



1 Zellbiologie und -physiologie

1.1 Aufbau der Zelle

1.1.1 Einführung

Es gibt „Kennzeichen des Lebendigen“, die vorhanden sein sollten, damit ein Organismus als Lebewesen angesehen wird. Dazu gehören: **Stoffwechsel, Wachstum, Vermehrung, Beweglichkeit, Reiz-Aufnahme/-Verarbeitung/-Antwort** (Kommunikation mit der Außenwelt) und **Anpassungsfähigkeit** (Entwicklung, Evolution).

1.1.2 Zellmembran

Die Zellmembran (Plasmalemm) begrenzt die Zelle und bildet eine Barriere zwischen dem Zellinneren (Intrazellularräum) und dem Raum außerhalb der Zelle (Extrazellularräum) und schützt die Zelle vor mechanischer und chemischer Schädigung. Die Zellmembran ist ca. 10 nm (10^{-9} m = Millionstel Millimeter) dünn und besteht meist aus einer **doppelten Phospholipidschicht** (► **Abb. 1.1**). Über die Zellmembran findet ein Stoffaustausch zwischen dem Extra- und dem Intrazellularräum statt.

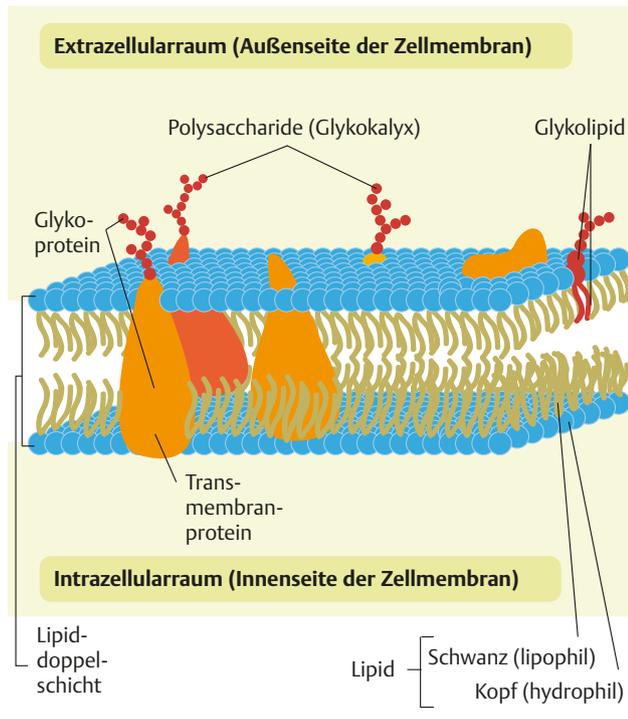
Phospholipide haben eine polare Anordnung: auf einer Seite ist 1 wasserliebendes (hydrophiles) Köpfchen, auf der anderen Seite sind 2 wasserabweisende bzw. fettliebende (hydrophobe oder lipophile) „Schwänzchen“. Die Phospholipide stehen sich jeweils paarweise so gegenüber, dass die Köpfchen jeweils nach außen zum Extrazellularräum und zum Intrazellularräum gerichtet und die „Schwänzchen“ im Inneren der Membran liegen. In die Phospholipidschicht sind **Proteine und Kohlenhydrate** mosaikartig **eingelagert**. Sie dienen als Kontakt zu anderen Zellen, als „Türen“ oder Transporter zwischen Innen und Außen oder als Rezeptoren (z. B. für Hormone) sowie zur Eigen- und Fremderkennung für das Immunsystem (MHC=Major Histocompatibility Complex). Zusätzlich kann die Zellmembran Fortsätze haben: Zilien oder Mikrovilli, z. B. in den Atemwegen, im Dünndarm oder in den Eileitern.

☑☑☑ **Fazit – Das müssen Sie wissen**

Zellmembran

Die **Zellmembran** (Plasmalemm) dient als **Grenze und Schutz** und besteht aus einer **doppelten (Phospho-)Lipidschicht**. Die wasserliebenden (hydrophilen) Köpfchen der Lipide zeigen dabei zur Membranaußenseite, die fettliebenden (lipophilen) Schwänze zur Membranmitte. In die Lipiddoppelschicht sind Moleküle eingelagert, die zum Transport oder zur Kommunikation dienen.

Abb. 1.1 Aufbau der Zellmembran.



Die Zellmembran (Plasmalemma) besteht aus einer Lipiddoppelschicht. Die hydrophilen Köpfe der Lipide liegen an den Oberflächen der Membran, die lipophilen Schwänze begegnen sich in der Mitte. Auf der Außenseite der Membran befindet sich die Glykokalyx. Sie besteht aus Polysacchariden, die als Glykolipide entweder direkt an den Membranlipiden oder als Glykoproteine an Transmembranproteinen befestigt sind. Abb. aus: *I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020*

1.1.3 Zytoplasma

Das Innere der Zelle wird durch das **Zytoplasma** ausgefüllt. Es besteht aus der Zellflüssigkeit (Zytosol oder Hyaloplasma), dem Zellskelett (Zytoskelett) und den Zellorganellen.

Das **Zytosol** besteht zu 80–85% aus Wasser. Der Rest sind v. a. Proteine, Lipide, Zuckermoleküle, Ionen und DNA/RNA-Bestandteile (DNA = Desoxyribonukleinsäure, RNA = Ribonukleinsäure). Der pH-Wert ist meistens neutral (7) und wird durch Puffersysteme in diesem Bereich gehalten.

Das **Zytoskelett** ist ein komplexes veränderbares Gerüst, das ständig neu auf- und abgebaut wird. Es dient der mechanischen Stabilisierung der Zelle und gibt ihr die äußere Form. Das Zytoskelett besteht aus verschiedenen Proteinfasern (Filamenten), die miteinander in Kontakt stehen. Wie ein Netz ziehen sich die Filamente durch die gesamte Zelle, halten sie in Form, machen Bewegungen möglich und sind verantwortlich für intrazelluläre Transporte. Sie arbeiten häufig mit sog. Motorproteinen zusammen. Darunter versteht man funktionelle Einheiten des Zytoskeletts, die zelluläre Komponenten unter Energieverbrauch bewegen. Das Zytoskelett ist zudem für die Zellteilung verantwortlich.

Man unterscheidet 3 Arten von Filamenten:

- **Aktin-/Mikrofilamente** sind u. a. für die Form der Zelle verantwortlich und bilden die Mikrotubuli. In Muskelzellen können Aktinfilamente mit Myosinfilamenten interagieren und ermöglichen so die Kontraktion einer Muskelzelle.
- **Intermediärfilamente:** dienen v. a. der mechanischen Stabilität.
- **Mikrotubuli:** sind röhrenförmigen Gebilde und dienen v. a. als Transportschienen für die Fracht der Zellorganellen, z. B. für Motorproteine.

Die **Zellorganellen** werden im Folgenden besprochen.

Fazit – Das müssen Sie wissen

Zytoplasma

Das **Zytoplasma** füllt das Innere der Zelle aus. Es besteht aus dem **Zytoplasma** (80–85% Wasser) und dem **Zytoskelett**. Das Zytoskelett bildet das Stützgerüst der Zelle und ist an Transportprozessen innerhalb der Zelle, an Zellbewegungen und an der Zellteilung beteiligt. Es besteht aus verschiedenen Arten von Proteinfasern (Filamenten). Im Zytoplasma liegen die Zellorganellen.

1.1.4 Zellorganellen

Die Zellorganellen sind quasi die Organe der Zellen (► **Abb. 1.2**). Jedes Organell übt eine bestimmte Funktion innerhalb der Zelle aus, auf die es spezialisiert ist. Zu den Zellorganellen zählen: der Zellkern (**Nukleus**), das **endoplasmatische Retikulum** (ER), die **Ribosomen**, der **Golgi-Apparat**, die **Lysosomen**, die **Mitochondrien** und die **Zentrosomen**.

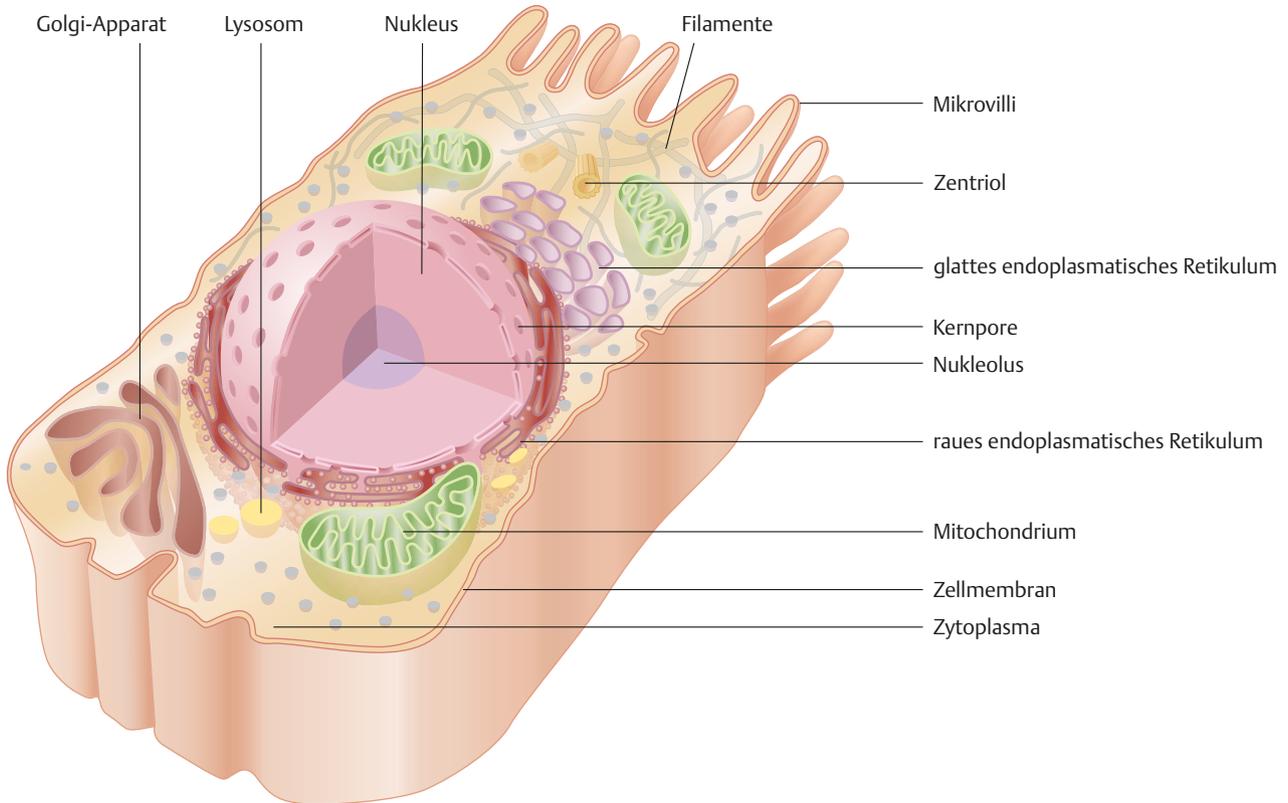
Zellkern (Nukleus)

Alle Zellen des menschlichen Körpers außer den reifen roten Blutkörperchen, den Blutplättchen und den Hornzellen der Haut haben einen Zellkern. Einige menschliche Zellen besitzen mehrere Zellkerne, z. B. Leberzellen und Skelettmuskelzellen, die bis zu 500 Zellkerne enthalten.

Der **Zellkern** ist die Kommandozentrale der Zelle (► **Abb. 1.3**). Er enthält die Erbinformation in Form von DNA (deoxyribonucleic acid; deutsch: Desoxyribonukleinsäure) und ist u. a. für die Zellteilung unentbehrlich. Die DNA ist in Form von Chromosomen organisiert (s. u.). Der Kern wird durch die Kernmembran vom Zytoplasma abgegrenzt. In seinem Inneren befinden sich die Kernflüssigkeit (Karyoplasma), das Kernkörperchen und die Chromosomen.

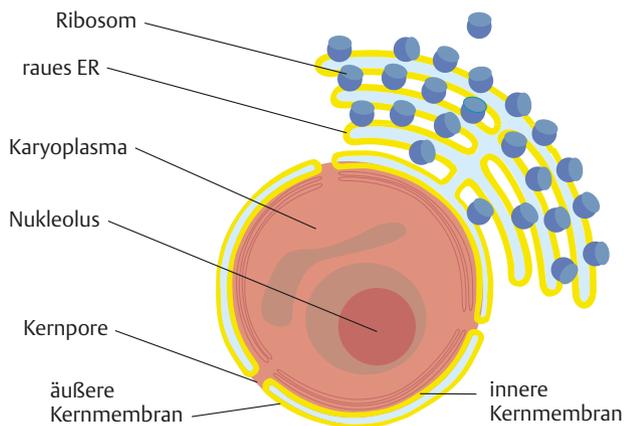
Kernmembran. Die Kernmembran ist eine Doppelmembran. Ihre Innenseite ist mit Aktinfilamenten ausgekleidet, die äußere Seite ist teilweise mit Ribosomen besetzt und geht an einigen Stellen in das endoplasmatische Retikulum über. Durch **Kernporen** in der Kernmembran findet der Stoffaustausch zwischen dem Kerninneren und dem Zytosol statt.

Abb. 1.2 Aufbau einer Körperzelle.



Zu den wichtigsten Zellstrukturen zählen der Zellkern (Nukleus) mit dem Kernkörperchen (Nukleolus), das raue und das glatte endoplasmatische Retikulum, der Golgi-Apparat und die Mitochondrien. Abb. aus: Spaniel-Borowski K, Mayerhofer A. Zytologie und Histologie – Grundlagen. In: Aumüller G, Aust G, Conrad A, Engele J, Kirsch J, Maio G, Mayerhofer A, Mense S, Reißig D et al., Hrsg. Duale Reihe Anatomie. 5., korrigierte Auflage. Thieme; 2020

Abb. 1.3 Zellkern (Nukleus).



Der Nukleus ist von einer äußeren und einer inneren Kernmembran (Doppelmembran) umgeben, wobei die äußere mit dem rauen endoplasmatischen Retikulum in Verbindung steht. Der Nukleolus liegt im Inneren des Zellkerns. Über die Kernporen steht das Karyoplasma mit dem Zytosol in Verbindung. Das endoplasmatische Retikulum schließt sich an den Zellkern an und durchzieht das Zytoplasma. Abb. aus: I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020. Nach: Poeggel G. Aufbau. In: Poeggel G, Hrsg. Kurzlehrbuch Biologie. 3. überarbeitete Auflage. Thieme; 2013

Karyoplasma. Wie das Zytoplasma besteht auch das Karyoplasma aus flüssigen (Karyolymphe) und aus festen (Kernmatrix) Bestandteilen. Es enthält das Chromatin und ein oder mehrere Kernkörperchen.

Kernkörperchen. Das Kernkörperchen (Nukleolus [Plural Nukleoli]) enthält einen speziellen Teil der DNA, die ribosomale RNA (rRNA). Hieraus entstehen die Vorstufen der Ribosomen, die dann über die Kernporen ins Zytoplasma transportiert und dort zu fertigen Ribosomen zusammengesetzt werden. Man kann es also als Ribosomen-Fabrik bezeichnen.

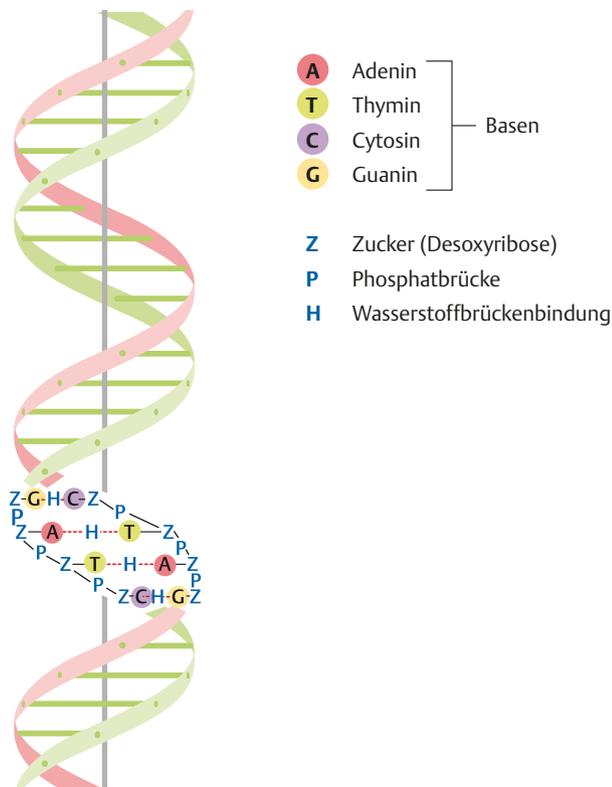
Fazit – Das müssen Sie wissen

Zellkern

Der **Zellkern** ist die **Kommandozentrale der Zelle** und enthält die Erbinformation der Zelle. Er besitzt eine Doppelmembran mit Poren. Das Innere des Kerns besteht aus Karyolymphe, das Chromatin und das bzw. die Kernkörperchen.

Kernlose Zellen sind die roten Blutkörperchen, die Blutplättchen und die Hornzellen der Haut.

Abb. 1.4 DNA als Doppelhelix.



Struktur der DNA mit Basen. Abb. aus: *I care Anatomie, Physiologie*. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020. Nach: Schünke M, Schünke G. Chromosomen und Gene. In: Schünke M, Faller A, Hrsg. *Der Körper des Menschen*. 18., unveränderte Auflage. Thieme; 2020

DNA

Die **DNA** (Desoxyribonukleinsäure) ist der **Träger der Erbinformation**. Bei Zellen, die einen Zellkern besitzen (Eukaryoten), liegt die DNA im Zellkern. Bei Zellen ohne Zellkern (Prokaryoten, z. B. Bakterien) befindet sich die DNA frei im Zytoplasma.

Die DNA liegt in Form eines Doppelstrangs (DNA-Doppelhelix; vorstellbar als eine sich rechtsumdrehende Leiter) vor (► **Abb. 1.4**). Die „Ketten“ der Leiter bestehen aus Zucker- und Phosphatmolekülen. Die Sprossen der Leiter bestehen aus 4 Nukleinbasen

- Adenin (A),
- Thymin (T),
- Guanin (G) und
- Cytosin (C)

von denen jeweils 2 Basen zusammen eine Sprosse bilden. Dabei passen nur Adenin und Thymin sowie Cytosin und Guanin zusammen.

Gene

Gene sind die **Funktionseinheiten der Erbinformation**. Ein Gen ist ein **Abschnitt der DNA**, der z. B. für einen bestimmten Proteinbaustein codiert oder eine bestimmte Regulationsfunktion hat. Gene bestimmen (zusammen mit Umwelteinflüssen) die charakteristischen Merkmale eines Organismus.

Die Gesamtheit der genetischen Information einer Zelle wird **Genom** genannt.

Chromosomen

Die Chromosomen sind die Organisationsform der DNA im Zellkern und enthalten die Erbinformation eines Organismus. Die DNA im Zellkern liegt außerhalb der Zellteilungsphase nicht in Form von Chromosomen (► **Abb. 1.5**), sondern in Form langer, doppelsträngiger Fäden vor. Die Chromosomen werden erst während der Zellteilung als solche sichtbar. Sie bestehen aus 2 Hälften (Chromatiden), die über das Zentromer miteinander verbunden sind. Chromatiden bestehen aus DNA und Proteinen (Histone), um die sich die DNA wickelt, um Platz zu sparen. Bis auf die reifen Geschlechtszellen (Eizelle, Spermium) enthält jede Zelle einen kompletten **diploiden Chromosomensatz**, der aus 23 Chromosomenpaaren besteht, also 46 Chromosomen (► **Abb. 1.6**). Die ersten 22 Paare sind echte Paare und werden als **Autosomen** bezeichnet. Das 23. Paar sind die Geschlechtschromosomen: **Gonosomen/Heterosomen**. Bei Frauen ist dies ebenfalls ein echtes Paar: XX, bei Männern sind die beiden Chromosomen unpaarig: XY. Die reifen Geschlechtszellen enthalten nur einen **haploiden Chromosomensatz** mit 23 unpaarigen Chromosomen. Eizelle und Spermien vereinigen sich dann zu einer Zelle mit diploidem Chromosomensatz.

Fazit – Das müssen Sie wissen

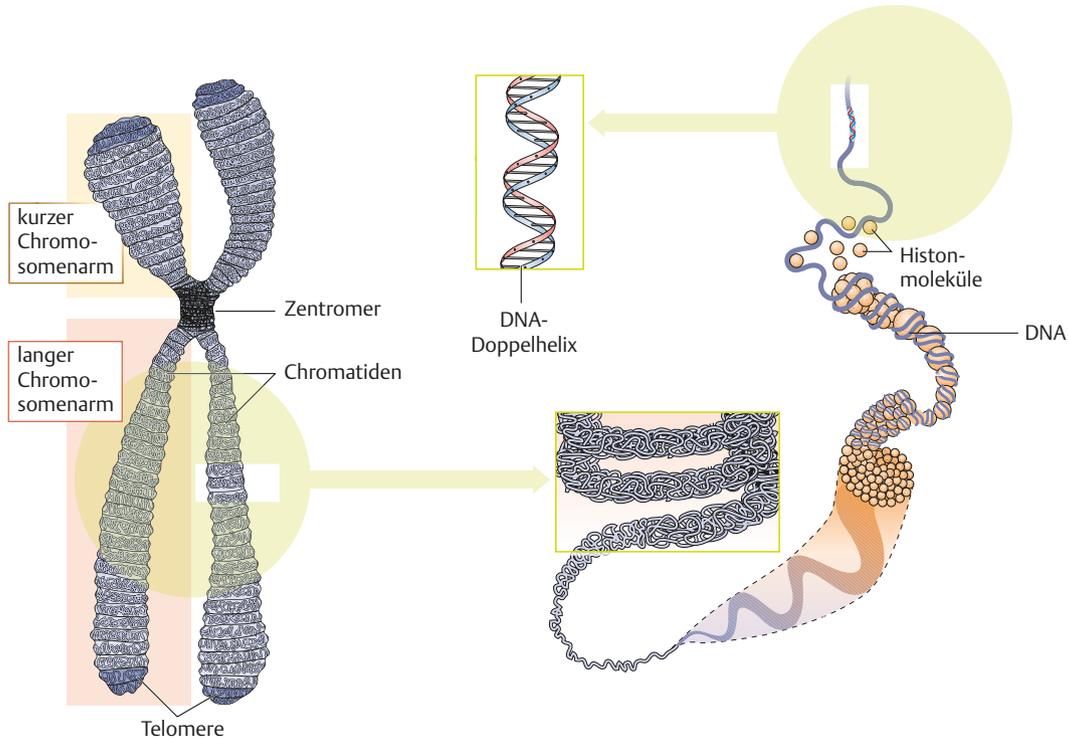
Erbinformation

Die Erbinformation besteht aus DNA und liegt in der Zelle in Form von Chromatin vor. Dieses besteht aus der DNA und Proteinen (u. a. Histonen, um die sich die DNA wickelt). Die **DNA** hat die Form einer Doppelhelix mit den Basen Adenin, Thymin, Guanin und Cytosin. Ein **Gen** ist ein Abschnitt der DNA, der für Proteinbausteine codiert oder Regulationsfunktion hat.

Normalerweise hat jede Zelle (bis auf die haploiden reifen Eizellen und Spermien) einen kompletten **diploiden Chromosomensatz** mit **46 Chromosomen**. Jeweils die Hälfte davon stammt von der Mutter bzw. vom Vater, daher kommt jedes Chromosom doppelt vor. Das 23. Chromosomenpaar besteht bei Frauen aus XX, bei Männern aus XY. In den reifen Geschlechtszellen kommt jedes Chromosom nur einfach vor, sie enthalten einen haploiden Chromosomensatz mit 23 Chromosomen.

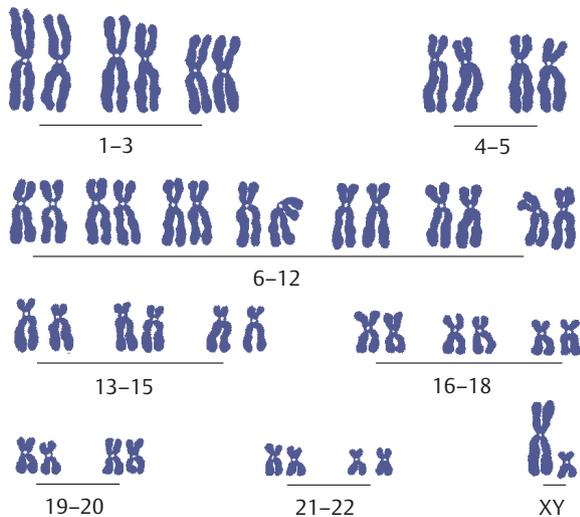
Jedes Chromosom besteht entweder aus 1 Chromatid (ruhende Zellen) oder aus 2 Chromatiden (Zellen kurz vor der Zellteilung).

Abb. 1.5 Aufbau eines Chromosoms.



Kurz vor der Zellteilung bestehen die Chromosomen aus jeweils 2 Chromatiden. Diese sind über das Zentromer miteinander verbunden. Das Zentromer unterteilt die Chromatiden außerdem in einen langen und einen kurzen Chromosomenarm. Ein Chromatid besteht hauptsächlich aus der DNA-Doppelhelix und den Histonen, um die sich die Doppelhelix wickelt. *Abb. aus: I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020. Nach: Schünke M, Faller A, Hrsg. Der Körper des Menschen. 18., unveränderte Auflage. Thieme; 2020*

Abb. 1.6 Chromosomensatz einer menschlichen Zelle.



Dargestellt ist ein diploider Chromosomensatz, die Chromosomen sind nach ihrer Größe und nach Lage ihres Zentromers geordnet. Jedes Chromosom liegt doppelt vor, wobei eines vom Vater und eines von der Mutter stammt. Die Chromosomen 23 bestimmen das Geschlecht, hier ist ein männlicher Chromosomensatz mit XY-Chromosomen gezeigt. *Abb. aus: I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020. Nach: Schünke M, Faller A, Hrsg. Der Körper des Menschen. 18., unveränderte Auflage. Thieme; 2020*

Genetische Krankheiten. Genetische Krankheiten (► Tab. 1.1) entstehen durch eine oder mehrere Veränderungen im Genom. Sie werden unterschieden in:

- **chromosomal bedingte Krankheiten:** Veränderungen des normalen Chromosomensatzes lösen die Krankheit aus.
- **monogen vererbte Krankheiten:** selten, durch Mutation eines Gens ausgelöst, vererbbar.
- **multifaktoriell verursachte Krankheiten** (auch polygene Vererbung): ungünstiges Zusammenspiel mehrerer Gene mit Umwelteinflüssen, können vererbt werden.
- **mitochondriale Erbkrankheiten:** seltene Erbkrankheiten, die durch Mutation der mitochondrialen DNA entstehen. Keine Übertragung durch Männer.

Genetische Prädisposition. Genetische Prädisposition, oft auch genetische Disposition genannt, ist die erblich bedingte Anlage bzw. Empfänglichkeit eines Organismus für bestimmte Erkrankungen. Eine genetische Disposition ist bei sehr vielen Krankheiten vorhanden.

Tab. 1.1 Beispiele genetischer Krankheiten.

Mutation/Erbgang	Krankheit	DNA/Physiologie	Auswirkung u. a.
Chromosomen-aberrationen	Down-Syndrom/Trisomie 21	Chromosom 21 ist 3-mal vorhanden	Fehlbildung innerer Organe (häufig), geminderte Intelligenz (verschiedene Schweregrade), Skelettveränderungen
	Ullrich-Turner-Syndrom	XO (nur 1 X)	u. a. Kleinwuchs, kurzer Hals, primäre Amenorrhö (Ausbleiben der Menstruation), tiefer Haaransatz im Nacken, ggf. Herzfehler
	Klinefelter-Syndrom	XXY (Mann mit zusätzlichem X)	u. a. Infertilität, kleine Hoden, weibliche Brustentwicklung (Gynäkomastie), eunuchoider Züge, Hochwuchs
X-chromosomal rezessiv	Hämophilie	Mangel an Gerinnungsfaktor VIII oder IX	erhöhte Blutungsneigung durch gestörte Blutgerinnung
	Rot-Grün-Farbsinnstörung	veränderte Proteine in den Zapfen (Photorezeptorzellen der Retina)	bestimmte Rot- oder Grüntöne werden nur schwer oder nicht erkannt.
Y-chromosomal	nur bei Männern, selten		führt häufig zur Zeugungsunfähigkeit
autosomal rezessiv	Albinismus	Mangel an dem Pigment (Farbstoff) Melanin	helle bis weiße Haut und Haare, erhöhte Blendempfindlichkeit, hellere Augenfarbe
	Hämochromatose	Stoffwechselerkrankung, pathologisch erhöhte Eisenspeicherung im Gewebe	Leberzirrhose, Diabetes mellitus durch Pankreasinsuffizienz, vermehrte Hautpigmentierung, Arthritis, Kardiomyopathie
	Mukoviszidose	Stoffwechselerkrankung mit zähen Sekreten	Multisystemerkrankung, u. a.: chronischer Husten, Dyspnoe, chronische Pankreatitis, mit der Gefahr von Lungenfibrose, Leberzirrhose, Pankreasinsuffizienz,
	Sichelzellanämie	Hämoglobindefekt: Unter O ₂ -Mangel werden Erythrozyten sichelförmig.	angeborene hämolytische Anämie (v. a. in Malariaepidemien Afrikas und Asiens), Organinfarkte in Milz, Nieren, Knochen, Gehirn und Lunge
	Adrenogenitales Syndrom (AGS)	Bildungsstörung der Steroidhormone der Nebennierenrinde (NNR)	zu viel Androgene, Männer meist asymptomatisch, bei Frauen vermännlichtes äußeres Genitale, verminderte Aldosteronsynthese, Kleinwuchs
autosomal dominant	Zystenniere	Entstehung vieler Zysten in der Niere	ggf. später Niereninsuffizienz
	Chorea Huntington (Chorea Major)	Untergang hemmender Neurone in Zwischenhirnkernen und im Kortex	Hyperkinese: unwillkürliche Bewegungen der Extremitäten und der Gesichtsmuskulatur, später Demenz

autosomal = die ersten 22 Chromosomen, gonosomal/heterosomal = X- oder Y-Chromosom

Endoplasmatisches Retikulum (ER)

Das endoplasmatische Retikulum (ER) ist ein verzweigtes Kanalsystem flächiger Hohlräume, die von Membranen umschlossen sind (► **Abb. 1.3**). Es schließt sich an den Zellkern an und durchzieht das Zytoplasma. Man unterscheidet raues und glattes ER:

- Das **raue endoplasmatische Retikulum** (rER) ist mit Ribosomen (s. u.) besetzt. In diesen findet die Proteinsynthese statt. Im rER werden zudem Proteine während oder nach ihrer Synthese modifiziert.
- Das **glatte endoplasmatische Retikulum** (sER) (s von engl. „smooth“) bildet v. a. Steroidhormone, Fettsäuren und Membranlipide. In der quergestreiften Muskulatur ist das sER ein Kalziumspeicher (und heißt sarkoplasmatisches Retikulum).

Darüber hinaus ist das ER Teil der intrazellulären Stofftransportwege.

Ribosomen

Ribosomen sind kleine, aus rRNA (s. o. Kernkörperchen (S.10), ► **Abb. 1.3**) und Proteinen bestehende Zellorganellen, in denen die Proteinsynthese stattfindet. Ribosomen sind nicht von einer Membran umgeben.

Sie liegen entweder frei im Zytoplasma und bilden zelleigene Proteine (z. B. Zellenzyme) oder sind mit der Membran des rauen endoplasmatischen Retikulums (rER) verbunden und bilden v. a. Proteine, die aus der Zelle hinaus transportiert werden (z. B. Pankreasenzyme).

Fazit – Das müssen Sie wissen

Endoplasmatisches Retikulum und Ribosomen

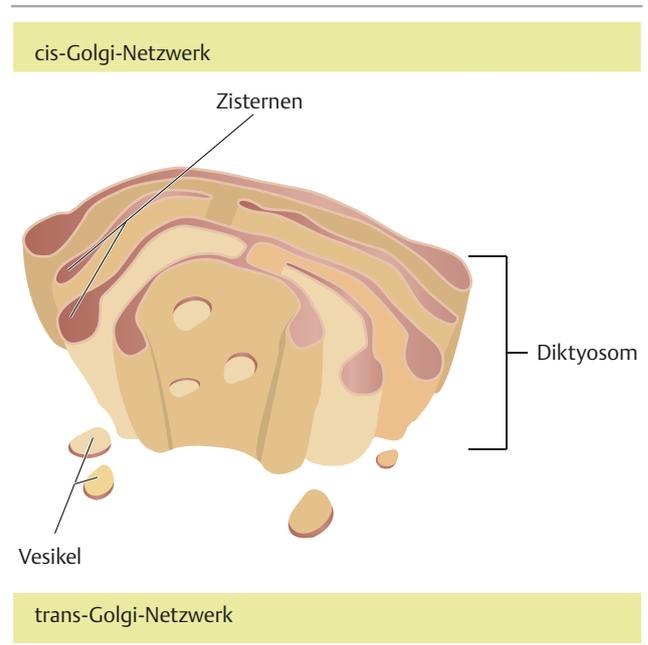
Das **endoplasmatische Retikulum (ER)** bildet ein membranumschlossenes **Hohlraumsystem**. Das **raue ER** (rER, mit Ribosomen besetzte Membranen) ist für die Proteinsynthese zuständig. Das **glatte ER** (sER) bildet Fettsäuren, Membranlipide, Steroidhormone.

Ribosomen bestehen aus RNA und Proteinen. Sie sitzen entweder auf der Membran des rER oder liegen frei im Zytoplasma. Die freien Ribosomen bilden Proteine, die für die Zelle selbst benötigt werden, die Ribosomen der rERs stellen Exportproteine her.

Golgi-Apparat

Der **Golgi-Apparat** (gesprochen Goldji) besteht aus mehreren, untereinander verbundenen, gebogenen und membranumschlossenen Hohlräumen (► **Abb. 1.7**). Er befindet sich in unmittelbarer Nähe des rERs und des Zellkerns. Der Golgi-Apparat nimmt die Proteine und Lipide auf, die ihm in Vesikel verpackt vom rER geschickt werden. In seinen Zisternen versieht er sie v. a. mit unterschiedlich langen Zuckerketten, was als Glykosylierung bezeichnet wird. Diese Veränderung macht die Proteine stabiler, schützt sie vor Abbau und verändert ihre Reaktionsfreudigkeit. Die modifizierten Proteine werden auf neue Transportvesikel (Golgi-Vesikel) verteilt, mit Signalproteinen (bestimmen das Ziel des Vesikels) versehen und über die zellinternen Transportsysteme zum Ort ihrer Bestimmung gebracht (Extrazellularraum, Zellmembran etc.). Außerdem bildet der Golgi-Apparat die Enzyme für die Lysosomen (s. u.).

Abb. 1.7 Golgi-Apparat.



Der Golgi-Apparat besteht aus membranumschlossenen flachen Hohlräumen, den Zisternen. Ein Stapel aus mehreren Zisternen bildet ein Diktyosom. Über das cis-Golgi-Netzwerk werden Proteine aufgenommen. Im Inneren des Golgi-Apparates werden sie verändert und am trans-Golgi-Netzwerk in Vesikel verpackt wieder ausgeschleust. *Abb. aus: I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020*

Fazit – Das müssen Sie wissen

Golgi-Apparat

Der Golgi-Apparat besteht aus flachen membranumschlossenen Hohlräumen und ist hauptsächlich die **Verpackungsmaschine** der Zelle. Er modifiziert und verpackt die vom rER hergestellten Proteine und Lipide in Golgi-Vesikel (Transportbläschen) für den weiteren Transport an andere Orte in oder außerhalb der Zelle.

Lysosomen

Lysosomen sind von einer Membran umgebene Vesikel mit saurem pH-Wert. In ihnen befinden sich große Mengen Verdauungsenzyme, die vom rER gebildet, zum Golgi-Apparat transportiert und dort in Vesikel gepackt wurden.

Die Lysosomen **verdauen** zellfremde, aber auch zelleigene Partikel und Stoffe, die von der Zelle nicht mehr benötigt werden, z. B. gealterte Zellorganellen oder Mikroorganismen, die über Vesikel in die Zelle aufgenommen wurden.

i Zusatzinfo**Schädigung der Lysosomenmembran**

Die Lysosomenmembran verhindert, dass intakte Zellen von den lysosomalen Enzymen angegriffen werden. Bei einer Schädigung der Membran, z. B. durch eine hohe Dosis an **Röntgen- oder UV-Strahlung**, können die Enzyme allerdings ins Zytoplasma gelangen und das umliegende Gewebe auflösen (Gewebeautolyse). Bei **Gicht** oder **Silikose** wird die Lysosomenmembran geschädigt, die lysosomalen Enzyme gelangen in das Zytoplasma und es kommt zu entzündlichen Reaktionen. **Kortison** stabilisiert die Lysosomenmembran und wirkt damit entzündungshemmend.

Mitochondrien

Die **Mitochondrien** sind die Energiefabriken der Zelle. Sie haben 2 Membranen, eine Außen- und eine stark gefaltete Innenmembran (► **Abb. 1.8**). Im Inneren der Mitochondrien findet die sogenannte **Zellatmung** statt: Hierbei wird v. a. Glukose mit Sauerstoff in mehreren Schritten (Glykolyse, Citratzyklus, Atmungskette) zu Kohlenstoffdioxid und Wasser verarbeitet. Dieser Vorgang setzt Energie frei. Das Endergebnis lautet: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + \text{Energie}$

Diese freiwerdende Energie wird in den Mitochondrien hauptsächlich dazu genutzt, an 1 Molekül ADP (Adenosin-Di-Phosphat) 1 weiteres Phosphoratom anzuhängen. Dabei entsteht **ATP** (Adenosin-Tri-Phosphat). Dieses ATP ist das Energiespeichermolekül. Bei Bedarf wird ein Phosphatrest abgehängt und die Energie wird wieder frei und kann von der Zelle genutzt werden.

Mitochondrien haben eine eigene DNA (mtDNA), die ausschließlich von mütterlicher Seite vererbt wird. Mitochondrien vermehren sich ähnlich wie Bakterien durch Teilung.

✓✓✓ Fazit – Das müssen Sie wissen**Lysosomen und Mitochondrien**

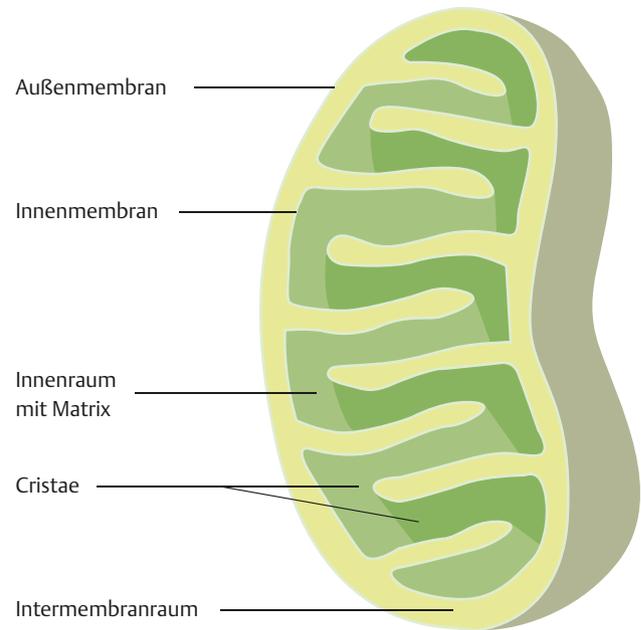
Lysosomen sind Vesikel mit sauren Verdauungsenzymen. Sie verdauen zellfremde und zelleigene Stoffe.

Mitochondrien sind die **Energiefabriken** der Zelle. Sie verarbeiten unter Energiefreisetzung v. a. Glukose mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser und erzeugen das Energiespeichermolekül **ATP**. Mitochondrien werden von einer Außen- und einer Innenmembran umschlossen. Die Innenmembran bildet zahlreiche Einstülpungen (Cristae und Tubuli), die in den Innenraum des Mitochondriums ragen. Als einziges Zellorganell verfügen die Mitochondrien über eine eigene DNA (mtDNA), die mütterlicherseits vererbt wird.

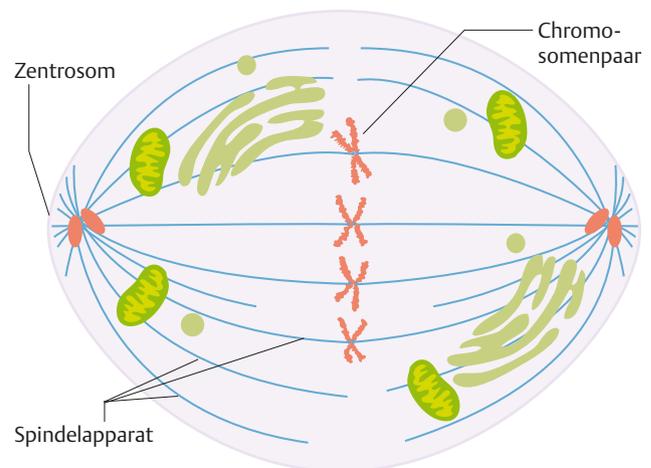
Zentriolen und Zentrosomen

Zentriolen bestehen aus Mikrotubuli und lagern sich als Paar zu einem rechtwinklig angeordneten **Zentrosom** zusammen. Jede Zelle besitzt erst einmal nur 1 Zentrosom. Zu Beginn der Zellteilung verdoppelt sich das Zentrosom. Die Zentrosomen wandern zu entgegengesetzten Polen und bilden den sogenannten Spindelapparat aus (s. Kap. 1.2 und ► **Abb. 1.9**).

Daneben spielen Zentriolen auch eine Rolle bei der Organisation und Stabilisierung der Zelle.

Abb. 1.8 Aufbau eines Mitochondriums.

Durch die 2 Membranen entstehen 2 Räume: der Intermembranraum und der Matrixraum. In der Matrix finden sich Proteine, Enzyme, Lipide und Granula. *Abb. aus: I care Anatomie, Physiologie. 2., aktualisierte Auflage. Thieme; 2020*

Abb. 1.9 Zentrosomen und Spindelapparat.**✓✓✓ Fazit – Das müssen Sie wissen****Zentriolen und Zentrosom**

Zentriolen sind u. a. für die **Zellteilung** wichtig. Sie lagern sich zu 2 **Zentrosomen** zusammen und bilden den Spindelapparat.