

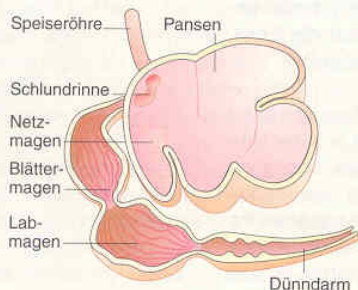


Vielfalt der Bakterien

Nur wenige Bakterien sind als Krankheitserreger eine Plage für den Menschen. Viele spielen als nützliche *Symbionten* beim Menschen, bei Tieren und auch bei Pflanzen eine wichtige Rolle. Andere besiedeln extreme Lebensräume und bilden dort die Nahrungsgrundlage für andere Lebewesen (► S. 106).

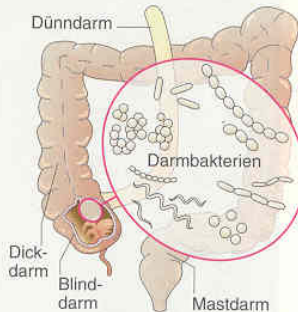
Bakterien als Symbionten

Wiederkäuer, wie Rind und Schaf, sind Pflanzenfresser. Gras, Heu und Stroh bestehen etwa zur Hälfte aus der unverdaulichen *Zellulose*. Erst durch die Tätigkeit von Bakterien und eukaryotischen Einzellern, z. B. Wimpertierchen, im Pansen wird auch eine Verwertung der Zellulose möglich.



Der Pansen bietet Bakterien ideale Wachstumsbedingungen. Die Temperatur liegt bei 37°C bis 39°C, Wasser ist genügend vorhanden und Nährstoffe werden immer wieder nachgeliefert. Sauerstoff benötigen die anaerob lebenden Bakterien nicht. So finden sich in jedem Milliliter Panseninhalt mehrere Milliarden Bakterien. Sie besitzen die Verdauungsenzyme, die Zellulose zu Traubenzucker abbauen. Dieser wird vergoren und dient den Bakterien als Energiequelle, um zu wachsen und sich vermehren zu können. Die Nahrung bleibt etwa

9 bis 12 Stunden im Pansen. Nach dem Wiederkäuen kann schließlich im Labmagen der Bakterienbrei durch die Verdauungsenzyme der Kuh verwertet werden.



Bakterien helfen aber auch uns **Menschen** bei der Verdauung pflanzlicher Kost. Rund 100 Milliarden Bakterien besiedeln den **Dickdarm**. Wenn die Bakterien die Zellulosewände abbauen, werden auch die pflanzlichen Vitamine frei und können dann erst in das Blut aufgenommen werden. Eine im Dickdarm des Menschen lebende Bakterienart wird *Escherichia coli* genannt und ist als „Haustierchen“ der Mikrobiologen und Gentechniker in jedem Labor zu finden.



Termiten sind Holzfresser, die dem Menschen schon immer zu schaffen gemacht haben. So musste das Gerichtsgebäude in Hamburg saniert werden, weil Termiten die Balken zerfressen hatten. Doch Termiten besitzen keine Verdauungsenzyme, mit denen sie die im Holz enthaltene Zellulose verwerten können. Auch sie sind auf Bakterien als Darmbewohner angewiesen, die Zellulose spalten können.



Bakterien können mit anderen Lebewesen eine enge Lebensgemeinschaft zu gegenseitigem Nutzen bilden. Ein Beispiel für eine solche *Symbiose* sind die **Knöllchenbakterien**, die sich in den Wurzeln von Schmetterlingsblütlern, wie Soja, Klee, Luzerne, Bohne oder der Lupine, finden. Die im Boden lebenden Bakterien dringen in die Wurzelzellen ein. Die Pflanze reagiert darauf mit Gewebewucherungen, die als **Wurzelknöllchen** sichtbar werden. Im Gegensatz zur Pflanze können die Bakterien den Stickstoff der Luft verwerten, den sie der Pflanze als *Stickstoffdünger* wieder zu Verfügung stellen. Die Bakterien erhalten im Gegenzug Kohlenstoffverbindungen, die von der Pflanze bei der Photosynthese hergestellt werden. Für die Landwirtschaft ergeben sich dadurch erhebliche wirtschaftliche Vorteile, da beim Anbau z. B. von Sojabohnen große Mengen an Mineraldünger gespart werden können. Oft wird auf abgeerntete Felder aber auch *Klee* gesät. Dieser wird dann einfach umgepflügt, sodass der kostenlose Stickstoffdünger aus der Luft nun von der neuen Saat genutzt werden kann.

Bakterien in extremen Lebensräumen

Das Tote Meer ist mit bis zu 33% Salzgehalt (Mittelmeerwasser: ca. 3,5%) eines der salzhaltigsten Gewässer unseres Planeten. Weder Fische noch andere höhere Lebensformen können dort existieren. Einige Bakterien jedoch haben sich an diese extremen Lebensverhältnisse angepasst. Man bezeichnet sie daher auch als **Salz liebende Bakterien**. Zum Schutz gegen hohe Sonneneinstrahlung dienen in die Membran eingelagerte *rote Farbstoffe*. Kommt es zur Massenvermehrung, färbt sich das Wasser auffällig rot.

Einer dieser roten Farbstoffe ähnelt dem Sehpurpur in der Netzhaut des Menschen. Mithilfe dieses Farbstoffes betreiben die Bakterien eine besondere Form der Fotosynthese.



Hitze liebende Bakterien sind uns bereits in den Schloten der Black Smokers begegnet. Die dort gemessenen Temperaturen betrugen bis zu 105 °C. Man findet solche Bakterien aber auch in heißen *Thermalquellen* und *Geysiren*. Es gibt keine anderen Lebewesen, die solche hohen Temperaturen aushalten können, denn normalerweise gerinnen bei diesen Temperaturen die Eiweiße und Zellmembranen werden aufgelöst. Die treffend fantasievollen Namen dieser Bakterien lauten daher z. B. „Feuerstäbchen“ (*Pyrobaculum*) oder „Hitzefaden“ (*Thermofilum*). Das Geheimnis, warum diese Bakterien so hohe Temperaturen tolerieren können, ist erst teilweise gelüftet. Besondere Eiweißmoleküle und Membranzusammensetzungen wurden in diesen Organismen gefunden. Interessant wurden diese Bakterien auch für Waschmittelhersteller. So lassen sich z. B. Blut-, Milch- oder Eiflecken schwer entfernen. Setzt man dem Waschmittel *Enzyme* zu,



die diese Eiweiße zersetzen, werden die Flecken mühelos entfernt. Von den Enzymen genügen dafür bereits kleinste Mengen. Ein Problem war jedoch, dass die aus Eiweiß bestehenden Enzyme bei höheren Waschttemperaturen ebenfalls zerstört wurden und damit ihre Wirksamkeit verloren. Aber Dank des Vorbilds der Enzyme, die in den Hitze liebenden Bakterien vorkommen, können solche temperaturstabilen Waschmittelzusätze nun bereits biotechnologisch hergestellt werden. Gegenwärtig werden in großen Industrieanlagen jährlich weltweit etwa 500 Tonnen solcher *Waschmittelenzyme* produziert.

Ölabbau durch Bakterien

Immer wieder liest man ähnliche Schlagzeilen wie die folgenden:

16. Februar 1996: Der liberische Tanker „Sea Empress“ kentert vor der Südküste von Wales. 147 000 Tonnen Öl fließen aus, mehr als 25 000 Seevögel sterben. **19. November 2002:** Der griechische Tanker „Prestige“ bricht rund 250 Kilometer vom spanischen Festland entfernt auseinander und sinkt. Er hat mehr als 77 000 Tonnen Schweröl geladen.



Einige Bakterien können Erdöl abbauen, wobei Kohlenstoffdioxid entsteht. Da Erdöl aus Hunderten verschiedener Substanzen besteht, dauert dieser Prozess jedoch relativ lange. Je feiner das Öl verteilt ist, desto besser können die Bakterien das Öl als Nahrungsquelle nutzen. Der Ölabbau ist zudem temperaturabhängig; bei einer Wassertemperatur von 20 °C ist er ca. 4-mal schneller als bei 0 °C. Es ist nicht notwendig, das Öl oder Wasser mit speziellen Bakterien zu impfen, da die Bakterien meist schon in der Umwelt vorhanden sind. Bei Vorliegen eines Öl-Angebots, zum Beispiel durch einen Unfall, vermehren sie sich dann bevorzugt.

Die ältesten Lebewesen der Erde

Immer wieder stellen sich Forscher die Frage: Wie begann das Leben auf der Erde? Durch fossile Funde, die ein australischer Wissenschaftler entdeckte, ist man der Beantwortung dieser Frage ein gutes Stück näher gekommen. Er entdeckte in vulkanischem Urgestein Spuren, die darauf hindeuten, dass urtümliche bakterielle Einzeller bereits vor 3,2 Milliarden Jahren gelebt haben. Sie ähneln den Archaeobakterien, die man auch in den Schloten der **Black Smokers** gefunden hat. *Prokaryoten* sind damit die ersten Organismen, die die Erde besiedelten.



Bakterien verursachen Krankheiten

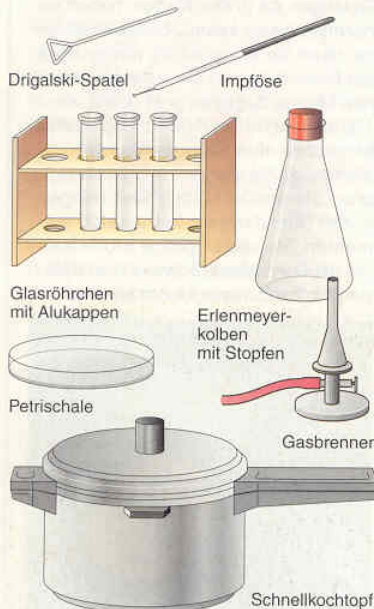
Rund die Hälfte aller Lebensmittelvergiftungen wird durch **Salmonellen** ausgelöst. Salmonellen sind Bakterien, die mit Wasser und wenig Nährstoffen auskommen, von daher in allen organischen Abfällen vorhanden sind und auch Fleisch verunreinigen können. Es handelt sich um *begeißelte*, sehr bewegliche *Stäbchenbakterien*. Gelangen sie in den Magen, haben sie normalerweise keine Überlebenschance, denn die Magensäure wird schnell mit ihnen fertig. Ist die aufgenommene Menge dagegen groß (mehr als 100 000), kann bei Kindern und älteren Menschen eine *Salmonellose* entstehen, da sie weniger Magensäure produzieren. Die Salmonellen dringen in den Dünndarm ein, wo sie sich vermehren. Sie setzen giftige Stoffe frei, die die Darmwand reizen und zu heftigen Entzündungen führen können.





Mikrobiologische Versuche

Um mit Bakterien arbeiten zu können, sollte man möglichst sterile Bedingungen einhalten. Dies gelingt ohne besondere Geräteausrüstung. Benötigt werden ein Trockenschrank, ein Dampfdruck- oder Schnellkochtopf, Gasbrenner, Erlenmeyerkolben, Glasröhrchen mit Alukappen, Petrischalen sowie Impfösen und Drigalsky-Spatel. Zum Verschließen der Petrischalen verwendet man Parafilm. Die Nährmedien (z. B. LB-Medium) und Agar-Agar werden von Lehrmittelfirmen angeboten. Reinkulturen von ungefährlichen Bakterien, wie *Escherichia coli*, können z. B. von der Deutschen Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen (DSMZ) bezogen werden. Zum Desinfizieren der Hände verwendet man Sterillium. Hitzestabile Plastikbeutel (*Autoklavierbeutel*) sind z. B. Bratenbeutel, man kann sie aber auch von den Lehrmittelfirmen beziehen.



Sicherheitshinweise

- Ungefährliche Reinkulturen der DSMZ dürfen offen überimpft werden.
- Aus der Natur isolierte Kulturen werden mit durchsichtigen Klebestreifen oder Parafilm versiegelt. Die Petrischalen dürfen nicht geöffnet werden.
- Glasgeräte werden im Trockenschrank 30 Minuten bei 180 °C sterilisiert.
- Arbeitsflächen werden mit 70%igem Ethanol besprüht und dadurch desinfiziert.
- Man arbeitet stets in der Nähe eines Gasbrenners. Durch den aufsteigenden Luftstrom wird verhindert, dass Keime in geöffnete Gefäße fallen.
- Nährmedien werden in einem Erlenmeyerkolben angesetzt, mit Alufolie verschlossen und 20 Minuten bei 121 °C sterilisiert (*autoklaviert*).
- Vor und nach dem mikrobiologischen Arbeiten werden die Hände mit Seife gewaschen.
- Alle Bakterienkulturen werden nach Abschluss der Arbeiten in einem hitzefesten Kunststoffbeutel gesammelt, im Schnellkochtopf abgetötet und im Hausmüll entsorgt.

Gießen von Agarplatten

Geräte und Chemikalien: Waage, Dampfkochtopf, Kochplatte, Bunsenbrenner, Erlenmeyerkolben (250 ml, Volumen ausreichend für ca. 16 Schalen mit je 15 ml Nähragar pro Schale) abgedeckt mit Alusteckkappe oder Alufolie, sterile Petrischalen, Nähragarpulver, Aqua dest., Handschuhe, Tücher

Vorbereitung (ca. 1 Stunde vor Praktikum, vom Lehrer):

- Nähragar nach Vorschrift bereiten (Lösen von 3,8 g pro 100 ml).
- Aqua dest. bis etwa zum Boden des Siebes in den Topf einfüllen.
- Der Ansatz wird 20 min. lang im Dampfdrucktopf bei mittlerer Hitze sterilisiert (Ventilstellung beachten).

Versuchsdurchführung:

- Der Dampfdrucktopf wird nach Vorschrift geöffnet.
- Bunsenbrenner entzünden (steriles Arbeiten).
- Die Petrischalen aus der sterilen Verpackung vorsichtig entnehmen, sodass die Petrischalen nicht geöffnet werden.
- Der Nähragar wird so heiß wie möglich in die Petrischalen eingefüllt. Dabei sollte der Deckel nur kurz und nicht vollständig geöffnet werden.

Der Boden muss ganz mit Nährlösung bedeckt sein. Danach wird die Schale sofort wieder geschlossen.

- Wenn der Nähragar fest geworden ist, werden die Platten am besten auf dem Kopf (Kondenswasser sammelt sich nicht am Deckel) mehrere Tage im Kühlschrank gelagert.



Herstellen von Übernachtskulturen

Werden Bakterienkulturen von einem Mikrobiologieinstitut bezogen, erhält man sie meist in Glas-Ampullen als Trockenkulturen. Diese müssen erst in ein Flüssigmedium (*Nährbouillon*) eingebracht und über Nacht bebrütet werden. Man erhält dann Übernachtskulturen.

Geräte und Chemikalien:

Waage, Dampfkochtopf, Bunsenbrenner, Erlenmeyerkolben (100 ml, Volumen ausreichend für ca. 10 Röhrchen), Alufolie, 10 Röhrchen, 10 Alusteckkappen, Reagenzglashalter (Metall), Nährbouillon.

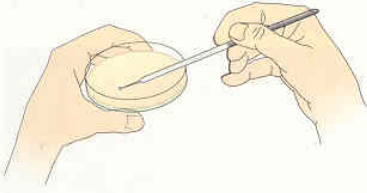
Durchführung:

- Nährbouillon nach Vorschrift des Herstellers in den Erlenmeyerkolben eingewiegen und mit Alufolie verschließen. Der Kolben und die mit den Alusteckkappen verschlossenen Röhrchen werden autoklaviert.
- Nach dem Sterilisationsvorgang wird das Nährmedium an der Brennerflamme in die Kulturröhrchen eingefüllt. Dabei flammt man den Rand sowohl der Glasgefäße als auch der Alukappe kurz über der Brennerflamme ab.
- Nach der Vorschrift des Herstellers wird das Bakterien-Trockenpulver in die Kulturröhrchen gegeben und über Nacht bebrütet.

Ausstrichverfahren mit der Impföse

Bakterien lassen sich am einfachsten mit einem Verdünnungsausstrich isolieren. Dabei streicht man eine kleine Menge Bakterien mit steriler Impföse auf einer Agarplatte aus. Die Ausstriche führen zu einer zunehmenden Verdünnung auf der Agarplatte. Bei den letzten Strichen gelangen nur noch einzelne Zellen in weiten Abständen auf die Agarplatte und

wachsen zu isoliert liegenden Kolonien (*Klonen*) heran. Ziel dieses Ausstrichverfahrens ist es, aus Mischkulturen Reinkulturen (Einzelkolonien) zu erhalten.

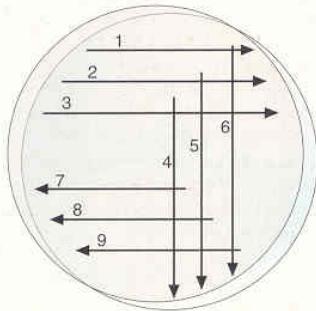


Geräte und Chemikalien:
Sterile Agarplatten, Impföse, Bunsenbrenner, Übernachtkultur von *E. coli*

Vorbereitung:
Am Tag vorher die Übernachtkultur in Flüssig-Medium ansetzen.

Durchführung:

- Impföse ausglühen, abkühlen lassen und in die Bakteriensuspension der Übernachtkultur eintauchen. Suspension entnehmen, Röhrchen jeweils abflammen und schließen.
- Petrischalendeckel einseitig etwas anheben und ständig über der Agarplatte halten.
- Ring der Impföse nahe dem Petrischalenrand leicht auf die Agaroberfläche aufsetzen und in Randnähe 3 gerade, durchgehende parallele Impfstiche (Nr. 1 bis 3) gleichmäßig über den Agar bis fast zum gegenüberliegenden Schalenrand ziehen. Öse ohne Druck gleiten lassen, um die Agaroberfläche nicht zu verletzen! Außen beginnen und die nächsten beiden Striche nach innen hin anschließen. (s. Abb.).



- Petrischale schließen und um 90° drehen, Impföse ausglühen und am Rand der Agaroberfläche abkühlen.
- Öse in Randnähe, beginnend bei Strich 1, unmittelbar vor den Impfstichen 1, 2 bzw. 3 auf den Agar aufsetzen und im rechten Winkel zu den vorherigen Strichen durch sie hindurch 3 weitere parallele Striche (Nr. 4–6) über den Agar ziehen.

- Petrischale schließen und erneut um 90° drehen. Impföse ausglühen und abkühlen. Impfstiche 7 bis 9 ziehen.
- Platten beschriften und mit der Unterseite nach oben 1 bis 2 Tage bei 37 °C bebrüten, bis gut sichtbare Kolonien entstanden sind.

Bakterien an den Händen

Desinfektionsmittel bewirken, dass auch tiefer in der Haut sitzende Mikroorganismen abgetötet werden.

Geräte und Chemikalien:
Petrischalen mit Nähragar, wasserfester Filzstift, Parafilm, Seife, Sterilium

Durchführung:

- Den Boden der Schalen mittels Filzer in 4 Abschnitte einteilen und diese mit Initialen von 4 Schülern sowie Schalennummer und Datum eindeutig beschriften.
- In Schale 1 drückt jeder vorsichtig seinen ungewaschenen Zeigefinger in sein Segment.
- Schale mit Parafilm verschließen.
- Hände mit Seife waschen und Schale 2 in gleicher Weise bestücken.
- Hände desinfizieren und Schale 3 ebenso behandeln.
- Schalen 2 Tage bei 37 °C bebrüten.



Sicherheitshinweis:

Platten mit unbekannten Mikroorganismen müssen grundsätzlich abgeklebt, dürfen nicht geöffnet werden und werden nach der Auswertung autoklaviert.

Kartoffel als Nahrungsgrundlage

Der **Heubacillus** (*Bacillus subtilis*) (lat. *bacillus* = Stäbchen, *subtilis* = schlicht) ist im Boden weit verbreitet. Er spielt eine wichtige Rolle als Destruent beim Abbau von Kohlenhydraten, z. B. Stärke. *Bacillus subtilis* bildet z. B. bei Hitze und Nährstoffmangel Sporen aus.

Durch Abgabe von Zellsaft und Bildung einer weiteren Zellwand entsteht eine Sporenhülle. In diesem Ruhestadium können Sporen noch nach 1000 Jahren keimen. Sie überstehen stundenlanges Kochen und auch das Autoklavieren.

Geräte und Chemikalien:
Kartoffel, Gartenerde, Becherglas, Bunsenbrenner, Alufolie, Trockenschrank

Durchführung:

- Kartoffel halbieren.
- Schnittflächen mit der Gartenerde bestreichen und in das Becherglas legen.
- Mit Leitungswasser übergießen und ca. 10 Minuten über dem Bunsenbrenner kochen.
- Becherglas mit Alufolie abdecken und über Nacht im Brüter bei 37 °C aufbewahren.
- Am nächsten Tag sind auf den Kartoffeln verschiedene Bakterienkulturen zu sehen. Es handelt sich dabei vorwiegend um Heubacillen. Diese können für den nächsten Versuch weiter verwendet werden.

Nachweis für den Stärkeabbau

Geräte und Chemikalien:
Nähragarplatten mit einem Zusatz von 2%iger Stärke, Übernachtkulturen von *Bacillus subtilis*, Impföse, Bunsenbrenner, Iod-Kaliumiodid-Lösung.

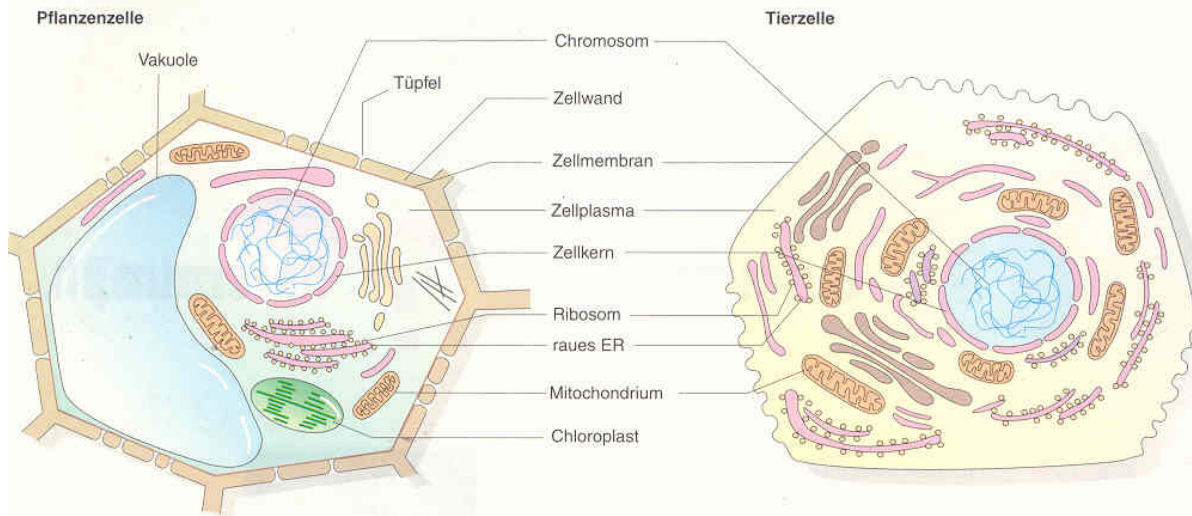
Vorbereitung:

Am Vortag die Stärkeplatten gießen. Den normalen Nähragarplatten wird 2%ige Stärke zugesetzt.

Durchführung:

- Mit der Impföse von der Kartoffeloberfläche Bakterien entnehmen und auf einer Platte ein Kreuz oder ein Gesicht ausstreichen.
- Platten beschriften und 2 Tage lang bei 37 °C bebrüten.
- Platten öffnen und mit Iod-Kaliumiodid-Lösung übergießen.





1 Pflanzen- und Tierzelle im Vergleich

Besichtigung einer Pflanzenzelle

Alle Lebewesen bestehen aus Zellen, die Zelle ist die kleinste, lebensfähige Einheit. Mit den Bakterien hast du bereits sehr kleine Zellen kennen gelernt. Die kleinsten Bakterienzellen haben einen Durchmesser von nur 0,1 bis 1 Mikrometern, der Durchmesser der meisten Bakterien liegt jedoch zwischen 1 und 10 Mikrometern.

1 Mikrometer ($1 \mu\text{m}$)
= 1/1000 Millimeter



Die Winzigkeit dieser Zellen hat Vorteile, denn Zellen müssen Stoffe aus der Umgebung aufnehmen, in der Zelle verarbeiten und Abfallstoffe wieder nach außen abgeben (**Stoff- und Energieumwandlung**, ► S. 21). Dieser Stoffaustausch ist in einer kleinen Zelle ohne große Transportwege möglich.

Die meisten Lebewesen bestehen jedoch aus größeren und komplexer aufgebauten Zellen. Diese schließen sich oft zu größeren **Funktionseinheiten**, den **Geweben**, zusammen (► S. 60). Vergleicht man die Größe solcher Zellen mit der der Bakterien, sind diese 10 bis 100-mal größer im Durchmesser.

Die Zellen dieser Organismen gehören zu einem zweiten Zellgrundtyp: Sie besitzen einen **Zellkern**, der von einer **Kernmembran** umschlossen ist. Sie unterscheiden sich damit von den Prokaryoten, bei denen das Chromosom frei im Zellplasma liegt.

Die Lebewesen, die aus Zellen mit Zellkern bestehen, bezeichnen die Wissenschaftler daher als **Eukaryoten** (gr. *eu* = echt und *karyon* = Kern, ► S. 162).

Die Zellen der Eukaryoten weisen weitere besondere Strukturmerkmale auf, die erst nach der Erfindung des Elektronenmikroskops sichtbar gemacht werden konnten. Eine einzige Zelle ist ein hoch aktives Gebilde, in dem Hunderte verschiedener chemischer Abläufe nebeneinander stattfinden.

Die Zelle ist mit der riesigen Werkhalle einer chemischen Fabrik vergleichbar, in der an verschiedenen Orten in unterschiedlichen Reaktionsgefäßen viele Produkte hergestellt werden. Die einzelnen Verarbeitungsschritte in der Fabrik müssen genau aufeinander abgestimmt sein. Auch Zellen besitzen solche voneinander abgetrennten **Reaktionsräume**, die meist durch Membranen voneinander abgegrenzt sind. Man bezeichnet diese Reaktionsräume auch als **Zellorganellen**.

Die erste Station einer „Besichtigungstour“ durch die Zelle soll die Steuerzentrale **Zellkern** sein. Im Kerninneren stoßen wir auf die **Chromosomen**, lange, fädige Gebilde, die die Erbinformation enthalten. Ständig werden Teile der Erbinformation abgeschrieben. Der

(= Informationszentrale)

Organell
Verkleinerungsform
von *organon*, gr. =
Werkzeug

Plasma

plasma, gr. = Gebilde
Grundsubstanz der Zelle.

Plasma

plasma, gr. = Gebilde
Grundsubstanz der Zelle.

Mitochondrien

Da diese sehr schmal sind, wirken sie im elektronenoptischen Bild fast fadenförmig: *mitos*, gr. = Faden
chondros, gr. = Gestalt:

Endoplasmatisches

Retikulum

endo, gr. = innen,
plasma, gr. = Gebilde
und *reticulum*, lat. = kleines Netz
Verzweigtes, netzartiges Röhrensystem

Vakuole

vacuus, lat. = leer
Da die Vakuole im Lichtmikroskop wie ein leerer Raum erscheint. Die Vakuole enthält den Zellsaft.

Zellkern ist von einer *Doppelmembran* umgeben. Die Abschrift wird durch kleine Poren zu den *Ribosomen* transportiert. Diese sind kleine, kugelförmige Gebilde, die man überall im Zellplasma findet. Die Abschrift dient dazu, größere *Eiweißmoleküle*, z. B. Enzyme, aus ihren Bausteinen zusammenzusetzen.

Enzyme erfüllen sehr wichtige Aufgaben im Stoffwechsel der Zelle, da sie chemische Reaktionen beschleunigen, die ohne Enzyme wesentlich langsamer ablaufen würden. Der Zellkern steuert also über den Zwischenschritt der *Eiweißsynthese* die Abläufe in der Zelle. (= *Steuerzentrale*)

Wieder zurück im *Zellplasma* fällt ein weit verzweigtes Labyrinth aus Membranen auf, das aus Röhren und abgeflachten Hohlräumen besteht und auch den Zellkern umhüllt. Es handelt sich um das *Endoplasmatische Retikulum (ER)*. Retikulum ist das lateinische Wort für Netz, endoplasmatisch bedeutet, dass dieses netzartige Röhrensystem im Zellplasma liegt. Es dient der Synthese von Fetten und dem Transport von Stoffen, z. B. von Eiweißmolekülen. Manche Teile des ER sind dicht mit *Ribosomen* besetzt, es wird daher als *raues ER* bezeichnet.

Auch die *Vakuolen*, die Zellsafträume der Pflanzenzellen, können als große Membranbläschen bezeichnet werden. Sie dienen der *Speicherung* von Wasser, von organischen Stoffen und von Salzen. Auch giftige Stoffwechselprodukte können in ihnen abgelagert werden. In tierischen Zellen fehlen Vakuolen.

Doch woher beziehen die Zellen die Energie, die sie für den Aufbau und Transport der vielen Produkte benötigen? In der Eukaryotenzelle findet man zwei Organellen, die Energie in eine für die Zelle nutzbare Form umwandeln können: *Mitochondrien* in allen Zellen und in grünen Pflanzen zusätzlich die *Chloroplasten*. Mitochondrien und Chloroplasten sind jeweils von Doppelmembranen umschlossen. Weitere Besonderheiten sind, dass Chloroplasten, ebenso wie Mitochondrien, eigene Erbsubstanz und Ribosomen besitzen.

Sowohl in pflanzlichen als auch tierischen Zellen findet man Hunderte *Mitochondrien*, die etwa so groß wie Bakterien, also ca. 2 Mikrometer, sind. Die äußere Membran der Mitochondrien ist glatt, während die innere stark eingefaltet ist. Die Membranen sind die Orte der *Zellatmung*, bei der aus Traubenzu-

cker und Sauerstoff Energie gewonnen wird. Diese wird als chemische Energie gespeichert und kann in der Zelle an anderer Stelle für energieaufwändige Prozesse, z. B. die Synthese der Eiweiße, genutzt werden. Als Abfallprodukte entstehen bei diesen Stoffwechselprozessen der Zelle Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Die linsenförmigen *Chloroplasten* sind etwa 5 Mikrometer groß. Im Inneren der Chloroplasten findet man ein weiteres Membransystem, das an manchen Stellen dicht gepackte Stapel erkennen lässt. Hier ist der grüne *Blattfarbstoff Chlorophyll* eingelagert. Dieser kann die Energie des Lichtes auffangen.

Im Vorgang der Fotosynthese wird aus Kohlenstoffdioxid und Wasser der energiereiche *Traubenzucker* hergestellt und die Energie des Lichts in die chemisch gebundene Energie des Traubenzuckers umgewandelt (► S. 21). Als Nebenprodukt der Fotosynthese wird Sauerstoff frei gesetzt.

Bei dieser Rundtour durch die Zelle konnten nur die größten Sehenswürdigkeiten besichtigt werden. Nun heißt es, einen Ausgang aus der Zelle zu finden. Zunächst stößt man auf die dünne *Zellmembran*, die aus fettähnlichen Substanzen besteht. Sie umhüllt das Zellplasma vollkommen.

Die Pflanzenzelle wird zusätzlich noch durch eine *Zellwand* geschützt, die ihr festen Halt gibt. Eine solche feste Zellwand fehlt bei der tierischen Zelle. Die Zellwand ist wesentlich dicker als die Zellmembran. Die Zellwand besteht aus einer druckfesten Grundsubstanz, in die lange, reißfeste *Zellulosefäden* eingelagert sind. Das Bauprinzip entspricht Stahlbeton, bei dem der Beton durch biegefesten Stahlmatten stabilisiert wird.

Durch große Öffnungen, die *Tüpfel*, die die Zellwand durchbrechen und so den Kontakt zur nächsten Zelle ermöglichen, können wir nun die Pflanzenzelle mühelos verlassen.

Aufgaben

- ① Vergleiche in Form einer Tabelle die Pflanzenzelle mit einer tierischen Zelle.
- ② Wie sind die meisten Reaktionsräume der Zellen voneinander abgegrenzt?
- ③ Wie steuert der Zellkern die Stoffwechselabläufe in einer Zelle?
- ④ Welches Organell ist für den Stofftransport in der Zelle verantwortlich?

ERT + GOLG(-APP. !)

Vom Einzeller zum Vielzeller