



LESEPROBE

Mikrobiologie und Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels

**Prof. Dr. Peter Dürre & Prof. Dr. Bernhard Eikmanns & PD Dr.
Christian Riedel**

Institut für Mikrobiologie und Biotechnologie
Fakultät für Naturwissenschaften, Fachbereich Biologie
Universität Ulm

1 Modulinhalt

Modulnummer	1.1
Modultitel	Mikrobiologie und Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels
Modulkürzel	MBB
Studiengang	Biopharmazeutisch-Medizintechnische Wissenschaften (M. Sc.)
Ort der Veranstaltung	Universität Ulm
Modulverantwortlichkeit	Prof. Dr. Peter Dürre & Prof. Dr. Bernhard Eikmanns
Lehrende	Prof. Dr. Peter Dürre Prof. Dr. Bernhard Eikmanns PD Dr. Christian Riedel
Voraussetzungen	---
Verwertbarkeit	Die Inhalte des Moduls sind für den Masterstudiengang Biopharmazeutisch-Medizintechnische Wissenschaften verwendbar. Das Modul vermittelt Fachwissen im Bereich Mikrobiologie und Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels.
Semester (empfohlen)	1
Max. Teilnehmerzahl	16
Art der Veranstaltung	☐ Präsenzveranstaltung(en) ☐ Präsenzveranstaltung(en) mit E-Learning-Elementen ☒ Präsenzveranstaltung(en) im Labor mit E-Learning-Elementen ☐ reine E-Learning-Veranstaltung(en)
Veranstaltungssprache	☒ Deutsch, ☐ Englisch, ☐ Weitere, nämlich:
ECTS-Credits	6 Credits
Prüfungsform und -umfang	☒ Klausur, ☐ Referat, ☐ Kolloquium, ☐ Posterpräsentation, ☐ Podiumsdiskussion, ☐ Mündliche Einzel-/ Gruppenprüfungen, ☐ Essay, ☐ Forumsbeitrag, ☐ Übungen, ☒ Wissenschaftspraktische Tätigkeit, ☐ Bachelor- und Masterarbeit ☐ Haus-/ Seminararbeit, ☐ Einzel-/Gruppenpräsentation, ☐ Portfolio, ☒ Protokoll, ☐ Projektarbeit, ☐ Lerntagebuch/ Lernjournale <u>Umfang der Prüfung:</u> 60 Min Klausur Das Protokoll ist Voraussetzung für das Bestehen des Praktikums. Es wird nicht bewertet.

LERNZIELE	Fachkompetenz Studierende sind in der Lage, zentrale Inhalte der Mikrobiologie und der Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels zu erklären. Studierende kennen biotechnologisch relevante Mikroorganismen in der angewandten Mikrobiologie und können mikrobielle Verfahren zur Stoffproduktion und -umwandlung beschreiben. Studierende kennen die Mechanismen der mikrobiellen Regulation auf Transkriptions- und Translationsebene. Studierende können die Interaktionen zwischen Mikroorganismen untereinander und mit ihren Wirten erklären und analysieren. Methodenkompetenz Studierende können steril arbeiten, mikrobiologische Arbeitstechniken selbstständig anwenden und insbesondere im Hinblick auf die Masterarbeit eigenständig Wachstumsversuche mit Mikroorganismen durchführen und die Regulation von Schlüsselreaktionen analysieren. Selbst- und Sozialkompetenz Studierende kennen die üblichen Verfahren und Grundsätze wissenschaftlichen Arbeitens in der Mikrobiologie. Studierende können selbstständig durchgeführte wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Mikrobiologie schriftlich zusammenfassen und präsentieren.
LEHRINHALTE	Grundlagen der Mikrobiologie und der Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels - Vielfalt der Mikroorganismen & Rolle der Mikroorganismen in der Natur und in der Biotechnologie - Viren - Grundlagen der Biochemie und Biochemie mikrobieller Strukturen - Zellbiologie der Mikroorganismen - Wachstum und Ernährung von Mikroorganismen - Grundlagen des mikrobiellen Energiestoffwechsels: Energiekonservierung, aerobe und anaerobe Atmung, Gärung, Chemoorganotrophie, Chemolithotrophie, Phototrophie - Grundlagen des mikrobiellen Baustoffwechsels: Heterotrophie, Autotrophie, Anaplerotik - Transportmechanismen für Nährstoffe und Produkte Angewandte Mikrobiologie - Biotechnologisch relevante Mikroorganismen - Fermentations- und aufarbeitungstechnische Grundlagen

	- Stoffproduktion und -umwandlung mit ganzen Zellen, u.a. mikrobielle Herstellung von Bio-Ethanol, organischen Säuren, Aminosäuren, höherwertigen und verzweigten Alkoholen und Antibiotika Mikrobielle Regulation - Mechanismen der bakteriellen Transkription und Translation - Proteinbasierte Regulation an DNA - RNA-basierte Regulation an DNA - Enzym-basierte Regulation Interaktionen von Mikroorganismen untereinander und mit ihren Wirten - Grundlegende Arten der Interaktion: Probiotik, Mutualismus, Parasitismus - Interaktion mit Wirtszellen: Adhäsion und Invasion - Verlauf von Infektionen - Wirtsabwehr/Immunität Mikrobiologische Übungen im Labor - Erlernen mikrobiologischer Arbeitstechniken, die es ermöglichen, Mikroorganismen in Reinkulturen zu züchten - Quantitative Erfassung des Bakterienwachstums und Untersuchung von Stoffwechsel- und Regulationsprozessen
LITERATUR	- Madigan MT., Martinko JM.: <i>Biology of Microorganisms</i>, 14. Auflage, Pearson Education; Inc., Upper Saddle River, USA, 2015 (oder 13. Aufl. 2012) - Fuchs, Eitinger, Heider, Kemper, Kothe: <i>Allgemeine Mikrobiologie</i>, 9. Aufl., Thieme Verlag, 2014 - Steinbüchel A, Oppermann-Sanio FB.: <i>Mikrobiologisches Praktikum</i>, 1. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, 2003 - Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts, Walter: <i>Molekularbiologie der Zelle</i>, 6. Aufl., Garland Publishing, 2017 (entspricht der englischen Version von 2014, Wiley-Verlag) - Voet, Voet, Pratt: <i>Lehrbuch der Biochemie</i>. 2. Aufl. Wiley-VCH Verlag, 2010 - Nordheim Knippers u.a.: <i>Molekulare Genetik</i>, 10. Auflage. Georg Thieme Verlag KG, 2015 - Watson, Baker, Bell, Gann, Levine, Losick: <i>Molekularbiologie</i>, 6. Auflage. Pearson Studium, 2011 - Cossart P., Boquet P., Normark S., Rappuoli R.: <i>Cellular Microbiology</i>, 2. Auflage, ASM Press, USA, 2005 - Ofek I., Hasty D.I., Doyle R.J.: <i>Bacterial Adhesion to Animal Cells and Tissues</i>, ASM Press, USA, 2003

	- Sahm H., Antranikian G., Stahmann K.-P., Takors R.: <i>Industrielle Mikrobiologie</i>, Springer-Verlag, Berlin, 2013 - Bisswanger, H.: <i>Enzyme</i>, 1. Auflage, Wiley-VCH, 2015
--	---

2 Inhaltsverzeichnis

Inhalt

Kapitel 1

Grundlagen der Mikrobiologie und der Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels	1
1.1 Allgemeine Mikrobiologie	2
1.1.1 Einführung	2
1.1.2 Vielfalt der Mikroorganismen	5
1.1.2.1 Bakterien (Bacteria)	5
1.1.2.2 Archaeen (Archaea)	7
1.1.2.3 Eukaryotische Mikroorganismen: Ein- oder wenigzellige Organismen mit einem Zellkern	8
1.1.2.4 Viren	11
1.1.3 Geschichte der Mikrobiologie	12
1.1.4 Die Rolle der Mikroorganismen in der Natur	12
1.1.4.1 Einführung	12
1.1.4.2 Biomassekreislauf	13
1.1.4.3 Kohlenstoffkreislauf	14
1.1.4.4 Stickstoffkreislauf	15
1.2 Allgemeine Virologie	17
1.2.1 Einführung	17
1.2.2 Bakterielle Viren: Phagen	18
1.2.2.1 Lytische Phagen	18
1.2.2.2 Temperente Phagen	19
1.2.3 Viren, die eukaryotische Zellen befallen	20
1.2.3.1 Tierviren	20
1.2.3.2 Pflanzenviren	21
1.3 Grundlagen der Biochemie mikrobieller Strukturen	22
1.3.1 Grundbausteine biologischer Strukturen	23
1.3.1.1 Zucker und Polysaccharide	25
1.3.1.2 L-Aminosäuren und Proteine	26
1.3.1.3 Nukleotide und Nukleinsäuren	28
1.3.1.4 Fettsäuren und Lipide	29

1.4	Zellbiologie: Zelluläre Strukturen von Mikroorganismen und ihre Funktion . .	31
1.4.1	Cytoplasmamembran und intrazelluläre Membransysteme	33
1.4.2	Zellwand, Cytoskelett und Fortbewegung	37
1.4.2.1	Die Zellwand	37
1.4.2.2	Das Cytoskelett	40
1.4.2.3	Fortbewegung	41
1.4.3	Zelleinschlusskörper	42
1.4.4	Dauerformen	43
1.4.5	Struktur und Organisation des genetischen Systems in Mikroorganismen	44
1.4.6	Strukturen und Organisation der Genexpression und der Proteinbiosynthese	48
1.4.7	Unterschiede zwischen Bakterien, Archaeen und Eukaryoten	51
1.5	Wachstum und Ernährung von Mikroorganismen	53
1.5.1	Wachstum	53
1.5.2	Nährstoffe und Nährmedien	55
1.6	Stoffwechsel	57
1.6.1	Energie- und Leistungstoffwechsel und Stoffwechseltypen	57
1.6.2	Mechanismen der Energiekonservierung	60
1.6.2.1	Substratstufenphosphorylierung	61
1.6.2.2	Elektronentransportphosphorylierung	61
1.6.3	Chemoorganotrophe Organismen I: Zentrale Abbaupfade für die Oxidation organischer Verbindungen	63
1.6.3.1	Hydrolyse von Polymeren	63
1.6.3.2	Abbau von Zuckern zu C3- und C2-Verbindungen	65
1.6.3.3	Oxidation von Pyruvat	68
1.6.3.4	β -Oxidation von Fettsäuren	69
1.6.3.5	Citratzyklus	70
1.6.4	Chemoorganotrophe Organismen II: Aerobe und anaerobe Atmung	72
1.6.4.1	Aerobe Atmung	73
1.6.4.2	Anaerobe Atmung	74
1.6.4.3	ATP-Synthase	76
1.6.5	Chemoorganotrophe Organismen III: Mikrobielle Gärungen	77
1.6.5.1	Alkoholische Gärung	78
1.6.5.2	Milchsäuregärung	79
1.6.5.3	Gemischte Säuregärung	80
1.6.5.4	Buttersäuregärung	82
1.6.6	Chemolithotrophe Organismen	84
1.6.7	Phototrophe Organismen	87
1.6.7.1	Elektronentransport mit einem Photosystem: Anoxygen Photosynthese	89

1.6.7.2	Elektronentransport mit zwei Photosystemen: Oxygene	
	Photosynthese	90
1.6.8	Baustoffwechsel	92
1.6.8.1	Heterotrophie	92
1.6.8.2	Gluconeogenese	93
1.6.8.3	Anaplerotische Reaktionen	94
1.6.8.4	Autotrophie: Die CO ₂ -Fixierungswege	95
1.6.8.5	Biosynthese der Zellbausteine	99
1.6.8.6	Synthese von Polymeren	101
1.6.9	Stoffaufnahme und Membrantransport	103
1.6.9.1	Transport von Ionen und kleinen organischen Verbindungen	103
1.6.9.2	Transport von Proteinen	106

A Anhang

Literatur	109
Abbildungsverzeichnis	110
Tabellenverzeichnis	116

Inhalt

Kapitel 2	Angewandte Mikrobiologie	1
2.1	Biotechnologische Prozesse mit Mikroorganismen und Enzymen	2
2.1.1	Biotechnologische Produktionsverfahren mit Mikroorganismen	4
2.2	Stoffproduktion und Stoffumwandlung mit ganzen Zellen	13
2.2.1	Verwendung von Mikroorganismen im Lebensmittelbereich	13
2.2.2	Backhefe	15
2.2.3	Bier	18
2.2.4	Bio-Ethanol und andere fermentativ erzeugte (höherwertige) Alkohole ..	20
2.2.5	Organische Säuren	24
2.2.6	Aminosäuren	30
2.2.7	Vitamine	37
2.2.8	Antibiotika	39

A Anhang

Literatur	50
Abbildungsverzeichnis	52
Tabellenverzeichnis	55

Inhalt

Kapitel 3	Mikrobielle Regulation	1
3.1	Transkription	2
3.2	Translation	3
3.3	Protein-basierte Regulation an DNA	6
3.3.1	Induktion und Repression	8
3.3.2	Regulation durch DNA-Methylierung	9
3.3.3	Katabolitrepression	10
3.3.3.1	cAMP-abhängige Katabolitrepression bei <i>E. coli</i>	10
3.3.3.2	cAMP-unabhängige Katabolitrepression bei <i>E. coli</i>	12
3.3.3.3	cAMP-unabhängige Katabolitrepression bei <i>Bacillus subtilis</i>	12
3.3.4	Zwei-Komponenten-Systeme	13
3.3.4.1	Arc-System in <i>E. coli</i> (<i>aerobic respiration control</i>)	14
3.3.4.2	Chemotaxis in <i>E. coli</i>	15
3.3.5	FNR-Kontrolle	16
3.3.6	Regulation durch alternative Sigma-Faktoren	17
3.3.6.1	Hitzeschock-Antwort in <i>E. coli</i>	17
3.3.6.2	Sporulation in <i>Bacillus subtilis</i>	18
3.3.7	Endprodukthemmung	22
3.3.8	Autogene Regulation	23
3.4	RNA-basierte Regulation	24
3.4.1	Attenuation	24
3.4.2	Riboschalter (<i>riboswitches</i>)	27
3.4.3	T-Box-Regulation	29
3.4.4	Regulation durch modifizierte Basen der tRNA	31
3.4.5	Regulation durch selten genutzte tRNAs	32
3.4.6	Regulation durch kleine, regulatorische RNAs	33
3.4.7	Quorum sensing	36
3.4.8	Regulation über mRNA-Stabilität	39
3.4.9	Stringente Kontrolle (<i>stringent response</i>)	39

3.5	Regulation auf Ebene der Enzymaktivität	40
3.5.1	Rückkopplungshemmung (<i>feedback inhibition</i>)	40
3.5.2	Kovalente Modifikation von Enzymen	41
3.5.3	Regulation der Glutamin-Synthetase und des Stickstoff-Stoffwechsels in <i>E. coli</i>	42

A Anhang

Abbildungsverzeichnis	47
--	-----------

Inhalt

Kapitel 4	Interaktionen von Mikroorganismen mit ihren Wirten	1
4.1	Einführung	2
4.2	Grundlegende Arten der Interaktion von Mikroorganismen mit dem Wirt	6
4.2.1	Probiose und Mutualismus	6
4.2.2	Parasitismus	7
4.2.3	Koevolution von Wirt und Mikroorganismen	9
4.2.4	Wichtige humanpathogene Mikroorganismen	10
4.2.4.1	Virale Krankheitserreger	10
4.2.4.2	Bakterielle Krankheitserreger	13
4.2.4.3	Eukaryotische Krankheitserreger	16
4.2.4.4	Behandlung von Infektionskrankheiten – Antibiotika und die Folgen	18
4.3	Verlauf von Infektionen	21
4.3.1	Adhäsion	22
4.3.2	Invasion	22
4.3.3	Ausbreitung im Wirt	25
4.4	Wirtsabwehr/Immunität	26
4.4.1	Grundlegende Mechanismen der Wirtsabwehr	26
4.4.2	Angeborene Immunität	29
4.4.3	Adaptive/erworbene Immunität	31
4.4.4	Resistenz gegen Wirtsabwehrmechanismen	35

A Anhang

Abbildungsverzeichnis	38
------------------------------	-----------

3 Leseprobe

Grundlagen der Mikrobiologie und der Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels

Autor: **Prof. Dr. Eikmanns**

In diesem ersten Kapitel des Moduls möchten wir die Grundlagen in den wichtigsten Gebieten der Mikrobiologie und der Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels ansprechen. Diese Grundlagen sind die Voraussetzung für das Verständnis der folgenden Kapitel des Moduls. Wir möchten darauf hinweisen, dass dieses Kapitel kein Lehrbuch ersetzt und so wie es konzipiert ist, nicht ausreicht, um die angesprochenen Gebiete für das Verständnis der Themengebiete in den nachfolgenden Kapiteln detailliert abzudecken.

Für die Vor- und Nachbereitung, Vertiefung und Erweiterung der Inhalte dieses Kapitels sei verwiesen auf die entsprechenden Teile in den Lehrbüchern:

- Madigan, Martinko, Bender, Buckley, Stahl (2014). **Brock Biology of Microorganisms**, 14. Auflage. Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, USA. (entspricht der deutschen Version **Brock Mikrobiologie** von 2015)
- Fuchs, Eitinger, Heider, Kemper, Kothe (2014). **Allgemeine Mikrobiologie**, 9. Auflage. Thieme Verlag.
- Alberts, Johnson, Lewis, Morgan, Raff, Roberts, Walter (2017). **Molekularbiologie der Zelle**, 6. Aufl., Garland Publishing (entspricht der englischen Version von 2014, Wiley-Verlag)
- Voet, Voet, Pratt (2010). **Lehrbuch der Biochemie**. 2. Aufl. Wiley-VCH Verlag

sowie auf die im Text zitierten Übersichtsartikel/Reviews (Referenzliste am Ende des Kapitels). Alle genannten Lehrbücher sind in der Bibliothek der Universität Ulm vorhanden und ausleihbar.

1.1 Allgemeine Mikrobiologie

1.1.1 Einführung

Die Mikrobiologie ist die Wissenschaft und Lehre der Mikroorganismen, also ein- oder wenigzelliger Organismen, die in der Regel nicht mit dem bloßen Auge beobachtet werden können. Es ist dabei zwischen Prokaryoten, einzelligen Organismen mit einfacherem Zellaufbau und Eukaryoten, Organismen mit komplexerem Zellaufbau zu unterscheiden. Zu den eukaryotischen Lebewesen zählen auch alle vielzelligen Organismen, wie die höheren Pilze, die Pflanzen und die Tiere. Beispiele für typische Mikroorganismen sind in Abbildung 1.1 gezeigt. Weiterer Forschungsgegenstand der Mikrobiologie sind Viren. Bei diesen handelt es sich nicht um selbstständige Lebewesen, sondern um infektiöse Partikel, die als intrazelluläre Parasiten prokaryotische oder eukaryotische Zellen befallen und diese zur Produktion neuer Viruspartikel umsteuern.

Die Mikrobiologie beschäftigt sich mit Strukturen, dem Stoffwechsel, der Vielfalt und der Evolution der Mikroorganismen. Da Mikroorganismen zur Herstellung von Lebensmitteln und zur industriellen Herstellung einer Vielzahl von Produkten eingesetzt werden, genauso aber als Krankheitserreger oder Fäulnisverursacher große Schäden anrichten können, kommt der Erforschung von Eigenschaften und Fähigkeiten dieser Organismen und der Analyse der Wechselwirkungen mit anderen Organismen große Bedeutung zu.

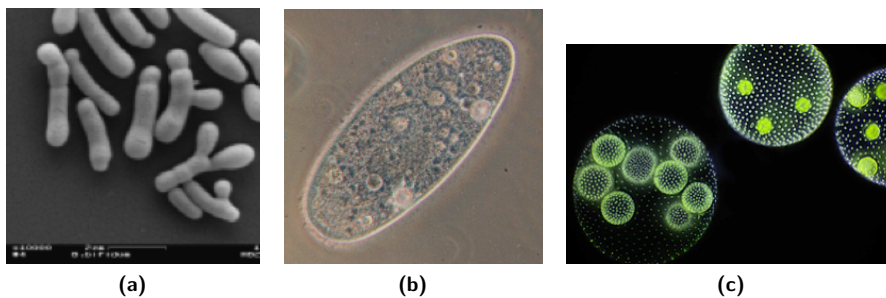


Abb. 1.1: Beispiele für Mikroorganismen: (a) Bakterium *Bifidobacterium bifidum*; (b) Einzelliger Eukaryot *Paramecium*; (c) Vielzellige Grünalge *Volvox* (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

Alle Lebewesen (und damit auch alle Mikroorganismen) zeichnen sich durch bestimmte Eigenschaften aus:

- Sie bestehen aus einer oder mehreren **Zellen**, welche strukturell durch eine Zellmembran (Cytoplasmamembran) vom äußeren Milieu abgegrenzt sind und ein eigenständiges und selbsterhaltendes System darstellen. Im Inneren der Zellen befindet sich das Cytoplasma, eine hochviskose Flüssigkeit, in der eine Reihe von gelösten Proteinen und Stoffwechsel-Zwischenprodukten und z. T. komplexe Strukturen (z. B. Ribosomen oder Organellen) ungelöst vorliegen.

- Sie betreiben **Stoffwechsel (Metabolismus)**. Der Stoffwechsel beschreibt die Gesamtheit aller chemischen Reaktionen des Lebewesens, jede von einem spezifischen Enzym (Biokatalysator, ein Protein) katalysiert. Der Stoffwechsel kann unterteilt werden in Energiestoffwechsel, Baustoffwechsel und Leistungsstoffwechsel. Der **Energiestoffwechsel** beinhaltet die Reaktionen und Stoffwechselwege zur Bereitstellung von Energie. Wenn dabei organische Verbindungen abgebaut werden, wird er auch als **Katabolismus** bezeichnet. Der **Baustoffwechsel (Anabolismus)** besteht aus den Reaktionen und Stoffwechselwegen zur Bereitstellung aller Zellkomponenten, er benötigt Energie. Der **Leistungsstoffwechsel** umfasst den Anabolismus und zusätzlich die Reaktionen, die der Fortbewegung und dem Transport in oder aus der Zelle dienen, er benötigt ebenfalls Energie.
- Sie enthalten **ATP** als universell verbreitete Energiewährung; ATP ist der chemische Energiespeicher, der durch den Energiestoffwechsel aufgeladen wird und aus dem der Leistungsstoffwechsel die benötigte Energie bezieht.
- Sie besitzen Erbmaterial, die Gesamtheit des Erbmaterials in einem Organismus wird als **Genom** bezeichnet. Es besteht aus einem oder mehreren Desoxyribonukleinsäure-(DNA-)Molekülen. Einige Viren besitzen auch Ribonukleinsäuren (RNA) als Erbmaterial. DNA besteht aus einer doppelsträngigen Helix, beide Stränge sind aus Nukleotiden aufgebaut und sie werden durch Wasserstoffbrücken zwischen den Basen der Nukleotide zusammengehalten. Die Größe eines DNA-Fragmentes oder die Größe des Genoms in einem Organismus wird in der Anzahl der Basenpaare angegeben. Im Genom bzw. auf Abschnitten der DNA befinden sich **Gene**, die die Bauanleitung für ein Protein oder für eine funktionelle RNA (z. B. tRNA, rRNA) darstellen.
- Sie können ihr Genom (basengenau) vervielfältigen (replizieren). **Replikation** des Genoms ist Voraussetzung für Zellteilung und Vermehrung.
- Sie exprimieren Gene des Genoms und synthetisieren Proteine nach Bauanleitung der entsprechenden Gene. Diese sogenannte **Gen-Expression** umfasst die Umschreibung (Transkription) der Geninformation (DNA) in Boten-RNA (messenger RNA oder mRNA) und die Übersetzung der Information in eine Aminosäuresequenz des Proteins (Translation) mithilfe der Ribosomen.

Nach heutigem Verständnis ist jedes Lebewesen einem von drei Domänen zuzuordnen, den **Bakterien (Bacteria)**, den **Archaeen (Archaea)** und den **Eukaryoten (Eukarya)**. Bakterien und Archaeen werden auch als **Prokaryoten** zusammengefasst (Abbildung 1.2). Die evolutive Entwicklung von Organisation und Funktionsweise der Lebewesen wird als Stammesgeschichte oder Phylogenese bezeichnet (Gegensatz: Ontogenese, Entwicklung eines Individuums). Aktuelle Stammbäume, die die Aufspaltung der drei Domänen und deren Weiterentwicklung ausgehend von einem postulierten, universellen, gemeinsamen Vorfahren (LUCA: Last Universal Common

Ancestor) darstellen, stützen sich in der Regel auf Genomanalysen der heute lebenden Organismen.

Näheres zur Evolution der Mikroorganismen siehe Lehrbuch „Brock Biology of Microorganisms“.

Lesetipp
(Weblink): Artikel
aus „Die Zeit“
vom Juli 2016

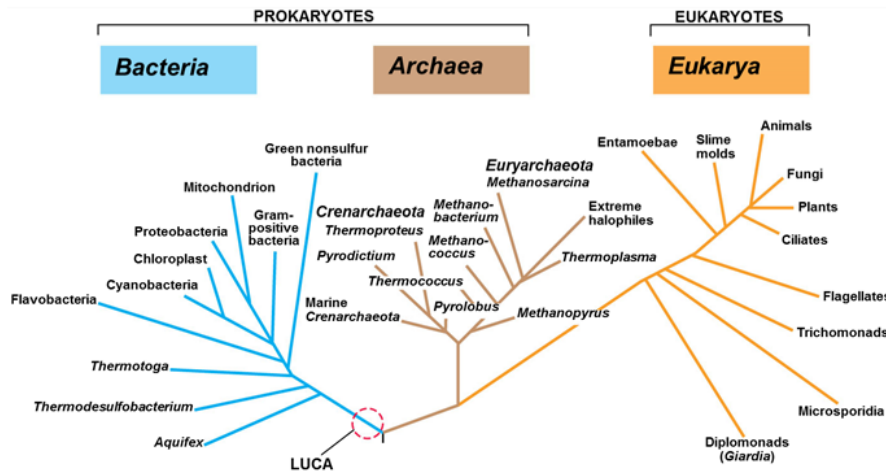


Abb. 1.2: Phylogenetischer Stammbaum der Lebewesen (Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis)

Die stets einzelligen prokaryotischen Organismen (Bakterien und Archaeen) verfügen nicht über komplexe, von Doppelmembranen umgebene Organellen und auch nicht über einen von Membranen umgebenen Zellkernbereich. Bakterien und Archaeen unterscheiden sich insbesondere im biochemischen Aufbau von Zellmembran und Zellwand, aber auch in Komponenten der Genexpression sowie in einer Reihe von Stoffwechseleigenschaften voneinander.

Die Eukaryoten, welche Pilze, Algen, Pflanzen und Tiere und dabei sowohl ein- und wenigzellige (also im Rahmen der Mikrobiologie untersuchte) und auch vielzellige Organismen umfassen, weisen in ihren Zellen komplexe Organellen (Mitochondrien, Chloroplasten), Membrankompartimente (z. B. Golgiapparat, Endoplasmatisches Retikulum) und einen durch Membransysteme abgegrenzten Zellkern auf, in dem sich das Erbmaterial befindet und in dem die Replikation und die Transkription der DNA erfolgt.

Informationen zur Größe von Mikroorganismen in Relation zur Größe von kleinen oder komplexen Molekülen einerseits und den Zellen mehrzelliger, eukaryotischer Zellen andererseits gibt Abbildung 1.3. Als Faustregeln gelten: 1) Bakterien und Archaeen sind in der Regel 1 – 5 µm groß und damit knapp 1 Millionen mal kleiner als der Mensch, 2) Die meisten eukaryotischen Zellen sind 10 bis 100 mal größer als Bakterien und Archaeen, 3) Die kleinsten Bakterien und Archaeen sind so groß wie die größten Viren (knapp 0,2 µm), die kleinsten Viren messen etwa 0,02 µm. Ausnahmen bestätigen

die Regel: die größten Bakterien (*Thiomargarita namibiensis*) messen 250 µm im Durchmesser und bis 800 µm in der Länge, sie sind mit bloßem Auge sichtbar.

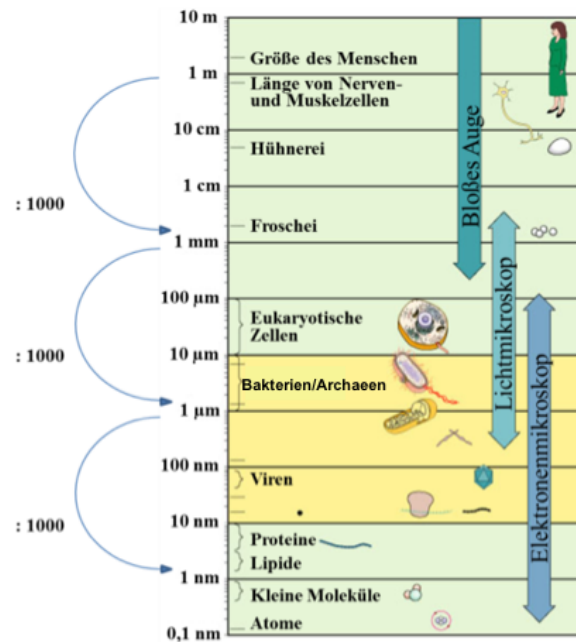


Abb. 1.3: Größenverhältnisse: vom Atom zum mehrzelligen Organismus (Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis)

1.1.2 Vielfalt der Mikroorganismen

Im Folgenden wird kurz auf Bakterien, Archaeen und auf die eukaryotischen Mikroorganismen sowie auf Viren eingegangen. Die Zellbiologie, die zellulären Strukturen der Mikroorganismen und ihre Funktion, das Wachstum und die Ernährung von Mikroorganismen und der Energie- und Leistungsstoffwechsel werden in den folgenden Kapiteln (1.3 – 1.6) näher und detailliert behandelt.

1.1.2.1 Bakterien (Bacteria)

Bakterien sind ubiquitär verbreitet, darunter befinden sich viele nützliche Vertreter, aber auch eine Vielzahl von Krankheitserregern (pathogene Bakterien). Bakterien wurden zum ersten Mal 1676 von Antonie van Leeuwenhoek mit Hilfe eines einfachen Lichtmikroskops in Wasserproben beobachtet. Auch die Bezeichnung (*bacterion*: griechisch, kleines Stäbchen) stammt von van Leeuwenhoek. Man findet bis zu 1×10^9 Bakterien in einem Gramm einer Bodenprobe, bis zu 1×10^6 Bakterien pro Milliliter Süßwasser und im Dickdarm des Menschen bis zu 1×10^{12} Bakterien pro Gramm Darminhalt.

Bakterien

Modell-Organismen für die Bakterien sind *Escherichia coli* (u. a. ein Darmbewohner von Wirbeltieren) und *Bacillus subtilis*. Diese beiden Organismen lassen sich einfach

züchten und untersuchen, ihre Genome sind vollständig entschlüsselt und sie wurden vielfältig für die Erforschung grundlegender Prozesse der Zellbiologie, Genetik, Molekularbiologie und Stoffwechselphysiologie eingesetzt.

Je nach Stoffwechseltyp können sich Bakterien über Sonnenlicht oder über die Oxidation anorganischer oder organischer Verbindungen mit Energie versorgen und werden dementsprechend entweder als **phototroph** oder als **chemotroph** bezeichnet (siehe Kapitel 1.6.1). Bakterien-Zellen können sehr unterschiedlich geformt sein (kleine oder große Kugeln, kurze, lange, keulenförmige oder verzweigte Stäbchen, kurze oder lange Vibrien oder Spiralen und sie können auch Zellaggregate bilden (Abbildung 1.4). Es gibt jedoch keine wirkliche Vielzelligkeit. Einen Überblick über die Hauptgruppen der Bacteria gibt Abbildung 1.5. Die Genomgröße der Bakterien ist sehr variabel und reicht von 0,16 (*Carsonella ruddii*) bis zu 12,2 Mega-Basenpaaren (Mb) (*Sorangium cellulosum*).

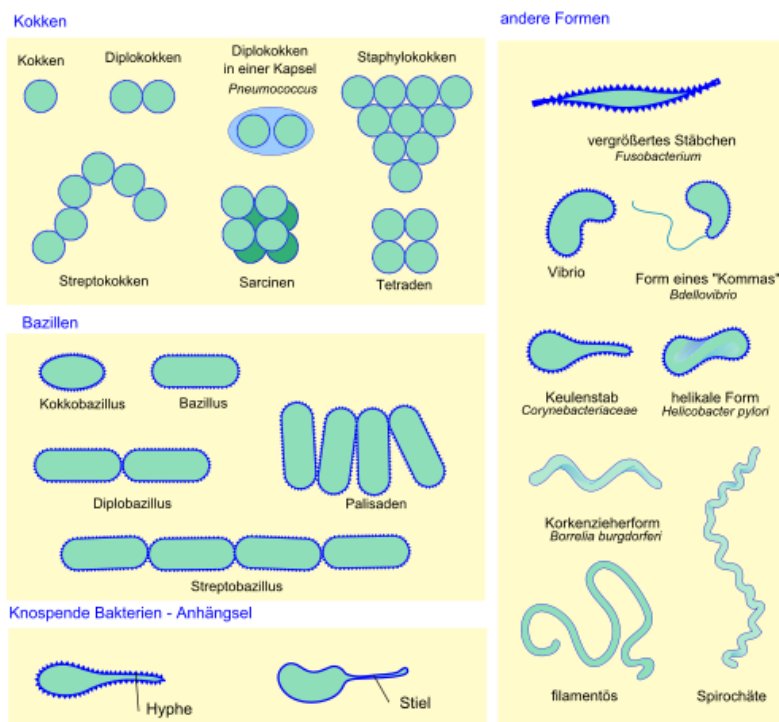


Abb. 1.4: Morphologische Diversität von Bakterien (Quelle: siehe Abbildungsverzeichnis)

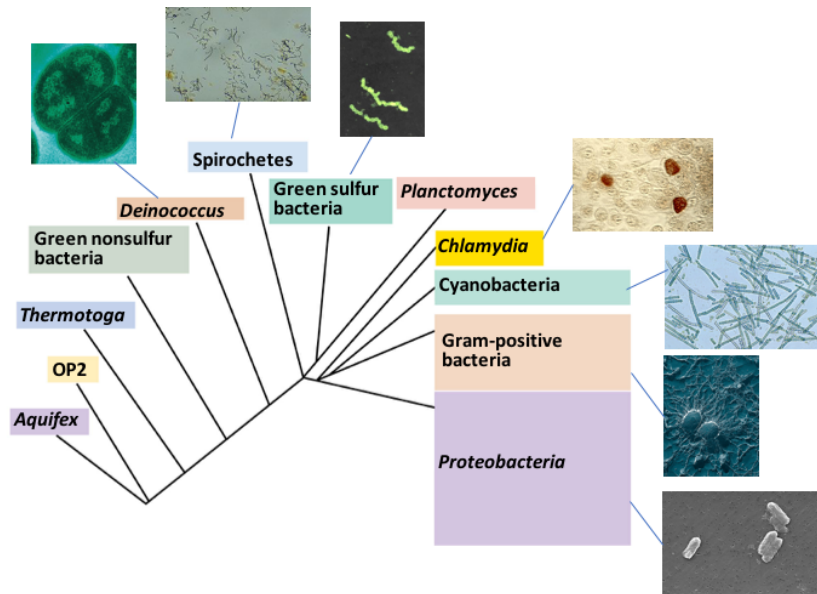


Abb. 1.5: Hauptgruppen der Bakterien und beispielhafte Erscheinungsformen (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

1.1.2.2 Archaeen (Archaea)

Die ersten Vertreter der (ebenfalls) einzelligen Archaeen wurden in Habitaten mit extremen Umweltbedingungen entdeckt. Obwohl es auch Vertreter gibt, die unter „normalen“ (gemäßigten) Bedingungen leben, zeichnen sich viele Archaeen dadurch aus, dass sie außergewöhnliche Temperatur-, Salz- oder pH-Bedingungen tolerieren oder sogar benötigen. Daraus resultierte auch die ursprüngliche Bezeichnung „Urbakterien“. Heute ist aber klar, dass auch die Archaeen ubiquitär verbreitet sind. So finden sich Vertreter im Boden, im Verdauungstrakt von Wiederkäuern, im Intestinaltrakt von Wirbeltieren und in aeroben und in anaeroben Sedimenten von Süß- und Meerwasser. Durch kultivierungsunabhängige, molekularbiologische Untersuchungen ist deutlich geworden, dass Archaeen eine entscheidende Rolle im Ökosystem der Erde, d. h. in den Stoffkreisläufen (z. B. Kohlenstoff-, Stickstoff-, Schwefelkreislauf) spielen.

Archaeen

Die Archaeen werden in **Euryarchaeoten** und **Crenarchaeoten** unterteilt. Zur ersten Gruppe, d. h. zum ersten Stamm (Phyllum), gehören die methanbildenden (methanogenen) und die salzliebenden (halophilen) Archaeen und die Thermococcales, zur zweiten u. a. die Schwefel-umsetzenden Sulfolobales. Aus den Klassen der Methanbildner, der Haloarchaeen, der Thermococcales und der Sulfolobales stammen auch die Modell-Organismen für die Archaeen, z. B. *Methanococcus* und *Methanosarcina*, *Halobacterium* und *Haloferax*, *Pyrococcus* und *Thermococcus* sowie *Sulfolobus*. Bisher sind keine (human-)pathogenen Vertreter bekannt. Beispiele für Vertreter der Archaeen zeigt Abbildung 1.6.

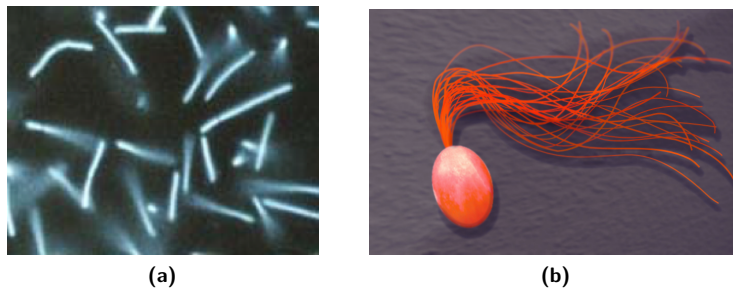


Abb. 1.6: Archaea (a) *Methanopyrus kandleri*, ein Methanbildner; (b) *Pyrococcus furiosus*, ein thermophiler Vertreter (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

Viele der bisher bekannten Archaeen benötigen zum Wachstum keine organischen Verbindungen, sie gewinnen den Kohlenstoff zum Aufbau ihrer Zellmasse ausschließlich durch Assimilation von Kohlendioxid (CO_2), sie sind autotroph. Aber auch Heterotrophie, die Gewinnung des Kohlenstoffs aus organischen Verbindungen, ist verbreitet. Viele der bisher kultivierten Archaeen zeichnen sich außerdem durch einen anaeroben Stoffwechsel aus, d. h. sie benötigen keinen Sauerstoff, für viele anaerobe Archaeen ist Sauerstoff sogar toxisch.

Wie die Bakterien sind auch die Archaeen in ihrer Form äußerst divers. Die Größen bzw. Längen der Archaeen-Zellen reichen von 0,4 (*Nanoarchaeum*) bis zu 100 μm (*Methanospirillum*), die meisten haben eine Größe/Länge von 1 – 2 μm . Die Zellen zeigen verschiedenste Formen, z. B. Kokken, Stäbchen, Spirillen, gelappte Kokken, Scheiben, lange Filamente oder sogar Quadrate (*Haloquadratum*).

1.1.2.3 Eukaryotische Mikroorganismen: Ein- oder wenigzellige Organismen mit einem Zellkern

Alle ein- bis wenigzelligen Eukaryoten, die nicht explizit als Tiere, Pflanzen oder höhere Pilze klassifiziert werden, können als Protisten bezeichnet werden. Es handelt sich dabei um Protozoen, Algen, Schleimpilze, Schimmelpilze und Hefen. Sie alle besitzen Membran-umhüllte Kompartimente, einen Zellkern und Organellen wie Mitochondrien (und Chloroplasten bei den Algen), bilden aber keine spezialisierten Gewebe aus wie Tiere und Pflanzen.

Eukaryotische
Mikroorganismen

Protozoen (Abbildung 1.7) sind einzellige Mikroorganismen, die sich durch Aufnahme und Abbau von organischen Verbindungen aus ihrer Umgebung ernähren. Die Bereitstellung der in der Nahrung enthaltenen Energie (ATP) erfolgt hauptsächlich in den Mitochondrien. Die Aufnahme der Nahrungspartikel erfolgt durch Phagozytose in Membran-umhüllte Vesikel. Es erfolgt eine Fusion mit Lysosomen und der Verdau des Inhaltes. Mittels Diffusion oder aktivem Transport werden die Nährstoffe ins Cytoplasma befördert. Zur Gruppe der Protozoen gehören, Flagellaten, Amöben, Ciliaten und Sporozoen.

- **Flagellaten** (Abbildung 1.7a) verfügen über eine einzige bis zu Tausenden namensgebender Flagellen (Geißeln), deren Primärfunktion in der Fortbewegung besteht, daneben können sie zum Herbeistrudeln von Nahrungspartikeln und zum Verankern am Substrat dienen. Es gibt einige humanpathogene Vertreter.
- **Amöben** oder *Wechseltierchen* sind eine große, vielgestaltige Gruppe von Einzellern, die keine feste Körperform besitzen, sondern durch Ausbildung von Scheinfüßchen (Pseudopodien) ihre Gestalt laufend ändern (Abbildung 1.7b). Große Nahrungspartikel können umschlossen und aufgenommen werden. Die Pseudopodien werden auch für die charakteristische, gleitende Fortbewegung verwendet. Einige Vertreter sind Parasiten des Menschen, zum Beispiel der Erreger der Amöbenruhr (*Entamoeba histolytica*).
- **Ciliaten** oder *Wimperntierchen* (Abbildung 1.7c) sind Protozoen, die sich durch koordinierte Bewegung zahlreicher Cilien (Wimpern) auf ihrer Zelloberfläche fortbewegen. Die Cilien sind in der Struktur den eukaryotischen Flagellen sehr ähnlich, jedoch kürzer und in größerer Anzahl vorhanden.
- **Sporozoen** (Abbildung 1.7d) bilden eine große Gruppe obligat parasitisch, also im Körper vielzelliger Eukaryoten lebender Protozoen. Sie betreiben keine Phagozytose, sondern nehmen Nährstoffe durch Absorption in gelöster Form über die Cytoplasmamembran auf. Sie besitzen einen komplexen Lebenszyklus mit mehreren Stadien und Zwischen- und Endwirten. Wichtige Humanparasiten sind zum Beispiel *Plasmodium sp.* (Malaria) und *Toxoplasma sp.* (Toxoplasmose).

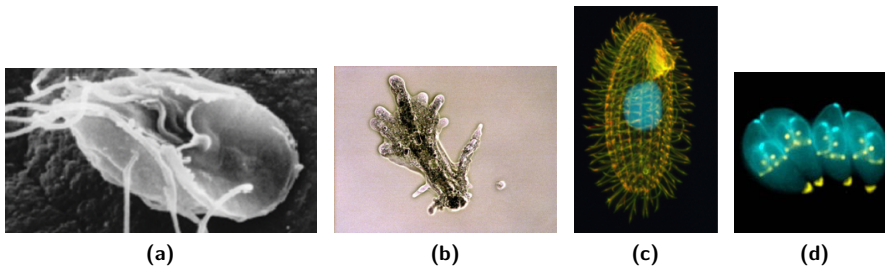


Abb. 1.7: Protozoen: (a) Flagellat *Giardia intestinalis*, Geißeln deutlich sichtbar; (b) Amöbe *Amöba proteus*; (c) Ciliat *Tetrahymena thermophila*; (d) Sporozoe *Toxoplasma gondii* (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

Algen gehören zu den Pflanzen, sind ein- oder mehrzellig und nutzen die Energie des Sonnenlichtes zur Ernährung und Vermehrung, leben also phototroph. Ihre Zellen verfügen dazu über spezielle Organellen, die Chloroplasten. Mehrzellige Vertreter bilden keine der die höheren Pflanzen kennzeichnenden Organe (z. B. Wurzel, Blätter, Leitbündel) aus. Die wichtigsten Gruppen der Algen sind die **Grünalgen (Chlorophytes)** als die nächsten Verwandten der höheren Pflanzen, z. B. *Volvox* (Abbildung 1.8a), die **Rotalgen (Rhodophytes)**, z. B. *Polysiphonia cystocarp* (Abbildung 1.8b),

die **Braunalgen** (*Heterokontophytes*) und die **Kieselalgen** (*Diatomaeen*), z. B. *Gomphonema* (Abbildung 1.8c).

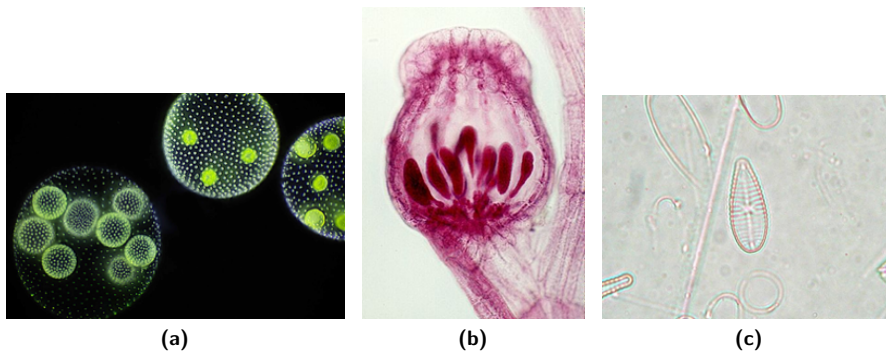


Abb. 1.8: Algen (a) *Volvox*; (b) *Polysiphonia cystocarp*; (c) *Gomphonema olivaceum* (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

Schleimpilze besitzen einen komplexen Lebenszyklus, der durch Wechsel zwischen solitärer Lebensweise als einzellige Amöben und der Ausbildung vielzelliger Fruchtkörper und Bildung und Freisetzung von Sporen gekennzeichnet ist (Abbildung 1.9a).

Schimmelpilze sind eine heterogene Gruppe von filamentösen Eukaryoten, die ein Geflecht (Mycel) von Hyphen bilden (Abbildung 1.9b). Sie leben saprophytisch (d. h. von totem, organischen Material) und wachsen sehr schnell. Ein bedeutender Modell-Organismus für die Schimmelpilze ist *Neurospora crassa*.

Hefen sind einzellige eukaryotische Organismen, die sich meist ungeschlechtlich (vegetativ) durch Knospung vermehren (Abbildung 1.9c). Dabei wächst eine Tochterzelle aus einer Mutterzelle aus. Es gibt einige pathogene Vertreter. Als Eukaryoten sind Hefen im Allgemeinen wesentlich größer als die meisten Prokaryoten und sie besitzen typische Zellstrukturen der Eukaryoten. *Saccharomyces cerevisiae*, die Bäcker- und Brauerhefe, ist deshalb auch der wichtigste Modell-Organismus für die eukaryotische Zellbiologie.

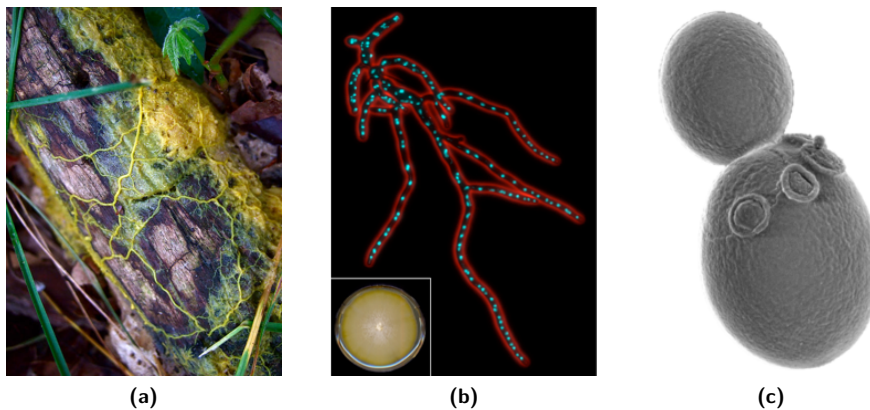


Abb. 1.9: Pilze (a) der Schleimpilz *Physarum*; (b) Fluoreszenzmikroskopische Aufnahme des Mycel von *Ashbya gossypii* (Zellkerne markiert); (c) Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

1.1.2.4 Viren

Viren bilden keine Zellen, sie bestehen in der Regel nur aus Erbmateriale (DNA, RNA, einzel- oder doppelsträngig) und Proteinen. Sie können sich nicht selbstständig vermehren, haben keinen eigenen Stoffwechsel, sind auf die Replikationsmaschinerie, die Gen-Expression und die Proteinbiosynthese eines Wirtes angewiesen. Demnach sind sie per Definition auch keine Lebewesen. Viren befallen prokaryotische oder eukaryotische Zellen und zeigen hohe Wirtsspezifität. In der Regel sind sie mindestens um einen Faktor von 100 kleiner als ihre Wirte. Viren, die Prokaryoten befallen, werden Bakteriophagen genannt. Beispiele für einen Bakteriophagen und einen typischen Eukaryoten-spezifischen Virus zeigt Abbildung 1.10.

Viren

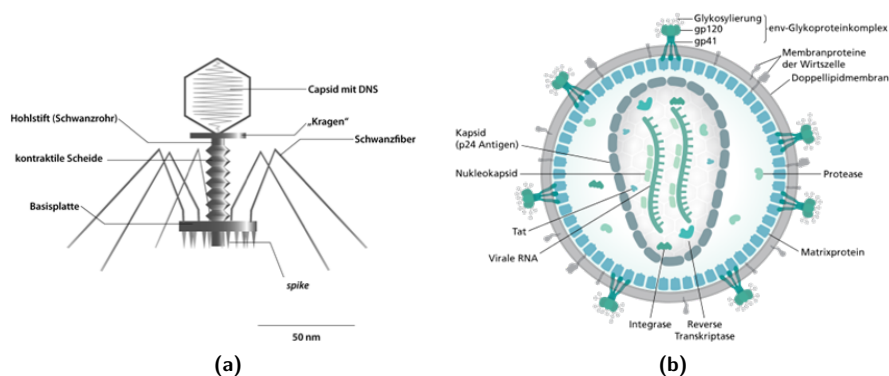


Abb. 1.10: Aufbau eines typischen T-Typ Phagen (a) und eines HI-Virus (b) (Quellen: siehe Abbildungsverzeichnis)

4 Beratung und Kontakt

Ansprechpartner

Dr. Gabriele Gröger
Albert-Einstein-Allee 45
89081 Ulm



Tel 0049 731 – 5 03 24 00
Fax 0049 731 – 5 03 24 09

gabriele.groeger@uni-ulm.de
www.uni-ulm.de/saps

Geschäftsführender Direktor der SAPS: Prof. Dr.-Ing. Hermann Schumacher

Postanschrift

Universität Ulm
School of Advanced Professional Studies
Albert-Einstein-Allee 45
89081 Ulm

Der Zertifikatskurs „Mikrobiologie und Biochemie des mikrobiellen Stoffwechsels“ wurde entwickelt im Projekt CrossOver, das aus Mitteln des Ministeriums für Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg und vom Ministerium für Soziales und Integration Baden-Württemberg aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds gefördert wird (Förderkennzeichen: 696606).
