

## 2

## Die Zelle — Grundeinheit des Lebens

2.1 Mikroskope machen Zellen und deren Bestandteile sichtbar 

Im **Lichtmikroskop** (LM) können lebende Objekte, einzelne Zellen oder angefärbte Gewebe betrachtet werden. Strahlengang im LM: Das Licht aus der Lichtquelle wird von der Kondensorlinse gebündelt und trifft auf das Objekt auf dem Objektträger. Durch die Objektivlinse und das Okular werden vergrößerte Zwischenbilder erzeugt, bis das Licht auf das Auge trifft.

Mehr Details als ein LM zeigt ein **Elektronenmikroskop** (EM). Bei der Raster-Elektronenmikroskopie (REM) tastet ein Elektronenstrahl ein mit Gold bedampftes Objekt schrittweise ab und liefert dadurch ein Bild der Oberfläche. Mithilfe der Transmissions-Elektronenmikroskopie (TEM) kann man sogar einzelne Proteinkomplexe sehen. Hierbei müssen die Präparate jedoch extrem dünn geschnitten werden. Der Strahlengang des TEM ähnelt dem im EM, nur dass im TEM ein Elektronenstrahl an Stelle von Licht verwendet wird. Dieser wird durch ein elektrisches Feld beschleunigt, durch die Kondensorlinse gebündelt und durchdringt das Objekt auf dem Kupfernetz. Eine Objektivlinse und ein Projektor vergrößern das Objekt. Ein Vakuum verhindert Zusammenstöße der Elektronen mit Gasmolekülen.

Entscheidend für die Auflösung eines Mikroskops ist die Auflösungsgrenze  $d$  (= Abstand, in dem zwei Punkte noch getrennt voneinander wahrgenommen werden können). Nach der Formel  $d = \lambda/2 \cdot A$  kann man die Auflösungsgrenze berechnen. Die numerische Apertur  $A$  umfasst hierbei alle physikalischen Gegebenheiten am Objektiv.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 17 „Zeichnen hilft beim Lernen“

2.2 Procyten sind klein und effizient 

Bakterien sind **Prokaryoten**, die im Gegensatz zu den **Eukaryoten** keinen Zellkern besitzen. Sie sind 1–10  $\mu\text{m}$  große, vielgestaltige Einzeller. Das **Cytoplasma** der prokaryotischen Zelle, der **Procyte**, wird durch eine **Zellmembran** nach außen abgetrennt. Darauf folgt eine feste **Zellwand** aus Peptidoglykan. Peptidoglykan kommt bei Eukaryoten nicht vor (Pflanzen: Zellwand aus Cellulose). Hier setzen viele Antibiotika an. Aufgelagert auf die Zellwand folgt oftmals eine feste oder schleimige Kapsel. Es gibt verschiedene Fortsätze auf der Bakterienoberfläche: Fimbrien zum Anheften an Oberflächen, Sexpili zum DNA-Austausch zwischen Bakterien, Geißeln zur aktiven Fortbewegung.

Die Erbinformation der Procyte liegt auf einem großen ringförmigen **Chromosom** und weiteren kleinen DNA-Ringen (**Plasmiden**) frei im Cytoplasma und nicht wie in der **Eucyte**, der typischen Zelle der Eukaryoten, im Zellkern. In kleinen **Vesikeln** (Bläschen) werden Substanzen gespeichert. **Ribosomen** im Cytoplasma sind an der Proteinbiosynthese beteiligt. Manche Bakterienarten pflanzen sich sexuell fort, der größte Teil jedoch asexuell durch Zweiteilung (Spaltung). Bei optimalen Bedingungen teilen sich so Bakterien, wie z.B. *Escherichia coli* (*E. coli*), alle 20 Minuten. Die Stoffwechselvielfalt der Prokaryoten ist groß. Manche leben unter Sauerstoffabschluss (anaerob) und erhalten ihre Energie durch Gärung. Andere nutzen Lichtenergie, Energie aus anorganischen Verbindungen oder aus chemischen Elementen.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 18 „Bakterien sind einfach gebaut und vermehren sich schnell“

2.3 Eucyten verfügen über eine Vielfalt an Organellen für Spezialaufgaben 

Neben der Zellmembran, die das Cytoplasma umgibt, haben Tier- und Pflanzenzelle als gemeinsames Merkmal einen Zellkern. Eine feste, schützende Zellwand hingegen gibt es nur bei Pflanzen, genau wie Chloroplasten und eine zentrale Vakuole. Lysosomen findet man nur in tierischen Zellen. Weitere Organellen sind in beiden Zelltypen zu finden. Viele **Organellen** sind durch Biomembranen vom Cytoplasma abgegrenzt, wodurch separate Reaktionsräume (**Kompartimente**) entstehen. Ausnahmen bilden Ribosomen und Centriolen, die keine umhüllende Membran aufweisen. Zellkern, Chloroplasten und Mitochondrien sind von einer Doppelmembran umhüllt. Die Zellmembran grenzt die Zelle ab und reguliert den Stoffaustausch. Eine weiterführende Stütz- und Schutzfunktion hat die pflanzliche Zellwand. Der Zellkern beherbergt den größten Teil der DNA, sowie den Nucleolus, den Ort der Synthese von rRNA (ribosomaler RNA) und Ribosomen. Als Kraftwerke der Zelle werden die Mitochondrien bezeichnet. In den Chloroplasten wird Lichtenergie gesammelt um Zucker zu bilden. Das endoplasmatische Retikulum (ER) ist an der Proteinsynthese beteiligt, wobei der Golgi-Apparat Proteine weiter verändert und verpackt. Die Oxidation verschiedener Substanzen und der Abbau von Peroxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) finden in den Peroxisomen statt.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 19 „Organellen bestimmen die Funktion von Zellen“

## 2

## Die Zelle — Grundeinheit des Lebens

2.4 Der Zellkern ist die genetische Steuerzentrale der Zellaktivität 

Der **Zellkern (Nucleus)** wird durch eine Doppelmembran, die Kernhülle, vom Cytoplasma getrennt. Durch Kernporen können Wasser und kleine bis mittelgroße Proteine frei passieren. Größere Proteine gelangen mithilfe spezieller Transportmoleküle in den Kern.

Dass der Zellkern die genetische Steuerzentrale ist, zeigte schon 1932 ein Experiment mit der Schirmalge *Acetabularia*. Verpflanzt man den Zellkern von *A. crenulata* in den entkernten Stiel von *A. mediterranea*, so wächst diesem ein für *A. crenulata* typischer Hut.

Im Zellkern ist die DNA auf bestimmte Proteine (Histone) aufgewickelt. Dadurch sind die DNA-Stränge so dicht gepackt, dass sie in den Zellkern hineinpassen. Aufgewickelte DNA samt Histonen wird als **Chromatin** bezeichnet. Unter dem Elektronenmikroskop erscheinen aktive DNA-Bereiche (Euchromatin) heller, da sie lockerer gepackt sind. Bereiche, die inaktiv sind (Heterochromatin), sind dichter gepackt und erscheinen somit im EM dunkler.

Im **Nucleolus** (Kernkörperchen) werden die Ribosomenuntereinheiten zusammengebaut. Die tRNA-Moleküle dafür werden im Nucleolus synthetisiert und mit den im Cytoplasma hergestellten Proteinen zu den Ribosomenuntereinheiten verbunden. Die Untereinheiten werden anschließend getrennt voneinander durch die Kernporen transportiert.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 20 „Der Zellkern speichert Bauanweisungen“

2.5 Im Cytoplasma laufen viele lebensnotwendige Reaktionen ab 

Viele Vorgänge im **Cytoplasma** laufen parallel ab. Entsprechend ist dort eine riesige Anzahl an organischen und anorganischen Molekülen, aber auch gelöste Ionen und Gase dort vorhanden. Ein wichtiger cytoplasmatischer Prozess ist die **Translation**, also die Proteinsynthese. Die im Zellkern an der DNA gebildete mRNA wandert durch die Kernporen ins Cytoplasma. Nun bilden eine große und eine kleine Untereinheit an der mRNA ein Ribosom. Oft reihen sich mehrere Ribosomen hintereinander an einer mRNA auf und bilden so ein Polysom. Die Proteine werden ins Cytoplasma entlassen oder direkt nach der Translation durch einen Kanal ins endoplasmatische Reticulum geschleust. Hierbei ist das Ribosom an ein Rezeptormolekül in der ER-Membran gebunden. Um die Ordnung im Cytoplasma aufrechterhalten zu können, ist der Abbau von unnötigen Molekülen von großer Bedeutung. Für den Proteinabbau sind z. B. große Proteinkomplexe, die Proteasomen, zuständig.

Um Zellorganellen voneinander zu trennen, wird die Dichtegradientenzentrifugation verwendet. Hierbei dient ein Rohrzuckergradient mit bekannten Dichtezonen als Referenz. Auf diesen Gradienten wird das Organellgemisch geschichtet und sehr schnell zentrifugiert. Im Schwerfeld wandern die Organellen zu ihrer jeweiligen Dichtezone und können nun isoliert und untersucht werden.

2.6 Das Endomembransystem produziert, verpackt, verschickt und recycelt 

Das **endoplasmatische Reticulum** ist mit der Kernhülle verbunden und durchzieht in Form von Kanälen und flachen Hohlräumen (ER-Zisternen) die gesamte Zelle (ER-Lumen). Das raue ER trägt — im Gegensatz zum glatten ER — zahlreiche Ribosomen. Hier werden sekretorische Proteine (z. B. Insulin) und Membranproteine synthetisiert. Am glatten ER werden vor allem Membranlipide gebildet. Glattes und raueres ER können ineinander übergehen. Transportvesikel und **Golgi-Apparat** bilden zusammen das Endomembransystem. Der Golgi-Apparat ist ein Sortier-, Modifikations- und Versandsystem aus Zisternenstapeln und Vesikeln. Einzelne Zisternenstapel werden als **Dictyosomen** bezeichnet, die Gesamtheit aller Stapel wird Golgi-Apparat genannt.

Transportvesikel mit sekretorischen Proteinen verschmelzen mit der Empfangsseite des Golgi-Apparats. Sie werden dort sortiert, verändert und erneut in Transportvesikel verpackt. Diese gelangen zur Zellmembran, verschmelzen mit dieser und geben die Proteine an die Umgebung ab. Diesen Vorgang nennt man **Exocytose**. Die Aufnahme fester Stoffe wird als Phagozytose und die flüssiger Stoffe als Pinocytose bezeichnet.

Durch Fusion zweier Transportvesikel, eines mit abbauenden Enzymen und eines mit abzubauenem Material, entsteht ein Lysosom. Im Lysosom bauen Enzyme infolge einer pH-Wert-Änderung (sauer → basisch) eingeschlossene Moleküle ab und setzen deren Bausteine ins Cytoplasma frei. Eine besondere Form von Lysosom ist die Nahrungsvakuole beim Pantoffeltierchen. Anstatt Lysosomen besitzen Pflanzen die zentrale Vakuole, die nicht nur dem Stoffabbau, sondern auch der Speicherung und Ablagerung dient.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 21 „Proteine werden adressiert“

## 2

## Die Zelle — Grundeinheit des Lebens

## 2.7

Zellen werden durch eine Zellwand oder ein Cytoskelett stabilisiert 

Die Zellwand übernimmt eine Stützfunktion und gibt der Zelle (Bakterien, Pflanzen, Pilze) ihre Form und Stabilität. Die pflanzliche Zellwand besteht aus dem Polysaccharid Cellulose. Zellmembran, Cytoplasma, Zellorganellen und Zellkern bilden zusammen den **Protoplast**. Bei Einzellern grenzt die Zellwand an die Außenwelt, bei vielzelligen Pflanzen liegt zwischen den Zellwänden der Nachbarzellen eine Kittsubstanz aus Pektin (ein Polysaccharid), die Mittellamelle.

Wasser und kleine Moleküle gelangen über bestimmte membrandurchzogene Tunnel, die **Plasmodesmen**, direkt von einer Zelle in die nächste. Die Einheit der dadurch verbundenen Protoplasten nennt man **Symplast**. Das System aller Zellwände wird als **Apoplast** bezeichnet und spielt eine besondere Rolle als Wassertransportweg in Pflanzen. Die Zellmembran reguliert den Stoffaustausch zwischen Symplast und Apoplast.

In tierischen Zellen bewirkt das **Cytoskelett** die Stabilität sowie die Form, die jedoch auch verändert werden kann. Das Cytoskelett durchzieht das Cytoplasma netzartig und ist in der Zellmembran verankert. In Tieren besteht es aus Actinfilamenten (Bündel und Netzwerke: Bewegungsvorgänge), Mikrotubuli (Proteinröhren: Spindelapparat bei Kernteilung) und Intermediärfilamenten (verschiedene Typen: Reißfestigkeit).

## 2.8

Die Mitose teilt Zellkerne von Eucyten in identische Tochterkerne 

Bis etwa 1850 ging man davon aus, dass Lebewesen spontan aus anorganischem Material entstünden (**Urzeugung**). Danach erkannte man jedoch, dass jede Zelle aus einer bereits existierenden Zelle entsteht (omnis cellula e cellula). Auch vielzellige Lebewesen wie z. B. der Mensch entstehen aus einer befruchteten Eizelle.

Alle Zellen des Menschen besitzen die gleiche Erbinformation in Form der DNA. Diese ist auf 46 Chromosomen im Zellkern verteilt (**Chromosomensatz**). Der Vorgang, bei dem die Tochterzelle eine identische Kopie des Erbguts der Mutterzelle erhält, heißt **Mitose**. Vor der Mitose wird das Erbgut identisch verdoppelt. Jedes Chromosom besteht nun aus zwei Hälften, den **Schwesterchromatiden**. Diese werden am **Centromer** zusammengehalten.

Die Mitose wird in vier Phasen unterteilt. In der Prophase kondensiert das Chromatin zu den Chromosomen und die Kernhülle wird aufgelöst. Das Centriolenpaar (aus Mikrotubuli) verdoppelt sich und wandert zu den Polen. Dazwischen entsteht die Mitosespindel. Das die Centriolen umgebende Feld bezeichnet man als **Centrosom**. Spindelmikrotubuli binden am Kinetochor und befördern die Chromosomen auf die Äquatorialplatte. In diesem Stadium kann man die Chromosomen besonders gut erkennen und auf Bildern nach Form und Größe ordnen (**Karyogramm**).

In der Anaphase werden die Schwesterchromatiden am Centromer getrennt und gelangen durch Verkürzung der Spindelmikrotubuli zu den Polen der Zelle. Die Zelle wird durch andere Spindelmikrotubuli gestreckt.

In der Telophase bildet sich eine neue Kernhülle um die **Tochterchromosomen**, die zum Chromatin entspiralisieren. Auch der Nucleolus bildet sich neu.

Während der Telophase beginnt auch die Cytokinese (Zellteilung). Bei Tierzellen schnürt sich hierbei die Mutterzelle mittels Actinring ein. Bei Pflanzen entlassen Transportvesikel (deren Ansammlung wird als Zellplatte bezeichnet) am Zelläquator Bausteine für neue Zellmembranen und Zellwände. Auch die Mitochondrien und weiteren Komponenten werden bei der Zellteilung verteilt.

Somit sind zwei Tochterzellen entstanden, die denselben Chromosomensatz wie die Mutterzelle haben und wachsen. Ist das Erbgut erneut verdoppelt, kann die nächste Mitose erfolgen. Vielkernige Zellen, z. B. menschliche Skelettmuskelzellen, entstehen, wenn auf die Zellkernverdopplung keine Zellteilung folgt.

Markl Biologie Arbeitsbuch → S. 22 „Mitose kann mikroskopisch betrachtet werden“