

ZÜRCHER HOCHSCHULE FÜR ANGEWANDTE WISSENSCHAFTEN

DEPARTEMENT LIFE SCIENCES UND FACILITY MANAGEMENT

ZF Biologie

Semester 1

von

Mutter Katja

Bachelorstudiengang 2020

Studienrichtung Biotechnologie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Einführung..... | 3 |
| 2. Grundlagen | 5 |
| 3. Struktur der Zellen..... | 11 |
| 4. Evolution | 17 |
| 5. Botanik..... | 18 |
| 6. Zellzyklus und Zellteilung | 19 |
| 7. Genetik..... | 24 |
| 8. Vom Gen zum Protein | 27 |
| 9. Membrane Rezeptoren..... | 30 |
| 10. Zellatmung..... | 35 |
| 11. Photosynthese | 40 |
| 12. Grüne Gentechnik..... | 44 |
| 13. Quellenverzeichnis | 46 |

1. Einführung

Lebenskennzeichen

| | |
|----------|---|
| (Beim : | Bestimmter chemischer Aufbau; C, H, N, O, S, P) |
| | Regulation |
| Zelten : | Zelluläre Organisation - Ordnung |
| Suchen : | Stoffwechsel - Energieumwandlung |
| wir : | Wachstum, Entwicklung |
| alle : | Anpassung |
| rote : | Reaktion |
| Finken : | Fortpflanzung |

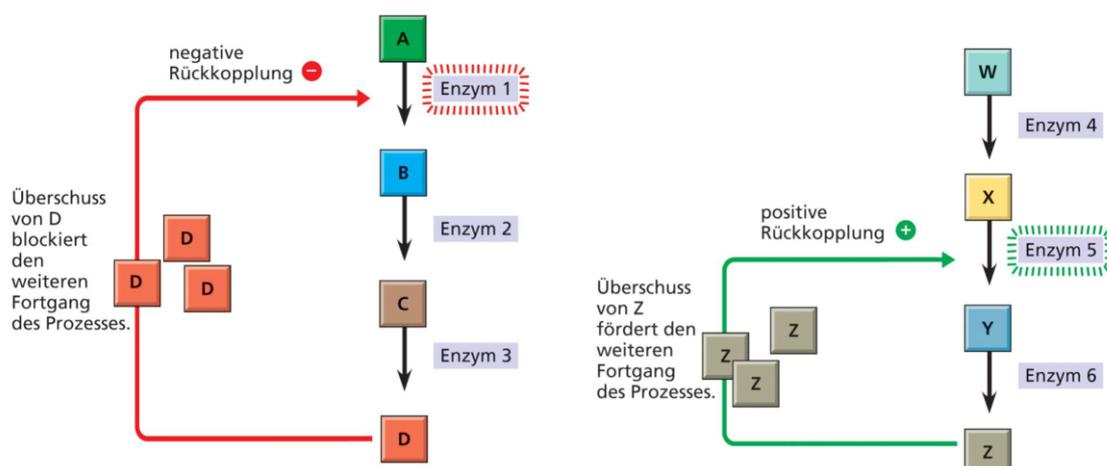
Das System der Biologie

| | |
|-------------------------------|---|
| Biosphäre | (ganzer bewohnbarer Planet) |
| Ökosystem | (Teil der Biosphäre, welches einen Lebenskreislauf besitzt) |
| Lebensgemeinschaft, Biozönose | |
| Organe und Organsysteme | (Blätter, Wurzeln, Magen Darm etc.) |
| Zellen | (Grundeinheit des Lebens) |
| Organellen | (Chloroplasten, Mitochondrien etc.) |

Rückkopplungsmechanismen

Negative Rückkopplung: Ein Zuviel eines produzierten Stoffes verlangsamt bzw. hemmt dessen weitere Produktion und hält die Menge der vorhandenen Substanz im Gleichgewicht.

Positive Rückkopplung: Das Endprodukt wird bis zu einem bestimmten Grenzwert, der zur gewünschten Reaktion führt, angesammelt .



Energieformen in der Natur

Strahlungsenergie, chemische Energie (Zucker), Wärmeenergie, kinetische Energie.

Die Bedeutung der DNA (Desoxyribonucleinsäure)

- Chromosomen enthalten (fast das gesamte) Erbgut der Zelle
- Jedes Chromosom enthält ein einzig langes DNA-Molekül mit tausenden von Genen
- wird vererbt
- steuert Wachstum und Erhaltung der Organismen
- steuern die Produktion von Proteinen auf indirekte Weise

Die Lebewesen in Domänen

- drei-Domänen-System.
- Die Domänen Bacteria und Archaea fassen alle Prokaryonten zusammen.
- Die Domäne Eukarya fasst alle Eukaryonten zusammen. (Pilze, Pflanzen, Tiere, Protisten, Menschen)

2. Grundlagen

Eigenschaften und Bedeutung von Wasser

- Biologischer Grundstoff der Erde
- Grundlegende Eigenschaften
 - Kohäsion → Unterstützt Transport von Wasser innerhalb von Pflanzen entgegen der Schwerkraft
 - Hohe Wärmekapazität: Kann grosse Wärmemengen aufnehmen oder abgeben, wobei sich seine eigene Temperatur nur unwesentlich ändert. → Temperatursprünge werden vermieden, was günstige Bedingungen für das marine Leben schafft. Der Effekt lässt sich auf H-Brücken zurückführen. Wärme wird aufgenommen, wenn sich H-Brücken auflösen und Wärme wird abgegeben, wenn solche Bindungen sich bilden.
 - Ausdehnung beim Gefrieren → höchste Dichte bei 4°C. Würde Eis absinken, würden Meere komplett durchfrieren, was Leben im Wasser unmöglich machen würde.
 - Vielseitigkeit als Lösungsmittel: bei ionischen Verbindungen: Hydrathülle & bei sonstigen polaren Molekülen: gute Wasserlöslichkeit

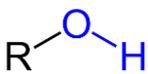
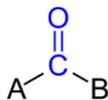
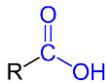
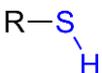
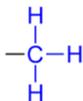
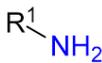
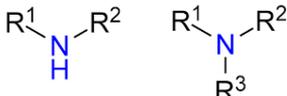
Eigenschaften und Bedeutung von Kohlenstoff

Kohlenstoff ist die Grundlage für Leben. Es hat die Fähigkeit, Moleküle zu bilden, die gross, komplex und vielgestaltig sind. Proteine, DNA, Kohlenhydrate und andere Verbindungsklassen, die typisch für die belebte Welt sind, haben ein Grundgerüst aus Kohlenstoffatomen.

Eigenschaften und Bedeutung von Kohlenstoffwasserstoffen

Organische Verbindungen, die nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen zusammengesetzt sind. Viele der organischen Verbindungen in einer Zelle weisen Bereiche auf, die nur aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen gebildet werden. Kohlenwasserstoffe sind reaktionsträge und die Reaktionen, die sie eingehen, sind mit einem hohen Energieumsatz verbunden.

Funktionelle Gruppen beeinflussen die Molekülform / die physikalischen Eigenschaften

| Hydroxylgruppe | Carbonylgruppe | Carboxylgruppe | Phosphorylgruppe |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Sulfhydrylgruppe / Thiole | Methylgruppe | Aminogruppe | |
|  |  |  |  |

Klassen von Polymeren

Ein Polymer ist ein Molekül, das aus zahlreichen gleichen / ähnlichen Baueinheiten (Monomeren) zusammengesetzt ist, die durch kovalente Bindungen miteinander verknüpft sind.

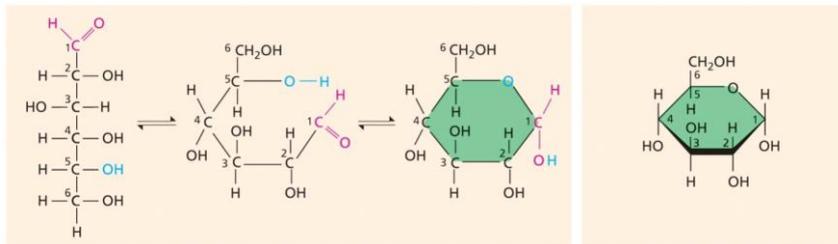
Die für das Leben entscheidenden Moleküle und ihre Funktionen sind:

- Proteine
 - Schutz, Verteidigung gegen Mikroorganismen
 - Körperstruktur, Bewegung
 - Stoffumsatz, Transport, Signalfunktion
 - Reservestoff
- Nukleinsäuren → Träger der Erbinformationen
- Kohlenhydrate → Energiespeicher, Baustoffe

Struktur und Funktion der Kohlenhydrate / Zucker

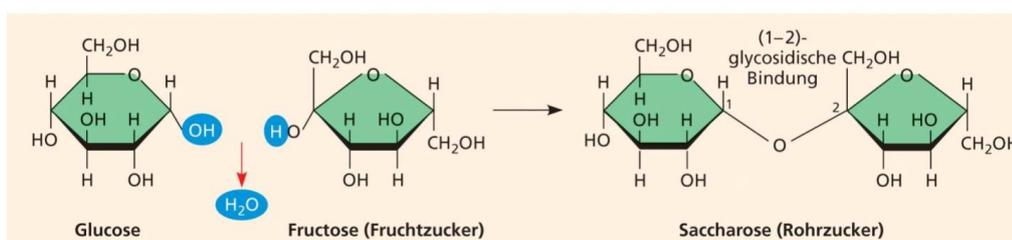
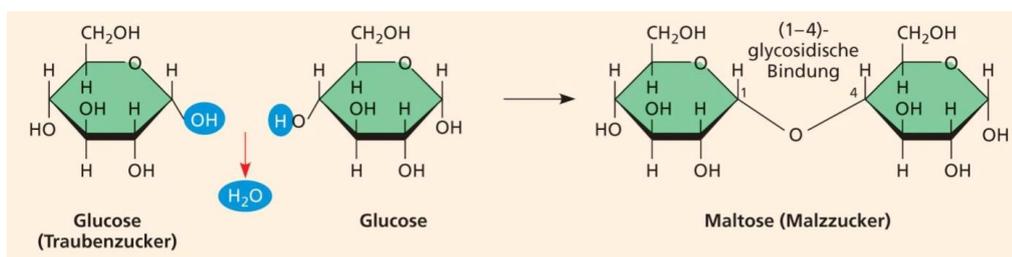
Struktur : In wässriger Lösung in Form eines Ringes.

Monosaccharide wie Glucose: *Tatütata*



Ein Disaccharid (Zweifachzucker) besteht aus zwei miteinander verknüpften Monosacchariden.

Z.B. Maltose oder Saccharose:



Funktion: Polysaccharide sind Makromoleküle aus zahlreichen Monosaccharidresten, die als Speicherstoffe und Baumaterial dienen.

z.B. Stärke aus Glucose-Monomeren ist ein Speicherpolysaccharid, welches Pflanzen in Form von Granula in die Plastiden ihrer Zellen einlagern.

Das Gegenstück bei Tieren ist das Glykogen welches in Leber- und Muskelzellen angelagert wird.

Eigenschaften, Struktur und Funktion der Lipide

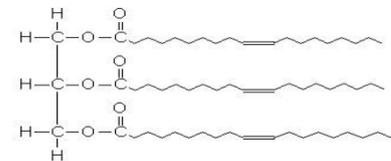
Eigenschaften:

- Die einzige Klasse grosser biologischer Moleküle, die keine Polymere ausbilden.
- schlecht oder gar nicht mit Wasser mischbar → hydrophob
- Die biologisch wichtigsten Lipidgruppen sind Fette, Phospholipide und die Steroide.

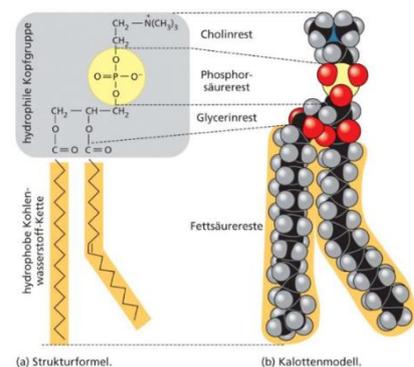
Funktionen:

- Energieträger und Energiespeicher
- Träger fettlöslicher Vitamine
- Träger essenzieller Fettsäuren
- Geschmacksträger
- Baufunktion
- Schutzfunktion
- Isolationsfunktion
- Sättigungsfunktion

Aufbau Lipide : 3 Fettsäuren und ein Glycerin sind über Esterbindungen verbunden. Eine Fettsäure ist eine langkettige Carbonsäure mit einem aliphatischen Kohlenstoffgerüst und einer einzigen Carboxylgruppe.



Aufbau Phospholipidmolekül: trägt nur 2 mit dem Glycerinrest veresterte Acylreste; die dritte Hydroxyfunktion des Glycerins ist mit einem Orthophosphatmolekül verestert. Der Kohlenwasserstoffanteil der Acylreste ist hydrophob. Die Phosphorsäuregruppe und daran befindliche Kopfgruppen verhalten sich hydrophil.



Unterschied von gesättigten und ungesättigten Fettsäuren

- *Gesättigte* Fettsäuren enthalten die maximale Zahl von H-Atomen & keine Doppelbindungen.
- *Ungesättigte* Fettsäuren haben eine oder mehrere Doppelbindungen.
- Je länger die Ketten, desto fester wird das Fett und je mehr Doppelbindungen, desto flüssiger.

Funktionen und Struktur der Proteine

Was ist ein Protein?

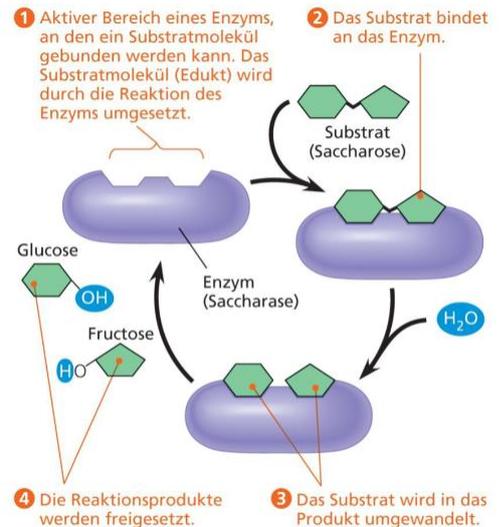
Polypeptide sind lineare Polymere, die aus einem Satz von 20 verschiedenen Aminosäuren aufgebaut werden. Ein Protein besteht aus einem oder mehreren Polypeptiden. Proteine machen mehr als 50% der Trockenmasse der meisten Zellen aus.

Funktionen:

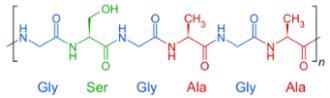
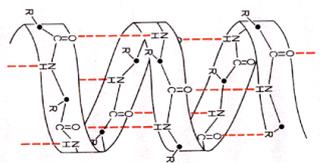
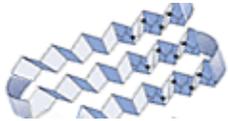
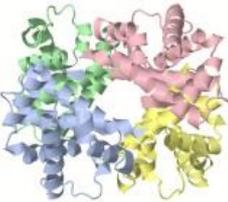
- Viele Funktionen durch Strukturvielfalt.
 - beschleunigen chemische Reaktionen
 - beteiligen sich an Transportvorgängen
 - unterstützen die zelluläre Kommunikation
 - wehren fremde Substanzen und Organismen ab

Was sind Enzyme ?

Enzyme sind katalytisch wirksame Proteine, die chemische Reaktionen beschleunigen. Enzyme erfüllen ihre Aufgaben wieder und wieder (da Katalysatoren sich nicht selbst verbrauchen); Sie halten die Lebensprozesse am Laufen.

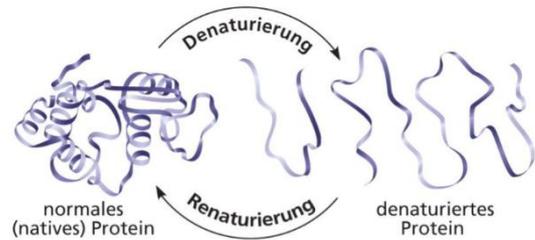


Proteinstruktur :

| | | |
|--|--|---|
| Primärstruktur | Aminosäuresequenz |  |
| Sekundärstruktur | Wicklungen und Faltungen der Polypeptidkette |  |
| Tertiärstruktur | Wechselwirkungen zwischen Seitenketten. |  |
| Quartierstruktur (nur bei komplexen Proteinen) | Zusammenlagerung mehrerer Proteinketten. |  |

Denaturierung:

Ein denaturiertes Protein ist biologisch inaktiv. Die meisten Proteine durchlaufen mehrere Zwischenzustände auf ihrem Weg zu einer stabilen Form. Änderungen im pH-Wert, die Salzkonzentration, die Temperatur etc. zerstören die Faltung. Chaperone sind Helferproteine, die andere Proteine beim Faltungsprozess unterstützen.

**Funktionen und Struktur der Nucleinsäuren***Funktion:*

- speichern und übertragen Erbinformation
- enthalten Anweisungen für die eigene Vervielfältigung
- Aminosäuresequenzen von Polypeptiden sind durch Gene festgelegt, die aus Desoxyribonucleinsäure oder Ribonucleinsäure bestehen
- steuern die Synthese der RNA und damit die Proteinbiosynthese

Struktur:

Polymerstruktur → Bezeichnung als Polynucleotide. Ein Polynucleotid besteht aus Monomeren (Nucleotiden) die kovalent gebunden sind. Jeder Nucleotid ist zusammengesetzt aus:

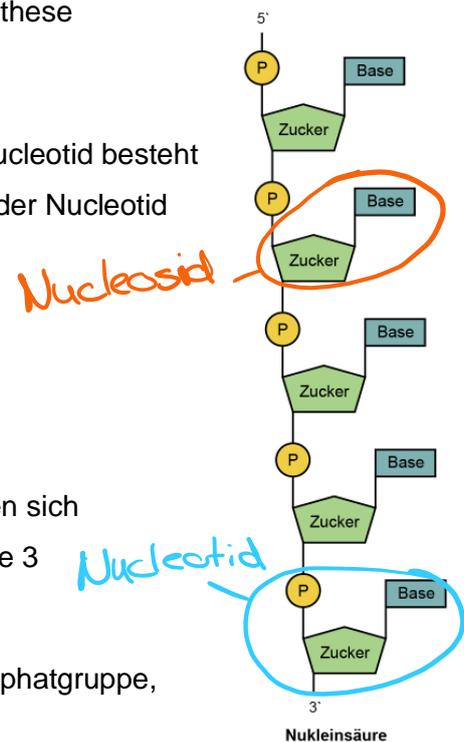
- Nucleinbasen
- fünfgliedrigen Zuckerrest (Desoxyribose)
- Phosphorsäurerest

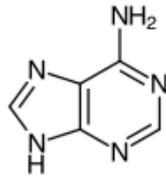
Adenin (A) & Thymin (T) sowie Cytosin (C) & Guanin (G) stehen sich gegenüber. Verbunden werden diese durch jeweils 2 respektive 3 Wasserstoffbrücken.

Der Verbund aus Nucleinbase und Zuckerrest, also ohne Phosphatgruppe, heisst Nucleosid.

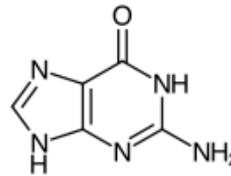
Sie bilden zwei Polynucleotidketten die spiralförmig und gegenläufig um eine gedachte Achse verlaufen (Doppelhelix). Das 5'-Ende des einen Strangs liegt am 3'-Ende des anderen; diese Anordnung wird antiparallel genannt. Dieser Strang wird um Histone gewickelt.

3 Milliarden Basenpaare pro menschlichen Zelle → 100x weniger als bei japanischer Einbeere

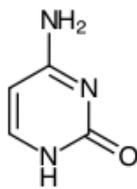


Purin-Basen

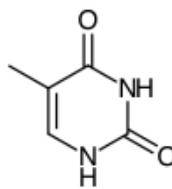
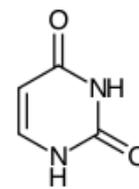
Adenin



Guanin

Pyrimidin-Basen

Cytosin

Thymin
(DNA)Uracil
(RNA)

Warum hat der DNA Strang eine Richtung ?

Die Zucker – Phosphate sind entgegengesetzt ausgerichtet. Die fünf Kohlenhydrate des Zucker werden nummeriert von 1' - 5'. Das Phosphat wird ans 5' geheftet und ist mit dem 3' des folgenden Zuckers (Nukleotids) verbunden. Am 3' Ende des Strangs hängt eine OH – Gruppe.

Das Problem ist, dass die DNA Polymerase die Nukleotiden nur am 3' Ende anfügen kann. Ein neuer Strang entsteht also immer von 5' → 3'.

3. Struktur der Zellen

Grösse der Organismen und Moleküle

| | Grösse | Hilfsmittel |
|-------------------------|------------------|--|
| Zellen | 100 μ m | Lichtmikroskop |
| Bakterien | 1-10 μ m | Elektronenmikroskop/ Lichtmikroskop |
| Viren | 0.02-0.2 μ m | Elektronenmikroskop |
| Zellkern/ Mitochondrium | 1-10 μ m | Elektronenmikroskop/ Lichtmikroskop |
| Lipide/ Proteine | 1- 10nM | Elektronenmikroskop |

Lichtmikroskopie Techniken

| Methode | Gefärbt/ ungefärbt | Tot/ lebendig | Kontrast | Sonstiges |
|--|------------------------|------------------|-----------|--|
| Hellfeld | ungefärbt | Lebendig | Wenig | Licht direkt durch Präparat |
| | Gefärbt | Tot (fixiert) | erhöht | |
| Phasenkontrast | Ungefärbt | Lebendig | Verstärkt | Verstärkung von Dichteunterschieden |
| Differenzieller Interferenzkontrast (Normaski) | Ungefärbt | Lebendig | Verstärkt | Dichteunterschied soweit verstärkt, dass Bild 3D wirkt |
| Fluoreszenz | Markierung durch AK | Tot (fixiert) | - | Anheftung Fluoreszenzmarkierter |
| Konfokale Mikroskopie | Markierung durch AK | Tot (fixiert) | - | «Ein Zell Schicht» |

Elektronenmikroskopie:

- Rasterelektronenmikroskopie SEM: Zeigt Oberfläche, räumliche Darstellung
- Durchlichtelektronenmikroskopie: Macht Längsschnitt durch Organellen.

Unterschiede zwischen tierischen und pflanzlichen Zellen

| | Pflanzenzelle | Tierzelle |
|-------------------------|--------------------|-------------------|
| Chloroplasten | Vorhanden | X |
| Lysosomen | X | Vorhanden |
| Vakuolen | Vorhanden | X |
| Zellwand | Vorhanden | X |
| Zytoskelett | Schwach ausgeprägt | Stark ausgeprägt |
| Primäre Stützfunktion | Zellwand | Zytoskelett |
| Kohlenhydratspeicher | Stärke | Glykogen |
| Intrazellulärer Kontakt | Durch Plasmodesmen | Durch Desmosomen |
| Zellentgiftung | Durch Glyoxysomen | Durch Peroxisomen |
| Anderes | Zellsaftvakuole | Flagellum |

Unterschiede zwischen Prokaryonten und Eukaryonten

| Prokaryonten | Eukaryonten |
|--|--|
| Domänen Archaea und Bacteria | Protisten, Pilze, Pflanzen und Tiere |
| keinen Zellkern | Zellkern Proteine kontrollieren was im Zellkern raus und rein geht |
| DNA in einem als Nucleoid bezeichneten Zellbereich (nicht von Membran umgeben) | Grossteil der DNA im Zellkern, umgeben von einer Doppelmembran |
| Cytoplasma überall | Cytoplasma zwischen der Plasmamembran und dem Zellkern Plasmamembran bildet eine selektive Barriere |
| Keine Reaktionsräume | membranhüllte Organellen |
| klein | gross |

Liste mit den wichtigsten Organellen und Funktionen

| Organell | Eigenschaft |
|-------------------------------|--|
| Plasmamembran *alle Zellen | Doppellipidschicht, umhüllt die Zelle. So werden ihre inneren chemischen Vorgänge von den chemischen Vorgängen/ Atmosphäre ausserhalb der Zelle abtrennt. Kanäle & Rezeptoren auf der Membran regulieren den ein und Austritt in die Zelle. |
| Cytoskelett *Eukaryonten | Transport-, Regulations-, Stütz- und Bewegungsfunktion, <ul style="list-style-type: none"> • Mikrotubuli (grösste) <ul style="list-style-type: none"> ○ Form- und Stützgeber ○ Chromosomentransport bei Zellteilung • Mikofilamente (kleinste → d = 7nm) <ul style="list-style-type: none"> ○ gebaut als verdrillte Doppelkette aus Actinmonomeren ○ enthalten auch Myosin ○ Bilden ein 3D-Netzwerk (Cortex) ○ neutralisieren die Zugspannung ○ Muskelkontraktion ○ Zellteilung • Intermediärfilamente (d = 8-12 nm) <ul style="list-style-type: none"> ○ bilden Cytoskelettproteine ○ Verankerung des Zellkerns |

| | |
|----------------------------------|---|
| Centrosomen *tierische Zellen | <ul style="list-style-type: none"> • "Mikrotubulus-Organisationszentrum" • hat Centriolen; jedes Centriol verfügt über 9 Mikrotubulus-3ergruppen, die zu einem Ring angeordnet sind |
| Cytosol | Ort der Proteinbiosynthese (freie Ribosomen) |
| Ribosomen | Proteinbiosynthese (DNA-> m-RNA -> RNA) / Aus rRNA gebildet |
| Golgi-Apparat* | <ul style="list-style-type: none"> • besteht aus abgeflachten Membranstapeln, den Zisternen • Fracht- und Umbauzentrum • modifiziert chemisch Produkte des ER, z.B. Proteine • synthetisiert bestimmte Makromoleküle, z.B. Polysaccharide • sortiert und packt Materialien in Transportvesikel |
| Endoplasmatisches Retikulum* | <ul style="list-style-type: none"> • Ort der Proteinbiosynthese (membranumschlossene Ribosomen) • Stellt mehr als die Hälfte der Gesamtmembranfläche. • Innenraum heisst Lumen und ist durch die Membran vom Cytosol getrennt. <p>Am glatten ER finden sich keine aussen anhaftenden Ribosomen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Enthält Enzyme für Lipidbiosynthese • Bewirkt Kohlenhydratstoffwechsel • Entgiftet Fremdstoffe • Speichert Calciumionen <p>Das raue ER trägt auf seiner Aussenseite Ribosomen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bindet Ribosomen, die Glykoproteine sekretieren • Bildet und streut Transportvesikel • Membranfabrik für die Zelle |
| Vakuole* *Pflanzenzellen | <ul style="list-style-type: none"> • Nahrungsvakuolen bilden sich bei der Phagocytose. • Kontraktile Vakuolen, die überschüssiges Wasser aus der Zelle pumpen und die Elektrolytkonzentration aufrechterhalten, finden sich in vielen Protisten des Süßwassers. • Zellsaftvakuolen, wie es sie in ausdifferenzierten Pflanzenzellen gibt, enthalten organische Teile und Wasser. |
| Chloroplasten *Pflanzenzellen | <ul style="list-style-type: none"> • Dort findet die Photosynthese in Algen und Pflanzen statt. • Mitglieder der Familie der Plastiden • Enthalten Chlorophyll • Min. 2 Membranen • haben Proteine, die von freien Ribosomen hergestellt werden • enthalten je eine kleine Menge DNA in Form eines ringförmigen Chromosoms |
| Peroxisomen | <ul style="list-style-type: none"> • Organellen des oxidativen Stoffwechsels • Produzieren H₂O₂ • Brauchen O₂ um Fettsäuren in kleinere Moleküle zu zerlegen |

| | |
|---------------|---|
| Mitochondrien | <ul style="list-style-type: none"> • Organellen des Zellstoffwechsels, der ATP aus dem Abbau von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen liefert. • Min. 2 Membranen • Die eingefalteten Membranteile heissen Cristae • Die Innenmembran bildet zwei Kompartimente, den Membranzwischenraum und das eingeschlossene Volumen, die Matrix • Matrixenzyme katalysieren einige Schritte der Zellatmung • haben Proteine, die von freien Ribosomen hergestellt werden • enthalten je eine kleine Menge DNA in Form eines ringförmigen Chromosoms |
| Endosomen* | Vesikel tierischer und pflanzlicher Zellen |
| Kern | <p>enthält Grossteil der DNA (zum Teil noch in Mitochondrien)</p> <p>25'000-30'000 Gene vorhanden</p> <p>die können 30'000 versch. Proteine herstellen.</p> <p>Zelle dauernd im Informationsaustausch. Welche Proteine muss sie herstellen?</p> <p>Was ist sie für eine Zelle? usw.</p> |
| Nucleolus | Im Zellkern; an ihm wird rRNA synthetisiert |
| Chromatin | Genetisches Material |
| Chromosomen | <p>Chromatinfasern rollen sich auf und bilden Chromosomen</p> <p>Träger der Erbinformation in Form von DNA</p> <p>Total 22 Paare (Autosomen) + 2 Geschlechtschromosomen (Mann xy / Frau xx)</p> |

* Die wesentlichen Teile des Membransystems. Diese Elemente sind ständig oder funktionell durch Transportvesikel miteinander verbunden.

Vor- und Nachteile eines Systems mit Organellen für die Zelle

Nicht kompatible Prozesse können getrennt voneinander gleichzeitig ablaufen.

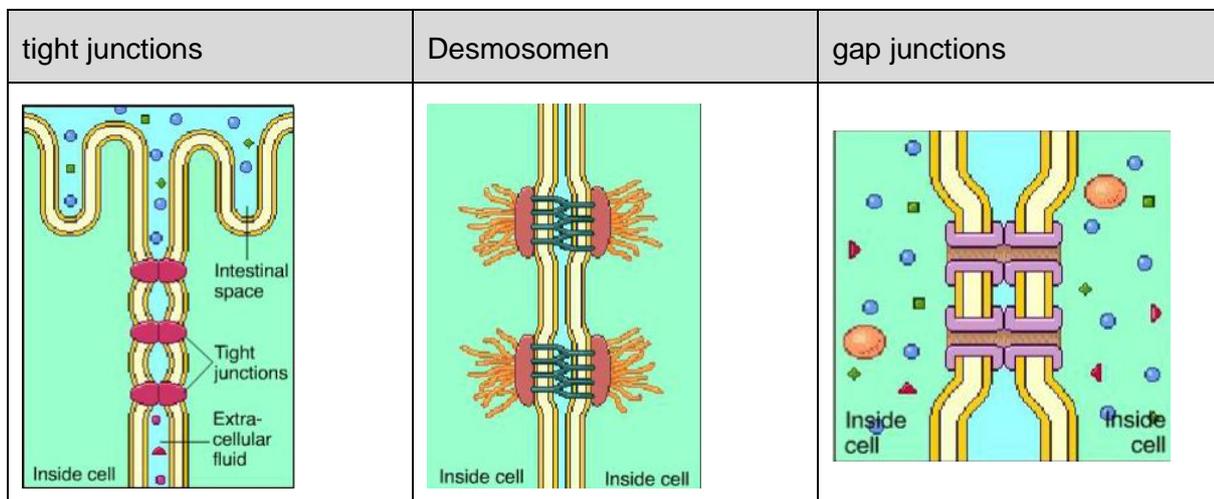
Zell-Zell-Kommunikation

Die meisten Zellen synthetisieren Stoffe, die über die Plasmamembran nach aussen abgegeben und dort abgelegt worden sind. Diese Stoffe und Strukturen, die zwar ausserhalb der Zelle liegen, aber dennoch an zellulären Funktionen beteiligt sind, enthalten pflanzliche Zellwände.

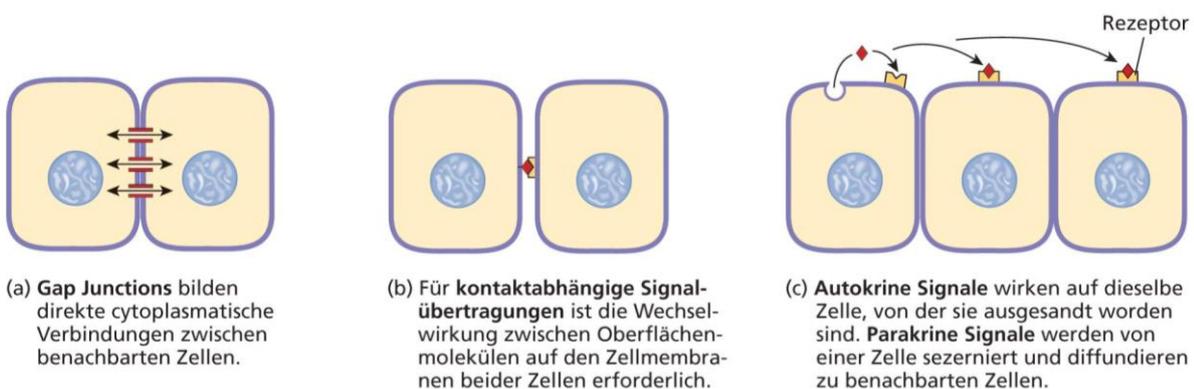
Den Tierzellen fehlen Wände. Aber sie verfügen über eine komplexe extrazelluläre Matrix (ECM). Diese Matrix (ECM) besteht aus Glycoproteine wie Collagen, Proteoglycan und Fibronectin. ECM-Proteine binden an Zelloberflächenrezeptoren aus der Gruppe der Integrine, die in die Plasmamembran eingelassen sind interzellulare Verbindungen.

Benachbarte Zellen kommunizieren miteinander durch diese Verbindungswege:

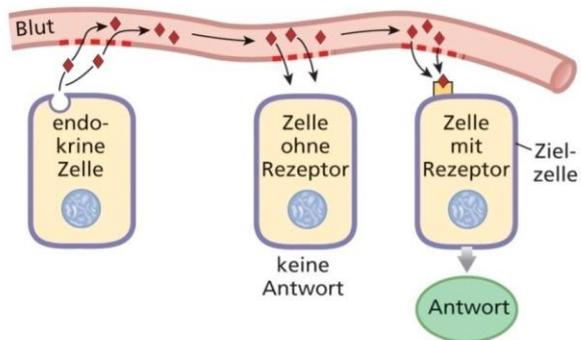
- Plasmodesmen oder Plasmodesmata (Kanäle, die Zellwände durchstossen)
 - Wasser und niedermolekulare gelöste Stoffe können durch (unter besonderen Umständen auch Protein- und RNA-Sorten)
- tight junctions
 - Die Membranen benachbarter Zellen werden so zusammengeschlossen, dass eine Diffusion von Stoffen zwischen den Zellen nicht möglich ist.
 - Absolut dicht (z.B. Darm)
- Desmosomen legen die Zellen zu festen Lagen zusammen. Intermediärfilamente verankern sie im Cytoplasma.
- gap junctions (zytoplasmatische Kanäle) : bilden direkte zytoplasmatische Verbindungen zwischen benachbarten Zellen.



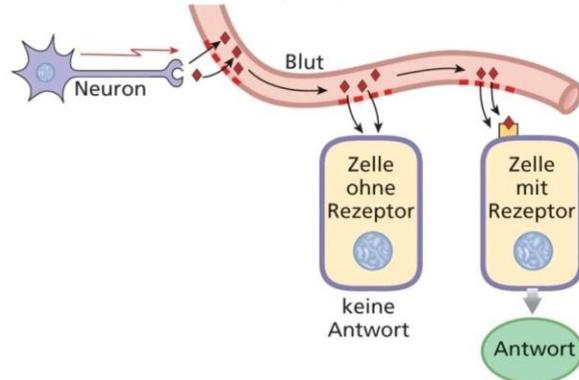
Typen:



(a) **Hormone** werden von einer endokrinen Drüse oder von endokrinen Zellen ins Blut sezerniert. Nur Zielzellen mit passenden Rezeptoren für das jeweilige Hormon können auf das Signal antworten.



(c) **Neurohormone** sind chemische Signalmoleküle, die von Neuronen ins Blut freigesetzt werden, um zu weiter entfernten Zielzellen zu gelangen.



(b) **Neurotransmitter** sind chemische Signalmoleküle, die von Neuronen ausgeschüttet werden und dann durch einen schmalen Spalt zu einer spezifischen Zielzelle diffundieren. Neuronen leiten außerdem elektrische Signale weiter.

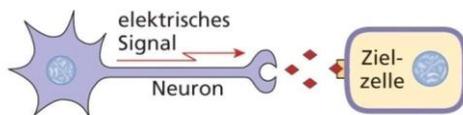


Abbildung 6.2: Weitreichende Zell-Zell-Kommunikation.

4. Evolution

Nicht relevant

5. Botanik

Nicht relevant

6. Zellzyklus und Zellteilung

Begriffe

| | |
|------------------------------|---|
| <i>Chromosom:</i> | langes, aufgerolltes DNA – Molekül, trägt 100e-1000e von Genen |
| <i>Somatische Zellen:</i> | alle ausser Sperma- und Eizellen; 23 Chromosomenpaare |
| <i>Autosomen:</i> | alle „Nicht - Geschlechtschromosomen“, also alle ausser X und Y |
| <i>Homologe Chromosomen:</i> | die beiden Chromosomen, die ein Paar bilden; tragen die Informationen für dasselbe (Ausnahme: Geschlechtschromosomen) |
| <i>Gameten:</i> | Sperma- und Eizellen, haben 22 Autosomen +1 Geschlechtschromosom haploide Zellen |
| <i>Syngamie:</i> | Befruchtung; Verschmelzen von Eizelle und Sperma, führt zur Zygote (diploid; gesamter doppelter Chromosomensatz) |
| <i>Genom:</i> | Ausstattung der Zelle mit DNA, der genetischen Information |
| <i>Chromatin:</i> | DNA-Protein-Komplex, kontrolliert die Aktivität der Gene |
| <i>Mitose:</i> | Kernteilung |
| <i>Cytokinese:</i> | Teilung des Cytoplasma |
| <i>Meiose:</i> | geschlechtliche Fortpflanzung, Tochterzellen erhalten nur Hälfte der elterlichen Chromosomen |

Unterschied Zellteilung und Zellwachstum

Zellteilung ist diskontinuierlich, während Zellwachstum kontinuierlich verläuft. Dafür ist Zellteilung ein wiederkehrender zyklischer Prozess = Zellzyklus.

Phasen des Zellzyklus

Interphase ~15h

- 1. G1-Phase:** 5h (Gap 1 = Lücke): Zellwachstum & Vorbereiten der Chromosomen für die Replikation
- 2. S-Phase:** 7h DNA-Replikation
- 3. G2-Phase:** 3h Zellwachstum und Synthese von Proteinen für die Mitose.
- 4. M-Phase:** Mitose ~1h

Prophase:

- Abbau der Kernhülle
- Kondensation der Chromosomen = Verdichtung der DNA zu Chromosomen
- Aufbau der Mitosespindel. Noch haben die Spindelmikrotubuli keinen Zugang zu den kondensierten Chromosomen, da die Kernhülle noch intakt ist.
- Die homologen Chromosomen paaren sich und tauschen Stücke aus.
- In 5 Stadien Aneinanderlagerung der homologen Chromosomen zum synaptonemalen Komplex
 1. Leptotän (erste Spiralisierung der Chromosomen; an Kernmembran fixiert)
 2. Zygotän (Paarung homologer Chromosomen; Bildung des synaptonemalen Komplexes)
 3. Pachytän (Unterteilung in zwei Chromatiden sichtbar (Tetrade); Crossing-over)
 4. Diplotän (Parallelanordnung lockert sich; Kreuzungsstellen als Chiasmata sichtbar)
 5. Diakinese (Chromosomen haben maximale Kondensation; Auflösung der Kernmembran)

Prometaphase:

- Auflösung der Kernhülle
- Die Chromatiden sind auf der Metaphasenplatte angeordnet.

Metaphase:

- Aufbau des Spindelapparates aus Mikrotubulifasern (Centrosomen, Spindelfasern und Astralmikrotubuli)
- Chromosomen ordnen sich in der Äquatorialebene der Zelle an.
- Die Chromosomen sind deutlich in ihre beiden Chromatiden gespalten, welche jedoch immer noch durch das Centromer zusammengehalten werden.
- Die Chromosomen sind schlussendlich mit Spindelfasern an den einen oder anderen Spindelpol verbunden.

Anaphase:

- Durch Zertrennung des Centromers werden die Chromosomen geteilt.
- Die Chromatiden werden durch die Spindelfasern je an einen Spindelpol gezogen.

Telophase:

- Rückbildung des Spindelapparates
- Entspiralisierung Chromosomen → an beiden Zellpolen entsteht ein Chromatingerüst.
- Es bildet sich ein Kern um jedes Chromatingerüst.
- Durch die Neubildung von Zellmembranen teilt sich die Zelle in der Region der Äquatorialebene.

Cytokinese:

- Teilung Cytoplasmas

Bedeutung der Kontrolle des Zellzyklus

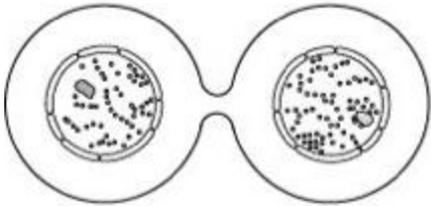
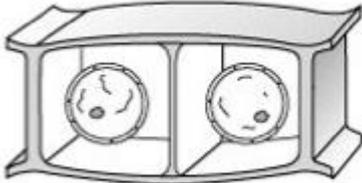
- Gewährleistung, dass Prozesse in der richtigen Reihenfolge ablaufen und die externen (z.B. Nährstoffe oder Wachstumsfaktoren fehlen) und internen (DNA verdoppelte, Grösse verdoppelt) Bedingungen für die Teilung erfüllt sind.
- Fehler im Kontrollsystem des Zellzyklus (Mutationen) führen häufig zu Tumoren!!
- Kontrolle wird durch spezifische Proteine, wie Zykline und Zyklin-abhängige Kinasen (Cdk's), und Wachstumsfaktoren reguliert.
- Checkpoints:
 - M-G1-Phase: Chromosomen komplett getrennt?
 - G1-S-Phase: Zellgrösse, Umweltbedingungen in Ordnung?, DNA beschädigt?
 - S-G2-Phase: Übergang
 - G2-M-Phase: Zellgrösse, DNA repliziert?

Verpackungsdichte der Chromosomen

In den Chromosomen ist der DNA-Doppelstrang um Histone gewickelt. Die so entstandene Kette ist wiederum in sich selbst verdreht und ist zu dem für Chromosomen typischen x-förmigen Packet zusammengewickelt.

Folglich ist eine hohe Verpackungsdichte der DNA erreicht: Der zuvor etwa 5cm lange DNS-Strang ist somit auf eine Länge von weniger als 5 μm (Faktor 104) verkürzt.

Unterschied Zytokinesen: tierische Zelle vs. pflanzliche Zelle

| Tierischen Zelle | Pflanzenzellen |
|---|---|
| <p>Im Bereich der Furche liegt ein kontraktiler Ring aus Mikrofilamenten (Aktin-Myosin-Ring) welcher sich zusammenzieht, bis die Furche so gross ist, dass sich die Zellen voneinander abgeschnürt haben.</p>  | <p>Im Innern wird eine Zellplatte aus Zellwandmaterial gebildet, welche das Zellplasma für die zwei Tochterzellen trennt.</p> <p>Später wird daraus dann eine neue Zellwand gebaut und so werden die Tochterzellen endgültig getrennt.</p>  |

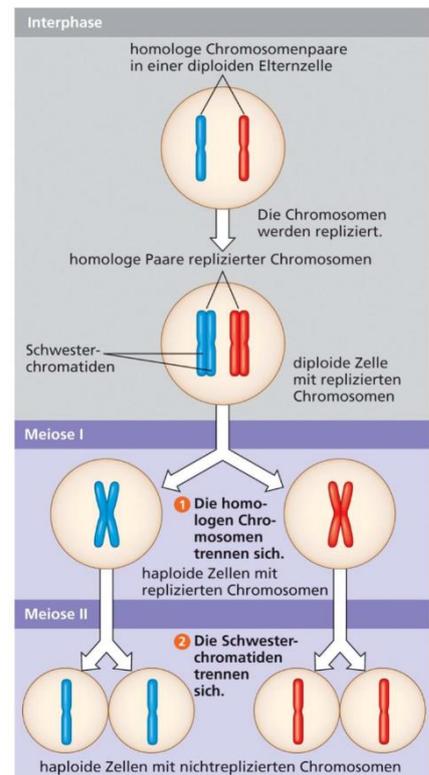
Was ist Meiose?

Mechanismus der Zellteilung bei Organismen mit geschlechtlicher Fortpflanzung. In der Meiose wird der diploide Chromosomensatz zum haploiden Status reduziert, um Verdoppelung des Chromosomensatzes bei der Befruchtung zu kompensieren. Es entstehen 4 Tochterzellen, von denen jede den halben Chromosomensatz der Ursprungszelle enthält. Zellen sexueller Fortpflanzung, Gameten / Keimzellen, sind haploid.

Fertilisation / Befruchtung: Vereinigung der Zellkerne eines Spermiums und einem Ei. Daraus entsteht eine befruchtete Eizelle, die Zygote, welche diploid ist.

Warum beinhaltet die Meiose 2 Zellteilungen (Meiose I und Meiose II)

Zuerst müssen Keimzellen gebildet werden, damit sie haploid werden. = Reduktionsteilung



Unterschiede Mitose und Meiose

| | Mitose | Meiose |
|---|---|---|
| Zahl der Zellteilungen | Eine (Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase) | Zwei (jeweils bestehend aus Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase) |
| Chromosomensatz zu Beginn der Teilungsvorgänge | haploid, diploid oder polyploid | diploid (2n) |
| Dauer der Prophase | relativ kurz | deutlich länger (Tetradenbildung, Crossing-Over ...) |
| Endergebnis (Zahl der Tochterzellen, Chromosomenzahl) | Zwei, jede diploid (oder entsprechend); genetisch mit der Mutterzelle identisch | Vier, haploid; weder mit Mutterzelle noch mit Schwesterzellen identisch |
| Bedeutung für den Organismus | Entwicklung eines vielzelligen Organismus; Wachstum; Heilungsprozesse | Herstellung von Geschlechtszellen; Reduktion der Chromosomenzahl auf die Hälfte |

Neusortierung der genetischen Information in der Meiose

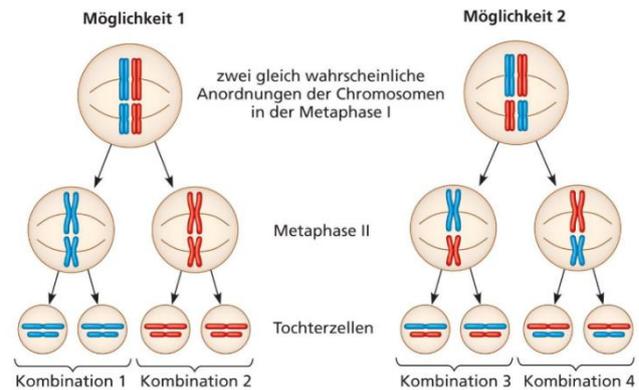
Freie Rekombination der Chromosomen: Bei der Metaphase I ist es zufällig, welches Chromosom des homologen Paares gegen welchen Pol ausgerichtet ist. Dadurch erfolgt eine zufällige Verteilung der mütterlichen und väterlichen Chromosomen. Es gibt dabei 2n Möglichkeiten (n = haploide Chromosomenzahl des Organismus)

Crossing-over: (während Prophase I) Durch Crossing-over entstehen Chromosomen, die ein einzigartiges Gemisch aus väterlichem und mütterlichem Material darstellen. In jedem Chromosomenpaar des Menschen etwa 2-3 Crossing-over. Je grösser das Chromosom, desto häufiger passiert es. 1 ist das grösste und 22 das kleinste.

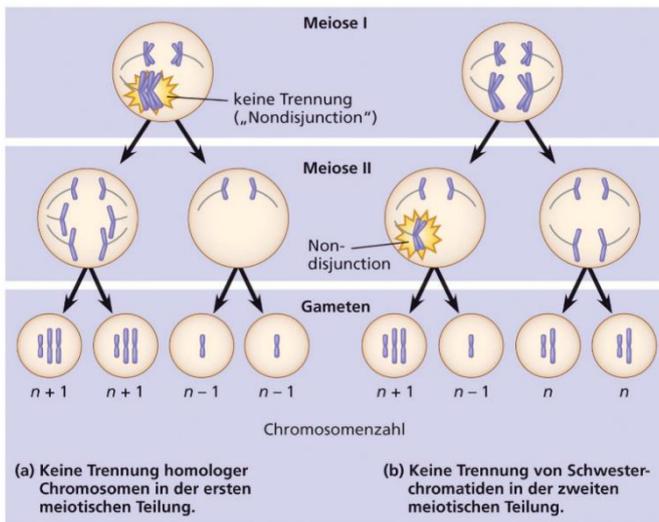
Zufällige Befruchtung: Wenn jeder Elternteil 2n verschiedene Gameten erzeugen kann, so produzieren die Eltern zusammen eine Zygote, die eine unter 2n x 2n möglichen Rekombinationen darstellt .

Vorteile:

- neue Mischung, neue Eigenschaften
- Variabilität und Selektion als Grundlage der Evolution neuer Arten
- Forschung genetischer Manipulation



Meiosefehler



Wenn bei der Meiose keine Trennung der replizierten Chromosomen erfolgt, entstehen Monosomien / Trisomien, welche meist letal sind, weil die bei der Trisomie die Balance der Genprodukte gestört ist. Z.B. Trisomie 1, 2, 3, 4

Lebensfähiges Beispiel: Down-Syndrom (Trisomie 21): Häufigkeit 1:700. Geistige Retardierung und körperliche Anomalien.

Polyploide sind allgemein vom Aussehen her „normaler“ als Aneuploide. Offensichtlich stört ein zusätzliches (oder fehlendes) Chromosom die genetische Balance weit mehr als ein zusätzlicher vollständiger Chromosomensatz (z.B. die Viscacha-Ratte aus Argentinien).

7. Genetik

Begriffe

Hybridisierung: Paarung oder Kreuzung zweier verschiedener Merkmale reinerbiger Organismen.

Phänotyp: Erscheinungsbild; so wie er aussieht

Genotyp: genetische Konstitution (Pp und PP: denselben Phänotyp / verschiedene Genotypen)

Elternpflanzen: Parentalgeneration (P-Generation)

F1-Generation: erste Filialgeneration, unmittelbaren Nachfahren

F2-Generation: Nachfahren der ersten Folgegeneration

Gen: DNA Abschnitt für vererbliche Merkmale

Allele: verschiedene Zustände eines Genes (z.B. Allel für Augen einmal blau einmal in braun)

homozygot: Tragen von zwei gleichen Allelen

heterozygot: Tragen von verschiedenen Allelen

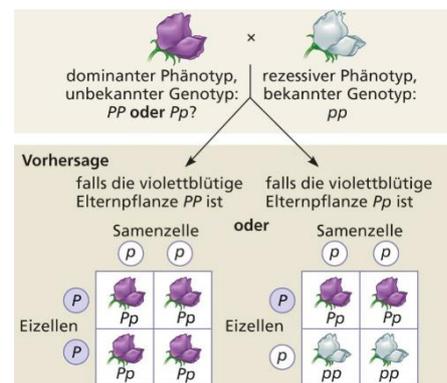
hemizygot: Tragen von nur einem Allel

rezessiv: im heterozygoten Zustand keine Merkmalsausprägung

dominant: im heterozygoten Zustand Merkmalsausprägung

kodominant: beide Allele führen im heterozygoten Zustand zur Merkmalsausprägung

Rückkreuzung (Bild): Kreuzung eines Individuums unbekanntem Genotyps mit einem rezessiv-homozygoten Individuum derselben Art. Um den Genotyp eines Individuums mit einem dominanten Phänotyp zu ermitteln, muss man ein dominantes Allel aufweisen. Könnte homozygot dominant oder heterozygot sein.



Vererbungslehre

- Uniformitätsregel (Reziprozitätsregel)

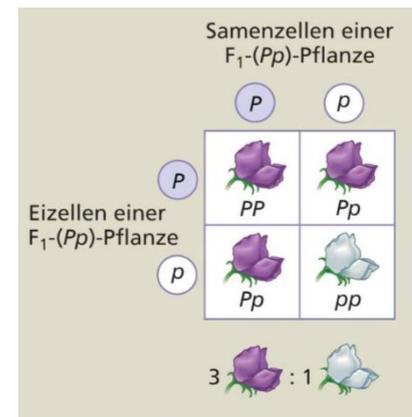
Kreuzt man zwei Individuen einer Art, die sich in einem Merkmal reinerbig unterscheiden

(homozygot), sind die Nachkommen in der F1 Generation untereinander gleich (uniform), weil eines der Merkmale rezessiv ist.

- Spaltungsregel

Kreuzt man die Mischlinge (mischerbig, heterozygot) untereinander, so treten in der F₂-Generation auch die Merkmale der Eltern in einem festen Zahlenverhältnis wieder auf (3:1 bei dominant - rezessivem Erbgang).

Punnett-Quadrat (Bild): Diagramm zur Vorhersage der Ergebnisse einer genetischen Kreuzung zwischen Individuen mit bekanntem genetischen Aufbau.



- Unabhängigkeitsregel

- Bei der Gametenbildung wird jedes Allelpaar unabhängig von anderen Allelpaarungen verteilt -> Es entstehen zwei neue Phänotypen.
- Diese Regel gilt nur für Gene, die auf unterschiedlichen Chromosomen liegen
- nur ein Merkmal: monohybrid / zwei Merkmale: dihybrid

Merkmale, die von einem einzelnen Gen bestimmt werden, können bei Vererbung vom Mendel'schen Muster abweichen. Wenn:

- die beteiligten Allele sind nicht vollständig dominant / rezessiv
- das betreffende Gen besitzt mehr als zwei unterschiedliche Allele
- ein einzelnes Gen beeinflusst mehr als einen Phänotyp

Kreuzungsschemen mit mehreren Merkmalen

Vollständige Dominanz: heterozygote und homozygote Individuen mit dem dominanten Allel in ihrem Phänotyp sind nicht zu unterscheiden.

Unvollständige Dominanz: F₁-Hybride die einen Phänotyp zeigen, der zwischen denen der reinerbigen Eltern liegt. (z.B. Farbe Rot und Farbe Weiss sind beide dominant= Farbe Rosa)

Kodominanz: zwei Allele wirken sich unabhängig voneinander auf den Phänotyp aus. (z.B. Farbe und Muster)

Pleiotropie: Die meisten Gene zeigen mehrere phänotypische Ausprägungen. Dies ist für unterschiedlichen Symptome bestimmter Erbkrankheiten verantwortlich.

Epistasie: wenn ein Gen die phänotypische Expression eines anderen Gens verändert. (z.B. Pigmentfarbe und Pigmentstärke)

quantitative Merkmale: Merkmale mit vielen möglichen Zwischenstufen → polygene Vererbung: Phänotyp ergibt sich aus der Summe der Wirkungen von

zwei oder mehr Genen auf ein einziges Merkmal (z.B. Körpergrösse und Hautfarbe. Es gibt nicht nur gross & klein oder weiss & schwarz)

Multifaktorielle Merkmale: Der Phänotyp ist sowohl vom Genotyp als auch von der Umwelt abhängig. (z.B. Körpergrösse und Hautfarbe hängen auch von der Ernährung / der Sonne ab).

Rezessive Erbmerkmale: Viele Krankheiten werden rezessiv vererbt. Tritt nur im homozygoten Erbfall (zwei identische Allele für ein Merkmal) in Erscheinung. Merkmalsträger sind heterozygote Individuen, die das rezessive Allel in sich tragen, aber den normalen Phänotyp (z.B. Albinismus, Mukoviszidose, Sichelzellenanämie).

Dominante Erbmerkmale: Einige menschliche Erbkrankheiten können auch auf dominante Allele zurückgeführt werden. Dominante Allele, die eine tödliche (letale) Krankheit bedingen, sind viel weniger häufig als rezessive (z.B. Zwergwüchsigkeit).

8. Vom Gen zum Protein

Begriffe

Transkription: RNA-Synthese, welche durch DNA gesteuert wird. Das entstandene RNA-Molekül ist ein „Transkript“ des Gens, welches den Bauplan für ein Protein enthält. Nur ein Strang enthält die genetische Information (codogener Strang), der andere Strang wird nicht für die Synthese von Zellbestandteilen verwendet. Bei der RNA wird Thymin durch die Base Uracil ausgetauscht.

Translation: Findet in Ribosomen statt. Sie übersetzen die Basenfolge der Messenger-RNA in die Aminosäuresequenz des Polypeptids. Kombination von je drei Elementen. Es können $4^3 = 64$ verschiedene Triplets gebildet werden, was 20 verschiedene Aminosäuren ergibt.

Transkription und Translation verbinden Gen und Protein

Der genetische Code: Basensequenz der DNA (bzw. RNA) legt die Aminosäuresequenz des Proteins fest.

Ribosom: Es vermittelt die spezifische Bindung der tRNA Anticodons mit den Codons der mRNA.

Messenger-RNA: Überträgt die Informationen für die Aminosäuresequenz eines Proteins von der DNS auf die Ribosomen. An Stelle von Thymin tritt Uracil.

Transfer-RNA: Ist das Adaptermolekül bei der Proteinsynthese, übersetzt mRNA Codons in Aminosäuren und transportiert Aminosäuren zu den Ribosomen.

Proteine zur Replikation der DNA

Topoisomerase schneidet die Ursprungs-DNA, dreht die Stränge auf und verknüpft sie wieder kovalent. So wird die Spannung abgebaut.

Das Enzym DNA-Helikase bricht H-Brücken zwischen beiden Polynucleotid-Strängen. So wird der DNA-Doppelstrang reissverschlussartig geöffnet.

Frei herumschwimmende Nucleotide (Proteine) lagern sich an die Basen der geöffneten Einzelstränge gemäss der Komplementärregel an. → Stabilisieren

Die Primase katalysiert die Synthese von RNA-Primern. (Sie setzt den Primer an das 3'Ende)

DNA-Polymerase startet beim Primer und verbindet die angelagerten Nucleotide durch Esterbindungen zu einem neuen Strang.

RNase H entfernt dann die Primer

DNA-Polymerase füllt dann die Lücken mit Nucleotiden

Ligase verknüpft die Okazaki Fragmente mit dem Mutterstrang

Okazaki Fragmente

Die Polymerase bewegt sich Richtung Helikase; beim Leitstrang funktioniert das gut. Der Folgestrang muss aber genau in die andere Richtung ergänzt werden. Der Primer wird also zwischen Helikase und 5' Ende angesetzt und die Polymerase synthetisiert den Strang in Richtung 5' Ende also entgegengesetzt der Helikase.

Die Stücke die einzeln hergestellt werden, nennt man Okazaki – Fragmente. Sie sind 100 – 200 Nukleotiden lang.

Aufbau der Gene

Ein Gen ist eine Region der DNA, deren Produkt entweder ein Polypeptid oder ein RNA ist. Die Gene werden reguliert. Diese Kontrolle der Genexpression macht es möglich, dass sich in mehrzelligen Eukaryoten Zellen mit derselben DNA zu verschiedenen Zelltypen entwickeln können.

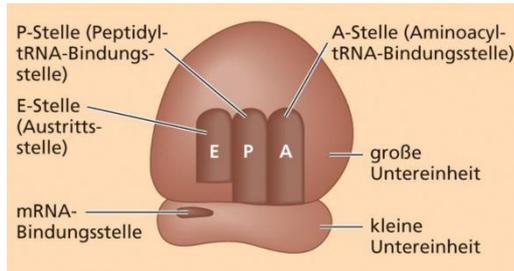
Die meisten Gene und ihre primären RNA-Transkripte enthalten *nicht codierende Bereiche* (Introns), welche sich zwischen *codierenden Bereichen* (Exons) befinden. Durch Transkription entsteht ein Primärtranskript mit Introns und Exons. Reife mRNA ist, wenn aus dem Primärtranskript Introns entfernt & Exons zusammengespleisst werden. So entsteht eine durchgehend codierte mRNA, die durch die Kernporen in das Zellplasma gelangt.

Introns:

- Anzahl pro Gen variiert stark. Prokaryotische Gene enthalten keine Introns.
- meistens keine deutliche/bekannte Funktion
- Wahrscheinlich regulierenden Effekt auf Zelle. Einige Sequenzen kontrollieren die Genaktivität. Einige Gene können aber auch die Informationen für mehrere verschiedene Proteine geben, je nachdem, welche Stücke herausgeschnitten werden.
- Zudem bewirken Introns, dass die Exons weiter auseinander liegen. Damit wird die Chance für ein Crossing – Over und somit für eine Rekombination grösser.
- Am Ende wird noch ein Poly-A-Schwanz und eine Schutzgruppe angehängt, damit die RNA stabiler ist.

Aufbau von Ribosomen

In eukaryotischen Zellen ist das Ribosom grösser.



- A-Stelle: Aminoacyl-tRNA-Bindungsstelle (Erkennungsort)
- P-Stelle: Peptidyl-tRNA-Bindungsstelle (Bindungsort)
- E-Stelle: Exit-Site der entladenen tRNA (Exportort)

Ablauf Proteinsynthese

- Bei Eukaryoten bindet die kleine ribosomale Untereinheit an die 5'-cap Struktur und wandert entlang der mRNA bis zum Startcodon AUG
- Wenn das AUG gefunden wurde, kommt eine grosse Untereinheit dazu.
- Dann versuchen unterschiedliche tRNAs an der A-Stelle zu binden. Nur das mit dem richtigen Code kann dann binden.
- Ein rRNA Molekül der grossen Untereinheit katalysiert die Peptidbindung zwischen der Polypeptidkette und dem neuen Aminosäurerest.
- Die tRNA wird von der A zur P-Stelle verlagert. Die vordere tRNA wird zur E-Stelle verlagert und freigesetzt.
- Stop-Codons: führen zum Abbruch der Proteinsynthese → (UAA, UGA, UAG)

Eine mRNA kann gleichzeitig von mehreren Ribosomen übersetzt werden. Wenn sich mehrere Ribosomen hintereinander anlagern, entsteht ein Polyribosom.

Um zu einem bestimmten Zielort zu gelangen, besitzt das Protein am Anfang ein Signalpeptid aus zirka 20 AS. Ein SRP (signal recognition protein) bindet am Signalpeptid und stoppt die Synthese. Das SRP bindet an einem Rezeptorprotein an der Organellmembran. Das SRP fällt ab und die Synthese geht weiter. Gleichzeitig wird die Peptidkette durch die Membran geschleust. Die fertige Kette verlässt das Ribosom und faltet sich im inneren des Organells.

Wieso werden zirka 1/3 der neuen Proteine wieder abgebaut ?

Falsch gefaltete Proteine werden erkannt, weil hydrophoben Aminosäuren, die normalerweise im Inneren des Proteins liegen, an der Proteinoberfläche exponiert sind. Falsch gefaltete Proteine werden entweder mit Hilfe von Hilfsproteinen (Chaperone) repariert oder wie in den meisten Fällen wieder abgebaut.

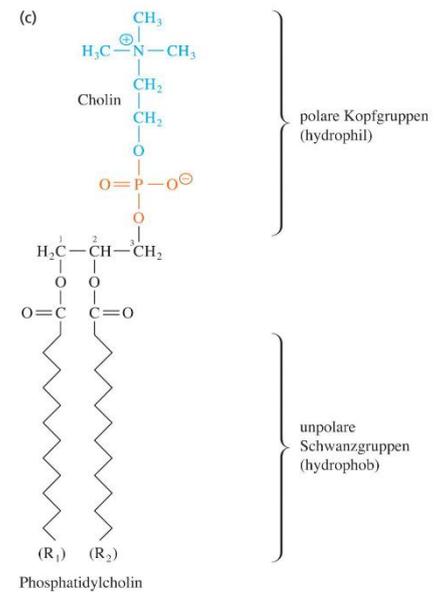
Falls zu viele Fehler entstehen, begeht die Zelle Selbstmord.

9. Membrane Rezeptoren

Membranlipide

sind amphipatisch (hydrophiler, polarer Kopf)

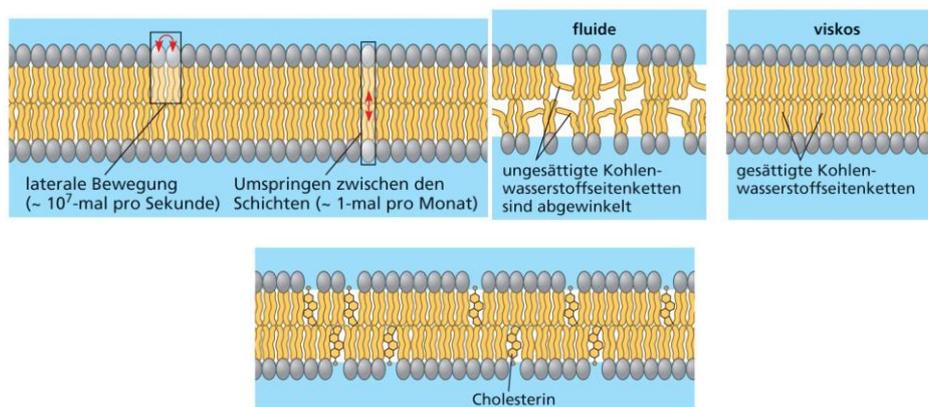
- Phospholipide:
 - häufigsten Lipide in der Plasmamembran
 - können sich innerhalb der Doppelschicht bewegen
 - haben zwei hydrophobe, unpolare Schwanzteile
 - negativ geladene Phosphat-Gruppe (bei pH 7,0), mit Alkohol verestert. Diese beiden Komponenten bilden den polaren Kopf des Moleküls.
 - Die Phosphat-Gruppe ist mit der dritten Hydroxy-Gruppe von Glycerol verestert. Die erste und zweite Hydroxy-Gruppe von Glycerol ist mit jeweils einer unpolaren Fettsäure verknüpft und bildet so den unpolaren Schwanzteil
- Cholesterol
- Glycolipide: haben zwei hydrophobe, unpolare Schwanzteile



Länge der Schwanzteile und Sättigungsgrad tragen wesentlich zur Fluidität der Membran bei.

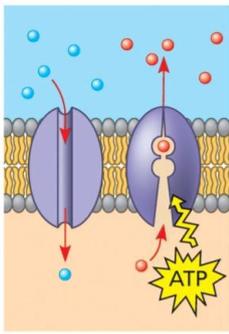
Aufbau anhand des Flüssig-Mosaik-Modells

Das Flüssig-Mosaik-Modell interpretiert eine Membran als eine zweidimensionale Flüssigkeit, in die ein Mosaik aus verschiedenartigen Proteinen eingebettet ist.

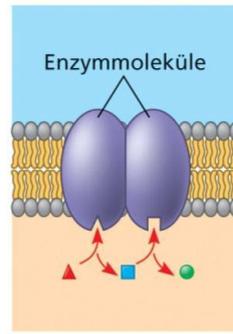


- Periphere Membranproteine: liegen relativ lose gebunden auf der Membranoberfläche
- Integrale Membranproteine: sind tief in den hydrophoben Kernbereich der Lipiddoppelschicht eingebettet
- Transmembranproteine: Durchdringen Membran vollständig

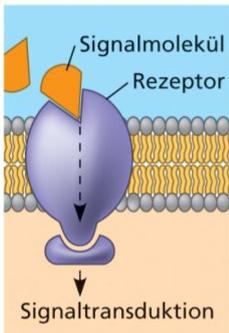
Funktion der Membranen und der eingelagerten Proteine



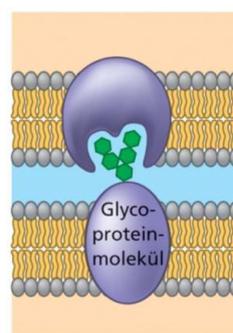
(a) **Transport.** Links: Ein Protein durchspannt die Membran und bildet einen hydrophilen selektiven Kanal quer zur Membran aus. Rechts: Andere Proteine transportieren eine Substanz von einer Seite der Membran auf die andere, indem sie im Verlauf des Transportvorgangs ihre Konformation ändern. Einige dieser Proteine pumpen Stoffe aktiv durch die Membran, angetrieben durch ATP-Hydrolyse.



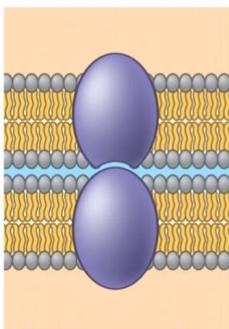
(b) **Enzymatische Aktivität.** Ein membranständiges Protein kann enzymatische Aktivität entfalten, wobei das aktive Zentrum des Proteins für Substrate in der angrenzenden Lösung zugänglich ist. In einigen Fällen sind mehrere Enzyme in einer Membran zu einer Gruppe assoziiert. Diese Gruppe katalysiert aufeinander folgende (konsequente) Schritte eines Stoffwechselfpades in räumlicher Nähe zueinander.



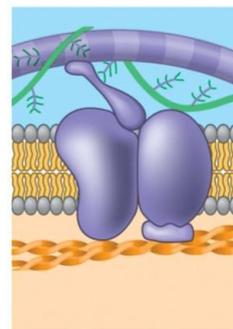
(c) **Signaltransduktion.** Ein Rezeptorprotein hat eine Bindungsstelle, die der Raumstruktur eines Botenstoffes (z.B. ein Hormon) komplementär ist. Der externe Botenstoff (Signalmolekül) verursacht durch Bindung an das Rezeptorprotein eine Konformationsänderung, die eine Weiterleitung des Signals in das Zellinnere zur Folge hat. Dies geschieht normalerweise durch die Bindung eines weiteren Proteins auf der cytoplasmatischen Seite der Membran (siehe auch Abbildung 11.4).



(d) **Zell-Zell-Erkennung.** Einige Glycoproteine dienen als molekulare „Etiketten“, die von anderen Zellen spezifisch erkannt werden und die Identifizierung des Zelltyps erlauben.



(e) **Zwischenzellverbindung.** Membranproteine benachbarter Zellen können durch verschiedene Typen von Zellkontakten wie *tight junctions* und *gap junctions* miteinander wechselwirken (siehe auch Abbildung 6.32).



(f) **Verankerung des Cytoskeletts und der extrazellulären Matrix (ECM).** Mikrofilamente oder andere Bestandteile des Zellskeletts können durch nicht kovalente Wechselwirkungen an Membranproteine binden – eine Fähigkeit, die dabei hilft, die Zellgestalt aufrecht zu halten, und die außerdem bestimmte Membranproteine an ihren Plätzen verankert. Proteine, die an ECM-Moleküle binden können, koordinieren extra- und intrazelluläre Änderungen (siehe auch Abbildung 6.30).

Osmose beim passiven / aktiven Transport

Osmose = Wasser diffundiert durch eine Membran vom Ort geringerer Konzentration zum Ort höherer Konzentration.

Beim passiven Transport findet Diffusion statt = spontane und vollständige, ohne Stoffwechselenergie, irreversible Durchmischung von Teilchen in miteinander in Kontakt stehenden Stoffen.

Erleichterte Diffusion: Viele polare Moleküle und Ionen diffundieren mit Unterstützung spezieller Transportproteine passiv in die Zelle hinein oder aus ihr heraus. Kanalproteine sorgen für Kanäle, die bestimmte Moleküle oder Ionen die Membran passieren lassen.

Beim aktiven Transport werden gelöste Stoffe gegen ihr Konzentrationsgefälle unter Energieverbrauch transportiert. Transportproteine pumpen sie durch Membranen. Der Prozess erfordert Energie, die das ATP bereitstellt. Erlaubt den Zellen, ein Konzentrationsgefälle aufrechtzuerhalten, das sich von ihrer Umgebung unterscheidet. Z.B. Natrium-Kalium-Pumpe, Protonenpumpe, Cotransport.

Funktion / Bedeutung aktiver Transporte

Na-K Pumpe = 3 Na⁺ werden aus der Zelle und 2 K⁺ -Ionen in die Zelle gepumpt. In Tierzellen ist das die wichtigste elektrogene Pumpe.

Protonenpumpe = Wasserstoffionen werden in den Zellen von Pflanzen, Pilzen und Bakterien aktiv herausschafft.

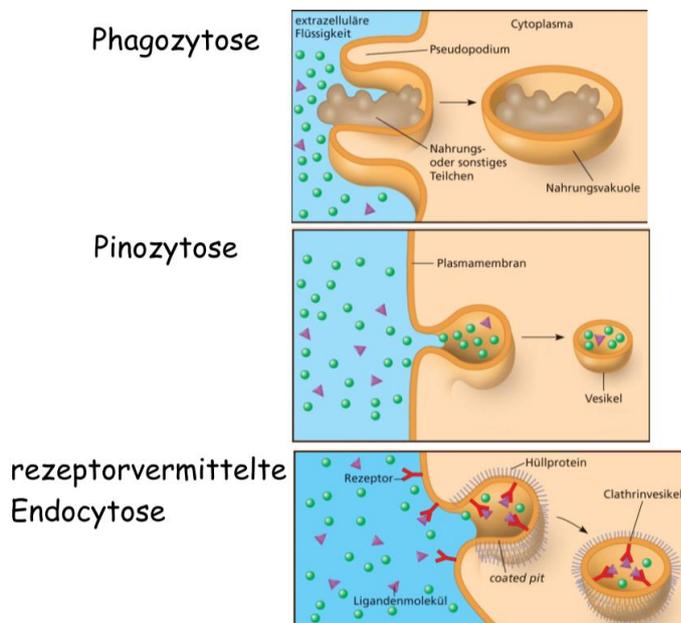
Cotransport: bei einem aktiven Transport werden indirekt auch weitere Stoffe transportiert. Z.B. Aufnahme von Saccharose in die Zelle mittels H⁺ -Ionen Diffusion.

Formen der Endozytose

Exocytose: Ausschleusen von Stoffen (hydrophile, nichtmembrangängig) aus der Zelle.

(Transportvesikel wandern an die Membran, verschmelzen mit ihr und geben ihren Inhalt frei)

Endocytose: Die Zelle nimmt Makromoleküle auf, indem sie an der Plasmamembran Vesikel bildet und abschnürt. Es gibt 3 Typen:



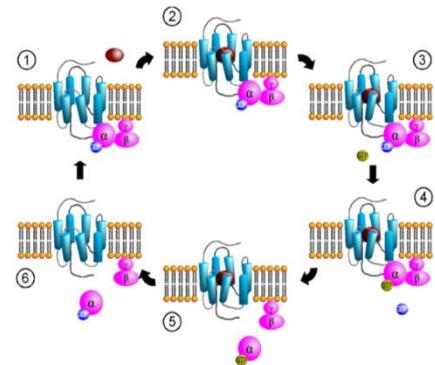
Funktionsweise von G-Protein gekoppelten Rezeptoren sowie Rezeptortyrosinkinasen und intrazellulärer Rezeptoren

Signalrezeptoren sind meistens Proteine der Plasmamembran, wobei sich Rezeptoren bei der Bindung des Liganden konformal ändern. Es gibt drei wesentliche Typen von Membranrezeptoren:

- G-Protein-gekoppelte Rezeptoren
- Rezeptortyrosinkinasen
- Rezeptorionkanäle

G-gekoppelte Rezeptoren

Alle hepta-helikalen Membranrezeptoren, die zur Bindung und Aktivierung von G-Proteinen (=GTP Bindende Proteine) befähigt sind, fallen unter diesen Namen. Sie sind für die Erkennung zuständig.

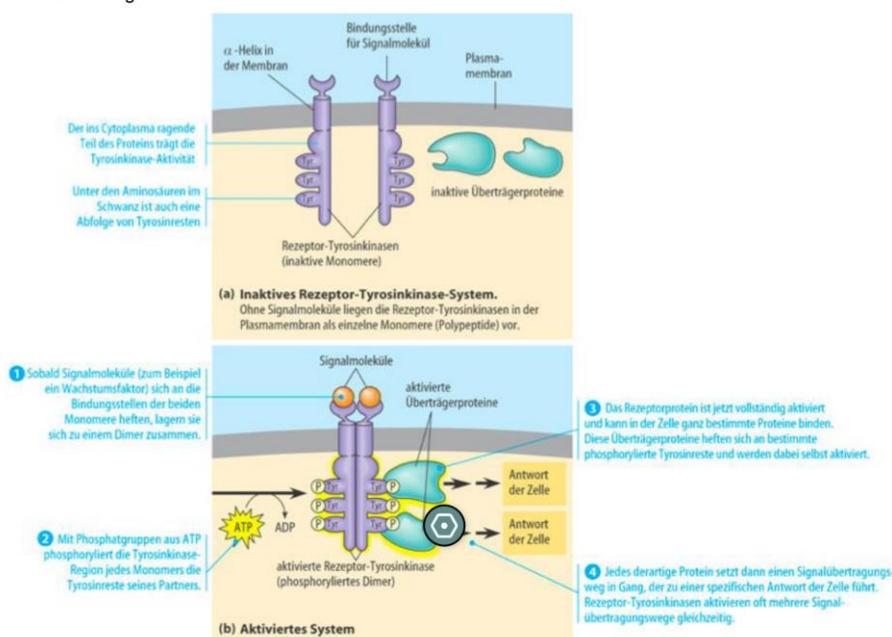


1-2: Bindung eines extrazellulären Liganden führt zur Konformationsänderung (3) des Rezeptors. Der Rezeptor aktiviert das intrazellulär gebundene G-Protein durch den Austausch von GDP zu GTP (4). Die α -Untereinheit dissoziiert von dem Komplex und führt so die Signaltransduktion aus (5). Nach «getaner Arbeit» Spaltet die α -Untereinheit ein Phosphat wieder ab, was zur Inaktivierten Form mit GDP führt (6), so dass die α -Untereinheit wieder mit den anderen Untereinheiten assoziieren kann.

Rezeptortyrosinkinasen

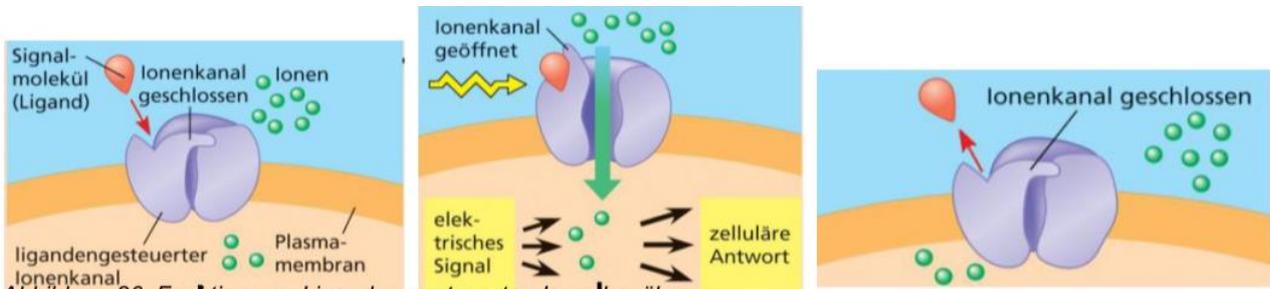
Übertragen Phosphat auf Tyrosinreste in Proteinen. Aktivieren mehr als ein Dutzend unterschiedliche Proteine → setzen somit ebenso viele Signaltransduktionswege und zelluläre Antworten in Gang.

Aktivierung:



Liganden gesteuerter Ionenkanal

Der Rezeptor enthält einen, als Ionenkanal fungierenden, Transmembranbereich, welcher sich öffnet, wenn der Rezeptor seine Konformation ändert. Dies geschieht nach Bindung des Liganden.

*Erkennung: Intrazelluläre Rezeptoren*

- Sind entweder im Cytoplasma oder im Zellkern der Zielzelle
- Hydrophobe / sehr kleine Teilchen können die Phospholipid Schicht der Membran überwinden
- Hydrophoben Botenstoffen wie Steroidhormone aktiviert Hormonrezeptoren und wirkt dann als Transkriptionsfaktor für ihn eigentümliche Steuerungsbereiche (Nuklidsequenzen) von Zielgenen

Mechanismus & Vorteile eines Signaltransduktionswegs erklären

Signaltransduktion beschreibt die Weiterleitung eines Signals von extrazellulär intrazellulär, so dass eine zelluläre Antwort gegeben wird. Der Vorgang wird generell in drei Schritte geteilt: Erkennung → Übertragung → Antwort. Zuerst wird ein Signal in Form eines Botenstoffs von Rezeptoren an der Zelloberfläche (oder Hormone an intrazellulären Rezeptoren) gebunden. Diese Verbindung führt zu einer Konformationellen Änderung des Rezeptors, was wiederum intrazellulär zur Auslösung der Reaktionskaskade führt. Signaltransduktion wird zur Regulierung von Proteinaktivitäten oder als sekundäre Botenstoffe (diese sind niedermolekulare, wasserlösliche und neutrale Verbindungen wie cAMP oder Adenylatcyclase) genutzt. Bsp.: Enzyme, Hormone, Neurotransmitter

Vorteile: Moleküle, die ein Signal weiterleiten sind Proteine. Signalverarbeitungsprozess umfasst mehrere Schritte → bieten Gelegenheit zur Koordination und Regulation.

10. Zellatmung

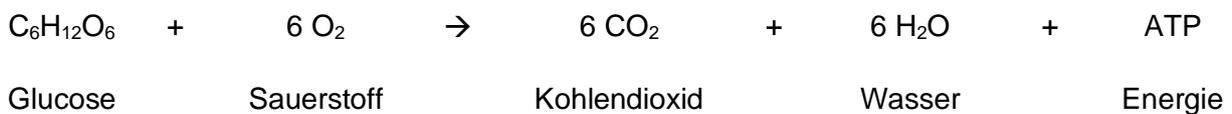
Begriffe

- Oxidation: e- Abgabe (Oxidationszahl erhöht sich)
- Reduktion: e- Aufnahme (Oxidationszahl erniedrigt sich)
- Oxidationsmittel: wird reduziert, oxidiert anderes
 - Reduktionsmittel: wird oxidiert, reduziert anderes
- Glykolyse: Zuckerspaltung
- Gärung: Abbau von Zuckermolekülen ohne Mitwirkung von Sauerstoff
- Zellatmung: Energiefreisetzung & Stoffabbau durch Gärung & biol. Oxidation
- ATP: Adenosintriphosphat; Energieträger
- Citratzyklus: Energieliefernde Oxidation org. Moleküle
- Atmungskette: ermöglicht e⁻-fluss vom NADH/FADH₂ zum molekularen Sauerstoff

Einzelschritte der «Verbrennung»

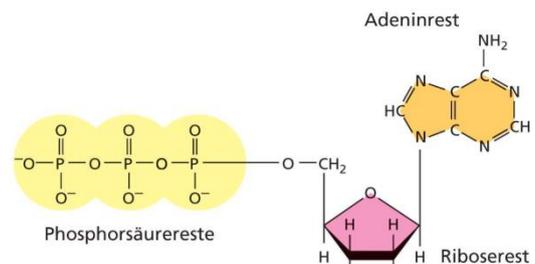
Da der bei der Verbrennung von 1 mol Glucose freierwerdende Energiebetrag sehr gross ist (2880 kJ/mol), wird der Abbau in viele Einzelschritte zerlegt.

wenn alles auf einmal herauskommen würde → Explosion



Struktur und Verwendung des Energieträgers ATP

Struktur: Nukleinsäure Adenin verkettet mit einem Zucker (Pentose/Ribose, Mitte) = Adenosin und dieser wiederum mit drei Phosphaten, die einzeln abgespalten werden können und dabei Energie produzieren.

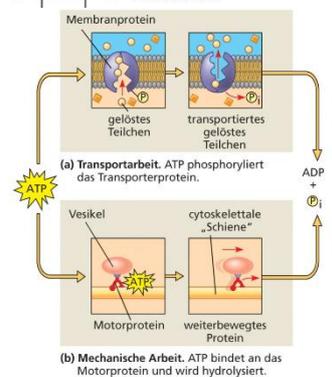


Verwendung 1: ATP treibt Transportvorgänge und mech. Arbeit an.

Verwendung 2: Derivatisierung der Aminosäure (endergon) : Glutaminsäure + Ammoniak → Glutamin

In Verbindung mit Hydrolyse wird diese Reaktion exergon.

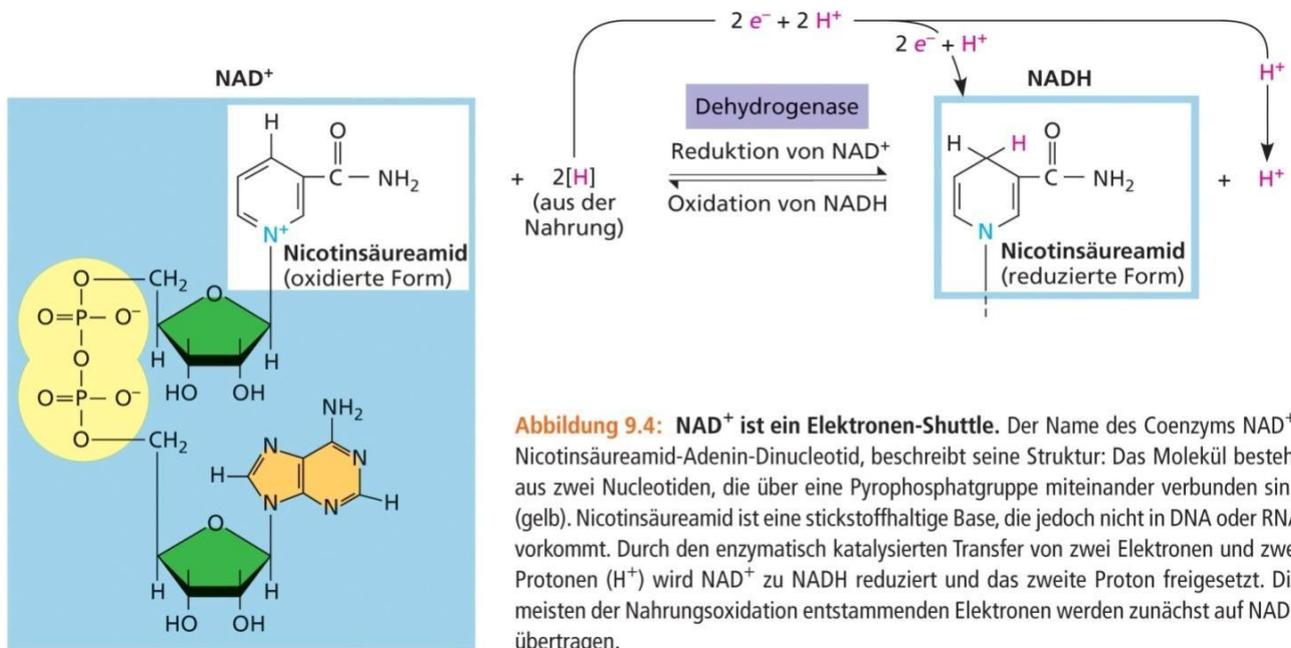
- 1) Glutaminsäure + ATP → phosphorylierte Glutaminsäure (wenig stabil) + ADP
- 2) Phosphorylierte Glutaminsäure + NH₃ → Glutamin + Phosphatsäurerest



Struktur und Verwendung des Energieträgers NADH

Elektronenträgermoleküle: Nicotinamidadenindinucleotide NAD⁺ & Flavinadenindinucleotide FAD

NAD⁺ ist in vielen exergonen Oxidationen von Metaboliten der Elektronenakzeptor. Es ist daher wie ATP ein Überträger von freier Enthalpie. Jedes NADH (die reduzierte Form von NAD⁺) repräsentiert gespeicherte Energie, die angezapft werden kann, um ATP zu synthetisieren.

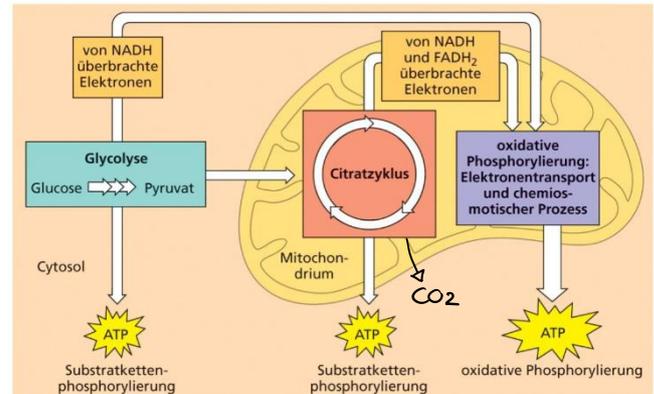


Kompartimente von Mitochondrien und Chloroplasten

| Mitochondrien | Chloroplasten |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Äussere Membran • Innere Membran • Intermembranraum • Matrix | <ul style="list-style-type: none"> • Äussere Membran • Innere Membran • Intermembranraum • Thylakoid • Stroma |
| | |

Grundvorgänge des Stoffabbaus

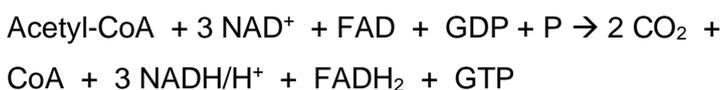
1. Abbau makromolekularer Stoffe in ihre Grundbausteine
2. *Glycolyse*: In einer Kette von Reaktionen wird Traubenzucker bis zur Stufe der "aktivierten Essigsäure" (aerob) unter Bildung von ATP und NADH/H⁺ abgebaut.
3. *Zitronensäurecyclus*: ein Kreislaufprozess, in dem die "aktivierte Essigsäure" bis zu CO₂ und NADH/H⁺ zerlegt wird.
4. Endoxidation in der *Atmungskette*, bei der der Wasserstoff des NADH/H⁺ durch Sauerstoff zu Wasser unter ATP- Bildung oxidiert wird.



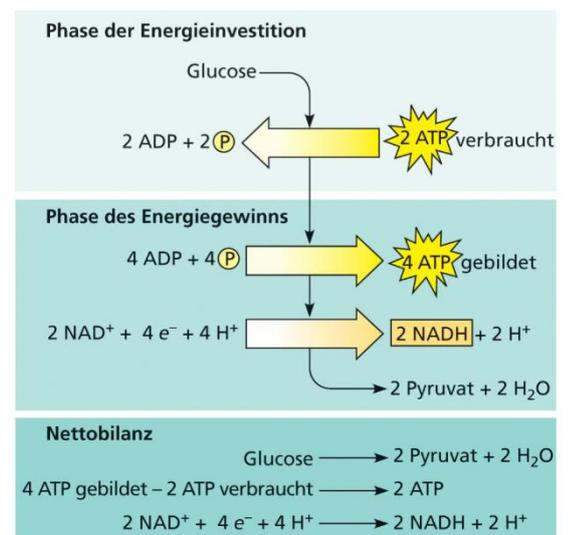
Energiebilanz Glykolyse, Citratzyklus, oxidative Phosphorylierung

Glycolyse: Abbau von Glucose (Traubenzucker) bis Lactat (Milchsäure), ohne dass dazu Sauerstoff benötigt wird. Es findet im Zellplasma statt und wird durch elf Enzyme katalysiert.

Citratcyclus: Ein Acetyl-CoA-Molekül wird in den Citratzyklus eingeschleust.

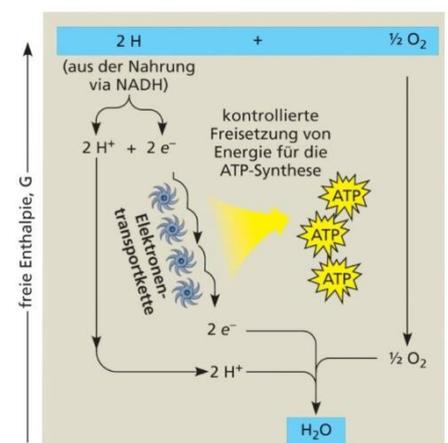


(GTP ist dem ATP analog und kann, wenn nötig in dieses umgewandelt werden)



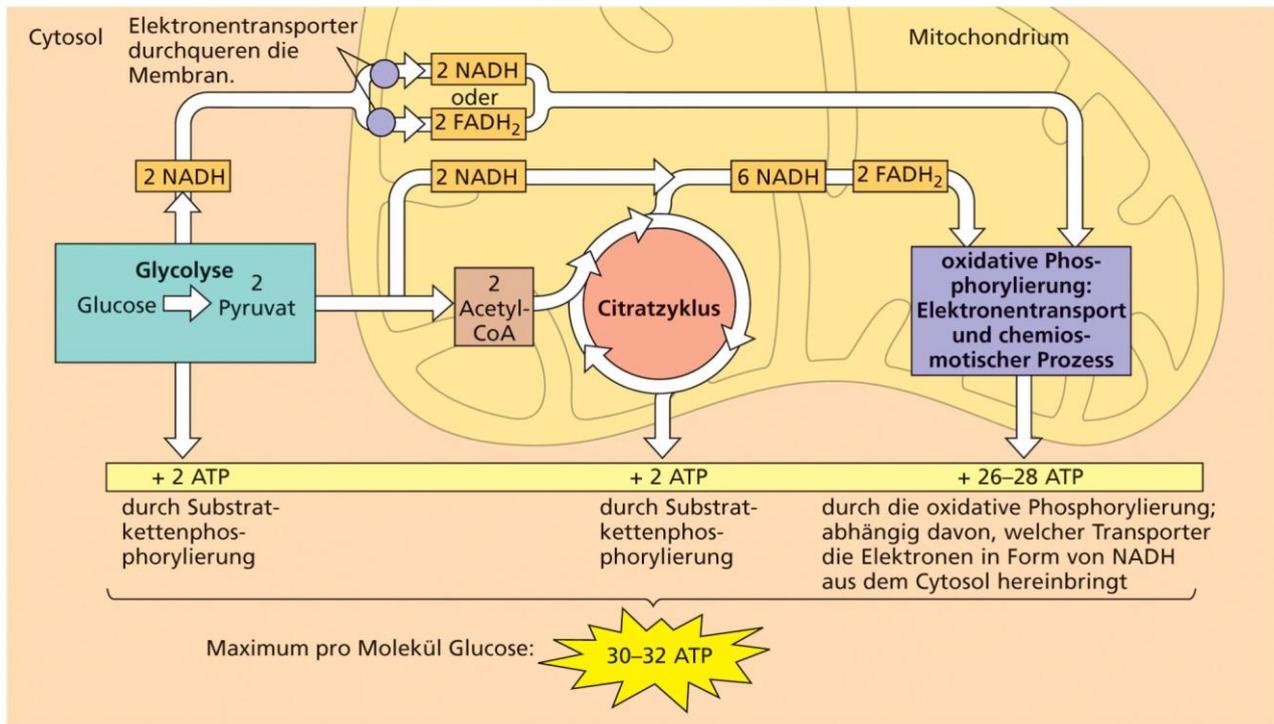
NADH und FADH₂ speichern den grössten Teil der aus der Glucose stammenden Energie. Die im Zyklus gebildeten Coenzyme NADH und FADH₂ geben die den Nahrungsmolekülen entzogenen Elektronen an die Elektronentransportkette weiter.

- **Phosphorylierung**: Abschluss der biochemischen Energiefreisetzung, da in diesem Prozess die bei der Glykolyse und dem Citrat-Zyklus reduzierten Coenzyme NADH/H⁺ und FADH₂ wieder oxidiert werden. Die daraus entstandene Energie wird wieder als ATP gespeichert
- läuft an der inneren Mitochondrien-Membran
- Oxidationsmittel ist Sauerstoff (Elektronen fließen von org. Molekülen zum Sauerstoff)



- Die Atmungskette ist ein Energiewandler, der den exergonen Fluss von Elektronen aus dem NADH und dem FADH₂ hin zum Sauerstoff für das Pumpen von Protonen aus dem Matrixraum in den Intermembranraum der Mitochondrien durch die Membran benutzt.

Prinzip der Atmungskette



Ca. 40 % der Energie in einem Glucosemolekül wird während der Zellatmung auf ATP übertragen. Der Rest wird mit Gärung umgewandelt.

ATP Synthase

- Molekulares Dynamo
- Befinden sich in der inneren Membran der Mitochondrien bei eukaryotischen Zellen & in der Plasmamembran in prokaryotischen Zellen
- ATP-Synthase koppelt den Rückfluss von H⁺ mit der Synthese von ATP aus ADP und Pi.

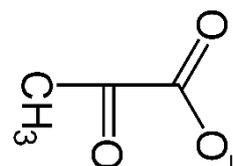
Prinzip der alkoholischen Gärung

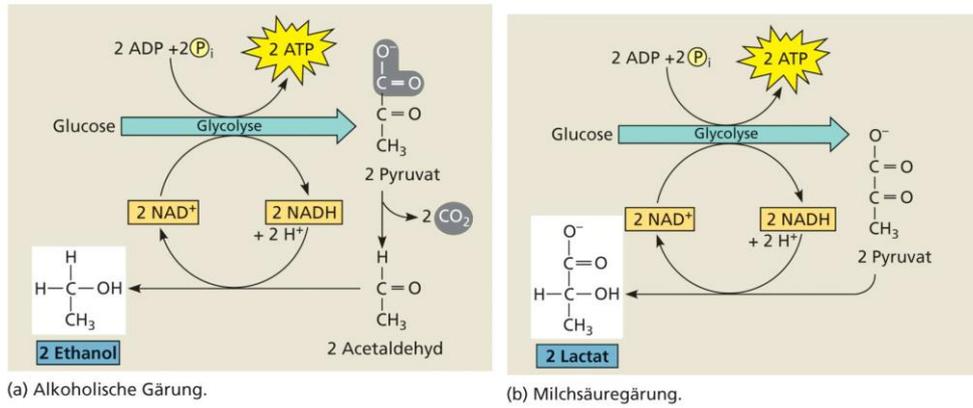
Wenn O₂ passiert Gärung.

Pyruvat / Brenztraubensäure: Schlüsselsubstanz im anaeroben wie im aeroben Stoffwechsel

Pyruvat wird in zwei Schritten zu Ethanol umgesetzt:

- Im ersten Schritt wird Kohlendioxid (CO₂) freigesetzt
- Im zweiten Schritt wird Acetaldehyd durch NADH zu Ethanol reduziert





Alkoholische Gärung:

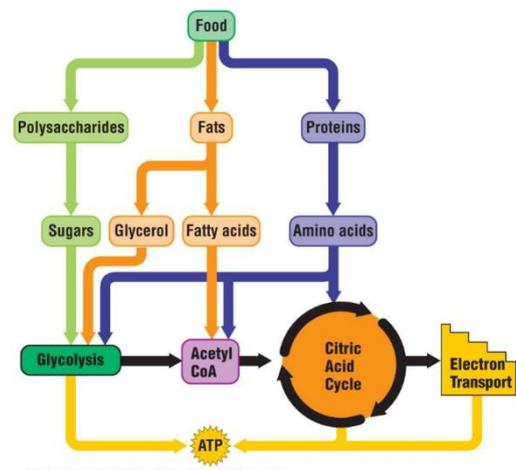
- Anaerobe Atmung nutzt eine Elektronentransportkette mit dem Sulfatanion (SO₄²⁻)
- Durch Gärung (Fermentation) kann chemische Energie sowohl ohne Sauerstoff als auch ohne eine Elektronentransportkette, also ganz ohne Zellatmung, gewonnen werden.
- Eine Gärung besteht aus der Glycolyse plus zusätzlichen Reaktionen, die das NAD⁺ durch Elektronenübertragung vom NADH auf Pyruvat oder dessen Abkömmlinge regenerieren
- Verbreitete und industriell genutzte Formen sind die alkoholische Gärung, die Essigsäuregärung und die Milchsäuregärung

Milchsäuregärung: bei z.B. Menschen

- Im Verlauf der Milchsäuregärung wird das Pyruvat ohne vorherige Decarboxylierung unmittelbar durch NADH zum Endprodukt Lactat reduziert; CO₂ wird hier also nicht freigesetzt
- Die Milchsäuregärung nutzt die Lebensmittelindustrie zur Herstellung von Joghurt, Quark und Käse
- Menschliche Muskelzellen erzeugen ATP durch Milchsäuregärung, wenn Sauerstoff knapp ist → So entsteht Muskelkater

Katabolismus verschiedener Nährstoffe

- Glucose, Aminosäuren, Fettsäuren und Glycerin werden zum gemeinsamen Zwischenprodukt Acetyl-CoA abgebaut.
- Die Acetylgruppe wird im Citratcyclus unter gleichzeitiger Reduktion von NAD⁺ und FAD zu CO₂ oxidiert.
- Die Rückoxidation von NADH und FADH₂ durch O₂ während der oxidativen Phosphorylierung liefern H₂O und ATP



11. Photosynthese

Begriffe

Photonen: sind eine Art „Grundbausteine“ elektromagnetischer Strahlung, so etwas wie „Lichtteilchen“.

Bedeutung der Photosynthese

- Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie durch Organismen.
- Aufbau energiereicher organischer Materie aus energieärmerer anorganischer Materie mit Hilfe von Lichtenergie.
- Die chemische Reaktion der Photosynthese stellt die Umkehrung der Vorgänge bei der Zellatmung dar.
- Zentraler Prozess im globalen Ökosystem. ⇒ **Kein Leben ohne Photosynthese**
- z.B. Cyanobakterien, Moose, Ferne, Blumen, Euglena (alles das grün ist)
- $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{Licht} \rightarrow \underbrace{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}_{\text{Glucose}} + \underbrace{6 \text{ O}_2}_{\text{Abfallprodukt}}$

Prinzip der Licht- und Dunkelreaktion

Lichtreaktion (in Thylakoidmembranen): Sonnenenergie dient zur Produktion von ATP und NADH (Photophosphorylierung)

- Primärer Elektronenakzeptor: Chlorophyll-a-Paar (P700 & P680) verliert in einer Redoxreaktion Elektronen. Licht (Photon) regt Elektron in höheres Energieniveau an & ein prim. Elektronenakzeptor fängt es ein.
- Jedes Photosystem besteht aus einem Reaktionszentrum mit Chlorophyll-a-Paar und einem prim. Elektronenakzeptor, umgeben von Antennenkomplex

Calvin-Zyklus/Dunkelreaktion (im Stroma): ATP liefert die chemische Energie damit CO_2 in organische Moleküle eingebaut werden kann (Kohlenstoff Fixierung), welche dann in Zucker umgewandelt werden.

- Kohlenstoff gelangt in Form von CO_2 in Zyklus
- Kohlenhydrat Glycerinaldehyd-3-Phosphat (G3P) entsteht (3C-Atome) → Für ein Zucker (Glucose) Molekül muss der Zyklus 3 Mal ablaufen.
- Zyklus besteht aus 3 Phasen:
 1. Kohlenstofffixierung : CO_2 wird mit RubisCO in 3-Phosphoglycerat umgewandelt
 2. Reduktion : verbrauchen ATP und NADPH zur Überführung in Triosephosphat (G3P)
 3. Regeneration des CO_2 -Akzeptors (RuBP)

Zusammenhang zwischen Wellenlänge und Licht

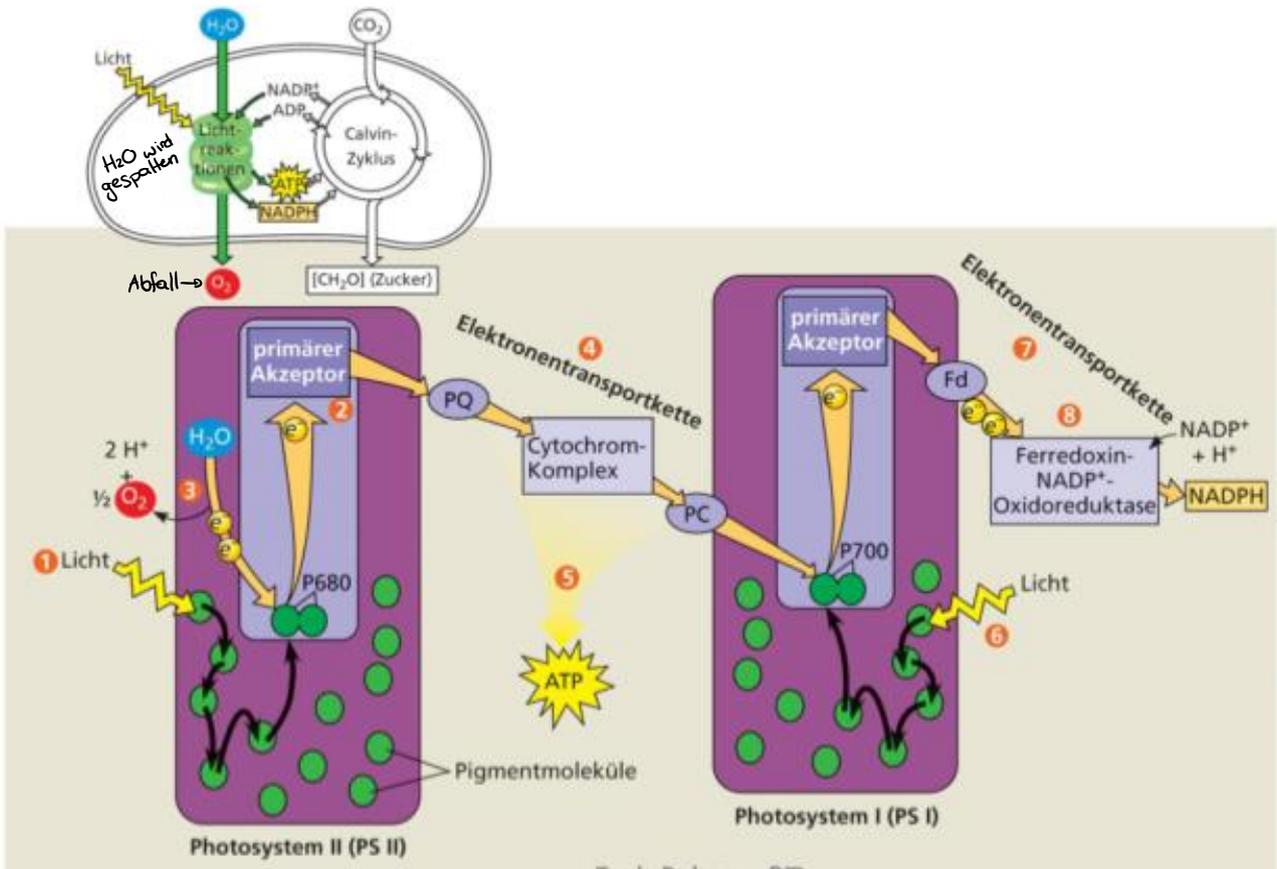
- Licht ist essentiell für das Leben → sichtbares Licht: 380 – 750nm
- Je kürzer die Wellenlänge desto grösser die Energie !

Chloroplasten liegen zu hunderten in Mesophyllzellen (Gewebe im Blattinnern) vor. Sie besitzt ein Stroma (dickflüssiger Inhalt der Chloroplasten) und Thylakoide (Membransäckchen). Ausserdem enthalten sie Chlorophyll, welches das grüne Licht reflektiert und blaues und rotes Licht aufnimmt.

- Grosse Zahl und Vielfalt der Pigmentmoleküle → grössere Oberfläche → Licht kann über einen breiten Wellenlängenbereich eingefangen werden.
- Energie wird bis zu zwei ganz bestimmten Chlorophyll-a-Moleküle weitergeleitet → Nur hier findet Photosynthese im Reaktionszentrum statt.

Verwendung Elektronentransportkette

1. Licht (Photon) trifft auf Farbstoffmolekül → hebt ein Elektron in einen energetisch höherwertigen angeregten Zustand → Energieübertrag bis zum P680
2. Vom P680 werden Elektronen auf den primären Elektronenakzeptor übertragen (P680 → P680+)
3. Wasserspaltender Komplex entzieht einem Wassermolekül zwei Elektronen (Photolyse → Freisetzung von O₂) und überträgt sie auf P680+ (P680+ → P680)
4. Elektronentransportkette vom Photosystem II zu Photosystem I
5. Elektronen passieren Elektronentransportkette → Protonen werden durch Membran gepumpt → Produktion von ATP → Chemiosmose
 - Im energetisch angeregten Photosystem II wird H₂O gespalten, wobei O₂ als «Abfall» ausgeschieden wird. Durch die Elektronentransportkette wird ein Protonengradient (innen mehr H⁺ als aussen) geschaffen, der zur ATP-Produktion verwendet wird. Danach werden im Photosystem I e⁻ auf Ferredoxin übertragen, was in einem weiteren Schritt dazu verwendet wird aus NADP⁺ und H⁺ (Nicotinamid-AdeninDinucleotid-Phosphat) das energiereichere NADPH zu bilden. Dazu werden auch die H⁺ aus der Wasserspaltung gebraucht.
6. Licht (Photon) trifft auf Farbstoffmolekül → hebt ein Elektron in eine energetisch höherwertigen angeregten Zustand → Energieübertrag bis zum P700 welches Elektronen an den Elektronenakzeptor abgibt (P700 → P700+)
7. P700+ wird durch Elektronen von der Elektronentransportkette wieder reduziert (P700+ → P700)
8. Elektronen werden vom Elektronenakzeptor auf Ferredoxin (Fd) übertragen 9. Reoxidation des reduzierten Ferredoxins durch NADP⁺ zu NADPH → dafür sind zwei Elektronen und ein Proton erforderlich.



Kohlenstofffixierung von C3, C4 & CAM Pflanzen

| C3 | C4 | CAM |
|--|---|---|
| <p>CO₂ Fixierung mit RubisCO <i>Enzym</i> ↑</p> | <p>Optimierter Calvin-Zyklus <i>effizienter</i> ↓ Enzym PEP-Carboxylase: erheblich höhere CO₂-Affinität als RubisCO → auch geringe Mengen CO₂ können verwendet werden.</p> | <p>Optimierter Calvin-Zyklus Crassulaceensäure-Stoffwechsel Enzym PEP-Carboxylase</p> |
| <p>Bsp. Reis, Weizen, Sojabohne</p> | <p>Zuckerrohr, Mais, Gräser</p> | <p>Kakteen, Ananas</p> |
| <p>Nachteil: An heissen Tagen wird die Spaltöffnung geringer. Das führt zu Wasserverlust. Die Aufnahme von CO₂ wird geringer und damit wird weniger Zucker produziert.</p> | <p>Andere Blattanatomie: räumliche Trennung der CO₂-Fixierung (Mesophyllzellen) und Einführung in den Calvinzyklus (Bündelscheidenzelle) In Chloroplasten der Mesophyllzellen wird durch PEP-Carboxylase CO₂ an PEP (Phosphoenolpyruvat) gebunden → Oxalacetat entsteht → Dieses wandert als Malat in Chloroplasten und zerfällt dort in Pyruvat und CO₂ → Bildung von NADPH + H⁺ → CO₂ in Calvinzyklus eingeschleust</p> | <p>Können Spaltöffnungen nur nachts öffnen und nehmen dann CO₂ auf. (zeitliche Trennung) Vorteil: verlieren weniger Wasser. → wird an Phosphoenolpyruvat (PEP) gebunden → über Oxalacetat zu Malat umgewandelt → als Äpfelsäure in der Vakuole aktiv gespeichert → Tagsüber diffundiert Malat ins Cytoplasma → unter CO₂ - und NADPH+ H⁺ - Abgabe zu Pyruvat → Umwandlung von Pyruvat zu PEP unter Verbrauch von ATP und Pi zu AMP und PPi → das so freigesetzte CO₂ wird zum Calvin- Zyklus zugeführt.</p> |

12. Grüne Gentechnik

Was ist Gentechnik?

- Methoden und Verfahren der Biotechnologie, die gezielte Eingriffe in das Erbgut und damit in die biochemischen Steuerungsvorgänge von Lebewesen bzw. viraler Genome ermöglichen. → nur Insertionen möglich

Was ist ein Gen?

- Abschnitt auf der DNA, der Grundinformationen für die Entwicklung von Eigenschaften eines Individuums und zur Herstellung einer biologisch aktiven RNA enthält.

Wie können Pflanzen genetisch verändert werden?

- 1.0 Methoden: grobacteriumT-DNA Transfer, Partikelbombardment, PEG-Transfektion, etc
 - Beispiel BT-Mais:
 - Durch Aufsprühen eines Pestizids kann dieses beispielsweise bei Regen in die Umwelt gelangen. → Nach Regen ist Pflanze nicht mehr geschützt
 - Durch Einbringen eines neuen Gens, kann ein Wirkstoff in der Pflanze hergestellt werden, der die Pflanze vor Schädlingen (Maiszünsler) schützt.
- 2.0 CRISPR/Cas9
 - einzelne Basen im Genom können hochspezifisch verändert werden.
 - Punktmutanten können nicht von natürlichen Mutanten unterschieden werden
 - Sequenzspezifische DNA Endonuklease, schneidet DNA an definierbaren Orten
 - Kann aus dem Endprodukt vollständig entfernt werden
 - Vorteil: günstig, funktioniert in allen Organismen, bislang keine Off-Target Effekte

Was führt zu Mutationen?

- DNA-Replikation (Verdoppelung ist fehlerhaft, Fehlerrate beim Menschen ca. 10⁻⁹)
- Strahlung (UV, Radioaktivität, ...)
- Chemikalien (z.B. Rauchen)
- Transposons
- Homologe Rekombination während der Meiose

Führen zu:

- Substitutionen (einzelne Basenpaare werden durch andere ersetzt)
- Insertionen (zusätzliche Basenpaare werden eingebaut)
- Deletionen (Basenpaare werden entfernt)
- Translokationen ('copy-paste' oder 'cut-paste' Verschiebung von DNA Abschnitten)

Probleme

- Ethische Bedenken
 - Nicht natürlich (Franken-Food: Mutationszucht mit radioaktiver Strahlung)
 - Artengrenzen nicht berücksichtigt (Schweine Gene in Mais-Pflanze eingebaut)
- Abhängigkeit von Firmen
- Risiko für Umwelt
 - Ausbreitung in der Natur → sterile Pflanzen
 - Auskreuzung mit Wildpflanzen
 - Mehr Herbizidverbrauch wegen Resistenzbildung
 - Koexistenz mit Nicht-GVO
- Gefährliche Nahrung für Tier und Mensch
- Kein Nutzen für den Konsumenten
- Beurteilung der Gesetzgeber
 - Prozessbasierte Beurteilung: CRISPR/Cas9 (Gentech) problematischer als Mutagenese, da das Verfahren weniger bekannt ist
 - Produktbasierte Beurteilung: Mutagenese problematischer als CRISPR/Cas9 (Gentech), da Mutagenese nebst der gewollten und verfolgten Mutation zu hunderten bis tausenden weiteren Mutationen führt, die unbekannt und unerwünscht sind
 - Das Risiko einer Anwendung ist durch die Eigenschaften des Produkts gegeben, und nicht durch den Prozess!

13. Quellenverzeichnis

Studiengang Biotechnologie HS2020, Biologie 1, Dozent: Jack Rohrer.