
Die Prokaryonten

Zur **Beschreibung** der Bakterien gehört die Angabe der *morphologischen Merkmale*, also ob es sich um einen Coccus, ein Stäbchen oder ein Spirillum handelt, ob Kapseln vorhanden und die Einzelzellen zu Zellverbänden (Filamente, Tetraden, Pakete) geordnet sind, ob Geißeln zu finden und wie sie inseriert sind, ob Endosporen gebildet werden und ob die Zellen nach GRAM anfärbbar sind. Die Beschreibung wird durch Nennung der *stoffwechsel-physiologischen* Eigenschaften ergänzt, es wird angegeben, ob die Zellen unter aeroben, anaeroben oder unter beiden Bedingungen wachsen, ob Energiegewinnung durch Atmung, Gärung oder Photosynthese erfolgt, ob die Zellen pigmentiert und gegebenenfalls für andere Organismen pathogen sind. Schließlich dienen auch *serologisch* nachweisbare Eigenschaften und die Zusammensetzung der DNA, zur Charakterisierung eines Bakteriums.

Auch für die Bakterien gilt die **binäre Nomenklatur**: ein Art und ein Gattungsname. Gattungen können nach physiologischen Gesichtspunkten (Acetobacter, Nitrosomonas), nach Pigmentierung (Chromobacterium, Rhodospirillum rubrum), nach Krankheiten (Pneumococcus, Phytomonas) und nach Nahrungsstoffen (Haemophilus, Amylobacter) definiert werden.

Die Klassifikation der zu den Prokaryonten zu zählenden Mikroorganismen folgt in erster Linie praktischen Gesichtspunkten und dient dem Wiedererkennen der beschriebenen Formen. Unter Klassifikation versteht man die Anordnung von Einheiten zu Gruppen größerer Einheiten. Sie vollzieht sich in mehreren Stufen. Die Grundeinheit, die Reinkultur eines isolierten Bakteriums, ist der *Stamm*. Stämme werden zu *Arten* (Species) geordnet und zu *Gattungen* (Genus plur. Genera) gruppiert und diese wiederum zu *Familien* (Endung – aceae) zusammengefasst. Mit der Schaffung von Ordnungssystemen beschäftigt sich die Taxonomie.

Es gibt zwei Arten von Klassifikationen: die phylogenetische oder natürliche Klassifikation und die künstliche Klassifikation. Bei Bakterien ist es schwierig verwandte Formen - also solche welche durch einen gemeinsamen Vorfahren verbunden sind - zusammen zu ordnen und einen phylogenetischen Stammbaum der Bakterien zu entwickeln. Dazu können nur chemische Merkmale (z.B. Aminosäuresequenz von Enzymen) herangezogen werden und weniger morphologische oder physiologische. Eine künstliche Klassifikation ist weniger anspruchsvoll und begnügt sich mit der Anordnung der Organismen auf Grund ihrer Ähnlichkeit und dient der Identifikation oder dem Wiedererkennen (Bestimmen) von Organismen.

Gram-positive Kokken (Cocci)

Zu den Gram-positiven Cocci im weitesten Sinne zählen die kokkoiden Bakterien unter den Milchsäurebakterien (*Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*) diese sind auf Energiegewinnung durch Gärung angewiesen, enthalten (mit Ausnahmen) keine Häminpigmente und sind mikroaerotolerant. Ihnen stehen die aeroben und fakultativ anaeroben Gattungen *Micrococcus* und *Staphylococcus* sowie die obligat anaeroben Gattungen *Sarcina*, *Peptococcus*, *Peptostreptococcus* und *Ruminococcus* gegenüber.

Zur Gattung *Micrococcus* gehören die pigmentierten Bakterien, deren gelben oder orangefarbenen Kolonien man auf Luftplatten häufig begegnet. Der Gattungsname *Staphylococcus* rührt von dem mikroskopischen Bild her; die Zellen sind wie Beeren in einer Traube (*staphylos*) angeordnet. *Staphylococcus* ist fakultativ anaerob, bildet Cytochrome nur unter aeroben Bedingungen und ist relativ resistent gegen Austrocknung. *Staphylococcus aureus* ist pathogen (durch Toxine und Exoenzyme; Eitererreger). Andere Stämme rufen Nahrungsmittelvergiftungen hervor, indem sie während des Wachstums in nicht gekühlten Esswaren Enterotoxine ausscheiden. *Sarcina ventriculi* ist ein mikrotolerantes anaerobes Bakterium, das aus Erdboden leicht zu isolieren ist, aber auch im Mageninhalt von Magenkranken vorkommt. Das Bakterium ist ungewöhnlich groß (4µm), stark pH-tolerant (von pH 0,9 – 9,8) und bildet Endosporen aus.

Gram-negative Kokken (Cocci und Coccobacilli)

In dieser Gruppe werden einige Kokken und Kurzstäbchen zusammengefasst, die Gram-negativ und unbeweglich sind. Die aeroben Arten wurden lange Zeit zur Gattung der *Neisseria* zusammengefasst. Aufgrund ihrer Verbreitung, der Oxidase-Reaktion unterscheidet man heute drei Gattungen: *Neisseria*, *Moraxella* und *Acinetobacter*.

Neisseria ist Oxidase-positiv und umfasst tierpathogene Bakterien. *N. gonorrhoeae* ist der Erreger der Gonorrhö, einer venerischen Krankheit, die wegen der außerordentlichen Empfindlichkeit gegenüber Penicillin nahezu in Vergessenheit geraten ist. *N. meningitidis* kommt im Nasenrachenraum vor, vermag aber auch in den Blutstrom einzudringen und Hirnhautentzündung hervorzurufen. *Moraxella* ist ebenfalls Oxidase-positiv und sehr penicillinempfindlich. Es sind Coccobazillen, die keine Kohlenhydrate zu nutzen vermögen. *Acinetobacter* ist ein Oxidase-negatives Boden- und Wasserbakterium. Es lässt sich in einer 0,2 % Acetat enthaltenen Nährlösung bei pH 5,5-6,0 leicht anreichern und isolieren, verwertet in der Regel keine Glucose, Di- oder Polysaccharide, ähnelt aber im übrigen hinsichtlich der Substratverwertung der Gattung *Pseudomonas*.

Die am besten bekannten Gram-negativen, streng anaeroben Kokken sind *Veillonella alcalescens* und *Megasphaera elsdenii*. Beide sind nicht in der Lage Kohlenhydrate zu vergären. *V. alcalescens* kommt im Speichel des Menschen, der Tiere und im Pansen von Wiederkäuern vor. Es vergärt organische Säuren, insbesondere Milchsäure zu Propionsäure, Essigsäure, CO₂ und H₂. *M. elsdenii* vergärt Glutaminsäure und andere

Aminosäuren und ist anscheinend ebenfalls ein normaler Bewohner des tierischen Intestinaltraktes (Darmtrakt).

Coryneforme Bakterien

Gram-positive Bakterien von Stäbchenform, aber mit einer ausgesprochenen Tendenz zur morphologischen Variabilität (Keulen, Kurzstäbchen, Kokken oder schwach verzweigte Formen) werden als coryneforme Bakterien zusammengefasst. Die Gattung *Corynebacterium* (coryne = Keule) wurde ursprünglich geschaffen, um Formen vom Typus des *Corynebacterium diphtheriae* unterzubringen. Neben der Formenvariabilität ist das „Schnappen“ der Zellen während der Teilung charakteristisch, dabei winkeln sich die Zellen infolge verschieden schnellen Aufreisens der Wandverbindung zu beiden Seiten der neuen Zellwand gegeneinander ab. Daneben erfolgt auch simultane Vielfachspaltung, wobei aus jeweils einer großen Zelle viele Kurzstäbchen entstehen. *Corynebacterium diphtheriae* ist der Erreger der Diphtherie. Es ist in physiologischer Hinsicht insofern ein untypischer Vertreter der Gruppe, als es mikroaerophil bis anaerob lebt, während die meisten Corynebakterien Aerobier sind. Seine Pathogenität beruht auf dem Befall der Rachenhöhle und Tonsillen (Mandeln) und der Ausscheidung eines Exotoxins das mit dem Blut zirkuliert und auf Herzmuskel, Nieren und Nerven wirkt (postdiphtheritische Lähmungen). Das Toxin wird nur bei suboptimaler Eisenversorgung der Zellen gebildet.

Zur Gattung *Arthrobacter* werden mehrere, im Boden in großer Zahl verbreitete coryneforme Bakterien zusammengefasst. Diese Gattung ist durch eine starke Tendenz zu Zellverzweigungen und zur Kokkenbildung ausgezeichnet. Manche Formen sind durch Geißeln beweglich, alle Arten sind aerob. *Arthrobacter* lässt sich besonders leicht aus trockenem Boden isolieren; *Arthrobacter* und *Bacilli* überstehen eine mehrmonatige Trockenlagerung des Bodens, während die meisten Nicht-Sporenbildner absterben. *Arthrobacter* ist pleomorph (mehrgestaltig), in jungen Kolonien und Nährlösungen wächst er in Form von unregelmäßig gestalteten Langstäbchen, alte Kulturen enthalten nur kokkoide Formen. Viele coryneforme Bakterien scheiden Glutaminsäure und andere Aminosäuren in die Nährlösung aus. Sie haben deshalb industrielle Bedeutung erlangt. Andere typische Formen wachsen auf Weichkäse, beispielsweise *Brevibacterium linens*, und tragen zur Reifung des Käses bei.

Mycobakterien

Mycobakterien bilden vorübergehend eine Art Mycel, das aber alsbald in Stäbchen, die unregelmäßig geformt und verzweigt sein können, zerfällt. Mycobakterien sind unbeweglich und Gram-positiv. Von den Corynebakterien unterscheiden sie sich durch „**Säurefestigkeit**“. 1882 bemerkte Ehrlich, dass sich Tuberkelbakterien (*Mycobacterium tuberculosis*) nach Färbung mit Anilinfarbstoff durch Nachbehandlung mit Säure nicht entfärben lassen. Nach der Ziehl-Neelsen-Technik werden fixierte Bakterienausstriche mit Carbolfuchsin erhitzt, abgespült und mit HCl-Alkohol differenziert. Pathogene Mycobakterien und Nocardien geben den Farbstoff bei dieser Säurebehandlung nicht mehr ab; sie sind säurefest. Einige saprophytische (von faulenden Stoffen lebend) Mycobakterien lassen sich mit HCl-Alkohol, nicht aber mit wässriger HCl entfärben. Dies liegt an den hohen Gehalt an Wachsen (Mycolsäureester), die für Mycobakterien typisch sind.

Pseudomonaden

In der Familie der Pseudomonadaceae werden Gram-negative, polar begeißelte, gerade oder schwach gekrümmte Stäbchen zusammengefasst, die keine Sporen bilden und aerob wachsen. Die Energiegewinnung erfolgt durch aerobe Atmung, bei einigen Arten auch durch anaerobe Atmung (Denitrifikation, Nitrat-Atmung), aber nicht durch Gärung. Die Pseudomonaden sind chemoorganotroph (organische Verbindungen chemisch zersetzend), einige wachsen chemolithotroph (anorganische Verbindungen, chemisch zersetzend). Stoffwechselphysiologisch sind die Pseudomonaden durch das weite Spektrum nutzbarer organischer Substrate gekennzeichnet. Sie verwerten auch eine große Zahl heterocyclischer und aromatischer Verbindungen, die von anderen Bakterien nicht angegriffen werden.

Auf Grund ihrer Anspruchslosigkeit sind Pseudomonaden überall anzutreffen; sie kommen im Boden, Wasser, Abwasser und in der Luft vor. Bleibt eine Mineralsalze- und organische Säuren oder Zucker enthaltende Nährlösung offen stehen, so sind Pseudomonaden meistens die ersten Besiedler dieses Standorts.

Zu den Pseudomonaden gehören die Essigsäurebakterien, die Ethanol zu Essigsäure oxidieren. Man unterscheidet zwei Gattungen: *Gluconobacter* (polare Begeißelung) und *Acetobacter* (peritriche Begeißelung). Die Gattung *Halobacterium* ist eine physiologisch hochspezialisierte Bakteriumgruppe unter den Pseudomonaden. Die durch Carotinoide rot gefärbten Stäbchen sind extrem halophil (25 % NaCl).

Sporenbildner

Die Fähigkeit, mehr oder weniger thermoresistente Sporen zu bilden ist mit wenigen Ausnahmen auf eine Gruppe von Stäbchen beschränkt, von denen die meisten durch peritrich inserierte Geißeln beweglich sind. Sie sind Gram-positiv. Die aeroben und fakultativ anaeroben Stäbchen sind der Gattung *Bacillus*, die anaeroben in den Gattungen *Clostridium* und *Desulfotomaculum* zusammengefasst. Viele Sporenbildner sind durch ihre biochemischen Leistungen gut bekannt.

Die **aeroben Sporenbildner** sind im Boden beheimatet. Viele Bacilli bilden Zellketten oder Filamente. Die Bacilli lassen sich hinsichtlich der Form der Sporen und der der Mutterzellen in drei Gruppen einteilen: 1.) oval oder zylindrisch und nicht breiter als die Mutterzelle ist die Spore bei der Mehrzahl der Bacilli (*B. megaterium*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *B. licheniformis*, *B. anthracis*) 2.) Die ovalen Sporen sind breiter als die Mutterzelle; sie treiben diese bei der Sporulierung auf (*B. polymyxa*, *B. macerans*) 3.) Nahezu runde Sporen in terminal angeschwollenen Mutterzellen (*B. pasteurii*).

In Kürze: *B. megaterium* = Riesenbacillus, *B. cereus* bildet pilzähnliche Kolonien, *B. anthracis* = Milzbranderreger, *B. subtilis* = Heubacillus, *B. polymyxa* bildet Schleim, *B. pasteurii* = Harnstoffzersetzer

Die **anaeroben Sporenbildner** benötigen keinen Sauerstoff zum Wachstum. Die in der Gattung Clostridium zusammengefassten Arten enthalten keine Cytochrome oder Katalase. Infolge des hohen Gehaltes an Flavinenzymen bilden viele Clostridien bei

Kontakt mit Luftsauerstoff Wasserstoffperoxid, das dann tödlich wirkt.

Sporenbildende sulfatreduzierende Bakterien heißen Desulfotomaculum.

Die Clostridien vergären eine große Anzahl von Substraten. Nach den bevorzugten Substratgruppen kann man daher zwischen den *saccharolytischen Clostridien* (*C. butyricum*, *B. cellulosa* dissolvens), *Pepto-Clostridien* (*C. histolyticum*, *C. sporogenes*, *C. botulinum*) und *Harnsäure zersetzenden Clostridien* unterscheiden.

Gekrümmte Stäbchen

Die gekrümmten Stäbchen, Spirillen und Vibrionen, sind durchweg Gram-negative, durch geißeln bewegliche Bakterien. Sie sind aerob oder anaerob und an aquatischen Standorten verbreitet.

Die Gattung Spirillum umfasst Arten von der typischen wendelförmigen (helicalen) Gestalt mit bipolar-polytricher Begeißelung. Spirillum volutans ist ein Riesenspirillum und regelmäßig in Schweinejauche zu finden; es ist durch den Nachweis von Volutin (Polyphosphat) bekannt geworden.

Die Vibrionen sind fakultativ anaerob und stoffwechselfysiologisch den Enterobakterien ähnlich. Am bekanntesten ist Vibrio cholerae, der Erreger der Cholera. Er wird durch das Wasser (Abwasser) übertragen und wächst dann im Darm. Dort führt er durch Lyse (Angreifen, Auflösen) der Darmschleimhaut und durch ein Toxin zu einem außerordentlichen Wasserverlust des Körpers.

Bdellovibrio bacteriovorus ist ein für Bakterien parasitisches Bakterium. Die Zellen sind relativ klein und durch eine dicke Geißel sehr lebhaft beweglich. Trifft der Parasit ein Wirtsbakterium, so setzt er sich mit dem der Geißel gegenüberliegenden Pol an der Zellwand fest. Sind Bdellovibrios in das Wirtsbakterium eingedrungen, so nehmen sie an Größe zu, vermehren sich und bleiben dort bis der Zellinhalt verdaut ist. Nach Auflösung der Hülle werden sie frei und befallen weitere Bakterien. Bdellovibrio-Stämme lysieren hauptsächlich Gram-negative Bakterien und bevorzugen Pseudomonaden und Enterobakterien.

Filamente bildende Bakterien mit Scheiden (Scheidenbakterien)

Das am besten bekannte fädige Bakterium ist Sphaerotilus natans. Dieses als Abwasserpilz bezeichnete Bakterium wächst in verschmutzten fließenden Gewässern, in Vorflutern von Zuckerfabriken, auf Wehren und Tropfkörpern. Es bildet Fäden und Flocken oder auf einer Unterlage sitzend, lange fellartige beläge und Überzüge. Rohre, Vorfluter und Gräben können durch Sphaerotilus natans in kurzer Zeit verstopft werden. Es handelt sich um ein einzelliges, Gram-negatives, polytrich polar begeißeltes Bakterium. Es wächst in Form von langen Fäden. Diese bestehen aus Ketten von Zellen, welche durch eine dünne röhrenförmige Scheide zusammengehalten werden. Die Scheide besteht aus einem Heteropolysaccharid und ist als Kapselsubstanz anzusehen. Die Bakterienzellen vermehren sich innerhalb der Scheide durch Querteilung und vermögen die Scheide als bewegliche Zellen zu verlassen.