

ANTIGENE – Bakterien und Viren

© Herbert Paukert, Version 7.0

[1] Bakterien – Aufbau und Funktion 02

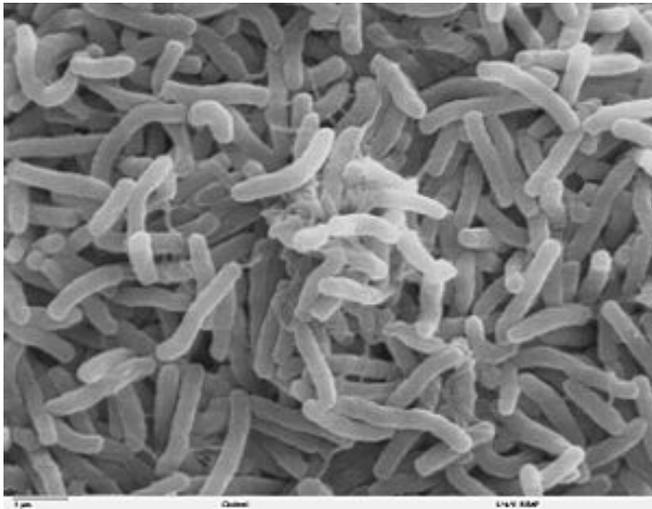
[2] Viren – Aufbau und Funktion 17

[1] Bakterien

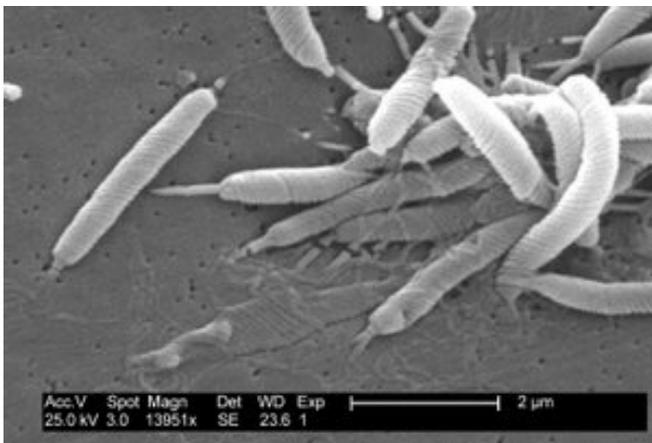
[1.1] Allgemeine Übersicht

Bakterien sind einzellige Lebewesen, wie auch die Urbakterien (Archaea-Bakterien), einige Pilze und Algen. Die Urbakterien sind Relikte aus der Urzeit, sie werden heute noch beispielsweise in vulkanisch aktiven Zonen, in kochenden Schwefelquellen, im Faulschlamm oder in Salzseen gefunden.

Bakterien und Urbakterien sind **Prokaryoten**, das bedeutet, ihre **DNA** ist nicht in einem vom Zellplasma durch eine Doppelmembran abgegrenzten **Zellkern** enthalten wie bei **Eukaryoten**, sondern bei ihnen liegt die DNA frei im Zellplasma, zusammengedrängt in einem engen Raum, dem Nucleoid (**Kernäquivalent**).



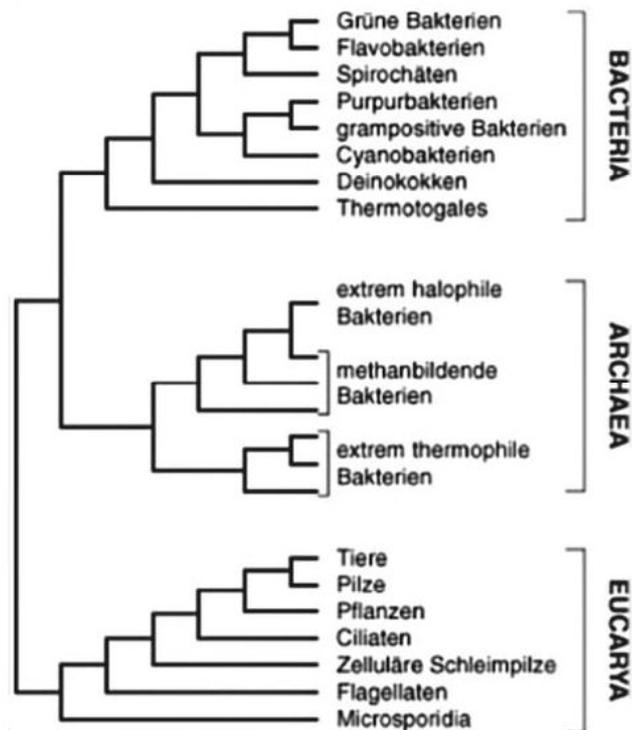
Cholera-Bakterien (Elektronenmikroskopie).
Typische Maße sind 2–3 Mikrometer Länge, 0,5 Mikrometer Dicke



Helicobacter pylori, verursacht Magengeschwüre.

Die so genannte **Gram-Färbung** ist eine Färbemethode mit Anilin-Farbstoffen, die zur Darstellung der Bakterien im Lichtmikroskop verwendet wird. Dabei blau gefärbte Bakterien heißen **grampositiv**, die rot gefärbten heißen **gramnegativ**. Sie unterscheiden sich in der Morphologie ihrer äußeren Zellwand.

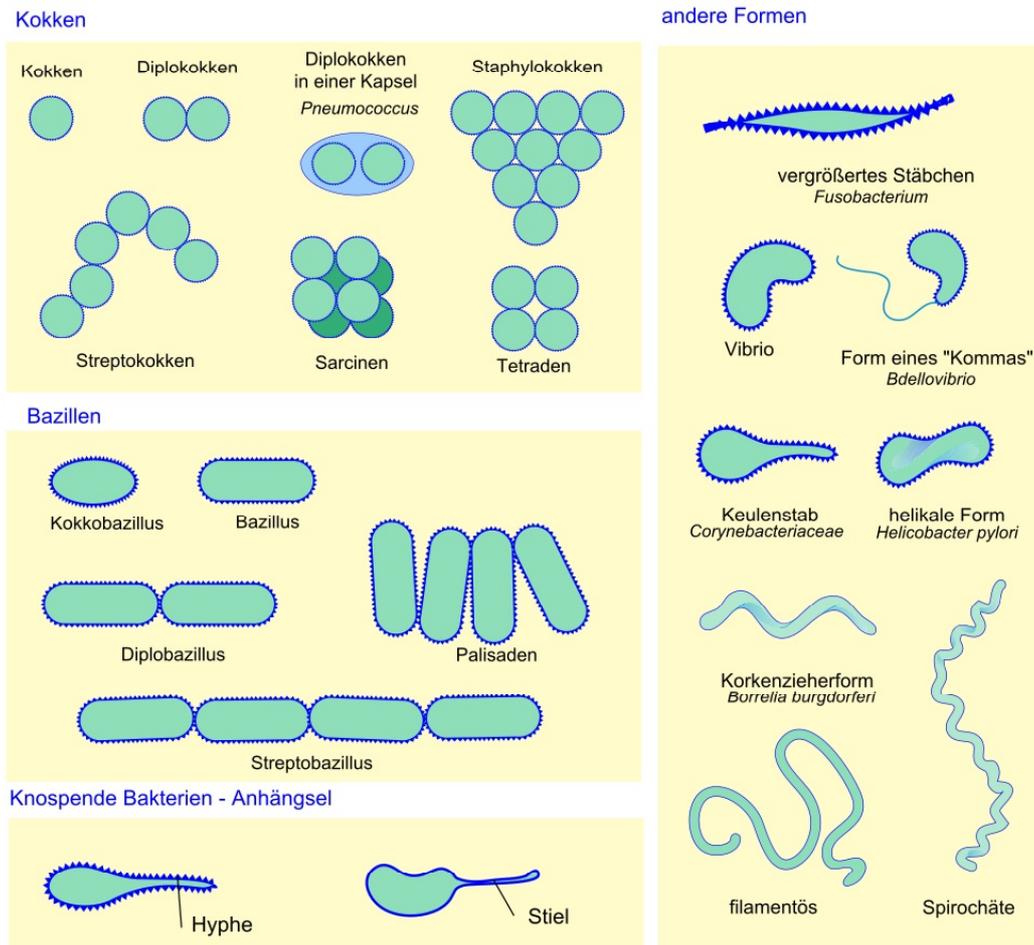
Übersicht über die drei stammesgeschichtlichen Entwicklungslinien (Domänen):



Bakterien wurden erstmals von Antoni van Leeuwenhoek mit Hilfe eines selbstgebauten Mikroskops in Gewässern und im menschlichen Speichel beobachtet und 1676 von ihm in Berichten an die Royal Society of London beschrieben.

Über dreihundert Jahre nach der ersten Beschreibung von Bakterien und trotz unzähliger schon beschriebener und katalogisierter Arten ist nach heutigem Kenntnisstand anzunehmen, dass die große Mehrheit (ca. 95%) aller auf unserem Planeten existierenden Bakterienarten bisher weder näher bekannt ist, noch beschrieben wurde (Stand: 2006). Daher kommt es immer wieder zu neuen Entdeckungen. So wurde im Jahr 1999 das größte bislang bekannte Bakterium entdeckt: Die so genannte Schwefelperle von Namibia, *Thiomargarita namibiensis*, ist mit einem Durchmesser von maximal 0,7 mm ein mit bloßem Auge sichtbares Schwefelbakterium. Das Bakterium mit den wenigsten Genen ist *Carsonella ruddii*. Es besitzt nur 159.662 Basenpaare und 182 Gene. Diesem Bakterium fehlen wesentliche Gene, die eine Bakterie zum selbständigen Leben benötigt. Es lebt endosymbiontisch in spezialisierten Zellen von Blattflöhen. Das Bakterium mit dem kleinsten Genom, welches parasitär lebt, ist *Mycoplasma genitalium* mit 582.970 Basenpaaren. Das Bakterium mit dem kleinsten Genom, das selbstständig, also weder symbiontisch noch parasitär, lebt, ist *Pelagibacter ubique* und hat ca. 1,3 Millionen Basenpaare.

[1.2] Gestalt und Größe

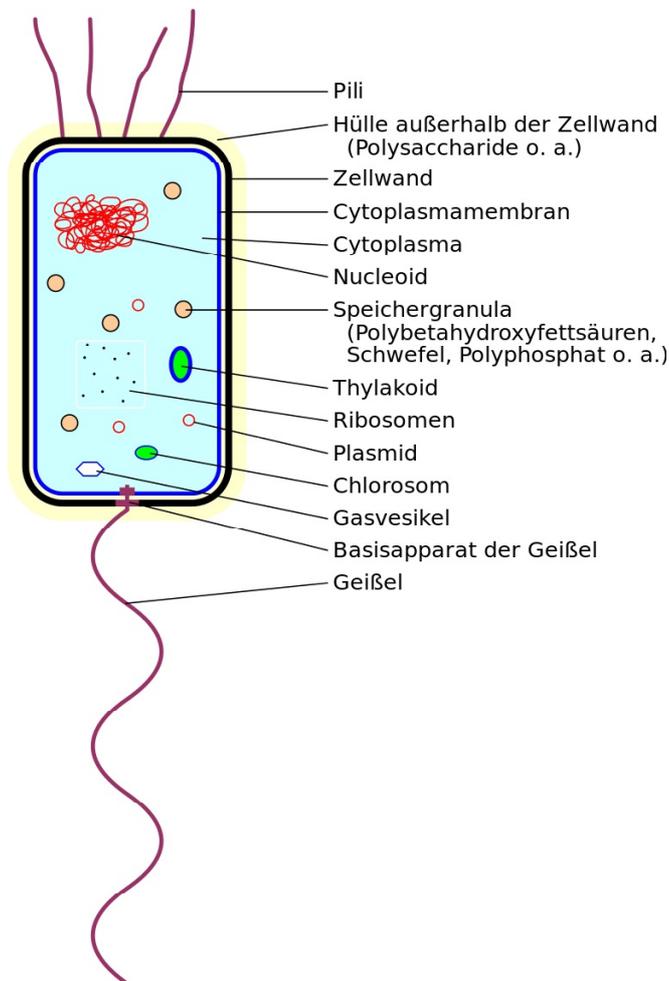


Formen und Aggregate von Bakterien

Bakterien kommen in verschiedenen äußeren Formen vor (Beispiele in Klammern): kugelförmig, sogenannte Kokken (*Micrococcus*), zylinderförmig, sogenannte Stäbchen (*Bacillus*, *Escherichia*) mit mehr oder weniger abgerundeten Enden, wendelförmig (Spirillen, Spirochäten), mit Stielen (*Caulobacter*), mit Anhängen (*Hyphomicrobium*), mehrzellige Trichome bildend (*Caryophanon*, *Oscillatoria*), lange, verzweigte Fäden, sogenannte Hyphen, bildend, die sich verzweigen und eine Mycel genannte Fadenmasse bilden (Streptomyzeten), sowie Gebilde mit mehreren unregelmäßig angeordneten Zellen (*Pleurocapsa*).

Oft kommen Bakterien in Aggregaten vor: Kugelketten (*Streptococcus*), flächige Anordnung kugelförmiger Zellen (*Merismopedia*), regelmäßige dreidimensionale Anordnung von Kugeln (*Sarcina*), Stäbchenketten (*Streptobacillus*), in Röhren eingeschlossene Stäbchenketten (*Leptothrix*).

Die **Größe von Bakterien** ist sehr unterschiedlich: Ihr Durchmesser liegt zwischen etwa 0,1 und 700 μm , bei den meisten bekannten Arten beträgt er etwa 0,6 bis 1,0 μm . Ihre Länge liegt in einem größeren Bereich: bei Einzelzellen zwischen etwa 0,6 μm (bei Kokken) und 700 μm , Hyphen können noch länger sein, die meisten Bakterien sind 1 bis 5 μm lang. Das Volumen der meisten Bakterien liegt in der Größenordnung von 1 μm^3 . Abgesehen von wenigen Ausnahmen können einzelne Bakterienzellen mit bloßem Auge nicht gesehen werden, da das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges um etwa 50 μm liegt. Besonders klein sind Mycoplasmen, der Durchmesser der kleinsten beträgt etwa 0,3 μm . Besonders groß sind viele Cyanobakterien, ihr Durchmesser liegt meistens zwischen 2 und 8 μm . Das größte bisher bekannte Bakterium ist *Thiomargarita namibiensis*: etwa kugelförmig mit einem Durchmesser von 300 μm bis 700 μm , also mit bloßem Auge zu sehen. Das Volumen des größten Bakteriums (Durchmesser etwa 700 μm) ist etwa zehn Milliarden Mal größer als das Volumen des kleinsten (Durchmesser etwa 0,3 μm).



Schema einer Bakterienzelle

Nicht vorhanden in den Bakterien sind u.a. die Mitochondrien und das endoplasmatische Retikulum.

Die meisten Bakterien besitzen eine **Zellwand**, alle besitzen eine **Zellmembran**, die das Cytoplasma und die Ribosomen umschließt. Die **DNA** liegt als strangförmiges, in sich geschlossenes Molekül – ein so genanntes Bakterienchromosom – frei im Cytoplasma vor. Einige Bakterien weisen auch zwei Bakterienchromosomen auf, beispielsweise *Ralstonia eutropha* Stamm H16. Häufig befindet sich im Cytoplasma weitere DNA in Form von kleineren, ebenfalls strangförmigen, in sich geschlossenen Molekülen, den Plasmiden, die unabhängig vom Bakterienchromosom vervielfältigt und bei der Fortpflanzung weitergegeben werden oder von einem Individuum auf ein anderes übertragen werden können. Das Genom des Darmbakteriums *Escherichia coli* besteht aus knapp 4,7 Millionen Basenpaaren, deren Sequenz vollständig bekannt ist. Das DNA-Molekül ist etwa 1,4 Millimeter lang mit einem Durchmesser von nur 2 Nanometern und enthält rund 4400 Gene. Trotz seiner Länge von mehr als dem Tausendfachen des Zelldurchmessers ist es auf einen Bereich von etwa der Hälfte des Zelldurchmessers (vermutlich hochgeordnet) zusammengelegt (Nucleoid). Inzwischen sind viele weitere Bakteriengenome vollständig bekannt. Eine Besonderheit der Bakterien ist auch die RNA-Polymerase. Sie besitzen nur eine, und die besteht aus nur 5 Untereinheiten. Die RNA-Polymerase der Archaeen besteht dagegen aus 11–12 Untereinheiten, und Eukaryoten besitzen mehrere RNA-Polymerasen, die aus bis zu 12 Untereinheiten bestehen.

Erläuterungen zum Bakterien-Schema:

Es wird ein Längsschnitt eines Bakteriums schematisch dargestellt. Nicht alle dargestellten Strukturelemente sind immer und bei allen Bakterien vorhanden.

Bei allen Bakterienarten sind immer vorhanden: *Cytoplasmamembran*, *Cytoplasma*, *Nucleoid* und *Ribosomen*.

Thylakoide (dienen der Phototrophie) sind in sehr verschiedener Form bei allen phototrophen Bakterien vorhanden, mit Ausnahme der Chlorobien.

Chlorosomen (dienen der Phototrophie) sind bei Chlorobien vorhanden.

Soweit eine *Zellwand* vorhanden ist (bei weitaus den meisten Bakterien), ist sie bei gramnegativen Bakterien dünn, bei grampositiven Bakterien dick.

Gramnegative Bakterien besitzen außerhalb der Zellwand eine weitere Biomembran, die sog. *Äußere Membran*, die im Schema in der Abbildung nicht dargestellt ist.

Soweit *Flagellen* (Geißeln) vorhanden sind, ist ihre Anzahl (1 bis viele) und ihre Anordnung je nach Bakterienart verschieden. Auch ihre Länge variiert. Sie sind immer wendelförmig. Sie dienen der Fortbewegung.

Soweit *Pili* (Haarfäden) vorhanden sind, ist ihre Anzahl (1 bis viele), Länge und Anordnung verschieden. Sie dienen der Anheftung.

Soweit eine *Schleimhülle*, *Glykokalix* außerhalb der Zellwand vorhanden ist, kann sie je nach Bakterienart und äußeren Bedingungen verschieden dick sein und aus verschiedenen Schleimstoffen bestehen.

Soweit *Plasmide* vorhanden sind, ist ihre Anzahl unterschiedlich.

Soweit *Gasvesikel* vorhanden sind, ist ihre Größe und Anzahl je nach Bakterienart und äußeren Umständen verschieden.

[1.3] Lebensweise

Lebensweise und Stoffwechsel der Bakterien sind sehr unterschiedlich ausgeprägt. So gibt es Bakterien, die Sauerstoff benötigen (aerobe Bakterien), Bakterien, für die Sauerstoff Gift ist (obligat anaerobe Bakterien oder obligate Anaerobier), und Bakterien, die tolerant gegenüber Sauerstoff sind (fakultative Anaerobier). Einige Bakterien sind zur Photosynthese fähig, also phototroph, zum Beispiel die (auch Blaualgen genannten) Cyanobakterien, die meisten sind dagegen chemotroph.

Manche Bakterien bilden Dauerstadien (Sporen) aus, in denen der komplette Stoffwechsel zum Erliegen kommt. In diesem Zustand können die Bakterien für sie ungünstige – auch extreme – Umweltbedingungen überstehen und mehrere tausend Jahre überdauern. Andere Bakteriengattungen haben eine andere Strategie entwickelt und ihren Stoffwechsel direkt an extreme Umweltbedingungen angepasst. Sie werden als Extremophile bezeichnet.

Die meisten Bakterien leben in der Natur in Form von Biofilmen zusammen.

[1.4] Vermehrung

Bakterien vermehren sich asexuell durch Zellteilung. Das kann durch äquale oder inäquale Querteilung (besonders bei zylinderförmigen Bakterien, beispielsweise bei *Pseudomonas*, *Bacillus*), durch Knospung (beispielsweise bei *Planctomyces*), durch multiple Sporenbildung (beispielsweise bei *Crenothrix*) oder auf andere Weise geschehen. Bei der Endosporenbildung kommt es meistens nicht zu einer Vermehrung, weil weit überwiegend nur eine Endospore je Zelle gebildet wird, nur bei wenigen Bakterien, beispielsweise bei *Anaerobacter polyendosporus* und *Metabacterium*, werden mehrere Endosporen je Zelle gebildet. Alle Nachkommen der asexuellen Vermehrung weisen identische Genome auf und bilden daher einen Klon.

[1.5] Gentransfer

Bei einer Konjugation können Bakterien mit Hilfe sogenannter Sexpili (Proteinröhren) DNA untereinander austauschen (horizontaler und vertikaler Gentransfer). Mittels der Sexpili können sich die Zellen annähern und dann über eine Plasmabrücke DNA (das Bakterien-„Chromosom“ ganz oder teilweise sowie auch Plasmide) von einer Zelle zur anderen übertragen. Da die Pili nicht direkt an der DNA-Übertragung beteiligt sind, kann diese auch ohne Pili erfolgen, wenn sich zwei Bakterienzellen eng aneinander legen. Dieser Gentransfer wird vor allem von Gram-negativen Bakterien praktiziert. Bei Gram-positiven Bakterien herrscht vor allem der Mechanismus der Transduktion vor. Hierbei werden Bakteriophagen benutzt. Transformation, die Aufnahme von nackter DNA, ist dagegen kaum verbreitet.

[1.6] Bewegung

Bakterien bewegen sich meist frei im Flüssigmedium schwimmend durch Flagellen, auch als Geißeln bezeichnet, die anders als die Geißeln der Eukaryoten aus einem langen, wendelförmigen, etwa 15 bis 20 µm dicken Proteinfaden bestehen. Zudem wirken die Flagellen der Bakterien nicht antreibend durch Formveränderung wie die Geißeln der Eukaryoten, sondern sie werden wie ein Propeller gedreht. Die Drehbewegung wird an einer komplizierten Basalstruktur durch einen Protonenstrom erzeugt, ähnlich wie bei einer Turbine, die durch einen Flüssigkeits- oder Gasstrom angetrieben wird. Dazu ist ein Protonenkonzentrationsgefälle erforderlich. Spirochaeten bewegen sich dadurch, dass sie sich um sich selbst drehen und dank ihrer wendelförmigen Körper sich gewissermaßen durch das umgebende Medium schrauben. Einige Bakterien bewegen sich nicht freischwimmend, sondern durch Kriechen, zum Beispiel Myxobakterien und einige Cyanobakterien.

Verschiedene Umweltfaktoren können die Bewegungsrichtung der Bakterien beeinflussen. Diese Reaktionen werden als Phototaxis, Chemotaxis (Chemotaxis gegenüber Sauerstoff: Aerotaxis), Mechanotaxis und Magnetotaxis bezeichnet.

[1.7] Endosymbiontenhypothese

Aufgrund biochemischer Untersuchungen nimmt man heute an, dass einige Organellen, die in den Zellen vieler Eukaryoten vorkommen, ursprünglich eigenständige Bakterien waren (Endosymbiontentheorie); dies betrifft die Chloroplasten und die Mitochondrien. Diese Organellen zeichnen sich durch eine Doppelmembran aus und enthalten eine eigene zirkuläre DNA, auf der je nach Art 5 bis 62 Gene enthalten sein können. Belege dafür sind die Ergebnisse der Sequenzierung der ribosomalen RNA (**rRNA**) und auch die Organellproteine, die eine stärkere Homologie zu den Bakterienproteinen ausweisen als zu den Eukaryoten.

[1.8] Bakterien auf und im Menschen

Ein Mensch besteht aus etwa 10 Billionen (10^{13}) Zellen, die aus der befruchteten Eizelle hervorgegangen sind. Zusätzlich befinden sich auf und in ihm etwa zehnmal so viele Bakterien.

Im Mund eines Menschen leben insgesamt etwa 10^{10} Bakterien.

Auf der menschlichen Haut befinden sich bei durchschnittlicher Hygiene etwa hundert Mal so viele Bakterien, nämlich insgesamt etwa eine Billion, allerdings sehr unterschiedlich verteilt: An den Armen sind es nur wenige tausend, in fettigeren Regionen wie der Stirn schon einige Millionen und in feuchten Regionen wie den Achseln mehrere Milliarden pro Quadratzentimeter. Dort ernähren sie sich von rund zehn Milliarden Hautschuppen, die täglich abgegeben werden und von Mineralstoffen und Lipiden, die aus den Hautporen abgeschieden werden.

99 % aller im und am menschlichen Körper lebenden Mikroorganismen, nämlich mehr als 10^{14} mit mindestens 400 verschiedenen Arten, darunter vorwiegend Bakterien, leben im Verdauungstrakt, vor allem im Dickdarm. Dort bilden sie die Darmflora.

Sogar in der Lunge gesunder Menschen wurden in jüngster Zeit aufgrund einer neuen Untersuchungsmethode im Rahmen des Mikrobiom-Projekts (um 2007) 128 Arten von Bakterien entdeckt. Bis dahin waren Mikrobiologen nie in der Lage gewesen, im Labor Bakterien aus der Lunge zu vermehren. Daher dachte man, die Lunge sei steril.

[1.9] Biotechnik

Die Fähigkeit einer großen Anzahl von Bakterien, für den Menschen wichtige Stoffe wie **Antibiotika** und **Enzyme** zu produzieren, wird in der Biotechnik vielfältig genutzt. Neben klassischen Verfahren in der Nahrungsmittel- und Chemikalienproduktion (Weiße Biotechnologie; vor allem Bioethanol, Essigsäure, Milchsäure, Aceton) werden auch ihre Fähigkeiten, problematische Abfälle zu beseitigen sowie Medikamente zu produzieren (vor allem Antibiotika und Insulin) genutzt. Dabei spielen vor allem *Escherichia coli* sowie diverse Arten von Clostridien, *Corynebacterium*, *Lactobacillus*, *Acetobacter* und eine Vielzahl weiterer Bakterien eine Rolle, indem man sich ihren Stoffwechsel gezielt nutzbar macht.

Häufig werden zu diesem Zweck nützliche Teile des Genoms bestimmter Bakterien in das Genom einfach zu haltender, einfach zu kultivierender und weitgehend ungefährlicher Bakterien wie *Escherichia coli* eingepflanzt (Genmanipulation).

[1.10] Evolution

Bakterien können untereinander, auch über Artgrenzen hinweg, Gene austauschen und sogar in ihrer Umgebung vorkommende, auch fossile DNS-Fragmente in ihre eigene DNS einbauen. In diesem Zusammenhang wurde ein neuer Begriff geprägt: Anachronistische Evolution, Evolution auch über Zeitgrenzen hinweg.

[1.11] Medizin

Bakterien spielen im menschlichen Körper eine große Rolle. So lebt im menschlichen Darm eine Vielzahl von Bakterien, die zusammen die verdauungsfördernde Darmflora bilden. Die Haut des gesunden Menschen ist von harmlosen Bakterien besiedelt, die die Hautflora bilden. Eine besonders hohe Anzahl von Bakterien befindet sich auf den Zähnen. Bakterien können aber auch als Krankheitserreger wirken. Einige Bakterien verursachen eitrige Wundentzündungen (Infektionen), Sepsis (Blutvergiftung) oder die Entzündung von Organen (z. B. Blasen- oder Lungenentzündung). Um diesen Erkrankungen vorzubeugen, wurden von der Hygiene, einem Fachgebiet der Medizin, zwei Methoden zum Kampf gegen Bakterien entwickelt:

(1) Die **Sterilisation** ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe medizinische Geräte und Materialien keimfrei gemacht werden.

(2) Die **Desinfektion** ist ein Verfahren, um die Zahl von Bakterien auf der Haut oder Gegenständen stark zu vermindern (z. B. mit Händedesinfektionsmitteln).

Antibiotika

Sind die Bakterien einmal in den Körper eingedrungen und haben eine Infektion ausgelöst, stellen heute die Antibiotika ein wirksames Mittel gegen Bakterien dar, zum Beispiel Penicilline, die durch Pilze der Gattung *Penicillium* gebildet werden. Penicillin stört die Synthese der Bakterien-Zellwand, daher wirkt es nur gegen wachsende Bakterien. Allerdings haben bestimmte Bakterien gegen viele Antibiotika im Laufe der Zeit einen wirksamen Schutz entwickelt. Deshalb werden Bakterien in mikrobiologischen Laboratorien untersucht und ein Resistenztest durchgeführt. Bei der Behandlung mit Antibiotika muss beachtet werden, dass nicht nur pathogene (krankmachende) Bakterien, sondern auch mutualistische (nützliche) Bakterien durch das Medikament gestört bzw. getötet werden können. Dies kann soweit führen, dass zunächst in geringer Zahl im Darm lebende Bakterien der Art *Clostridium difficile*, die von Natur aus gegen viele Antibiotika resistent sind, die Oberhand im Darm gewinnen und schwere Durchfälle auslösen.

Eine Resistenz gegen Antibiotika kann naturgegeben oder die Folge einer Mutation sein. Um das zu beweisen, entwickelten die Biologen Max Delbrück und Salvador Edward Luria den Fluktuationstest.

Eine ältere Methode der Ärzte beim Kampf gegen bakterielle Infektionen stellt die Operation mit Eröffnung und Säuberung des Eiterherdes dar, gemäß dem uralten lateinischen Chirurgen-Spruch „Ubi pus, ibi evacua“ – zu deutsch: „Wo Eiter ist, dort entleere ihn.“ Bei größeren Eiterherden ist diese Methode in Verbindung mit der Gabe von Antibiotika viel wirksamer als nur der Einsatz von Antibiotika allein.

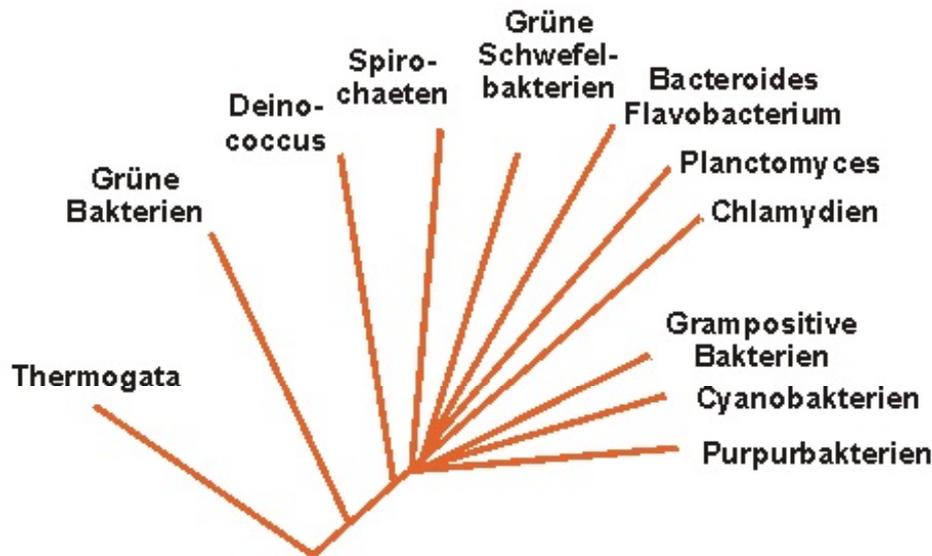
[1.12] Ökologie

Unverzichtbar für bedeutende geochemische Stoffkreisläufe sind viele Bodenbakterien, welche als Destruenten wirken beziehungsweise Nährsalze für die Pflanzen verfügbar machen.

Eine große Gruppe von Bakterien bilden die so genannten Cyanobakterien. Da sie Prokaryoten sind, gehören sie nicht zu den Algen. Sie betreiben Photosynthese und sind entsprechend unabhängig von organischer Nahrung, brauchen jedoch Licht zur Energieversorgung. Gemeinsam mit den Grünalgen (Chlorophyta) und anderen Algen-Gruppen bilden sie das Phytoplankton der Meere und Süßgewässer und so die Nahrungsgrundlage vieler Ökosysteme.

Spezielle Bakterien kommen als Symbionten im Darm oder in anderen Organen vieler Lebewesen vor und wirken bei der Verdauung und weiteren physiologischen Vorgängen mit. *Escherichia coli* und Enterokokken sind die bekanntesten Vertreter dieser Gruppe. Aber auch anaerobe Bifidobakterien gehören dazu. Während diese Bakterien als Symbionten fungieren, verursachen andere Bakterien Infektionskrankheiten bei Menschen, Tieren und Pflanzen (Bakteriosen).

[1.13] Phylogenetisches System (Stammesgeschichte)



Phylogenetischer Stammbaum der Bakterien, welcher sich aus dem Vergleich der Basensequenz der 16S-rRNA ergibt.

Eine phylogenetische Klassifikation anhand morphologischer und stoffwechselphysiologischer Merkmale ist bei den Bakterien in der Regel nicht möglich, sie muss auf der Basis der molekularen Struktur dieser Organismen aufgebaut werden. Die Klassifizierung erfolgt hauptsächlich mit Hilfe phylogenetischer Marker. Solche Marker sind zelluläre Makromoleküle, deren Zusammensetzung sich mit abnehmendem Verwandtschaftsgrad verschiedener Organismen immer mehr unterscheidet. Zu den wichtigsten Molekülen dieser Art zählt derzeit die 16S-Untereinheit der ribosomalen RNA. Die Basensequenz dieser RNA soll die tatsächlichen evolutionären Beziehungen unter den Organismen widerspiegeln.

Das derzeit von den meisten Bakteriologen akzeptierte phylogenetische System der Bakterien ist beschrieben in *Taxonomic Outline of the Bacteria and Archaea*, das gleichzeitig eine Klassifikation der Archaeen vornimmt. Nachstehend wird dieses System, beschränkt auf die Bakterien im eigentlichen Sinne (Domäne Bacteria) bis auf Ordnungsebene wiedergegeben.

Die Vielfalt bakterieller Lebensformen ist aber deutlich größer als dieses System repräsentiert. Basierend auf den bis heute bekannten 16S-rRNA-Sequenzen vermutet man mehr als 50 verschiedene Bakterien-Bereiche. Die Existenz dieser Bereiche wird anhand großer, in Umweltproben immer wieder auftauchender Gruppen bestimmter rRNA-Sequenzen vorhergesagt, jedoch konnte bisher kein Bakterium aus diesen Bereichen kultiviert werden.

[1.14] „Klassische“ Systeme

Bevor man phylogenetisch begründete Systeme aufstellen konnte, war man auf Merkmale angewiesen, die kaum die Feststellung von natürlichen, phylogenetischen Verwandtschaften ermöglichten. Heute gebräuchliche molekularbiologische Merkmale, die zur Ermittlung phylogenetischer Verwandtschaften erforderlich sind, konnten mit den damals zur Verfügung stehenden Methoden nicht ermittelt werden. Das folgende System ist ein Beispiel für „klassische“ Systeme. Die Prokaryoten („Schizophyta“) bildeten darin eine Abteilung der Pflanzen. Noch heute wird gelegentlich die Gemeinschaft der in einem Biotop vorkommenden Bakterien als „Bakterienflora“ bezeichnet.

Abteilung Schizophyta („Spaltpflanzen“)

Klasse Bacteria (Bakterien = „Spaltpilze“)

Ordnung Eubacteriales (einzellige unverzweigte Bakterien)

Familie Coccaceae (Kugelbakterien)

Familie Bacteriaceae (stäbchenförmige Bakterien ohne Sporen)

Familie Bacillaceae (stäbchenförmige Bakterien mit Sporen)

Familie Spirillaceae („Schraubenbakterien“, wendelförmig)

Ordnung Chlamydobacteriales (Fadenbakterien in Röhren „Scheiden“)

Ordnung Mycobacteriales (stäbchenförmige Bakterien mit Verzweigungen,
mycelbildende Bakterien „Strahlenpilze“)

Ordnung Myxobacteriales („Schleimbakterien“, schwarmbildende Bakterien)

Ordnung Spirochaetales (spiralige Bakterien mit aktiver Formveränderung)

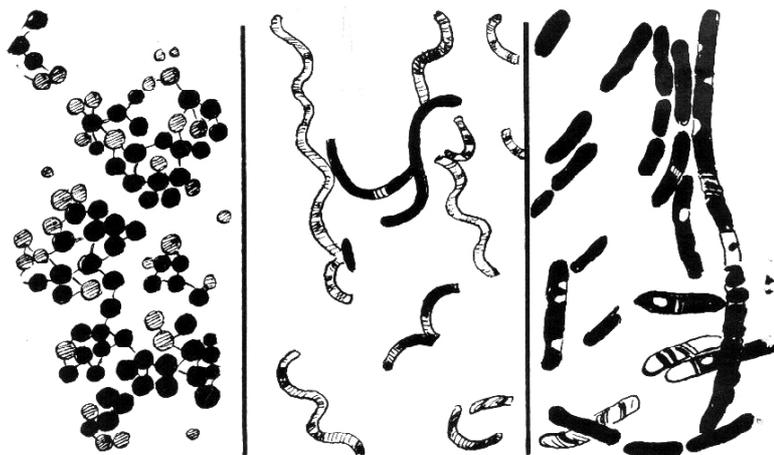
Klasse Cyanophyceae („Blaugrüne Algen“, „Spaltalgen“)

Ordnung Chroococcales (einzellig, ohne Sporen)

Ordnung Chamaesiphonales (einzellig oder fadenförmig, mit Sporen)

Ordnung Hormogonales (fadenförmig, mit Hormogonien, häufig Heterocysten)

Praktische Unterteilung



Kokken – Spirillen – Bazillen

Aus praktischen Gründen werden Bakterien bisweilen in Anlehnung an die früheren „klassischen“ Systeme nach ihrer Form und ihrer Organisation unterteilt. Dabei werden kugelige Bakterien als **Kokken**, längliche, zylindrische Bakterien als **Bazillen** und spiralförmige, wendelförmige Bakterien als **Spirillen** oder Spirochäten bezeichnet. Diese Grundformen können einzeln auftreten oder sich zu typischen Formen zusammenfinden (Haufenkokken = Staphylokokken, Kettenkokken = Streptokokken, Doppelkokken = Diplokokken). Des Weiteren bilden vor allem Stäbchenbakterien häufig, Spirillen immer eine oder mehrere Geißeln, so genannte Flagellen, aus, mit deren Hilfe sie sich fortbewegen können. Anzahl und Anordnung der Geißeln sind Unterscheidungsmerkmale. Einige Bakterien bilden Schleimhüllen, „Kapseln“, aus, einige verschiedenartige Sporen. Weiterhin wichtig für die Unterteilung ist die Lebensweise, besonders der Stoffwechsellyp, sowie die Möglichkeit, die Bakterien auf bestimmte Weise zu färben. Die so genannte Gramfärbung (eingeführt vom dänischen Bakteriologen Gram) lässt Rückschlüsse auf die Zusammensetzung und Struktur der Zellwand zu; die so genannten grampositiven Bakterien bilden wahrscheinlich sogar eine natürliche Verwandtschaftsgruppe, ein monophyletisches Taxon. Serologisch unterscheidbare Variationen von Bakterien nennt man Serotypen.

[1.15] Das älteste Bakterium

Seit dem Jahr 2000 gilt ein geschätzt 250 Millionen Jahre altes Bakterium als ältestes Lebewesen auf der Erde. Der Mikroorganismus mit dem heutigen Namen „Bacillus permians“ wurde in einem Labor der West Chester University in Pennsylvania von den Forschern um Russell H. Vreeland entdeckt. In einer Nährlösung entwickelte das Bakterium Aktivitäten. Geborgen wurde es bei Bohrungen in einer Höhle bei Carlsbad (New Mexico), die der Erkundung einer möglichen Endlagerstätte für Atommüll dienten. Es überlebte die Zeiten in einem größeren Salzkristall, worin sich etwas Salzlake befand, in 2.000 Fuß (609 Meter) Tiefe.

Das Forscherteam berichtete über seinen Fund im britischen Wissenschaftsjournal *Nature* am 19. Oktober 2000. Die Entdeckung entzündete neue Überlegungen über das Entstehen von Leben im Universum. Eine so lange Lebensdauer dieses Organismus ließe ihn riesige Entfernungen im Weltall zurücklegen. Es hat den Anschein, als ob Sporen ein Schlüssel hierfür sein könnten. Bakterien und Hefen können ihre Funktionen in schlechten Zeiten so reduzieren, dass sie zu einer stabilen elastischen Struktur werden. Wiederbelebungen solcher Sporen sind bereits aus 118 Jahre alten Fleischdosen und 166 Jahre alten Bierflaschen geglückt.

Andere Forscher nahmen zur Entdeckung ihrer Kollegen eine distanzierte Haltung ein und verwiesen darauf, dass Berichte über Funde alter Bakterien in Felsgestein, Kohle oder altägyptischen Tempeln einer wissenschaftlichen Nachprüfung bislang nicht standhielten. Dass eine so lange Lebensdauer nur durch eine Verunreinigung mit rezenten Bakterien vorgetäuscht wurde, hält Russell H. Vreeland jedoch für nahezu ausgeschlossen.

[1.16] Bakterielle Infektionskrankheiten

[1.16.1] Übertragung und Ansteckung

Menschen können sich auf verschiedenen Wegen mit krankmachenden (pathogenen) Bakterien anstecken. Die Übertragung mancher Bakterien kann über infektiöse Tröpfchen erfolgen, die von Infizierten etwa beim Husten oder Niesen ausgestoßen werden (**Tröpfcheninfektion**). Das ist zum Beispiel bei Scharlach und bei einer durch Meningokokken verursachten Hirnhautentzündung (Meningitis) möglich.

Über **Schmierinfektion** kann man sich beispielsweise mit Salmonellen anstecken: Wenn sich Menschen mit salmonellenbedingter Durchfallerkrankung nach dem Toilettengang nicht gründlich die Hände waschen, können sie die Keime auf Gegenstände (wie Türklinken, Besteck) übertragen. Berührt ein Gesunder diese Gegenstände und greift sich anschließend an Mund, Nase oder Augen, kann er sich infizieren. Auch eine direkte Mensch-zu-Mensch-Ansteckung durch Schmierinfektion ist möglich, wenn Infizierte mit kontaminierten Händen einem Gesunden die Hand schüttelt.

Hauptsächlich werden Salmonellen aber **über kontaminierte Lebensmittel** übertragen. Dieser Ansteckungsweg besteht auch bei einigen anderen Bakterien wie Listerien (Erreger der Listeriose) und Vertreter der Gattung *Campylobacter* (Erreger ansteckender Durchfallerkrankungen). Letztere können ebenso wie Salmonellen und einige andere Bakterien auch **über kontaminiertes Wasser** übertragen werden.

In manchen Fällen ist eine Ansteckung **über Geschlechtsverkehr** möglich, so etwa bei Chlamydien und dem Erreger von Tripper (Gonokokken).

[1.16.2] Häufige Erkrankungen

Es gibt eine Vielzahl von Krankheiten, die durch Bakterien verursacht werden. Hier eine kleine Auswahl:

Scharlach: Auslöser dieser sehr ansteckenden bakteriellen Infektionskrankheit sind die grampositiven, kugelförmigen A-Streptokokken (*Streptococcus pyogenes*).

Andere Streptokokken-Infektionen: A-Streptokokken können u.a. auch Mittelohr- und Mandelentzündung, Wundrose (Erysipel), Lungenentzündung und Rheumatisches Fieber verursachen. B-Streptokokken (*S. agalactiae*) sind mögliche Auslöser etwa einer Hirnhautentzündung und von Wundinfektionen. Weitere Streptokokken können etwa als Kariesbakterien auftreten.

Pneumokokken-Infektionen: Pneumokokken sind ebenfalls Streptokokken, die meist als Pärchen vorkommen (Diplokokken). Genauer gesagt handelt es sich um *Streptococcus pneumoniae*. Dieses Bakterium ist ein typischer Erreger der Lungenentzündung, kann aber unter anderem auch eine Hirnhautentzündung, Mittelohr- oder Nasennebenhöhlenentzündung hervorrufen.

Staphylokokken-Infektionen: Sie äußern sich beispielsweise als Wundinfektion, Herzhinnenhaut-Entzündung (Endokarditis) oder Sepsis (bakterielle "Blutvergiftung"). Besonders gefürchtet ist eine Infektion mit *Staphylococcus aureus*-Stämmen, welche resistent gegen Methicillin und andere Antibiotika sind (MRSA). Diese Keime sind oft Ursache von Krankenhausinfektionen.

Meningokokken-Infektionen: Als Meningokokken bezeichnet man Bakterien der Art *Neisseria meningitidis*. Infektionen mit diesen Keimen zeigen sich meist in Form von Hirnhautentzündungen (Meningitis) oder bakteriellen "Blutvergiftungen" (Sepsis).

Gonorrhoe (Tripper): Diese Geschlechtskrankheit wird ebenfalls durch *Neisseria*-Bakterien verursacht, diesmal durch *Neisseria gonorrhoeae* (auch Gonokokken genannt). Rechtzeitig behandelt, heilt Tripper meist folgenlos aus. Ansonsten drohen bleibende Spätfolgen wie Unfruchtbarkeit.

Chlamydien-Infektionen: Es gibt verschiedene Arten von Chlamydien (teils mit Untergruppen), welche unterschiedliche Krankheitsbilder verursachen können, z.B. Bindehautentzündung, Infektionen der Harn- und Genitalorgane (wie Harnröhrentzündung, Gebärmutterhals- oder Prostataentzündung) sowie Lungenentzündungen.

Keuchhusten: Hinter dieser "Kinderkrankheit", die zunehmend auch bei Jugendlichen und Erwachsenen auftritt, steckt in der Regel das gramnegative Bakterium *Bordetella pertussis*.

Diphtherie: Die Symptome wie bellender Husten, Schluckbeschwerden oder auch ein süßlich-fauliger Mundgeruch werden vom Toxin des grampositiven Stäbchenbakteriums *Corynebacterium diphtheriae* hervorgerufen.

Tetanus (Wundstarrkrampf): Ursache dieser gefährlichen Krankheit sind Bakterien vom Typ *Clostridium tetani*. Die Sporen dieser Bakterien finden sich hauptsächlich im Erdreich (weltweit). Menschen können sich etwa über kleine Wunden an der Hand bei der Gartenarbeit anstecken. Im Körper verursacht das Gift der Bakterien starke Muskelkrämpfe, die zum Tod durch Erstickung führen können.

Tuberkulose: *Mycobacterium tuberculosis* ist der häufigste Auslöser dieser schweren, meldepflichtigen Infektionskrankheit.

E.coli-Infektionen: *Escherichia coli* ist ein gramnegatives Bakterium, von dem es verschiedene Stämme gibt. Einige davon leben natürlicherweise im Darm gesunder Menschen. Andere *E.coli*-Stämme können dagegen Infektionen auslösen, etwa im Verdauungs- oder Harntrakt (wie Durchfallerkrankungen und Blasenentzündung).

Salmonellose (Salmonellenvergiftung): Der Begriff bezeichnet Infektionskrankheiten und Lebensmittelvergiftungen, die durch eine bestimmte Untergruppe der *Salmonella*-Bakterien ausgelöst werden. Es zählen dazu unter anderem Typhus und Paratyphus.

Listerien-Infektion (Listeriose): Diese Lebensmittelvergiftung wird durch grampositive Bakterien der Art *Listeria monocytogenes* verursacht. Sie geht mit Übelkeit, Erbrechen und Durchfall einher. Anstecken kann man sich durch den Verzehr von verunreinigten Lebensmitteln wie Milchprodukten, rohem Gemüse oder nicht ausreichend erhitztem Fleisch.

Cholera: Das gramnegative Bakterium *Vibrio cholerae* ist für die schwere Durchfallerkrankung verantwortlich, die hauptsächlich in Gebieten mit schlechten hygienischen Verhältnissen auftritt.

Pest: Der Erreger *Yersinia pestis* zählt ebenfalls zu den gramnegativen Bakterien und wird von Rattenflöhen auf den Menschen übertragen. Nachdem in der Vergangenheit mehrere Pestepidemien Millionen Menschenleben forderten, kommt die Erkrankung heute nur noch selten vor.

Bakteriämie und Sepsis

Normalerweise finden sich keine Bakterien im Blut. Wenn aber doch, spricht man von **Bakteriämie**. Sie kann etwa entstehen, wenn jemand durch kräftiges Zähneputzen Zahnfleischbluten bekommt oder sich mit einem Taschenmesser schneidet. Auch bei bakteriellen Infektionen (wie bakterieller Lungenentzündung) oder im Rahmen eines zahnärztlichen oder medizinischen Eingriffs können Bakterien in den Blutkreislauf gelangen. Nicht immer verursacht eine Bakteriämie Symptome, wenn das Immunsystem die Bakterien schnell eliminiert.

Besonders bei Menschen mit geschwächtem Immunsystem können die Bakterien, wenn sie sich ausreichend lange und in größerer Zahl im Blut befinden, jedoch auch eine Infektion verursachen (z.B. eine Entzündung der Herzinnenhaut = Endokarditis). Die Folge kann eine sehr heftige Reaktion des ganzen Körpers sein, welche als **Sepsis** ("**Blutvergiftung**") bezeichnet wird. Sie kann im schlimmsten Fall zum Tod führen. Das Sterberisiko im Einzelfall schwankt aber erheblich. Es hängt unter anderem von der Art der beteiligten Bakterien ab und davon, wie schnell der Patient behandelt wird.

[1.16.3] Behandlung mit Antibiotika

Bakterielle Erkrankungen werden standardmäßig mit **Antibiotika** behandelt. Diese speziell gegen Bakterien entwickelten Medikamente greifen die Zellwand oder den Stoffwechsel der Bakterien an. In der Folge werden die Keime entweder abgetötet oder an der Vermehrung gehindert. Im zweiten Fall hat das Immunsystem dann die Chance, die bakterielle Infektion in den Griff zu bekommen und die Eindringlinge zu beseitigen. Manche Antibiotika sind gegen viele verschiedene Bakterienarten wirksam (**Breitband-Antibiotika**), andere richten sich ganz gezielt nur gegen bestimmte Bakteriengruppen (**Schmalband-Antibiotika**). Bekannte Gruppen von Antibiotika sind zum Beispiel Penicilline, Cephalosporine, Tetracykline und Makrolid-Antibiotika.

[1.16.4] Impfung gegen Bakterien

Gegen einige Infektionskrankheiten, die durch Bakterien verursacht werden, lässt sich mit einer Impfung vorbeugen. Der verabreichte Impfstoff regt das Immunsystem an, spezifische Antikörper gegen den betreffenden bakteriellen Erreger zu entwickeln (**aktive Immunisierung**). Damit ist das Immunsystem gewappnet, falls es später zu einer "echten" Infektion mit diesen Bakterien kommt. Die Infektion kann so frühzeitig im Keim erstickt oder zumindest abgeschwächt werden. Einige Beispiele für verfügbare Impfungen gegen Bakterien:

- Diphtherie-Impfung
- Keuchhusten-Impfung
- Tetanus-Impfung (auch erhältlich als **passive Immunisierung**)
- Haemophilus influenzae Typ B-Impfung
- Meningokokken-Impfung
- Pneumokokken-Impfung
- Cholera-Impfung
- Typhus-Impfung

Manche dieser Impfstoffe sind auch als Kombinationspräparate erhältlich.

[2] Viren

[2.1] Allgemeine Beschreibung

Viren sind infektiöse organische Strukturen, die sich außerhalb von Zellen (extrazellulär) durch Übertragung verbreiten, aber als Viren nur innerhalb einer geeigneten Wirtszelle (intrazellulär) vermehren können. Sie selbst bestehen nicht aus einer oder mehreren Zellen. Alle Viren enthalten das Programm zu ihrer Vermehrung und Ausbreitung (einige Viren auch weitere Hilfskomponenten), besitzen aber weder eine eigenständige Replikation noch einen eigenen Stoffwechsel und sind deshalb auf den Stoffwechsel einer Wirtszelle angewiesen. Daher sind sich Virologen weitgehend darüber einig, Viren nicht zu den Lebewesen zu rechnen. Man kann sie aber zumindest als „dem Leben nahestehend“ betrachten, denn sie besitzen allgemein die Möglichkeit zur Replikation und Evolution (mit fremder Hilfe).

Von den tatsächlichen Lebewesen sind bislang etwa 1,8 Millionen verschiedene rezente Arten bekannt, vermutlich existieren sehr viel mehr. Zu jeder Art könnte es mehrere Virenarten geben, die an diese Art angepasst sind. Bislang sind jedoch lediglich um die 3.000 Virenarten identifiziert worden. Viren befallen Zellen von Eukaryoten (Pflanzen, Pilze, alle Tiere einschließlich des Menschen) und Prokaryoten (Bakterien). Viren, die Prokaryoten als Wirte nutzen, werden **Bakteriophagen** genannt.

[2.2] Geschichte

Noch zur Mitte der 19. Jahrhunderts verwendete man den Begriff *Virus* lediglich synonym für „Gift“. Erst seit dem späten 19. Jahrhundert sind Viren als eigene biologische Einheit bekannt. Die Beschreibungen von Viruskrankheiten sind aber sehr viel älter, ebenso die ersten Behandlungsmethoden. Aus Mesopotamien ist ein Gesetzestext aus der Zeit um 1780 v. Chr. überliefert, der von der Bestrafung eines Mannes handelt, dessen wahrscheinlich von Tollwut befallener Hund einen Menschen beißt und dadurch tötet. Aus ägyptischen Hieroglyphen sind Darstellungen bekannt, die vermutlich die Folgen einer Polio-Infektion zeigen.

Die Bezeichnung „Virus“ wurde zum ersten Mal von Cornelius Aulus Celsus im ersten Jahrhundert v. Chr. verwendet. Er bezeichnete den Speichel, durch den Tollwut übertragen wurde, als „giftig“. Im Jahr 1882 führte Adolf Mayer bei Experimenten mit der Tabakmosaikkrankheit erstmals unwissentlich eine virale Erregerübertragung (Transmission) durch, indem er den Pflanzensaft infizierter Pflanzen auf gesunde Pflanzen übertrug und bei diesen so ebenfalls die Krankheit auslöste.

Diese Übertragung war bereits im 18. Jahrhundert mit dem Wort Virus assoziiert. So beschreibt die Londoner Times in einem Nachruf auf einen Arzt dessen Virusinfektion: Beim Zunähen einer seziierten Leiche hatte er sich in die Hand gestochen, “which introduced some of the virus matter, or, in other words, inoculated him with putridity” (wobei ein wenig Virussubstanz übertragen wurde, oder anders gesagt, ihm wurde Fäulnis eingepflegt).

Dimitri Iwanowski wies unabhängig von Mayer im Jahr 1892 in einem Experiment nach, dass die Mosaikkrankheit bei Tabakpflanzen durch einen Stoff ausgelöst werden kann, der durch Filtration mittels bakteriendichter Filter (Chamberland-Filter) nicht entfernt werden konnte und dessen Partikel deshalb deutlich kleiner als Bakterien sein mussten. Der erste Nachweis eines tierischen Virus gelang 1898 Friedrich Loeffler und Paul Frosch, die das Maul-und-Klauenseuche-Virus entdeckten. Die Größe vieler Viren wurde in den 1930er Jahren durch William Joseph Elford mit Methoden der Ultrafiltration bestimmt.

Der bislang älteste – indirekte – Beleg für eine durch Viren verursachte Erkrankung wurde aus den deformierten Knochen eines 150 Millionen Jahre alten, kleinen zweibeinigen Dinosauriers (*Dysalotosaurus lettowvorbecki*) abgeleitet, der im Berliner Museum für Naturkunde verwahrt wird und Symptome von Osteodystrophia deformans aufweist, die auf eine Infektion mit Paramyxoviren zurückgeführt werden.

[2.3] Eigenschaften

Viren haben keinen eigenen Stoffwechsel, denn sie besitzen kein Zytoplasma, das ein Medium für Stoffwechsellvorgänge darstellen könnte, und ihnen fehlen sowohl Ribosomen wie auch Mitochondrien. Daher können sie allein keine Proteine herstellen, keine Energie umwandeln und sich auch nicht selbst replizieren. Im Wesentlichen ist ein Virus also eine Nukleinsäure, auf der die Informationen zur Steuerung des Stoffwechsels einer Wirtszelle enthalten sind, insbesondere zur Replikation der Virus-Nukleinsäure und zur weiteren Ausstattung der Viruspartikel (Virionen). Die Replikation des Virus kann daher nur innerhalb der Wirtszelle erfolgen.

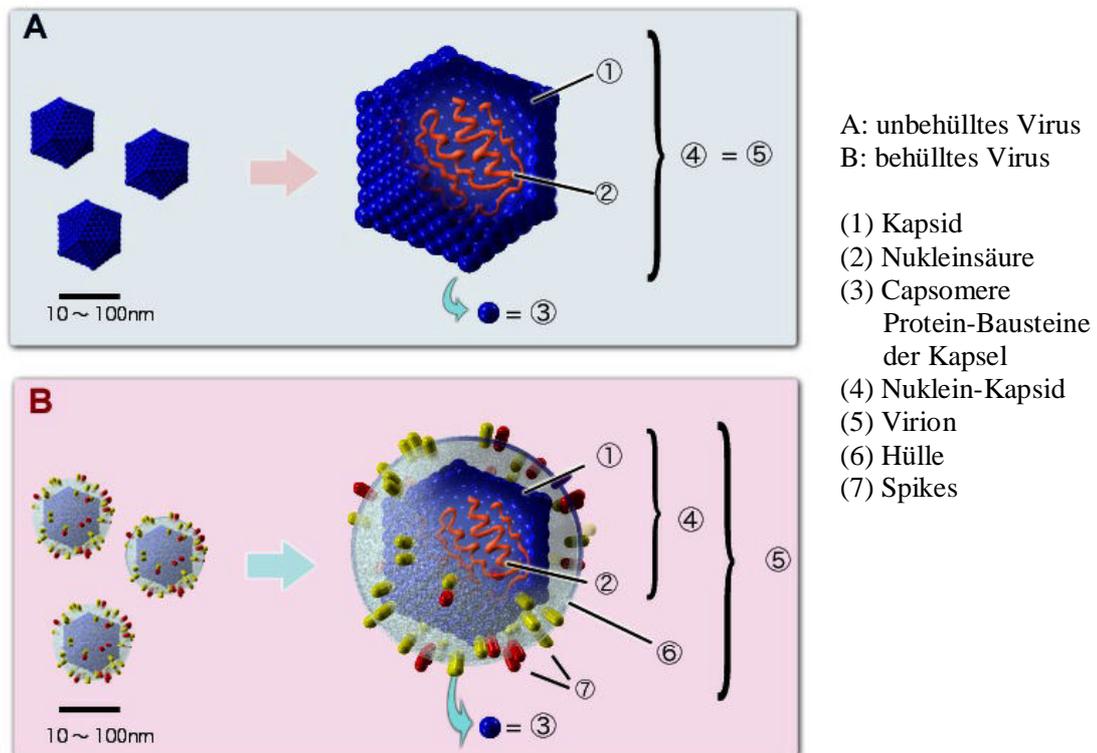
Viren kommen in zwei Erscheinungsformen vor:

Erstens als Nukleinsäure (DNA oder RNA) in den Zellen des Wirts. Die Nukleinsäure enthält die Informationen zu ihrer Replikation und zur Reproduktion der zweiten Virusform. Die Wirtszelle repliziert die Nukleinsäure.

Zweitens als Virion, das aus den Wirtszellen ausgeschleust wird und eine Verbreitung auf andere Wirte ermöglicht.

Hinsichtlich der Ausbreitung und Wirkung bei ihrer jeweiligen Wirtszelle unterscheiden sich die Virenarten in den Ausprägungen der Merkmale Kontagiosität, Infektiosität und Pathogenität beziehungsweise Virulenz oft sehr deutlich voneinander.

Bauteile von Virionen



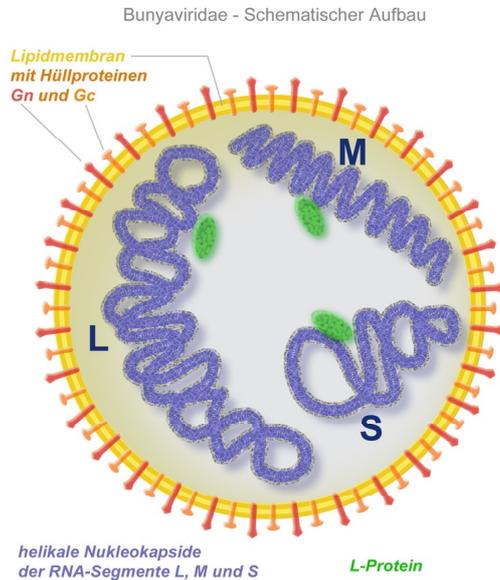
Ein **Viruspartikel** außerhalb von Zellen bezeichnet man als **Virion**. Virionen sind Partikel, die aus Nukleinsäuren, und zwar entweder Desoxyribonukleinsäuren (DNA) oder Ribonukleinsäuren (RNA), und meistens aus einer Protein-Hülle (Kapsid) bestehen. Letzteres fehlt jedoch z. B. beim Influenzavirus, welches stattdessen ein Ribonucleoprotein aufweist. Einige Virionen sind zusätzlich von einer mit viralen Membranproteinen durchsetzten Lipiddoppelschicht umgeben, die als Virushülle bezeichnet wird. Viren, die vorübergehend bis zum Beginn der Replikationsphase zusätzlich zum Kapsid eine Virushülle aufweisen, werden als **behüllt** bezeichnet, Viren ohne derartige Hülle als **unbehüllt**. Einige Virionen besitzen andere zusätzliche Bestandteile.

Der Durchmesser von Virionen beträgt etwa 15 nm (beispielsweise Circoviridae) bis 440 nm (Megavirus chilensis). Virionen sind deutlich kleiner als Bakterien.

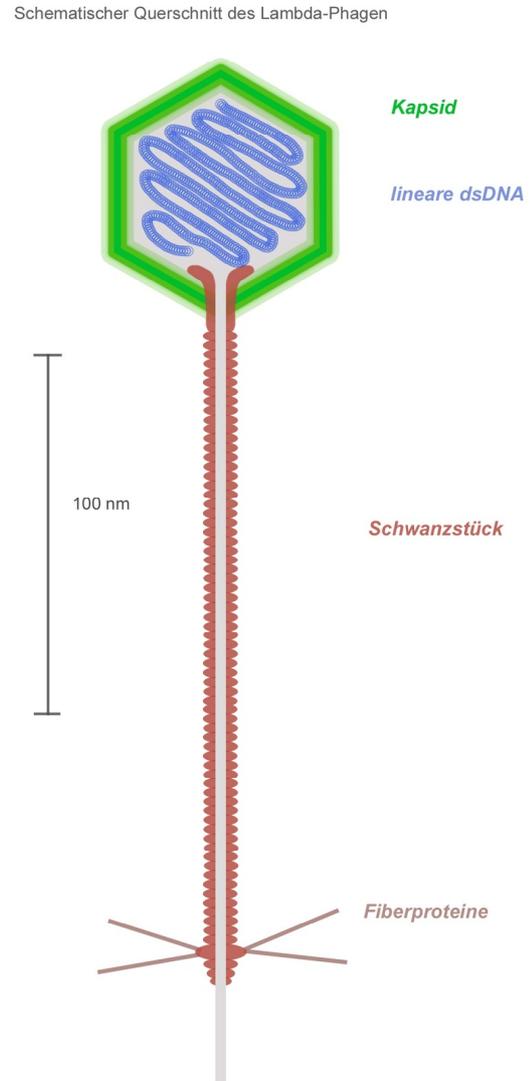
Das Proteinkapsid kann unterschiedliche Formen haben, zum Beispiel ikosaederförmig, isometrisch, helikal oder geschossförmig. Die serologisch unterscheidbaren Variationen eines Virus nennt man Serotypen.

Virionen dienen der Verbreitung der Viren. Sie dringen ganz oder teilweise (mindestens ihre Nukleinsäure) in die Wirtszellen ein (infizieren sie) und die Virus-Nukleinsäure programmiert danach deren Stoffwechsel zur Vermehrung der Virus-Nukleinsäure und zur Produktion der anderen Virionen-Bestandteile um.

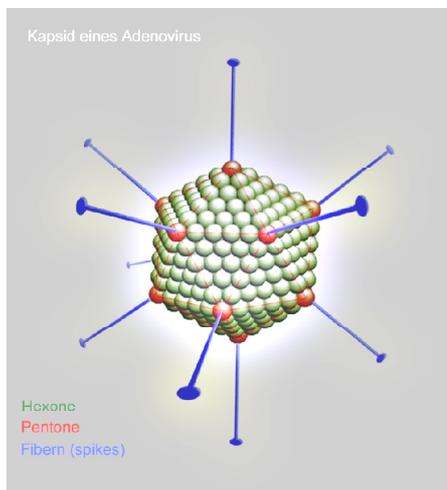
Schema der Struktur des Bunyavirus



Schematischer Querschnitt durch einen Lambda-Phagen



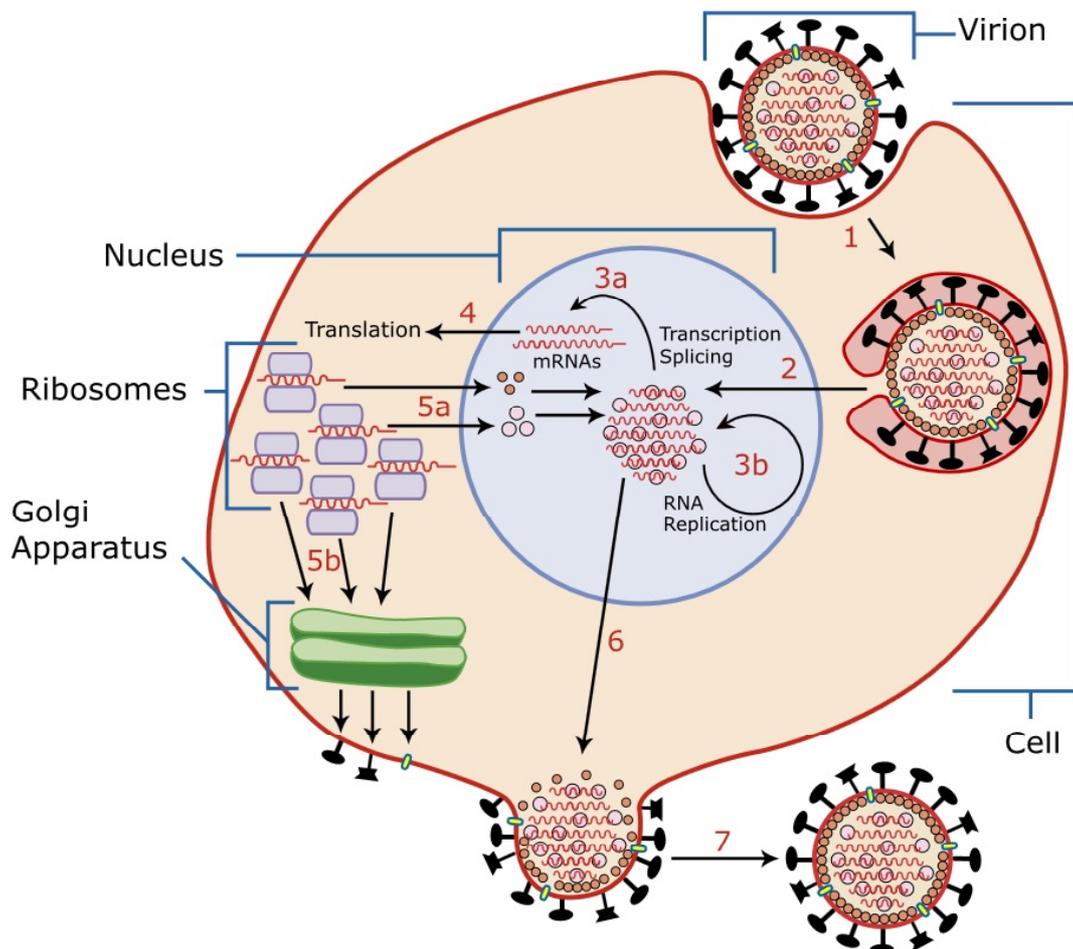
Kapsid eines Adenovirus

**[2.4] Systematische Einordnung**

Viren sind im Wesentlichen bloße stoffliche Programme zu ihrer eigenen Reproduktion in Form einer Nukleinsäure. Sie besitzen zwar spezifische genetische Informationen, aber nicht den für ihre Replikation notwendigen Synthese-Apparat. Ob Viren als Lebewesen bezeichnet werden können, ist abhängig von der Definition von Leben. Eine allgemein anerkannte, unwidersprochene Definition gibt es bislang nicht. Die meisten Wissenschaftler stufen Viren nicht als Lebewesen ein – wobei die wissenschaftliche Diskussion noch nicht abgeschlossen ist.

Viren werden normalerweise auch nicht zu den Parasiten gerechnet, weil Parasiten Lebewesen sind. Einige Wissenschaftler betrachten Viren dennoch als Parasiten, weil sie einen Wirtsorganismus infizieren und seinen Stoffwechsel für ihre eigene Vermehrung benutzen. Diese Forscher definieren Viren als „obligat intrazelluläre Parasiten“ (Lebensformen, die immer Parasiten innerhalb einer Zelle sind), die mindestens aus einem Genom bestehen und zur Replikation eine Wirtszelle benötigen. Man kann sich – unabhängig von der Klassifizierung als Lebewesen oder Nicht-Lebewesen – darauf einigen, dass das *Verhalten* von Viren dem von gewöhnlichen Parasiten sehr ähnlich ist.

[2.5] Vermehrung und Verbreitung



Replikation eines Virus in einer Wirtszelle

Viren mit einem **DNA-Genom** dringen in den **Zellkern** ein und vervielfältigen sich dort. Viren mit einem **RNA-Genom** dringen **nicht in den Zellkern** ein und vervielfältigen sich im **Zellplasma** der Wirtszelle.

Ein Virus selbst ist zu keinen Stoffwechselfvorgängen fähig, daher braucht es Wirtszellen zur Fortpflanzung. Der Replikationszyklus eines Virus beginnt im Allgemeinen, wenn sich ein Virion an ein Oberflächenprotein auf einer Wirtszelle anheftet (Adsorption), das vom Virus als Rezeptor verwendet wird. Bei Bakteriophagen erfolgt dies durch Injektion seines Erbmaterials in eine Zelle. Bei Eukaryoten werden die Virionen durch Endozytose eingestülpt und durchdringen dann die Endosomenmembran. Nach der Aufnahme muss ein Virion vor der Replikation erst von seinen Hüllen befreit werden (uncoating). Das Erbmaterial des Virus, seine Nukleinsäure, wird anschließend in der Wirtszelle vervielfältigt und die Hüllproteine sowie gegebenenfalls weitere Bestandteile der Virionen werden anhand der Gene des Virusgenoms ebenfalls von der Wirtszelle synthetisiert (Protein-Biosynthese/Genexpression).

So können in der Zelle neue Viren gebildet werden (Morphogenese), die als Virionen dann freigesetzt werden, indem entweder die Zellmembran aufgelöst wird (Zell-Lyse, lytische Virusvermehrung), oder indem sie ausgeschleust (sezerniert) werden (Virusknospung, budding), wobei Teile der Zellmembran als Bestandteil der Virushülle mitgenommen werden. Mit Hilfe von so genannten Immuno-evasinen wird die Immunabwehr des Wirtes unterdrückt. Die Anzahl an neu gebildeten Virionen einer infizierten Wirtszelle wird als burst size (‚Berstgröße‘) bezeichnet.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einbau des Virus-Genoms in das des Wirtes. Dies ist der Fall bei einigen Viren, wie zum Beispiel dem Bakteriophagen *Lambda*.

Die Auswirkung der Virusvermehrung auf die Wirtszelle nennt man Zytopathischen Effekt (CPE). Es gibt verschiedene Arten des zytopathischen Effekts, welche von bleibenden Zellveränderungen bis zum endgültigen Zelltod reichen: Zell-Lyse, Zell-Fusion (Masernvirus, HSV, Parainfluenzavirus), intranucleäre Einschlüsse (Adenoviren, Masernvirus), intraplasmatische Einschlüsse (Tollwutvirus, Pockenvirus).

Die Verbreitungswege von Viren sind vielfältig. So können humanpathogene Viren zum Beispiel über die Luft in Form von Tröpfcheninfektion (z. B. Grippeviren) oder über kontaminierte Oberflächen durch Schmierinfektion (z. B. Herpes simplex) übertragen werden. Bei Pflanzenviren erfolgt die Übertragung häufig durch Insekten oder auch durch mechanische Übertragung zwischen zwei Pflanzen, bzw. über kontaminierte Werkzeuge in der Landwirtschaft. Eine abstrakte Sicht auf die epidemiologische Kinetik von Viren und anderen Krankheitserregern wird in der Theoretischen Biologie erarbeitet.

[2.6] Evolution

[2.6.1] Ursprung

Der Ursprung der Viren ist nicht bekannt. Die meisten Forscher nehmen heute an, dass es sich bei Viren nicht um Vorläufer des zellulären Lebens handelt, sondern um Gene von Lebewesen, die sich aus Lebewesen lösten. Es werden noch immer mehrere Möglichkeiten diskutiert, wobei es im Prinzip zwei verschiedene Ansätze (A, B) gibt.

(A) Viren sind sehr ursprünglich, entstanden noch vor der ersten Zelle schon in jener chemischen „Ursuppe“, die auch die primitivsten Lebensformen hervorgebracht hat, und sind mit RNA-Genomen Überbleibsel der prä-DNA-Welt. Dieser Ansatz wurde beispielsweise von S. Luria (1960) vertreten.

(B) Viren sind degenerative Formen von schon bei ihrer Entstehung existierenden vollständigen Organismen.

Daraus abgeleitet sind drei Theorien formuliert worden.

(1) Abstammung von selbstreplizierenden Molekülen (Coevolution). Diese Theorie nimmt an, dass Entstehung und Evolution der Viren von den einfachsten Molekülen ausgingen, die überhaupt zur Selbstverdoppelung in der Lage waren. Anschließend hätten sich dann manche derartige Moleküle schließlich zu Organisationseinheiten zusammengefunden, die man als Zellen ansehen kann. Parallel dazu gelang es anderen Molekülen, sich in Viruspartikel zu verpacken, die sich parallel zu den Zellen weiterentwickelten und zu ihren Parasiten wurden.

(2) Virusentstehung durch Degeneration (Parasit). Diese Theorie basiert auf dem schon oben dargestellten zweiten Möglichkeitsansatz, wonach die ersten Viren ursprünglich aus freilebenden Organismen wie beispielsweise Bakterien (oder hypothetischen Ribozyten) hervorgegangen sind, die langsam und kontinuierlich immer mehr von ihrer genetischen Information verloren haben, bis sie schließlich zu Zellparasiten wurden, die darauf angewiesen sind, dass eine Wirtszelle ihnen die verloren gegangenen Funktionen zur Verfügung stellt. Ein Konzept, das in diesem Zusammenhang zunehmend Beachtung findet, ist das der Virozelle (englisch *virocell*): Der eigentliche Phänotyp eines Virus ist die infizierte Zelle, das Virion (Viruspartikel) ist dagegen lediglich ein Stadium der Fortpflanzung oder Verbreitung, ähnlich wie Pollen oder Sporen.

(3) Virusentstehung aus wirtszelleigenen RNA- oder DNA-Molekülen. Diese dritte und für die Forschung als am wahrscheinlichsten erscheinende Theorie besagt, dass Viren unmittelbar aus RNA- oder DNA-Molekülen der Wirtszelle entstanden sind. Diese selbständig gewordenen Nukleinsäuren haben zwar als das genetische Material der Viren die Fähigkeit erworben, sich unabhängig vom Genom der Wirtszelle oder ihrer RNA zu vermehren, sind aber letztlich doch Parasiten geblieben (S. Luria, 1960).

[2.6.2] Variabilität

Für eine Evolution eines Virus (bzw. irgendeines Gens) ist seine Variabilität und Selektion von Bedeutung. Die Variabilität ist (wie bei allen Organismen) durch Kopierfehler bei der Replikation des Erbgutes gegeben, und sie dient unter anderem der Immunevasion und der Änderung des Wirtsspektrums, während die Selektion oft durch die (Immun)-Antwort des Wirtes durchgeführt wird.

Höher organisierte Lebewesen haben per Rekombination und Crossing-over bei der geschlechtlichen Fortpflanzung eine sehr effektive Möglichkeit der genetischen Variabilität besonders in ihrer Umwelthanpassung und damit Weiterentwicklung ihrer jeweiligen Art entwickelt. Virionen beziehungsweise Viren zeigen als überdauerungsfähige *Strukturen*, die für ihre Vermehrung und damit auch Ausbreitung auf lebende Wirte angewiesen sind, ohne geschlechtliche Fortpflanzung allein mit ihrer Mutationsfähigkeit eine mindestens ebenbürtige Möglichkeit für eine genetische Variabilität.

Dabei ist es dann letztlich unerheblich, dass diese Mutationen im Genom der Viren im Grunde zuerst auf Kopierfehlern während der Replikation innerhalb der Wirtszellen beruhen. Was zählt, ist allein der daraus für die Arterhaltung resultierende positive Effekt der extremen Steigerung der Anpassungsfähigkeit. Während Fehler dieser Art zum Beispiel bei einer hochentwickelten Säugetierzelle zum Zelltod führen können, beinhalten sie für Viren sogar einen großen Selektionsvorteil.

Kopierfehler bei der Replikation drücken sich in Punktmutationen, also im Einbau von falschen Basen an zufälligen Genorten aus. Da Viren im Gegensatz zu den höher entwickelten Zellen nur über wenige oder keine Reparaturmechanismen verfügen, werden diese Fehler nicht korrigiert.

Sonderformen der genetischen Veränderung bei Viren werden beispielsweise bei den Influenza-Viren mit den Begriffen Antigendrift und Antigen shift (genetische Re-sortierung) dort genau beschrieben.

[2.6.3] Wirtsreaktionen

Eine Infektion mit Viren erzeugt in ihren Wirten verschiedene Formen der Abwehrreaktion. Viren werden ausschließlich intrazellulär repliziert, denn sie verwenden zur Replikation die dafür notwendigen Bausteine und Enzyme aus dem Cytosol einer Wirtszelle. Daher sind verschiedene intrazelluläre Abwehrmechanismen entstanden, die als Restriktions- oder Resistenzfaktoren bezeichnet werden. Während Bakterien unter anderem Restriktionsenzyme zur Abwehr von Bakteriophagen innerhalb einer Zelle verwenden, gibt es in Eukaryoten sehr unterschiedliche, spezialisierte Moleküle zur Abwehr.

In Tieren, besonders Wirbeltieren, hat sich zusätzlich eine Immunantwort herausgebildet. Sie ist teils angeboren, teils erworben. Im Zuge der erworbenen bzw. adaptiven Immunantwort entstehen Antikörper und zytotoxische T-Zellen, die einzelne Bestandteile des Virus (Antigene) binden können. Dadurch können sie Viren und Virusinfizierte Zellen erkennen und beseitigen.

Manche Viren, insbesondere Herpesviren, verbleiben lebenslang im Körper. Es kann von Zeit zu Zeit zu einer Reaktivierung kommen, auch ohne Symptome.

[2.7] Einteilung

Herkömmliche Virusklassifikation

In den Jahren 1961/62 wurde von André Lwoff, Robert W. Horne und Paul Tournier entsprechend der von Carl von Linné begründeten binären Klassifikation der Lebewesen eine Taxonomie der Viren („LHT-System“) eingeführt, die folgende Stufen umfasst (Muster für Namensendungen der Taxa in Klammern):

Virosphäre (Phylum: Vira)

Subphylum (...vira)

Klasse (Biologie) (...ica)

Ordnung (...virales)

Familie (...viridae)

Unterfamilie (...virinae)

Gattung oder Genus (...virus)

Art oder Species (nach der hervorgerufenen <Krankheit> ...virus)

Damit einher geht eine Zuordnung in Gruppen, die sich an den Wirten orientieren.

- Bakterien (Befall durch Bakteriophagen)
- Algen, Pilze und Protozoen
- Pflanzen
- Tiere, mit drei Untergruppen:
 - wirbellose Tiere (Invertebraten)
 - Wirbeltiere (Vertebraten)
 - Vertreter beider Gruppen

Die meisten Viren gehören nur zu einer der obigen vier Gruppen, doch Virusarten der Familie *Rhabdoviridae* und *Bunyaviridae* können sowohl Pflanzen als auch Tiere infizieren. Einige Viren vermehren sich nur in Vertebraten, werden jedoch auch von Invertebraten mechanisch übertragen, vor allem von Insekten. Viren, welche auf die Nutzung von Genen anderer Viren (Mamaviren) während der gemeinsamen Infektion einer Wirtszelle angewiesen sind, werden Virophagen genannt.

Virustaxonomie nach ICTV

Das International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) hat eine Klassifizierung entwickelt, um eine einheitliche Unterteilung in Familien zu gewährleisten. Der neunte ICTV-Report definiert ein Konzept mit der Virus-Art als unterstem Taxon in einem hierarchischen System sich verzweigender Viren-Taxa.

Die Baltimore-Klassifikation

Die Baltimore-Klassifizierung beruht darauf, ob das Virus-Genom als DNA oder RNA vorliegt und wie diese in mRNA umgesetzt wird.

Die vom Nobelpreisträger und Biologen David Baltimore vorgeschlagene Klassifizierung basiert darauf, in welcher Form genau das Virusgenom vorliegt und wie daraus die Boten-RNA (mRNA) erzeugt wird. Das Virus-Genom kann in der Form von DNA oder RNA vorliegen, Einzelstrang (englisch: single-stranded, ss) oder Doppelstrang (englisch double-stranded, ds). Ein Einzelstrang kann als Original (englisch: sense, +) oder in komplementärer Form (englisch: antisense, -) vorliegen.

Unter Umständen wird zur Vervielfältigung ein RNA-Genom übergangsweise in DNA umgesetzt (Retroviren) oder umgekehrt ein DNA-Genom übergangsweise in RNA transkribiert (Pararetroviren); in beiden Fällen wird die RNA mit einer reversen Transkriptase (RT) in DNA zurückgeschrieben.

Die gesamte Virophäre wird mit folgenden sieben Gruppen definiert:

- I: dsDNA-Viren (Adenoviren, Herpesviren, Pockenviren, ...)
- II: ssDNA-Viren (+ Strang) DNA (Parvoviren, ...)
- III: dsRNA-Viren (Reoviren, ...)
- IV: (+)ssRNA-Viren (+ Strang) RNA (Picornaviren, Togaviren, ...)
- V: (-)ssRNA-Viren (- Strang) RNA (Orthomyxoviren, Rhabdoviren, ...)
- VI: ssRNA-RT-Viren (+ Strang) - RNA mit DNA-Zwischenstadium (Retroviren, ...)
- VII: dsDNA-RT-Viren - DNA mit RNA-Zwischenstadium (Pararetroviren, ...)

Moderne Virusklassifikationen benutzen eine Kombination von ICTV und Baltimore.

Schreibweise der Namen von Virusarten

Der offizielle internationale, wissenschaftliche Name eines Virus ist die englischsprachige Bezeichnung, nach der sich stets auch die international gebräuchliche Abkürzung richtet, wie bei *Lagos bat virus* (LBV). Diese Abkürzung wird unverändert auch im Deutschen verwendet. Folgerichtig lautet die Abkürzung für die deutsche Virusbezeichnung *Lagos-Fledermaus-Virus* ebenfalls *LBV*.

In den englischen Virusnamen wie zum Beispiel bei *West Nile virus* werden normalerweise keine Bindestriche benutzt und *virus* wird kleingeschrieben. Der Bindestrich taucht im Englischen nur bei Adjektiven auf, also bei *Tick-borne encephalitis virus* oder *Avian encephalomyelitis-like virus*.

Im Deutschen werden die Virusnamen teilweise mit Bindestrichen geschrieben, also *West-Nil-Virus*, *Hepatitis-C-Virus*, *Humanes Herpes-Virus*, *Lagos-Fledermaus-Virus*, *Europäisches Fledermaus-Lyssa-Virus*, teilweise auch zusammen. Vor den Nummern von Subtypen steht (wie im Englischen) ein Leerzeichen, bei den Abkürzungen ein Bindestrich, z. B. *Europäisches Fledermaus-Lyssa-Virus 1* (EBLV-1), *Herpes-simplex-Virus 1* (HSV-1) und *Humanes Herpes-Virus 1* (HHV-1).

[2.8] Humanpathogene Viren und ausgelöste Erkrankungen

Beim Menschen können eine Vielzahl von Krankheiten durch Viren verursacht werden. Einige dieser *humanpathogenen Viren* sind hier exemplarisch hinsichtlich Genom und Behüllung klassifiziert und in ihrer Taxonomie nach ICTV aufgelistet.

(1) Behüllte Viren

• Doppelsträngige DNA-Viren = dsDNA

Familie *Poxviridae*

Unterfamilie *Chordopoxvirinae*

Gattung *Orthopoxvirus*

Orthopoxvirus variola = *Variolavirus* – Pocken, *Echte Pocken*

Gattung *Molluscipoxvirus*

Molluscum-Contagiosum-Virus – Dellwarze (*Molluscum contagiosum*)

Familie *Herpesviridae*

Unterfamilie *Alphaherpesvirinae*

Gattung *Simplexvirus*

Herpes-simplex-Virus 1 (HSV-1) = Humanes Herpesvirus 1 (HHV-1)
(Herpes simplex, Herpes labialis)

Herpes-simplex-Virus 2 (HSV-2) = Humanes Herpes- Virus 2 (HHV-2)
(Herpes simplex, Herpes genitalis)

Gattung *Varicellovirus*

Varizella-Zoster-Virus (VZV) = Humanes Herpes-Virus 3 (HHV-3)
(Windpocken = Varizellen (Herpes zoster), *Gürtelrose*)

• Einzel(+)-Strang-RNA-Viren = ss(+)-RNA

Familie *Togaviridae*

Gattung *Rubiviren*

Rubivirus = Rötelnvirus = Rubellavirus (RUBV) – Röteln

Familie *Flaviviridae*

Gattung *Hepacivirus*

Hepatitis-C-Virus (HCV) – Hepatitis C

Gattung *Flavivirus*

FSME-Virus [englisch: tick-borne encephalitic virus (TBEV)]
(Frühsommer-Meningoenzephalitis)

Zika-Virus (ZIKV) (2 Hauptgruppen; diverse Subtypen)
(meist nur Hautausschlag, Fieber, Gelenkschmerzen, Konjunktivitis)

Familie *Coronaviridae*Gattung *Alphacoronavirus*

Humanes Coronavirus 229E (HCoV-229E) – Erkältung

SARS-assoziiertes Coronavirus (SARS-CoV)

(atypische Lungenentzündung Pneumonie)

Coronavirus, SARS-CoV-2, bzw. Wuhan seafood market pneumonia virus
(Covid-19: Infektion der unteren Atemwege bis zur Lungenentzündung)

Familie *Retroviridae*Gattung *Deltaretrovirus*

Humanes T-lymphotropes Virus 1 (HTLV-1)

(Adulte T-Zell-Leukämie)

Gattung *Lentivirus*

Humanes Immundefizienz-Virus Typ 1 (HIV-1) – AIDS

Humanes Immundefizienz-Virus Typ 2 (HIV-2) – AIDS

• Einzel(-)-Strang-RNA-Viren = ss(-)RNAFamilie *Arenaviridae*Gattung *Arenavirus*

Chapare-Virus – Hämorrhagisches Fieber

Lassa-Virus – Lassa-Fieber

Lymphozytäre-Chorio-Meningitis-Virus (LCMV)

(Lymphozytäre Choriomeningitis)

Familie *Bunyaviridae* – Erreger von ArbovirosenGattung *Orthobunyavirus*

Batai-Virus (BATV) – grippeähnliche Symptome und Hautausschläge

California-Encephalitis-Virus (Serogruppe) – Encephalitis

Familie *Filoviridae*Gattung *Ebolavirus*

Zaire-Ebolavirus (ZEBOV) - Ebolafieber (hämorrhagisches Fieber)

Familie *Orthomyxoviridae*Gattung *Influenzavirus A* – Influenza (Grippe)

Influenzavirus A-Variante H1N1 – Influenza (Grippe)

Influenzavirus A-Variante H3N2 – Influenza (Grippe)

Influenzavirus-A-Variante H5N1, hoch pathogens

Influenzavirus (HPAIV)

„Vogelgrippe“, bei Tieren, auch auf den Menschen übertragbar,
aber kaum von Mensch zu Mensch.

Gattung *Morbillivirus*

Masernvirus – Masern

Familie *Rhabdoviridae*

Gattung *Lyssavirus*

Rabiesvirus (RABV) (ehemals Genotyp 1)

(Tollwutvirus – Tollwut, bei Tieren, auch auf den Menschen übertragbar)

(2) Unbehüllte Viren

• Doppelsträngige DNA-Viren = dsDNA

Familie *Papillomaviridae*

Gattung *Papillomavirus*

diverse Humane Papillomviren (HPV) – Warzen

Kondyloma-Virus 6 (HPV-6) – Feigwarzen

• Doppelsträngige RNA-Viren = dsRNA

Familie *Reoviridae*

Gattung *Rotavirus*

diverse Arten – Gastroenteritis mit Durchfall

Colorado-Tick-Fever-Virus – Colorado-Zeckenfieber

• Einzel(+)-Strang-RNA-Viren = ss(+)-RNA

Familie *Caliciviridae*

Gattung *Norovirus*

Humane Noroviren der Gruppen GGI, GGII und GGIV

(Brechdurchfall = Gastroenteritis)

Familie *Picornaviridae*

Gattung *Enterovirus*

Poliovirus Typ 1–3 – Kinderlähmung

Gattung *Rhinovirus*

Humane Rhinoviren-1 A (HRV-1 A) oder 1 B bis 100 – Erkältung

• Onkoviren

Diese Gruppe der wichtigsten beim Menschen krebserzeugenden (karzinogenen) Viren ist weltweit für 10 bis 15 Prozent aller Krebserkrankungen des Menschen verantwortlich, nach Schätzung der amerikanischen Krebsgesellschaft sogar für etwa 17 % der Krebsfälle.

Epstein-Barr-Virus (EBV)

Hepatitis-B-Virus (HBV)

Hepatitis-C-Virus (HCV)

Humanes Papillomvirus (HPV)

Humanes T-lymphotropes Virus 1 (HTLV-1)

Humanes Herpesvirus 8 (HHV-8, auch Kaposi-Sarkom-Herpesvirus, KSHV)

[2.9] Erkrankungen durch Viren

Ob und welche Folgen eine Virusinfektion hat, ist sehr unterschiedlich: Sehr oft kann das Immunsystem eingedrungene Viren komplett eliminieren, bevor sie sich im Körper vermehren und eventuell Beschwerden hervorrufen können. In manchen Fällen vermehren sich die Viren zwar im Körper, aber die Betroffenen entwickeln keinerlei Symptome (**asymptomatische Infektion**).

Oft führt eine Virusinfektion aber zu einer **akuten Viruserkrankung** mit mehr oder weniger schweren Symptomen, die nach einiger Zeit (allein oder unter Behandlung) ausheilt. Es gibt aber auch **chronische Virusinfektionen** (wie Hepatitis B, Hepatitis C oder HIV), bei denen die Betroffenen kontinuierlich und lang anhaltend Viren ausscheiden.

Ebenfalls möglich sind **latente Virusinfektionen**, etwa bei HIV und Herpesviren: Das Erbgut der Viren verharrt nach der akuten Infektion in den Wirtszellen, ohne zu replizieren - manchmal sogar viele Jahre lang. Diese Latenzphase kann mit Symptomen einhergehen, aber auch symptomlos verlaufen. Manchmal werden die "schlummernden" Viren reaktiviert (z.B. durch eine Schwächung des Immunsystems). Dann kommt die Virus-Replikation in Gang, und eine akute Erkrankung bricht aus - wie etwa bei Aids. Ein anderes Beispiel ist die seltene subakute, sklerosierende Panenzephalitis. Das ist eine chronisch fortschreitende Entzündung des gesamten Gehirns, die Monate bis Jahre nach einer akuten Masern-Infektion auftreten kann.

[2.9.1] Übertragungswege einer Virusinfektion

Virenpartikel können über verschiedene Wege in den Körper gelangen. Es werden dabei folgende Übertragungswege unterschieden:

Tröpfcheninfektion: Viren, die in den oberen Atemwegen siedeln können durch winzige Tröpfchen beim Niesen oder Husten übertragen werden.

Aerosolinfektion: Ähnlich der Tröpfcheninfektion können Viren auch durch Aerosole übertragen werden. Dabei besitzen die ausgestoßenen Tröpfchen jedoch eine sehr geringe Größe. Aerosole können dadurch längere Zeit in der Luft schweben und sich daher auch über größere Distanzen verbreiten.

Schmierinfektion: Bei einer Schmierinfektion werden virale Erreger im direkten Kontakt übertragen. Etwa beim Händeschütteln oder auch beim Greifen nach kontaminierten Gegenständen (z.B. Türgriffe) können Viren auf die Hände gelangen und unbewusst an die Schleimhäute von Mund, Nase oder Augen geführt werden.

[2.9.2] Häufige Virusinfektionen

Viren können mehr oder weniger ernste Erkrankungen auslösen. Hier eine Übersicht über bekannte Virusinfektionen:

Grippe (Influenza): Grippe-Viren sind sehr variable RNA-Viren. Deshalb muss für jede Grippezeit ein neuer Grippeimpfstoff entwickelt werden - basierend auf den Virustypen, die im betreffenden Jahr (voraussichtlich) für die meisten Influenza-Fälle verantwortlich sein werden.

Erkältung: Die häufigsten Auslöser sind Rhinoviren, gefolgt von Adenoviren und Coronaviren.

Andere virale Atemwegsinfektionen: Beispielsweise sind Viren die Hauptursache von akuter Rachenentzündung und akuter Bronchitis. Kehlkopfentzündung, Mandelentzündung und Lungenentzündung (Pneumonie) können viral bedingt sein.

Herpes-Infektionen: Zu den bekanntesten zählen Lippenherpes, Genitalherpes, Windpocken, Gürtelrose, Zytomegalie, das Drei-Tage-Fieber und das Pfeiffersche Drüsenfieber.

Mumps: Die auch Ziegenpeter genannte Virusinfektion geht oft mit schmerzhaft geschwellenen Ohrspeicheldrüsen einher, kann aber auch symptomlos verlaufen.

Masern: Die hoch ansteckenden Masernviren lösen einen typischen roten Hautausschlag aus und können zu schweren Entzündungen führen.

Röteln: Auch Rötelnviren können einen roten Hautausschlag hervorrufen. Er ist kleinfleckiger als der bei Masern.

Kinderlähmung: Diese auch Poliomyelitis (kurz "Polio" genannte Viruserkrankung) kommt dank weitreichender Impfung in vielen Teilen der Welt nicht mehr vor, oder kaum noch vor.

Pocken: Dank einer weltweiten WHO-Impfkampagne gilt die Erkrankung seit 1980 offiziell als ausgerottet.

Tollwut: Durch den Biss infizierter Tiere (wie Hunde, Füchse) können Tollwutviren auf den Menschen übertragen werden und dann das Gehirn befallen. Sobald einmal die Erkrankung ausgebrochen ist, verläuft sie immer tödlich.

Infektion mit Humanen Papillomviren (HPV): Verschiedene Typen dieser DNA-Viren können verschiedene Arten von Warzen (z.B. Gemeine Warzen, Feigwarzen, sowie bestimmte Krebsarten (wie Gebärmutterhalskrebs, Peniskrebs, Kehlkopfkrebs) auslösen.

Dellwarzen: Verantwortlich für diese "unechten" Warzen sind Molluscum-contagiosum-Viren ein Vertreter der Pockenviren.

Rotaviren- und Noroviren-Infektionen: Rotaviren sind ebenso wie die Noroviren hoch ansteckend und für viele akute Magen-Darm-Erkrankungen mit Durchfall und Erbrechen verantwortlich, besonders bei Kindern.

FSME: Die Frühsommer-Meningoenzephalitis wird durch Viren ausgelöst, die von Zecken übertragen werden.

Leberentzündung (Hepatitis): Sie wird meistens durch Viren ausgelöst, und zwar vor allem von verschiedenen Typen von Hepatitisviren. Andere mögliche Auslöser einer Virushepatitis sind zum Beispiel Herpesviren.

Hämorrhagisches Fieber: Der Begriff umfasst verschiedene Viruserkrankungen, die mit Fieber und erhöhter Blutungsneigung (und damit auch inneren Blutungen) einhergehen. Es zählen dazu unter anderen Ebola, das Gelbfieber, das Dengue-Fieber und das Lassa-Fieber.

HIV/Aids: Die erworbene Immunschwächekrankheit Aids ist das Endstadium einer Infektion mit HI-Viren. Sie führt jedes Jahr bei etwa 1,8 Millionen Menschen weltweit zum Tod.

Die als häufige Erkältungsursache genannten **Coronaviren** können mehr oder weniger schwere Atemwegserkrankungen auslösen. Das aktuelle Coronavirus **SARS-CoV-2**, das die Krankheit Covid-19 auslöst, ist jedoch nur entfernt mit "regulären Coronaviren" verwandt. Es besitzt Ähnlichkeiten mit dem bereits 2002 entdeckten SARS Erreger.

[2.9.3] Schutz gegen Viren

Vielen Virusinfektionen kann mit **allgemeinen Schutzmaßnahmen** vorgebeugt werden. Welche das sind, hängt von der Art der Übertragung eines Virus ab.

Hygiene: Dazu zählt regelmäßiges gründliches Händewaschen, vor allem vor dem Essen sowie nach dem Benutzen öffentlicher Verkehrsmittel sowie dem Besuch öffentlicher Orte (wo man etwa Türklinken und Geländer angefasst hat). Ebenfalls wichtig: Mit den (ungewaschenen) Händen nicht ins Gesicht, an den Mund oder die Nase fassen.

Abstand: Meiden von Kontakt mit Infizierten bzw. Erkrankten: Viele Viren werden hauptsächlich über virushaltige Tröpfchen übertragen, welche Infizierte beim Husten, Niesen und Sprechen ausstoßen (z.B. Grippeviren, Masernviren).

Lebensmittelhygiene: Beispielsweise können Noroviren über rohe Lebensmittel und auch Trinkwasser übertragen werden.

Safer Sex: Manche Viren werden beim Geschlechtsverkehr übertragen, so zum Beispiel HIV, Genitalherpes und HPV-Typen, die unter anderem die Entstehung von Feigwarzen und Gebärmutterhalskrebs fördern.

Insektenschutz: Mückenschutzmittel können vor Viruserkrankungen bewahren, die etwa von Stechmücken übertragen werden (z.B. Gelbfieber in tropisch-subtropischen Regionen). Zeckenschutzmittel beugen FSME vor. Ebenfalls ratsam sind allgemeine Maßnahmen, die Stiche bzw. Bisse von blutsaugenden Insekten verhindern (wie das Tragen von langen Hosen und langen Ärmeln).

Wie lange überleben Viren außerhalb des Körpers (z.B. auf Türklinken)? Das hängt stark von der Virenart und den Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Feuchtigkeit und Art der Oberfläche ab. So sind etwa humane Coronaviren (wie beispielsweise der Covid-19-Erreger) auf trockenen Oberflächen nicht sehr stabil. Beim Trocknen werden sie meist innerhalb von Stunden bis Tagen inaktiviert.

Impfungen: Sie bieten einen wirksamen Schutz gegen verschiedene Viren. Verfügbar ist zum Beispiel ein kombinierter Impfstoff gegen Masern, Mumps und Röteln (**MMR**-Impfung). Dieser kann auch noch um einen Impfstoff gegen Windpocken erweitert sein (**MMRV**-Impfung). Außerdem gibt es jedes Jahr eine neue Grippeimpfung. Ebenfalls erhältlich sind unter anderem **FSME**-Impfung, Gürtelrose-Impfung, **HPV**-Impfung, Hepatitis-Impfung, Rotaviren-Impfung und Tollwut-Impfung. Solche Impfstoffe dienen der **aktiven Immunisierung**. Sie regen also das Immunsystem an, spezifische Antikörper gegen die betreffenden Viren zu produzieren.

Gegen manche Virusinfektionen ist zudem auch eine **passive Immunisierung** möglich. Dabei werden dem Körper bereits „fertige“ Antikörper gegen bestimmte Viren verabreicht, die einen zeitlich begrenzten Schutz bieten. Diese passive Immunisierung kann vor einer möglichen Infektion (z.B. Hepatitis A) oder kurz nach einer erfolgten Ansteckung mit bestimmten Viren (z.B. Tollwut-, Hepatitis-Viren) gegeben werden.

[2.10] Antivirale Medikamente

Da Viren beziehungsweise Virionen im Gegensatz zu Bakterien keine Zellen sind, können sie auch nicht wie solche abgetötet werden. Es ist lediglich möglich, eine virale Infektion und die Virusvermehrung durch **Virostatika** zu behindern oder verhindern. Besonders die biochemischen Vermehrungsabläufe können von Virusart zu Virusart sehr unterschiedlich sein, was die Findung eines hemmenden oder unterbindenden Wirkstoffes erschwert.

Da die Vermehrung der Viren im Inneren von normalen Zellen stattfindet und sich dort sehr eng an die zentralen biochemischen Zellmechanismen anknüpft, müssen die in Frage kommenden antiviralen Wirkstoffe entweder

- das Eindringen der Virionen in die Wirtszellen verhindern,
- in den Zellstoffwechsel zum Nachteil der Virusvermehrung eingreifen,
- oder nach einer möglichen Virusvermehrung in den Zellen das Austreten der neuen Viren aus den Zellen unterbinden.

Andererseits müssen diese gesuchten Wirkstoffe jedoch auch für den Körperstoffwechsel, den Zellverband und/oder den internen Zellstoffwechsel insgesamt verträglich sein, da sonst nicht nur beispielsweise die Virusvermehrung in den Zellen zum Erliegen kommt, sondern schlimmstenfalls auch das (Zell-)Leben des gesamten Organismus.

Weil diese Bedingungen sehr schwer zu vereinbaren sind, sind die bisher entwickelten antiviralen Medikamente auch oft mit schweren Nebenwirkungsrisiken verbunden. Diese Gratwanderung stellte die Medizin vor schwierige Aufgaben, die bislang meist ungelöst blieben.

Verschärft wird die Entwicklung von effektiven antiviralen Medikamenten außerdem durch die **Resistenz**-Entwicklung von Seiten der zu bekämpfenden Viren gegenüber einem einmal gefundenen, brauchbaren Wirkstoff. Zu solchen Resistenzen sind sie auf Grund ihres schnell ablaufenden Vermehrungszyklus und der biochemischen Eigenart ihrer Replikation oft besonders gut in der Lage.

Gegen bakterielle Infektionen verschreiben Ärzte oftmals **Antibiotika**. Bei Viren helfen diese Medikamente aber **nicht**. Der Grund dafür liegt in ihrem Wirkmechanismus: Antibiotika können Bakterien abtöten oder an der Vermehrung hindern. Dazu greifen sie unter anderem die Zellwand und den Stoffwechsel der Bakterien an. Viren verfügen weder über das eine noch das andere. Deshalb sind Antibiotika gegen Viren wirkungslos. Wenn ein Arzt bei einer Viruserkrankung dennoch Antibiotika verschreibt, hat dies meist einen anderen Grund: Durch die Virusinfektion kann die Körperabwehr so geschwächt sein, dass sich zusätzlich eine bakterielle Infektion entwickeln kann. Mit Antibiotika lässt sich eine solche bakterielle **Superinfektion** behandeln oder verhindern.

ENDE