

Kärntner Gesundheitsfonds

Vorbereitungskurs für Aufnahmeverfahren an Medizinuniversitäten 2023

Biologie – Modul 1

Zellbiologie | Zellteilung | Genetik

Mag. Hans-Jörg Schaumberger

Liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer!

Nach positiven Erfahrungen in den letzten beiden Jahren, wird auch der Vorbereitungskurs 2023 digital abgehalten. Wir hoffen, euch auf diesem Weg bei eurem Vorhaben ein Stück weit unterstützen zu können.

Zum Umgang mit diesem Arbeitsmaterial:

Der Teilbereich „BIOLOGIE“ des Vorbereitungskurses soll einerseits den Oberstufenstoff in diesem Fachbereich wiederholen und andererseits einen Einblick in das Fragenformat des MEDAT geben. Der Bereich Biologie ist in drei Module unterteilt. Zusätzlich zum Skriptum und den Übungsfragen sind zwei Zoom-Termine für eine Präsentation bzw. als Raum für Austausch geplant:

Modul 1: Zellbiologie | Zellteilung | Genetik

& Modul 2: Molekulargenetik | Mutationen | Evolution & Ökologie

am 24.02.2023 (18:00-20:00)

Modul 3: Der menschliche Körper

am 25.02.2023 (10:00-12:00)

Du erhältst im Vorfeld ein Skriptum sowie Übungsfragen. Das Skriptum dient als Anhaltspunkt, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und sollte für die Vorbereitung mit ausreichend weiterer Fachliteratur ergänzt werden.

Du solltest dich bereits im Vorfeld mit den Inhalten und Fragen eines Moduls beschäftigen. Der digitale Vortrag dient anschließend der Vertiefung der Inhalte, soll aber auch Raum für deine Fragen bieten.

Wir möchten euch an dieser Stelle noch viel Energie und Erfolg für euren Weg wünschen.

Inhalt

1.	Die Zelle – Aufbau und Funktion	- 4 -
1.1	Zellmembran	- 6 -
1.2	Zellkern	- 8 -
1.3	Mitochondrien.....	- 9 -
1.4	Endoplasmatisches Retikulum.....	- 10 -
1.5	Ribosomen.....	- 11 -
1.6	Golgi Apparat.....	- 12 -
1.7	Lysosomen.....	- 13 -
1.8	Zytoskelett	- 14 -
1.9	Zellkontakte.....	- 15 -
2.	Zellteilung – Mitose.....	- 18 -
2.1	Zellzyklus	- 18 -
2.2	Mitose.....	- 19 -
2.3	Reduktionsteilung – Meiose.....	- 21 -
2.4	Vergleich Mitose – Meiose.....	- 24 -
3.	Grundbegriffe der Genetik	- 25 -

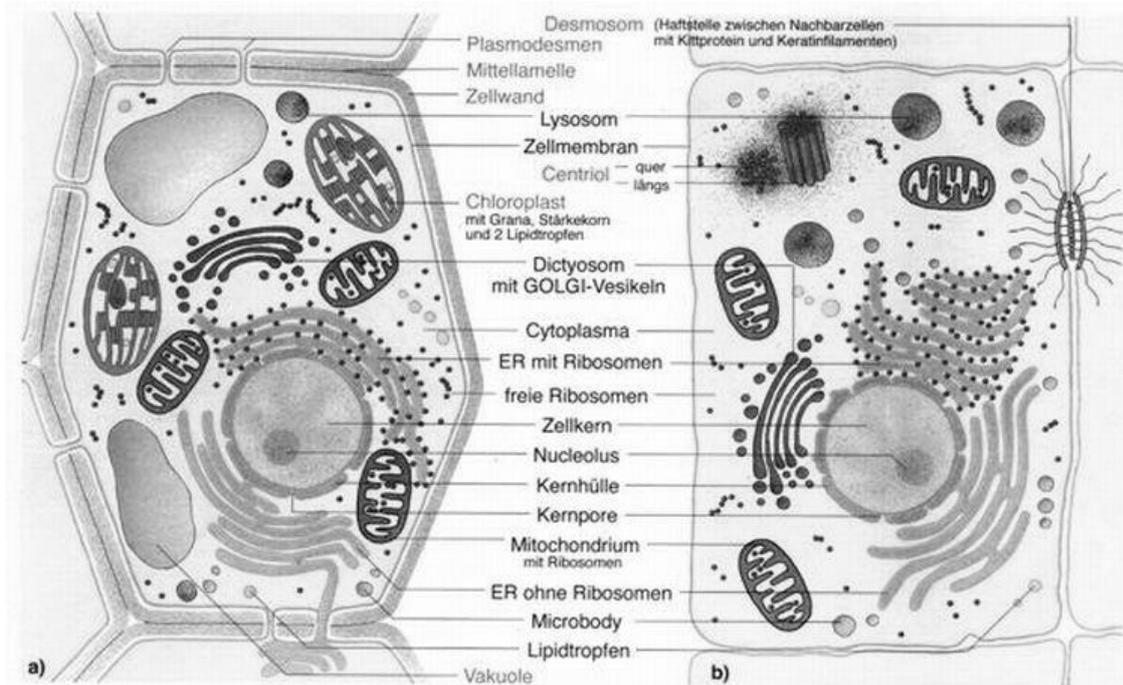
1. Die Zelle – Aufbau und Funktion

Prokaryoten – Eukaryoten

Es gibt zwei Grundtypen von Zellen, prokaryotische und eukaryotische Zellen. Zu den Prokaryoten zählen die Organismendomänen Archaea und Bacteria, die Zellen von Pflanzen, Tieren, Pilzen und Protisten zählen zum eukaryotischen Bauplan.

Prokaryotische Zelle	Eukaryotische Zelle
Zellkern fehlt -> DNA liegt konzentriert in einem Teil der Zelle vor, der als Nucleoid bezeichnet wird	Großteil der DNA in Zellkern eingeschlossen
Von Membranen umgebene Organellen fehlen	Zahlreiche, von Membranen umgebene Organellen im Zytoplasma
Im Allgemeinen kleiner als eukaryotische Zellen	Im Allgemeinen größer als prokaryotische Zelle
70 S – Ribosomen (S...Sedimentationskoeffizient, beschreibt +/- die Masse)	80 S - Ribosomen
<p>Gemeinsamkeiten:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Von Grenzschicht (Plasmamembran) umgeben - Cytosol – Gallertartige Flüssigkeit in die alle weiteren Zellbestandteile eingebettet sind - Enthalten Chromosomen -> Träger der Erbinformationen in Form von DNA - Beide enthalten Ribosomen -> Komplex für die Proteinbiosynthese 	

Tier/Pflanzenzelle – Überblick



http://static.cosmiq.de/data/de/c05/97/c0597f609aac5954a0904c9dda338c53_1_orig.jpg

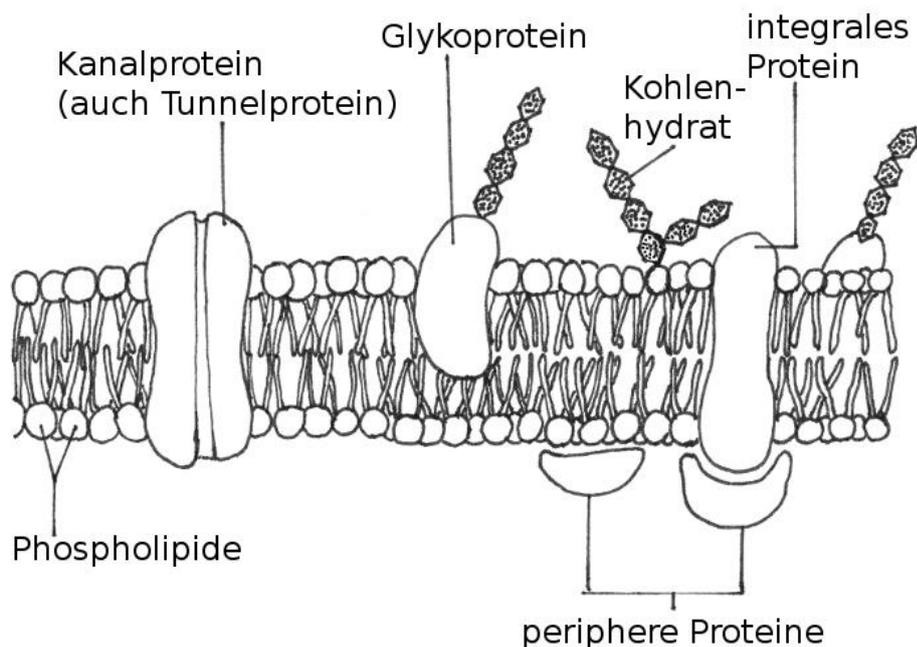
Tierzelle	Pflanzenzelle
Keine Zellwand	Zellwand <ul style="list-style-type: none"> • gibt der Zelle +/- feste Form • durchlässig für Wasser, gelöste Nährstoffe und Gase • Aus Zellulose • Tüpfel als Öffnungen (Stoffaustausch mit Nachbarzellen)
Austausch über Desmosomen	Austausch über Plasmodesmen
Keine Plastiden	Unterschiedliche Plastiden <ul style="list-style-type: none"> • Chloroplasten: Fotosynthese (siehe Stoffwechsel) • Amyloplasten: Speicherung von Stärke • Chromoplasten: Farbgebend (Blüten, Früchte, etc.)
Keine Vakuole	Vakuole <ul style="list-style-type: none"> • Abgegrenzte Räume im Zytoplasma • Flüssigkeitsgefüllt, darin gelöst: Farbstoffe, Giftstoffe, Duftstoffe, etc.
Zentriolen	Höhere Pflanzenzellen besitzen keine Zentriolen

1.1 Zellmembran

- Umgibt eukaryotische und prokaryotische Zelle
- Grenzt Zytoplasma nach außen ab
- Umgibt Zellorganellen
- Durchlässig für: Wasser, Sauerstoff, kleine organische Moleküle
- Undurchlässig für: große Moleküle, geladene Moleküle (Na⁺, etc.)

Aufbau von Biomembranen

- Aus Phospholipiden aufgebaut
- Diese bestehen aus polarem (hydrophilem) Kopf und hydrophoben Schwänzen
- Lagern sich spontan zu Doppelschichten zusammen, wobei die hydrophoben Schwänze zueinander weisen
- Membranproteine: sind ein wichtiger Bestandteil von Membranen und werden in periphere und integrale Membranproteine unterteilt; dienen als Transporter, Rezeptoren oder Enzyme (z.B.: ATP Synthase)
- Glykocalyx: an der Außenseite der Membran, hauptsächlich aus Kohlenhydrate; Zusammensetzung ist genetisch festgelegt



<http://www.schwerdtfisch.net/images/stories/singernicolson.jpg>

Transport durch Membran

- Durch Diffusion: Ausgleich von Konzentrationsgefälle, sehr kleine, ungeladene Teilchen können Membran direkt passieren
- Durch Kanäle: passiver Transport entlang des Konzentrationsgefälles, erleichtern Diffusion, öffnen sich auf ein bestimmtes Signal
- Carrier: aktiver oder passiver Transport; aktiv: gegen Konzentrationsgefälle, benötigt Energie (z.B.: Na-K Pumpe)

Weitere wichtige Begriffe

Diffusion:

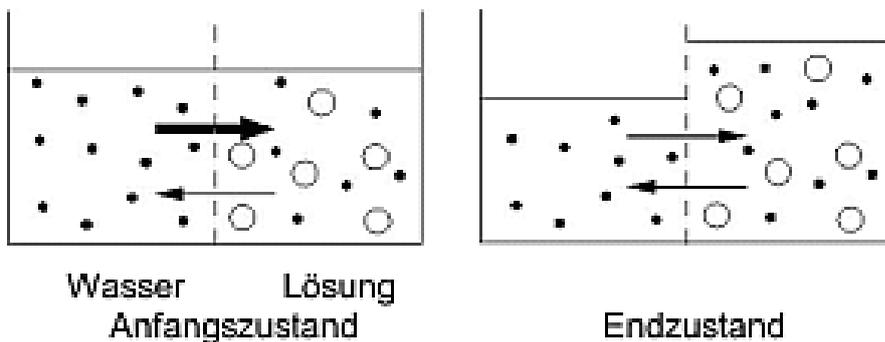
- Diffundere = ausströmen
- Gase und gelöste Stoffe verteilen sich gleichmäßig
- Bei Konzentrationsunterschieden erfolgt Diffusion von Orten höherer zu Orten niedrigerer Konzentration

Osmose:

- Membranen sind selektiv permeabel (lassen nur bestimmte Stoffe durch)
- Das Lösungsmittel (meist Wasser) kann sich ungehindert ausbreiten, die meisten gelösten Stoffe werden zurück gehalten

Diese Membran bewirkt im Gegensatz zur Diffusion, dass nur diejenigen Moleküle des Lösungsmittels in die andere Lösung diffundieren können, die klein genug sind, um durch die Membran zu gelangen. Die größeren Moleküle werden durch die Membran zurückgehalten.

- Was passiert? Wasser diffundiert von hypotonischer zu hypertonischer Lösung → baut Druck auf



http://lehrerfortbildung-bw.de/faecher/bio/gym/fb4/1_mem/1_osmose/3_plas/zustand2.gif

Lateraldiffusion

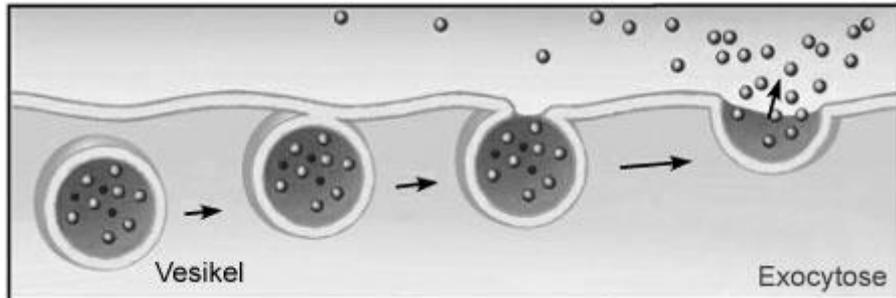
- Lagewechsel eines Phospholipides in der Membran
- Wichtig für: Endozytose, Exozytose, Zellverschmelzung, Zellwachstum

Endozytose:

- Aufnahme von Stoffen in die Zelle, durch bläschenförmige Abschnürung der Plasmamembran
- Braucht Energie

Exozytose:

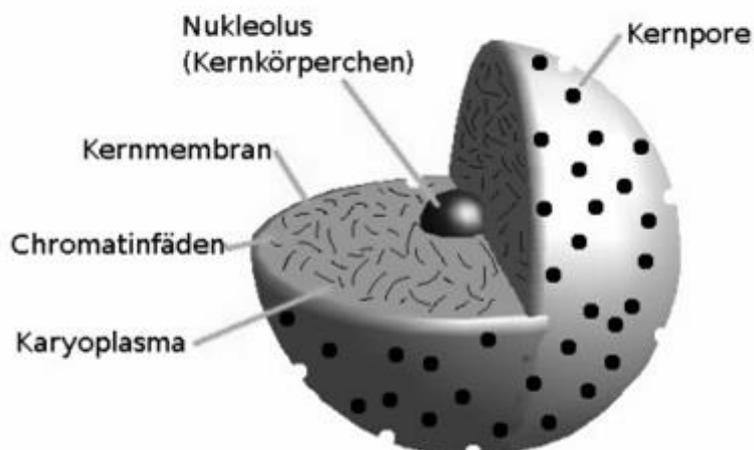
- Abgabe von Stoffen aus der Zelle
- Verschmelzen von Vesikel mit Membran
- Braucht Energie



<http://www.biokurs.de/skripten/bilder/exo7.jpg>

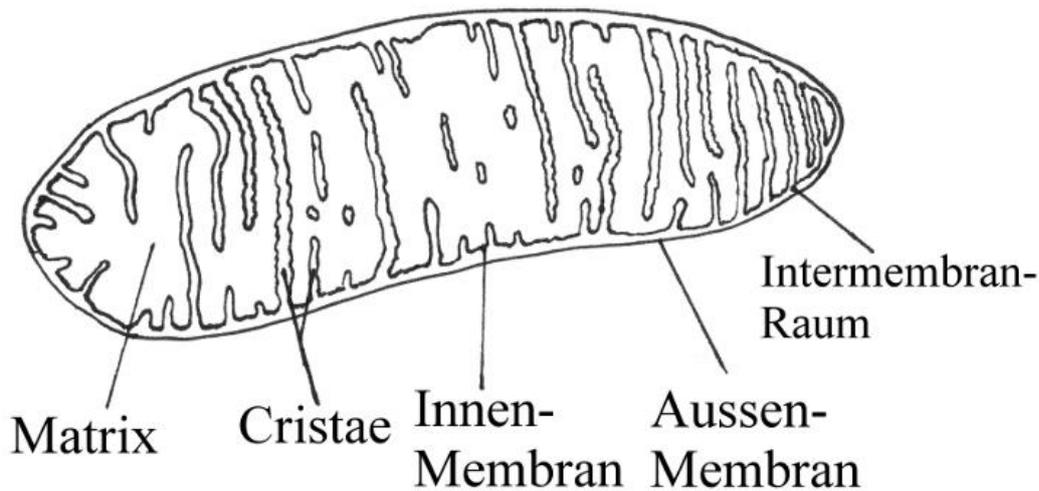
1.2 Zellkern

- Beherbergt bei weitem die meisten Gene in eukaryotischen Zellen
- In tierischen Zellen typischer Durchmesser von 5µm, meist kugelförmig
- Umgeben von doppelter Membran (Zellkernhülle), diese ist von zahlreichen Kernporen (Ø 40-100nm) durchsetzt und steht in direkter Verbindung mit dem ER
- Kernporen sind von Proteinen (Kernporenkomplex) ausgekleidet und regulieren das Ein- und Austreten von Makromolekülen (RNA, Proteine) in den bzw. aus dem Zellkern
- Innenseite der Membran von Maschenwerk aus Proteinfilamenten ausgekleidet (Kernlamina) → Form und Stabilität
- Spezieller Bereich (Nucleolus) – Synthese der ribosomalen RNA → Aufbau von Ribosomen Untereinheiten, diese werden zu funktionsfähigen Ribosomen zusammengesetzt



http://cobocards.s3.amazonaws.com/card/480_300/5/5703978.jpg

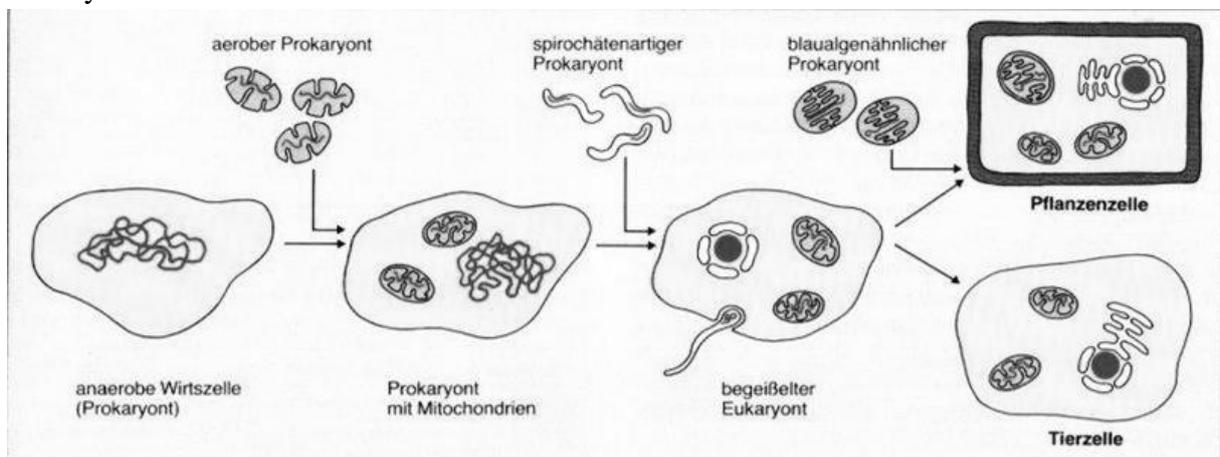
1.3 Mitochondrien



<http://www.schwerdtfisch.net/images/stories/mitochondriumschnittkleinii.jpg>

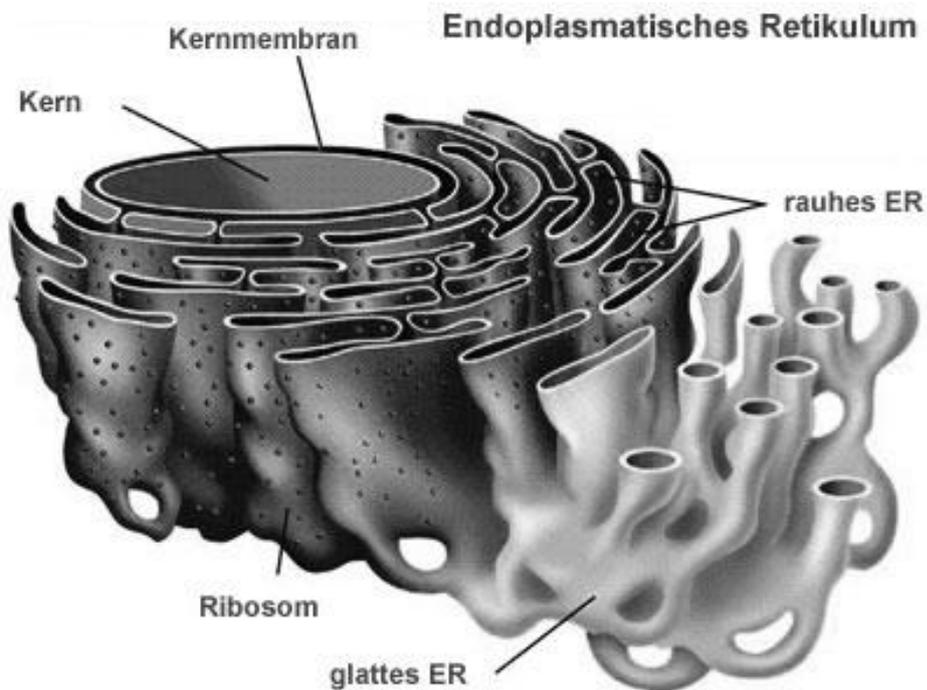
- In allen tierischen Zellen (außer Erythrozyten), 1-10µm lang
- Zahl der Mitochondrien abhängig von metabolischer Aktivität einer Zelle
- „Kraftwerke“ der Zelle → Energie durch Zellatmung
- Doppelmembran
- Innere Membran: zahlreiche Einstülpungen (Crista, MZ: Cristae), Einlagerung von speziellen Proteinen für die Zellatmung;
- Äußere Membran: zahlreiche Porine → sehr stoffdurchlässig
- Matrix: Von der Innenmembran nach innen abgeschlossenes Volumen wird als Matrix bezeichnet – hier finden sich zahlreiche Enzyme, die mitochondriale DNA (mtDNA), sowie zahlreiche Ribosomen
- Endosymbiontentheorie: Ursprünglich entstanden durch Aufnahme von Prokaryoten; Beweis: Zwei Membranen, eigene ringförmige DNA, 70S Ribosomen

Endosymbiontentheorie - Schema



http://static.cosmiq.de/data/de/5ba/f4/5baf404847f4118e2ee7fb50c2eb553e_1_orig.jpg

1.4 Endoplasmatisches Retikulum



<http://www.biokurs.de/skripten/bilder/lrer5.jpg>

- Membransystem, das ähnlich wie ein Labyrinth das Zytoplasma durchzieht
- Steht mit Zellkern und Zellmembran in Verbindung
- Zwei Arten, mit unterschiedlicher Form und Funktion

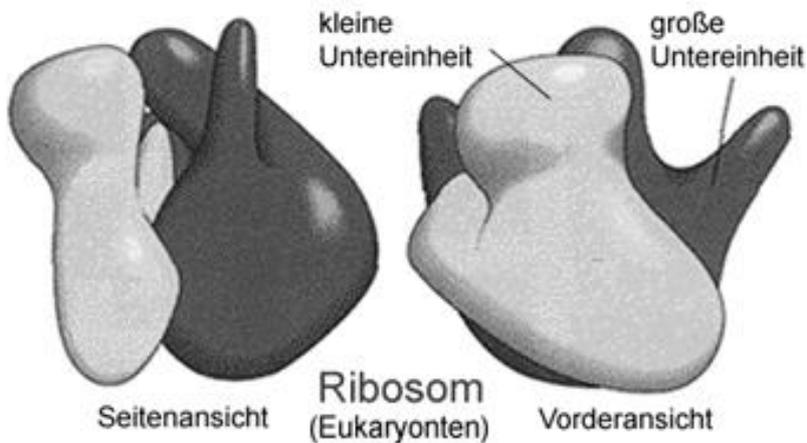
Glattes ER

- An verschiedenen Stoffwechselfvorgängen beteiligt
- Synthese von Hormonen bei Tieren, Lipidsynthese (Bildung von neuen Membranen), Speicherung von Ca, Entgiftungsfunktion, Gluconeogenese (Abspaltung des Phosphats des Glukose-6 Phosphats → Freisetzung von Glucose)

Raues (granuläres) ER

- Oberfläche mit zahlreichen Ribosomen besetzt
- Membran enthält SRP Rezeptoren, die eine wichtige Rolle bei der Proteinbiosynthese von Membran- und Transportproteinen
- Glykosylierung von Proteinen (Bindung von Sacchariden an Proteine)
- Synthese von Proteinen, die im ER selbst, im Golgi Apparat, in der Plasmamembran oder in den Lysosomen gebraucht werden
- Synthese von sekretorischen Proteinen (z.B.: Insulin)
- Proteine verlassen ER in Vesikel

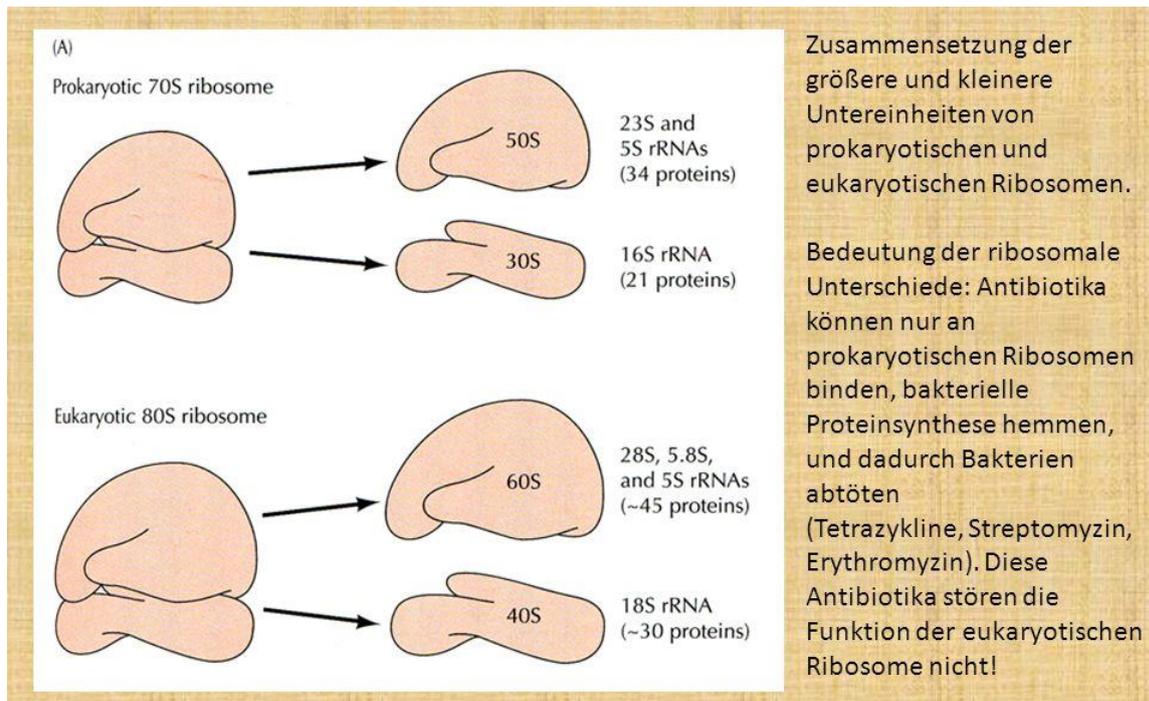
1.5 Ribosomen



<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/bilder/cellp44a.gif>

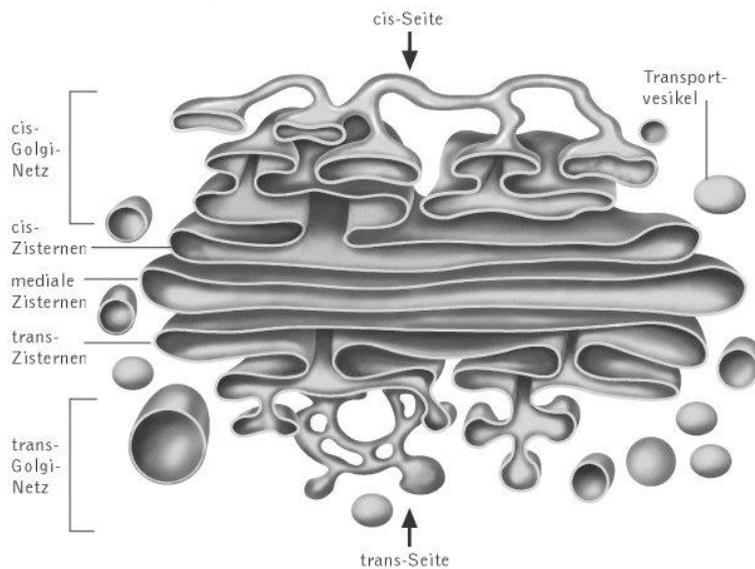
- Proteinfabriken der Zelle (siehe Proteinbiosynthese)
- Aus ribosomaler RNA + verschiedenen Proteinen aufgebaut
- Bestehen aus 2 Untereinheiten
- Liegen frei im Cytosol oder an das ER, bzw. die äußere Zellkernhülle gebunden vor
- Freie Ribosomen: bilden Proteine mit Funktion im Cytosol
- Membrangebundene Ribosome: Synthese von Proteinen für den Einbau in Membranen
- Zwei Arten: Prokaryoten haben 70 S Ribosomen (aus 50 S und 30 S Untereinheiten), Eukaryoten haben 80 S Ribosomen (aus 60 S und 40 S Untereinheiten)

70S und 80S Ribosomen



http://images.slideplayer.de/2/851241/slides/slide_10.jpg

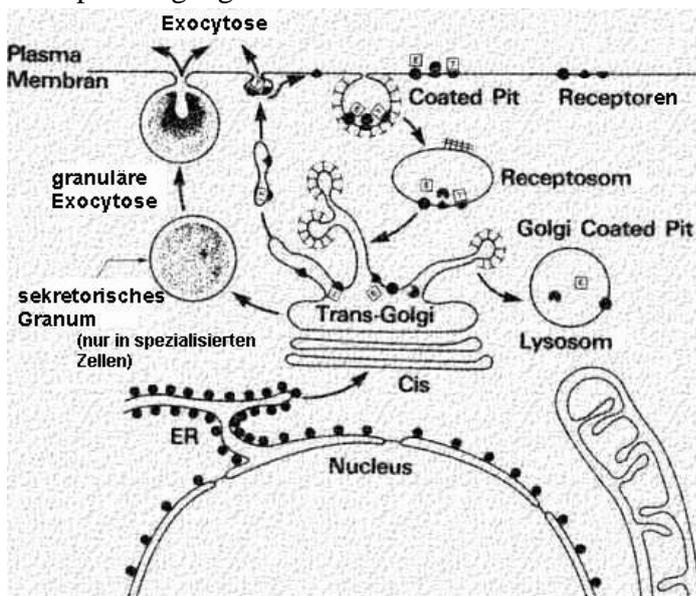
1.6 Golgi Apparat



<http://www.spektrum.de/lexika/images/biok/f2f532.jpg>

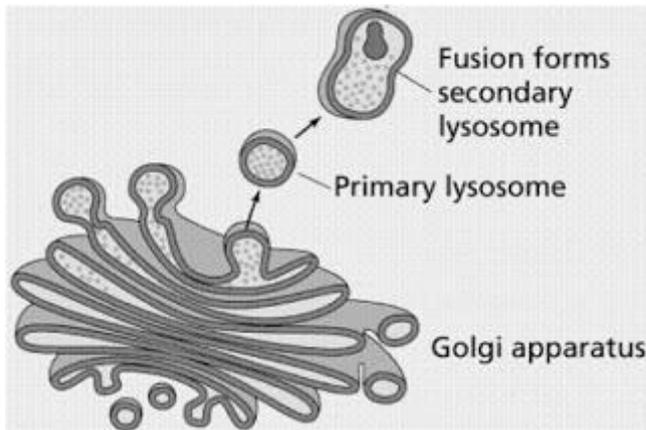
- Dictyosom = 3-12 übereinandergestapelte, abgeflachte, von Membranen begrenzte Hohlräume (Membransäckchen) → Gesamtheit der Dictyosome wird als Golgi Apparat bezeichnet
- „Fracht- und Umbauzentrum“: Umwandlung, Sortierung und Verpackung von Stoffen
- Transport mit Vesikel, diese sind über unterschiedliche Proteine an der Außenseite entsprechend gekennzeichnet
- Cis – Seite: konvexe, dem ER zugewandte Seite; Vesikel vom ER verschmelzen hier mit dem Golgi Apparat
- Trans – Seite: konkave Seite; Abschnürung von Vesikel mit modifizierten Stoffen

Transportvorgänge



<http://www.biokurs.de/skripten/bilder/endoexo.jpg>

1.7 Lysosomen



http://2.bp.blogspot.com/-znBnx4S_15k/T5WNMK4gDrI/AAAAAAAAAKs/q4CeTu4yzJg/s320/Lysosomes.jpg

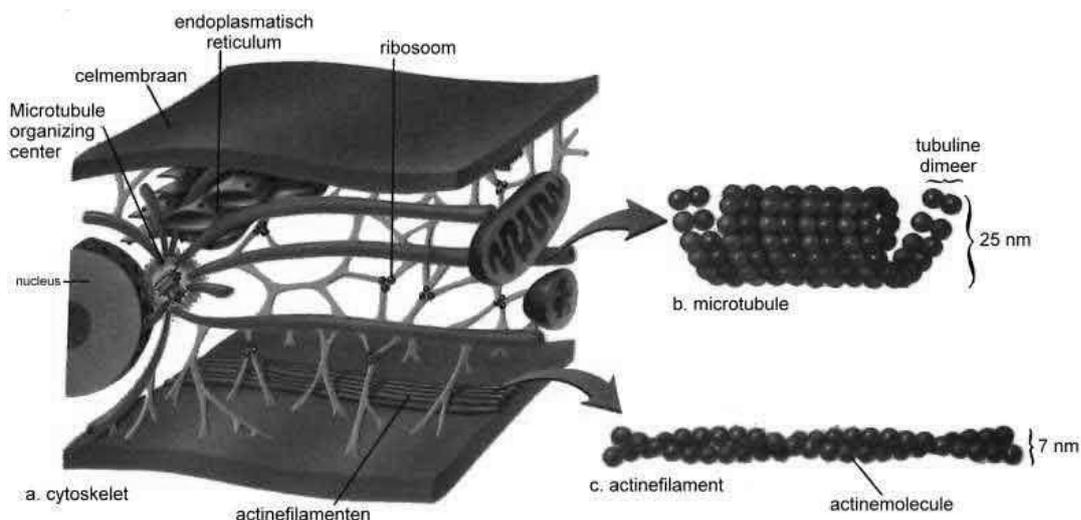
- Kleine Zellorganellen (25-100nm), von Membran umgeben, von Golgi Apparat abgeschnürt
- Verdau von Makromolekülen in tierischen Zellen – Abbau von zelleigenem und endozytiertem Material, mit speziellen Enzymen;
- pH Wert unter 5 (sauer) → Enzyme arbeiten bei diesen Bedingungen am Besten
- Spaltprodukte aus Lysosomen (Glukose, Aminosäuren, etc.) werden ins Zytoplasma abgegeben → Bereitstellung von Monomeren für Neusynthese
- Primäres Lysosom: Vesikel, das von Golgi Apparat abgeschnürt wird und lysosomale Enzyme enthält
- Sekundäres Lysosom: primäres L. verschmilzt mit Vesikel, das das zu verdauende Material beinhaltet
- Apoptose: Absterben von Zellen, Lysosomenmembran löst sich auf, Zelle wird autolytisch

1.8 Zytoskelett

- Aus Proteinen aufgebautes, flexibles Geflecht
- Dynamisch auf- und abbaubare, dünne, fadenförmige Strukturen
- Für Stabilität und Form der Zelle, sowie Transport und Bewegung innerhalb einer Zelle
- 3 Strukturen: Mikrotubuli (25-28nm), Actinfilamente (7nm), Intermediärfilamente (10nm)

Merkmal	Mikrotubuli (Tubulinpolymere)	Mikrofilamente (Actinpolymere)	Intermediärfilamente
Aufbau	Röhren; Wandungen bestehen aus 13 Reihen von Tubulinmolekülen	Zwei ineinander gewundene Actinstränge aus Actinmonomeren	Faserproteine, die zu dickeren „Kabeln“ umeinandergerollt sind
Durchmesser	25 nm, davon 15 nm Hohlraum	7 nm	8–12 nm
Proteinuntereinheiten	Tubulin (Dimer aus α -Tubulin und β -Tubulin)	Actin	Abhängig vom Intermediärfilamenttyp und vom Zelltyp
Hauptfunktion(en)	Aufrechterhaltung der Zellgestalt (kompressionsresistente „Stützbalken“) Zellmotilität (wie in Cilien und Flagellen) Chromosomentransport bei der Zellteilung Organellentranslokation	Aufrechterhaltung der Zellgestalt (Zugspannung aufnehmende Elemente) Veränderungen der Zellgestalt Muskelkontraktion Cytoplasmaströmung Zellmotilität (wie in Pseudopodien) Zellteilung (Ausbildung der Teilungsfurche)	Aufrechterhaltung der Zellgestalt (Zugspannung aufnehmende Elemente) Verankerung des Zellkerns und bestimmter anderer Organellen Bildung der Zellkernlamina

Campbell, 2011, S. 64



<http://users.telenet.be/biologie/images/cytoskelet.jpg>

1.9 Zellkontakte

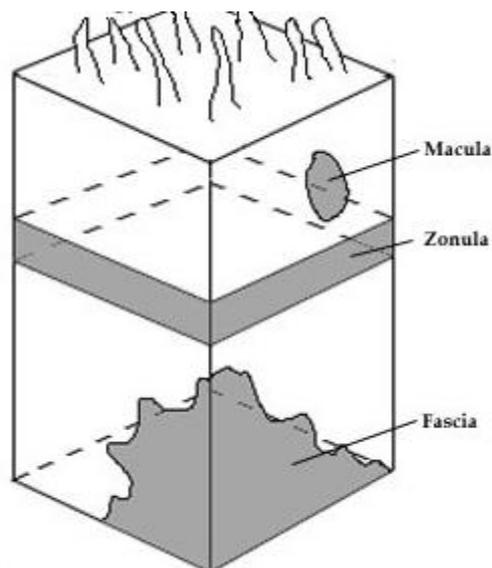
Von der Zelle zum Organismus:

- Zelle: kleinste Einheit eines Lebewesens
- Gewebe: Viele gleich spezialisierte Zellen schließen sich zu Funktionseinheit zusammen
- Organ: Mehrere Gewebe (Nervengewebe, Muskelgewebe) deren Aufgaben aufeinander abgestimmt sind, bilden ein Organ
- Organsystem: Mehrere Organe arbeiten für bestimmte Aufgaben zusammen (Verdauungssystem)
- Organismus: Viele Organe bilden einen Organismus

Vielzelligkeit benötigt Verknüpfungen und Möglichkeiten des Austausches zwischen den Zellen. Zellen in Geweben sind durch einen ca. 10-20nm breiten Spalt getrennt. Pflanzen von Zellen sind von einer Zellwand umgeben. Über Kanäle, die sogenannten **Plasmodesmen** steht das Cytoplasma einer Zelle mit dem Cytoplasma der benachbarten Zellen in Verbindung, Wasser und niedermolekulare, gelöste Stoffe können frei von Zelle zu Zelle diffundieren. Bei den vielzelligen Tieren unterscheidet man grundlegend zwischen 3 Arten von Zellverbindungen:

Barrierenkontakte, undurchlässige Verbindungen:

- Hier sind die Plasmamembranen benachbarter Zellen dicht zusammengedrückt
- Zonula occludens (= **tight junction**): streifenförmige Strukturen, gürtelförmige Nähte um die Zelle → verhindern das Ein- und Austreten von Flüssigkeit zwischen Zellen einer Zellschicht (z.B.: Haut → wasserdicht)
- Macula occludens: fleckenförmige Strukturen
- Fascia occludens: Aggregate von Flecken



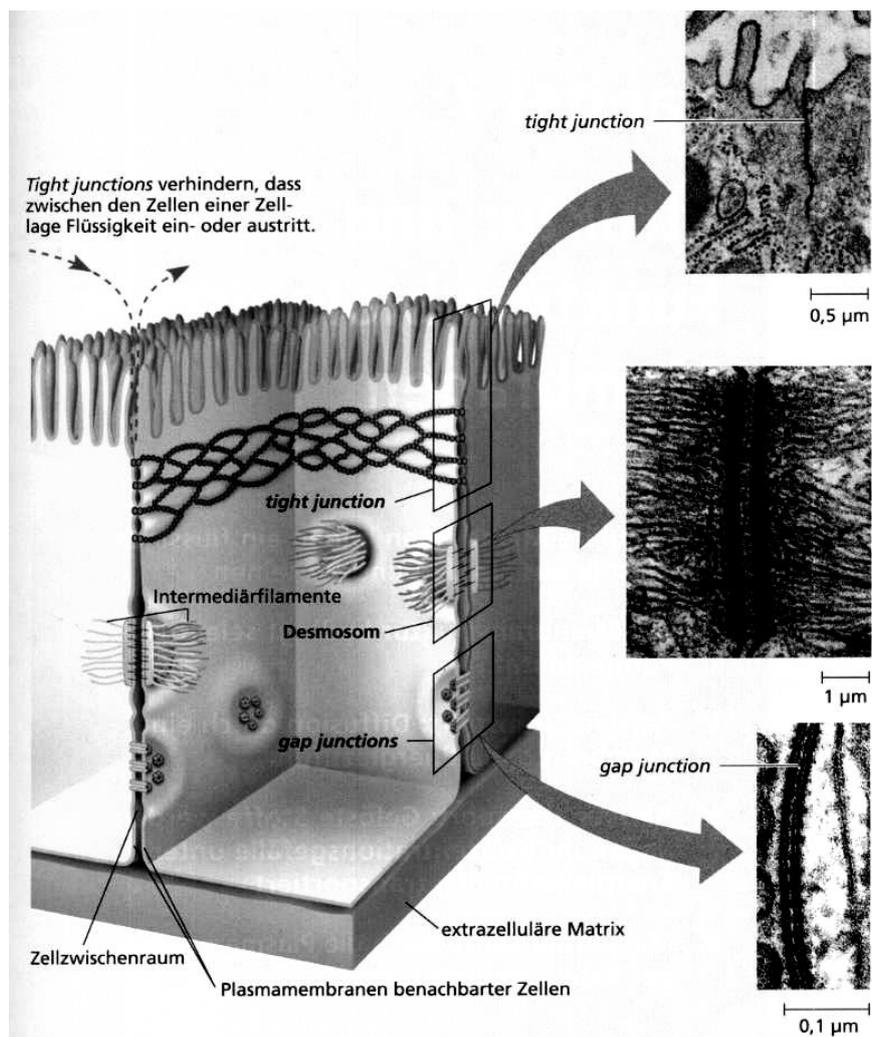
<http://www.meddean.luc.edu/lumen/meded/Histo/HistoImages/hl1A-66.jpg>

Kommunikationskontakte - Gap junctions (Nexus):

- Cytoplasmatische Kanäle, die von einer Zelle in die andere verlaufen
- Verbinden Zellen desselben oder verschiedenen Typs
- Entsprechen in der Funktion Plasmodesmen von Pflanzenzellen
- Ein Konnexon = 7,5nm lange, zylindrische Pore aus 6 Proteinuntereinheiten
Zwei Konnexone bilden eine gap junction
Eine Gruppe von Gap junctions wird als Nexus bezeichnet
- Durchlass für kleine Ionen, Zuckermoleküle, Aminosäuren, etc.

Adhäsionskontakte, Haftverbindungen - Desmosomen:

- Knöpfen Zellen zu festen Lagen zusammen, besonders in Geweben, die starken mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt sind
- Punctum adhaerens: Punktdesmosom, ihre Haftplatten sind mit zyttoplasmatischen Aktinfilamenten verbunden
Zonula adhaerens: Gürteldesmosom, verlaufen gürtelförmig um die Zelle; stehen mit zyttoplasmatischen Aktinfilamenten in Verbindung
Fascia adhaerens: Streifendesmosom, nur in spezieller Struktur der Herzmuskulatur



Campbell, 2011, S. 69

Es gibt eine Reihe sogenannter Haftproteine, die dem Zellzusammenhalt dienen:

- Cadherine: am häufigsten, speziell in Desmosomen; benötigen Kalzium und Magnesiumionen
- Neuronale Adhäsionsmoleküle: typisch für Nervenzellen
- Selektine: für Haftung von Leukozyten an der Oberfläche von Endothelzellen → Voraussetzung für das Verlassen der Gefäße dieser Blutzellen
- Integrine: für Haftung von Oberflächenepithel an extrazellulärer Matrix

2. Zellteilung – Mitose

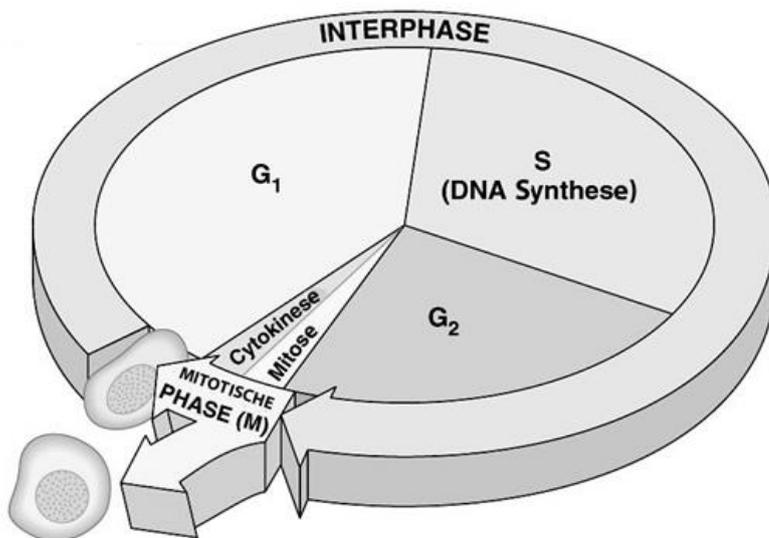
Wofür Zellteilung?

- Für Einzeller als Mittel zur Vermehrung
- Vielzellige Organismen wie der Mensch wachsen durch Zellteilungen aus einer befruchteten Eizelle (Zygote)
- Erneuerung und Reparatur von Zellen

Grundlagen

- Tochterzellen müssen über gleiche genetisches Material verfügen
- Verdopplung der DNA vor Teilung
- Ergebnis: 2 Tochterzellen mit identischer Ausstattung wie Mutterzelle
- Eingeteilt in Interphase (bestehend aus G₁-, S-, G₂ – Phase) und Mitosephase

2.1 Zellzyklus

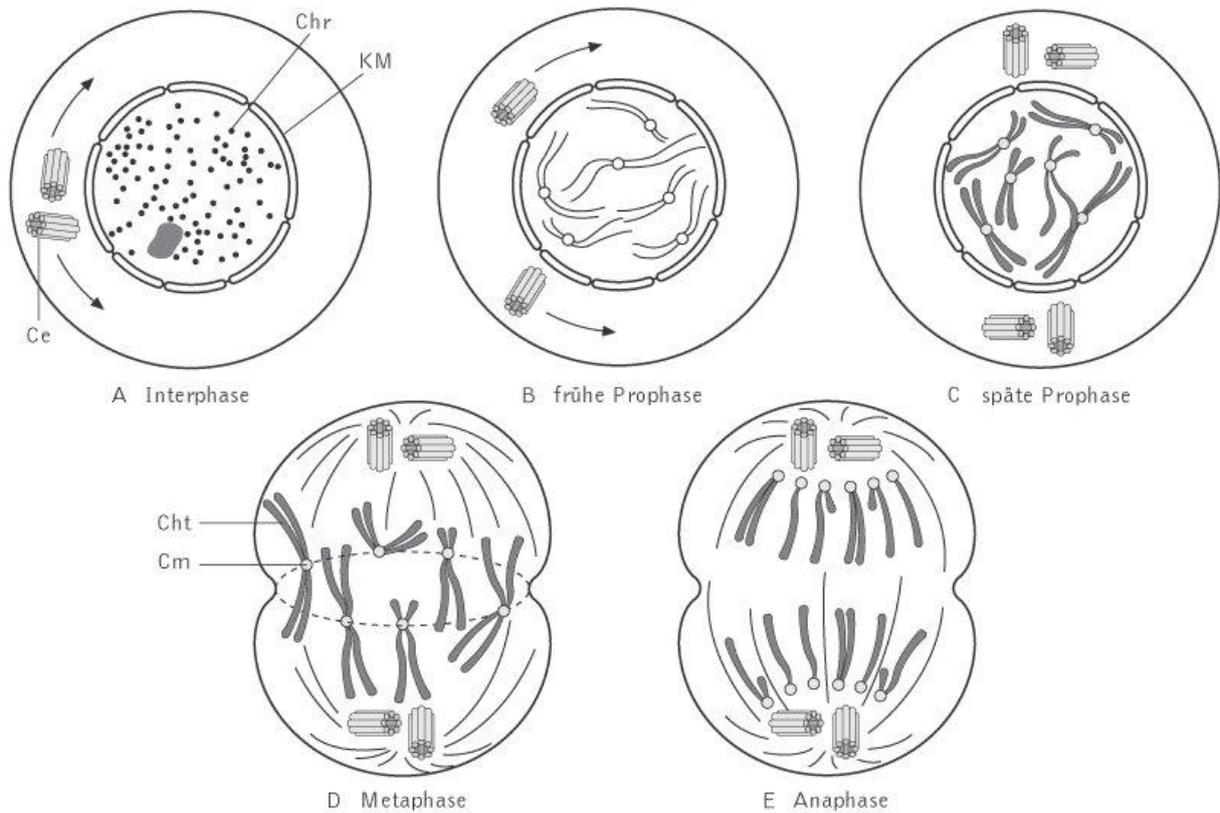


http://images.slideplayer.de/3/891002/slides/slide_2.jpg

- Zwischen mitotischen Teilungen liegt die **Interphase**, die etwa 90% der Zeit eines Zyklus in Anspruch nimmt
- **G₁-Phase**: Wachstum der Zelle, Ergänzen der Zellorganellen (G=Gap)
- **G₀ – Phase**: Zellen, die sich nicht mehr weiter teilen (z.B.: Muskelzellen, Nerven, etc.) bleiben in dieser Phase
- **S-Phase**: Synthesephase, Replikation (Verdoppelung) der DNA
Nach der Replikation besteht jedes Chromosom aus 2 Schwesterchromatiden (siehe Genetik-Begriffe)
- **G₂ – Phase**: Vorbereitung auf bevorstehende Teilung, Lösung von Zellkontakten

2.2 Mitose

- Trennung der Schwesternchromatiden und Aufteilung auf Tochterzellen als deren neue Chromosomen
- Ablauf in mehreren Phasen (Pro-, Prometa-, Meta-, Ana- und Telophase)



<http://www.spektrum.de/lexika/images/biok/f2f686.jpg>

Prophase

- Chromatinfasern werden zusammengerollt und verdichten sich zu Chromosomen
- Nucleoli verschwinden
- Bildung des Spindelapparates von den beiden Centriolen aus

Prometaphase

- Die Kernhülle zerfällt
- Chromosomen verdichten sich weiter
- Spindelfasern treten mit Chromosomen in Kontakt (Mikrotubuli heften sich an Kinetochore – Strukturen im Bereich des Centromers)

Metaphase

- Chromosomen ordnen sich entlang der „Metaphaseplatte“ an (gedachte Ebene, von beiden Spindelpolen gleich weit entfernt.)
- Centromere der Chromosomen liegen auf einer Höhe
- Schwesterchromatiden befinden sich beiderseits der Metaphaseplatte
- Spindel bestehend aus Kinetochorfasern, Polfastern und Astralfasern

Anaphase

- Trennung der Schwesterchromatiden
- Kinetochorfastern verkürzen sich – Schwesterchromatiden wandern zu den entgegengesetzten Polen der Zelle (1µm/min)
- Am Ende der Anaphase befindet sich je ein vollständiger Chromosomensatz an den beiden Zellpolen

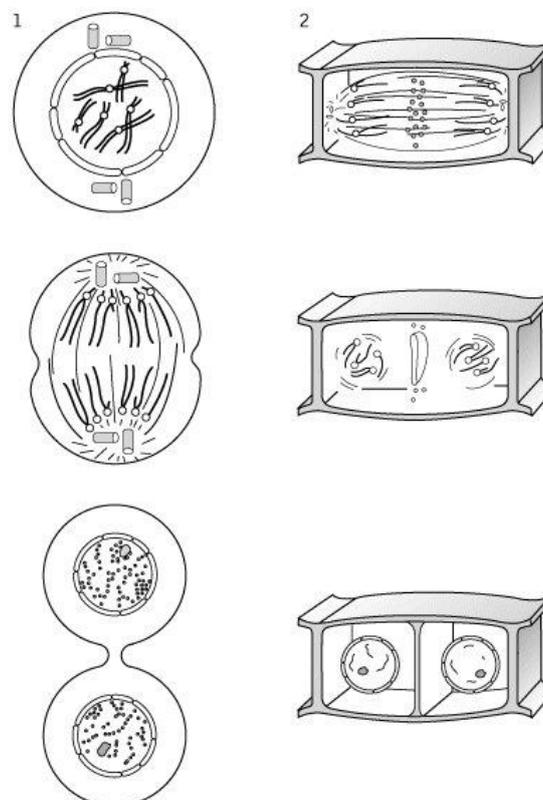
Telophase

- Zelle streckt sich weiter
- Es bilden sich zwei neue Zellkerne
- Die Bruchstücke der alten Kernhülle und Teile anderer Membranen bilden eine neue Kernhülle aus
- Nucleoli tauchen wieder auf

Cytokinese

- Teilung des Cytoplasmas, folgt direkt auf die Mitose
- Bei tierischen Zellen erfolgt dieser Vorgang durch Ausbildung einer Teilungsfurche, die die beiden Tochterzellen voneinander abschnürt
- Bei Pflanzenzellen bildet sich während der Telophase die so genannte Zellplatte

Cytokinese bei Tier- (1) und Pflanzenzelle (2)



<http://www.spektrum.de/lexika/images/biok/fff329.jpg>

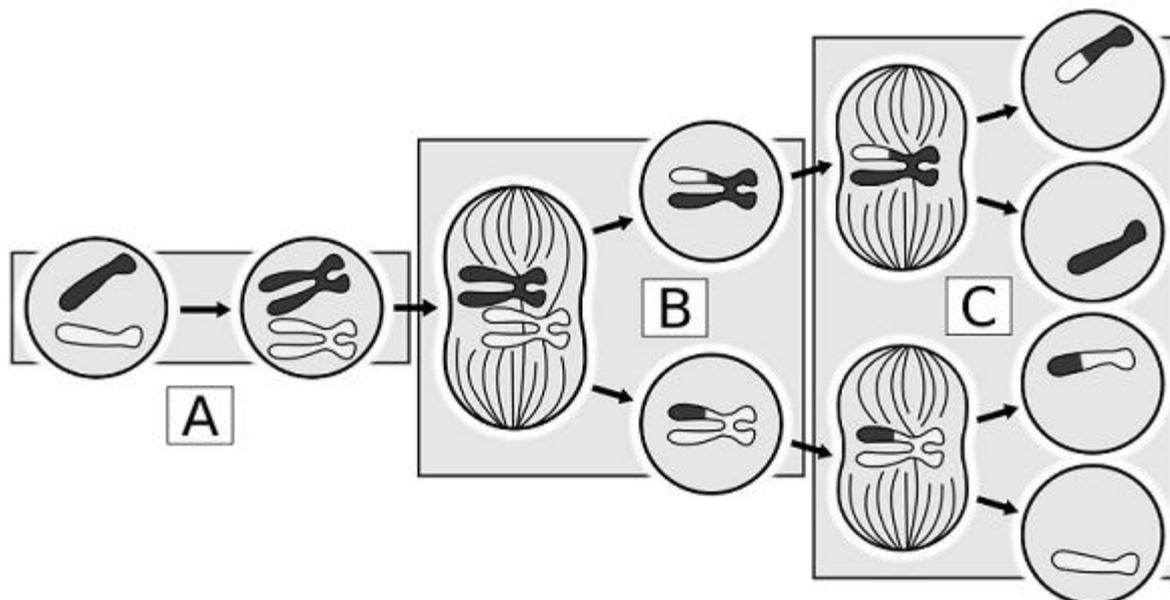
2.3 Reduktionsteilung – Meiose

Wofür Reduktionsteilung?

- Bei der sexuellen Fortpflanzung bringen zwei Elternorganismen gemeinsam Nachkommen hervor
- Dabei verschmelzen die Kerne von Ei- und Samenzelle
- Jeder Organismus besitzt einen arttypischen Chromosomensatz – damit es zu keiner Zunahme der Chromosomenzahl kommt, muss der Chromosomensatz vor der Verschmelzung von diploid auf haploid reduziert werden.
- Eine Neukombination des genetischen Materials wird auf Grund der zufälligen Verteilung der Chromosomen (in Anaphase I) möglich – beim Menschen ($n=23$) gibt es 2^{23} (= 8.388.608) Kombinationsmöglichkeiten
- Weitere Kombinationsmöglichkeiten ergeben sich durch das so genannte crossing-over

Grundlegendes

- Meiose reduziert den Chromosomensatz von diploid ($2n$, beim Menschen 64) auf haploid (n , beim Menschen 23)
- Der Meiose geht, wie bei der Mitose, eine Replikation des Erbmateri als voraus (A)
- Auf diese folgen im Gegensatz zur Mitose zwei Zellteilungen, Meiose I (B) und Meiose II (C)
- Die Meiose führt in der Regel zu 4 haploiden Tochterzellen
- Beim Menschen findet sie in den Keimdrüsen statt und dient der Bildung von Ei- bzw. Samenzellen aus den Urkeimzellen



http://www.biologycorner.com/resources/major_events_meiosis_wiki.png

Meiose I

In der **Interphase** wird zunächst wie bei der Mitose das Erbmateriale repliziert. Der weitere Ablauf der Meiose I lässt sich in Prophase I – Telophase I gliedern

Prophase I

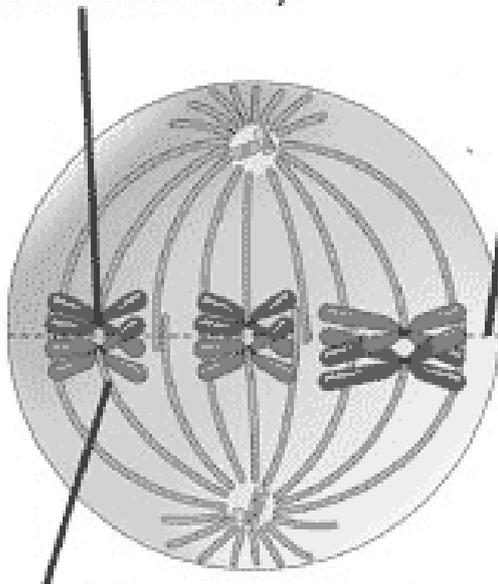
- Chromosomen beginnen zu kondensieren, homologe (mütterliche und väterliche) Chromosomen lagern sich der Länge nach aneinander
- Jedes Chromosom besteht aus 2 Chromatiden, folglich bestehen die Paare aus 4 Chromatiden (**Tetrade**)
- **Crossing-over** kann stattfinden
- Am Ende der Prophase kann jedes Chromosomenpaar ein oder mehrere **Chiasmata** aufweisen – das sind Punkte, an denen ein crossing-over stattgefunden hat
- Beginn der Ausbildung des Spindelapparates, sowie Auflösung der Kernmembran wie bei Mitose

Metaphase I

- Im Gegensatz zur Mitose lagern sich hier homologe Chromosomenpaare an der Metaphaseplatte an
- Jedes Chromosom eines Paares ist einem Pol zugewandt
- Spindelfasern sind mit Centromer verbunden

Centromere

(with kinetochore)



**Microtubule
attached to
kinetochore**

http://www.quia.com/files/quia/users/lmcgee/genetics/meiosis_stages/metaphase-I.gif

Anaphase I

- Trennung der homologen Chromosomenpaare
- Homologe Chromosomen werden zu entgegengesetzten Polen gezogen (entlang des Spindelapparates)
- Ergebnis: Haploider Chromosomensatz auf jeder Seite (dabei besteht jedes Chromosom nach wie vor aus zwei Schwesterchromatiden)
- Ursache für interchromosomale Rekombination (die Aufteilung der Chromosomen von Mutter und Vater erfolgt hier zufällig)

Telophase I

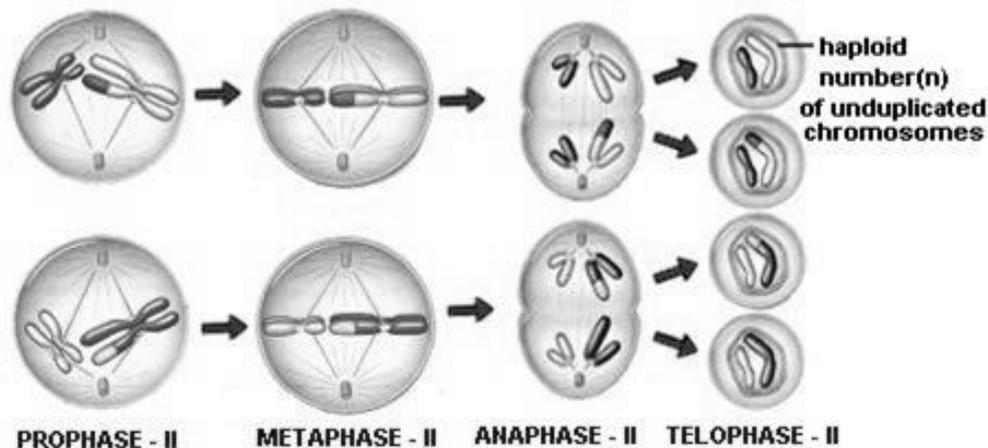
- Am Beginn dieser Phase weist jede Zellhälfte einen vollständigen, bereits replizierten, jedoch haploiden Chromosomensatz auf
- Bildung einer provisorischen Kernmembran

Zwischen Meiose I und Meiose II wird das Erbmateriale NICHT repliziert!

Meiose II

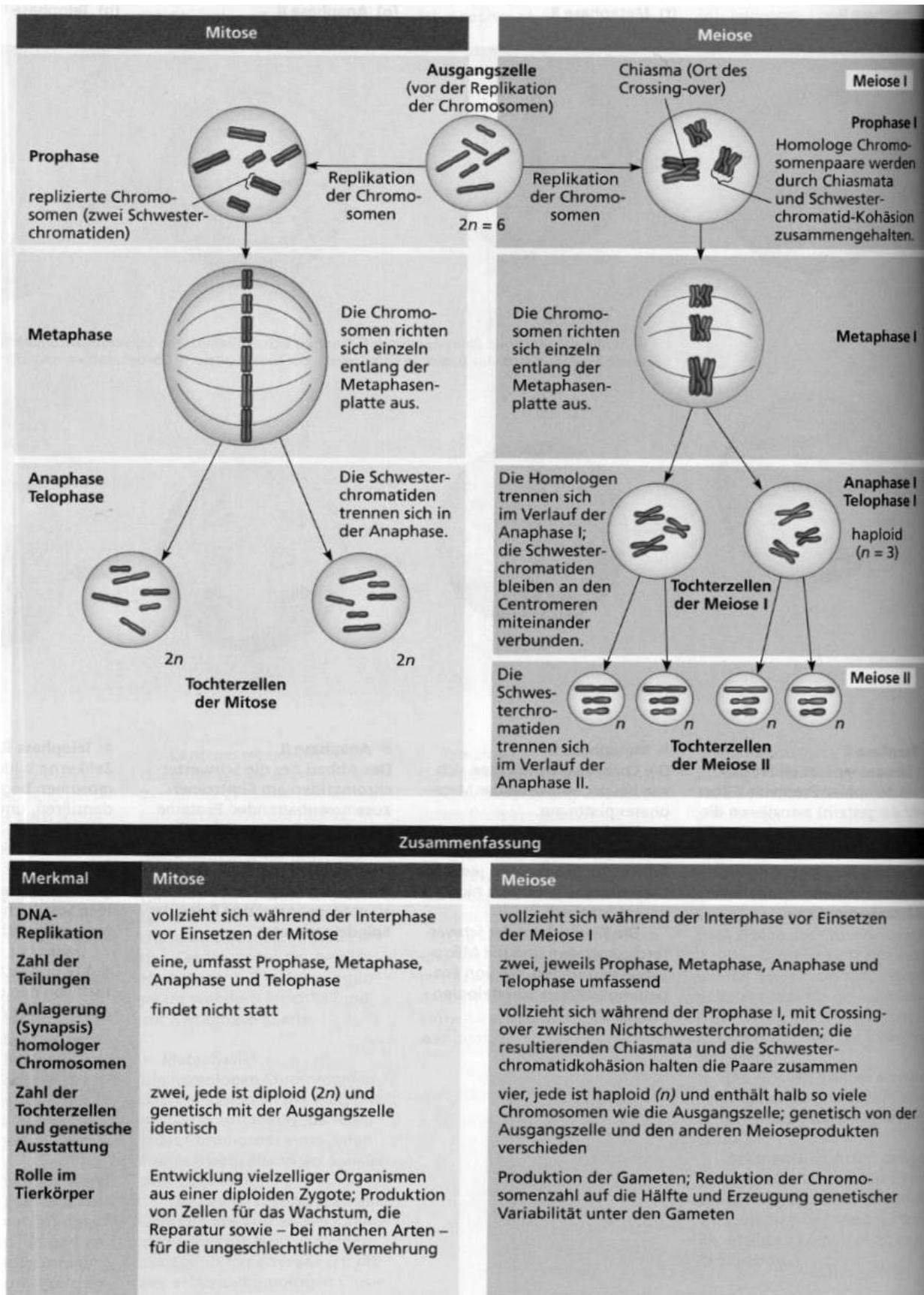
Die Meiose II besteht ebenfalls aus Prophase – Telophase und entspricht in ihrem Ablauf dem einer Mitose.

Als Resultat entstehen 4 Zellen mit einem haploiden Chromosomensatz (beim Menschen: $n=23$)



<http://images.tutorvista.com/cms/images/123/meiosis-2.jpeg>

2.4 Vergleich Mitose – Meiose



Campbell, 2011, S.166

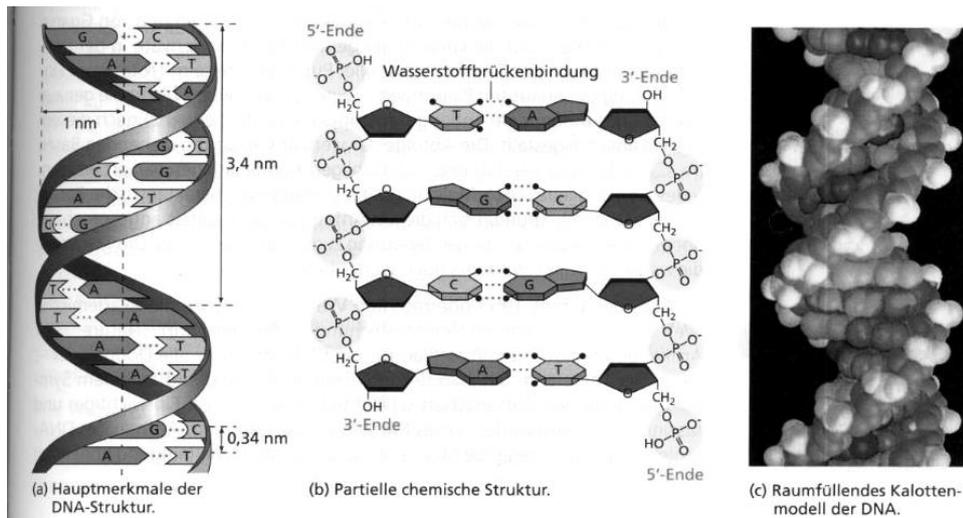
3. Grundbegriffe der Genetik

Genetik (= Vererbungslehre):

- Teilgebiet der Biologie,
- Befasst sich mit den Grundlagen erblicher Merkmale sowie der Weitergabe von Genen (Erbanlagen) an die nächste Generation

DNA (Desoxyribonucleinsäure)

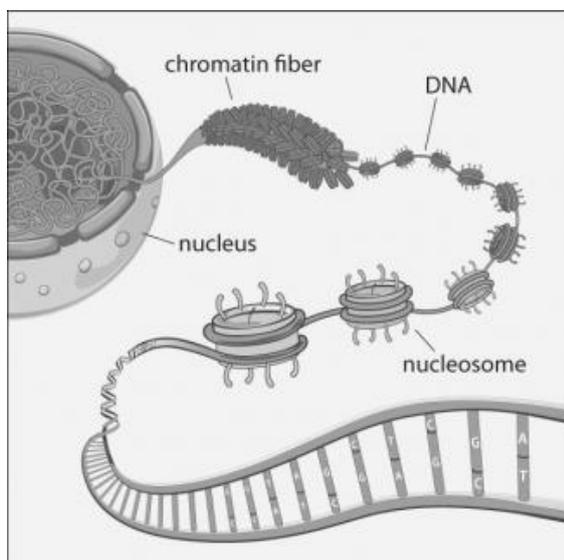
- Riesenmolekül, aus Tausenden von Nukleotiden zusammengesetzt
- Grundstruktur:



Campbell, 2011, S. 201

Chromatin

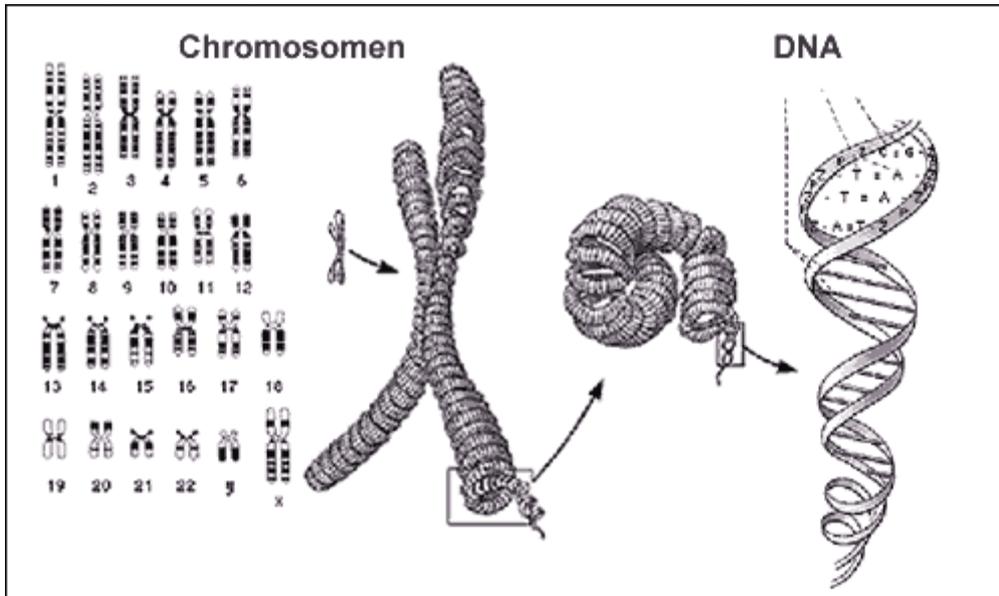
- Komplex aus DNA und assoziierten Proteinmolekülen
- Durch diese Proteinen (aus der Gruppe der Histone) wird die DNA aufgespult → kompakter



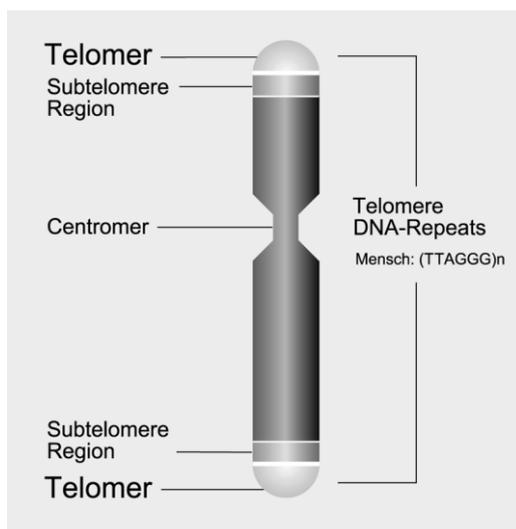
<https://www.broadinstitute.org/news/1504>

Chromosom

- Im Rahmen der Zellteilung (nach der Verdoppelung) verdichtet sich das Chromatin, wird aufgerollt und gefaltet und werden im Lichtmikroskop sichtbar



<http://myelom-deutschland.de/das-myelom-2/progn-marker-stadieneinteilung/>



<http://edoc.hu-berlin.de/dissertationen/gurr-ulrike-2003-09-25/HTML/chapter1.html>

Telomer:

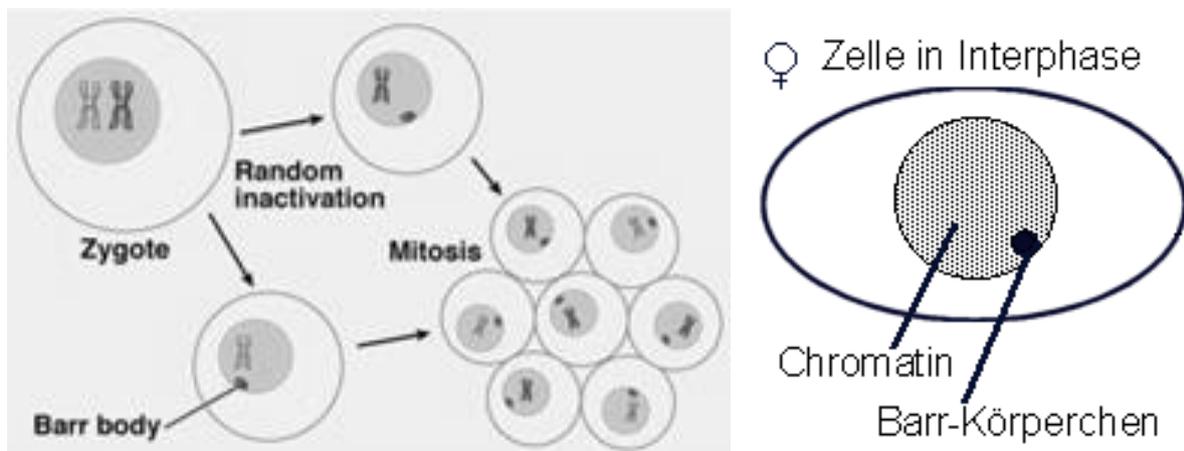
- DNA Sequenz am Ende eines Chromosoms, wird bei jeder Zellteilung kürzer
- Begrenzt eine normale eukaryotische Zelle auf ungefähr 50 Teilungen – danach ist das Telomer zu kurz und der programmierte Zelltod wird eingeleitet

Zentromer

- An dieser Stelle werden die beiden Schwesterchromatiden zusammengehalten
- Dient als Angriffspunkt für die Fasern des Spindelapparates während der Zellteilung

Gonosom

- Spezielle Chromosomen, die an der Ausbildung des Geschlechts beteiligt sind (Geschlechtschromosomen)
- Beispiel Säugetiere: weiblich = XX, männlich = XY
- Da weibliche Säugetiere über zwei X Chromosomen verfügen, wird ab ca. zwei Wochen nach der Befruchtung ein X Chromosom jeder Zelle deaktiviert. Diese deaktivierte Form ist durch die Veränderung in der Struktur im Lichtmikroskop sichtbar und wird als **Barr Körperchen** bezeichnet. Da in jeder Zelle der Zufall entscheidet, welches der X Chromosomen deaktiviert wird, sind Frauen ein Mosaik – in einigen somatischen Zellen ist das X-Chromosom des Vaters aktiv, in anderen das der Mutter.



http://o.quizlet.com/i/2_mn4j76z-04baTCLaZ3yA_m.jpg

<http://www.scheffel.og.bw.schule.de/faecher/science/biologie/genetik/8geschlecht/xy.htm5.gif>

Autosom

- Alle Chromosomen, die nicht an der Ausprägung des Geschlechts beteiligt sind

Geschlechtsdetermination

- Genotypische Geschlechtsbestimmung: bestimmte Chromosomen (Gonosomen) sind für die Ausprägung des Geschlechts ausschlaggebend (Bsp: XX/XY System bei Säugetieren)
- Phänotypische Geschlechtsbestimmung: bestimmte Umweltbedingungen sind für die Ausprägung des Geschlechts ausschlaggebend (Bsp: Bruttemperatur bei Reptilien)

Chromatiden:

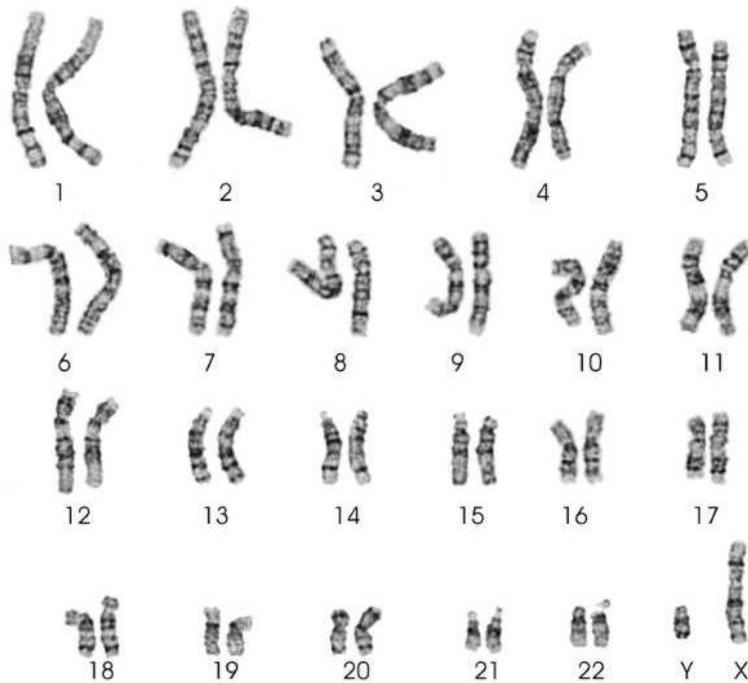
- Nach der Replikation (Verdoppelung des Erbgutes vor der Zellteilung) besteht jedes Chromosom aus zwei „Schwesterchromatiden“

Chromosomensatz:

- Gesamtheit der Chromosomen in der Zelle eines Organismus
- Jede Art hat eine für sie typische, festgelegte Anzahl an Chromosomen (z.B.: Mensch 46)

Karyogramm:

- Grafische, geordnete Darstellung der Chromosomen einer Zelle



<http://www.laborlexikon.de/Lexikon/Infotrame/c/Chromosomen-Analyse.htm>

Genom:

- Gesamtheit der vererbaren Informationen in Form von DNA bzw. RNA (bei Organismen, bei denen RNA als Träger der Information dient) einer Zelle („Erbgut“)

Haploid:

- Schreibweise: n
- Jedes Chromosom einer Zelle liegt einfach vor
- So genannte Haplonten sind Organismen, in deren Zellen nur ein einfacher (haploider) Chromosomensatz vorliegt.
- Typischerweise sind Geschlechtszellen (Keimzellen, Gameten) haploid (z.B.: Mensch: $n=23$)

Diploid:

- Schreibweise: $2n$
- Vorhandensein eines doppelten Chromosomensatzes – die Chromosomen liegen also paarweise vor
- Die Chromosomen eines solchen Paares haben die gleiche Form und Größe und kodieren für die gleichen Gene (Ausnahme: Geschlechtschromosomen)
- Eines der Chromosomen stammt von der Mutter, eines vom Vater
- Die meisten Organismen (mit Ausnahme der Haplonten) besitzen in ihren somatischen Zellen (Körperzellen) einen doppelten Chromosomensatz (z.B.: Mensch: $2n = 46$)

Phänotyp

- Gesamtheit der physischen und molekularen Merkmale eines Organismus (Erscheinungsbild)

Genotyp

- Gesamtheit der Erbanlagen eines Organismus

Gen

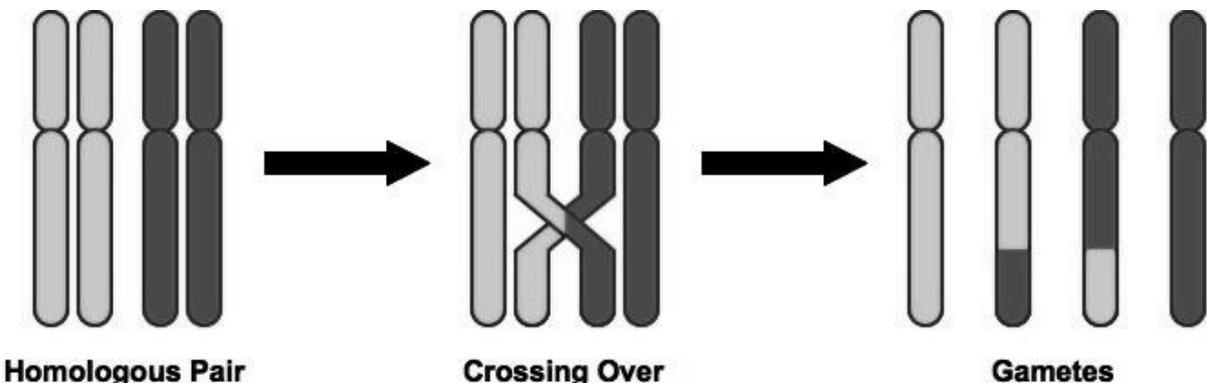
- Abschnitt der DNA, der für die Herstellung einer bestimmten RNA und damit in weiterer Folge eines bestimmten Polypeptids bzw. eines Proteins dient
- Allgemein werden Gene auch als Erbanlagen bezeichnet – sie sind der Teil des Genoms, der Grundlage für die Ausprägung eines bestimmten Merkmals ist

Genkopplung

- Unterschiedliche Gene liegen auf dem gleichen Chromosom und werden somit gemeinsam (gekoppelt) vererbt
- Ausnahme: Veränderung durch Crossing Over

Crossing Over

- Austausch kleiner Stücke von DNA verschiedener Chromosomen während der Prophase I der Meiose



<http://www.ib.bioninja.com.au/higher-level/topic-10-genetics/101-meiosis.html>

Allele

- Für ein Gen können auf den homologen Chromosomen unterschiedliche Varianten vorliegen (mehrere Zustandsformen)
- Homozygot = Allele eines bestimmten Merkmals sind auf den homologen Chromosomen gleich
- Heterozygot = Allele eines bestimmten Merkmals sind auf den homologen Chromosomen unterschiedlich
- Dominant/Rezessiv: ein dominantes Allel setzt sich gegenüber einem rezessiven Allel durch, das heißt dieses ist im Phänotyp zu erkennen (z.B.: Sichelzellenanämie, Albinismus)
- Intermediär: Beide Allele wirken an der Ausprägung des Phänotyps mit