



Keweloh / Reinecke

Keimarme Ernährung

bei Immunschwäche und Immunsuppression,
in der Schwangerschaft und im Alter

WVG

Wissenschaftliche
Verlagsgesellschaft
Stuttgart

Keweloh / Reinecke

Keimarme Ernährung

bei Immunschwäche und Immunsuppression, in der Schwangerschaft und im Alter

Heribert Keweloh, Oberhausen
Uta Reinecke, Walsrode

Mit 88 Abbildungen und 11 Tabellen

Zuschriften an

lektorat@dav-medien.de

Anschriften der Autoren

Dr. Heribert Keweloh
Forststr. 129
46147 Oberhausen

Uta Reinecke
Altenboitzen 45
29664 Walsrode

Alle Angaben in diesem Werk wurden sorgfältig geprüft. Dennoch können die Autoren und der Verlag keine Gewähr für deren Richtigkeit übernehmen.

Ein Markenzeichen kann markenrechtlich geschützt sein, auch wenn ein Hinweis auf etwa bestehende Schutzrechte fehlt.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

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

Jede Verwertung des Werkes außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Nachdrucke, Mikroverfilmungen oder vergleichbare Verfahren sowie für die Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen.

1. Auflage 2018

ISBN 978-3-8047-3687-0 (Print)

ISBN 978-3-8047-3873-7 (E-Book, PDF)

© 2018 Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH

Birkenwaldstraße 44, 70191 Stuttgart

www.wissenschaftliche-verlagsgesellschaft.de

Printed in Germany

Satz: abavo GmbH, Buchloe

Druck und Bindung: W. Kohlhammer Druckerei GmbH & Co. KG, Stuttgart

Umschlaggestaltung: deblik, Berlin

Umschlagabbildung: Bisz6/stock.adobe.com

Vorwort

Unser Immunsystem hat in einer Welt voller krankheitsauslösender Bakterien und Viren die Aufgabe, den Körper vor den Angriffen dieser Mikroorganismen zu schützen. Ein Großteil der Infektionen, die Menschen in der heutigen Zeit erleiden, wird beim Verzehr von Speisen durch Krankheitserreger in den Lebensmitteln ausgelöst. Diese Lebensmittelinfektionen treffen besonders Menschen bestimmter Risikogruppen, deren Abwehrsystem dauerhaft oder vorübergehend geschwächt ist.

Dies sind zum einen Patienten mit Immunsuppression, deren Zahl stetig zunimmt. Infektionen können das Leben von Patienten, deren Immunsystem medikamentös unterdrückt wird, akut gefährden. Bei Patienten nach Organtransplantationen müssen die Maßnahmen zum Schutz vor Abstoßungen kontinuierlich aufrechterhalten werden. Stammzelltransplantationen und Chemotherapie, Krebs- und Autoimmunerkrankungen, Immundefekte und Erkrankungen wie AIDS werden ebenfalls von Immunsuppression begleitet oder sind selbst die Quelle der Immunschwäche.

Während der Schwangerschaft tritt bei Frauen eine physiologische Suppression ihres Immunsystems auf, damit der Fötus nicht als körperfremd abgestoßen wird. Sie sind besonders durch Lebensmittel gefährdet, die Infektionserreger enthalten, die auf das Ungeborene übergehen und zu Missbildungen oder gar zum Tod führen können. Auch im Alter reagiert das Abwehrsystem des Körpers immer schlechter auf dem Immunsystem unbekannte Krankheitserreger. Das Risiko, durch Lebensmittel verursachte Infektionen zu erleiden, steigt bei Menschen schon ab dem 60. Lebensjahr an.

Die zahlreichen Empfehlungen zur keimarmen Ernährung unterscheiden sich oft stark, sind wissenschaftlich nicht belegt und durch zahlreiche Unstimmigkeiten gekennzeichnet. Dies führt zu einer erheblichen Verunsicherung der Patienten. Darüber hinaus schränkt eine rigorose keimarme Kost das Wohlbefinden sowie die Lebensqualität der Betroffenen drastisch ein. Sie kann den körperlichen Ernährungszustand dieser Menschen verschlechtern und damit auch den Immunitätszustand weiter beeinträchtigen.

Nicht alle Mikroorganismen sind eine Bedrohung. In der Medizin haben Bakterien lange Zeit ein düster-bedrohliches Image gehabt. Heutzutage ändert sich das aber, und die vielen guten Seiten der Einzeller, die uns bewohnen, kommen zum Vorschein. Um jedoch vermeidbare exogene Infektionen durch pathogene Keime zu verhindern, bedarf es eines Verständnisses der mikrobiologischen Belastungen und der physiologischen Abläufe im Körper. Erst dann können auf professioneller und auf privater Ebene sinnvolle hygienische Vorkehrungen getroffen werden, um den Zugang der Erreger zum Körper zu minimieren oder ganz auszuschließen. Dabei gibt es keine Patentrezepte und Standardlösungen, und das Infektionsrisiko bestimmter Lebensmittel muss immer im Zusammenhang mit dem Grad der Immunschwäche der Betroffenen gesehen werden. Listen mit für Immungeschwächte geeigneten und ungeeigneten Lebensmitteln können hilfreich sein, verschleiern aber, dass der hygienische Umgang mit ihnen ebenso wichtig ist und die Höhe des Infektionsrisikos bestimmt, die von ihnen ausgeht.

Dieses Fachbuch behandelt die Ernährung von Menschen, deren Immunsystem für den Angriff von Infektionserregern besonders empfindlich ist, und die das Risiko von Lebensmittelinfektionen drastisch reduzieren müssen.

Wir haben uns bemüht, die Anliegen und Probleme aller Betroffenen zu erfassen. Zum einen sind dies Berufsgruppen wie Ärzte, Pflegepersonal, Ernährungstherapeuten, Diät-

assistenten und Köche, deren Aufgabe die Ernährung und Versorgung dieser Menschen ist. Darüber hinaus ist das Buch auch für die Menschen selbst nützlich, die mit Immunsuppression oder -schwäche leben müssen, für Schwangere und ältere Menschen sowie deren Familienangehörige.

Im ersten Teil erfährt der Leser, welche schädlichen und nützlichen Mikroorganismen in unseren Lebensmitteln enthalten sein können und welche Bedeutung sie für den Menschen haben. Die Abwehrreaktionen des Körpers auf Krankheitserreger und die Konstellation der unterschiedlichen Personengruppen mit geschwächtem Immunsystem erläutern wir im zweiten Teil. Im dritten Teil werden die notwendigen hygienischen Vorkehrungen im Umgang mit Lebensmitteln vom Einkauf bis zu dem Verzehr vorgestellt. Auch in Lebensmittelhygiene nicht ausgebildete Personen werden hier in die Lage versetzt, die wichtigsten Hygieneregeln zu beachten und sichere Speisen zuzubereiten. Im letzten Teil des Buches werden die Lebensmittel gruppiert und ihre mikrobiologischen und hygienischen Besonderheiten beleuchtet. Wir haben uns dabei auf die gängigsten Lebensmittel konzentriert; diese Ernährungsprinzipien sind aber auf andere Lebensmittel übertragbar.

Wir hoffen sehr, allen Lesern dieses Buches bei ihren Ernährungsentscheidungen helfen zu können. Wir bedanken uns bei allen, die beim Schreiben und bei der Herstellung des Buches unterstützt und geholfen haben. Besonderer Dank für die wohlwollende Unterstützung gebührt Herrn Wilfried Bissel, dem Geschäftsführer der Klinik Fallingb., der der Autorin Arbeitszeit für die Bucherstellung zur Verfügung gestellt hat. Ebenfalls danken wir Frau Hedwig Schindler und Frau Dr. Nadine Mariani Corea für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für ihre wertvollen Tipps. Unser Dank geht auch an die Lektoren des Verlags, Frau Kathrin Kisser, Frau Anne-Kathrin Janetzky und Herrn Dr. Tim Kersebohm, die unser Projekt mit Feuer und Flamme unterstützt haben, für die ausgezeichnete Kooperation.

Oberhausen und Walsrode, im Sommer 2018

Heribert Keweloh
Uta Reinecke

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Mikroorganismen als Krankheitserreger in Lebensmitteln	1
1.1 Biologie und Lebensweise der Mikroorganismen	1
1.1.1 Bakterien.....	1
1.1.2 Pilze	4
1.1.3 Protozoen	6
1.1.4 Viren	6
1.2 Mensch- und lebensmittelassoziierte Mikroorganismen	7
1.2.1 Darmflora	7
1.2.2 Verderbniserreger.....	9
1.2.3 Lebensmittelfermentierende Mikroorganismen	9
1.2.4 Probiotische Bakterien.....	10
1.3 Krankheitserreger in Lebensmitteln	11
1.3.1 Bakterielle Krankheitserreger	14
1.3.2 Viren als Krankheitserreger	17
1.3.3 Protozoen und Pilze als Krankheitserreger.....	19
1.4 Vermeidung von Gefahren durch Lebensmittel	21
1.4.1 Kreuzkontaminationen	22
2 Erregerabwehr bei immungeschwächten Personen	24
2.1 Abwehrsysteme gegen Infektionserreger	25
2.1.1 Primäre Abwehrbarrieren	26
2.1.2 Unspezifisches Immunsystem	29
2.1.3 Spezifisches Immunsystem	30
2.1.4 Immunsystem des Darms	33
2.1.5 Aktivität des Immunsystems.....	35
2.2 Immunsuppression – Unterdrückung des Immunsystems	36
2.2.1 Organtransplantationen.....	36
2.2.2 Chemotherapie und Stammzelltransplantationen	37
2.2.3 Autoimmunkrankheiten und Allergien	39
2.2.4 Medikamente mit immunsupprimierender Wirkung.....	40
2.3 Immunschwäche bei Krankheiten und im Alter	42
2.3.1 Immunschwächekrankheiten	42
2.3.2 Immunschwäche im Alter.....	45
2.4 Schwangerschaft und Infektionsrisiken	48
2.4.1 Dämpfung des Immunsystems während der Schwangerschaft	49
2.4.2 Übertragung von Erregern auf den Fötus.....	50

3	Lebensmittelhygiene – vom Einkauf bis zum Verzehr	55
3.1	Einkauf und Lagerung	55
3.1.1	Einkaufen	56
3.1.2	Einhaltung der Kühlkette	56
3.1.3	Lagerung von Lebensmitteln	57
3.1.4	Mindesthaltbarkeits- und Verbrauchsdatum.....	58
3.1.5	Lagerung im Kühlschrank	59
3.2	Zubereitung in der Küche	60
3.2.1	Vorbereitung der Speisen	63
3.2.2	Garen	64
3.2.3	Schneidbretter	64
3.2.4	Küchenwerkzeuge und Geschirr	65
3.2.5	Küchentücher und Putzutensilien.....	66
3.3	Abkühlen, Einfrieren, Auftauen und Aufwärmen von Speisen	66
3.3.1	Abkühlen von Speisen	67
3.3.2	Einfrieren von Speisen	67
3.3.3	Auftauen von tiefgekühlten Waren.....	68
3.3.4	Aufwärmen von Speisen.....	69
3.4	Außer-Haus-Verpflegung und Grillfeste	70
3.4.1	Außer-Haus-Verpflegung	70
3.4.2	Grillfeste.....	71
3.5	Körper- und Händehygiene	72
3.5.1	Händehygiene.....	72
3.5.2	Händewaschen.....	73
3.5.3	Händedesinfektion.....	74
4	Mikrobiologisch-hygienische Eigenschaften von Lebensmitteln	75
4.1	Obst und Gemüse	75
4.1.1	Frisches Obst.....	76
4.1.2	Verarbeitetes Obst	81
4.1.3	Frisches Gemüse	83
4.1.4	Gemüseerzeugnisse	87
4.1.5	Gewürze und Kräuter	90
4.1.6	Kartoffeln und Kartoffelerzeugnisse	92
4.2	Nüsse, Samen und Pflanzenöle.....	93
4.2.1	Nüsse und Samen.....	94
4.2.2	Pflanzenöle und -fette	97
4.3	Getreide und Getreideprodukte.....	100
4.3.1	Brot und Kleingebäck.....	101

4.3.2	Feingebäck	104
4.3.3	Getreideerzeugnisse	106
4.4	Milch und Milchprodukte	107
4.4.1	Rohmilch	108
4.4.2	Wärmebehandelte Milch	110
4.4.3	Käse	111
4.4.4	Butter und Sahneerzeugnisse	116
4.4.5	Sauermilch- und Joghurtprodukte	119
4.5	Fleisch und Fleischprodukte	120
4.5.1	Frischfleisch, tiefgefrorenes und zubereitetes Fleisch	121
4.5.2	Geflügelfleisch	125
4.5.3	Fleisch- und Wurstwaren	126
4.6	Eier und eihaltige Produkte	131
4.6.1	Frische Eier	132
4.6.2	Eierprodukte	134
4.6.3	Mayonnaise	136
4.6.4	Feinkostsalate	138
4.7	Fisch und Fischprodukte, Schalentiere	140
4.7.1	Frischfisch	140
4.7.2	Tiefgefrorene Fischerzeugnisse	142
4.7.3	Geräucherte und eingelegte Fischerzeugnisse	143
4.7.4	Fischkonserven	146
4.7.5	Schalentiere	147
4.8	Getränke	148
4.8.1	Wasser	148
4.8.2	Kaffee und Tee	152
4.8.3	Fruchtgetränke	156
4.8.4	Alkoholische Getränke	158
4.9	Süßwaren	161
4.9.1	Zuckerreiche Lebensmittel	162
4.9.2	Speiseeis	165
4.9.3	Kakao und Schokolade	166
4.9.4	Knabberartikel	167
	Glossar	169
	Literaturverzeichnis	171
	Bildnachweis	174
	Sachregister	175
	Die Autoren	185

1 Mikroorganismen als Krankheitserreger in Lebensmitteln

Ernährung ist stets mit dem Risiko verbunden, dass Krankheitserreger beim Essen oder Trinken in den Körper gelangen. Die Erreger können eine Infektion hervorrufen, wenn sie unsere Abwehrmechanismen überwinden und unser Immunsystem überlisten. Infektionen dieser Art, d. h. Lebensmittelinfektionen, können durch eine Kost vermieden werden, die darauf ausgerichtet ist, die Aufnahme krankheitserregender Mikroorganismen durch Auswahl und hygienische Behandlung der Nahrungsmittel zu verhindern.

Die an Lebensmittelinfektionen beteiligten Krankheitserreger sind vermehrungsfähige Lebewesen, die aufgrund ihrer Größe mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind und zumeist **Mikroorganismen** darstellen. Die in riesiger Anzahl auf der Erde vorkommenden Mikroorganismen, zu denen die Bakterien als eine Großgruppe gehören, besitzen höchst unterschiedliche Eigenschaften. Die allermeisten Mikroorganismen können uns nicht krankmachen, da dazu genetisch verankerte Programme und Virulenzfaktoren gehören, die nicht in ihrem Erbgut enthalten sind. Nur einige krankheitserregende Mikroorganismen können in den Körper des Menschen eindringen, sich dort vermehren und den Körper schädigen.

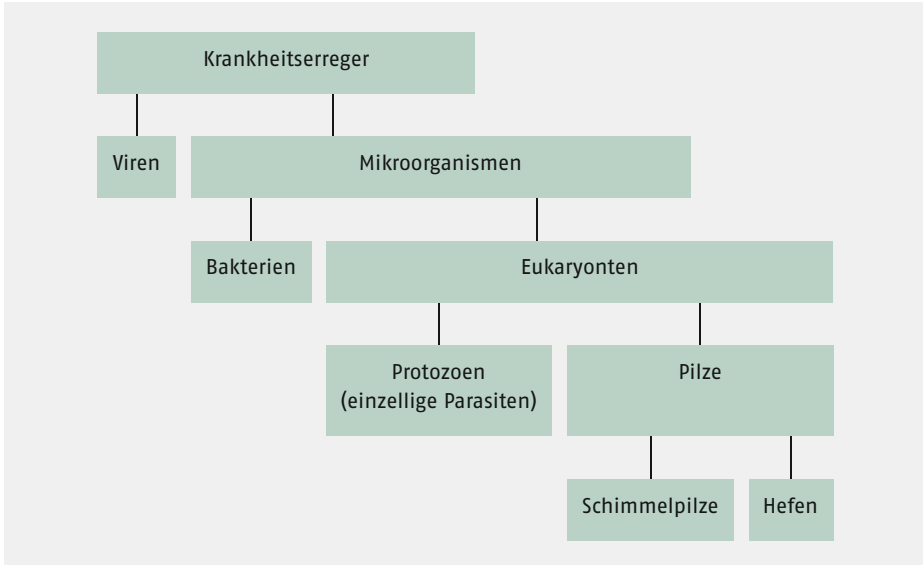
Der Begriff „Keime“ wird nicht einheitlich benutzt. Oft werden damit Krankheitserreger gemeint; häufig und auch in diesem Buch werden Keime mit Mikroorganismen gleichgesetzt.

1.1 Biologie und Lebensweise der Mikroorganismen

Die Mikroorganismen, die als Sammelbegriff nur aufgrund ihrer geringen Größe zusammengefasst werden, bestehen aus unterschiedlichen biologischen Großgruppen (● Abb. 1.1). Die Viren, die häufig als Erreger von Infektionskrankheiten auftreten, werden in der Regel nicht zu den Mikroorganismen gezählt, da sie keine Lebewesen sind (► Kap. 1.1.4).

1.1.1 Bakterien

Die kleinsten Mikroorganismen sind die **Bakterien**, die nur aus einer Zelle bestehen und niemals mehrzellig sind. Obgleich Bakterien Einzeller sind, leben sie nicht immer einzeln, sondern bevorzugen oft die Gemeinschaft mit Artgenossen. Bakterien können auf Ober-

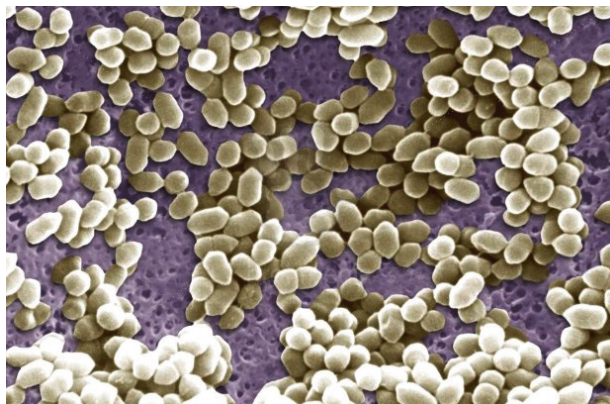


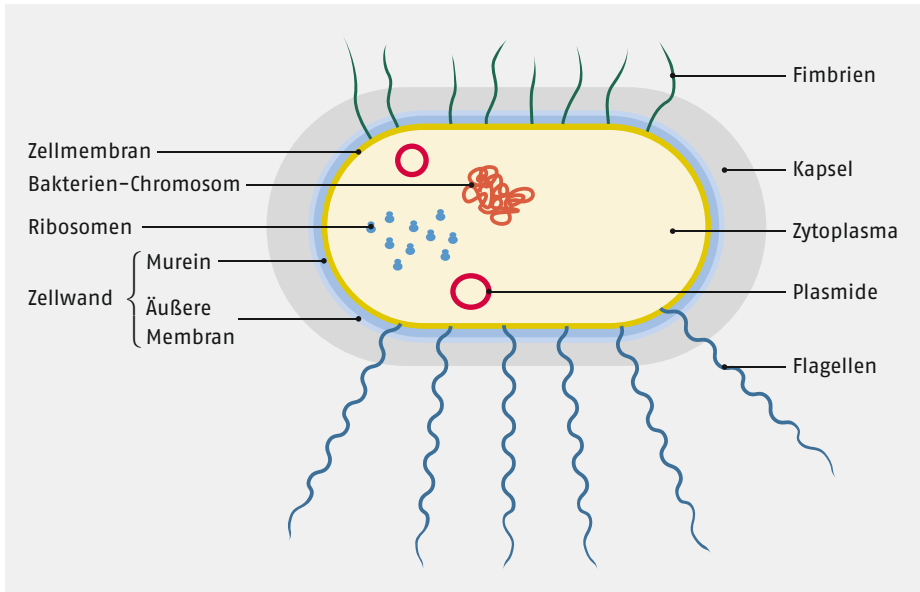
• Abb. 1.1 Mikroorganismen stellen keine einheitliche biologische Gruppe dar

flächen **Biofilme** bilden, wie beispielsweise die schleimigen Beläge, die auf Fleisch und Fleischprodukten entstehen. Auch auf blättrigen Teilen von Pflanzen, wie bei vielen Salatpflanzen, befinden sich Biofilme. Dazu müssen die Oberflächen nur häufig mit Wasser in Berührung kommen, z. B. bei Regen oder Berieselung. In nährstoffreichen Flüssigkeiten vermehren sich die meisten Bakterien ebenfalls sehr gut, in einer klaren Brühe sichtbar an einer schnell auftretenden Trübung (Keweloh, Frintrop 2016).

Bakterien vervielfältigen sich durch Querteilung: Aus der Mutterzelle entstehen durch Abschnürung in der Zellmitte zwei identische Tochterzellen. Unter optimalen Umweltbedingungen können zahlreiche Bakterien alle 15–20 Minuten eine neue Zellgeneration bilden. Dazu gehört vor allem eine geeignete Temperatur. Die meisten Bakterien in Lebensmitteln wachsen optimal bei etwa 30 °C, sodass gerade in warmen Küchen und im Sommer ein hohes Risiko besteht, dass gesundheitsgefährdende Keime sich in ungekühlten Speisen stark vermehren. Kühlschrantemperaturen verlangsamen das Wachstum von

• Abb. 1.2 Bakterien aus der Gruppe der Listerien





● Abb. 1.3 Bakterienzelle (gramnegatives Bakterium)

Keimen beträchtlich, einige Keime wie etwa Salmonellen können sich unter 7°C überhaupt nicht mehr vermehren.

Für das Wachstum von Bakterien sind weitere chemische und physikalische Umweltfaktoren notwendig, die allerdings ebenfalls von Art zu Art der Bakterien variieren können.

- **Wasser** ist in jedem Fall eine notwendige Voraussetzung für die Vermehrung von Mikroorganismen. Dabei muss das Wasser für die Bakterienzellen verfügbar sein, darf also z. B. nicht durch Zucker oder Salze gebunden sein. Als Maß für Verfügbarkeit des Wassers gilt die Wasseraktivität (*Activity of Water*, a_W -Wert).
- **Nährstoffe** sind die Grundlage für Stoffwechsel und Wachstum der Zellen. Organische Verbindungen (z. B. Zucker) sowie anorganische Stoffe (z. B. Salz-Ionen) müssen in die Zellen aufgenommen und die organischen Stoffe mithilfe von Enzymen umgesetzt werden.
- Der **pH-Wert** muss für eine Vermehrung geeignet sein. Ein zu saures Milieu erlaubt höchstens noch Wachstum der darauf spezialisierten Keime, z. B. der Milchsäurebakterien.
- Je nach **Sauerstoffbedürfnis** der Bakterien muss O_2 in genügender Konzentration vorhanden (für aerobe Keime) oder abwesend sein (für anaerobe Keime).

Die Zellen von Bakterien (● Abb. 1.3) enthalten im Inneren, im sogenannten **Zytoplasma**:

- das Erbgut aus DNA, das **Bakterienchromosom** genannt wird,
- **Plasmide**, die zusätzlich erworbene Gene wie Antibiotikaresistenzen aufweisen,
- **Ribosomen**, an denen Proteine synthetisiert werden.

Die Zellhülle hat folgenden Aufbau (von innen nach außen):

- Die **Zellmembran** ist für den Stoffaustausch verantwortlich und besteht aus einer Lipiddoppelschicht mit eingelagerten Proteinen.

Tab. 1.1 Klassifizierung von Bakterien (Auswahl)

Gruppe	Gram-Färbung	O ₂ -Verhalten	Besonderheiten
Bazillen	Grampositiv	Aerob	Bildung von Bakteriosporen
Bifidobakterien	Grampositiv	Anaerob	Darmbakterien
Clostridien	Grampositiv	Anaerob	Bildung von Bakteriosporen
Enterobacteriaceen (Enterobakterien)	Gramnegativ	Aerob oder anerob (falls kein O ₂ vorhanden)	Darmbakterien und Krankheitserreger, z. B. <i>E. coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>Yersinia</i>
Enterokokken (früher Streptokokken)	Grampositiv	Tolerieren, aber benötigen kein O ₂	Darmbakterien
Laktobazillen (Gruppe der Milchsäurebakterien)	Grampositiv	Tolerieren, aber benötigen kein O ₂	Lebensmittelfermentierer, vergären Zucker zu Milchsäure
Pseudomonaden	Gramnegativ	Aerob	Verderbniserreger

- Die **Zellwand** besteht aus einem netzförmigen Makromolekül, dem **Murein**, einer Verbindung, die nur bei Bakterien gefunden wird.
- Ein Teil der Bakterien (gramnegative Bakterien) besitzt außerhalb der Mureinschicht eine weitere Membran, die **äußere Membran** genannt wird.
- Einige Bakterien können auch Schleimschichten oder **Kapseln** um die Zelle bilden, die eine wirksame Barriere für Antikörper sind.
- Nach außen ragen bei vielen Bakterien die **Flagellen** (Geißeln), die der Fortbewegung dienen, und Anhängsel zur Anheftung an feste Strukturen, wie **Fimbrien** oder Pili, die auf der gesamten Oberfläche zu finden sind.

Die gramnegativen Bakterien enthalten in der äußeren Membran die Lipopolysaccharide (LPS). Diese Moleküle können von Antikörpern als Antigene genutzt werden (Kap. 2.1.3). Außerdem handelt es sich bei diesen Verbindungen um die sogenannten Endotoxine, die beim Tod der Bakterien heftige Entzündungsreaktionen im Wirtsorganismus auslösen können. Die grampositiven Bakterien, die von den gramnegativen durch eine Färbung (Gram-Färbung) unterschieden werden, besitzen eine sehr dicke Zellwand aus vielen Schichten Murein und keine äußere Membran (Keweloh, Frintrop 2016).

Es gibt im Bakterienreich eine Vielzahl von Untergruppen, von denen einige für Lebensmittel und den Menschen bedeutsam sind (Tab. 1.1).

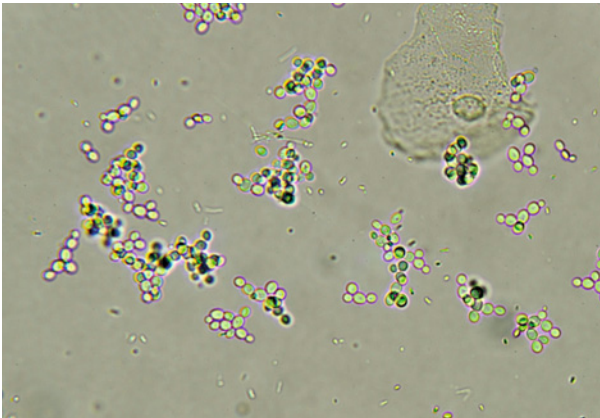
Bakterien können im Allgemeinen mithilfe von Antibiotika abgetötet werden. Antibiotika greifen Strukturen wie z. B. das Murein der Zellwand an, die typisch sind für Bakterien und die in den Zellen des Menschen nicht vorhanden sind.

1.1.2 Pilze

Eine wichtige Gruppe der Mikroorganismen sind die **Pilze**, von denen die Schimmelpilze und die Hefen für die Qualität und Sicherheit von Lebensmitteln von Bedeutung sind. Die Zellen der Pilze sind nicht nur wesentlich größer als die der Bakterien, sie unterscheiden



● **Abb. 1.4** Schimmelpilz (*Penicillium*) mit Hyphen und Sporenbildungsorganen



● **Abb. 1.5** Die Hefe *Saccharomyces cerevisiae*

1

sich auch durch den Besitz eines Zellkerns und von Chromosomen und ähneln damit im Zellaufbau Pflanzen und Tieren.

Schimmelpilze, die lange fädige Zellen (Hyphen) besitzen, bilden sichtbare Beläge auf Lebensmitteln und anderen Substraten, wenn sie zur Vermehrung in großer Zahl Sporen produzieren (● Abb. 1.4). Die Gesamtheit der mikroskopisch kleinen Zellfäden wird Myzel genannt – ein oft weit verzweigtes Geflecht, mit dem sie tief in ihre Nahrungsquellen, z. B. Lebensmittel, eindringen. Schimmelpilze können so auch feste und halb feste Substrate besiedeln und auch komplexe Kohlenhydrate wie die Zellulose von pflanzlichen Zellwänden abbauen. Schimmelpilze wie *Penicillium* spielen überdies eine wichtige Rolle als Edelschimmel, beispielsweise bei der Herstellung von Käse.

Hefen sind zumeist Einzeller mit kugeliger Gestalt und seltener fädig aufgebaut (● Abb. 1.5). Sie gehören dennoch aufgrund der Zellstruktur zu den Pilzen. Hefen wie z. B. die Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae* vermehren sich durch Sprossung. Die Hefezelle bildet eine kleine Ausstülpung und aus diesem Zellspross, in den ein neu gebildeter Zellkern einwandert, entsteht nach Vergrößerung eine Tochterzelle. Hefen sind in der Natur häufig dort zu finden, wo zuckerreiche Früchte und Säfte vorhanden sind. Sie können gut in Flüssigkeiten leben und sind in ihrer Ernährung auf Substanzen wie Zucker spezialisiert, die sie vergären und zu CO_2 und Ethanol abbauen.

1.1.3 Protozoen

Eine weitere Mikroorganismenklasse sind die Protozoen, in der ganz verschiedene einzellige Organismen zusammengefasst werden. Von der Größe und dem Aufbau ihrer Zellen sind Protozoen den Pilzen ähnlich. Sie besitzen eine komplex aufgebaute eukaryontische Zelle mit einem Zellkern, in der Chromosomen als Träger der genetischen Informationen lokalisiert sind. Im Gegensatz zu Pilzen haben Protozoen keine Zellwand. Die oft gut beweglichen Organismen werden deshalb auch tierische Einzeller genannt.

Protozoen vermehren sich überwiegend sexuell, wobei diese Entwicklung häufig mit einem Wirtswechsel verbunden ist. So ist der Hauptwirt der in der Schwangerschaft gefürchteten Toxoplasmen die Katze (► Kap. 1.3.3). Protozoen können sich auch asexuell stark vermehren und widerstandsfähige und dauerhafte Entwicklungsformen wie Eier und Zysten bilden.

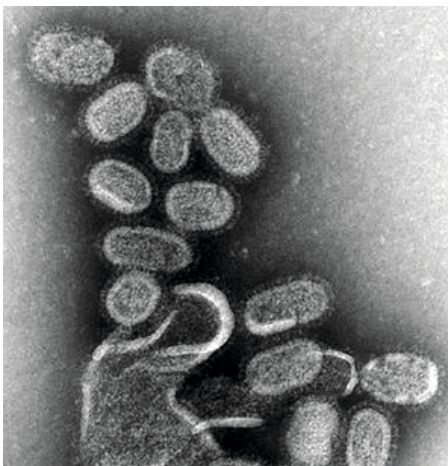
Protozoen, zu denen Amöben, Flagellaten, Ciliaten und Sporozoen (Sporentierchen) gehören, gelangen in nördlichen Ländern meist über Lebensmittel oder Trinkwasser in den Wirt. In tropischen Ländern werden Protozoen oft durch Insektenstiche übertragen, wie beispielsweise die Erreger der Malaria und der Afrikanischen Schlafkrankheit.

Protozoen sind oft **Parasiten**, d. h. sie leben in oder an einem anderen Lebewesen und ernähren sich auf Kosten des Wirtsorganismus. Zu den Parasiten, die über die Nahrung aufgenommen werden, gehören auch mehrzellige und größere Tiere wie die Helminthen (Würmer). Erkrankungen, etwa durch Fadenwürmer (Nematoden) oder Bandwürmer, sind in Deutschland inzwischen sehr selten geworden.

1.1.4 Viren

Viren sind ebenfalls Parasiten, die in Lebewesen eindringen und in deren Zellen neue Viren herstellen. Sie sind aus typisch biologischen Substanzen wie Proteinen und Nukleinsäuren aufgebaut und benutzen auch DNA (bzw. die chemisch eng verwandte RNA) als Erbgut. Sie werden jedoch aufgrund folgender Eigenschaften nicht zu den Lebewesen gezählt:

- Viren sind nicht aus Zellen aufgebaut. Sie bestehen nur aus ihrem Erbgut, das in einer Hülle aus Proteinen (Kapsid) eingeschlossen ist. Zusätzlich enthalten einige Viren eine äußere Protein-Lipid-Umhüllung wie z. B. die Grippeviren (● Abb. 1.6).



● **Abb. 1.6** Grippeviren (elektronenmikroskopische Aufnahme)

- Viren können sich nicht selbstständig vermehren, sondern nur in den Zellen eines Wirts.
- Viren besitzen keinen Stoffwechsel. Sie können weder ihr Erbgut selbst kopieren noch ihre Hülle selbst herstellen.

Während die meisten Bakterien einen Durchmesser von etwa einem Mikrometer haben und mit einem Lichtmikroskop beobachtet werden können, sind die Viren noch deutlich kleiner und nur unter dem Elektronenmikroskop sichtbar. Um sich zu vermehren, lagern sich Viren an geeignete Membranproteine der Wirtszellen an. Sie dringen in die Zelle ein und nutzen die Enzyme und Synthesysteme der Wirtszelle aus. Durch Manipulation der zellulären Regulation gelingt es den Viren, mit der Vorlage der eingeschleusten viralen Erbinformation die Virusbestandteile und Kopien ihres Erbgutes herzustellen.

Da Viren keinen eigenen Stoffwechsel besitzen und sich außerhalb der Wirtszelle nicht vermehren können, sind sie nicht in der Lage sich in Lebensmitteln oder Speisen zu vervielfältigen. Eine Kühlung der Lebensmittel wirkt sich daher nicht risikomindernd aus. Bei Viren dienen Lebensmittel nur als Vehikel, um in den Darm und – je nach Virus – von dort weiter in den Körper des Menschen zu gelangen. Antibiotika sind gegen Viren unwirksam, da diese nur Strukturen angreifen, die bei Bakterien vorhanden sind.

1.2 Mensch- und lebensmittelassoziierte Mikroorganismen

Mikroorganismen können nicht nur aufgrund ihrer Biologie unterschieden werden, sondern auch hinsichtlich ihres Verhältnisses zum Mensch (● Abb. 1.7). Sie können für den Menschen nützlich, sogar unentbehrlich sein, andere können ihm schaden, sogar seinen Tod herbeiführen.

Obgleich der weitaus größte Teil der Mikroorganismen im Boden oder im Wasser zu finden ist, leben zahlreiche andere Bakterien in enger Symbiose mit dem Menschen. Diese Mikroorganismen sind mit dem menschlichen Körper eng vergesellschaftet, was für beide Lebewesen vorteilhaft ist. Diese Körperkeime, die ihrem Wirt keinen Schaden zufügen, werden auch als **Kommensalen** (wörtlich: Mitesser) bezeichnet.

1.2.1 Darmflora

Der Mensch ist auf allen Körperoberflächen dicht mit Bakterien und anderen Mikroorganismen besiedelt. Dies trifft vor allem auf den Gastrointestinaltrakt zu, in dem von Mund bis Dickdarm unterschiedliche und höchst komplexe Populationen von Bakterien leben. Der Darm, in dem die Nahrung aufgespalten wird, bietet Bakterien hervorragende Lebens- und Nährstoffbedingungen. Die hier ansässige Darmflora wird auch **intestinale Mikrobiota** oder **Darmmikrobiom** genannt. Bei einem gesunden Erwachsenen werden im Darm bis zu 100 Billionen Bakterien gezählt, die aus einigen Hundert verschiedenen Arten bestehen. Ein Grund für diese Vielzahl ist die bemerkenswert große Ausdehnung der Darminnenfläche mit ca. 300 m² (im Vergleich dazu 1,4 m² der Haut).

Besonders der Dünndarm als Ort der Verdauung und Resorption der Nahrung hat eine stark vergrößerte Oberfläche. Dort können sich nur wenige Bakterien festsetzen, da die Motorik des Dünndarms diesen regelmäßig durchspült. Der vordere Bereich des Dünndarms, der Zwölffingerdarm, ist bakterienarm und enthält vor allem Milchsäurebakterien in einer Konzentration von etwa 10³ pro Milliliter. Im Dickdarm herrscht eine

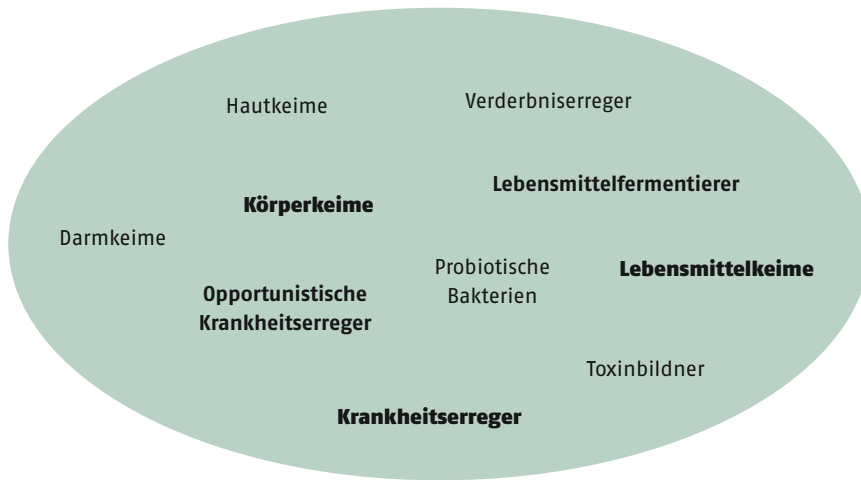


Abb. 1.7 Mikroorganismengruppen mit Bezug zum Menschen und zu Lebensmitteln

dichte Ansammlung von Bakterien; dieser Körperteil ist mit 10^{11} – 10^{12} (eine Billion) Bakterien pro Gramm Kot besiedelt.

Darmbakterien haben für uns überaus nützliche und wichtige Funktionen:

- Sie verhindern, dass krankheitserregende Bakterien sich im Darm festsetzen und Infektionen hervorrufen.
- Sie beeinflussen durch Bildung bestimmter Wirkstoffe das Immunsystem.
- Sie bilden für den Menschen wichtige Vitamine wie B_{12} und K.
- Sie bauen Polysaccharidsubstanzen (Ballaststoffe) ab und tragen zur Energieversorgung der Zellen der Darmschleimhaut bei.
- Sie zersetzen Stoffe, die für den Menschen toxisch oder krebsfördernd sind.

Vor der Geburt ist der menschliche Magen-Darm-Trakt noch vollständig steril. Bereits während der Geburt nimmt das Neugeborene Keime auf, die auch zur Besiedlung seines Darms führen. Die ersten Pioniere stammen aus der mütterlichen Vaginalflora und aus der Darmflora.

Im weiteren Kleinkindleben bestimmt die Ernährung die Komponenten der Darmflora; bei gestillten Säuglingen dominieren beispielsweise milchsäureproduzierende Bifidobakterien. Bei Erwachsenen verändert sich die Zusammensetzung der Mikrobiota kaum noch, wenn nicht gravierende Störungen wie Antibiotika-Behandlungen dies herbeiführen. Eine abwechslungsreiche Ernährung, also eine große Vielfalt an Speisen einschließlich Ballaststoffen, führt zu einer großen Artenvielfalt in der Darmflora und somit zu einer größeren mikrobiologischen und gesundheitlichen Stabilität. Darmkrankheiten kommen hier seltener vor.

Zu einer normalen Darmflora gehören gramnegative wie auch grampositive Bakterien und einige Pilze wie *Candida*. Die typische Dünndarmflora besteht vorwiegend aus Laktobazillen, Enterobacteriaceen, Enterokokken, *Bacteroides* und *Bifidobacterium*. Bei einer nicht intakten Dünndarmflora können sich Keime des Dickdarms Zugang zu den Bereichen des Dünndarms verschaffen und Symptome wie etwa Durchfälle hervorrufen.

■ **Tab. 1.2** Einfluss mikrobieller Verderbnisprozesse auf Lebensmittel

Eigenschaft	Veränderung
Geschmack/Geruch	■ Ansäuerung ■ Fäulnis ■ Gärung ■ Ranzigkeit ■ Muffiger/modriger Geruch
Festigkeit	■ Erweichung ■ Verhärtung
Aussehen	■ Verflüssigung ■ Schleimbildung ■ Schimmelbildung ■ Verfärbung

1

1.2.2 Verderbniserreger

Nicht nur die den Darmtrakt besiedelnden Bakterien spielen für die menschliche Ernährung eine wichtige Rolle, viele weitere sind vor allem in und auf Lebensmitteln zu finden. Die Mikroorganismen, die auf Pflanzen und Tieren zu Hause sind, gelangen oft in die Lebensmittel, die aus pflanzlichen oder tierischen Produkten hergestellt werden (Keweloh 2016). Solche Mikroorganismen ernähren sich, wie auch die Menschen, von den Eiweißen, Kohlenhydraten und Fetten der Nahrungsmittel. Sie führen vor allem durch die Ausscheidung ihrer Stoffwechselprodukte und Veränderungen der Eigenschaften der Lebensmittel zum Verderb (■ Tab. 1.2).

Verderbnisprozesse sind selten auf einzelne Mikroorganismenarten zurückzuführen, sondern fast immer auf das Zusammenwirken verschiedener Mikroorganismen. Die Anfangskeimbelastung, die Zusammensetzung der auf den Lebensmitteln ursprünglich vorhandenen Mikroflora und die eingetretenen Kontaminationen sind entscheidend für den Zeitpunkt der Verderbnis. Auch die Eigenschaften des Lebensmittels, wie die Verwertbarkeit der Nährstoffe, sowie die Lagerbedingungen, die Temperatur und die Feuchtigkeit im Lagerraum, sind für den Verderb von Bedeutung.

Verderb wird oft von einer Vermehrung von Keimen begleitet, die auch für den Menschen giftige Stoffe ausscheiden (Toxinbildner, ► Kap. 1.3.1) oder Lebensmittelinfektionen hervorrufen. Allerdings können sich auch Krankheitserreger in Lebensmitteln und Speisen vermehren, ohne dass sichtbare Anzeichen von Verderb auftreten.

1.2.3 Lebensmittelfermentierende Mikroorganismen

Einen Teil der auf Pflanzen oder Tiere spezialisierten Mikroorganismen nutzen die Menschen schon seit Jahrtausenden zur Herstellung und Veredlung ihrer Nahrungsmittel. Lebensmittel, die früher unbewusst und heutzutage planvoll mithilfe von Bakterien und Hefen hergestellt werden, werden fermentierte Lebensmittel genannt (Keweloh 2016). Die Mikroorganismen, die **Lebensmittelfermentierer**, spielen für die menschliche Ernährung eine



große Rolle. Bei der Lebensmittelherstellung sind häufig Milchsäurebakterien beteiligt. Sie benötigen keinen Sauerstoff zum Wachstum, vergären Zucker zu Milchsäure und bilden dabei zahlreiche Geschmacks- und Aromastoffe.

Beispiele für fermentierte Lebensmittel und die jeweils beteiligten Mikroorganismen sind:

- Joghurt, Sauermilchprodukte: Milchsäurebakterien
- Brot, Bier, Wein: Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*)
- Sauerkraut, saure Gemüse, Salzgurken: Milchsäurebakterien u. a.
- Pökelfleisch, Rohwurst: Bakterien und Schimmelpilze
- Käse wie Camembert, Roquefort und Gorgonzola: Schimmelpilze
- Sauerteig, Kefir, Kombucha: Hefen und Bakterien

Die fermentierten Lebensmittel zeichnen sich neben der Verbesserung der qualitätsbestimmenden Eigenschaften in der Regel auch hinsichtlich ihrer erhöhten Lebensmittelsicherheit aus. Sie sind nicht nur im Vergleich zur Rohware haltbarer, sondern bieten krankheitserregenden Keimen oft auch keine günstigen Bedingungen zur Vermehrung (z. B. durch einen niedrigen pH-Wert).

Klassische Lebensmittelfermentierer können Laktobazillen sein, die in stoffwechselaktiver Form in den Darm des Konsumenten gelangen können. Dazu dürfen beispielsweise lebende Joghurtkulturen nicht durch Erhitzung abgetötet werden. Bei der Lebensmittelherstellung eingesetzte Schimmelpilzkulturen müssen gesundheitlich unbedenklich sein und dürfen keine Mykotoxine bilden.

1.2.4 Probiotische Bakterien

Eine ähnliche Rolle wie Laktobazillen in Joghurtprodukten spielen probiotische Bakterien (Probiotika), die über die intestinale Mikrobiota die menschliche Gesundheit beeinflussen sollen (Bischoff 2009). So werden ihnen unter anderem die folgenden gesundheitlichen Auswirkungen zugeschrieben, welche allerdings bislang nicht wissenschaftlich sicher bewiesen wurden:

- Verkürzung der Krankheitsdauer bei Durchfallerkrankungen, besonders bei antibiotikaassoziiierter Diarrhö,
- Stärkung bzw. Beeinflussung des Immunsystems,
- Produktion antibakterieller Stoffe im Dünndarm und Schaffung eines sauren Milieus, das schädliche Bakterien an ihrer Ausbreitung hindert.

Probiotische Kulturen in Lebensmitteln sind ausschließlich Milchsäure- und Bifidobakterien. Die jeweiligen Stämme wurden zumeist aus dem Stuhl von Menschen isoliert; es handelt sich also offensichtlich um Darmbakterien. Sie gehören zu solchen Arten, die auch typisch für Lebensmittelfermentationen sind.

Probiotika können sich nicht dauerhaft im Darm ansiedeln und müssen deshalb kontinuierlich konsumiert werden. Sie werden darauf getestet, dass sie die Passage durch den Magen überleben. Aber auch tote Bakterien können eventuell über ihre Oberflächenantigene Effekte im Darm ausüben.

Da probiotische Bakterien Bakteriozine – Proteine, die konkurrierende Bakterien abtöten – produzieren, hemmen sie damit das Wachstum anderer Bakterien und verhindern eventuell die Ansiedlung von krankheitserregenden Bakterien. Dieses Phänomen wird als **Kolonisationsresistenz** bezeichnet (► Kap. 2.1.1).