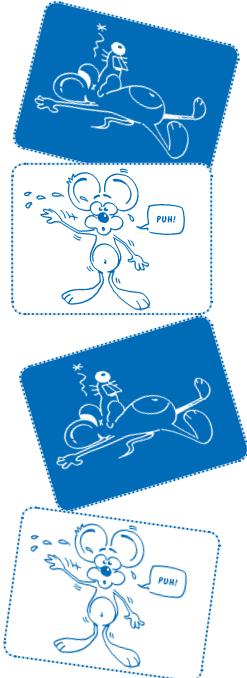
Mit ihren Experimenten wiesen Oswald Avery und seine Kollegen 1944 nicht nur das Übertragungsprinzip für Bakterien nach, sondern sie bewiesen auch, dass DNA als Träger für die Erbmerkmale verantwortlich ist. In einer Reihe von Versuchen spritzten sie in lebende Mäuse Krankheit erregende Streptokokkenkeime bzw. harmlose Varianten des Erregers. Sie beobachteten, was mit den Mäusen passierte.

Die Forscher fingen an zu experimentieren. Sie zerkochten die gefährlichen Keime, bis sie platzten und ihre Erbinformationen ausschütteten. Diese Zellinnereien wurden mit harmlosen, lebenden Keimen versetzt, in der Hoffnung, dass diese Erbinformationen aus dem Kochsud aufnehmen würden.



Würde es klappen, dass auch die genetische Information zur Verursachung der Krankheit bei Mäusen aufgenommen wird? Es klappte und aus einigen harmlosen Keimen wurden Killerkeime. Avery und Kollegen

hatten aber 1944 noch kein Lehrbuch zur Hand, das ihnen verraten konnte, dass die DNA der Träger von Erbinformationen ist. Sie konnten nur Vermutungen anstellen. So vermuteten sie als Träger für die vererbaren Eigenschaften entweder Proteine oder Desoxyribonukleinsäuren. Basierend auf folgenden Ansätzen führten sie ihr Experiment durch:



**Experiment 1:** Maus bekam gefährliche Variante gespritzt.

**Experiment 2:** Maus bekam ungefährliche Variante gespritzt.

**Experiment 3:** Die Zellinhalte aus der gefährlichen Variante wurden mit einem Enzym behandelt, das Proteine abbaut und die DNA intakt lässt. Dieser Cocktail wurde anschließend zusammen mit der ungefährlichen Variante gespritzt.

**Experiment 4:** Die Zellinhalte aus der gefährlichen Variante wurden mit einem Enzym behandelt, das hier die DNA abbaut. Dieser Cocktail wurde anschließend zusammen mit der ungefährlichen Variante gespritzt.

Damit war bewiesen, dass Gene als Träger von Erbinformationen auf der DNA liegen mussten. Für Bakterien war damit auch bewiesen, dass fremde DNA in die Zelle aufgenommen und genutzt werden kann.

Heute wird im Rahmen der künstlichen Genveränderung, **Gentechnologie**, die Transformation genutzt, um gezielt fremde Erbinformationen in ein Bakterium zu übertragen. Im Reagenzglas sollen Bakterien fremde DNA aufnehmen, um beispielsweise Proteine zu produzieren, die für die Bakterien fremd, für uns Menschen dagegen von Nutzen sind, z.B. das **Humaninsulin** (Eiweißhormon zur Regulation der Zuckerkonzentration im Blut) zur Therapie von Diabetes (Mangel an Insulinbildung). Stabilisiert werden diese kleinen Gene, indem sie in kurze ringförmige

DNA-Abschnitte integriert werden. Sie werden als **Plasmide** bezeichnet. Diese kleinen DNA-Abschnitte kommen in Bakterien ganz natürlich vor. Sie ergänzen das übliche Bakterienchromosom mit **extrachromosomal Genen**. Diese Plasmide braucht ein Bakterium nicht für seine überlebenswichtigen Grundfunktionen – diese Erbinformationen liegen ja auf dem Bakterienchromosom. Sie stellen aber mitunter ganz nützliche Ergänzungen des normalen Genrepertoires dar.

Plasmide werden nur in den Reagenzgläsern der Mikrobiologen über Transformation in Bakterienzellen verbracht. Diese Leute heißen so, nicht weil sie besonders kleinwüchsige Biologen sind, sondern weil sie fachlich den kleinsten Organismen in der Biologie zugeneigt sind: den Bakterien, Pilzen und Viren. Mikrobiologen beherrschen filigrane Tricks, um Plasmide in Zellen hineinzuschwemmen. In der Natur würde das nur äußerst selten so passieren.



Plasmide verfügen aber über einen eigenen natürlichen Mechanismus, mit dem sie ihr genetisches Material von einem Bakterium auf ein anderes übertragen können. Das ist der Weg der Konjugation, mit dem auch ein anderes Bakterium um neue Erbeigenschaften, Gene, bereichert werden kann.

### Die Konjugation

Alte Gemälde zeigen mitunter zwei Ochsen, die gemeinsam vor einen Karren gespannt sind. Verbunden sind sie über ein Joch (griechisch *jugos*). Diese Impression initiierte möglicherweise die Wortwahl des ersten Bakteriologen, als er zwei Bakterien wie über ein Joch verbunden beim „Konjugieren“ beobachtete.

Heute wissen wir, dass von einem Bakterium, von dem die Konjugation ausgeht, eine Art Proteinröhre (**Pilus**) auf ein unbefähigtes Bakterium ausgerichtet werden kann. Hat die Röhre am anderen Bakterium angedockt, wird die Proteinröhre abgebaut und der Abstand zwischen den beiden Bakterien wird immer kürzer, bis sich beide Bakterienkörper eng berühren. An beiden Bakterien werden in winzigen Bereichen die Zellwände kurzzeitig geöffnet. Dabei wandert in einer Zellplasmabrücke aus dem Bakterium, das die Konjugation eingeleitet hat, ein Abschnitt kopierter DNA hinüber zum Bakterium, welches somit zusätzliche Erbmerkmale erhält. Meist ist die Spende eine Kopie des Plasmids, auf der nicht nur die Fähigkeit zur Konjugation kodiert ist, sondern zahlreiche weitere Eigenschaften – beispielsweise Enzyme, mit denen Antibiotika enzymatisch verändert und inaktiviert werden können. Diese Resistenzplasmide verbreiten sich zum Leidwesen der Mediziner und ihrer Patienten nicht nur bei Konjugationen zwischen Krankheitserregern. Man beobachtet diesen Akt des Genaustauschs auch zwischen verschiedenen Arten von Bakterien. Harmlose Bakterien verlieren somit für uns ihre Unschuld, wenn sie für Krankheitserreger die Genabschnitte für **Antibiotikaresistenzen** schmuggeln.



Plasmide ergänzen das Repertoire des Hauptgenoms durch jeweils ein paar Dutzend Gene. Es gibt sie in verschiedenen Typen und Längen und sie können auch in mehreren Kopien pro Zelle auftreten. Plasmide können aber auch bei Zellteilungen wieder verloren gehen, wenn sie beispielsweise nur auf eine Tochterzelle übertragen werden. Plasmide gehen umso schneller verloren, je weniger die Gene für das Überleben ihrer Träger von Vorteil sind. Dabei ergibt sich natürlich die Frage: Warum sammelt ein Bakterium nicht alle möglichen Plasmide und behält sie? Irgendwann kommen doch Zeiten, wo irgendeines von ihnen nützlich sein könnte.

ICH ERINNERE MICH AN MEINE LETZTE LAN-PARTY MIT JOHANNA UND KEVIN AUF EINER HÜTTE HOCH AUF DER ALM. JEDER HATTE EINEN RIESENRUCKSACK VOLL GEPACKT MIT DER GANZEN NEUEN SOFTWARE - DUTZENDE CDS FÜR WELTRAUM, RÖMER UND FANTASY. SCHON NACH 1000 METERN WAREN WIR ALLE DREI GEWICHTSMÄBIG ECHT ERSCHÖPFT. SO WÜRDEN WIR DAS NICHT SCHAFFEN. ES GINGE NUR, WENN JEDER BALLAST ABWERFEN WÜRDE. ABER WIR WUSSTEN DOCH NOCH NICHT, WAS WIR SPIELEN WÜRDEN. ABER, UNS WAR KLAR, JEDER MUSSTE NICHT ALLES DABEI HABEN! UND SO TEILTEN WIR AUF: EINER DIE CDS FÜR WELTRAUM, EINER RÖMER UND EINER FANTASY. DEN REST DEPORNIERTEN WIR IN EINEM HOCH-SITZ. UND WENN NÖTIG, KONNTEN WIR AUF DER ALM KOPIEN ANFERTIGEN!

EINE BAKTERIENZELLE DASF NICHT ZU VIELE PLASMIDE HABEN, SONST DAUERT EINE TEILUNG ZU LANG, BIS VON ALLEN PLASMIDEN KOPIEN VORLIEGEN. DER TRICK IST, NUR WENIGE PLASMIDGENE DABEZUHABEN UND FÜR DEN NOTFALL AUF EINE BAKTERIENGEMEINSCHAFT VERTRAUEN ZU KÖNNEN, IN DER WENIGSTENS EIN MITGLIED EIN ÜBERLEBENSWICHTIGES PLASMID DABEI HAT.



### Die Transduktion

Die Transduktion bezeichnet einen Vorgang des „Hinüberwechsels“ von DNA aus einem Bakterium in ein anderes, bei dem die Bakterien hilflos dem Treiben von **Viren** ausgesetzt sind. So wie wir durch Viren Schnupfen bekommen können, können Bakterien auch von Viren belästigt werden. Diese Bakterienviren werden auch **Phagen** genannt. Viren sind primitive Zellparasiten, die nur aus einem Proteinkörper bestehen, der die Nukleinsäure mit ihrem genetischen Bauplan enthält. Da die Viren keinen Stoffwechselapparat besitzen, mit dem sie ihre Nukleinsäure ablesen können, müssen sie ihr Erbgut in einen Wirt einschleusen. Viren trachten danach, den Wirt so zu manipulieren, dass er für sie die Ableitung und Konstruktion virenpezifischer Proteine übernimmt. Auch wird die phagenspezifische Nukleinsäure vervielfältigt. Zu guter Letzt wird in der Bakterienzelle Phagen-DNA in die Phagen-Proteinhülle eingelagert. Am Ende bildet sich noch ein Enzym, wodurch die Zellwand von innen her zerstört wird (**Lyse**) und alle fertigen Phagen freigesetzt werden. Die Bakterien explodieren von innen her – und der **lytische Zyklus** ist beendet.

Manchmal passiert ein Fehler und statt des Phagengenoms wird ein gleich großes Stück der Nukleinsäure des Bakterienwirts in eine Phagenhülle eingebaut. Dann befindet sich in der richtigen Verpackung ein falscher Inhalt.



Wenn dieser bakterielle Genabschnitt auf eine andere, noch intakte Bakterienzelle trifft, kann mitunter diese Zelle um ein interessantes neues Gen bereichert werden. Es kann aus einem erfolgreichen Bakterienbefall ein Phage sein Dasein ins Hundertfache vermehren. Eine noch größere Vermehrung ergibt sich durch die Befähigung vieler Phagen zu einer noch heimtückischeren Strategie. Kurz nach der Injektion eines Phagengenoms in eine Wirtszelle lagert sich der Nukleinsäureabschnitt des Phagen direkt in das Bakteriengenom ein (**Integration**). Hier verzichtet der Phage auf seine piratisierenden Aktivitäten und wird als so genannter **Prophage** zum Schläfer. Die Bakterienzelle merkt nichts.



Jedoch wird der fremde Genabschnitt des potenziellen Genpiraten bei jeder Teilung des Bakteriums mit verdoppelt. Zur Erinnerung: Nach 20 Teilungen in Reihe liegen über eine Million Zellen vor – nun alle mit dem eingebauten Phagengenom. Sie können noch lange unbehelligt überleben, aber sie stellen eine tickende Zeitbombe dar. Der Ausbau aus dem schlafenden Zustand und die Aktivierung mit anschließender Lyse kann unter bestimmten Bedingungen – z.B. UV-Bestrahlung – schlagartig eintreten. Der Bakteriologe kennzeichnet diese Vermehrungsstrategie als **lysogenen Zyklus**.

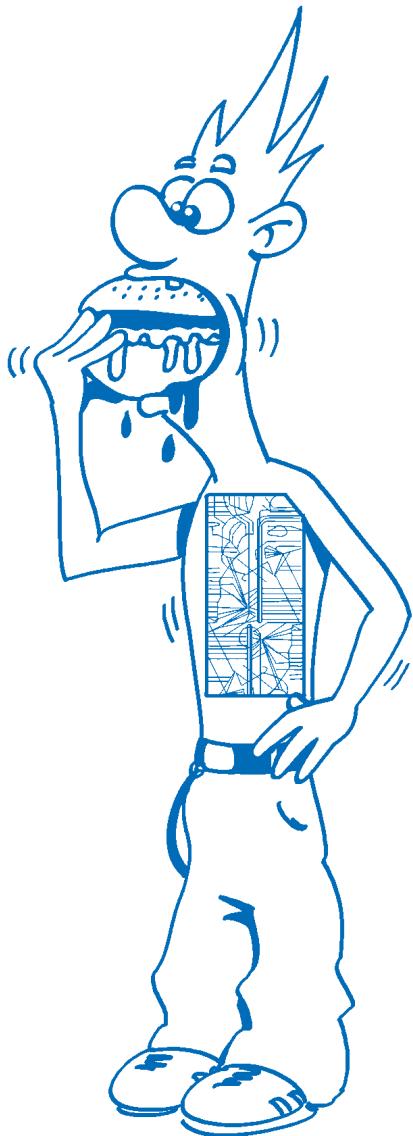


Manchmal passieren dabei kleine Fehler. Dabei wird der Genabschnitt des Prophagen so unsauber aus dem Bakteriengenom herausgeschnitten, dass dabei auch flankierende Abschnitte des Wirts am Phagengenom haften. Im anschließenden lytischen Zyklus wird dieser Phagengenomischling vervielfältigt und für die Lyse in Phagenhüllen verpackt. Auch so können Bakteriengene als blinde Passagiere in andere Bakterien gelangen.



**4**

## Alles im Fluß



# Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als **persönliche Einzelplatz-Lizenz** zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschließlich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs und
- der Veröffentlichung

bedarf der **schriftlichen Genehmigung** des Verlags. Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. **Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.**

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website herunterladen:

**<http://ebooks.pearson.de>**