

1. Zellenlehre

1.1. Allgemeines

Merke

Die Zytologie ist die Lehre von den Zellen (griech. kytos = Zelle). Die Zellen sind die kleinsten Bau- und Funktionseinheiten des menschlichen Organismus. Sie besitzen alle Eigenschaften eines lebenden Systems. Dazu gehören die Vermehrung, die Entwicklung, die Reizbarkeit, das Wachstum und der Stoffwechsel.

Diese Eigenschaften sind bei den verschiedenen Zellarten nicht im gleichen Maße ausgeprägt. Spezialisierungsvorgänge führten zur Ausbildung bestimmter Zelleistungen. Die Muskelzellen besitzen die Fähigkeit zur Kontraktion, die Nervenzellen verfügen über eine gut ausgebildete Erregbarkeit und Erregungsleitung und Drüsenzellen sind in der Lage, ihre Inhaltsstoffe durch Sekretionsmechanismen freizusetzen.

Die Zellgrößen sind unterschiedlich und stehen in enger Beziehung zur Differenzierung und Leistung der betreffenden Zellen. Der Durchmesser einer menschlichen Eizelle beträgt 0,15 bis 0,20 mm, der eines roten Blutkörperchens etwa 7,5 µm, die quergestreifte Muskelfaser kann bis zu 15 cm und die Nervenzellen mit ihren Fortsätzen bis zu einem Meter lang werden. Die Zellform ist abhängig von der Funktion der jeweiligen Zelle. In flüssigen Medien streben die Zellen eine Kugelform an. Die weißen Blutkörperchen entsprechen einer solchen Form. Knochen- und Nervenzellen bilden an ihrer Zellmembran Fortsätze und resorbierende Zellen zarte Ausstülpungen (Mikrozotten).

Allen Zellen liegt ein gemeinsamer Bauplan zugrunde.

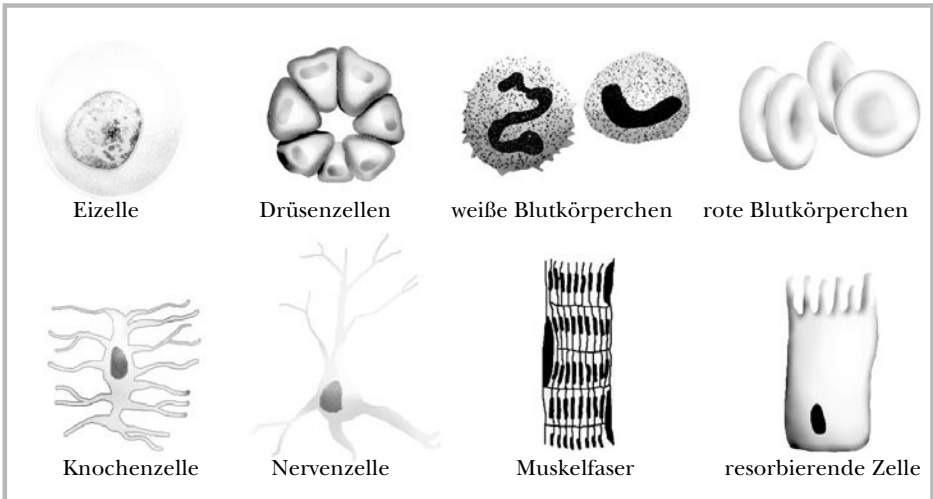


Abb. 1 Beispiele für unterschiedliche Zelldifferenzierungen

Merke

Die roten Blutkörperchen und die Blutplättchen sind keine echten Zellen, da sie keinen Zellkern enthalten.

1.2. Grundbauplan einer menschlichen Zelle

Nach ihrem mikroskopischen Erscheinungsbild unterteilt man die Zelle in Zelleib (Zytoplasma) und Zellkern (Nukleus). Der Zelleib enthält verschiedene Zellorganellen, die in das Grundplasma eingebettet sind. Beispiele für Organellen sind:

- Zellmembran,
- endoplasmatisches Retikulum,
- Golgi-Apparat,
- Lysosomen,
- Mitochondrien,
- Zentriol,
- Filamente.

Zusätzlich können im Grundplasma Zelleinschlüsse, wie Stäube, Farbstoffe, Fette und Glykogen, vorkommen.

Im Zellkern sind die Chromosomen lokalisiert, deren verschlüsselte genetische Information verantwortlich ist für:

- das Funktionieren des Zellstoffwechsels,
- die Differenzierung der Zelle und
- ihre identische Verdopplung durch Teilung.

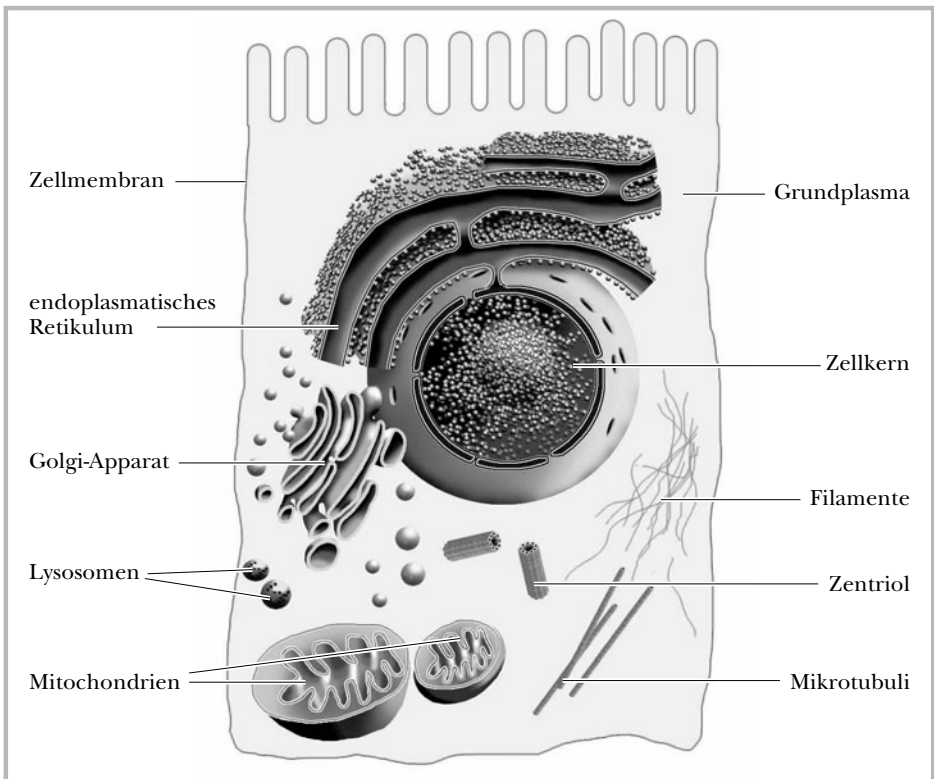


Abb. 2 Schematische Darstellung einer menschlichen Zelle und ihrer Bestandteile

Zellmembran

Merke Die Zellmembran stellt die äußere Begrenzung einer Zelle dar und besteht aus:

- einer Doppelschicht von Phospholipiden,
- einer süßen Kapsel (Glykokalyx = Zucker-Eiweiß-Verbindung),
- Tunnelproteinen,
- integrierten Proteinen.

Ein Phospholipid besteht aus einem wasseranziehenden Kopf und zwei wasserabweisenden Schwänzen. Die Phospholipidmoleküle stehen sich gegenüber, wobei die Schwänze nach innen gerichtet sind und die Köpfe die Zellmembran zum Zellinneren bzw. zum Zelläußeren hin begrenzen. Tunnelproteine und integrierte Proteine durchsetzen mosaikartig die Doppelschicht von Phospholipiden.

Die Glykokalyx ist eine Schicht, die sich an der Zellmembranaußenseite befindet und aus Glykoproteinen und Glykolipiden besteht. Die chemische Struktur ist genetisch festgelegt und bestimmt die immunologischen Eigenschaften einer Zelle.

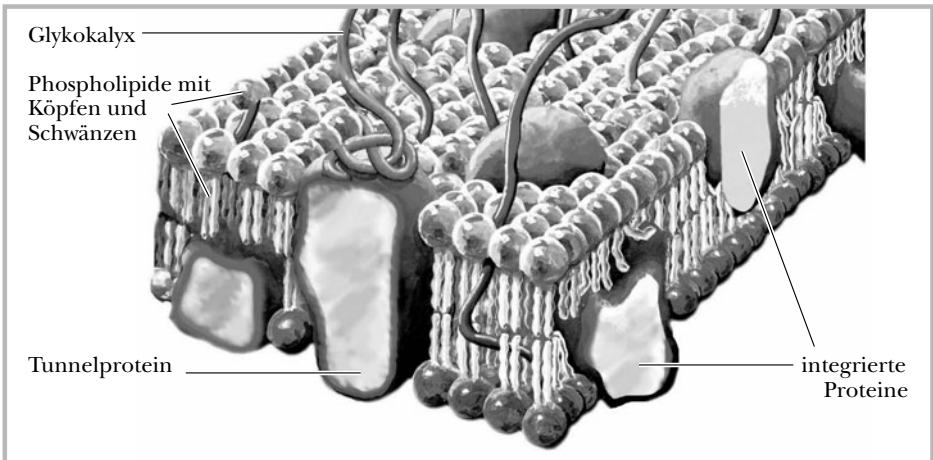


Abb. 3 Elektronenmikroskopische Struktur einer Zellmembran

Über die Zellmembran erfolgt der Stoffaustausch mit der Zellumgebung. Welche Stoffe in das Zellinnere oder in das Zelläußere gelangen, hängt von deren Fettlöslichkeit, Molekülgröße und elektrischen Ladung ab. Die Zellmembran besitzt somit die Eigenschaft der Halbdurchlässigkeit (Semipermeabilität). An die Glykokalyx bestimmter Zellen sind immunologische Eigenschaften gebunden wie z.B. Abstoßungsreaktionen bei Transplantationen, das Erkennen von körperfremden und körpereigenen Zellen und die Blutgruppeneigenschaften. Die Zellmembran übt eine Schutz- und Stützfunktion aus und kann zu benachbarten Zellen Kontakte herstellen.

Merke An die Zellmembran sind folgende Funktionen gebunden:

- Stoffaustausch,
- immunologische Eigenschaften,
- Schutzfunktion,
- Stützfunktion,
- Kontaktherstellung,

Endoplasmatisches Retikulum

Merke Es ist ein Labyrinth von Doppelmembranen, das die innere Zelloberfläche vergrößert und den intrazellulären Stoff- und Flüssigkeitstransport gewährleistet.

Das endoplasmatische Retikulum (ER) durchzieht den ganzen Zellinnenraum und stellt die Verbindung zwischen den Zellorganellen und der Zellmembran her. Nach dem Aussehen kann das ER in zwei Typen unterteilt werden:

- rauhes oder granuläres ER,
- glattes oder agranuläres ER.

Rauhes endoplasmatisches Retikulum

Das rauhe ER ist mit Ribosomen besetzt und erhält daher eine gekörnte (granuläre) Oberflächenstruktur. Da an den Ribosomen die Synthese körpereigener Eiweiße (Proteine) stattfindet, bildet das rauhe ER eine wichtige Arbeitsstruktur für die Zelle und wird zusätzlich auch als Ergastoplasma (griech. ergasticos = arbeitsam) bezeichnet. Zu diesen körpereigenen Proteinen zählen z.B.:

- Albumine (Transporteipweiße des Blutes),
- Globuline (biologisch aktive Eiweiße),
- Gerinnungseipweiße.

Glattes endoplasmatisches Retikulum

Dieses ER ist frei von Ribosomen und kommt nur in wenigen Zellarten vor. Es ist beteiligt an:

- der Speicherung von Kalziumionen (Muskelzellen),
- der Bildung von Steroidhormonen (Nebennierenrindenzellen),
- der Bildung von Lipoproteinen (Leberzellen).

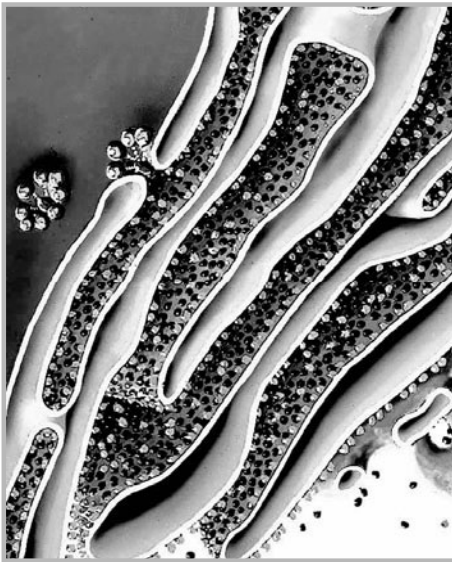


Abb. 4 Rauhes endoplasmatisches Retikulum



Abb. 5 Glattes endoplasmatisches Retikulum

Golgi-Apparat

1898 entdeckte der Italiener Camillo Golgi mittels einer Osmiumsäuretechnik ein netzförmiges innerplasmatisches System in Nervenzellen. Der nach ihm benannte Golgi-Apparat kommt in allen Zelltypen vor.

Merke Der Golgi-Apparat ist ein Stapel mehrerer flacher Membranzisternen (Diktyosomen), die dicht gepackt übereinander liegen. An den Rändern schnüren sich kleine Bläschen ab, die Golgi-Vesikel.

Zellen können unterschiedlich viele Golgi-Strukturen enthalten, die vorrangig in Kernnähe lokalisiert sind. Die Funktion des Golgi-Apparates besteht in der

- Regeneration der Zellmembran,
- Weiterverarbeitung von Stoffen des ER,
- Bildung von Lysosomen,
- Sekretion und Resorption von Stoffen.

In Drüsenzellen ist die Anzahl der Golgi-Strukturen hoch, da sie die im rauhen ER synthetisierten Sekretvorstufen (Prosekrete) aufnehmen und konzentrieren. Die Weiterleitung der Prosekrete erfolgt über die Golgi-Vesikel zur Zellmembran. Die Art und Weise der Sekretabgabe ist vom Zelltyp der Drüsen abhängig.



Abb. 6 Golgi-Apparat

Lysosomen

Merke Lysosomen sind bläschenförmige Gebilde, die vom Golgi-Apparat gebildet werden und spezifische Enzyme enthalten

Ihre Aufgabe besteht darin, zellfremdes Material (z.B. Bakterien, Viren, Staubpartikel) und überalterte Zellstrukturen enzymatisch aufzulösen. Diese Eigenschaft wird als intrazelluläre Verdauung bezeichnet.

Mitochondrien

Der Name leitet sich von der Form und dem Aufbau dieser Zellorganellen ab und setzt sich aus den griechischen Begriffen „mitos“ (der Faden) und „chondros“ (das Korn) zusammen.

Merke Die Mitochondrien sind gestreckt zylindrische bis rundliche Organellen, die von einer äußeren und inneren Membran umgeben werden.

Die äußere Membran umhüllt das Mitochondrium, wobei die gefaltete innere Membran eine Vergrößerung der Innenoberfläche darstellt. Nach Art der Faltung unterscheidet man im wesentlichen zwei Typen von Mitochondrien:

- Kristatyp (lat. crista = Kamm, Leiste),
- Tubulustyp (lat. tubulus = Röhrchen).

An der Innenmembran sind Multienzymkomplexe lokalisiert, deren Aufgabe in der Steuerung einer Vielzahl von lebenswichtigen Stoffwechselfvorgängen besteht.

Als „Kraftwerke der Zellen“ dienen sie vor allem der Energiegewinnung durch den biologischen Oxidationsprozeß. Dabei werden die Nährstoffe zu Kohlendioxid und Wasser abgebaut. Die dabei schrittweise freigesetzte Energie wird zur Bildung von ATP (Adenosintriphosphat) genutzt. Diese chemische Energieform wird von den Zellen benötigt, um ihre Stoffwechselprozesse aufrecht erhalten zu können. Stoffwechselaktive Zellen besitzen zahlreiche Mitochondrien.

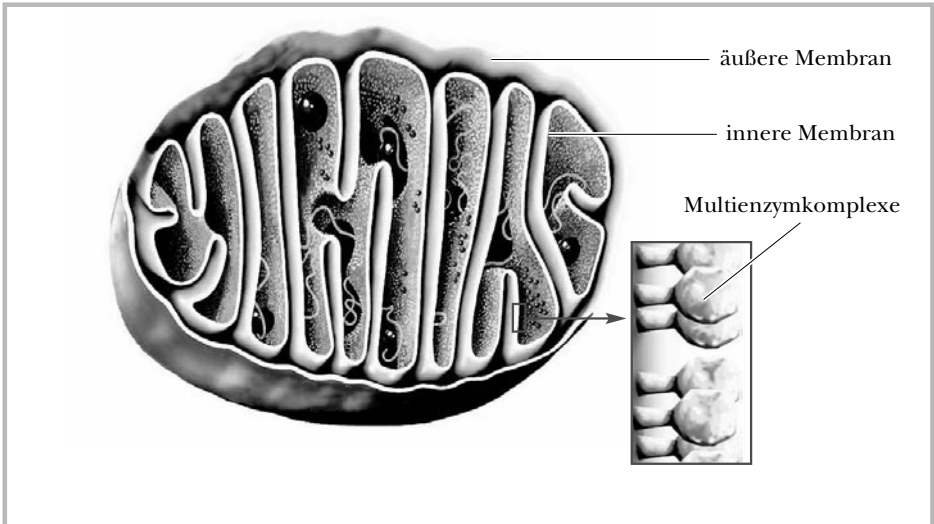


Abb. 7 Mitochondrium (Kristatyp)

Bei gesteigertem Energiebedarf bestimmter Zellen (Leberzellen, Muskelzellen), kann sich die Zahl der Mitochondrien erhöhen, da sie die Fähigkeit zur Selbstreduplikation (eigene Verdopplung) besitzen. Diese Fähigkeit erhalten sie durch den Besitz von eigener DNS (Desoxyribonukleinsäure) und RNS (Ribonukleinsäure).

Zentriol

Merke Es ist ein Hohlzylinder, der aus neun Bündeln von je drei Mikrotubuli besteht. Das Zentriol wird vom Zentroplasma, das eine feine faserige Struktur bildet, umgeben. Zentriol und Zentroplasma nennt man auch Zentrosom.

In der Regel liegen die Zentriolen paarig als Diplosom in Zellkernnähe. Während der Mitose wandern sie getrennt zu den Zellpolen und bilden den Spindelapparat aus. Als feine Mikrotubuli ziehen die Spindelfasern von den Zentriolen zu den Chromosomen und bewegen diese polwärts. Somit erfüllen sie eine wichtige Funktion bei der Zellteilung.

Mikrotubuli

Merke Die Mikrotubuli sind nur elektronenmikroskopisch sichtbare Röhrensysteme, die aus Proteinuntereinheiten bestehen und dem Zytoskelett zugeordnet werden.

Unterteilt werden die Mikrotubuli in:

- die stabilen Tubuli und
- die labilen Tubuli.

Erstere dienen der Aufrechterhaltung der Zellform, wobei die labilen Tubuli zeitweise in Zellen auf- bzw. abgebaut werden (z.B. Mikrotubuli des Spindelapparates).

Filamente

Merke Filamente sind fadenförmige Proteine, die sich zu Fibrillen (Bündel) zusammenschließen können.

In Abhängigkeit von Funktion und Beanspruchung der Zellen differenzieren sich die Filamente. Wie folgt werden die Filamente unterteilt:

- in Myofilamente,
- in Tonofilamente,
- in Neurofilamente.

Myofilamente

Myofilamente ermöglichen die Beweglichkeit von Zellorganellen, amöboide Bewegung ganzer Zellen und die Kontraktion von Muskelzellen.

Tonofilamente

Die Tonofilamente kommen z.B. in den Zellen der Oberhaut vor und verleihen ihnen eine hohe mechanische Widerstandsfähigkeit.

Neurofilamente

Sowohl in den Nervenzellen als auch in den Nervenfasern bilden Neurofilamente ein stabilisierendes Zytoskelett.

Zellkern

Merke Der Zellkern (lat. *nucleus*; griech. *karyon* = Kern) steuert den Zellstoffwechsel und ist Träger der in den Chromosomen lokalisierten genetischen Information.

Zellkerne lassen sich mit einem basischen Farbstoff (Hämatoxylin) anfärben und können deshalb lichtmikroskopisch betrachtet werden. Dies ist nur möglich, wenn sich die Kerne in Teilungsrufe befinden. Es werden verschiedene Kernformen unterschieden, die von Zellart zu Zellart variieren. Typische Beispiele sind:

- spindelförmige Kerne in glatten Muskelzellen,
- kugelförmige Kerne in Eizellen,
- nierenförmige Kerne in Monozyten (weiße Blutzellen) und
- segmentierte Kerne in neutrophilen Granulozyten (weiße Blutzellen).

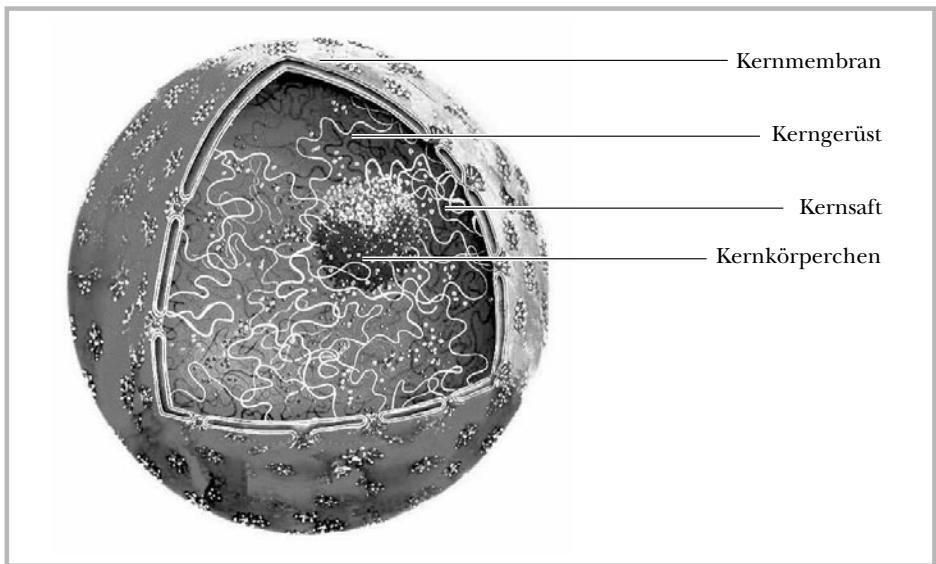


Abb. 8 Bestandteile des Zellkerns

Die Zellkerne aller Zellen enthalten im Grundaufbau die gleichen Strukturen. Zu diesen rechnet man:

- die Kernmembran (griech. *karyolemma*),
- das Kerngerüst (griech. *chromatin*),
- den Kernsaft (griech. *karyolymphe*) und
- das Kernkörperchen (lat. *nucleolus*).

Kernmembran

Die Kernmembran grenzt den Zellkern gegen den Zelleib ab, steht aber mit dem endoplasmatischen Retikulum in Verbindung. Unter elektronenmikroskopischer Betrachtung stellt sich die Kernmembran als eine Doppelmembran dar.

Kerngerüst

Es bildet den Hauptbestandteil des Kernplasmas und besteht aus sich unterschiedlich anfärbaren Chromosomenanteilen. Entspiralisierte Chromosomenanteile, die Syntheseleistungen vollbringen, lassen sich mit dem Farbstoff Hämatoxylin nur schwach anfärben und bilden das Euchromatin. Chromosomenanteile, die eine dichte Spiralisierung aufweisen und somit einen inaktiven Zustand darstellen, sind stärker anfärbbar und werden als Heterochromatin bezeichnet. Das Chromatin stellt eine Kernstruktur dar, die nur zwischen den Zeiträumen der Zellteilung (Intermitosephasen) existiert.

Kernsaft

Der Kernsaft füllt den Raum zwischen dem Chromatin aus und dient als Quellungs- und Lösungsmittel.

Kernkörperchen

Das Kernkörperchen ist ein kugliges Gebilde, das nur im Interphasenkern vorkommt. Seine Bildung ist an einen bestimmten Chromosomenabschnitt gebunden (Nukleolusorganisator). Ihm obliegt die Bildung von RNS, welche für die Steuerung der Proteinsynthese notwendig ist.

Grundplasma

Merke Masse, in die alle Zellbestandteile eingebettet sind. Es enthält Proteine, Enzyme, Das Grundplasma (Hyaloplasma; griech. hyalinus = gläsern) ist eine durchsichtige Spurenelemente und Lösungswasser.

Im Grundplasma finden Stoffwechselreaktionen statt, und es ist gleichzeitig ein Transportraum für die Zelle. In das Grundplasma können Einschlüsse (Inklusionen) abgelagert werden, die als Produkte des Zellstoffwechsels anfallen oder exogener Herkunft sind. Sie werden auch als paraplasmatische Substanzen bezeichnet. Dazu gehören z.B.:

- Glykogen,
- Lipide,
- exogene Pigmente,
- endogene Pigmente.

Glykogen

Das Glykogen ist eine Speicherform der Glukose und reichert sich besonders in Leber- und Muskelzellen an.

Lipide

Die Lipide lagern sich in den Fettzellen in Form kleiner Tröpfchen ab. Talgdrüsen und Nebennierenrinndenzellen können ebenfalls Lipide speichern.

Exogene Pigmente

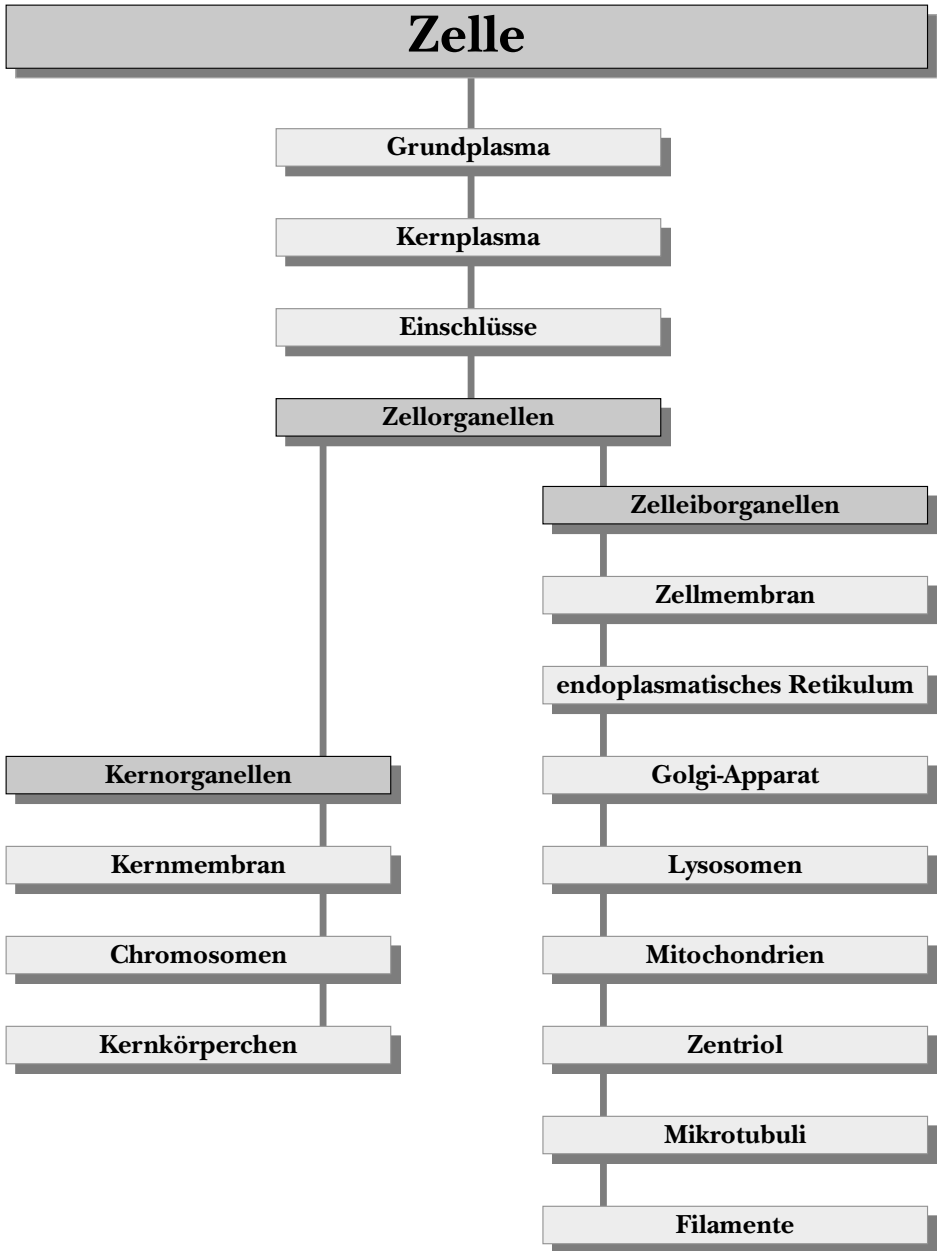
Exogene Pigmente sind z.B. Staubpartikel, die über die Atemwege in die Lunge gelangen und in den Wandzellen der Lungenbläschen abgelagert werden.

Endogene Pigmente

Zu den endogenen Pigmenten zählen z.B. das Bilirubin als Abbauprodukt des roten Blutfarbstoffes (Hämoglobin) und das Melanin, das u.a. in den Zellen des Unterhautgewebes gebildet wird.

Zusammenfassung

Zytologie	Dieses Fachgebiet befaßt sich mit dem Bau und der Funktion von Zellen.
Zelle	Die Zelle ist die kleinste funktionsfähige Grundeinheit des Organismus.
Zellmembran	Sie bildet die äußere Grenzfläche einer Zelle und besteht aus Lipiden, Proteinen und einer süßen Kapsel.
ER	Dieses Labyrinth vergrößert die innere Zelloberfläche und unterteilt die Zelle in Stoffwechsellräume. Im rauen ER werden z.B. Proteine und im glatten ER Steroide hergestellt.
Golgi-Apparat	Dieser Apparat besteht aus Membranstapeln und verpackt Stoffe, die im ER hergestellt wurden. Zugleich werden verbrauchte Zellmembranbestandteile regeneriert.
Lysosomen	Die Bläschen enthalten Enzyme und sind für die intrazelluläre Verdauung verantwortlich.
Mitochondrien	Diese Gebilde liefern der Zelle chemische Energie und besitzen Multi-enzymkomplexe für Stoffwechsellvorgänge.
Zentriol	Dieser aus Mikrotubuli bestehende Hohlzylinder ist verantwortlich für Chromosomenbewegungen während der Zellteilung.
Mikrotubuli	Die aus Proteinuntereinheiten bestehenden Röhrensysteme zählen zum Zytoskelett.
Filamente	Die fadenförmigen Proteine können sich zu Fibrillen bündeln und die Resistenz von Zellen erhöhen. Aktin- und Myosinfilamente ermöglichen die Kontraktion von Muskelzellen.
Zellkern	Der Zellkern ist die Steuerzentrale einer Zelle, enthält die Chromosomen mit den Erbanlagen und existiert als Teilungs- oder Arbeitskern.
Chromatin	Das Chromatin besteht aus DNS-Proteinkomplexen und läßt sich unterschiedlich anfärben. Das Heterochromatin färbt sich stärker an als Euchromatin.
Kernsaft	Diese Flüssigkeit füllt den Raum zwischen dem Chromatin aus.
Nukleolus	Dieses kugelige Gebilde steuert die Nukleinsäure- und Proteinbiosynthese.
Hyaloplasma	In diese durchsichtige Masse sind Zellbestandteile eingebettet, und es unterliegt einer ständigen Sol-Gel-Transformation.
Inklusionen	Es sind Zelleinschlüsse, die Produkte des Zellstoffwechsels oder exogener Herkunft sind.



1.3. Zellphysiologie

Zu den zellphysiologischen Vorgängen, die mit morphologisch sichtbaren Veränderungen einhergehen, zählen:

- die Mitose (griech. mitos = Faden; indirekte Zellteilung),
- die Meiose (griech. meiosis = Verminderung),
- das Wachstum,
- die Bewegung,
- die Stoffaufnahme.

Mitose

Merke

Die Mitose ist ein zellphysiologischer Vorgang, bei dem die Chromosomen sichtbar werden und nach Verdopplung ihrer DNS gleichmäßig auf die Tochterzellen verteilt werden. Während der Zellteilung werden die Prophase, die Metaphase, die Anaphase und die Telophase durchlaufen.

Prophase (griech. pro = vorher; griech. phasis = Erscheinung)

In dieser Phase stellt die Zelle ihre spezifischen Funktionen ein. Der Golgi-Apparat löst sich auf, das ER u.a. Zellorganellen werden zurückgebildet, die Kernmembran zerfällt in Bläschen und der Nukleolus verschwindet. Gleichzeitig spiralisieren sich die Chromosomen und erscheinen als Knäuel. Die Zentriolen rücken auseinander und wandern zu den Zellpolen hin. Zwischen ihnen bildet sich der aus Mikrotubuli bestehende Spindelapparat aus.

Metaphase (griech. meta = nach)

Die Chromosomen teilen sich durch eine partielle Längsspaltung in zwei Chromatiden (Tochterchromosomen), die am Zentromer zusammenhängen. Der Spindelapparat ordnet alle Chromosomen in der Zellmitte (Teilungsebene) zu einer sternförmigen Figur (Monaster = Mutterstern) an.

Anaphase (griech. ana = hinauf)

Die Chromatiden werden vollständig voneinander getrennt und der Spindelapparat zieht sie zu den entgegengesetzten Zellpolen. Beim Auseinanderweichen bilden sie vorübergehend einen Doppelstern (Diaster = Tochterstern). Der Zelleib beginnt sich in der Teilungsebene einzuschnüren.

Telophase (griech. telos = Ende)

Nachdem sich die Chromatiden um die Zentriolen angeordnet haben, ist die Kernteilung (Karyokinese) beendet. Die in der Anaphase begonnene Einschnürung des Zelleibes wird fortgesetzt, und am Ende der Telophase ist der Zelleib vollständig durchgeschnürt (Zytokinese). Es sind zwei identische Tochterzellen entstanden.

In jeder Tochterzelle entspiralisieren sich die Chromosomen und bilden das Chromatingerüst. Neue Nukleolen treten auf, die Kernmembranen werden gebildet und die Zellorganellen werden resynthetisiert. Beide Tochterzellen haben ihre Arbeitsfunktion erreicht. Mit dieser Rekonstruktion wird die Mitose abgeschlossen, die etwa 30 - 180 Minuten dauert.

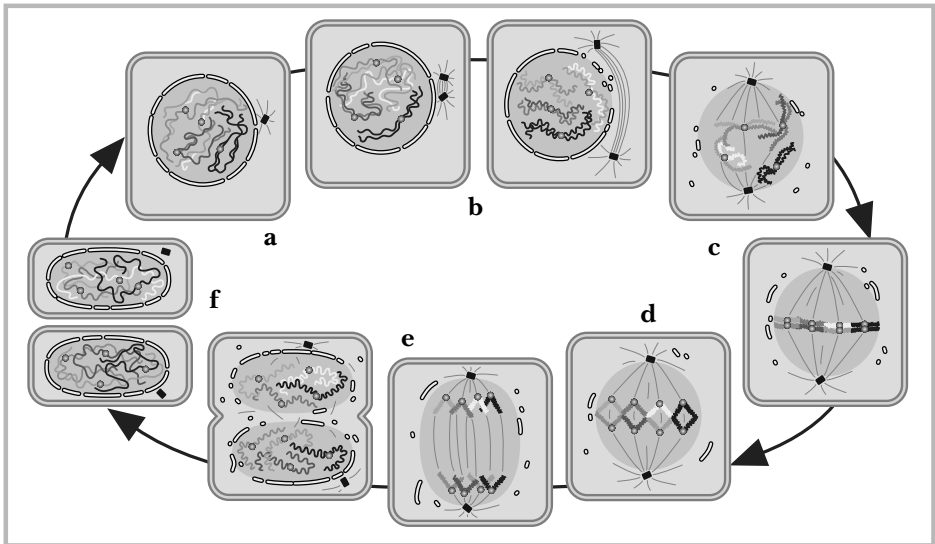


Abb. 9 Schematische Darstellung des Mitoseverlaufes

- a Prophase mit spiralierten Chromosomen
- b Prophase mit Spindelapparatausbildung, teilweiser Kernmembranauflösung und Sichtbarwerden der Chromosomen
- c Metaphase mit Anordnung der Chromosomen in der Teilungsebene
- d Anaphase mit längsgeteilten Chromosomen
- e Anaphase mit Chromatiden an den Zellpolen und beginnender Einschnürung des Zelleibes
- f Telophase mit zwei identischen Tochterzellen

Nach der Mitose beginnt die G_1 -Phase (G ; engl. growth = Wachstum) der Tochterzellen. Sie wachsen zur spezifischen Zellgröße heran und produzieren Enzyme für die DNS- und Proteinsynthese. In der sich anschließenden S-Phase (Synthesephase) erfolgt die Verdopplung der DNS. Am Ende dieser Phase besitzen die Zellen den doppelten Chromatinbestand bei gleichbleibender Chromosomenzahl. Nach dieser Phase treten die Zellen in eine Ruhepause ein (G_2 -Phase = postsynthetische Wachstumsphase). Dieser schließt sich die nächste Zellteilung an.

Merke

Zwischen zwei Mitosen liegt die Interphase, in der die eigentlichen Zellfunktionen und auch die Verdopplung der DNS (identische Reduplikation) ausgeübt werden.

Mitosen kommen häufig vor:

- während der Entwicklung,
- während des Wachstums,
- in Organen mit hohem Zellverschleiß (z.B. Darmepithel, Talgdrüsen, blutbildende Organe, Oberhaut).

Es gibt auch Zellen, die auf Kosten ihrer hohen Spezialisierung keine Zellteilung mehr vollziehen können, wie z.B. die Nervenzellen.

Meiose

Merke

Die Meiose ist eine spezialisierte Form der Zellteilung, und ihr Wesen besteht in der Reduktion des diploiden (griech. diploos = doppelt) auf den haploiden (griech. haploos = einfach) Chromosomensatz. Sie kommt nur in den menschlichen Keimdrüsen (Eierstöcke, Hoden) vor und vollzieht sich in einer ersten und zweiten Reifeteilung.

Die erste Reifeteilung verläuft in den nachfolgenden Phasen:

- Prophase,
- Metaphase und
- Anaphase

Prophase

In der Prophase werden die Chromosomen durch Spiralisierungsvorgänge sichtbar, und sowohl die mütterlichen als auch die väterlichen Chromosomen legen sich parallel aneinander. Diesen Vorgang bezeichnet man als Chromosomenpaarung. Zwischen den homologen Chromosomen kommt es zum Austausch von Chromosomenabschnitten, dem crossing over (engl. = überkreuzend). Dieser ist verantwortlich für die Umverteilung des genetischen Materials. Die Kernmembran wird aufgelöst, die Zentriolen wandern zu den Zellpolen hin und bilden den Spindelapparat aus.

Metaphase

Die Chromosomenpaare ordnen sich in der Teilungsebene an.

Anaphase

In der Anaphase trennen sich die gepaarten Chromosomen und werden durch den Spindelapparat zu den entgegengesetzten Zellpolen gezogen. Jeder Pol enthält somit einen haploiden Chromosomensatz. Anschließend schnürt sich der Zelleib durch. Es sind zwei Tochterzellen entstanden, die einen einfachen oder halbierten Chromosomensatz enthalten. Die Chromosomen verharren in dieser spiralisierten Form und deshalb wird eine Telophase häufig vermißt.

Die zweite Reifeteilung verläuft wie eine mitotische Zellteilung, so daß aus den beiden Tochterzellen zwei weitere Tochterzellen entstehen. Diese enthalten jeweils einen haploiden Chromosomensatz.

Merke

Aus einer weiblichen Keimzelle entstehen vier Tochterzellen. Nur eine entwickelt sich zu einer reifen Eizelle und die drei anderen Zellen (Polkörperchen) degenerieren. Aus einer männlichen Keimzelle entstehen vier Tochterzellen, die alle ausreifen und haploide Chromosomensätze besitzen.

Die Meiose verhindert eine fortschreitende Verdopplung der Chromosomenzahl bei der Befruchtung und unterscheidet sich von der Mitose durch:

- die Chromosomenpaarung in der 1. Reifeteilung,
- den Crossing over,
- die Halbierung des Chromosomensatzes und
- den Teilungsort (Keimdrüsen).

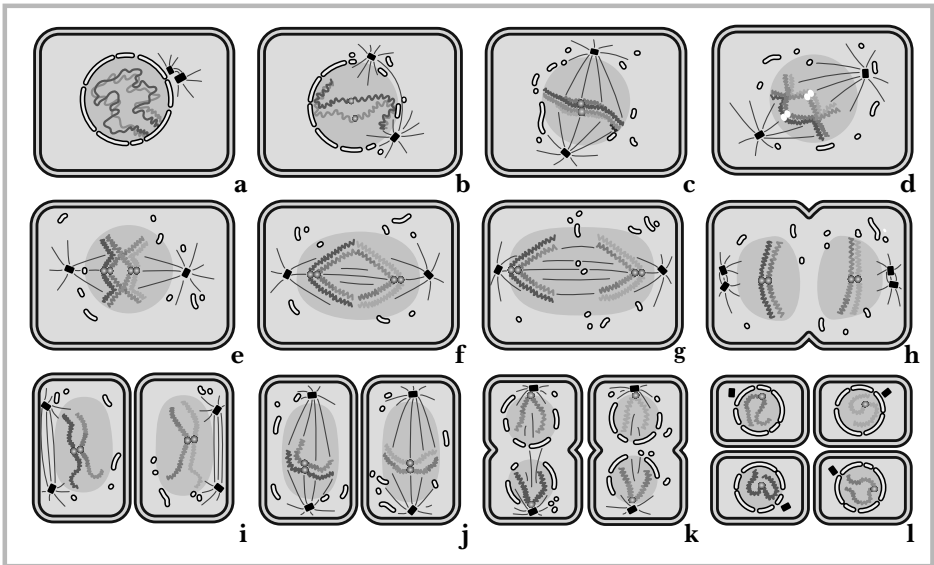


Abb. 10 Schematische Darstellung des Meioseverlaufes

- a-d** verlängerte Prophase, die in folgende Stadien unterteilt wird:
- a** Leptotän mit einer Paarung des väterlichen und mütterlichen Chromosoms (Konjugation)
 - b** Zygotän mit einer Verkürzung der gepaarten Chromosomen
 - c** Pachytän – die gepaarten Chromosomen liegen jetzt genau gegenüber und überkreuzen sich (Chiasmabildung). In diesem Stadium erfolgt das Crossing over.
 - d** Diplotän – die Chromosomen weichen auseinander
 - e** Metaphase mit Anordnung der Chromosomen in der Äquatorialebene
 - f-h** Anaphase mit homologen Chromosomen an den Zellpolen und beginnender Einschnürung des Zelleibes
 - i** Telophase mit zwei identischen Tochterzellen
 - j** Beginn der zweiten meiotischen Teilung
 - k** Einschnürung der neuen Tochterzellen
 - l** Im Ergebnis der zweiten meiotischen Teilung entstehen vier Tochterzellen mit jeweils dem halben Chromosomensatz (haploide Zellen)

Wachstum

Nach jeder Zellteilung besteht die Notwendigkeit darin, daß die Tochterzellen wieder zur Größe der Mutterzelle heranwachsen.

Merke

Zellwachstum ist die mengenmäßige Zunahme der gesamten Substanz, die von der Zellmembran umgeben wird. Sie beruht auf der Vermehrung der Zellzahl durch Teilung oder auf Vergrößerung der einzelnen Zelle und benötigt ATP als Energielieferant.