

Mikroorganismen in Lebensmitteln

Theorie und Praxis der Lebensmittelhygiene

Dr. Heribert Keweloh

7. Auflage



Bestell-Nr.: 05271

Autor Priv.-Doz. Dr. Heribert Keweloh 46147 Oberhausen
Forststraße 129
keweloh@mikrobiol.de

Unter Mitarbeit von Johann Hamdorf, Nienborstel
Maria Revermann, Hanau-Steinheim

Verlagslektorat Benno Buir

Bildbearbeitung Verlag Europa-Lehrmittel 73760 Ostfildern

Illustrationen Wolfgang Herzig 45134 Essen

7. Auflage 2019

Druck 5 4 3 2, korrigierter Nachdruck 2021

Alle Drucke derselben Auflage sind parallel einsetzbar, da sie bis auf die Korrektur von Druckfehlern identisch sind.

ISBN 978-3-8057-0783-1

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der gesetzlich geregelten Fälle muss vom Verlag genehmigt werden.

© 2019 by Fachbuchverlag Pfanneberg GmbH & Co. KG, 42781 Haan-Gruiten
www.pfanneberg.de

Umschlaggestaltung: Idüll, Ulrich Dietzel, 60329 Frankfurt a.M.

Satz, Layout: Satz+Layout Werkstatt Kluth GmbH,
50374 Ertstadt

Druck: RCOM Print GmbH, 97222 Rimpf

Vorwort

„Mikroorganismen in Lebensmitteln“ gliedert sich in drei Teile:

- Mikroorganismen – Grundlagen
- Lebensmittel und Gesundheitsgefährdungen
- Lebensmittelhygiene

Erstmals behandelt somit ein und dasselbe Fachbuch umfassend sowohl die mikrobiologischen *Grundlagen der Lebensmittelhygiene*, die Vielzahl der biologischen, chemischen und physikalischen *Gefahrenquellen bei der Lebensmittelherstellung* und die konkreten *Anwendungen in der Betriebspraxis*. Die systematische Gliederung ermöglicht auch dem wissenschaftlich nicht ausgebildeten Leser Sinn und Zweck hygienischer Vorgehensweisen und die Einschätzung der Bedeutung von Prozessen der Lebensmittelsicherheit zu verstehen.

„Mikroorganismen in Lebensmitteln“ richtet sich an alle **Fachkräfte und Betriebsleiter, die mit Hygiene und Hygieneschulung der Mitarbeiter befasst sind**. Es ist für folgende Lebensmittelunternehmen besonders zugeschnitten:

- Betriebe der *Gastronomie und Gemeinschaftsverpflegung*
- Handwerkliche Betriebe wie *Fleischereien, Bäckereien und Konditoreien*.


Darüber hinaus kann „Mikroorganismen in Lebensmitteln“

- als **zielgerichtetes Arbeitsmittel in der Ausbildung** und
- für eine **selbstständige Einarbeitung in Hygienewissen im Lebensmittelbereich**

genutzt werden. Zur Vertiefung des Stoffes dienen *Aufgaben* und *Zusammenfassungen der wesentlichen Inhalte* am Ende der Kapitel.

„Mikroorganismen in Lebensmitteln“ kann an allen Berufs- und Fachschulen, die sich wie im Berufsfeld *Ernährung und Hauswirtschaft* mit dem Thema *Lebensmittel* befassen, sowie in einigen Hochschulbereichen wie der *Ökotrophologie* als *Sekundärliteratur* eingesetzt werden.

Das Buch enthält Erklärungen der *Fachbegriffe*, genau dort wo sie in jedem Kapitel zuerst auftauchen. Es kann aufgrund seiner Struktur mit *informativen und weiterführenden Hinweisen am Textrand* auch als **Nachschlagewerk hervorragend eingesetzt** werden. Das Buch enthält zahlreiche neu gestaltete, sowohl informative als auch anschauliche *Grafiken* zur Theorie und zahlreiche *Fotos* zu den praktischen Aspekten des Themas.

Wichtige Merksätze sind am Rand mit einem  gekennzeichnet.

Neu in der 7. Auflage:

Buch und CD wurden durchgängig aktualisiert.



Dem Buch ist eine **CD** beigelegt, auf der ein **Handbuch** als Vorlage für Lebensmittelunternehmen der Gemeinschaftsverpflegung **zur Einrichtung eines HACCP-Systems** dargestellt ist. Es entspricht den Anforderungen der neuen EU-Verordnungen und kann von den Betriebsverantwortlichen **als Grundlage eines Eigenkontrollsystems** genutzt werden.

Die CD enthält

- ein Beispiel-*HACCP-Konzept* mit Arbeitsanweisungen und Checklisten,
- relevante *Gesetzestexte*,
- **sämtliche Grafiken und viele Fotos** des Buches zur Übernahme in Arbeitsblätter oder eigene Schulungsunterlagen.

Für Fehlerhinweise, wohlwollende oder kritische Meinungsäußerungen sowie Anregungen und Ergänzungen zum Buch sind Autor und Verlag dankbar.

Frühjahr 2019

Teil A

Mikroorganismen – Grundlagen

1	Mikroorganismen – eine Übersicht	7
1.1	Klassen der Mikroorganismen	7
1.1.1	Bakterien	8
1.1.2	Archäen	8
1.1.3	Pilze	9
1.1.4	Protozoen	9
1.2	Viren und Prionen	10
1.3	Bedeutung der Mikroorganismen für den Menschen	10
1.3.1	Mikroben in Lebensmitteln	10
1.3.2	Mikroorganismen außerhalb des Lebensmittelbereiches	13
2	Eigenschaften der Mikroorganismen	17
2.1	Bakterien	17
2.1.1	Zellen der Bakterien	17
2.1.2	Einteilung der Bakterien	21
2.1.3	Stoffwechsel von Bakterien	27
2.1.4	Wachstum und Vermehrung von Bakterien	33
2.1.5	Bakteriensporen und andere Dauerformen	39
2.2	Pilze	42
2.2.1	Zellen der Pilze	44
2.2.2	Einteilung der Pilze	46
2.2.3	Stoffwechsel von Pilzen	51
2.2.4	Wachstum und Vermehrung von Hefen	53
2.2.5	Wachstum und Sporenbildung von Hyphenpilzen	55
2.3	Protozoen	58
2.4	Viren und Prionen	61
2.4.1	Viren	61
2.4.2	Prionen	69
3	Standorte und Übertragung von Mikroorganismen	72
3.1	Erdboden, Wasser und Luft als Standorte von Mikroorganismen	74
3.1.1	Mikroben im Erdboden	74
3.1.2	Mikroben in natürlichen Gewässern	75
3.1.3	Keime im Trinkwasser	76
3.1.4	Mikroorganismen in der Luft	78
3.2	Menschen, Tiere und Pflanzen als Lebensraum von Mikroben	81
3.2.1	Normalflora des Menschen	81
3.2.2	Mikroben auf der Haut des Menschen	82
3.2.3	Besiedlung von Schleimhäuten des Menschen	83
3.2.4	Tiere als Träger von Mikroben	85
3.2.5	Pflanzen als Träger von Mikroben	90
4	Wachstumsfaktoren der Mikroorganismen und Verderb von Lebensmitteln	94
4.1	Wachstumsfaktoren von Mikroorganismen	94
4.2	Verderb durch Mikroorganismen	95
4.3	Temperatur	101
4.4	Wasseraktivität und Feuchtigkeit	106
4.5	pH-Wert und Säuren	111
4.6	Sauerstoff und Gasatmosphäre	117
4.7	Inhaltsstoffe der Lebensmittel	123
5	Konservierung von Lebensmitteln und Abtötung von Keimen	131
5.1	Physikalische Konservierungsverfahren	132
5.1.1	Senkung der Temperatur	133
5.1.2	Erhöhung der Temperatur	136
5.1.3	Senkung des Wassergehaltes	140
5.1.4	Änderungen der Gasphase	142

5.1.5	Behandlung mit ionisierenden Strahlen	143
5.1.6	Hochdruckentkeimung	145
5.2	Chemische Konservierungsverfahren	145
5.2.1	Zuckern	146
5.2.2	Salzen	146
5.2.3	Pökeln	147
5.2.4	Räuchern	148
5.2.5	Zugabe von Säuren	150
5.2.6	Zugabe von Konservierungsstoffen	151
5.3	Biologische Konservierungsverfahren	152
5.3.1	Milchsäuregärung	152
5.3.2	Alkoholische Gärung	154
6	Herstellung von Lebensmitteln mithilfe von Mikroorganismen	156
6.1	Historische Entwicklung	158
6.2	Herstellung fermentierter Lebensmittel	161
6.2.1	Herstellung von Rohwürsten	163
6.2.2	Brotherstellung mithilfe von Hefen und Sauerteigkulturen	165
6.2.3	Weitere fermentierte Lebensmittel	169
6.3	Produktion mikrobieller Biomasse	175
6.3.1	Starter- und Schutzkulturen	175
6.3.2	Probiotische Kulturen	177
6.3.3	Zuchtpilze und Backhefen	178
6.4	Mikrobielle Produkte als Hilfs- und Zusatzstoffe	178
6.5	Einsatz von gentechnisch veränderten Mikroorganismen	181
1	Lebensmittelsicherheit: Vorbeugender Gesundheitsschutz	185
1.1	Lebensmittelinfektionen und Krankheitserreger	188
1.2	Lebensmittelsicherheit als Hygieneziel	191
2	Bakterien als Gesundheitsgefährdungen	193
2.1	Infektionen durch Bakterien	195
2.1.1	Enteritis-Salmonellen	200
2.1.2	Typhus-Salmonellen	205
2.1.3	<i>Campylobacter</i> -Bakterien	206
2.1.4	Colibakterien	208
2.1.5	Shigellen	210
2.1.6	Yersinien	212
2.1.7	Choleraerreger und andere Vibrionen	213
2.1.8	Listerien	215
2.1.9	Bakterielle Sporenbildner	217
2.2	Lebensmittelvergiftungen durch Bakterien	219
2.2.1	Botulismus-Clostridien	219
2.2.2	Staphylokokken	222
2.2.3	Histaminvergiftungen hervorrufende Bakterien	224
2.2.4	Muschel- und Fischvergiftungen durch mikrobiell gebildete Toxine	226
3	Weitere biologische Gesundheitsgefährdungen	227
3.1	Pilze	227
3.1.1	Giftpilze	228
3.1.2	Mykotoxine	229
3.2	Viren	233
3.2.1	Diarrhö-Viren	233
3.2.2	Polio-Viren	234
3.2.3	Hepatitis A-Viren	235
3.3	BSE-Erreger	236
3.4	Protozoen	238

Teil B

Lebensmittel und Gesundheitsgefährdungen

Teil C

Lebensmittelhygiene

3.4.1	Toxoplasmose-Erreger	239
3.4.2	Weitere Darmparasiten	240
3.5	Wurmparasiten	241
3.5.1	Bandwürmer	242
3.5.2	Fadenwürmer	244
3.6	Tierische Schädlinge	246
3.6.1	Milben und Insekten	248
3.6.2	Nager und Vögel	251
4	Chemische und physikalische Gesundheitsgefährdungen	254
4.1	Chemische Gefahrstoffe in Lebensmitteln	254
4.1.1	Chlororganische Umweltgifte und Schwermetalle	258
4.1.2	Desinfektionsmittel und andere Betriebschemikalien	262
4.1.3	Rückstände aus der Pflanzen- und Tierproduktion	263
4.1.4	Bei starker Erhitzung entstehende Problemstoffe	266
4.1.5	Natürliche Inhaltsstoffe von Pflanzen	268
4.1.6	Radioaktiv belastete Lebensmittel	270
4.1.7	Gentechnisch veränderte Lebensmittel	271
4.2	Physikalische Gefahren in Lebensmitteln	272
1	Hygienevorschriften und Hygieneanforderungen	275
1.1	Lebensmittel- und Hygienegesetze	275
1.2	Hygieneempfehlungen	279
1.3	Betriebliche Eigenkontrollen und HACCP	280
1.4	Anforderungen an Hygiene und Lebensmittelsicherheit	287
1.5	Schulungen und Unterweisungen der Mitarbeiter	290
1.6	Lebensmittelüberwachung	294
2	Hygienepraxis in Lebensmittel verarbeitenden Betrieben	296
2.1	Allgemeine betriebliche Anforderungen	297
2.2	Reinigung und Desinfektion	305
2.3	Abfallentsorgung	310
2.4	Schädlingsbekämpfung	312
2.5	Personalhygiene	316
3	Betriebshygiene in Gastronomie und Gemeinschaftsverpflegung	320
3.1	Warenannahme und Lagerhaltung	321
3.2	Speisenherstellung	323
3.3	Speisenausgabe	330
3.4	Entkoppelte Zubereitungsverfahren in der Gemeinschaftsverpflegung	331
3.5	Herstellung und Verkauf von Speiseeis	334
3.6	Betrieb von Getränkeschankanlagen	335
3.7	Gefahrenanalyse für die HACCP-Kontrollen	336
4	Betriebshygiene im Fleischerhandwerk	339
4.1	Fleischgewinnung	340
4.2	Fleischzerlegung und -verarbeitung	344
4.3	Fleischvertrieb	348
4.4	Gefahrenanalyse für die HACCP-Kontrollen	351
5	Betriebshygiene im Back- und Konditorhandwerk	353
5.1	Herstellung von Back- und Konditorwaren	354
5.2	Vertrieb von Back- und Konditorwaren	359
5.3	Gefahrenanalyse für die HACCP-Kontrollen	361
6	Lebensmittelhygiene in Privathaushalten	363
	Merkblätter	372
	Bildquellenverzeichnis	374
	Sachwortverzeichnis	375
	Literaturverzeichnis	384

Anhang

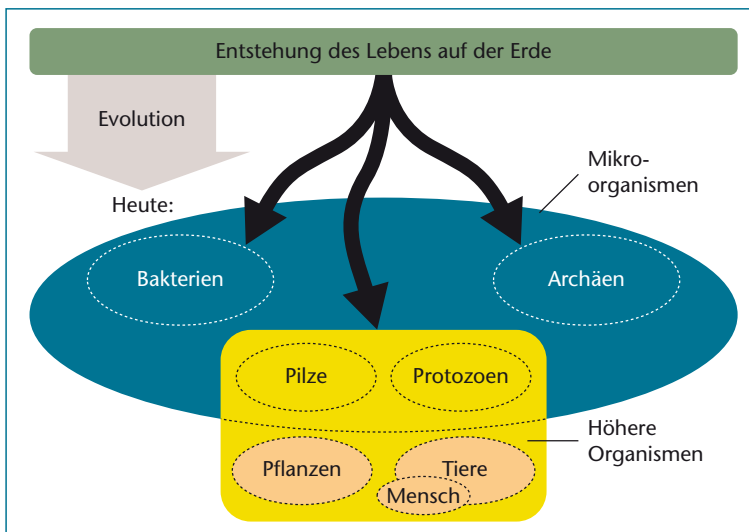
Mikroorganismen – Grundlagen

1 Mikroorganismen – eine Übersicht

Zu den **Mikroorganismen** oder **Mikroben** zählt man all die Lebewesen, die zu klein sind, um mit dem menschlichen Auge gesehen zu werden. Mikroorganismen sind Lebewesen, die nur mit mikrobiologischen Methoden und mithilfe des **Mikroskops** untersucht werden können. Erst das Mikroskop offenbart, dass sich auch die Mikroorganismen in *ihrer Größe* stark unterscheiden. Die Mikroorganismen sind keine einheitliche Klasse von Lebewesen. Sie sind in ihren **Kennzeichen** und Zellstrukturen sehr unterschiedlich.

1.1 Klassen der Mikroorganismen

Die Mikroorganismen können in vier Klassen, in die **Bakterien**, die **Archäen**, die **Pilze** und die **Protozoen** unterteilt werden. Abb. 1 zeigt, dass alle heutigen Lebewesen, einschließlich dieser Mikrobenklassen, zu einem von drei Reichen gehören. Diese drei Reiche haben sich in der gemeinsamen Abstammung aller Lebewesen (**Evolution**) schon sehr früh getrennt.



Mikroorganismen, Mikroben
Kleinstlebewesen, nur mit dem Mikroskop sichtbar

Mikroskop, Lichtmikroskop
Optisches Instrument zur Vergrößerung, geeignet für Bakterien, aber nicht für kleinere Teilchen wie Viren

Kennzeichen von Lebewesen
Gestalt, Entwicklung von Geburt bis Tod, Fortpflanzung und Vermehrung, Bewegung und Verhalten, Stoffwechsel

Evolution

Entstehung der ersten Lebensformen auf der Erde und Weiterentwicklung bis zur heutigen Vielfalt der Arten

Abb. 1

Die Entstehung der drei Reiche der Lebewesen und ihre Zugehörigkeit zu den Mikroorganismen

Die drei Reiche der Lebewesen, die eine äußerst geringe Verwandtschaft untereinander haben, sind:

1. Die **Bakterien** (ausschließlich Mikroorganismen),
2. die **Archäen** oder **Archäobakterien** (ausschließlich Mikroorganismen) und
3. die „**höheren Organismen**“. Zu diesen zählen die Tiere und die Pflanzen sowie einige Gruppen von Mikroorganismen, nämlich die Pilze und die Protozoen.

1.1.1 Bakterien

Die **kleinsten und am einfachsten aufgebauten** Mikroorganismen sind die Bakterien; sie bestehen nur aus einer **Zelle**. Alle Bakterien sind **Ein-zeller**, auch wenn sie oft in Gemeinschaft mit anderen leben. Vertreter der Bakterien haben fast alle Lebensräume auf der Erde erobert, einschließlich des Menschen, der Tiere und der Pflanzen. Mit der Anwesenheit der nicht sichtbaren Lebewesen muss fast überall gerechnet werden. Diese Klasse der Mikroben, die in *Teil A – 2.1* behandelt wird, hat in ihren Fähigkeiten und Beziehungen zum Menschen eine erstaunliche Vielfalt entwickelt.

Zelle

Kleinste selbstständige lebens- und vermehrungsfähige biologische Struktur

Einzeller

Selbstständige Lebewesen, aus einzelnen Zellen bestehend

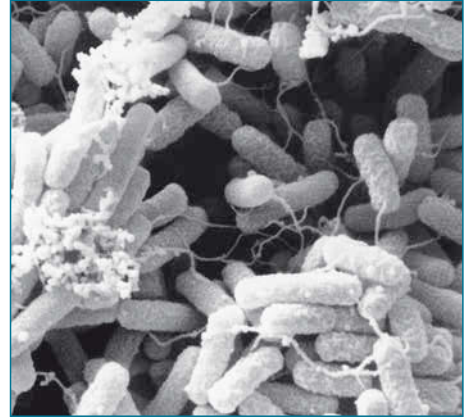


Abb. 1
Stäbchenförmige Bakterien

1.1.2 Archäen

Erst vor wenigen Jahren wurde eine gänzlich **neue, ursprüngliche Klasse** von Mikroorganismen entdeckt, die **Archäen** oder **Archäobakterien**. Sie sind wie die Bakterien Einzeller. In der Größe und im Zellaufbau sind sie Bakterien ähnlich, zeigen aber in ihren Enzymen und in ihrem biochemischen Aufbau große Unterschiede. Archäen leben an extrem lebensfeindlichen Standorten, an denen man lange Zeit keine Lebewesen vermutet hat. Man findet sie z.B. im Wasser heißer Quellen. Diese Mikroben werden in kochendem Wasser nicht abgetötet, im Gegenteil, manche vermehren sich sogar noch bei Temperaturen über 100 °C. Die optimale Wachstumstemperatur von *Pyrodictium*, dessen Zellen ein charakteristisches Netzwerk ausbilden (*Abb. 2*), beträgt beispielsweise 110 °C. Andere Archäen leben in extrem sauren Gewässern bis zu einem **pH-Wert** von 1, wieder andere in Salzseen wie dem Toten Meer.

pH-Wert

Messzahl des Säurewertes auf einer Skala von 0 (extrem sauer) bis 14 (extrem basisch)

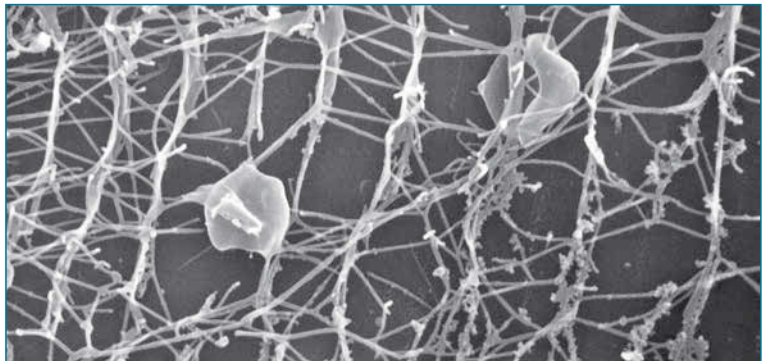


Abb. 2
Pyrodictium, ein in vulkanischen Gebieten der Tiefsee vorkommender Vertreter der Archäen

1.1.3 Pilze

Wesentlich größer und im Zellaufbau komplexer als Bakterien und Archäen sind die Pilze (*Teil A – 2.2*), die im Gegensatz zu den zuerst genannten Mikroben einen **Zellkern** und **Chromosomen** besitzen. Pilze werden zu den Mikroorganismen gezählt, sie bestehen aus einem meist nicht sichtbaren Geflecht *extrem dünner, oft langer Zellfäden*, den **Zellhyphen**. Pilze von oft völlig unterschiedlichem Aussehen haben bei der Lebensmittelherstellung und in der Lebensmittelhygiene große Bedeutung:

- **Speisepilze**

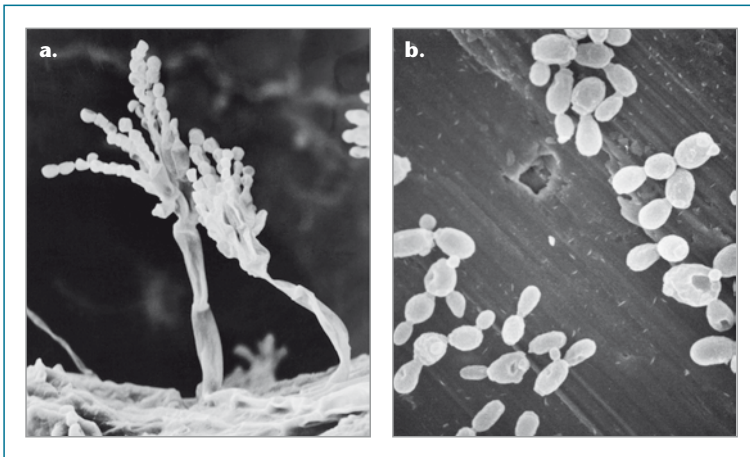
Speisepilze wie die Champignons und Steinpilze gehören zur Gruppe der Ständerpilze, die zu bestimmten Zeiten mit dem Auge sichtbare Vermehrungsformen bilden. Diese „Fruchtkörper“ werden im allgemeinen Sprachgebrauch als Pilze bezeichnet. Der eigentliche Pilz ist nicht sichtbar und wächst mit seinen Zellhyphen im Boden.

- **Schimmelpilze**

Der Begriff „Schimmelpilze“ hat sich für die Pilze eingebürgert, die in Lebensmitteln und einigen anderen organischen Substanzen wachsen und auf ihnen sichtbare, oft gefärbte Überzüge, den „Schimmel“, bilden.

- **Hefen**

Hefen gehören ebenfalls zu den Pilzen, obgleich sie meist als Einzeller mit kugelige Gestalt leben und sich durch **Sprossung** vermehren. Unter bestimmten Umweltbedingungen wachsen viele von ihnen wie typische Pilze in Form von Zellhyphen.



Zellkern

Zellstruktur, die bei allen höheren Lebewesen die Erbanlagen in Form der Chromosomen enthält

Chromosomen

Im Mikroskop sichtbare, aus DNA und Proteinen bestehende Strukturen der Zellkerne höherer Organismen

Zellhyphen

Mikroskopisch kleine, fadenförmige Zellen der Pilze und Actinomyceten

Sprossung, Knospung

Bildung eines kleinen Auswuchses an der Mutterzelle, der sich vergrößert, später abtrennt und eigenständig als Tochterzelle weiterwächst

Abb. 1

Pilze

a. Schimmelpilze

b. Hefen

1.1.4 Protozoen

Eine weitere eigenständige Mikrobenklasse sind die **Protozoen** (*Teil A – 2.3*). Typische Vertreter dieser Klasse können sich, z.B. mit Geißeln, aktiv fortbewegen.

Viele Protozoen sind **Parasiten**. Zu ihnen gehören viele Krankheitserreger wie die Erreger der Malaria und der Afrikanischen Schlafkrankheit. Von der Größe und dem Aufbau ihrer Zellen sind sie den Pilzen ähnlich.

Parasiten

Leben in oder an einem anderen Organismus, ernähren sich auf seine Kosten und vermehren sich in ihm



Abb. 1
Ciliaten als Vertreter
der Protozoen

1.2 Viren und Prionen

BSE

Abkürzung für „bovine spongiform encephalopathy“, tödlich verlaufende Erkrankung bei Rindern, die wahrscheinlich von Prionen-Erregern hervorgerufen wird

Prion

Infektiöses Partikel aus Protein ohne DNA oder RNA, wahrscheinlicher Auslöser von BSE und der Creutzfeldt-Jakob-Krankheit

Stoffwechsel

Gesamtheit der aufeinander abgestimmten chemischen Reaktionen einer Zelle oder eines Organismus

Proteine, Eiweiße

Gefaltete Ketten aus meist über hundert Aminosäuren in bestimmter, durch Gene festgelegter Reihenfolge, oft mit der Funktion eines Enzyms

DNA (DNS)

Deoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure), die chemische Substanz der Gene

Keime

Umgangssprachlich für Mikroorganismen; im medizinischen Sprachgebrauch Krankheitserreger

Viren (Teil A – 2.4.1) und **BSE**-Erreger oder **Prionen** (Teil A – 2.4.2) haben keinen **Stoffwechsel** und bestehen nicht aus Zellen. Sie sind deshalb **keine Lebewesen** und somit auch **keine Mikroorganismen**. Viren und Prionen sind noch wesentlich kleiner als beispielsweise Bakterien. Aufgrund ihrer geringen Größe werden sie mit mikrobiologischen Methoden untersucht und oft den Mikroorganismen gleichgestellt. Als Krankheitserreger haben sie eine große Bedeutung.

Viren sind Parasiten und zur Vermehrung auf die Zellen von Lebewesen, ihren Wirten, angewiesen. Nur in den Wirtszellen können sie sich fortpflanzen.

BSE-Erreger sind Erreger, die nach den bisherigen Erkenntnissen nur aus **Proteinen** und nicht aus dem genetischem Material **DNA** bestehen. Über die Vermehrung der Prionen gibt es noch keine gesicherten Erkenntnisse.

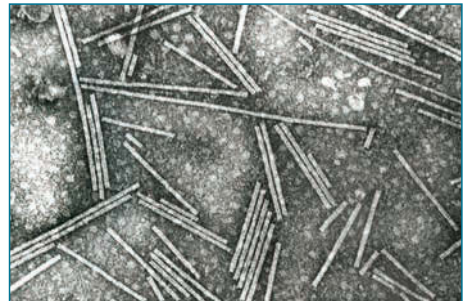


Abb. 2 Tabakmosaik-Viren

1.3 Bedeutung der Mikroorganismen für den Menschen

1.3.1 Mikroben in Lebensmitteln

Mikroorganismen befinden sich häufig in oder auf Lebensmitteln, wo sie für den Menschen eine nützliche oder schädliche Wirkung haben können (Abb. 1, Seite 11). Viele **Keime** sind für unsere Ernährung unentbehrlich; sie werden zur **Herstellung und Veredlung von Lebensmitteln** eingesetzt. Andere Mikroben üben negative Einflüsse auf Lebensmittel und die Gesundheit des Menschen aus. Sie sind für **Verderb der Nahrung, Lebensmittelvergiftungen** und **Ausbruch von Lebensmittelinfektionen** verantwortlich.

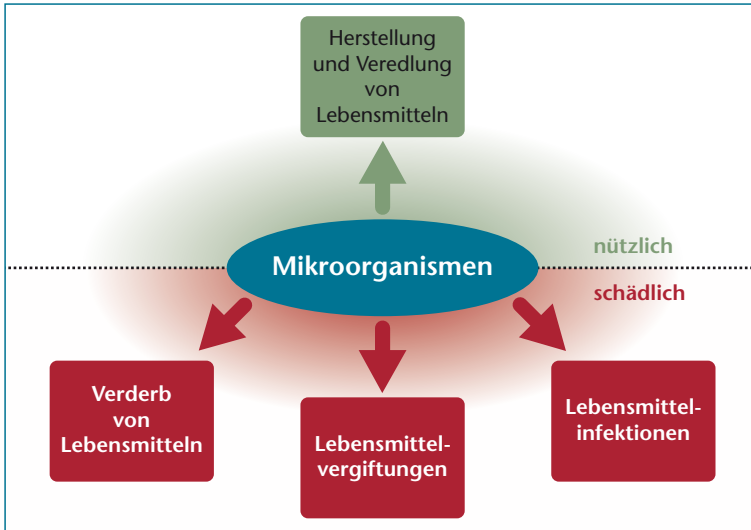


Abb. 1
Schäden und Nutzen von
Mikroben im
Lebensmittelbereich

Schädliche Wirkungen von Mikroben in Lebensmitteln

- Der **Verderb von Lebensmitteln** wird meist durch bestimmte Mikroorganismen verursacht, die die Nährstoffe der Nahrungsmittel abbauen. Dabei scheiden sie übelriechende und -schmeckende Stoffe aus.

Häufig sind **Bakterien, Hefen und Schimmelpilze** die Ursache für Lebensmittelverderb.

- **Lebensmittelvergiftungen** entstehen, wenn durch Mikroorganismen gebildete Giftstoffe über die Nahrung aufgenommen werden, ohne dass die Mikroben selbst in den Körper gelangen müssen.

Der Begriff Lebensmittelvergiftung wird häufig für alle Arten von Erkrankungen benutzt, die durch Lebensmittel ausgelöst werden, also z. B. auch für Salmonelleninfektionen.

Viele **Bakterien, Ständer- und Schimmelpilze** rufen Lebensmittelvergiftungen hervor, da sie giftige Substanzen (**Toxine**) bilden können. Auch Protozoen, die von Muscheln aufgenommen werden können, bilden Toxine und sind dann die Ursache von Muschelvergiftungen.

- **Lebensmittelinfektionen** können nach dem Genuss von Nahrungsmitteln entstehen, die Krankheitserreger enthalten.

Dabei dringen lebende Keime, wie z. B. Salmonellen, in den menschlichen Körper ein und gelangen in den Darm. Dort vermehren sie sich, bilden Toxine und können bisweilen lebensgefährliche Erkrankungen hervorrufen.

Der Körper reagiert gegen die Keime, in dem er seine Abwehrsysteme aufruft und sein Immunsystem aktiviert, dadurch treten z. B. Krankheitssymptome wie Fieber auf.

Viele Bakterien und Viren sind gefürchtete Infektionserreger, Hefen und Schimmelpilze nur in seltenen Fällen. Auch einige Protozoen können über Lebensmittel auf den Menschen übertragen werden und Krankheiten auslösen.

Verderb

Meist durch Mikroorganismen verursachte negative Veränderungen der Eigenschaften von Lebensmitteln

Lebensmittelvergiftungen

Erkrankungen, die durch von Mikroben gebildete Giftstoffe verursacht werden

Toxine

Von Mikroben oder Pflanzen gebildete und für Menschen giftige Substanzen

Lebensmittelinfektionen

Erkrankungen nach Übertragung von Keimen über die Nahrung mit Vermehrung der Keime im Körper

Wie Abb. 1 zeigt, können Vertreter aus allen Klassen der Mikroorganismen im Bereich der Lebensmittel eine Bedrohung darstellen.

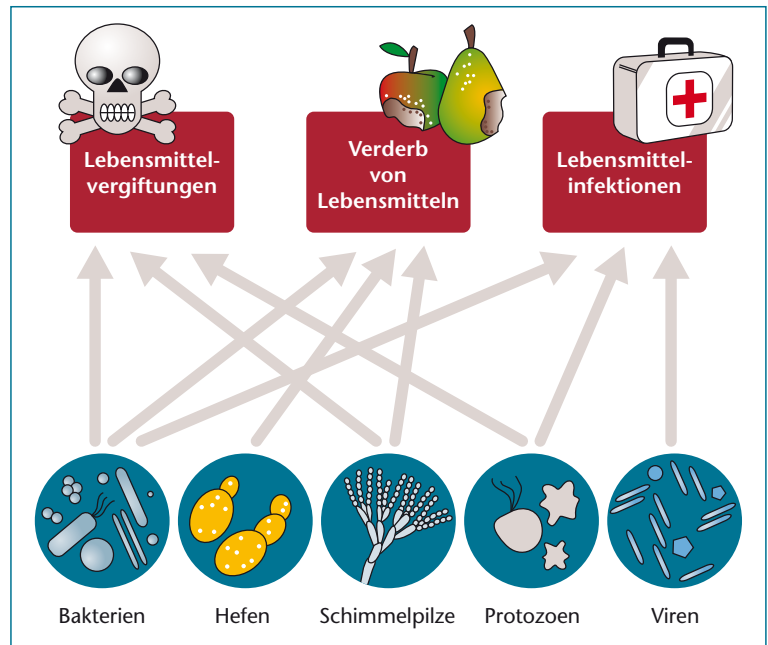


Abb. 1
Lebensmittelgefährdungen durch verschiedene Mikroorganismen-Klassen und Viren

Für die Lebensmittelindustrie nützliche Mikroorganismen

Die in der Ernährungstechnologie genutzten Mikroorganismen sind fast ausnahmslos entweder Bakterien oder Pilze. **Besonders Hefen und Bakterien** dienen in einer Vielzahl von Verfahren der Lebensmittelherstellung. Sie kommen in Brauereien, in Fleisch und Milch verarbeitenden und anderen Betrieben zum Einsatz.

Fermentierte Lebensmittel
Lebensmittel, deren Herstellung auf Stoffumwandlungen durch Mikroorganismen oder deren Enzyme beruhen

Starterkulturen
Industriell gezüchtete Kulturen von Mikroorganismen, die zur Herstellung und Veredlung von Lebensmitteln eingesetzt werden

Biomasse
Von Lebewesen, hier Mikroorganismen, gebildete und nach der Kultivierung geerntete Masse an biologischem Material

Hilfsstoffe
Nur zur Verarbeitung zugesetzte Stoffe (z.B. Enzyme)

Zusatzstoffe
Zulassungspflichtige Stoffe, die Lebensmitteln zugegeben werden und dort verbleiben (z.B. Konservierungs- und Farbstoffe)

- Hefen und Milchsäurebakterien haben bei der Herstellung **fermentierter Lebensmittel** (Teil A – 6.2) die größte Bedeutung. Auch Schimmelpilze spielen für die Reifung von z. B. Edelschimmelkäse eine wichtige Rolle.
- Neben Bakterien und Hefen sind Schimmelpilze in einigen **Starterkulturen** enthalten und müssen als **Biomasse** (Teil A – 6.3) produziert werden. Einige Pilze liefern die für uns essbaren Pilzfruchtkörper. Hier ist ein Teil der Biomasse, und zwar der sichtbare Anteil der Pilze, das Herstellungsprodukt.
- Neben einigen Hefen werden vor allem Bakterien und Schimmelpilze eingesetzt, um verschiedene **Hilfs- und Zusatzstoffe** (Teil A – 6.4) für die Lebensmittelproduktion zu produzieren.



Abb. 2 Edelschimmelkäse

Abb. 1, S. 13 zeigt eine Übersicht, welche Klassen der Mikroben in welcher Weise industriell genutzt werden. Die

Mikroorganismen, die Nahrungsmittel schädigen, sind oft eng verwandt mit denen, die an der Herstellung von Lebensmitteln beteiligt sind. Ein und dieselbe Mikrobe kann bisweilen eine gewünschte Veränderung, eine Reifung herbeiführen oder – zum falschen Zeitpunkt – eine ungewünschte, die als Verderb bezeichnet wird.

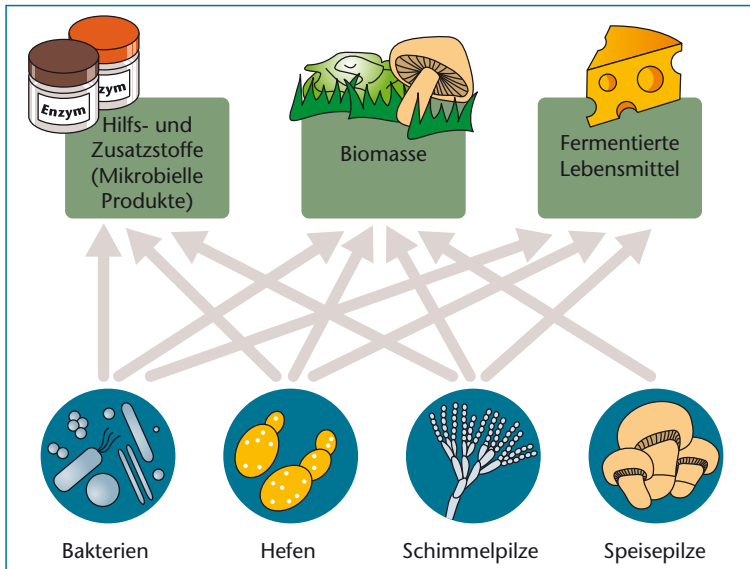


Abb. 1
Die Klassen der Mikroorganismen und nützliche Aktivitäten im Lebensmittelbereich

1.3.2 Mikroorganismen außerhalb des Lebensmittelbereiches

Einsatz in der Biotechnologie

Zahlreiche Mikroben sind im Sinne und zum Wohle des Menschen tätig. Die wirtschaftliche Nutzung der Mikroorganismen und ihrer Zellbestandteile, im weiteren Sinn auch von Pflanzen und Tieren, wird als **Biotechnologie** bezeichnet.

Dabei werden Rohstoffe verschiedenster Art in wertvolle Stoffe oder Energien umgewandelt. *Abb. 1, S. 14* zeigt, dass außer in der Lebensmittel verarbeitenden Industrie auch in anderen Sparten der Biotechnologie Mikroorganismen gebraucht werden.

- **Landwirtschaft**

In der Landwirtschaft werden Futterstoffe eingesetzt, die von bestimmten Mikroben produziert werden. Durch eine Milchsäuregärung (Kap. 5.3.1) entsteht haltbares Tierfutter, Silage, aus pflanzlichen Materialien.

- **Gesundheitsbiotechnologie**

Von größter wirtschaftlicher Bedeutung ist die Produktion von **Antibiotika** durch Bakterien und Pilze im Bereich der Gesundheitsbiotechnologie. Viele Wirkstoffe in der Medizin wie **Hormone** und zur **Diagnostik** notwendige Substanzen werden heutzutage durch gentechnisch veränderte Mikroben erzeugt.

Biotechnologie

Verfahren der wirtschaftlichen Nutzung von Mikroorganismen, tierischen und pflanzlichen Zellen oder ihrer Teile wie z.B. Enzymen

Antibiotika

Von Mikroorganismen gebildete und als Medikamente verwendete Substanzen mit Wirkung gegen bestimmte Mikroben

Hormon

Von Mensch, Tier und Pflanze gebildete Steuer- oder Regulationsstoffe, oft in Drüsen ausgeschüttet und in entfernt liegenden Zellen wirksam

Diagnostik

Verfahren zur Feststellung einer Erkrankung, bei Infektionen im wesentlichen Identifizierung des Erregers

Enzyme
 Eiweißstoffe, die chemische Vorgänge (Reaktionen) im Stoffwechsel erleichtern, ohne dabei selbst verändert zu werden

- **Umweltbiotechnologie**

Vielfältige Aufgaben haben Mikroben im Dienst der Umwelt. In Klärwerken und Abluftfiltern, bei Kompostierungen und der Reinigung belasteter Böden bauen sie Abfall- oder Problemstoffe ab; in Biogasanlagen dienen sie sogar der Energiegewinnung.

- **Industriebiotechnologie**

Auch die Industrie setzt an vielen Stellen auf die Mitarbeit der Mikroorganismen. Diese produzieren **Enzyme**, die in großen Mengen von der Waschmittel-, aber auch von der Textil-, Leder- und Papierindustrie benötigt werden. Chemikalien wie Ethanol dienen als Kraftstoffe oder Lösungsmittel. Bei der Laugung minderwertiger Kupfer- und Uranerze bringen Mikroorganismen die Metalle in wasserlösliche Form, sodass sie in einem nachfolgenden Schritt in wirtschaftlichen Mengen gewonnen werden können.

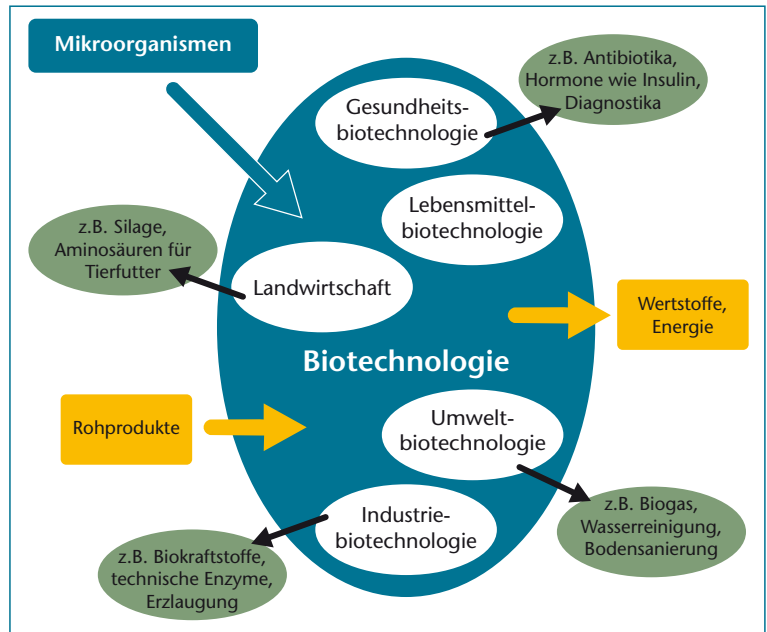


Abb. 1
 Einsatz von Mikroorganismen in der Biotechnologie

Weitere nützliche Wirkungen von Mikroorganismen

Auf der Haut und im Darmtrakt sind viele Mikroorganismen enge **Mitbewohner des Menschen**. Der Mensch hat wesentlich mehr Bakterien in und auf seinem Körper als Zellen im Körper. Es gibt zahlreiche Beweise, dass viele dieser Keime für das menschliche Wohlbefinden notwendig sind und langfristig seine Gesundheit fördern. Sie konkurrieren mit den **pathogenen Keimen** um knappe Nährstoffe und günstige Aufenthaltsorte; ohne diese Keime hätten die Krankheitserreger ein leichtes Spiel.

Der weitaus größte Teil der auf der Erde vorhandenen Mikroorganismen hat keine direkte Beziehung zum Menschen und keine Wirkung auf die Ernährung oder die Gesundheit des Menschen. Viele Bakterien und Pilze leben in Gewässern, Böden oder in engem Kontakt mit Pflanzen und Tieren. Auch sie sind nützlich und notwendig für die **Kreisläufe der Natur**, da sie dafür sorgen, dass die von der Natur gebildete Biomasse komplett **mineralisiert** wird.

Pathogene Keime
 Krankheiten hervorrufende Mikroorganismen

Mineralisation
 Überführung von totem organischem Material in Mineralien, bzw. anorganische Substanzen

Krankheitserreger und Übertragungswege

Bei Lebensmittelinfektionen gelangen die krankmachenden Mikroben meist durch eine **fäkal-orale Übertragung** oder **Schmierinfektion** auf den Menschen.

Nicht alle Krankheitserreger werden über die Nahrung übertragen.

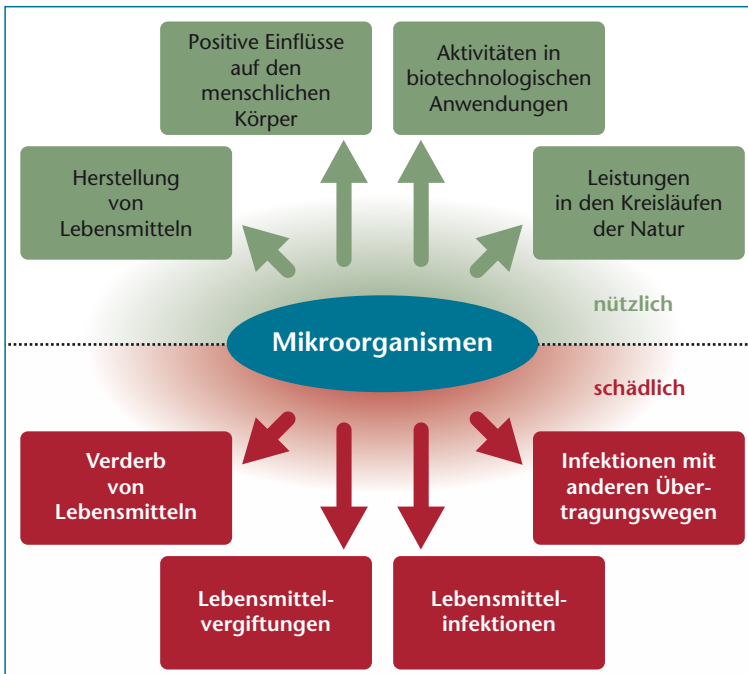
Es gibt weitere **Infektionswege** wie z. B.:

- die Übertragung durch die Luft, meist in Form winziger Flüssigkeitstropfen (**Tröpfcheninfektion**), z. B. bei Schnupfen- und Grippeviren;
- **direkter Kontakt** von Mensch zu Mensch über Körpersekrete wie Blut z. B. bei den AIDS verursachenden Viren oder
- Übertragungen durch stechende und/oder blutsaugende **Insekten/Zecken** oder Biss eines Tieres wie beim Tollwuterreger.

Ein bestimmter Krankheitserreger ist meist auf einen Weg der Übertragung spezialisiert. Eine Salmonelleninfektion (*Teil B – 2.1.1*) wird man in der Regel über verseuchte Lebensmittel erlangen, **Tuberkulose** wird fast immer durch Einatmen von keimhaltigen Hustentropfchen der Luft verbreitet.

Tollwutviren werden über den Biss z. B. eines Fuchses und die AIDS hervorrufenden HIV-Viren meist direkt von Mensch zu Mensch beispielsweise beim Geschlechtsverkehr weitergegeben.

Abb. 1 fasst alle nützlichen und schädlichen Wirkungen der Mikroorganismen auf den Menschen zusammen.



Fäkal-orale Übertragung, Schmierinfektion

Mit dem Darminhalt (fäkal) ausgeschiedene Erreger gelangen z. B. über verschmutzte Hände und eventuell Lebensmittel zu einer anderen Person und werden von ihm mit dem Mund (oral) aufgenommen.

Tuberkulose

Durch *Mycobacterium tuberculosis* verursachte Infektion mit unterschiedlichen Krankheitsverläufen, bei der primär die Lunge, später andere Organe befallen werden.

Abb. 1 Übersicht der Schäden und Nutzen von Mikroorganismen

Neue Keime tauchen auf

Die Bedeutung einiger Krankheitserreger ist erst in letzter Zeit erkannt worden. Seit wenigen Jahren weiß man beispielsweise, dass Magengeschwüre und Magenkrebs durch ein Bakterium im Magen, *Helicobacter pylori*, verursacht werden.

Obgleich krankheitserregende Keime seit vielen Jahren intensiv erforscht werden, erscheinen immer wieder unbekannte Erreger und neue Varianten. Über dreißig neue Krankheitserreger wurden in den letzten 20 – 25 Jahren entdeckt. Bislang völlig unbekannte Erreger sind aufgetaucht (z. B. das HIV-Virus). Bei dem EHEC-Ausbruch in Deutschland im Jahre 2011 trat ein stark veränderter EHEC-Keim (Teil B 2.1.4) auf, dessen Erbgut in großen Teilen von *E. coli*-Bakterien stammt, die in der Dritten Welt als Durchfallerreger gefürchtet und für Diarrhöen bei Reisenden bekannt sind.

Mikroorganismen – das Wichtigste in Kürze

- Die Mikroorganismen können in vier Klassen eingeteilt werden, in die Bakterien, Archäen sowie die zu den „höheren Organismen“ gehörenden Pilze und Protozoen.
- Bakterien sind die kleinsten Lebewesen; sie bestehen nur aus einer Zelle, die einen einfachen Aufbau aufweist.
- Pilze bestehen aus mikroskopisch kleinen, aber oft langen Zellfäden, den Zellhyphen. In diese Gruppe gehören die Speisepilze, die Schimmelpilze und die Hefen.
- Viren und Prionen verhalten sich in vielen Aspekten wie Mikroorganismen. Sie sind aber keine Lebewesen, da sie keinen eigenen Stoffwechsel haben und nicht aus Zellen bestehen.
- Einige Mikroorganismen sind für Nahrungsverderb, Lebensmittelvergiftungen und den Ausbruch von Lebensmittelinfektionen verantwortlich; andere haben eine wichtige Bedeutung bei der Herstellung vieler Lebensmittel.

Überprüfen Sie Ihr Wissen

- 1 Was versteht man unter Mikroorganismen?
- 2 Wie entstehen Lebensmittelvergiftungen und wie Lebensmittelinfektionen?
- 3 Warum sind Viren keine Mikroorganismen?
- 4 Was sind Prionen und woraus bestehen sie?
- 5 Welche Gruppen der Mikroorganismen spielen bei der Lebensmittelherstellung eine bedeutende Rolle?
- 6 Nennen Sie weitere Einsatzgebiete von Mikroorganismen zum Wohl der Menschen.

2 Eigenschaften der Mikroorganismen

2.1 Bakterien

Bakterien sind die klassischen **Einzeller**, sie bestehen nur aus einer **einzigsten Zelle**. Auch wenn sie oft in Ketten oder Zellhaufen zusammenhängen, so ist jede Zelle ein komplettes Lebewesen. Jede Bakterienzelle ist fähig, sich zu vermehren und auf Umweltveränderungen zu reagieren. Seit einigen Jahren weiß man, dass sich viele Bakterien untereinander über Signalstoffe sogar verständigen können.

Größe von Bakterien

Bakterien sind, bis auf einige sogenannte Riesenbakterien, **die kleinsten Lebewesen**. Für sie ist ein Durchmesser von einem Mikrometer (1 μm), d.h. ein tausendstel Millimeter typisch. Die geringe Größe bringt aber durchaus auch Vorteile für diese Mikroben. Bakterien haben größere Stoffumsätze und können schneller wachsen als andere Lebewesen. Ein wichtiger Grund dafür ist, dass ihre Transportwege, beispielsweise der Weg der Stoffe in die Zelle hinein, extrem klein sind. Das Mikroskop lässt wegen der geringen Dimensionen der Bakterien kaum Einzelheiten der Zellen erkennen. Sichtbar ist meist nur die äußere Gestalt der Mikroben, die Form der Zellen.

2.1.1 Zellen der Bakterien

Mit dem Mikroskop kann gesehen werden, ob die Bakterien beweglich sind oder nicht. Viele Bakterien können sich **schwimmend fortbewegen**. Verantwortlich für die Fortbewegung sind eine oder mehrere **Geißeln**. Diese Strukturen sind für das Lichtmikroskop schon zu klein, können aber mit dem **Elektronenmikroskop** sichtbar gemacht werden. Die Geißeln sind entweder an einem (monopolar) oder beiden Zellpolen (bipolar) verankert; sie sind bei einigen Arten aber auch über den gesamten Zellkörper verteilt (**peritriche** Begeißelung). Die Geißeln treiben die Zellen wie Schiffsrotoren durch ihre flüssige Umwelt.

Zytoplasma und Zellmembran

Abb. 1, S. 18 zeigt, wie die Zellen der Bakterien aufgebaut sind. Der innere Raum der Bakterienzelle, **Zytoplasma** genannt, ist reich an unterschiedlichen **Enzymen**.

Diese werden von den Mikroben in ihrem Stoffwechsel für mannigfaltige Aufgaben z.B. zum Abbau der Nahrungsstoffe benötigt. Im Zytoplasma werden Substanzen wie Zuckerverbindungen angereichert, die die Keime verwerten können. Die für die Zelle wichtigen Stoffe können nicht nach außen verloren gehen, weil die ringsum völlig geschlossene **Zellmembran** dies verhindert.

Die Membran besteht aus **Lipiden** und **Proteinen** und ist Barriere und Kontrollorgan für jeglichen Stoffaustausch. Die Zelle enthält außerdem zahlreiche Ribosomen, an denen die Eiweiße produziert werden.

Außerdem findet man Einschlüsse von Speicherstoffen, die für schlechte Zeiten in der Zelle gelagert werden.

Einzeller

Selbstständige Lebewesen, aus einzelnen Zellen bestehend

Zelle

Kleinste selbstständig lebens- und vermehrungsfähige biologische Struktur

Geißel

Fortbewegungsorgan vieler Bakterien, das aus einer Proteinspirale besteht und per Rotation die Zelle antreibt

Elektronenmikroskop

Vergrößerungsinstrument, das anstelle von sichtbarem Licht Elektronenstrahlen einsetzt

Peritrich

Viele Geißeln auf der gesamten Zelloberfläche

Enzyme

Eiweißstoffe, die chemische Vorgänge (Reaktionen) im Stoffwechsel erleichtern, ohne dabei selbst verändert zu werden

Zellmembran

Zelluläre Barriere und Kontrollorgan für den Stoffaustausch, aufgebaut aus Lipiden und Proteinen

Lipide

Fettlösliche Substanzen, oft aus Fettsäuren und Glycerin aufgebaut und in Membranen enthalten

Proteine, Eiweiße

Gefaltete Ketten aus meist über hundert Aminosäuren in bestimmter, durch Gene festgelegter Reihenfolge, oft mit der Funktion eines Enzyms

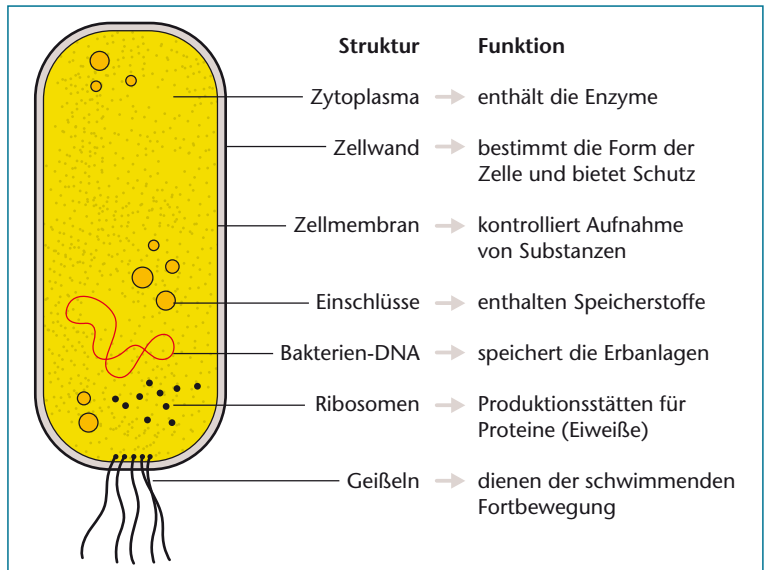


Abb. 1
Bakterienzelle: Strukturen und ihre Funktionen

Gen, Erbanlage

Durch die Reihenfolge der Bausteine der DNA festgelegte Informationen zum Bau der Proteine

DNA (DNS)

Deoxyribonucleic acid (Desoxyribonukleinsäure), die chemische Substanz der Gene

Zellwand

Stabile Hüllschicht außerhalb der Zelle zum Schutz vor mechanischer Beschädigung



Murein

Zellwandmaterial der Bakterien

Aminosäuren

Bausteine der Proteine; in einem Protein können 20 unterschiedliche Aminosäuren enthalten sein

Antibiotika

Von Mikroorganismen gebildet und als Medikamente verwendete Substanzen mit Wirkung gegen bestimmte Mikroben

Beispiele für Antibiotika

- Penicillin
- Streptomycin
- Chloramphenicol
- Tetrazyklin

Erbanlagen der Bakterien

Alle „höheren Lebewesen“ einschließlich der Hefen und Schimmelpilze besitzen wie die menschlichen Zellen einen Zellkern, einen durch eine Membran abgetrennten Raum. In ihm sind die **Gene** oder **Erbanlagen** gespeichert. Die **DNA**-Kette mit den Genen ist, vielfach aufgerollt und dicht gepackt, Bestandteil der Chromosomen. Bakterien sind wie die Archäen **Lebewesen ohne Zellkern** und besitzen keine Chromosomen. Die Erbinformationen der Bakterien sind im Zytoplasma auf einer ringförmig geschlossenen Kette aus DNA, der chemischen Substanz der Gene, aneinandergereiht. Im Gegensatz zu allen anderen Lebewesen sind in Bakterienzellen auch keine durch Membranen abgetrennte Räume, sogenannte Organellen, zu finden.

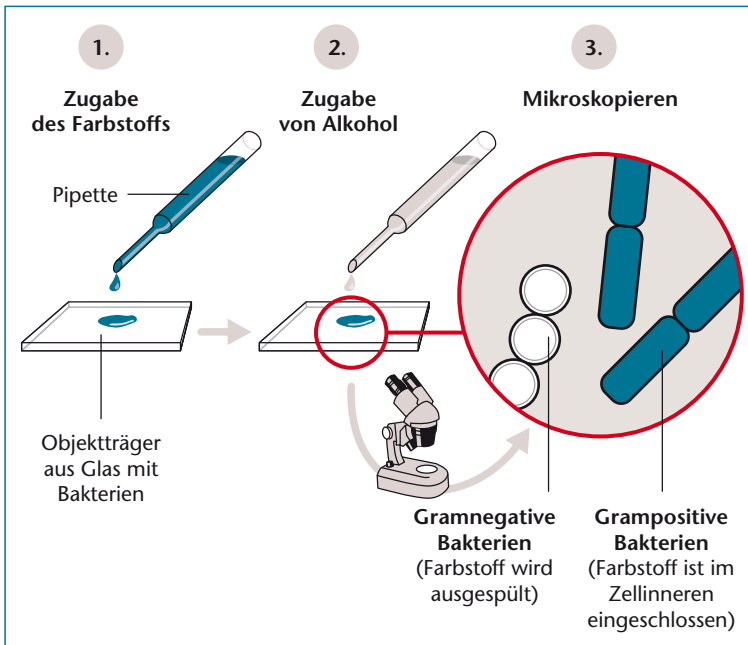
Die Zellen der Bakterien sind die kleinsten und am einfachsten aufgebauten Zellen in der belebten Welt. Sie besitzen keinen Zellkern und keine Chromosomen.

Zellhülle der Bakterien

Die Form der Bakterien wird von der **Zellwand**, dem **starken äußeren Gerüst der Zellen**, bestimmt. Sie bietet dem Zellinneren Schutz vor mechanischen Beschädigungen. Die Zellwand besteht, chemisch gesehen, im wesentlichen aus **Murein**, einer einzigartigen Verbindung. Das Murein ist ein riesig großes, netzartiges Molekül aus langen Zuckerketten mit Verzweigungen aus **Aminosäuren**. Murein kommt nur bei Bakterien und bei keinen anderen Lebewesen vor. Dies ist der Grund, warum die Anwendung von **Antibiotika** so nützlich und hilfreich bei der Bekämpfung von Infektionskrankheiten ist. Denn viele Antibiotika wie z. B. das Penicillin greifen eben dieses Murein und nur allein diese für Bakterien typische Verbindung an. Sie können meist ohne Bedenken (d. h. ohne Nebenwirkungen) in den menschlichen Organismus eingeführt werden, da sie menschliche Zellbestandteile nicht als Ziele erkennen.

Gramfärbung

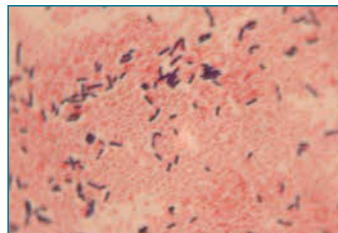
Im Jahre 1884 wurde von dem **Bakteriologen Christian Gram** eine Methode zur Färbung von Bakterien entwickelt, die in *Abb. 1* dargestellt ist. Bis auf den heutigen Tag ist sie in der Mikrobiologie von großer Bedeutung. Der dänische Mikrobiologe hatte beobachtet, dass sich Bakterien darin unterscheiden, ob sie einen Farbstoff nach Zugabe von Alkohol wieder freisetzen oder nicht. Erst wesentlich später stellte sich heraus, dass diese **Gramfärbung** etwas darüber aussagt, wie die Zellwand der jeweiligen Bakterien aufgebaut ist. Bei Bakterien kommen nämlich **zwei grundsätzlich verschiedene Zellwandtypen** vor, die es schon bei den Vorfahren der heutigen Keime vor langer Zeit gab. Somit kann die Gramfärbung zur Einteilung der Bakterien in Gruppen (*Teil A – 2.1.2*) eingesetzt werden, die die natürliche Verwandtschaft der heutigen Bakterien widerspiegelt.



Gramfärbung
Färbemethode zur Unterscheidung von grampositiven und gramnegativen Bakterien

Zellwand der grampositiven Bakterien

Die **grampositiven Bakterien**, wie z. B. die als „Eitererreger“ bekannten Staphylokokken, besitzen eine **sehr dicke Zellwand**, die aus vielen Schichten Murein besteht. Bei der Gramfärbung verlieren sie das hier gebundene Wasser an den zugegebenen Alkohol. Das führt dazu, dass die Zellwandschichten sich eng aufeinander lagern und eine für den Farbstoff undurchlässige Barriere bilden. Der Farbstoff verbleibt in ihnen. Grampositive Bakterien, wie die Milchsäurebakterien, sind für die Lebensmittelherstellung von großer Bedeutung (*Teil A – 6.3.1*). Viele von ihnen können auch unter widrigen Umweltbedingungen überleben, nicht zuletzt aufgrund ihrer robusten äußeren Hülle.



Grampositive Bakterien
Gruppe von Bakterien mit mehrschichtiger Zellwand und ohne äußere Membran, durch die Gramfärbung von anderen Keimen unterscheidbar

Abb. 2
Mikroskopisches Bild grampositiver (blau) und gramnegativer Bakterien (nachträglich rot gefärbt)

Zellhülle der gramnegativen Bakterien

Gramnegative Bakterien
Gruppe von Bakterien mit einer äußeren Membran außerhalb der Zellwand, durch die Gramfärbung von anderen Keimen unterscheidbar

Antigene
Molekülstrukturen, die z.B. an der Zelloberfläche von Mikroorganismen liegen und von Antikörpern des Immunsystems eines höheren Organismus erkannt werden

Endotoxine
toxische Zellbestandteile aller gramnegativer Bakterien, die erst bei Zelltod und -auflösung frei werden und Entzündungsreaktionen in Gang setzen

Exotoxine
toxische Proteine, die von lebenden Bakterien gebildet und ausgeschieden werden

Antikörper
Proteine des Immunsystems im Blut und anderen Körperflüssigkeiten, die sich an spezifische Antigene z.B. von Bakterien binden

Gallensäuren
In der Leber zur Fettverdauung hergestellte Verbindungen, die mit der Gallenflüssigkeit in den Dünndarm freigesetzt werden

Gramnegative Bakterien lassen den Farbstoff bei Alkoholzugabe während der Gramfärbung wieder herausickern. Denn ihre **Zellwand** ist **wesentlich dünner** als bei den Grampositiven. Sie besteht nur aus einer oder sehr wenigen Mureinschichten. Stattdessen haben sie außerhalb der eigentlichen Zellwand eine weitere und gänzlich andere Hüllschicht. Diese wird „**äußere Membran**“ genannt. Sie ist aus großen, komplexen Molekülen aufgebaut, die an einem Ende Fettsäuren besitzen, die sich zu einer Membran zusammenlagern. Das andere Ende besteht aus langen Zuckerketten. Diese stellen die äußerste Umgrenzung der Mikroben dar. Das menschliche Immunsystem reagiert auf diese Membrananhängsel heftigst; sie sind starke **Antigene**. Werden diese Substanzen beim Tod der Mikroben frei, dann führen sie zu Fieber und Entzündungsreaktionen. Man hat diesen Verbindungen der gramnegativen Bakterien, die bei lebenden Keimen im Zellinneren zu finden sind, den Namen **Endotoxine** (gr. endon = innen) gegeben. Im Gegensatz dazu werden **Exotoxine** (lat. extra = außerhalb) von einigen gramnegativen und grampositiven Bakterien gebildet und schon zu Lebzeiten ausgeschieden.

Schutz der gramnegativen Bakterien durch die äußere Membran

Abb. 1 zeigt, dass die „äußere Membran“, die das Endotoxin enthält, für die Keime eine wichtige Funktion hat. Sie verhindert das Eindringen von gefährlichen Verbindungen in die Zelle. Dies sind beispielsweise viele Antibiotika, die die Zellwand oder andere Zellstrukturen wie die Ribosomen angreifen. Die äußere Membran ist auch für Enzyme und andere Proteine wie die **Antikörper** nicht durchlässig. Lysozym ist z.B. ein für Bakterien gefährliches Enzym, da es deren Zellwand zerstört. Lysozym ist in hohen Mengen in der Tränenflüssigkeit oder im Hühner-eiweiß zu finden und kann grampositive Bakterien unschädlich machen. Gegen die gramnegativen richtet es wenig aus, da es nicht bis zur eigentlichen Zellwand gelangt. Gramnegative Bakterien sind viele Mikroben, die wie die Salmonellen im Dünndarm von Mensch und Tier „zu Hause“ sind. Ihre besondere Zellhülle beschirmt sie gut vor den dort vorhandenen Enzymen und **Gallensäuren**.

Abb. 1
Unterschiede in der Zellhülle grampositiver und gramnegativer Bakterien und in der Wirkung vieler Antibiotika

