

Med

20
AT
18

Biologie-Skript
zum

MedAT 2018



Inhalt

1	Einleitung.....	4
2	Grundeigenschaften der Lebewesen	7
3	Entstehung des Lebens	8
3.1	Biogenese und Protobionten	8
3.2	Protobionten	8
3.3	Endosymbiontentheorie	9
3.4	Von der Ursuppe zum Eukaryoten ein hypothetischer Überblick	10
4	Die menschliche Zelle.....	11
4.1	Zellkern	11
4.2	Zytoplasma	12
4.3	Zellmembranen	13
4.4	Mitochondrien.....	13
4.5	Endoplasmatisches Retikulum	15
4.6	Golgi-Apparat	15
4.7	Lysosomen.....	16
4.8	Zytoskelett	16
4.9	Zentriolen/Zentrosom	17
4.10	Zellkontakte.....	17
4.11	Zellfortsätze.....	18
4.12	Stofftransport.....	18
5	Der Menschliche Körper.....	20
5.1	Die Gewebe	20
5.2	Verdauungssystem	23
5.3	Herz-Kreislaufsystem.....	25
5.4	Blut	27
5.5	Immunsystem.....	28
5.6	Atmungssystem	31
5.7	Nervensystem	33
5.8	Sinnesorgane	36
5.9	Endokrines System	44
5.10	Harnsystem	47
5.11	Anatomie der Fortpflanzungssysteme	48
6	Grundlagen der Frühentwicklung des Menschen	55

6.1	Befruchtung.....	55
6.2	Einnistung.....	56
6.3	Keimblätter.....	56
6.4	Weiterer Verlauf.....	57
6.5	Grundzüge der Embryonal- und Fetalentwicklung	58
6.6	Plazenta	59
6.7	Schwangerschaft	61
7	Molekulare Genetik.....	63
7.1	DNA	63
7.2	Vom Gen zum Merkmal	69
8	Immungenetik und Immunbiologie.....	75
8.1	Antikörper	75
8.2	Gene der Antikörper	78
8.3	Blutgruppen.....	80
9	Genetik Allgemein	85
9.1	Mendel'sche Regeln	85
9.2	Zellteilung und Zellzyklus	86
9.3	Chromosomentheorie der Vererbung	89
9.4	Nichtchromosomale Vererbung.....	90
9.5	Aufbau des Genoms bei Eukaryonten.....	90
9.6	Mutationen	91
10	Genetische Evolutionstheorie	93
10.1	Mutation.....	93
10.2	Ursachen der Genpooländerungen.....	93
10.3	Genetische Rekombination	94
10.4	Entwicklung des Menschen.....	94
11	Evolution Allgemein	97
11.1	Darwin	97
11.2	Artbegriff	97
11.3	Artbildung.....	97
11.4	Evolutionsfaktoren	98
12	Ökologie	99
12.1	Wechselbeziehungen zwischen Umwelt und Organismus	99
12.2	Ökosysteme und deren Aufbau	99
12.3	Lebensraum und Population	100

12.4	Ökologische Nische	100
12.5	Biologisches Gleichgewicht	101
12.6	Nahrungsbeziehungen und Energiefluss.....	101
13	Abbildungsverzeichnis.....	102

1 Einleitung

Dieses Skriptum soll eine kostenlose und für alle zugängliche Grundlage für die Vorbereitung zum Basiskennntest Biologie für den MedAT als Zulassungstest zum Medizinstudium in Österreich bieten. Es ist als Gemeinschaftsprojekt der Studien- und Maturant_innenberatung der ÖH Med Wien entstanden und kann somit im Schreibstil der einzelnen Teile variieren.

Wir haben uns bemüht uns an der offiziellen Stichwortliste aus dem VMC, sowie an unseren eigenen Erfahrungen zu den einzelnen Themen zu orientieren und so den Stoff bestmöglich abzudecken. Trotzdem können wir natürlich keine Garantie für die ausnahmslose Richtigkeit bzw. Deckungsgleichheit mit den beim Aufnahmetest gestellten Fragen übernehmen.

Wir hoffen euch mit diesem Skriptum bei euren Vorbereitungen helfen zu können und wünschen euch viel Erfolg beim MedAT!

Eure ÖH Med Wien

Stichwortliste MedAT 2018

Biologie

Die menschliche Zelle

- Zellkern
- Zytoplasma
- Zellmembranen
- Mitochondrien
- endoplasmatisches Retikulum, Ribosomen
- Golgi-Apparat
- Lysosomen
- Zentriolen
- Zytoskelett
- Zellkontakte
- Kinozilien, Geißeln, Mikrovilli
- Stofftransport

Der menschliche Körper - Grundlagen der mikro- und makroskopischen Anatomie und Physiologie

- Gewebe
- Organsysteme
 - Verdauungssystem
 - Herz-Kreislauf-System; Blut, Lymphe
 - Atmungssystem
 - Nervensystem
 - Sinnesorgane und Haut
 - Endokrines System
 - Immunsystem
 - Harnsystem
 - Fortpflanzungssystem:
 - männliche Geschlechtsorgane, Spermien
 - weibliche Geschlechtsorgane, weiblicher Zyklus, Eizelle

Grundlagen der Frühentwicklung des Menschen

- Befruchtung bis Einnistung
- Keimblätter
- Grundzüge der Embryonal- und Fetalentwicklung
- Plazenta

Genetik

- Mendelsche Regeln
- Zellteilung
 - Mitose
 - Meiose
- Chromosomentheorie der Vererbung
 - Grundlagen
 - Gen-Kopplung
 - Crossing-over
- Nichtchromosomale Vererbung
 - Mitochondrien
- Aufbau des Genoms bei Eukaryonten
- Mutationen
 - Gen-Mutationen
 - Chromosomen-Mutationen
 - Genom-Mutationen
 - Auslöser von Mutationen

Molekulare Genetik

- DNA
 - Aufbau
 - Replikation
 - Reparatur
- Vom Gen zum Merkmal
 - Genetischer Code
 - Aufbau Eukaryontischer Gene
 - Informationsfluss Gen->Protein
 - RNA und Splicing
 - Proteinsynthese

Evolution

- Entstehung des Lebens
 - Chemische Evolution (+ Versuch von Mille)
 - Biogenese und Protobionten
 - Endosymbiontentheorie
- Grundeigenschaften der Lebewesen
- Evolutionstheorie
 - Darwin
 - Artbegriff
 - Artbildung
 - Evolutionsfaktoren
 - Mutation
 - Gendrift

- Genetische Rekombination
- Entwicklung des Menschen

Ökologie

- Wechselbeziehungen zw. Organismus und Umwelt
- Abiotische Faktoren
- Biotische Faktoren
- Lebensraum und Population
- Ökologische Nische
- Biologisches Gleichgewicht
- Ökosysteme
- Nahrungsbeziehungen
- Energiefluss

Immunbiologie

- Antikörper
- Gene der Antikörper
- Blutgruppen

2 Grundeigenschaften der Lebewesen

Was ist eigentlich Leben? Ähnlich wie viele Laien ein modernes Auto benutzen, dessen Komplexität aber gar nicht wirklich wahrnehmen oder nachvollziehen können, ist vielen auch nicht bewusst, was für eine unglaubliche Vielfalt unter den Begriff des „Lebens“ fällt.

Genau das macht es schwierig, eine konkrete Definition aufzustellen. Die Wissenschaft hat also eine Reihe an Grundkriterien und Eigenschaften entwickelt, die ein Lebewesen von einem unbelebten Gegenstand, wie zB. einem Auto, abheben:

Reizbarkeit	Lebewesen können äußere Reize aufnehmen und auf diese reagieren
Fortpflanzung und Vermehrung	Lebewesen können sich fortpflanzen und Nachkommen generieren
Stoffwechsel	Lebewesen können Stoffe aufnehmen und diese für sie günstig verwerten
Wachstum und Entwicklung	Lebewesen können wachsen und in spezifische Entwicklungsstadien eintreten
Bewegung	Lebewesen können sich selbst oder Inhalte in ihnen bewegen
Energieaustausch	Lebewesen nehmen Energie durch Nahrung auf und geben diese zumindest in Form von Wärme wieder ab

Diese Kennzeichen des Lebens sind in jedem Biologiebuch und jeder Onlinequelle ein bisschen anders formuliert. Es ist schwierig, hier einen vernünftigen Konsens zu finden, allerdings sollten die angeführten Punkte das meiste abdecken.

Allgemein wichtig: **Viren sind keine Lebewesen!** (Kein eigener(!) Stoffwechsel)

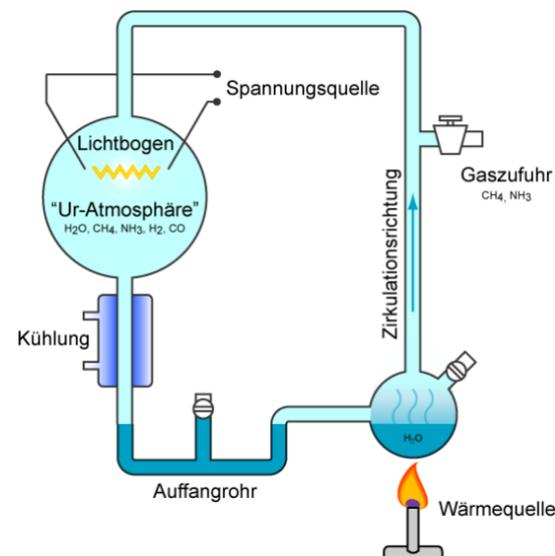
3 Entstehung des Lebens

Wir wissen nun, was Leben ausmacht, allerdings wissen wir noch nicht, wie die „Basiseinheit“ des Lebens, die Zelle, eigentlich entstanden ist.

Die Erde ist geschätzte 4,5 Milliarden Jahre alt. Sie enthält eine gigantische Menge an Wasser und hat ein moderates Temperaturspektrum (-50° bis +50°). All diese kombinierten Bedingungen haben wohl dazu beigetragen, dass auf unserem Planeten Leben entstehen konnte. Doch obwohl diese Entstehung als Startpunkt unserer ganzen Evolution Gegenstand vieler Forschungsprojekte ist, ist der genaue Ablauf, der aus unbelebter belebte Materie werden ließ, nach wie vor nicht vollends nachvollziehbar und wird es vielleicht auch nie sein.

Ein Versuch aus dem letzten Jahrhundert hat hier aber maßgeblich zum besseren wissenschaftlichen Verständnis beigetragen.
Chemische Evolution (+ Versuch von Miller & Urey)¹

Stanley Miller simuliert 1953 gemeinsam mit seinem Kollegen Harold Urey eine Erdatmosphäre, wie sie wohl vor der Entstehung von belebter Materie bestand. Dazu führte er ein Gasgemisch bestehend aus Wasser, Methan, Ammoniak, Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid in ein Glaskolbensystem ein. In diesem Glassystem gab es mehrere physikalische Abschnitte: Einen Lichtbogen um Blitze, eine Wärmequelle um Verdunstung und einen Kühler um Regen zu simulieren.



Nach einiger Zeit wurde das entstandene Gemisch untersucht: Es fanden sich große Mengen an organischen Molekülen: Alanin, Milchsäure, Essigsäure, Glycolsäure, Glycin, Harnstoff, Glutaminsäure, Asparaginsäure darin. (Nicht auswendig merken, sind nur ein paar Beispiele)

3.1 Biogenese und Protobionten

3.1.1 Biogenese

Die Biogenese steht als Begriff im Gegensatz zur Abiogenese für die Ansicht, dass Leben nur aus schon lebenden Organismen entstehen kann. Bis zum 19. Jahrhundert glaubte man, dass auch eine Entstehung aus unbelebter Materie möglich wäre, zum Beispiel beim Faulen sich selbst überlassener, verschlossener organischer Substanz wie Nahrungsmitteln, wo Maden und Schimmelpilze scheinbar spontan auftreten.

Vor allem Louis Pasteur trug maßgeblich zur Erkenntnis bei, dass diese Lebensformen in Wirklichkeit aus biologischen Vorläuferorganismen hervortreten, die zum Beispiel in Verschlusskorken eingeschleppt werden.

Leben kann nur aus bereits lebenden Organismen entstehen!

3.2 Protobionten

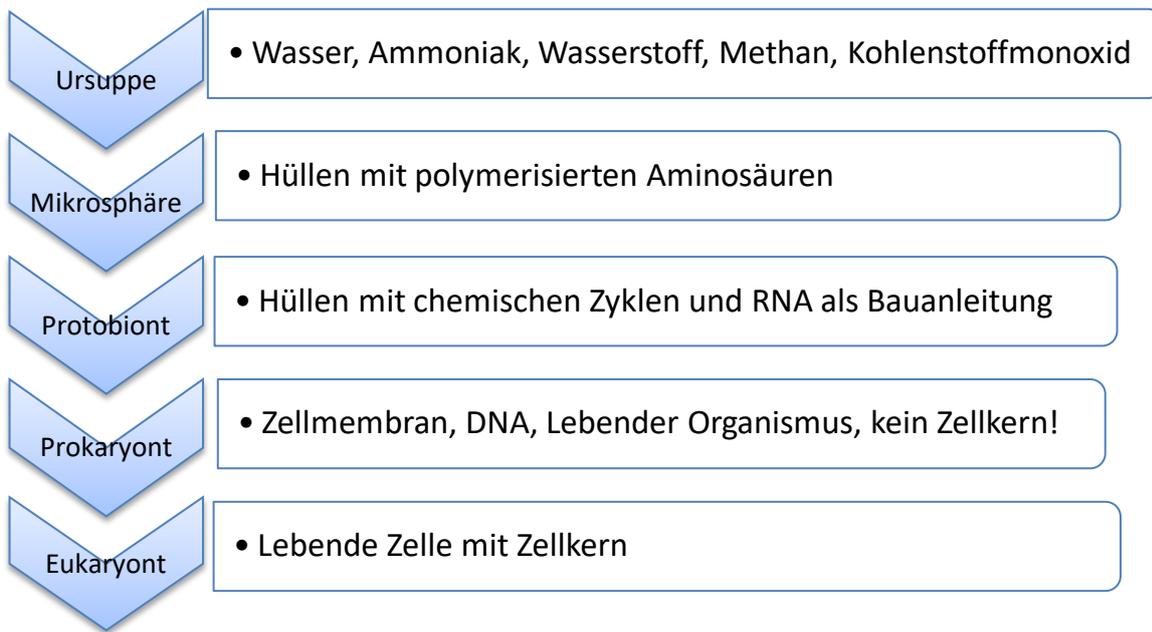
Bei Protobionten handelt es sich um **hypothetische** Vorläufer des einzelligen Lebens. Der Begriff ist Teil der immer noch nicht zweifelsfrei geklärten Theorie der Entstehung des Lebens. Man nimmt an, dass es zufällig zu einem Einschluss von chemischen Zyklen wie Peptiden und Polynukleotiden innerhalb einer Membran gekommen ist, wodurch Stoffwechselprozesse ermöglicht wurden. Diese

haben in weiteren Entwicklungsschritten zu einer Speicherung von Informationen in RNA, und später DNA geführt – die erste Procyte (Zelle ohne Zellkern) entstand.

3.3 Endosymbiontentheorie

Diese Theorie besagt, dass sich verschiedene Procyten zu Symbiosen vereinigt haben und dadurch Eukaryoten, Zellen wie wir sie heute kennen, entstanden sind. Man vermutet, dass zellkernlose Organismen wie Archaeen chemo- oder phototrophe Bakterien in sich aufgenommen, diese dann aber nicht verdaut, sondern in die eignen Prozesse eingebunden haben. Ein starker Anhaltspunkt für diese Theorie sind vor allem die Mitochondrien, die eigentlich nur Zellorganellen sind, aber eine eigene DNA, einen eigenen Fortpflanzungsmechanismus und eine Doppelmembran besitzen.

3.4 Von der Ursuppe zum Eukaryoten ein hypothetischer Überblick

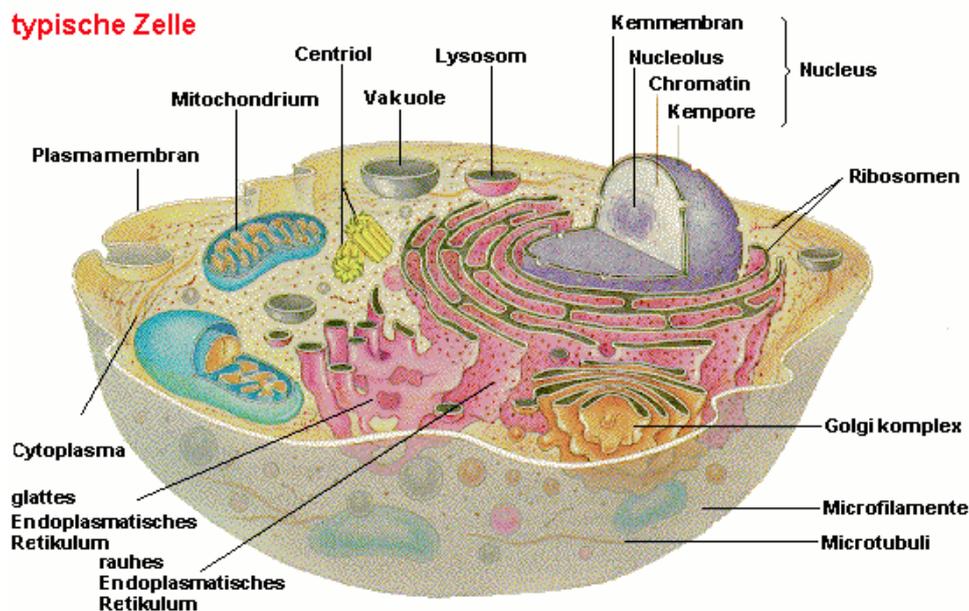


Es gibt noch viele Lücken in diesen Theorien, viele Punkte, die noch experimentell überprüft werden müssen. Es bleibt also ein hochspannendes Forschungsgebiet, welches hoffentlich bald eine Antwort auf die Frage finden wird, wie Leben genau zustande gekommen ist. Die stärkste treibende Kraft in dieser biochemischen Evolution ist nach momentaner Auffassung der Zufall.

4 Die menschliche Zelle

Eines der mit Abstand wichtigsten Kapitel in diesem Skriptum. Solltet ihr den Aufnahmetest schaffen, wird es auch noch in vielen Vorlesungen und Seminaren um den Aufbau, die Eigenschaften und Inhalte von Zellen und deren Kommunikation untereinander gehen.

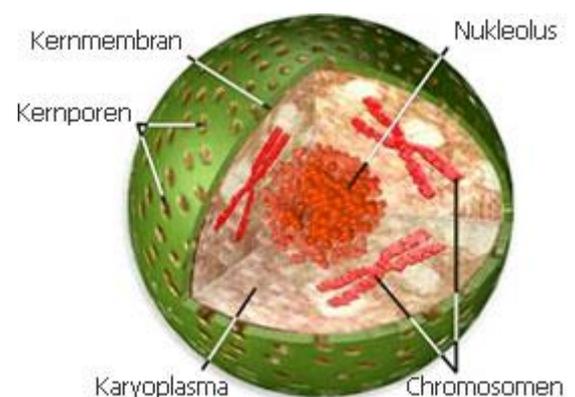
Die menschliche Zelle ist die kleinste eigenständige funktionale Einheit des Körpers. Sie ist durch die DNA mit allen Bauplänen ausgestattet, die sie für ihre Funktionen im menschlichen Körper braucht.



4.1 Zellkern^{2,3}

Der Zellkern liegt mitten in der Zelle, seine Hauptaufgabe ist die Aufbewahrung und Verarbeitung von DNA. Er besteht aus:

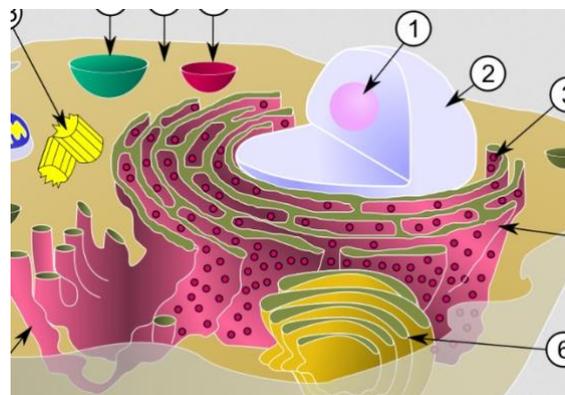
- **Karyoplasma**
Kernplasma: Chemisches Milieu, in welchem alle Kernreaktionen stattfinden können
- **Chromosomen**
Enthalten die DNA, auf welcher die Informationen liegen
- **Nukleoli**
Kernkörperchen, enthalten RNA und Proteine und sind wesentlich an der Synthese von Ribosomen beteiligt, welche in einem essentiellen Schritt der Proteinsynthese zur Umwandlung von mRNA in Proteine notwendig sind. Der Zellkern liefert somit sozusagen den eigenen Drucker für seine gespeicherten Informationen.
- **Kernporen**
Diese sind die „Gatekeeper“. Sie regulieren den Transport in und aus dem Zellkern. So können zum Beispiel Gifte und zu große Moleküle nicht in das wichtigste Kompartiment der Zelle eindringen, gleichzeitig aber z.B. mRNA Stränge mit wichtiger Information zur Weiterverarbeitung nach draußen transportiert werden.



Verdeutlichen wir das Aufgabenfeld eines Zellkerns anhand eines Beispiels:

Im Körper haben sich Bakterien eingenistet. Diese wurden vom Immunsystem erkannt und Signalbotenstoffe ausgeschüttet. Diese Signalbotenstoffe werden an der Zellmembran durch Rezeptoren erkannt und in die Zelle eingeschleust. In der Zelle binden sie an Transporter, welche sie zum Zellkern bringen. Dort aktivieren sie sogenannte „Promoterregionen“, die dafür sorgen, dass ein bestimmter DNA Abschnitt ausgelesen, also die DNA in RNA bzw. mRNA umgeschrieben, und dann durch die Kernporen hinaus transportiert wird. Im Zytosol, dem Zellplasma binden sie an die Ribosomen, die dann mRNA in ein Protein übersetzen können. Dieses Protein hat nun besondere Eigenschaften, kann beispielsweise im Rahmen der bakteriellen Infektion bei entzündlichen Prozessen mitwirken und so die Bakterien bekämpfen.

Der Zellkern hat somit die Aufgabe der Informationsspeicherung und Verwaltung!



1. Nucleolus
2. Zellkern/Nukleus
3. Raves endoplasmatisches Retikulum

4.2 Zytoplasma

Das Zytoplasma ist der Inhalt der Zelle. Es setzt sich aus dem **Cytosol** (der Zellflüssigkeit), den **Organellen** und dem **Zytoskelett** zusammen. Am Rande der Zelle ist es dickflüssiger und wird als Ektoplasma bezeichnet, innerhalb der Zelle ist es dünnflüssiger, man bezeichnet es als Endoplasma.

Ebenso wie dem Blut im menschlichen Körper kommen dem Zytoplasma besondere Aufgaben zu. Es muss pH-Wert-Änderungen abpuffern können, Nährstoffe bereitstellen, den Anforderungen der einzelnen Organellen gerecht werden, Transporter und Enzyme für wichtige Reaktionen beinhalten.

Es besteht zu 80-85% aus Wasser, zu 10-15% aus Proteinen, der Rest setzt sich aus Lipiden, Polysacchariden, RNA und organischen Molekülen zusammen.

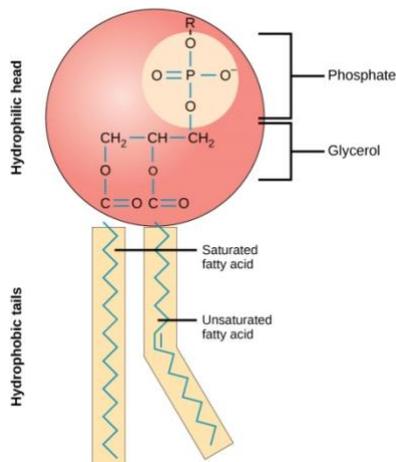
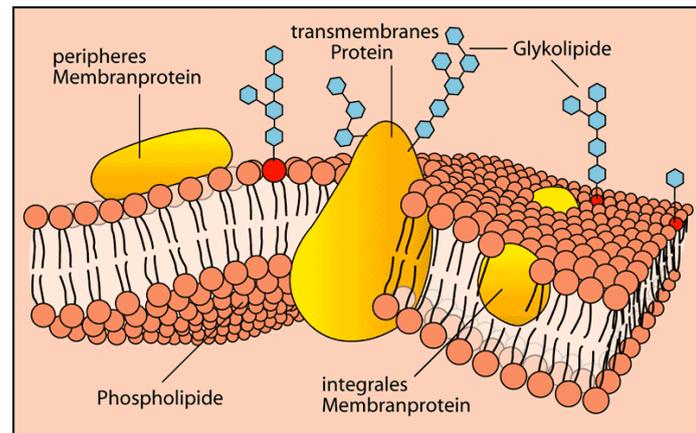
Generell ist es in der Biochemie sinnvoll, die Begriffe unter dem Aspekt der Untersuchungsmöglichkeiten im Labor zu betrachten. Cytosol ist das, was übrig bleibt, wenn man die Membran einer Zelle zerstört und in der Hochleistungszentrifuge die festen Bestandteile abzentrifugiert – nur die wässrige Lösung sozusagen.

Zentrifugiert man sie nicht ab, so bezeichnet man die Mischung als Zytoplasma.

4.3 Zellmembranen^{4 5}

Auch die Zellmembran ist ein sehr wichtiges Organell. Sie ist die Kontaktstelle nach außen, ermöglicht, dass innerhalb der Zelle ein konstantes Milieu aufrechterhalten werden kann und verhindert, dass das Zytoplasma aus dem Gleichgewicht gerät. Wird die Zellmembran zerstört, stirbt die Zelle (Nekrose). In der Zellmembran sind wichtige Proteine eingebaut, welche Informations- und Stofffluss erlauben.

Die Zellmembran besteht aus einer Doppelschicht von Phospholipiden. Diese bestehen meistens aus Glycerin, 2 Fettsäuren und einer Phosphatgruppe. Die Phosphatgruppe ist hydrophil (deutsch „wasserliebend“) und deswegen der Außenseite und Innenseite – dem wässrigen Milieu zugeneigt. Die Fettsäureschwänze sind einander zugeneigt. So bildet sich zwischen den Phosphatseiten ein lipophiles Milieu („fettliebend“, nicht wasserlöslich). In der Membran eingebettet sind:



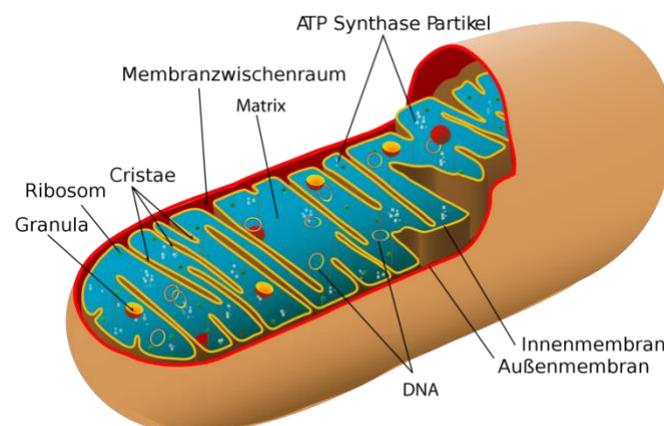
- Periphere Membranproteine
 - Zur Zellidentifikation
- Transmembranproteine
 - Kanäle, Transporter, Signalproteine
- Integrale Membranproteine
 - Veränderung der Hülleneigenschaften
- Glykolipide
 - Zellidentifikation (z.B.: AB0-Blutgruppensystem)

Etwa die Hälfte aller zugelassenen Arzneimittel wirkt auf Proteine in der Zellmembran!

4.4 Mitochondrien⁶

Es handelt sich hierbei um das Kraftwerk der Zelle. Der Energieträger des menschlichen Körpers (ATP, Adenosintriphosphat) wird dort produziert. Es besitzt eine Doppelmembran und hat eine eigene DNA.

Besonders hohe Konzentrationen an Mitochondrien finden sich in Zellen mit hohem Energieverbrauch (Muskelzellen, Nervenzellen, Eizellen). Die Mitochondrien werden über das Plasma der Eizelle nur von der Mutter an die Kinder vererbt. Mitochondrien selbst vermehren sich durch Wachstum und Sprossung und werden bei der Zellteilung einfach zu 50% weitergegeben.



- **Außenmembran**
In der Außenmembran befinden sich Poren, welche den Austausch von Nährstoffen und Ionen zulassen. Geht diese Membran kaputt (gesteuert oder nicht gesteuert), können Stoffe aus dem Mitochondrium entweichen was zum programmierten Zelltod führt (Apoptose).
- **Membranzwischenraum**

In diesem Raum befinden sich dieselben Konzentrationen an kleinen Molekülen wie im Zytosol, vor allem das Vorhandensein von Zucker ist hier relevant. Der Membranzwischenraum enthält eine hohe Konzentration an H^+ -Ionen, welche durch die Atmungskette erzeugt werden.

- **Innenmembran**

In der Innenmembran sitzt die ATP-Synthase, ein Protein, welches aufgebaut ist wie eine Turbine, die H^+ -Ionen strömen ein und treiben dieses an, hierbei wird ATP produziert.

- **Matrix**

Die Matrix enthält alle wichtigen Moleküle, die für das Mitochondrium und die ATP-Synthase notwendig sind.

- **Cristae**

Als Cristae bezeichnet man die Einstülpungen der Innenmembran, die lediglich dazu dienen die Reaktionsfläche zu erhöhen.

- **Ribosom**

Das Mitochondrium hat seine eigene DNA und benötigt dafür auch eigene Ribosomen, welche etwas anders aufgebaut sind als die des Zellkerns.

- **Granula**

Diese speichern Fette, Pigmente, Sekrete etc.

In Lehrbüchern werden Mitochondrien immer als bohnenförmig dargestellt, in Wirklichkeit bilden sie in der Zelle, ähnlich dem endoplasmatischen Retikulum, eher ein tubuläres (rohrförmiges) Netz.

4.5 Endoplasmatisches Retikulum⁷

Übersetzt bedeutet es so viel wie „im Zytoplasma liegendes Wurfnetz“. Das ER wird unterschieden in raues ER und glattes ER - warum? Weil im Elektronenmikroskop ein Teil „rau“ aussieht und ein Teil nicht. Am rauhen ER sind Ribosomen angelagert (die kleinen Pünktchen in der Grafik), die ihm seine charakteristische Eigenschaft verleihen.

Das ER ist direkt mit der Kernmembran verbunden. Die Aufgaben sind von ER-Art (raus/glatt) abhängig:

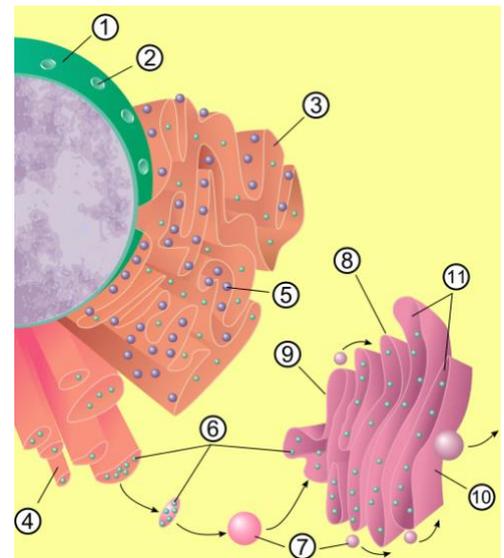
Raues ER:

- Proteinbiosynthese
- Membranproduktion

Glattes ER:

- Hormonsynthese
- Kohlenhydratspeicherung
- Entgiftung
- Calciumspeicherung

Das ER ist, wie in der Grafik unter 6 und 7 ersichtlich, dazu fähig, Vesikel (kleine Bläschen) mit spezifischen Inhaltsstoffen abzuschneiden und zum Golgi-Apparat zu transportieren.



4.6 Golgi-Apparat

Es handelt sich hierbei um eine Ansammlung aus mehreren membranumschlossenen Räumen - Zisternen. Einzelne Stapel werden als Dictyosomen bezeichnet. Es gibt eine Seite, die dem Zellkern zugeneigt ist (cis-Golgi-Netzwerk) und eine abgewandte Seite (trans-Golgi-Netzwerk). Die Aufgaben des Golgi-Apparats sind relativ einfach:

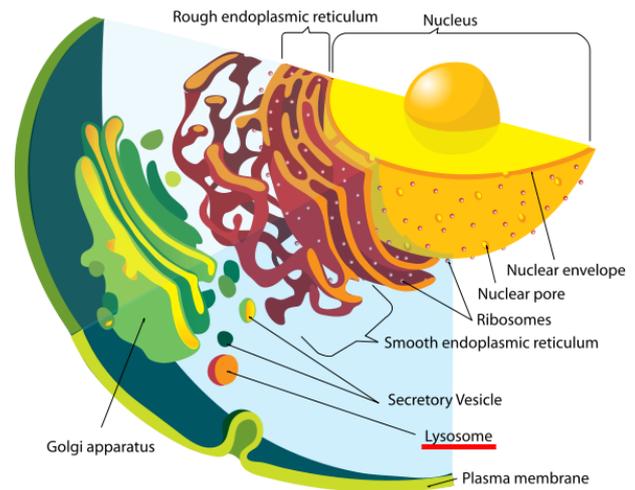
- Bildung und Speicherung sekretorischer Vesikel (Bläschen gefüllt mit Sekret)
- Synthese und Modifizierung von Membranbausteinen (wurden meist vorher vom ER gesendet)
- Bildung von lysosomalen Proteinen und dem primären Lysosom (dazu später mehr)

Um es kurz zu machen, der Golgi-Apparat ist die Poststation in der Zelle. Der Kern gibt über das ER einen Brief in Form eines Vesikels auf und der Golgi-Apparat schickt ihn an seinen Bestimmungsort.

4.7 Lysosomen⁸

Lysosomen sind „kugelförmige Bläschen“, welche nur in Eukaryoten vorkommen.

Sie sind die Müllhalde der Zelle und beinhalten hydrolytische (spaltende) Enzyme, die für den Abbau körpereigener oder fremder Stoffe benötigt werden. Diese Abbauenzyme (zB. Proteasen, Lipasen, Nukleasen) werden im ER gebildet und durch Transportvesikel zu den Lysosomen gebracht. Im Inneren der Lysosmen herrscht ein pH-Wert von unter 5. Dieser stark saure Bereich wird durch eine ATPase aufrechterhalten, das heißt durch das Aufspalten von ATP zu ADP + Phosphat werden H⁺-Ionen in das Lysosom gepumpt. Ebenso haben Lysosomen eine wichtige Aufgabe bei der Apoptose, dem programmierten Zelltod.

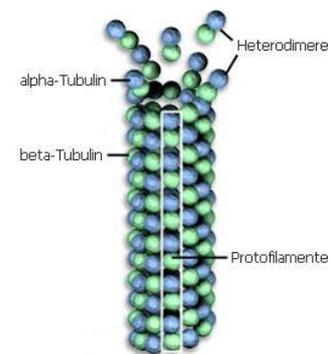


4.8 Zytoskelett^{9 10 11}

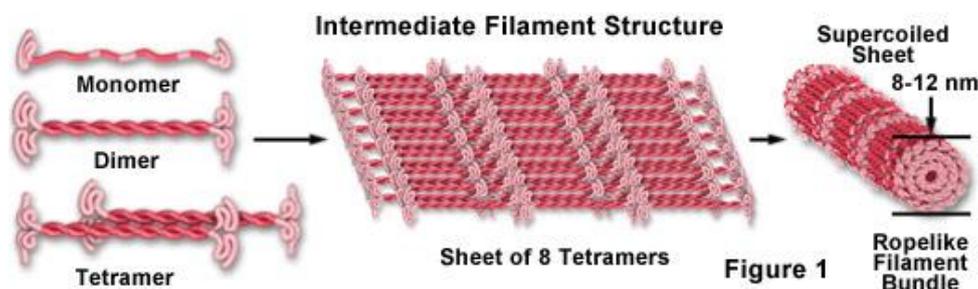
Als Zytoskelett bezeichnet man das Gerüst von eukaryotischen Zellen.

Es wird für die Stabilität und die Struktur der Zelle benötigt und besteht aus Mikro/Aktinfilamenten, Intermediärfilamenten und Mikrotubuli. Weitere Aufgaben des Zytoskeletts sind das Fixieren von Zellorganellen wie Mitochondrien und der interne Zelltransport durch Filamente.

Mikrotubuli: sind röhrenförmig und bestehen aus Tubulin alpha und beta. Sie dienen als „Schienen“ für den intrazellulären Transport. Ihre Größe beträgt etwa 23 nm.



Intermediärfilamente: bestehen aus verschiedenen Proteinen und liegen mit 10nm zwischen den Mikrotubuli und den Mikrofilamenten. Es gibt 5 verschiedene Typen wobei die wichtigsten die sauren und basischen Zytokeratine darstellen.

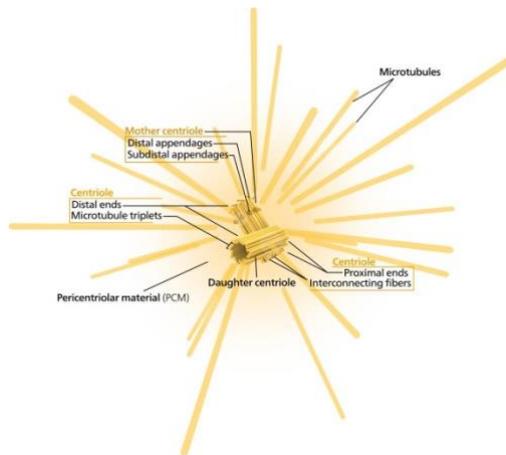
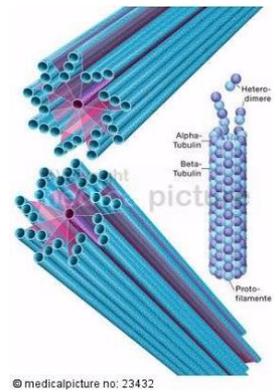


Mikrofilamente: Mit etwa 6 nm die kleinsten Bestandteile des Zytoskeletts. Sie bestehen aus Aktin und werden hauptsächlich für die Erhaltung der Zellstruktur und der Zellbewegung benötigt.



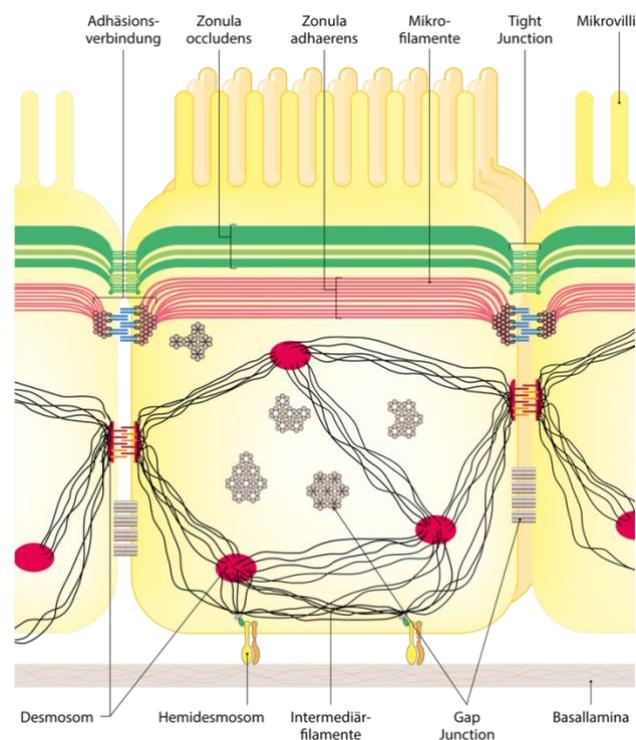
4.9 Zentriolen/Zentrosom^{12 13}

Das Zentrosom ist ein Organell in der Zelle, in welchem mehrere Zentriolen organisiert sind. Eine Zentriole ist ein Zusammenschluss mehrerer Mikrotubuli (rechts im Bild). Das Zentrosom (unteres Bild) besteht aus dem Ursprung mehrerer Zentriolen und stellt damit quasi einen Verkehrsknotenpunkt dar. Bei der Zellteilung gehen vom Zentrosom die Mikrotubuli aus, welche anschließend für die Trennung der Chromosomen verantwortlich sind (=Spindelapparat).



4.10 Zellkontakte¹⁴

beschreiben den Kontakt zwischen Zellen. Dieser kann dauerhaft oder temporär sein und ermöglicht die Verbindung zwischen Zellen und in weiterer Folge die Bildung von Gewebe. Ebenso dienen sie der Kommunikation zwischen Zellen und deren Stabilität. Rechts abgebildet ist Dünndarmepithel (die oberflächlichste Schicht des Dünndarms).



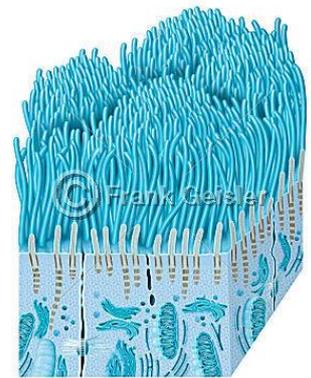
- Desmosom
= ist eine enge Verbindung zwischen Zellen und ihrem angrenzenden Bindegewebe. Sie kommen häufig in Zellen mit intensiver mechanischer Belastung vor, z.B. Herzmuskelzellen.
- Hemidesmosom
Diese verbinden die Zellen mit einer Basallamina, diese ist ein Band aus Bindegewebe, auf dem die Zellen fixiert sind.
- Tight-Junctions
Sind Verbindungen, welche 2 Membranen miteinander fixieren. Ihr Sinn besteht darin Stoffe daran zu hindern, „seitlich vorbei zu diffundieren“ und die Zelle zu umgehen.
- Gap junctions
Sie sind genau definierte „Kanäle“, welche die Zellen miteinander verbinden, sie dienen dem Stoff und Informationsaustausch
- Zonula adhaerens -> Ein Muskelband knapp unterhalb der Zellmembran
- Zonula occludens -> Diffusionsbarriere

4.11 Zellfortsätze

4.11.1 Kinozilien/Zilien¹⁵

Es handelt sich um 10µm lange, fadenförmige Zellfortsätze, welche unter dem Mikroskop wie „Härchen“ aussehen. Es handelt sich dabei um Mikrotubuli-Fortsätze, die mit Hilfe von Kinetin und Dynein (speziellen Motorproteinen) zur Bewegung fähig sind.

Ein gutes Beispiel für den Einsatz von Zilien ist das Flimmerepithel in den Bronchien, die Zilien schlagen dort ca. 20 Mal/Sek. und transportieren so Schleim und Fremdkörper in Richtung Luftröhre.



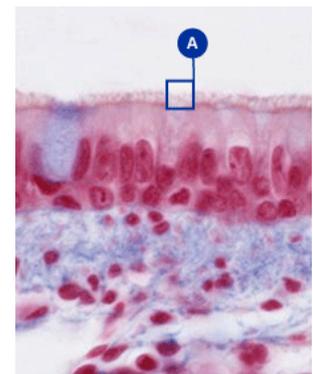
4.11.2 Geißeln/Flagellen¹⁶

Flagellen sind Proteinfäden außerhalb der Zellmembran, die sich nicht aktiv verformen, an ihrem in der Zelle verankerten Ende allerdings durch einen Motor in Drehung versetzt werden. So können sie – ähnlich wie ein Propeller – einen Schub oder Zug ausüben. Prokaryotische Geißeln unterscheiden sich stark von den eukaryotischen Geißeln im Aufbau des „Motors“ - sie resultieren aber allesamt in der gleichen Bewegung. Ein Beispiel ist die Fortbewegung von Spermien



4.11.3 Mikrovilli/Zotten¹⁷

Bei Mikrovilli handelt es sich um zottenförmige Fortsätze, die im Körper vor allem einer Oberflächenvergrößerung dienen. Ein Paradebeispiel ist die Darmschleimhaut, welche mit Zotten übersät ist und so mehr Platz für die Absorption von Stoffen bietet.



4.12 Stofftransport

Es gibt Stofftransport in der Zelle in den verschiedensten Formen, wir beschränken uns hier nur auf Stichworte, da dies ein wesentlicher Inhalt von Block 3 im ersten Jahr ist.

- Diffusion
Entlang eines Konzentrationsgradienten können Stoffe z.B. O₂ oder CO₂ die Zellmembran ungehindert passieren. Diese Art von Transport ist im Mitochondrium am meisten vertreten und außerhalb der Zelle wenig.
- Passiver Transport
Generell versteht man unter passivem Transport den Transport durch verschiedene Kanäle entlang eines Gradienten
 - Ionen-Kanäle
 Zur Aufnahme von größeren Molekülen werden „Transporter“/Carrier benötigt:
 - Carrier Proteine
 - Symporter
Nehmen beispielsweise 2 Ionen auf, ein Ion wird gegen den Gradienten und ein Ion mit dem Gradienten transportiert, wodurch keine Energie benötigt wird.

- Aktiver Transport
 - Ionenpumpen

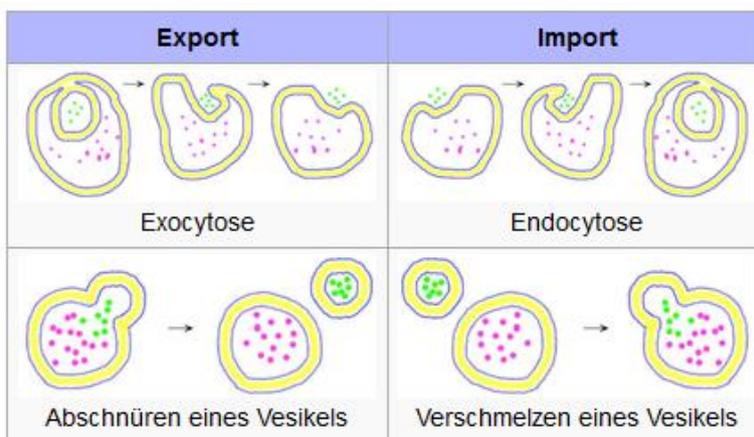
Beispielsweise die Natrium-Kaliumpumpe schleust Natrium aus der Zelle und Kalium in die Zelle, sie arbeitet immer gegen den Gradienten und benötigt dafür Energie in Form von ATP.

- Vesikeltransport

Generell ist dies ein sehr komplexer Ablauf, die Zellmembran wird innen abgeschnürt und ganze Vesikel auf einmal aufgenommen oder abgegeben.

 - Endozytose
 - Exozytose
 - Zytoskelettransport

Hierbei werden die aus Endozytose entstanden Vesikel durch Adapterproteine an den Mikrotubuli entlang transportiert, ähnlich einem Zug.



5 Der Menschliche Körper

5.1 Die Gewebe

Als Gewebe werden Zellverbände von gleichartig differenzierten Zellen mit gemeinsamer Struktur und Funktion bezeichnet.

Zelle → Gewebe → Organ → Organsystem

Beispiel: mehrere Zellen bilden die Tunica mucosa (Schleimhautschicht = Gewebe) des Darms (Organ), welcher ein Teil des Gastrointestinaltrakts (Organsystem) ist.

Grob werden 4 verschiedene Formen von Gewebe unterschieden:

- Epithelgewebe
- Muskelgewebe
- Nervengewebe
- Binde- und Stützgewebe

Neben den eigentlichen Zellen zählt auch der Extrazellulärraum (auch: Extrazellulärmatrix; kurz EZM) zum Gewebe.

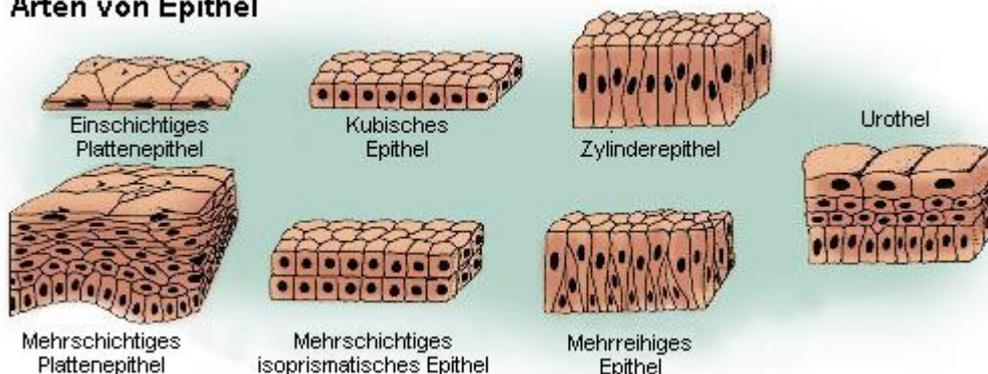
Die EZM ist für den MedAT eher nicht von Bedeutung, man sollte einfach nur wissen, dass es sie gibt. Vereinfacht gesagt handelt es sich beim Extrazellulärraum um alle Strukturbestandteile eines Gewebes, die sich außerhalb der Zelle (extrazellulär) befinden. Als Beispiel sei hier das Knochengewebe genannt (siehe auch weiter unten): spezielle Knochenzellen, die Osteoblasten, produzieren u.a. Kollagen, welches sie nach außen abgeben und dann im Extrazellulärraum am Aufbau der Knochenmatrix beteiligt ist. Diese Knochenmatrix wäre der Extrazellulärraum, in den die einzelnen Zellen eingebettet sind.

5.1.1 Epithelgewebe¹⁸

Epithelgewebe dient als Oberflächenepithels als jene Zellschicht, die alle äußeren (Haut) und inneren Körperoberflächen (z.B. die bereits erwähnte Tunica mucosa des Gastrointestinaltrakts) auskleidet. Es gibt in diesem Zusammenhang auch das Drüsenepithel, auf welches wir hier jedoch nicht weiter eingehen.

Je nachdem, um welche Oberfläche es sich handelt bzw. welche Bedürfnisse diese hat, kommen unterschiedliche Epithelien zum Einsatz.

Arten von Epithel



Einschichtiges Plattenepithel ermöglicht Diffusion und ist unter anderem in den Lungenbläschen (Alveolen) zu finden. Zylinderepithel wird dort benötigt, wo eine mechanische Beanspruchung (Darmperistaltik) auftritt und gleichzeitig eine Funktion erfüllt werden muss (z.B. Sekretion von Flüssigkeiten, Aufnahme von Nährstoffen), beispielsweise im Darm. Unter jeder Epithelschicht liegt eine sogenannte Basalmembran, auf welcher die Epithelzellen verankert sind. Treten (genetische) Störungen in der Basalmembran oder in den Verbindungen zwischen den Epithelzellen auf, so kommt es zu gravierenden Krankheitsbildern wie „Epidermolysis bullosa“ (Schmetterlingskrankheit).

Charakteristisch für Epithelgewebe ist eine hohe Anzahl von Zellen, die untereinander durch reichlich interzelluläre Kontakte (Tight Junctions, etc) verbunden sind. Daraus resultiert wenig Extrazellulärraum. Außerdem besitzt Epithelgewebe eine Zellpolarität, d.h. es gibt eine erkennbare spezifische Ausrichtung der Zellstruktur. Man unterscheidet zwischen dem apikalen Zellpol, der der Oberfläche oder dem Hohlraum (wie im Darm) zugewandt ist, und dem an der Basalmembran verankerten basalen Pol. Die Bildung neuer Zellen beginnt an der basalen Seite. Die Zellen wachsen mit der Zeit immer weiter nach apikal, bis sie schließlich absterben und wieder erneuert werden. Epithelgewebe ist außerdem frei von Blutgefäßen. Die Versorgung der Zellen mit Nährstoffen erfolgt durch Diffusion von der basalen Seite.

Epithelgewebe wird außerdem nach Form und Schichten unterschieden. So besitzt die Epidermis der Haut beispielsweise ein mehrschichtiges, verhorntes Plattenepithel. Verhornt deshalb, weil die oberste Schicht aus flachen, toten, kernlosen Epithelzellen besteht. Die Verhornung sorgt für mechanischen Schutz und verhindert Austrocknung. Unsere Zunge hingegen besitzt mehrschichtiges, unverhorntes Plattenepithel. Daneben existiert noch ein mehrreihiges Epithel, welches sich vom mehrschichtigen darin unterscheidet, dass nicht alle Zellen die apikale Oberfläche erreichen (siehe Bild). Ein solches Epithel findet sich beispielsweise in der Lunge.

Es folgt eine grobe Auflistung, wo diese unterschiedlichen Epithelien zu finden sind:

- Einschichtiges isoprismatisches Epithel
 - Nierentubuli und Sammelrohre
 - Drüsenausführungsgänge
- Einschichtiges hochprismatisches Epithel (Zylinderepithel)
 - Magen, Dünn- und Dickdarm
 - Gallenblase
 - Tuba uterina, Uterus
- Übergangsepithel (Urothel)
 - Nierenbecken, Ureter, Harnblase, Anfangsteil der Urethra
- Mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel
 - Mundhöhle
 - After, Vagina
- Mehrschichtiges verhorntes Plattenepithel
 - Epidermis

5.1.2 Muskelgewebe¹⁹

Die Muskulatur kann sich als einziges Gewebe im Körper kontrahieren und ermöglicht so Bewegungen.

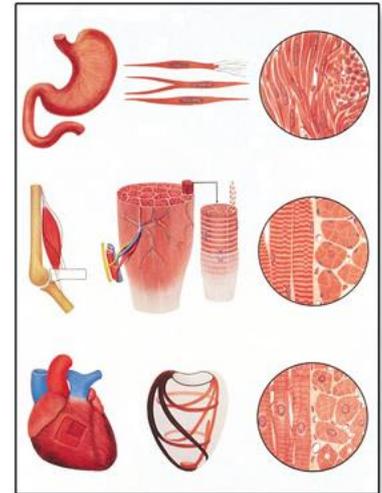
Es werden drei Arten von Muskulatur unterschieden:

5.1.2.1 Skelettmuskulatur

Diese ist quergestreift und zeigt bei mikroskopischer Betrachtung einen charakteristischen Aufbau verschiedener Streifen. Ein Muskel besteht dabei aus mehreren Muskelfasern, jede Muskelfaser wiederum aus vielen Myofibrillen. Die einzelnen Muskelzellen sind dabei regelrecht miteinander verschmolzen, ihre Zellkerne sind ganz an den Rand gewandert und sie bilden so eine Zelleinheit (genannt Synzytium).

Jeder willkürlich steuerbare Muskel unseres Körpers besitzt diesen Aufbau.

Quergestreifte Muskulatur kann sich sehr schnell bis auf 2/3 ihrer ursprünglichen Länge verkürzen. Allerdings kann dieser Tonus nicht lange aufrechterhalten werden und die Muskulatur ist schnell erschöpft.



5.1.2.2 Herzmuskulatur

Sie weist ebenfalls eine Querstreifung auf, die einzelnen Zellen behalten jedoch ihre Einzelstruktur und sind nicht wie bei der Skelettmuskulatur miteinander verschmolzen. Die Einzelzelle besitzt eine interessante, Y-ähnliche Struktur, mit der sie mit den sie umgebenen Zellen in Verbindung steht. Der Zellkern liegt zentral. An der Stelle, an der sich zwei Herzmuskelzellen berühren, ist lichtmikroskopisch ein deutlicher Streifen sichtbar, der so genannte Glanzstreifen. Dieser ist essentiell für die elektromechanische Kopplung des Herzens und gleichmäßige Kontraktion.

5.1.2.3 glatte Muskulatur

Die glatte Muskulatur ist überall dort zu finden, wo wir Bewegungen nicht steuern können, beispielsweise die Peristaltik unseres Darms oder die Muskelschicht unserer Blutgefäße. Sie weist keine Querstreifung auf, sondern besteht aus dünnen und langen Zellen. Glatte Muskulatur kontrahiert wesentlich langsamer als Skelettmuskulatur, kann sich aber dafür auf bis zu 1/3 der Ausgangslänge verkürzen und diesen Tonus für lange Zeit halten.

5.1.3 Nervengewebe

Bei Nervengewebe wird zwischen Nerven- und Gliazellen unterschieden. Die Nervenzelle (auch: Neuron) besitzt einen Zellkörper (Soma / Perikaryon), ein oder mehrere dünne Fortsätze, genannt Dendriten, welche Reize aufnehmen und zum Soma hinleiten, und schließlich das Axon, ein dicker Fortsatz, über den das Neuron Reize weiterleitet und so das nächste Neuron erregen kann.

Gliazelle ist ein Oberbegriff für verschiedene Unterarten von Zellen (Astrozyten, Oligodendrozyten, Schwann-Zellen, etc), welche supportive Funktionen im Nervengewebe haben. Gliazellen sind vereinfacht gesagt die Stützzellen der Nervenzellen, wobei sie aber nicht zum klassischen Binde- und Stützgewebe zählen, da sie einen anderen embryologischen Ursprung haben.

Sie versorgen die Neurone z.B. mit Nährstoffen und sind in diverse Transportprozesse involviert. Bei vielen Neuronen bilden sie außerdem die Myelinschicht, die das Axon elektrisch isoliert und für eine

rasche Weiterleitung von Signalen sorgt. Wichtig an dieser Stelle ist die Unterscheidung im zentralen Nervensystem (ZNS), wo die Myelinschicht von Oligodendrozyten gebildet wird und im peripheren Nervensystem (PNS), wo die Schwann-Zellen diese Aufgabe übernehmen. Gliazellen kommen ca. 10 Mal häufiger vor als Nervenzellen, was ihre Wichtigkeit für das Nervengewebe unterstreicht. Eine genauere Erläuterung folgt im Kapitel „Organsystem / Nervensystem“.

5.1.4 Binde- und Stützgewebe

Wie schon oben erwähnt ist die Einteilung der Gewebe eher eine pragmatische: Ist es kein Epithel, kein Muskel und auch kein Nerv, so ist es ein Binde- und Stützgewebe. So zählen auch die weißen Blutkörperchen des Blutes zum Binde- und Stützgewebe. Hier ist bereits zu sehen, dass Bindegewebe sehr komplex ist, anders als Nerven- oder Muskelgewebe.

Allgemein besteht es aus spezialisierten Zellen und dem bereits erwähnten Extrazellulärraum. Dieser nimmt beim Binde- und Stützgewebe einen besonders großen Anteil ein, also ganz im Gegensatz zum Epithelgewebe, wo sich Zellen dicht an dicht drängen. Er besteht aus der so genannten Grundsubstanz, die vor allem große Mengen Wasser binden und so speichern kann und den aus Kollagen aufgebauten Fasern.

Die eigentlichen Zellen des Bindegewebes sind die Fibroblasten und Fibrozyten. Dabei handelt es sich im Grunde für dieselbe Art von Zelle. Fibroblasten sind für die Synthese der EZM verantwortlich, indem sie beispielsweise Kollagen herstellen. Die Fibrozyten sind quasi die inaktive Form der Fibroblasten, die in der EZM eingemauert sind und nur wenig bis gar keinen Anteil an der Synthese haben. Daneben existieren noch die Fibroblasten, welche das Pendant zu den Fibroblasten bilden: sie bauen EZM ab.

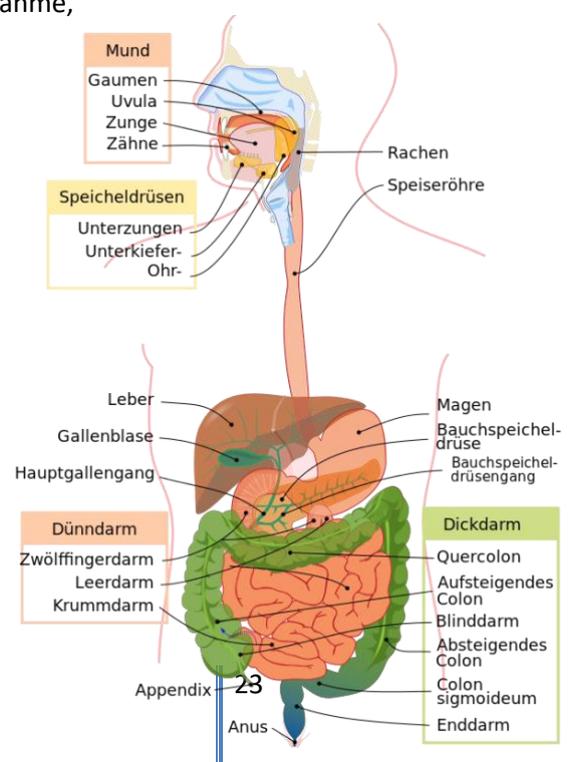
Binde- und Stützgewebe ist wie gesagt sehr differenzierbar. Eine besonders harte Form kennen wir als Knochen, daneben existiert das weichere Knorpelgewebe. Auch Fettgewebe zählt zum Bindegewebe. Unterschieden wird vor allem die Beschaffenheit der EZM und des Gewebes, so sprechen wir beispielsweise von faserigem, lockeren, retikulärem oder gallertigen Bindegewebe.

Nun kommen wir zu großen Kapitel der Organsysteme und beginnen mit dem

5.2 Verdauungssystem²⁰

Als Verdauungssystem bezeichnet man die Organe, die für Aufnahme, Transport und Verarbeitung der aufgenommenen Nahrung zuständig sind.

- Mundhöhle
- Speiseröhre
- Magen
- Dünndarm (Zwölffingerdarm [Duodenum], Leerdarm [Jejunum], Krummdarm [Ileum])
- Dickdarm (Blinddarm und Wurmfortsatz [Appendix], Grimmdarm [Colon], Mastdarm [Rectum])
- After
- Optional zählt man auch die großen Verdauungsdrüsen, Leber [Hepar] und Bauchspeicheldrüse [Pankreas] hinzu.



Die einzelnen Organe erfüllen unterschiedlichste Aufgaben und ziehen alle benötigten Nährstoffe aus der Nahrung. Da sehr viele Organe Teil des Verdauungstraktes sind, kann es zu diversen Erkrankungen kommen. Die meisten davon sind harmlos, doch einige können unter Umständen lebensbedrohlich sein.

Genau wie ein Auto braucht der menschliche Organismus Nahrung. Sie ist der Rohstoff, aus dem er in verschiedenen Aufspaltungs- und Umwandlungsprozessen seine körpereigene Energie herstellt.

5.2.1 Was passiert, wenn ich ein Brötchen esse?

5.2.1.1 Mundhöhle

Der Bissen wird zuerst zerkleinert und mit Speichelsaft aus den Speicheldrüsen vermischt. Hierbei passieren die ersten Umwandlungsschritte. Im Speichel ist nämlich α -Amylase enthalten, ein Enzym, das beginnt die Stärke im Brot zu Maltose zu spalten. Der Verdauungsprozess beginnt also schon im Mund.

5.2.1.2 Speiseröhre

In der Speiseröhre, auch Oesophagus genannt, wird die Nahrung mithilfe von Peristaltik in den Magen gepresst.

5.2.1.3 Magen

Der Magen fasst insgesamt 1.5 Liter an Nahrung. Hier findet einiges statt. Wir haben drei wichtige Arten von Zellen, die an der Verdauung beteiligt sind.

Zum einen finden wir wieder Amylase, die Stärke weiter zersetzt. Zum anderen finden wir Belegzellen, die Salzsäure produzieren und für den niedrigen pH-Wert von 2 verantwortlich sind. Dadurch sterben gefährliche Erreger ab und können keinen Schaden mehr anrichten. Die Hauptzellen produzieren Pepsinogen, welches durch den niedrigen pH-Wert in das aktive Pepsin gespalten wird. Pepsin spaltet Proteine. Nur so kann der menschliche Körper diese wichtigen Nährstoffe aufnehmen. Die Nebenzellen produzieren hydrogencarbonat-haltigen Schleim, welches Salzsäure neutralisiert und Muzine bildet. So wird die Magenschleimhaut geschützt.

5.2.1.4 Dünndarm, Duodenum – Jejunum – Ileum

Der Dünndarm ist in drei Teile gegliedert und insgesamt 6m lang. Hier findet die Resorption der einzelnen Nahrungsbestandteile statt.

Es wird Pankreas- und Gallenflüssigkeit beigemischt, die eine große Menge an Verdauungsenzymen enthalten. Fette werden von Lipasen zu Fettsäuren gespalten, Proteine werden von Peptidasen gespalten, und langkettiger Zucker werden in Mono- und Disaccharide gespalten.

Die einzelnen Bestandteile werden dann resorbiert. Die Zucker werden über Transporter in die Zotten der Darmschleimhaut aufgenommen und Fettsäuren bilden sich zu Mizellen und werden dann über Diffusion aufgenommen.

5.2.1.5 Dickdarm (Colon)

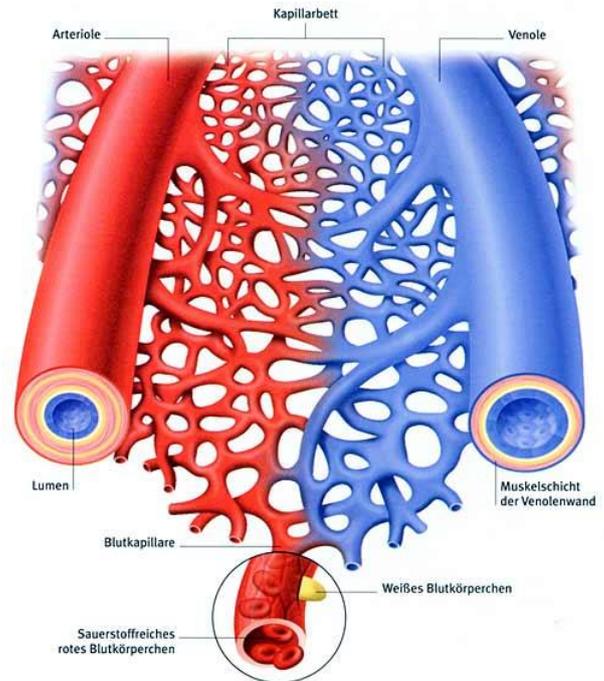
Im Dickdarm gibt es keine Zotten mehr und es kommt auch nicht mehr zur Resorption von Nahrungsbestandteilen. Vielmehr dient dieser Teil des Verdauungstraktes dazu Wasser zu resorbieren und den Speisebrei zu Stuhl einzudicken.

Wir finden im Colon wieder verschiedene Abschnitte: Colon ascendens, Colon transversum, Colon descendens. Zu guter Letzt wird der Stuhl im Mastdarm (Rektum) gespeichert und in weiterer Folge über den Analkanal ausgeschieden.

5.3 Herz-Kreislaufsystem

5.3.1.1 Die Gefäße²¹

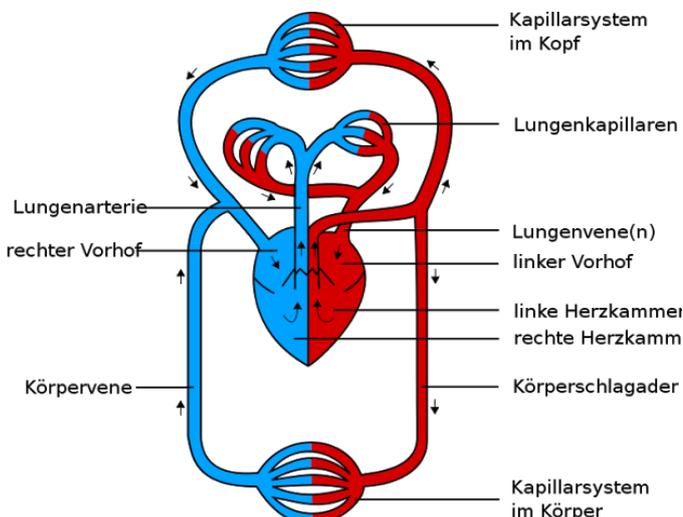
Blutgefäße, welche zum Herzen führen, werden als Venen bezeichnet, solche, die vom Herzen weg führen, als Arterien. Je weiter sie vom Herzen weg sind, desto verzweigter und kleiner werden sie. Arterien führen in die Peripherie und zweigen sich in Arteriolen auf, welche ins Kapillarbett übergehen. Aus diesem Kapillarbett, das den Übergang zwischen arteriellem und venösem System und somit den Ort des aktiven Stoffaustausches darstellt, gehen Venolen ab, welche sich zu großen Venen vereinigen.



5.3.1.2 Der Lungenkreislauf und der Körperkreislauf²²

Es gibt 2 Kreisläufe im menschlichen Körper: der Lungenkreislauf (Niederdruckkreislauf) und der Körperkreislauf (Hochdruckkreislauf). Wir starten als rotes Blutkörperchen in den peripheren Organen, z.B. im Penis (rein zufällige Auswahl ;)).

Wir befinden uns in einer Kapillare (Teil des Kapillarbettes) und haben gerade unseren Sauerstoff abgegeben. Nun wandern wir in eine Venole, die sich anschließend zu immer größeren Venen vereinigt und uns schließlich bis in die große untere Hohlvene (Vena cava inferior) transportiert. Wir fließen in den rechten Vorhof des Herzens und werden von dort in die rechte Kammer gesaugt. Diese wirft uns nach oben in die Lungenarterie (die einzige Arterie, die sauerstoffarmes Blut führt) aus. Wir kommen in immer kleiner werdende Arteriolen, bis wir in den Kapillaren, welche um eine Alveole (Lungenbläschen) herumliegen, landen. Wir werden wieder mit Sauerstoff beladen und gelangen in eine Venole. Von dieser strömen wir mit tausenden anderen roten Blutkörperchen (Erythrozyten) in die Lungenvene und landen diesmal im linken Vorhof, von wo aus wir in die linke Kammer gesaugt und mit hohem Druck in den Aortenbogen ausgeworfen werden.

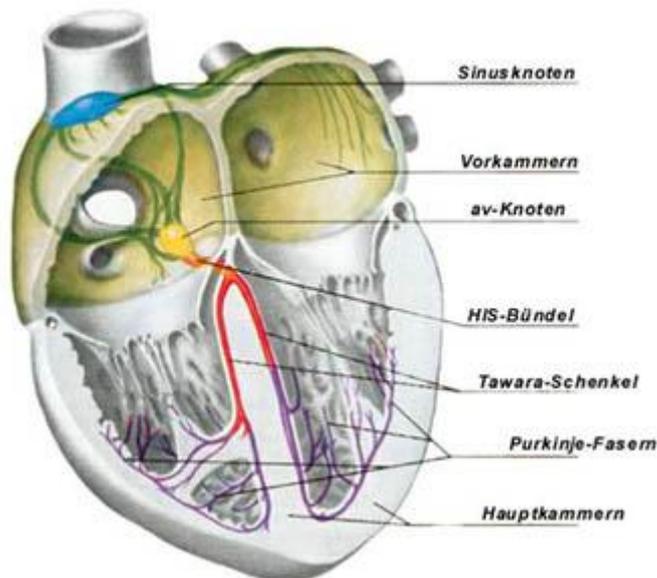
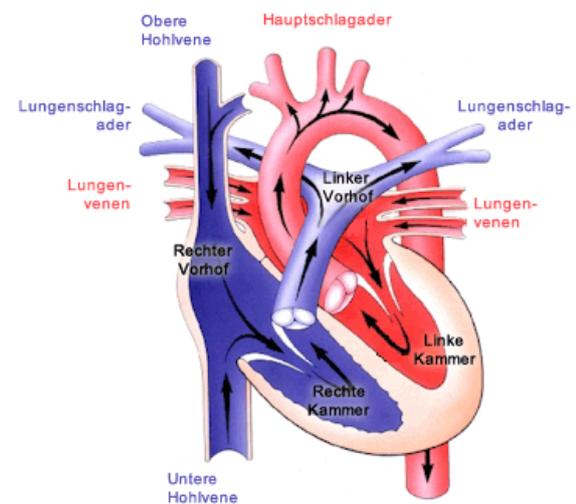


Vom Aortenbogen aus wandern wir in die großen Arterien und landen wieder in den Arteriolen des Penis (bzw. aller anderen Organen), um schließlich, wie am Anfang unserer Reise, wieder in den Kapillaren anzugelangen. Dort geben wir unseren Sauerstoff ab, damit dieser für „höherwertige Zwecke“ – Vorgänge in der Zelle genutzt werden kann! Danke rotes Blutkörperchen!

5.3.1.3 Das Herz^{23,24}

Nachdem wir schon wissen, wie der Körperkreislauf funktioniert, betrachten wir nun das Herz. Das Herz besteht aus 4 Abschnitten, 2 Vorhöfe [Atrien] und 2 Kammern [Ventrikel]. Es gibt 2 Taschenklappen [Aortenklappe und Pulmonalklappe], welche das Blut daran hindern aus der jeweiligen Struktur zurück zu laufen. Ebenso existieren 2 Segelklappen [Bikuspidal-/Mitralklappe und Trikuspidalklappe] sie erfüllen den Zweck, das Blut während der Anspannungsphase daran zu hindern, von der Kammer zurück in den Vorhof zu entweichen.

Man unterscheidet im Groben 2 Phasen: In der Systole wird Blut ausgeworfen, das Herz kontrahiert sich, während in der Diastole Blut angesaugt wird, das Herz erschlafft. Interessant zu erwähnen ist noch, dass die Durchblutung der Koronargefäße (die das Herz selbst versorgen) während der Diastole stattfindet.



Um die genau abgestimmte Kontraktion des Herzmuskels zu gewährleisten, besitzt das Organ eigene Schrittmacherzentren, die elektrische Impulse auslösen können. Die Erregungsleitung geht vom Sinusknoten aus, welcher spontan einen Stromstoß erzeugt. Dieser wird über den AV-Knoten verzögert und über die Tawara-Schenkel in die Kammern fortgeleitet. Die Tawara-Schenkel fächern sich in die Purkinje-Fasern auf, welche anschließend auch die letzten Herzzellen dazu bringen, sich zu kontrahieren.

Ein gesunder Erwachsener hat ca. **5-7L** Blut und eine Herzfrequenz von **50-100 Schläge pro Minute** bei einem Blutdruck von unter **120/80**.

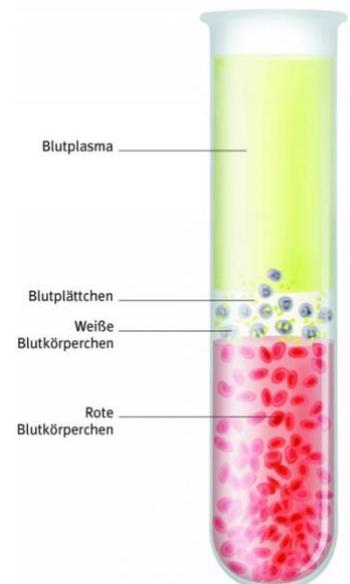
Die Regulation des Blutdruckes geht einerseits von den Barorezeptoren aus, die mittels Sensoren den Druck in der Wand der Halsschlagader messen und darauf dann antworten können. Das nennen wir die kurzfristige Blutdruckregulation. Die mittelfristige Regulation geht von der Niere aus, wo bei Mangeldurchblutung Renin ausgeschüttet wird, was zu einer Angiotensin-II-Bildung führt. Dadurch werden die Gefäße kontrahiert und der Blutdruck steigt. Die langfristige Regulation basiert auf der Änderung des Blutvolumens und wird ebenfalls von der Niere gemessen. Bei gesteigertem Blutvolumen steigt die Diurese, was von ANP gesteigert wird. ANP wird bei verstärktem Druck aus dem Herzen ausgeschüttet. Bei einem geringen Blutvolumen wird ADH (=Vasopressin) ausgeschüttet, was die Wasserrückresorption steigert. Mehr dazu im Kapitel „Niere“.

5.4 Blut^{25 26}

Das Blut besteht aus flüssigen (Blutplasma) und festen Bestandteilen (Blutzellen). Im Blutplasma befinden sich alle Nährstoffe und Blutproteine, die feste Fraktion der Blutzellen (auch als Hämatokrit bezeichnet) beinhaltet alle zellulären Bestandteile.

Blutplasma enthält:

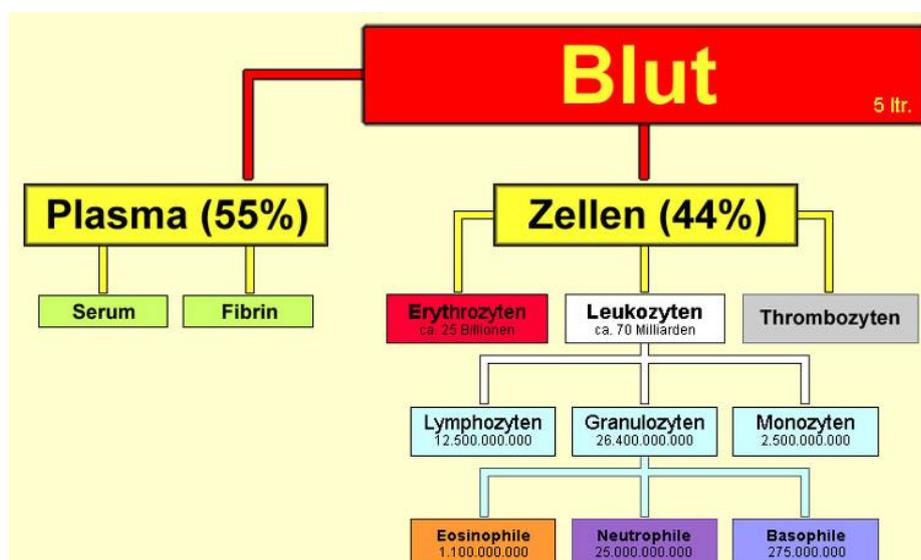
- Elektrolyte (Natrium, Chlorid, Kalium, Magnesium, Calcium, Phosphat)
- Abfallstoffe (Harnstoff, Harnsäure etc.)
- Nährstoffe (Zucker, Lipide, Proteine)
- Wasser
- Hormone
- Proteine (Albumin etc.)
- Immunglobuline (Antikörper etc.)
- Gerinnungsfaktoren (Fibrin etc.)



Wenn man dem Blutplasma die Gerinnungsfaktoren wegnimmt, erhält man Blutserum.

Die zelluläre Fraktion enthält:

- Rote Blutkörperchen, Erythrozyten (Sauerstofftransport)
- Weiße Blutkörperchen, Leukozyten (Immunabwehr)
 - Granulozyten
 - Neutrophile Granulozyten (Fresszellen, Allgemein)
 - Eosinophile Granulozyten (Parasitenabwehr)
 - Basophile Granulozyten (Induktion stärkerer Immunabwehrmechanismen)
 - Lymphozyten
 - B-Zellen (Antikörperproduktion)
 - T-Zellen (helfen den B-Zellen)
 - Natürliche Killerzellen (töten körpereigene infizierte Zellen, Virusabwehr)
 - Monozyten (Vorläufer der Makrophagen [Riesenfresszellen])
- Thrombozyten (Blutgerinnung)



5.4.1.1 Die Lymphe

Bei der Lymphe handelt es sich um eine wässrige, hellgelbe Flüssigkeit, welche in den Lymphgefäßen zu finden ist. Die Lymphflüssigkeit setzt sich aus der Gewebsflüssigkeit und dem Blutplasma zusammen.

Sie transportiert Bestandteile, die zu groß für das Blut sind, beispielsweise die Chylomikronen (fettgeladene Partikel aus dem Verdauungstrakt, welche erst in der Leber in bereits kleineren Partikeln in das Blut gelangen). Ebenso befinden sich in der Lymphe Immunzellen wie die Lymphozyten. Beim Lymphsystem handelt es sich um ein offenes System und keinen Kreislauf, die Lymphe wird aus dem Körper gesammelt und geht anschließend in die große Hohlvene ein.

5.5 Immunsystem

Dem Immunsystem kommt die Aufgabe der Krankheitsverhinderung und -bekämpfung zu. Dies betrifft Bakterien, Pilze, Parasiten und auch Krankheiten wie Krebs. Allerdings kann auch eine überschüssige Immunantwort zu einer Krankheit führen (Autoimmunkrankheiten, Allergien).

Man unterscheidet grob in angeborene/unspezifische Immunabwehr und erworbene/spezifische Immunabwehr.

5.5.1 Das angeborene Immunsystem

5.5.1.1 Mechanische Barrieren

Die mechanischen und physiologischen Barrieren des Körpers sind die erste Verteidigungslinie gegen Krankheitserreger. Sie sorgen dafür, dass Pathogene erst gar nicht in den Körper eindringen können oder ihn möglichst schnell wieder verlassen:

- **Haut** – äußere Schicht als Barriere, Talg, Schweiß und Normalflora als Wachstumsbremsen für pathogene Mikroorganismen
- **Schleimhaut** – Bindefunktion des Schleims (z.B. Mund, Nase)
- **Augen** – Abtransportfunktion der Tränen, antimikrobielles Enzym Lysozym bekämpft Mikroorganismen
- **Atemwege** – Bindefunktion des Schleims, Abtransportfunktion der Flimmerhärchen
- **Mundhöhle** – antimikrobielles Enzym Lysozym im Speichel bekämpft Mikroorganismen
- **Magen** – der saure pH-Wert der Magensäure (die Salzsäure enthält) und Eiweiß abbauende Enzyme zerstören fast alle Bakterien und Mikroorganismen
- **Darm** – Infektabwehr durch anwesende Bakterien (Darmflora), Abtransportfunktion durch ständige Entleerung und das so genannte darmassoziierte Immunsystem (GALT = Gut Associated Lymphoid Tissue) und antibakterielle Proteine
- **Harntrakt** – Abtransportfunktion durch ständige Harnausspülung sowie osmotische Effekte der hohen Harnstoffkonzentration

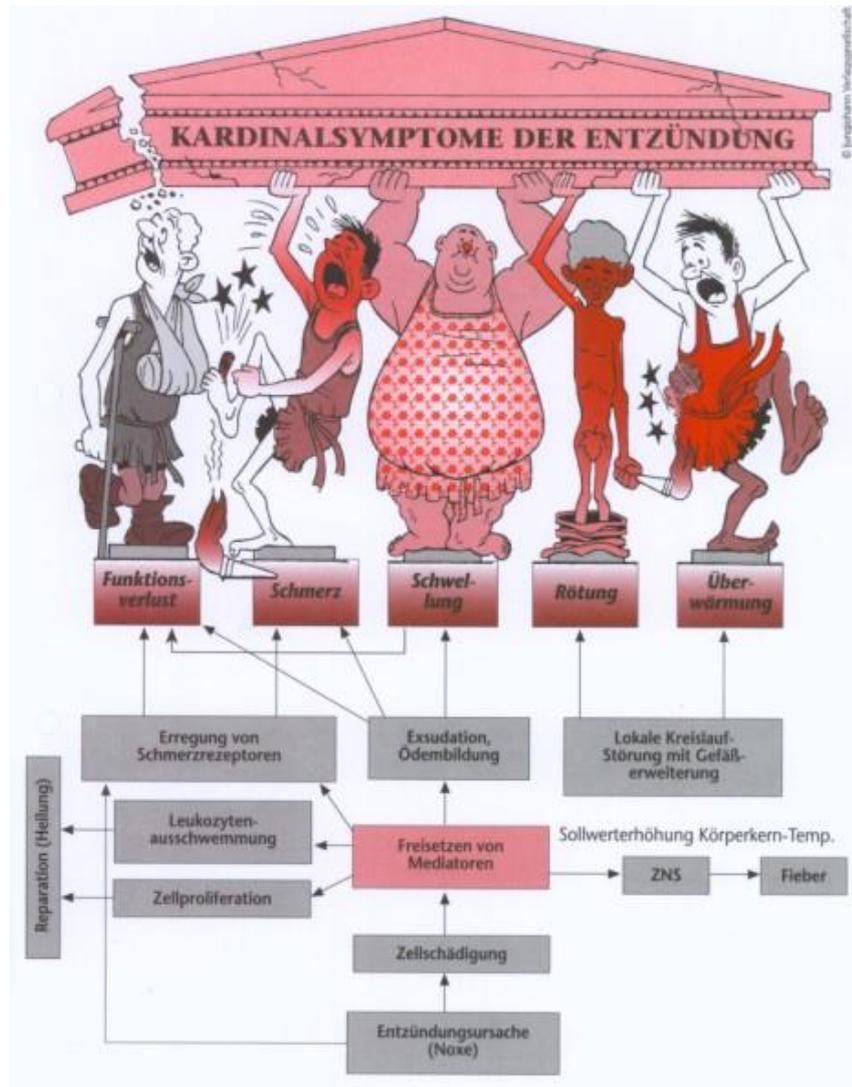
5.5.1.2 Allgemeine Phagozytose (Fresszellen)

Es handelt sich um Zellen, die unspezifisch dazu fähig sind, körperfremdes Material zu „verschlucken“ und aufzulösen. Dazu sind Makrophagen/Monozyten, Granulozyten und dendritische Zellen fähig. Bei dendritischen Zellen handelt es sich um Zellen, die körperfremdes Material verspeisen (=phagozytieren) und Teile davon auf ihrer Oberfläche herzeigen (=exprimieren), dadurch können T- und B-Zellen gemeinsam einen passenden Antikörper dagegen entwickeln.

5.5.1.3 Entzündliche Reaktion allgemein²⁷

Was ist eine Entzündung? Eine Entzündung ist ein Prozess, bei welchem der Körper versucht Keime „auszuspülen“ und Immunzellen anzulocken. Es gibt „Kardinalsymptome“, welche eine Entzündung definieren: Schmerz, Schwellung, Rötung, Überwärmung, Funktionsverlust.

Stellen wir uns vor, wir haben uns einen Schiefer in den Finger eingezogen und unser Körper versucht, die eingeschleppten Keime zu bekämpfen. Als Erstes werden Vasodilatoren (=Gefäß-Erweiterer) ausgeschüttet, welche dafür sorgen, dass mehr Blut zugeführt wird und somit mehr Immunzellen zum Infektionsherd gelangen können. Aus der verstärkten Durchblutung ergeben sich die Schwellung (lat. Tumor), die Rötung (lat. Rubor) und die Überwärmung (lat. Calor). Generell reichern sich nun Abwehrzellen an, welche beginnen, die Keime anzugreifen, großteils noch unspezifisch wie z.B. die neutrophilen Granulozyten. Sie schütten Enzyme aus, die alles in der Umgebung abbauen und die Entzündungsreaktion verstärken. Nun kommt es zu Schmerzen (lat. Dolor) und ab einem gewissen Grad zu Funktionsverlust.



Es werden in weiterer Folge auch spezifische Immunzellen eingeschwenkt, demnach ist die Entzündungsreaktion sowohl Teil der spezifischen als auch unspezifischen Abwehr.

5.5.1.4 Komplementsystem

Das Komplementsystem ist Teil des unspezifischen (also angeborenen) humoralen Immunsystems. Es handelt sich um eine Reihe von Proteinen, welche von Oberflächenproteinen der Keime aktiviert werden. Sie können weitere Immunzellen anlocken und auch selbst die Keime töten, indem sie sich in die Membranen der eingedrungenen Stoffe einlagern.

Bei Aktivierung (durch fremde Bakterien z.B.) kommt es durch kaskadenartige proteolytische gegenseitige Aktivierung und Bindung der Komplementfaktoren zur Bildung eines lytischen Komplexes, welches die fremden Zellen dann vernichten kann.

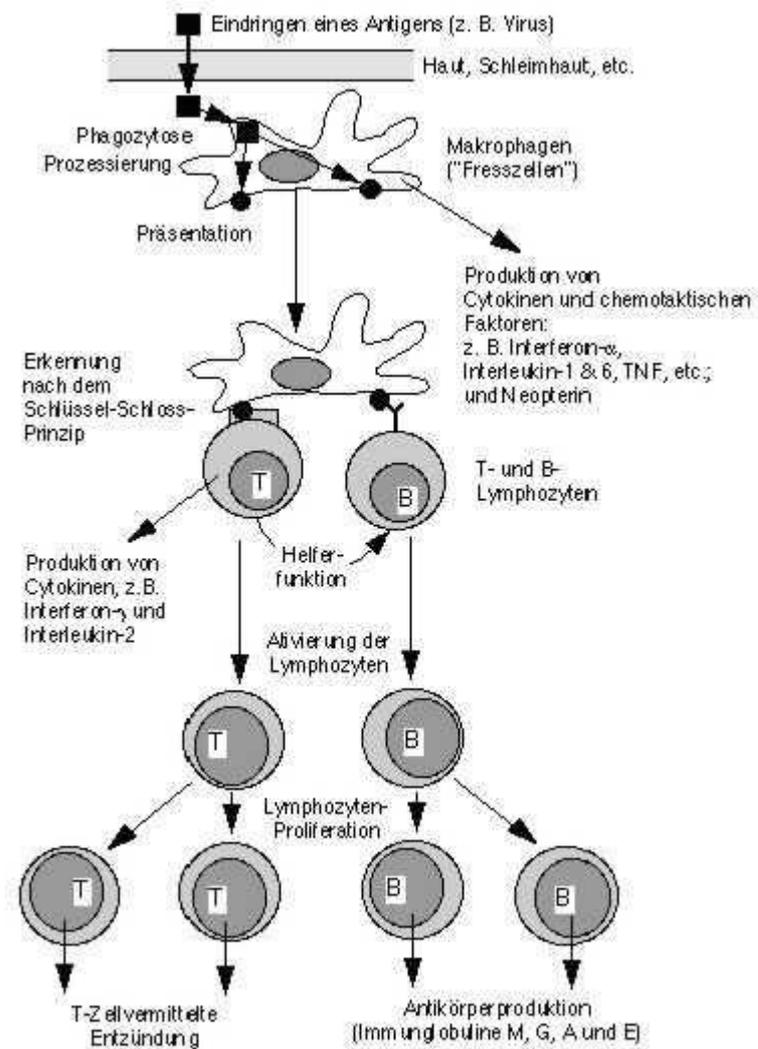
5.5.2 Das adaptive Immunsystem²⁸

Wenn ein Keim in den Organismus kommt, wird dieser von Antigen-Präsentierenden Zellen (APC-Zellen) aufgenommen, verdaut und Teile davon werden an der Oberfläche hergezeigt (exprimiert). Unter den APC-Zellen sind die dendritischen Zellen, Monozyten, Makrophagen und B-Lymphozyten zu finden.

Ziel ist es die fremden Proteine für die T- und B-Zellen zur Verfügung zu stellen, die dann die spezifische Abwehrreaktion in Gang bringen und genau abgestimmte Antikörper produzieren können.

Diese stellen Erkennungsstrukturen dar, mit Hilfe derer die Abwehrzellen nach dem Schlüssel-Schloss-Prinzip genau an die Keim-Zellen binden können, die gerade bekämpft werden sollen.

Näheres zu Antikörpern findest du im Kapitel „Immunbiologie“.

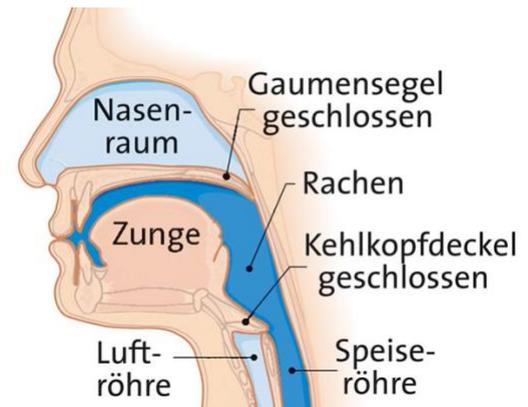


5.6 Atmungssystem

5.6.1 Nasenhöhle und Rachen²⁹

Die Atmung beginnt mit Nase bzw. Nasenhöhle, welche mit Schleimhaut und darauf sitzenden Flimmerhaaren ausgestattet ist und so die Luft anwärmen sowie anfeuchten kann. Ein kleiner Teil der Nasenschleimhaut ist für den Riechsinn zuständig.

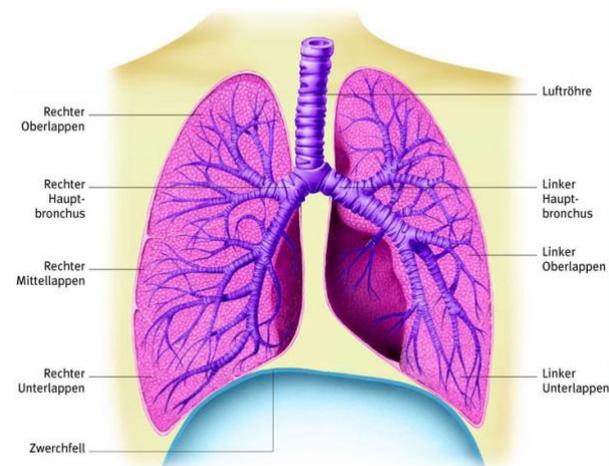
Der Rachen verbindet Nasenraum, Mundraum sowie den sich anschließenden Luft- und Speiseweg. Im Nasenabschnitt mündet die Ohrtrumpete, welche eine Verbindung zum Mittelohr darstellt und Entzündungen übertragen kann sowie dem Druckausgleich dient.



5.6.2 Der Kehlkopf und die Luftröhre³⁰

Der Kehlkopf (Larynx) liegt wie die anschließende Luftröhre am Hals vor dem Speiseweg. Er ist für die Stimmbildung verantwortlich. Der Kehlkopf ist ein am Zungenbein aufgehängter Schlauch und wird bei jedem Schluckvorgang durch das Verschließen des Kehldeckels geschützt, indem der gesamte Kehlkopf durch Muskeln nach oben gezogen und dadurch der Kehlecken darüber geklappt wird.

Anschließend folgt die Luftröhre (Trachea). Sie reicht - bis zu ihrer Gabelung in die beiden Hauptäste - bis etwa in die Höhe des 5. Brustwirbelkörpers. Sie ist ebenfalls mit Schleimhaut und Flimmerepithel ausgekleidet. In die Wand sind hufeisenförmig gekrümmte nach hinten offene Knorpelspannen eingelagert. Diese bewirken, dass die Luftröhre steif und stets offen ist.



5.6.3 Die Bronchien, Bronchiolen und Alveolen

Die Luftröhre ist mit dem hohlen Stamm eines Baumes vergleichbar, aus dem ebenfalls hohle Äste, die Bronchien hervorgehen. Daher der Ausdruck Bronchialbaum. Aus der Gabelung entspringt ein rechter und linker Hauptbronchus für den jeweiligen Lungenflügel.

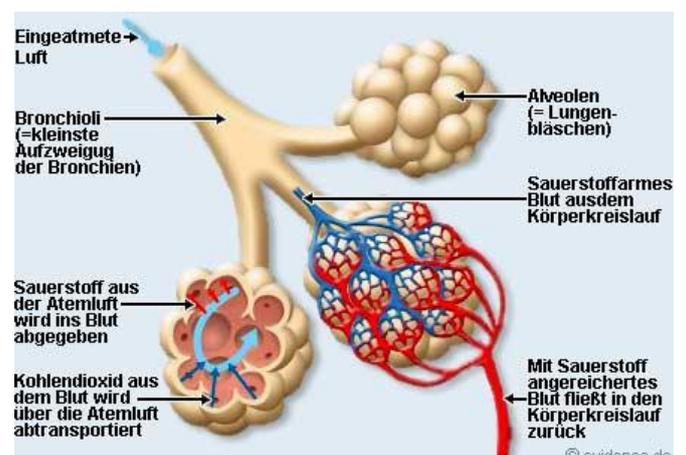
Fremdkörper verirren sich meist in den rechten Bronchus, da dieser aufgrund des Herzens, welches eher links im Brustkorb liegt, steiler abgeht.

Die Bronchien teilen sich weiter auf in Bronchiolen, welche dann wie Weintrauben die Alveolen beinhalten.

5.6.4 Die Lunge

Die Lunge besteht aus einem rechten und linken Lungenflügel, die durch die Trachea verbunden ist. Der rechte Lungenflügel hat 3 Lappen. Der linke Flügel hat nur 2 Lappen. Das kann man sich einfach merken, da das Herz normalerweise leicht nach links gedreht ist. Somit hat der rechte Lungenflügel mehr Platz und auch mehr Lappen.

Die Trachea (Luftröhre) spaltet sich kurz vor der



Lunge in einen Linken und rechten Hauptbronchus. Der rechte Hauptbronchus geht steiler und tiefer nach unten. Deshalb landen Gegenstände bei Aspiration häufiger im rechten Hauptbronchus.

Die Bronchien teilen sich immer weiter in Bronchiolen auf und enden schließlich in den Alveolen, wo der Gasaustausch stattfindet.

5.6.5 Gasaustausch³¹

Er findet in den Alveolen selbst statt. Es wird O₂ aus der Luft in das Blut aufgenommen und umgekehrt CO₂ aus dem Blut in die Luft abgegeben.

Die große Frage, die bleibt, lautet: „Wodurch wird die Lunge überhaupt bewegt?“ Dafür ist ein Muskel zuständig, der Zwerchfell genannt wird. Zieht es sich zusammen, dehnt sich die Lunge aus und es kommt zur Einatmung. Erschlafft es, wird die Lunge komprimiert und es erfolgt die Ausatmung.

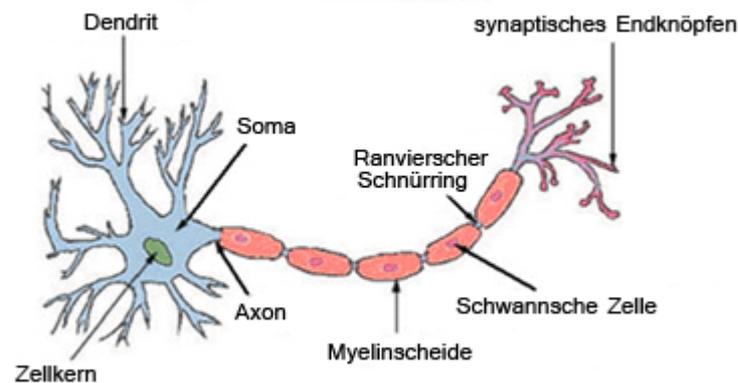
5.6.6 Atemsteuerung

Die Steuerung der Atmung geschieht über das Gehirn. Genauer gesagt über das Atemzentrum in der Medulla oblongata. Chemorezeptoren messen den Partialdruck von CO₂ im Blut und können dann darauf antworten, indem wir häufiger oder weniger häufig atmen. Ein normaler Erwachsener macht **12-18 Atemzüge/min** (=Atemfrequenz). Ein Neugeborenes macht rund 40 Atemzüge/min.

5.7 Nervensystem

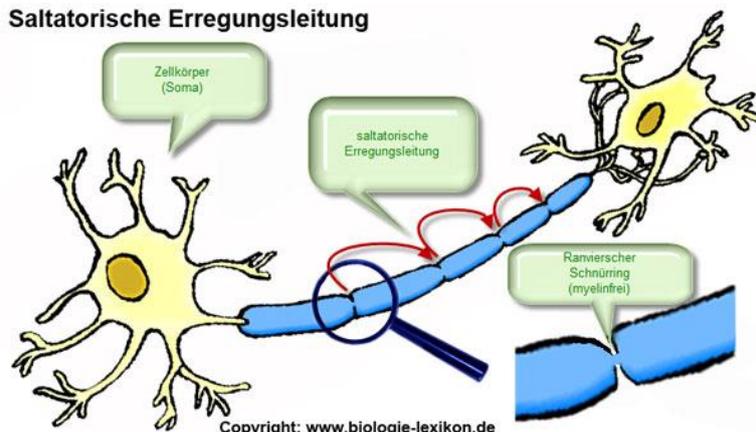
Das Nervensystem dient generell der Übertragung von elektrischen Impulsen - entweder um eine Information wahrzunehmen (sensorisch/sensibel) oder um einen Befehl an Muskeln zu geben (motorisch). Ebenfalls gibt es die Möglichkeit des Interneurons, welches nur als Schaltstelle zur Weitergabe von Informationen dient. Zu allererst betrachten wir, wie Nerven aufgebaut sein können.

5.7.1 Aufbau der Nervenfasern³²



- **Dendrit**
Signale werden durch die Dendriten empfangen. Diese Signale können von anderen synaptischen Endknöpfchen oder direkt von Rezeptoren (beispielsweise Barorezeptoren zur Druckempfindung) stammen
- **Zellkern und Soma**
Alle Signale gelangen zum Zellkörper (Soma), dort summieren sie sich, sobald sie eine gewisse Schwelle überschreiten werden sie über den Axonhügel in ein elektrisches Signal umgewandelt.
- **Axon und Axonhügel**
Der Axonhügel (dort, wo in der Grafik „Axon“ eingezeichnet ist) ist der Ort, der eigentlichen Signalentstehung. Das Axon selbst ist das gesamte Kabel welches von der Myelinscheide umwickelt ist.
- **Schwann'sche Zelle**
Diese produzieren die Myelinscheide, eine fettreiche Schicht, welche das Axon umhüllt und isoliert.
- **Ranvier'sche Schnürringe³³**
Es handelt sich hierbei um Unterbrechungen der Isolation. Ein Signal kann entlang des „Kabels“ nur von Schnürring zu Schnürring springen. Man bezeichnet das als saltatorische Erregungsleitung.

Saltatorische Erregungsleitung



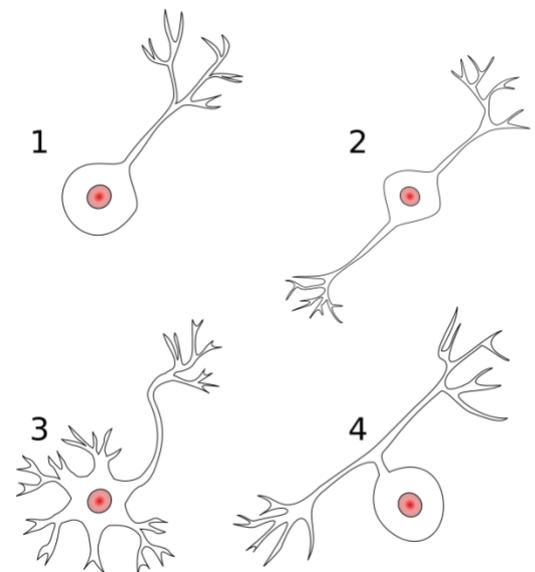
Wozu? Erstens erfolgt die Weiterleitung schneller, weil einfach größere Distanzen zurückgelegt werden können, zweitens würde z.B. bei einem Stromkabel ein Spannungsverlust aufgrund des Widerstandes auftreten, dies passiert bei dieser Methode. Der letzte Grund ist, dass so sichergestellt werden kann, dass ein Signal nur in eine Richtung fließt → während Schnürring 2 feuert, befindet sich Schnürring 1 noch in der sogenannten „Refraktärzeit“, in der er noch nicht wieder erregt werden kann.

- Synaptische Endköpfchen
Hier ist der Ansatzpunkt zur nächsten Struktur, die entweder eine Synapse mit Kontakt zu Dendriten des nächsten Nervs, oder eine neuromuskuläre Endplatte sein kann, die als Übergang zwischen Nerv und Muskel dient und durch elektrische Signale Kontraktionen auslösen kann.

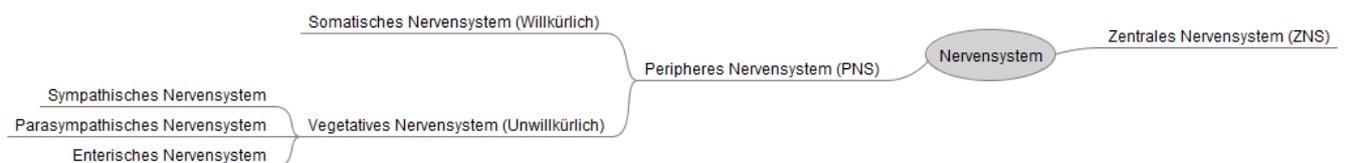
5.7.2 Aufbau verschiedener Neurone³⁴

Man sollte ein paar Nervenzelltypen kennen.

- 1. Unipolare Nervenzelle**
Ein Axon, keine Dendriten
- 2. Bipolare Nervenzelle**
Ein Axon und ein Dendrit
- 3. Multipolare Nervenzelle**
Zahlreiche Dendriten und ein Axon
- 4. Pseudounipolare Nervenzelle**
Ein Axon und ein Dendrit, die Erregung durchläuft hier allerdings nicht das Soma



5.7.3 Einteilung des Nervensystems



Die Unterscheidung zwischen PNS (Peripheres Nerven System) und ZNS (Zentrales Nervensystem) ist rein topografisch, funktionell sind sie keine eigenen Systeme. Das ZNS inkludiert das Gehirn und das Rückenmark. Hier werden die willkürliche Motorik und das bewusste sowie das unbewusste Denken gesteuert.

Das PNS inkludiert alles, was nicht im Gehirn oder Rückenmark liegt. Das somatische Nervensystem ist willkürlich steuerbar. Beispielsweise die Atemmuskulatur oder das Heben eines Armes.

Das vegetative Nervensystem ist nur indirekt steuerbar und wird als unwillkürliches Nervensystem bezeichnet. Dies betrifft beispielsweise das Verdauen (enterisches NS) oder die Herzfrequenzerhöhung (Sympathikus) und -erniedrigung (Parasympathikus).

5.7.4 Gehirn

Das Gehirn wird von 3 Hirnhäuten (Meningen) bedeckt: Die Dura mater, die Dura arachnoidea und die Pia mater. Außerdem hat das Gehirn viele verschiedene Bereiche, auf die wir alle einzeln eingehen wollen.

- Großhirn (Cerebrum)

Vieles vom Gehirn ist noch nicht erforscht. Wir wissen aber, dass hier vor allem das bewusste Denken stattfindet. Die zwei Hemisphären nutzen wir unterschiedlich. Die linke nutzen wir für Lesen, Schreiben, Rechnen, und analytisches Denken. Die rechte Seite nutzen wir vor allem für das kreative Denken.

Das Gehirn hat verschiedene Lappen: Frontallappen, Parietallappen, Okzipitallappen und Temporallappen.

Die äußere Schicht des Hirns besteht aus grauer Substanz, während die innere aus weißer Substanz besteht. Das hat mit der Myelinscheide von Neuronen zu tun, die weißlich schimmern. Aufgepasst: Im Rückenmark ist es genau umgekehrt. Außen finden wir die weiße Substanz, während wir innen die graue besitzen.

- Zwischenhirn (Diencephalon)

Im Diencephalon finden wir u.a. den Thalamus und den Hypothalamus. Der Hypothalamus ist das Regulationszentrum des vegetativen Nervensystems und für wichtige Verhaltensweisen zuständig, zum Beispiel unserem Sexualverhalten. Außerdem ist er der Hypophyse übergeordnet und kann sie mit Hormonproduktion beeinflussen.

- Mittelhirn (Mesencephalon)

Schaltzentrum für optische und akustische Reize, sowie den Schlaf-Wach-Rhythmus.

- Limbisches System

Zuständig u.a. für emotionales Verhalten, Motivation sowie Lernen und Gedächtnis.

- Kleinhirn (Cerebellum)

Auch das Kleinhirn besitzt wie das Cerebrum 2 Hemisphären. Es ist u.a. zuständig für Bewegungskoordination und Erhaltung des Gleichgewichts.

- Nachhirn (Medulla oblongata)

In der Medulla ist der Sitz für viele lebenswichtige Reflexe wie zum Beispiel den Atemreflex. Es ist außerdem die Übergangsstelle von Gehirn und Rückenmark.

5.8 Sinnesorgane

"In anthroposophischer Beleuchtung darf alles dasjenige ein menschlicher Sinn genannt werden, was den Menschen dazu veranlasst, das Dasein eines Gegenstandes, Wesens oder Vorganges so anzuerkennen, dass er dieses Dasein in die physische Welt zu versetzen berechtigt ist."

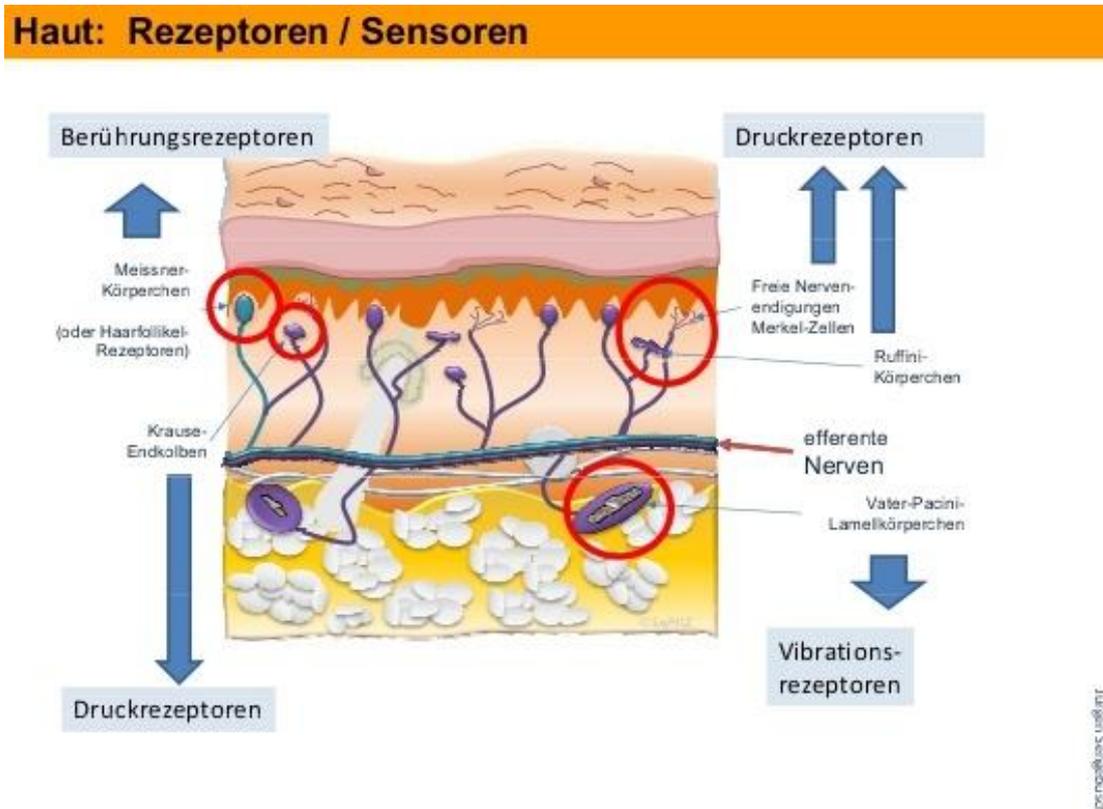
Da sich die Medizin im Gegensatz zur Anthroposophie aber eher auf klar abgrenzbare Begriffe verlässt zählen dazu folgende Sinne:

- Sehen
- Hören
- Riechen
- Schmecken
- Fühlen

Die Sinnesorgane unterscheiden sich in der Art der Verarbeitung bzw. der Art des Reizes, den unser Körper erhält. Dabei bekommen Nase und Zunge etwa chemische Reize, welche als Moleküle auf die Oberfläche gelangen und dann weiter an unser Gehirn geleitet werden. Beim Sehen müssen erst Lichtwellen, die auf unsere Netzhaut auftreffen in elektrische Impulse umgewandelt werden. Genauso ist es beim Fühlen, wo physikalische Reize umgewandelt an unser Gehirn weitergeleitet werden. Dort wird die Information interpretiert. Das heißt - erst nach Ankommen im Gehirn können wir sagen, was unser Sinn eben wahrgenommen hat. Anschließend reagiert unser Körper dann entsprechend auf folgenden Reiz wie z.B. bei Sehen des Partners mit Freude.

5.8.1 Haut/Gefühlssinn³⁵

Die **Haut** ist ein Flächenorgan, das einerseits unseren Körper gegenüber der Außenwelt schützen, andererseits physikalische Prozesse wie Wärme, Kälte, Druck wahrnehmen und darauf mit z.B. Gänsehaut bei Kälte reagieren soll.



Die menschliche Haut besitzt eine Gesamtfläche von ca. 2 m², ein also gar nicht so kleines und oft unterschätztes Organ.

Die Haut setzt sich aus verschiedenen Schichten zusammen:

- Cutis, bestehend aus
 - Epidermis (Oberhaut)
 - Dermis oder Corium (Lederhaut)
- Subcutis (Unterhaut)

In die Haut sind Hautanhangsorgane (Haar, Nagel, Schweiß-, Talg- und Duftdrüsen), Blutgefäße, Nervenendigungen, Thermo- und Berührungsrezeptoren eingelagert, die dem Schutz, aber auch der Interaktion mit der Umwelt dienen.

Es gibt verschiedene Rezeptoren, welche jeweils ihre eigene Bedeutung in der Art der Wahrnehmung haben. Grob unterscheiden wir Tast-, Schmerz- und Temperaturrezeptoren:

Tastrezeptoren:

- Meissner'sche Körperchen reagieren auf leichte Berührung.
- Pacinische Körperchen reagieren auf Druck und besonders auf Vibration.
- Merkel'sche Tastscheiben reagieren auf exakt lokalisierten Druck/Berührungen.
- Krause-Endkolben reagieren auf Druck und entsprechen einer kleineren Version der Pacini-Körperchen.
- Ruffini-Körperchen reagieren auf Dehnung und Spannung.



Wie zu erkennen überschneiden sich Bereiche der einzelnen Rezeptoren teilweise in ihrer Zuständigkeit. Sie unterscheiden sich aber beispielsweise auch in der Art, wie schnell sie an einen Reiz adaptieren – wir unterscheiden dann zwischen *slowly-adapting-* (SA) und *rapidly-adapting-*Sensoren (RA). Weiterhin existieren auch Differential- (D-) und Proportional-(P-) Sensoren. Dies wird beim MedAT wohl nicht geprüft, sondern soll an dieser Stelle lediglich eine Erklärung liefern, warum verschiedene Rezeptoren scheinbar ähnliche Aufgaben haben.

Schmerzrezeptoren:

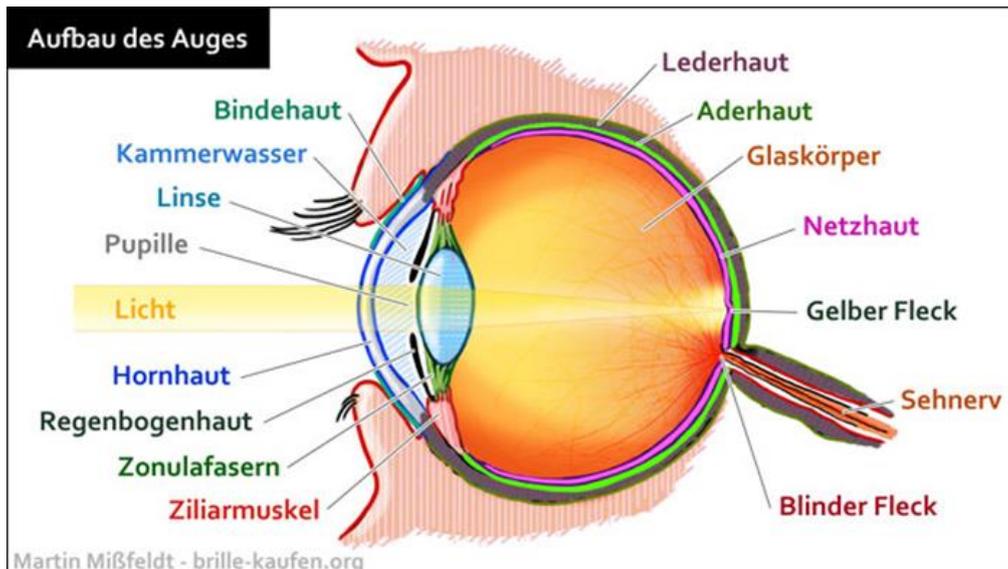
- freie Nervenendigungen reagieren auf Schmerz: hier stehen alle Hautrezeptoren in engem Kontakt mit einer Nervenfaser, die die von Rezeptoren aufgenommene Informationen ins Zentralnervensystem weiterleitet.

Temperaturrezeptoren:

- freie Nervenendigungen in Epidermis und Dermis reagieren auf Kälte (20-32°C) oder Wärme (32-42°C). Die Änderung der Temperatur ist der adäquate Reiz für diese Rezeptoren, die Information an das ZNS weiterzuleiten. Temperaturen über 42°C werden als schmerzhaft empfunden und dementsprechend von Schmerzrezeptoren wahrgenommen.

5.8.2 Augen/Sehsinn³⁶

Philosophisch betrachtet ist es nicht so, dass das Auge unsere Umgebung ins Innere des Gehirns spiegelt. Es erfolgt keine "eins zu eins" Übersetzung. Stattdessen interpretiert das Auge die visuelle Information und gruppiert und sortiert sie nach bestimmten festgelegten Prinzipien. Das, was im Gehirn ankommt bzw. dann im Gehirn als ein weit verzweigtes neuronales Muster abgelegt ist, ist nicht "die Realität", sondern unsere Auslegung der vom Auge vorverarbeiteten Realität. Anders gesagt: das Auge kann nur sehen, wozu es im Laufe der Evolution ausgebildet wurde.

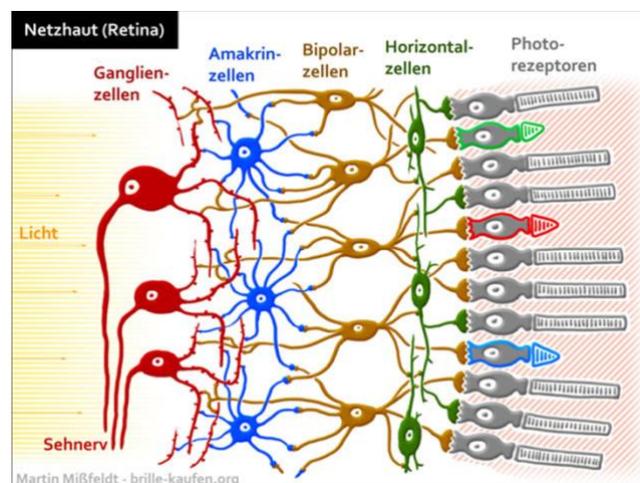


Das Licht der Sonne wird von den uns umgebenden Dingen reflektiert und dabei gestreut. Ein Teil dieser Lichtstrahlen fällt ins Auge. Dabei treffen sie zunächst auf die Hornhaut (Cornea), die das Auge schützend abschirmt und gleichzeitig durch die gewölbte Oberfläche wie eine Sammellinse wirkt. Hinter der Hornhaut befindet sich die Augenkammer, die mit Kammerwasser gefüllt ist. Anschließend fällt das Licht durch die Augenlinse. Die konvexe Wölbung der Linse verstärkt die Brechung des Lichtes durch die Hornhaut. Durch den Glaskörper, der den größten Teil des Auges bildet, gelangt das Licht dann auf die Augennenseite, die mit der Netzhaut (Retina) beschichtet ist.

5.8.2.1 Die Netzhaut³⁷

Der eigentliche "Sehprozess" findet dann auf der Netzhaut (Retina) statt. Die Retina besteht aus einer Reihe von unterschiedlichen Zelltypen, die sehr unterschiedliche Aufgaben haben. Zunächst wichtig sind die sogenannten Sinneszellen. Sie wandeln das Licht in einen elektrischen Impuls. Wie das genau abläuft, wird auf der Seite "Wie funktioniert Sehen?" beschrieben. Es gibt zwei Typen von Sehzellen:

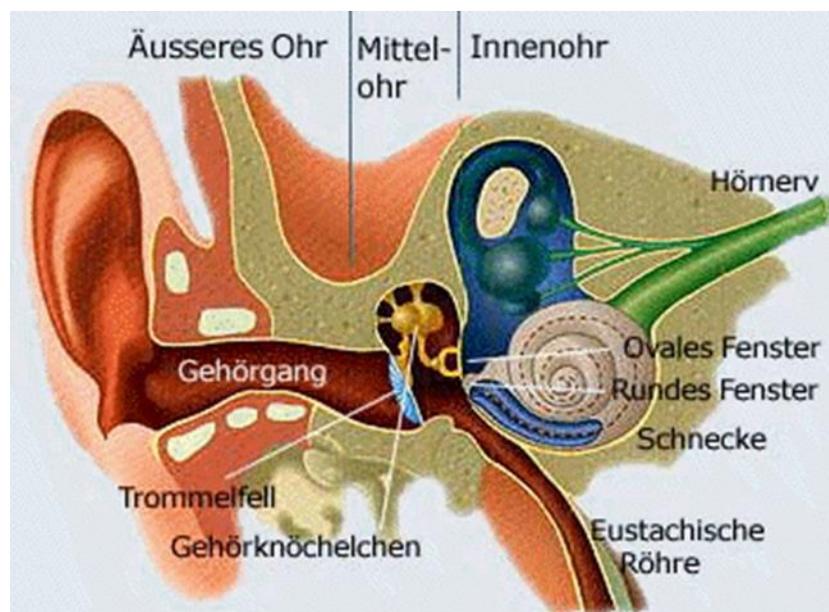
- die Stäbchen (Hell-Dunkel-Sehen, sind überwiegend bei Dämmerlicht oder Dunkelheit aktiv)
- die Zapfen (verantwortlich für das Farben-Sehen)



Die Netzhaut besteht aus einer Vielzahl von weiteren Zellen, die elektrische Impulse, die von den Sehzellen gesendet werden, weiterverarbeiten. Dabei wird die visuelle Information aus aneinandergrenzenden Regionen gebündelt, verglichen und im Kontrastfall verstärkt. Grob zusammengefasst kann man sagen, dass nur "neue" und "relevante" Informationen des "Bildes" ans Gehirn weitergeleitet werden. Eine Vielzahl interessanter optischer Täuschungen basiert auf der Verarbeitung der visuellen Information in der Netzhaut. Diese "Filterung" der Information ist sehr effektiv und sparsam. Die Evolution hat das Auge so entwickelt, dass es möglichst wenig Energie verbraucht. Logisch, man muss nicht alles sehen, um zu überleben, sondern nur das, was wichtig ist.

5.8.3 Ohren/Gehörsinn, Gleichgewichtssinn^{38,39}

Wenn ein Geräusch an unser Ohr dringt, wird es von diesem aufgenommen und verarbeitet. Anschließend wird ein Signal über den Hörnerven zu unserem Gehirn gesandt. Im Gehirn läuft dann die weitere Verarbeitung des Gehörten. Wir können daher im Wesentlichen zwischen Hören (Funktion des Ohres) und Wahrnehmen (Funktion des Gehirns) unterscheiden.



Das Ohr lässt sich in drei Abschnitte unterteilen. In das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr.

Die Ohrmuschel fängt die Schallwelle auf und leitet sie über den äußeren Gehörgang weiter zum Trommelfell. Das Trommelfell ist eine dünne Membran, die wenn eine Schallwelle auftritt wie die Membran eines Lautsprechers zu Schwingen beginnt.

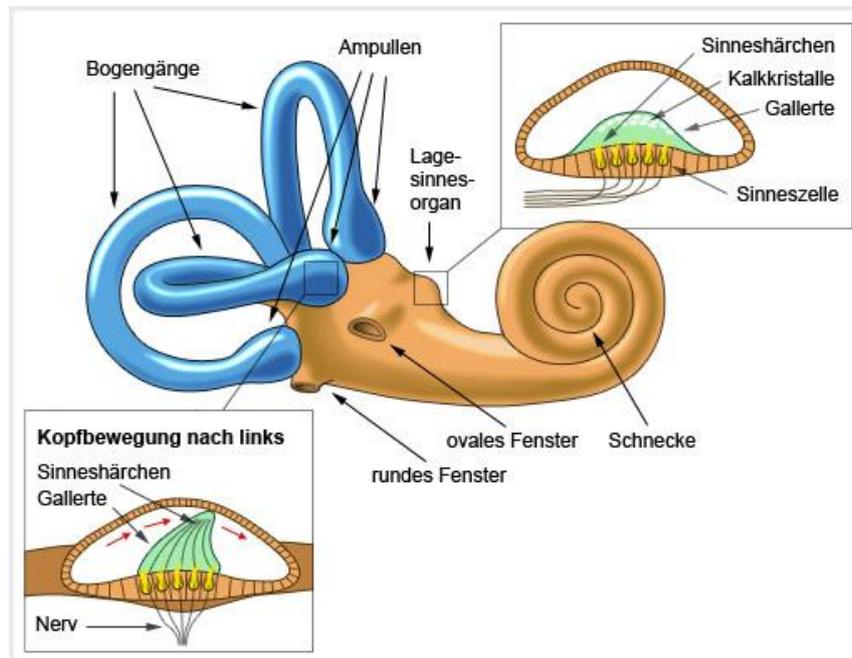
Diese Schwingung des Trommelfells wird auf die Gehörknöchelchen - Hammer, Amboss und Steigbügel - übertragen.

Das letzte der drei Gehörknöchelchen, der Steigbügel drückt wie ein Stempel in das mit einer Flüssigkeit gefüllte Innenohr. Dadurch wird die Schallwelle auf das Innenohr übertragen. Das eigentliche Hörorgan hier wird als Schnecke (lateinisch: Cochlea) bezeichnet.

In der Schnecke sind kleine Zellen, die an Ihrer Oberfläche feine Haare tragen und daher Haarzellen genannt werden.

Diese Zellen haben die Aufgabe, die eintreffende Schallwelle in ein elektrisches Signal umzuwandeln, das dann über den Hörnerven zum Gehirn weitergeleitet werden kann.

Die eben genannte Wahrnehmung betrifft das Hören. Das Innenohr erfüllt allerdings noch die Aufgabe des Gleichgewichtsinns.



Das sogenannte Vestibularorgan besitzt Bogengänge in allen Ebenen. In diesen befindet sich eine Flüssigkeit, die Endolymphe. Ebenfalls befinden sich 2 Makulaorgane (Räume mit Endolymphe und direkt verbundenen Haarzellen) im Innenohr. Der auslösende Reiz für Macula-Organ ist die Translation und Gravitation, für die Bogengänge ist der Auslöser die Drehbeschleunigung. Zusammenfassend bewirken also Bewegungen des Körpers eine Bewegung der Endolymphe, die dann je nach Bewegungsrichtung die Sinneshärchen abknickt. Die durch das Abknicken stimulierten Sinneshärchen leiten dann Signale an das Gehirn weiter.

5.8.4 Mund⁴⁰



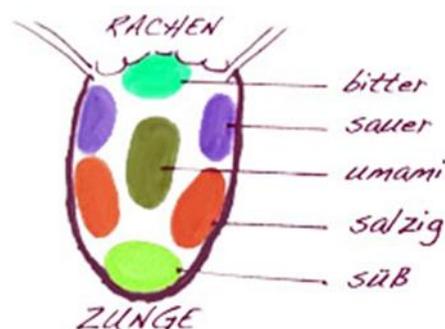
Süß, sauer, salzig, bitter und umami (japanisch für „fleischig“ oder „wohlschmeckend“) – diese fünf Geschmacksqualitäten werden im Mund von speziellen Sinneszellen erkannt. Die so genannten Papillen befinden sich vor allem an der Zungenspitze, den Zungenrändern und dem Zungenrücken, während die Zungenmitte ziemlich geschmacksunempfindlich ist. Jede Papille weist mehrere tausend Geschmacksknospen auf, die – im Zusammenspiel mit dem Geruchsinn – ein eindeutiges Geschmacksergebnis liefern.

Man kann die Geschmacksknospen in der spezialisierten Mundschleimhaut der Zunge, wo sie in den Geschmackspapillen (Papillae gustatoriae) lokalisiert sind unterteilen in Papillae fungiformes (Pilzpapillen), Papillae vallatae (Wallpapillen), Papillae foliatae (Blattpapillen).

Gustatorische Wahrnehmung⁴¹

Die gustatorische Wahrnehmung, wie der **Geschmackssinn** auch bezeichnet wird, erfüllt mehrere Aufgaben. Als wichtigste gilt die Kontrolle der aufgenommenen Nahrung hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit – also ob diese genießbar, verdorben oder giftig ist. Beim Erkennen nichtbrauchbarer bzw. verdorbener Nahrung wird sofort eine geeignete Abwehrmaßnahme in Form des **Brechreflexes** eingeleitet, um den Körper vor Schaden zu bewahren.

Eine weitere wichtige Aufgabe des Geschmackssinns ist die reflektorische Absonderung von Verdauungssäften beim Erkennen der Genießbarkeit eines Nahrungsmittels.



Bisher ging man davon aus, dass die Zunge in Geschmackszonen unterteilt wäre – demnach wäre jede Zone nur für jeweils einen Geschmack zuständig:

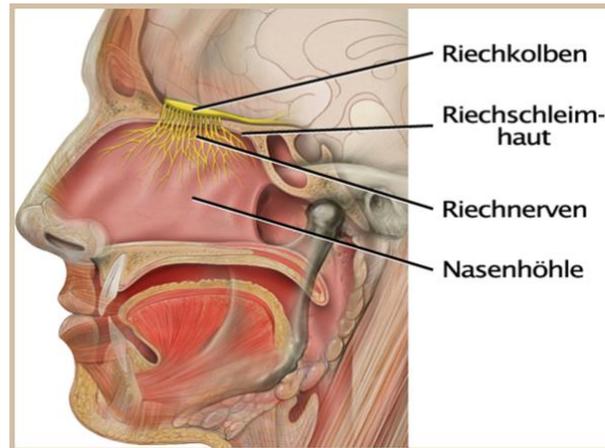
- bitter – Zungengrund
- sauer – seitlich hinten
- salzig – seitlich vorne
- umami – Zungenmitte
- süß – Zungenspitze

Neuere Erkenntnisse folgen allerdings der Annahme, dass überall, wo Schmeckzellen sind, auch alle Geschmacksqualitäten empfunden werden können. Es besteht nur eine Anhäufung der jeweiligen Knospen an den oben genannten Arealen.

Fest steht hingegen, dass im Alter die Geschmacksknospen auf der Zunge allmählich verloren gehen. Ab dem 80. Lebensjahr sind nur mehr etwa ein Drittel der Papillen funktionstüchtig und etwa 80 Prozent dieser Bevölkerungsgruppe leidet an Störungen des Geruchs- und Geschmackssinns. Viele ältere Menschen würzen daher ihr Essen zu stark oder bevorzugen geschmacksintensivere Süßspeisen.

Welche Geschmacksrichtung identifiziert und an das Gehirn weitergeleitet wird, entscheiden die jeweiligen Inhaltsstoffe der Nahrung.

5.8.5 Nase⁴²



Nehmen wir einen Duft wahr, so strömt er über unsere Nasen in die Nasenhöhle, welche mit sensiblen Riechepithel und darin enthaltenen Nervenendigungen ausgekleidet ist. Dort sitzen zahlreiche Sinneszellen, die vom Riechnerv ausgehen. Damit ist es dem Menschen möglich sehr viele Gerüche zu unterscheiden. Dennoch ist dieser Sinn im Gegensatz zu den meisten Tieren sehr schwach ausgeprägt.

Geruchssinn und Emotionen

Wenngleich dem Geruchssinn gemeinhin weniger Bedeutung zugemessen wird als dem Sehen, Hören oder Tasten, bedeutet sein Fehlen doch eine wesentliche Einbuße an Lebensqualität. Denn während beim Sehen, Hören, Fühlen und Schmecken die Informationen erst durch einen Filter müssen, gelangen Geruchswahrnehmungen unmittelbar ins Gehirn und werden dort in der gleichen Gehirnregion wie Gefühle, Ängste, Vergnügen und Erinnerungen verarbeitet.

Damit greift der Geruchssinn über das limbische System (Belohnungszentrum) unbewusst auf Stimmung, Sympathien und Antipathien sowie den Sexualtrieb ein. Damit erklärt sich auch, warum Gerüche sofort starke Gefühle in Bezug auf vergangene Ereignisse oder bestimmte Personen hervorrufen können. Auch bei der Wahl des richtigen Partners orientieren sich Menschen unbewusst an Körperdüften, auch wenn Pheromone – jene flüchtigen Substanzen, die direkt zu Verhaltensänderungen führen – streng definitorisch beim Menschen nicht nachgewiesen worden sind.

5.9 Endokrines System⁴³

Das endokrine System/Hormonsystem regelt im Körper langfristige Arbeiten. Sachen, die nicht spontan durch Nerven umgesetzt werden, werden durch das Hormonsystem gesteuert. Beteiligt sind mehrere Drüsen.

Die oberste Instanz des Hormonsystems ist der **Hypothalamus**. Er liegt im Zwischenhirn (Diencephalon) und verbindet dieses überhaupt erst mit dem Hormonsystem. Der Hypothalamus schüttet so genannte Releasing-Hormone (z.B. TRH = Thyroidea-Releasing Hormon) aus, die dann in der Hypophyse die Sekretion organspezifischer Hormone bewirken (siehe unten). Der Hypothalamus produziert außerdem zwei weitere wichtige Hormone, die dann in die Hypophyse gelangen und dort freigesetzt werden: ADH und Oxytocin.

- ADH (antidiuretisches Hormon, oder auch Vasopressin) baut in die Sammelrohre der Niere sogenannte Aquaporine ein. Diese dienen der Wasserrückresorption. Alkohol hat einen hemmenden Einfluss auf ADH, was der Grund ist, warum wir an fröhlichen Abenden öfter als gewöhnlich aufs Klo müssen.

- Oxytocin triggert die Kontraktion der glatten Muskulatur und ist besonders für den Uterus von Bedeutung, wo es die Wehen auslöst.

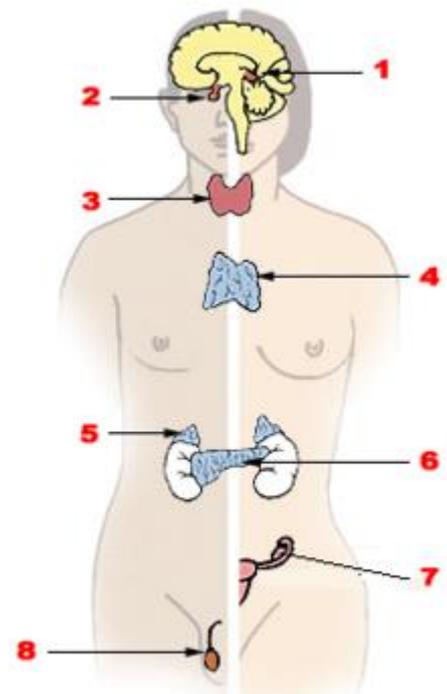
Es gibt natürlich noch weitere Instanzen im endokrinen System:

1. Zirbeldrüse (Epiphyse)

Die Epiphyse liegt im Epithalamus. Sie schüttet das Hormon Melatonin aus welches, den Schlaf-Wach-Rhythmus im Körper steuert.

2. Hypophyse (Hirnanhangdrüse)

Sie liegt unter dem Hypothalamus, welcher der Hypophyse „die Befehle“ gibt. Die Hypophyse selbst ist für die Ausschüttung mehrerer Hormone zuständig. Sie gliedert sich in eine Adenohypophyse („Hypophysenvorderlappen“) und eine Neurohypophyse („Hypophysenhinterlappen“). Die Adenohypophyse sezerniert solche Hormone, die an den nachgeschalteten Hormondrüsen (wie Ovarien/Hoden, Schilddrüse oder Nebenniere) wirken. Unter anderem: Follikelstimulierendes Hormon (FSH), Luteinisierendes Hormon (LH), Adrenocorticotropes Hormon (ACTH), Thyroideastimulierendes Hormon (TSH) und viele weitere, die man im Studium kennenlernt. Die Neurohypophyse enthält Oxytocin und ADH, welches sie aus dem Hypothalamus erhält.



3. Schilddrüse und Nebenschilddrüse

Sie wird durch Thyroideastimulierendes Hormon (TSH) von der Hypophyse stimuliert. Ihre Aufgabe ist die Produktion von Schilddrüsenhormonen (T3 und T4), welche für die Stoffwechselregulation im Körper zuständig sind. Beispielsweise führt eine Überproduktion von Schilddrüsenhormonen zu Überhitzung, Untergewicht und hohem Herzschlag. Während eine Unterfunktion zu Unterkühlung, Übergewicht und niedrigem Herzschlag führt. Die Nebenschilddrüse produziert das Parathormon (PTH), welches für den Abbau von Calcium aus den Knochen zuständig ist. (Der Gegenspieler ist das Calcitonin, welches auch in der Schilddrüse produziert wird und den Calciumeinbau in die Knochen fördert).

4. Thymus

Der Thymus selbst hat eine große Einwirkung auf das Immunsystem, er produziert die Hormone wie das Thymosin, welches einen Einfluss auf die Entwicklung von T-Lymphozyten hat.

5. Nebenniere

Die Nebenniere produziert viele wichtige Hormone. Sie gliedert sich in Rinde und Mark, wobei beide Hormone produzieren.

Nebennierenrinde: durch ACTH (aus der Hypophyse) angeregt, schüttet die Rinde Cortisol, Aldosteron und Androgene aus.

- Cortisol: ein Glucocorticoid. Cortisol ist **das** Stresshormon. Es beeinflusst den Stoffwechsel und macht (ähnlich wie Glukagon) Glukose verfügbar. In der Medizin ist es außerdem wegen seiner entzündungshemmenden Wirkung von großer Relevanz.
- Aldosteron: ein Mineralcorticoid. Es sorgt für die Rückresorption von Natrium und Wasser im Tubulussystem der Niere und steuert so auch den Blutdruck.
- Androgene: sind die männlichen Geschlechtshormone. Der wohl bekannteste (doch nicht einzige) Vertreter ist das Testosteron, welches vor allem im Hoden, aber auch in der Nebennierenrinde gebildet wird.
- Merksatz Nebennierenrindenhormone: **Mineralwasser** (Mineralcorticoid = Aldosteron) **mit Zucker** (Cortisol macht Glucose verfügbar) **macht sexy** (Androgene).

Nebennierenmark: schüttet Adrenalin, Noradrenalin und Dopamin aus, die sogenannten Katecholamine. Diese sind vor allem im sympathischen Nervensystem relevant, wo sie den Körper in Angriff- und Fluchtmodus versetzen: Blutdruck und Puls werden erhöht, die Bronchien werden erweitert, usw.

6. Pankreas (Bauchspeicheldrüse)

Die Langerhans-Inseln im Pankreas produzieren Insulin und seinen Gegenspieler Glucagon. Insulin wird in den β -Zellen des Pankreas produziert und senkt den Blutzucker, indem es Glucose in Muskel- und Fettzellen schleust. Hier wird dieses in der Speicherform Glykogen gespeichert. Glucagon aus den α -Zellen wiederum fördert den Abbau der Glykogenspeicher und steigert so den Blutzucker.

Insulin und Glucagon sind unabhängig von Hypothalamus und Hypophyse und werden einzig allein vom Blutzucker reguliert.

Exkurs: Diabetes mellitus

Typ 1: die β -Zellen produzieren kein oder fehlerhaftes Insulin → Substitution erforderlich.
(Autoimmunerkrankung)

Typ 2: Zielzellen haben eine Insulinresistenz entwickelt → Änderung des Lebensstils erforderlich.
(vor allem in Industrieländern. 90% aller Diabetes-Patienten)

7. und 8. Ovar und Hoden

Es werden dort die Geschlechtshormone Östrogen, Progesteron, Testosteron und Androsteron gebildet. Diese werden zwar grundsätzlich von Frauen und Männern produziert, allerdings je nach Geschlecht in unterschiedlicher Menge.

Viele weitere Organe im menschlichen Körper können Hormone ausschütten, allerdings wurden hier nur die „Hauptprotagonisten“ aufgeführt, was für den MedAT reichen sollte. Beispielsweise kann das Herz bei erhöhter Wasseraufnahme des Menschen das ANP (Atriales natriuretisches Peptid) ausschütten, welches in der Niere zu einer größeren Harnmenge führt.

5.10 Harnsystem

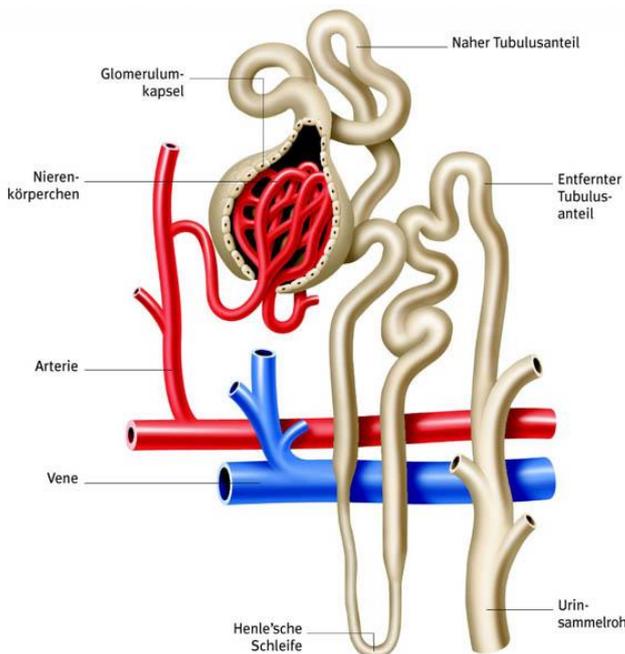
Das Harnsystem besteht aus den Nieren sowie den ableitenden Harnwegen (Nierenbecken, Harnleiter, Harnblase und Harnröhre). Es ist u.a. für die Abführung von Wasser und Giftstoffen verantwortlich sowie für die langfristige Regulation des Blutdrucks.

5.10.1.1 Die Niere^{44,45}

Die Nieren sind paarig angelegte, stark durchblutete Organe, in ihnen werden chemische Stoffe unter einer gewissen Größe abfiltriert.

Die Funktion der Nieren ist die Regulation des Wasser- und Salzhaushaltes, Regulation des Säure-Basen-Haushaltes, und sie hat eine endokrine Funktion. Außerdem bildet die Niere den Primärharn (180L/d) und daraus wird durch Rückresorption von Wasser und Elektrolyten der Sekundärharn (~1.5L/d) produziert, der als Urin ausgeschieden wird.

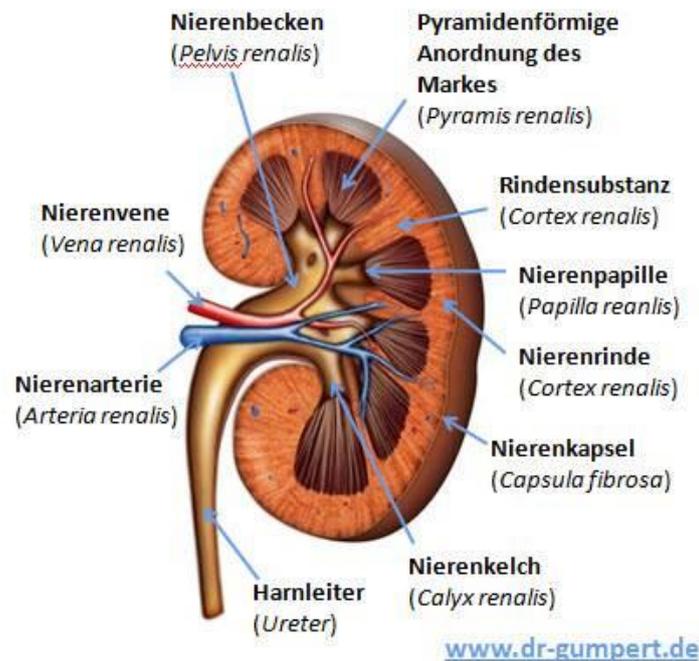
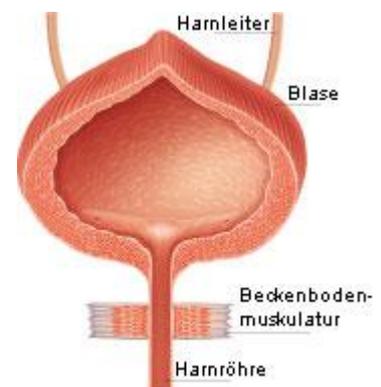
Die Funktionseinheit der Niere ist das Nephron (=Nierenkörperchen). Dieses besteht aus dem Glomerulus und dem Tubulusapparat (proximaler Tubulus – Henle Schleife – distaler Tubulus – Sammelrohr). Das Nierenkörperchen findet sich in der Nierenrinde, während der größte Anteil der Tubuli im Nierenmark liegt.



Das Blut kommt über die Nierenarterie in die Niere hinein und wird im Glomerulus filtriert. Hierbei werden natürlich auch erwünschte Stoffe wie Glukose und eine gigantische Menge an Wasser abfiltriert. Um diese Substanzen nicht zu verlieren wird im absteigenden Teil der Henle-Schleife eine große Menge an Wasser rückresorbiert, während im aufsteigenden Teil der Henle-Schleife die im Körper erwünschten Substanzen (z.B. Zucker, Ionen wie Natrium und Calcium) wieder rückresorbiert werden. Der gebildete Harn fließt nun über die Nierenpapille zum Nierenkelch, dann Nierenbecken und von dort in den Harnleiter.

5.10.1.2 Ableitende Harnwege⁴⁶

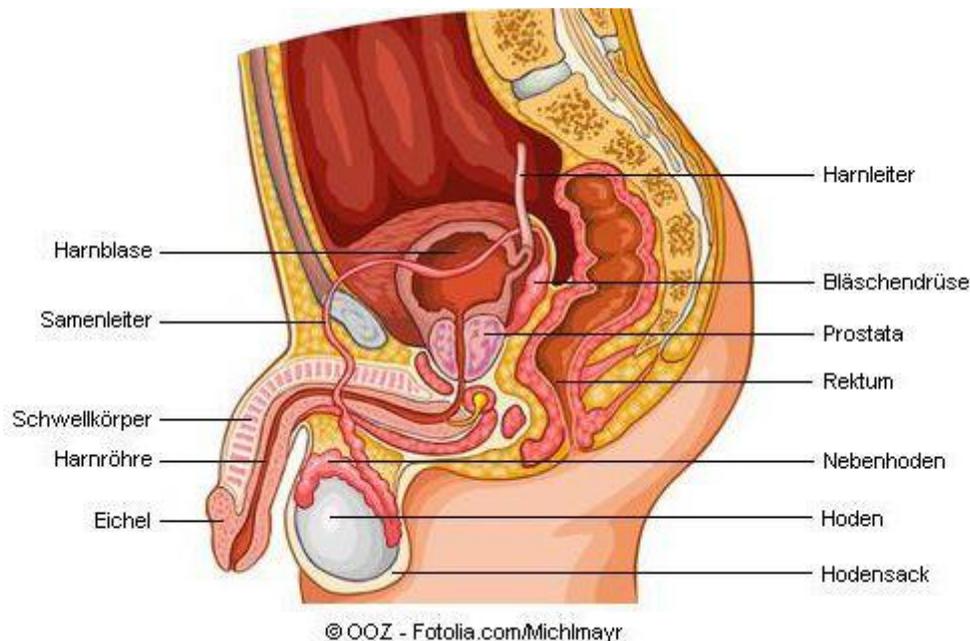
Vom Harnleiter fließt der Urin in die Harnblase, dort wird er aufbewahrt und (hoffentlich) zum richtigen Zeitpunkt, durch Anspannen des Musculus detrusor vesicae und das willkürliche Entspannen der Beckenbodenmuskulatur, entlassen.



www.dr-gumpert.de

5.11 Anatomie der Fortpflanzungssysteme

5.11.1 Mann⁴⁷



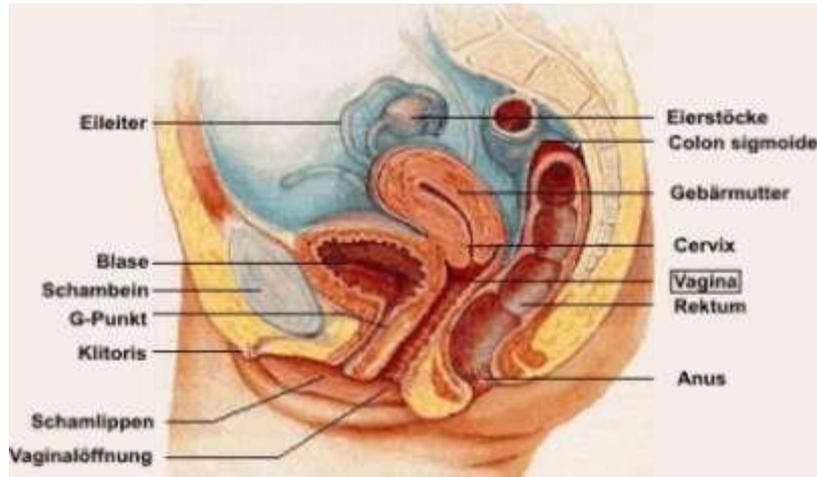
5.11.1.1.1 Äußere Geschlechtsorgane

- Penis
Man kann diesen in 3 Abschnitte unterteilen: Penismurzel (Befestigung am Becken), Peniskörper (Schwellkörper) und Penisspitze (Gefühlswahrnehmung)
- Hodensack (Scrotum)
Es handelt sich um eine Hauttasche, in welcher die Nebenhoden, der Hoden und die Samenleiter untergebracht sind. Der Grund für die „Auslagerung“ der Hoden liegt in der Temperatur. Zur gesunden Spermienreifung sind etwas tiefere Temperaturen als die Körpertemperatur von 37° notwendig.

5.11.1.1.2 Innere Geschlechtsorgane

- Hoden (Testis)
Entstehung der Spermienvorläuferzellen, Hormonproduktion
- Nebenhoden
Endlagerungsort für Spermien.
- Samenleiter
Im Falle eines Samenergusses fließt das Sperma über den Samenleiter zur Bläschendrüse.
- Prostata
Sie produziert den Großteil des Sekretes für die Samenflüssigkeit.

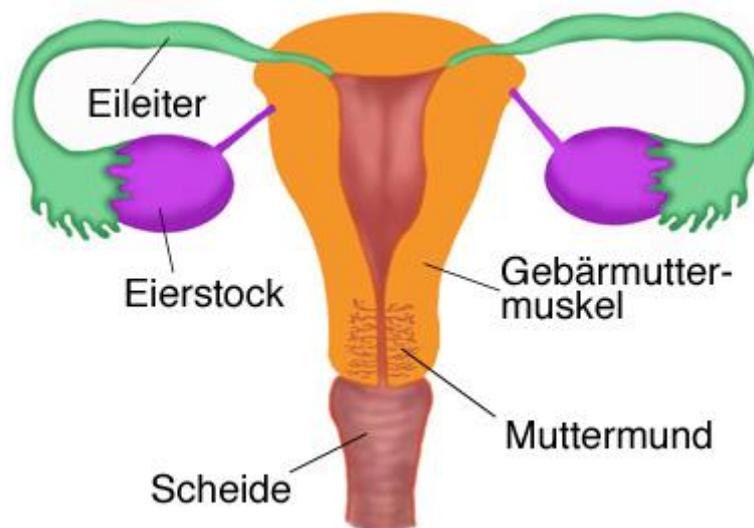
5.11.2 Frau^{48,49}



5.11.2.1.1 Äußere Geschlechtsorgane

- Schamhügel
- Große Schamlippen
- Kleine Schamlippen
- Kitzler
- Scheidenvorhof mit
 - Scheideneingang
 - Harnröhrenöffnung

5.11.2.1.2 Innere Geschlechtsorgane



- Scheide (Vagina)
- Gebärmutter (Uterus)
- Eileiter
- Eierstöcke

5.11.3 Der Weibliche Zyklus

Der weibliche Zyklus, auch Menstruationszyklus oder Ovarialzyklus genannt, ist ein ca. 28 Tage dauernder Vorgang im Körper einer Frau, der definitionsgemäß mit dem ersten Tag der Menstruation beginnt. Er dient der Bereitstellung einer befruchtungsfähigen Eizelle und bereitet den Uterus auf eine mögliche Einnistung vor. Es handelt sich um ein komplexes, sich wiederholendes Zusammenspiel verschiedener Faktoren und Hormone (hypothalamische, hypophysäre und ovarielle Hormone).

5.11.3.1 Hormone

Die zyklischen Veränderungen im Körper der Frau entstehen durch das Wechselspiel hypothalamischer (GnRH), hypophysärer (FSH, LH) und ovarieller Hormone (Inhibin, Progesteron, Östradiol). Die Konzentration der Hormone verändert sich und steuert so die verschiedenen Vorgänge.

5.11.3.2 Hypothalamus – GnRH

Das GnRH (**Gonadotropin-Releasing-Hormon**) wird im Hypothalamus gebildet, gelangt dann zum Hypophysenvorderlappen (HVL, Adenohypophyse) und bewirkt dort die Freisetzung von Gonadotropinen (LH, FSH) ins Blut. Die Freisetzung von GnRH erfolgt regelmäßig, variiert jedoch je nach Phase.

5.11.3.3 Hypophyse – Gonadotropine

Mit Gonadotropinen meint man LH (**luteinisierendes Hormon**) und FSH (**Follikel-stimulierendes-Hormon**). Diese werden im HVL gebildet und unter Stimulation von GnRH freigesetzt. Gonadotropine wirken dann auf die Follikel (=unreife Eizellen).

Luteinisierendes Hormon (LH)

- Hemmt rückwirkend im Sinne eines Feedback-Mechanismus die Sekretion von GnRH
- Fördert in der ersten Hälfte des Menstruationszyklus die Östrogenproduktion
- Fördert in der Mitte des Menstruationszyklus die Ovulation und Ausbildung eines Gelbkörpers
- Hat bis auf den hohen Ovulationsgipfel einen relativen konstanten Blutspiegel

Follikel-stimulierendes-Hormon (FSH)

- Hemmt rückwirkend im Sinne eines Feedback-Mechanismus die Sekretion von GnRH
- Initiiert in der ersten Phase des Zyklus die Follikelreifung
- Konzentration schwankt

5.11.3.4 Ovar

Hier werden vor allem Steroidhormone gebildet. Bei der Frau meint man hiermit hauptsächlich Östrogene (Follikelhormone) und Progesteron (Gelbkörperhormone).

Östrogene

- Werden von den Theka- und Granulosazellen, welche den Ovarialfollikel umgeben, gebildet. Die Produktion nimmt mit der Reifung des Follikels kontinuierlich zu.
- Während der Schwangerschaft werden sie auch in der Plazenta produziert.
- Derivate des Cholesterins

Progesteron

- Wird vom Gelbkörper während der zweiten Hälfte des Menstruationszyklus gebildet
- Wird während der Schwangerschaft auch von der Plazenta gebildet
- Derivat des Cholesterins
- Spielt eine wichtige Rolle bei der Anpassung der Schleimhaut für die Nidation (Einnistung)
- Erhöht die Basaltemperatur

5.11.3.5 Zeitlicher Ablauf⁵⁰

Der Menstruationszyklus wird in 4 Phasen eingeteilt:

- Follikelphase
- Ovulation
- Lutealphase
- Menstruation

5.11.3.5.1 Follikelphase:

Im Ovar gibt es viele Follikel mit unterschiedlichen Entwicklungs- bzw.

Reifegrad. Der dominante Follikel (in der Entwicklung am weitesten fortgeschritten) beginnt unter Einfluss von FSH verstärkt zu wachsen. FSH fördert die Östrogenproduktion von diesem Follikel. Durch die Größenzunahme erhöht sich die Östrogenproduktion, was wiederum zur negativen Rückkopplung des FSH-Spiegels führt (FSH Spiegel sinkt). Dieser Abfall des FSH Spiegel führt zur Hemmung und Degeneration der anderen Follikel.

5.11.3.5.2 Ovulation:

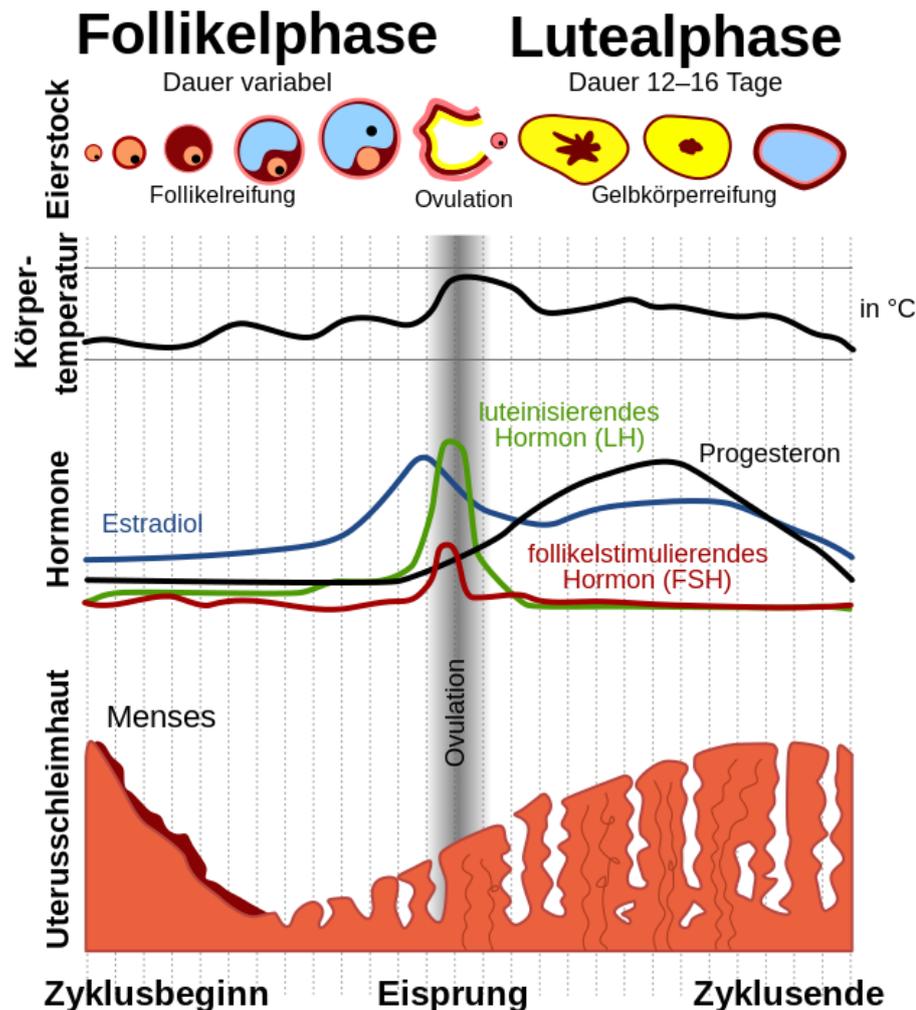
Durch diese extrem hohen Östrogenkonzentrationen schlägt diese oben genannte negative Rückkopplung plötzlich in eine positive Rückkopplung um. Folge ist eine vermehrte Freisetzung von LH, dem ca. 36 Stunden später die Ovulation folgt. LH aktiviert Enzyme, welche die Andauung und Eröffnung des Follikels bewirken. Somit kommt es zum Austritt der reifen Eizelle = Ovulation.

5.11.3.5.3 Lutealphase:

Nach der Ovulation entsteht aus dem Follikel das Corpus luteum (Gelbkörper), welches unter Einfluss von LH Progesteron produziert. Durch die steigende Konzentration von Östrogen und Progesteron kommt es zum Abfall von LH und FSH. Kommt es zu keiner Schwangerschaft, geht der Gelbkörper zugrunde und bildet das narbige Corpus albicans.

5.11.3.5.4 Menstruation:

Durch den Untergang des Gelbkörpers geht die Bildung von Progesteron und Östrogen rasch zurück und die Menstruation wird ausgelöst. Durch den Untergang des Gelbkörpers kommt es zur Reduktion



von Östrogen und Progesteron, was wiederum zu einer raschen Zunahme hypothalamischer GnRH-Pulse führt. Somit kann der Zyklus von vorne beginnen.

Merke:

- FSH → Follikelwachstum → Östrogenproduktion steigt → LH steigt → Ovulation
- Corpus luteum → Progesteronproduktion → LH sinkt → FSH sinkt → Östrogen und Progesteron sinken → Menstruation

5.11.4 Zyklische Veränderungen

Im Rahmen des Menstruationszyklus kommt es auf zu Veränderungen von Schleimhäuten und Gebärmutter.

5.11.4.1 Schleimhautveränderungen

- Proliferationsphase
Gebärmutter Schleimhaut regeneriert sich in der Follikelphase. Schleimhautdicke sowie Größe und Zahl der Zellen nehmen zu.
- Sekretionsphase
unter dem Einfluss von Progesteron entsteht eine Sekretionsschleimhaut
- Desquamationsphase
Schleimhaut wird vaskularisiert. Durch den Abfall von Progesteron und Östrogen kommt es zur Abstoßung des Endometriums und dadurch zur Desquamationsphase.

5.11.4.2 Sekretveränderung

In der Gebärmutter wird auch das unter Einfluss von Östrogen gebildete Sekret zyklisch verändert. In der Follikelphase steigt die Sekretproduktion stark an und das Sekret ist dünnflüssig. Zum Zeitpunkt der Ovulation (höchste Östrogenproduktion) erreicht die Dünnpflüssigkeit des Sekrets seinen Höhepunkt. Zu diesem Zeitpunkt ist das Sekret maximal für Spermien durchlässig. Mit steigendem Progesteronspiegel nimmt die Schleimproduktion wieder ab und der Schleim wird wieder zähflüssiger.

5.11.5 Spermien

Ein Spermium ist eine männliche Keimzelle, die der Befruchtung der weiblichen Keimzelle dient. Die Bildung von Spermien (Spermatogenese) erfolgt im Hoden, im Epithel der Hodenkanälchen. Spermien sind haploid.

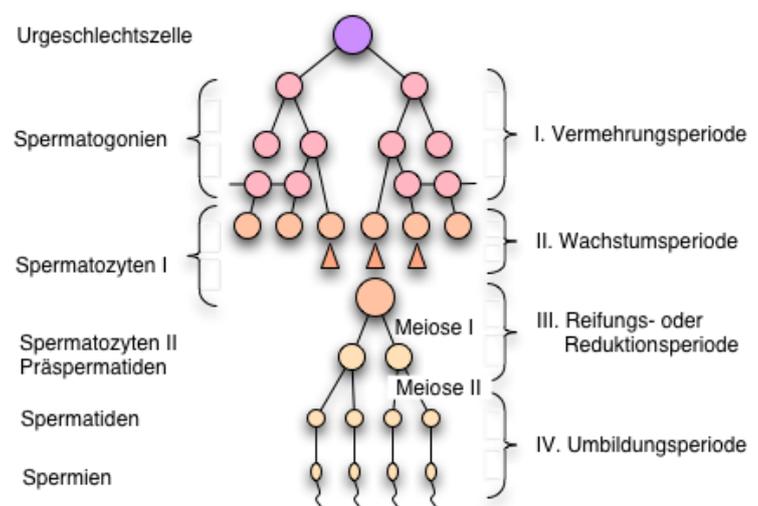
5.11.5.1 Spermatogenese

Als Spermatogenese werden alle Schritte bis zur Bildung des Spermiums bezeichnet. Grundsätzlich kann man die Spermatogenese in 3 Teile gliedern:

1. Vermehrung (mitotische Teilung)
2. Reifung (Meiose)
3. Differenzierung

Die Vermehrung findet schon vor der Geburt und dann ab der Pubertät lebenslang statt. Reifung und Differenzierung ist erst ab der Pubertät

Biologie-Skript MedAT 2018 – ÖH Med Wi



möglich. Die gesamte Entwicklung dauert ca. 10 Wochen + 2 Wochen Aufenthalt im Nebenhoden.

1. Vermehrung

Im geschlechtsreifen Hoden gibt es Stammzellen und 2 Arten von Spermatogonien - Typ A und Typ B. Nach der Teilung der Stammzelle bleibt eine Tochterzelle im Stammvorrat, die andere (A-Spermatogonie) vervielfältigt sich durch Mitose. Die A-Spermatogonie ist für die Vermehrung verantwortlich (durch Mitose), woraus die B-Spermatogonien hervorgehen. Diese bereiten dann die 1. Reifeteilung vor.

Die Abkömmlinge einer Stammspermatogonie bleiben bis zu ihrer Freilassung verbunden.

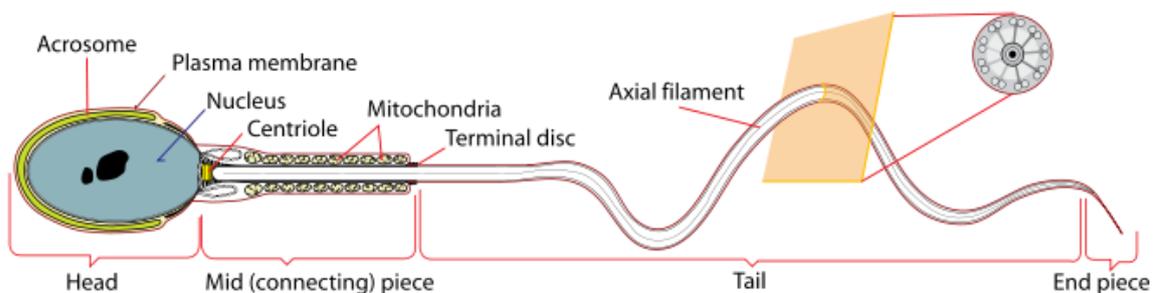
2. Reifung (Meiose) der Spermatozyten

Die B-Spermatogonien gelangen durch einen Schleusenmechanismus durch die Blut-Hoden-Schranke und werden ab dann als Spermatozyt I ($2n4c$) bezeichnet. Durch Abschluss der 1. Reifeteilung gehen aus einem Spermatozyten I zwei Spermatozyten II ($1n2c$) hervor. Durch die 2. Reifeteilung entstehen 4 Spermatische ($1n, 1c$).

3. Differenzierung der Spermatischen (Spermiogenese)

Es kommt zur Kernkondensierung, Bildung von Akrosom und Schwanz. Vom Spermatozoon = Spermium, wird erst gesprochen, wenn es freigesetzt wurde.

5.11.5.2 Aufbau⁵¹



Akrosom/Spitze: Enthält verschiedene hydrolytische Enzyme, die bei der Befruchtung für die Durchdringung der Zona pellucida der Eizelle wichtig sind.

Mittelteil: Enthält eine große Menge an Mitochondrien, welche für die Bewegung notwendig sind.

Schwanz: Der Bewegungsapparat besteht aus Mikrotubuli und Dynein.

5.11.6 Eizellen

Als Eizelle oder Oozyte bezeichnet man die weibliche Keimzelle. Eizellen sind haploide Zellen.

Jeder Follikel besteht aus einer Keimzelle (Oozyte) und Begleitzellen (Follikelepithel= Granulosazellen). In späteren Entwicklungsstadien haben die Follikel auch eine Hülle (Theka).

5.11.6.1 Oogenese

Die Oogenese beginnt bereits in der Embryonalzeit und teilt sich in Vermehrung (Mitose) und Reifung (Meiose). Die Vermehrung ist im Gegensatz zur Spermatogenese bereits vor der Geburt beendet. Auch die Meiose beginnt bereits pränatal, wird aber bis zum Beginn der Pubertät unterbrochen.

Die Urkeimzellen differenzieren und vermehren (Mitose) sich zu proliferierenden Oogonien ($2n,2c$). Ab der 13. Entwicklungswoche beginnen die Oogonien mit der Verdopplung ihrer DNA und mitotischer Teilung. Ab dann werden diese Zellen primäre Oozyte ($2n,4c$) genannt. Diese treten dann in die Meiose ein, werden jedoch am Ende der Prophase I (nach dem Diplotän) unterbrochen. Sie werden in ein Ruhestadium, das sog. Diktyotän, überführt und bleiben dort mind. 12 Jahre. In diesem Stadium wird jede Oozyte von einem Follikelepithel umgeben. Damit ist der Primordialfollikel entstanden. Bei der Geburt besitzt ein Mädchen in beiden Ovarien zusammen ca. 1 Million Follikel.

Kurz vor der Ovulation vollendet die Oozyte dann endlich die 1. Reifeteilung: Es entsteht eine große sekundäre Oozyte ($1n,2c$) und der kleine 1. Polkörper, der bald untergeht. Während der Ovulation beginnt die 2. Reifeteilung, welche jedoch wieder aufgehalten wird (diesmal in der Metaphase). Die 2. Reifeteilung wird nur bei Befruchtung der Eizelle abgeschlossen. Kann ein Spermium eindringen, entsteht ein Ovum ($1n,1c$) und ein 2. Polkörper, der wieder untergeht. Findet keine Befruchtung statt, stirbt die sekundäre Oozyte nach ungefähr 24 Stunden ab.

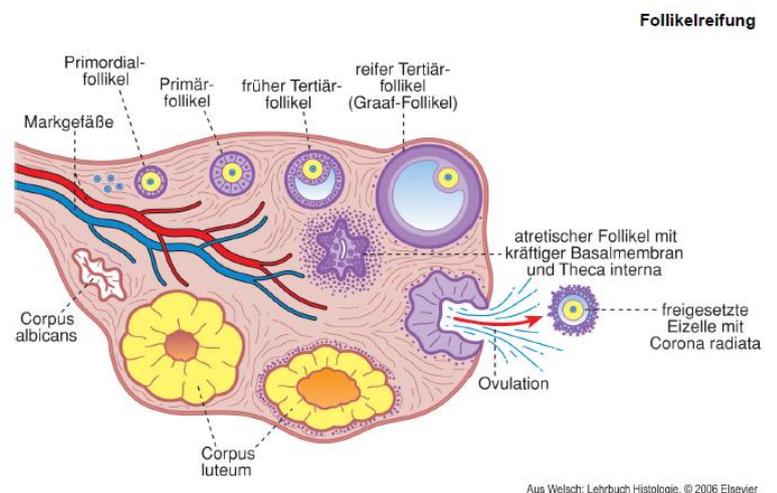
5.11.7 Follikelentstehung⁵²

1. Primärfollikel
2. Sekundärfollikel
3. Tertiärfollikel
4. Graaf Follikel

Sekundärfollikel: Vergrößerung der Oozyte

Tertiärfollikel: Oozyte wird von Granulosazellen umhüllt. Es entsteht ein Eihügel (Cumulus oophorus). Die Oozyte wird von Corona radiata umgeben, welche auch nach der Ovulation erhalten bleiben.

Graaf-Follikel: Endstadium der Follikelreifung, sprungreifer Follikel



6 Grundlagen der Frühentwicklung des Menschen

Diese Vorgänge sind leider teilweise sehr abstrakt und schwer nachvollziehbar. Die Inhalte sind der Vollständigkeit halber sehr detailliert beschrieben, viel davon ist nicht essentiell für den Aufnahmetest. Sie werden auch im Studium noch intensiv behandelt. Es empfiehlt sich viele graphische Darstellungen bzw. animierte Videos anzuschauen, die zum besseren Verständnis beitragen.

6.1 Befruchtung

Unmittelbar vor der Ovulation vergrößert sich der Graaf-Follikel weiter. Der hohe LH-Spiegel während der Ovulationsphase führt zur Aktivierung von Enzymen, welche die Wand des Follikels andauen und so zur Ausstoßung der Oozyte führen. Sie löst sich zusammen mit dem Eihügel und treibt mit der Follikelflüssigkeit aus dem Ovar hinaus.

Nach der Ovulation entsteht aus den Granulosazellen des geplatzten Follikels das Corpus luteum.

Vor der Ovulation haben sich die Fimbrien des Eileiters auf die Oberfläche des Ovars gelegt, um die Oozyte in den Eileiter zu transportieren. Im Eileiter löst sich die Oozyte vom Eihügel und wird durch Kontraktion der Eileiterwandmuskulatur Richtung Uterushöhle befördert. Dieser Weg dauert ungefähr 3-4 Tage.

Die Befruchtung selbst, also die Verschmelzung der männlichen und weiblichen Keimzelle findet in der Pars ampullaris (weitester Abschnitt) des Eileiters statt.

Beim Samenerguss gelangen die männlichen Spermien in die weibliche Scheide. Die Spermien wandern dann mit Hilfe ihrer beweglichen Geißel in den Eileiter. Diese Wanderung kann zwischen 30 Minuten und 6 Tagen dauern. Zunächst sind die Spermien noch nicht fähig eine Eizelle zu befruchten. Im weiblichen Genitaltrakt unterliegen sie einem Prozess, der sog. Kapazitation, welcher bis zu 7 Stunden dauern kann. Hierbei werden bestimmte Proteine in und um die Spermien entfernt. Nur solche „kapazitierten“ Spermien besitzen die Fähigkeit die Corona radiata zu durchdringen und mit der Zona pellucida (Hüllschicht der Eizellen) in Kontakt zu treten.

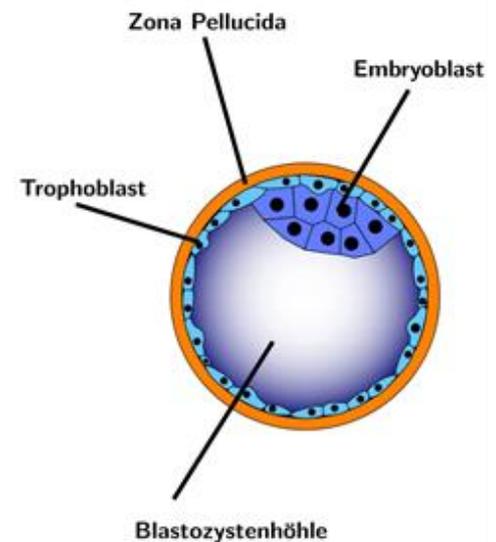
Beim Kontakt mit der Zona pellucida wird die Akrosomenreaktion ausgelöst. Dabei kommt es zur Verschmelzung zwischen Akrosomenmembran und Spermienmembran und zur Ausschüttung proteolytischer Enzyme, welche die Zona pellucida auflösen und so das Eindringen des Spermiums in die Eizelle ermöglichen. Nach dem Zellkontakt verschmelzen die Zellmembranen von Spermium und Eizelle miteinander.

Daraufhin werden auch einige Vorgänge in der Eizelle ausgelöst. Durch die Verschmelzung wird die Membran der Eizelle depolarisiert, wodurch eine weitere Befruchtung mit anderen Spermien kurzzeitig verhindert wird. Weiters kommt es zur Vollendung der 2. Reifeteilung und das entstehende Ovum verwandelt sich in den weiblichen Vorkern. Durch die Befruchtung wird die Eizelle aktiviert, es beginnt die Translation präformierter RNA und die Embryogenese beginnt. Gleichzeitig dringt das Spermium weiter in die Eizelle vor und bildet den männlichen Vorkern aus. Diese vereinigen sich zu einem diploiden Chromosomensatz, der nun Erbgut beider Elternteile enthält. Je nachdem ob das Spermium ein Y- oder X- Chromsomen enthält, entwickelt sich ein weiblicher oder männlicher Embryo.

6.2 Einnistung⁵³

Als Nidation oder Implantation bezeichnet man die Einnistung der befruchteten Eizelle in die Gebärmutterschleimhaut. Die Nidation findet am 5. oder 6. Tag nach der Befruchtung statt.

Die befruchtete Eizelle wird als Zygote bezeichnet. Durch Mitosen teilt sich die Zygote, sodass die Zellzahl relativ schnell ansteigt. Die Zellen werden immer kleiner, heißen Blastomere und bilden einen Zellverband aus. Im 16-Zellstadium=Morula erreicht die Zygote etwa am 3. Tag nach der Befruchtung die Gebärmutterschleimhaut, welche sich in der frühen Sekretionsphase befindet. Durch weitere Teilung und Strukturänderung entsteht aus der Morula die Blastozyste (Siehe Abbildung). Etwa am 6. Tag beginnen die Trophoblasten über dem Embryoblast in das Epithel der mütterlichen Schleimhaut einzudringen. An dem Vorgang beteiligt sind Integrine, die vom Trophoblasten gebildet werden. Der Vorgang der Nidation dauert bis zum Ende der 2. Woche.



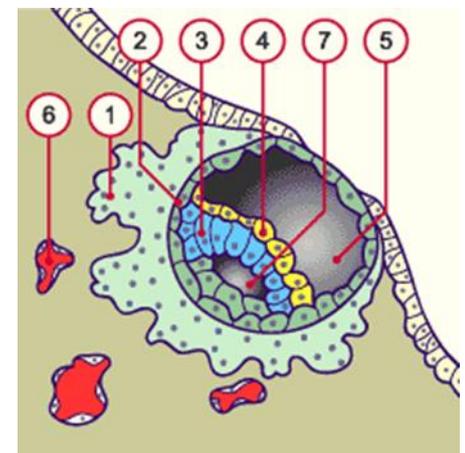
Die Implantation ist mit der Öffnung einiger Blutgefäße verbunden, wodurch die sogenannte Nidationsblutung entstehen kann. Diese wird von einigen Frauen mit einer normalen Menstruationsblutung verwechselt. Die Abstoßung der Gebärmutterschleimhaut wird aber durch das von der implantierten Blastozyste gebildete hCG (humanes Choriongonadotropin) verhindert.

6.3 Keimblätter

Als Keimblätter versteht man die erste Differenzierung des Embryos in verschiedene Zellschichten. Von den Keimblättern leiten sich alle Strukturen, Gewebe und Organe ab.

6.3.1 Zweiblättrige Keimscheibe⁵⁴

Die Entwicklung der zweischichten Keimscheibe ist noch Teil der Implantation und dauert ca. bis zur Vollendung der 2. Woche. In dieser Zeit dringt die Blastozyste in die Gebärmutterschleimhaut ein. Der Trophoblast differenziert sich zu einem Zytotrophoblasten und einem Synzytiotrophoblast. Im Synzytiotrophoblast entstehen sogenannte Lakunen, in die mütterliches Blut strömt und so ein utero-plazentarer Kreislauf entsteht. Außerdem produziert er das hCG, welches das Corpus luteum graviditatis aufrechterhält und zu einem positiven Schwangerschaftstest führt. Der Embryoblast bildet die 2 Schichten der



Keimblätter aus: Epiblast und Hypoblast. Der Epiblast ist für die Bildung von embryonalem Gewebe verantwortlich, der Hypoblast bildet einen Teil extraembryonaler Anhangsgebilde. Über dem Epiblast entsteht dann die Amnionhöhle, während die Zellen des Hypoblasts die Blastozystenhöhle ausbilden und so den primären Dottersack bilden. Der Trophoblast dehnt sich weiter aus und vergrößert damit den primären Dottersack. Am 13. Tag entsteht am kaudalen (unteren) Pol der Keimscheibe das Mesoderm. Dieses breitet sich um den Dottersack aus. Der Dottersack platzt schließlich und entwickelt sich in einen kleinen endgültigen sekundären Dottersack. Es entsteht eine Chorionhöhle, die mit Mesoderm ausgekleidet ist. Darin sind Amnionhöhle und Dottersack über einen Haftstiel aufgehängt. Am Ende der 2. Woche

- 1 Synzytiotrophoblast (ST)
- 2 Zytotrophoblast (ZT)
- 3 Epiblast
- 4 Hypoblast
- 5 Blastozystenhöhle
- 6 Mütterliche Blutkapillare
- 7 Amnionhöhle

ist die Implantation beendet. Die Keimscheibe besteht aus 2 aufeinanderliegenden Bläschen bzw. Zellschichten: Die Amnionhöhle mit dem Boden aus Epiblast dorsal (hinten) und dem Dottersack mit seinem Dach aus Hypoblast ventral (vorne).

6.3.2 Dreiblättrige Keimscheibe ⁵⁵

In der 3. Woche findet die Gastrulation statt, welche die Bildung der 3 Keimblätter umfasst: Ektoderm, Mesoderm und Entoderm.

Die Phase beginnt mit der Bildung des Primitivstreifens. Dieser wird in der medianen Linie auf dem Boden der Amnionhöhle als Streifen sichtbar. Er entsteht durch Proliferation und Wanderung von Epiblastenzellen. Dieser Primitivstreifen entwickelt sich weiter, sodass eine Primitivrinne und am kranialen (=kopfseitigen) Ende ein Primitivknoten mit einer Primitivgrube entsteht. Der Kopf wird sich später in der Nähe der Primitivgrube entwickeln. Ab dem 17. Tag beginnen die Zellen des Epiblasten in die Primitivrinne einzuwandern. Dieses Phänomen des Einstroms nennt man Gastrulation. Je nach Zeitpunkt ihres Einstroms wandern diese Epiblastenzellen in verschiedene Richtungen aus. Die ersten Zellen ersetzen die Hypoblastenschicht und bilden die Endoblasten. Die in die kraniale Richtung wandernden Zellen bilden die Prächordalplatte und den Fortsatz der Chorda dorsalis. Die restlichen Zellen bilden das dritte Keimblatt: Mesoderm. Das Mesoderm liegt zwischen dem eben erwähnten endgültigen Endoblasten und dem Epiblasten. Somit sind alle 3 Keimscheiben gebildet (von innen nach außen):

1. Entoderm
2. Mesoderm
3. Ektoderm

Aus den 3 Keimblättern entwickeln sich verschiedene Strukturen des Körpers.

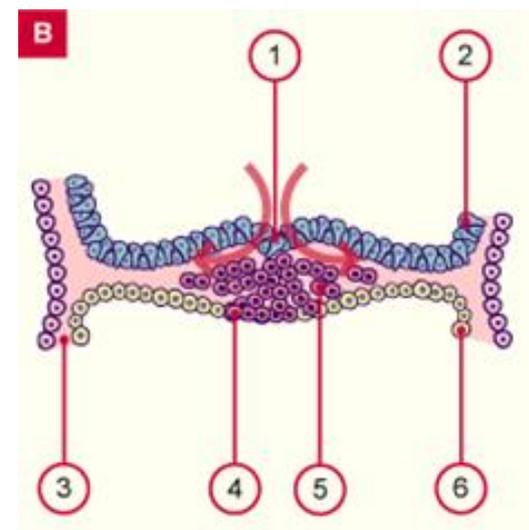
6.4 Weiterer Verlauf

6.4.1 Entwicklung der Chorda

Wie oben bereits erwähnt entstehen aus den einwandernden Zellen auch Prächordalplatte und der Fortsatz der Chorda dorsalis. Während sich der Chordafortsatz verlängert, bildet sich der Primitivstreifen zurück. Am 23. Tag besteht der Chordafortsatz aus einem Chordamesoderm und einem zentralen Axialkanal. Er verschmilzt mit dem darunterliegenden Endoderm um sich dann aber wieder von diesem zu lösen. Das dabei in das Endoderm übergehende Gewebe wird zur Chordaplatte. Später schnürt sich die Chordaplatte vom Endoderm ab und wird zur Chorda dorsalis. Die Chorda dorsalis befindet sich inmitten des Mesoderms (zwischen Endoderm und Ektoderm). Sie ist wichtig für die Induktion des Neuroektoblasten und für die Entstehung der Wirbelkörper.

6.4.2 Evolution des Mesoblasten

Im weiteren Verlauf bildet sich der Primitivstreifen fast vollständig zurück. In weiterer Folge differenziert sich das Mesoderm auf beiden Seiten des sich zurückbildenden Primitivstreifens in 3 Strukturen: Paraxiales Mesoderm, intermediäres Mesoderm und Seitenplattenmesoderm.



- 1 Primitivgrube
- 2 Epiblast
- 3 Extraembryonales Mesoderm
- 4 definitives Endoderm
- 5 Einwanderung von Epiblastenzellen für die Bildung des intraembryonalen Mesoderms
- 6 Hypoblast

Aus dem paraxialen Mesoderm entstehen dann die Somiten. Somiten sind embryonale Übergangsorgane, die für die segmentale Organisation des Embryos verantwortlich sind.

6.4.3 Festlegung der Körperachsen

Die Festlegung der 3 Körperachsen findet vor allem während der Gastrulation statt.

1. Anteroposterior
2. Dorsoventral
3. Links-rechts

6.5 Grundzüge der Embryonal- und Fetalentwicklung

6.5.1 Embryonalperiode

Die Embryonalperiode dauert von der 3. bis zur 8. Woche. In dieser Zeit differenzieren sich für jedes Keimblatt charakteristischen Gewebe und es entstehen die Organanlagen (Organogenese)

Ektoderm: Verdauungstrakt (außer Mundhöhle und After), Leber, Pankreas, Schilddrüse, Thymus, Atmungstrakt, Harnblase, Harnröhre

Mesoderm: Knochen, Skelettmuskulatur, Bindegewebe, glatte Muskulatur der Eingeweide, Herz, Blutgefäße, Blutkörperchen, Milz, Lymphknoten, Lymphgefäße, Nebennierenrinde, Nieren, Keimdrüsen, innere Geschlechtsorgane, Mikroglia

Ektoderm: Haut, Nervensystem, Sinnesorgane, Zähne

Aus dem Ektoderm entwickeln sich Organe, die den Kontakt zur Außenwelt aufrechterhalten. Die segmentale Gliederung des Körpers entwickelt sich aus den Somiten im Mesoderm.

6.5.2 Fetalperiode

Die Fetalperiode dauert vom 3. Monat bis zur Geburt. Die angelegten Organsysteme wachsen und reifen aus. In den Monaten 3, 4 und 5 steht vor allem das Längenwachstum im Vordergrund. In der letzten Phase vor der Geburt überwiegt die Gewichtszunahme.

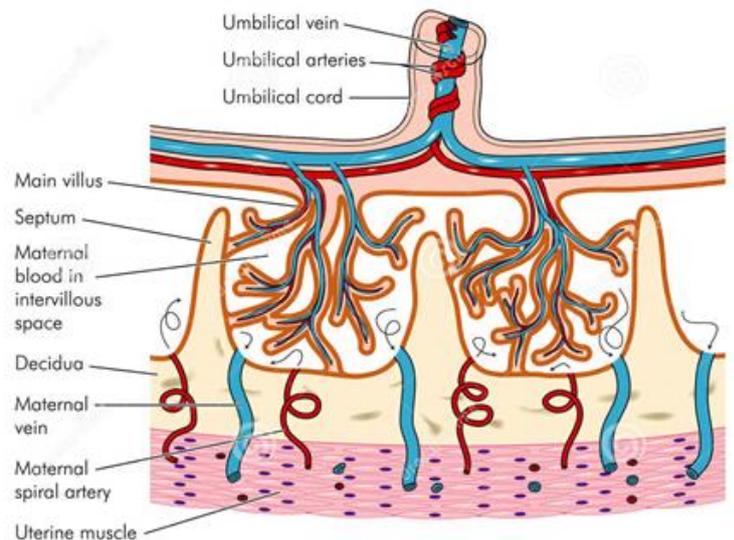
- Gehirn: Bis zur 28. Woche wird die endgültige Gesamtzahl der Neuronen erreicht.
- Herz: Das Herz beginnt in der 5. Woche zu schlagen. Der Abschluss der Herzentwicklung erfolgt in der 11. Woche.
- Lunge: In der 12. Woche treten die ersten Atembewegungen auf.
- Blut: Die Entwicklung der Blutkörperchen startet in der 4. Woche und beginnt mit den Erythrozyten.
- Niere: Um die 10. Schwangerschaftswoche beginnen die ersten Nephrone zu filtrieren.
- Gastrointestinaltrakt: erreicht in der 30. Woche den endgültigen Funktionszustand. Die Leber ist bereits in Woche 8 stoffwechselaktiv, erreicht aber erst nach der Geburt die vollständige Funktion
- Endokrines System: Hormone können mit Ausnahme von Steroidhormonen und Thyroxin die Plazenta nicht in wirksamen Mengen durchdringen, weshalb das Hormonsystem des Fetus isoliert ist.

6.6 Plazenta

Die Plazenta ist ein Organ, das sich während der Schwangerschaft in der Gebärmutter bildet. Es dient zur Versorgung des Embryos mit Nährstoffen und Sauerstoff aus dem Stoffwechsel der Mutter. Im gereiften Zustand ist die Plazenta ca. 500-600 Gramm schwer und bis zu 20 cm groß.

6.6.1 Entwicklung und Aufbau⁵⁶

Die Plazenta entsteht, indem embryonales Gewebe in die Schleimhaut der Gebärmutter einwächst. Somit besteht sie aus embryonalem und mütterlichem Gewebe- aus fetalen Trophoblasten und mütterlicher Gebärmutter Schleimhaut (Endometrium). Der Teil der Mutter wird Dezidua genannt und der größere Teil des Kindes Chorion. Die für den Stoffaustausch wichtigen Anteile sind die sogenannten Plazentazotten (Chorionzotten). Diese Zotten bestehen aus kindlichen Blutgefäßen, werden aber von mütterlichem Blut umgeben.



Wie bereits erwähnt, dringt der Trophoblast bei der Implantation aktiv in das Endometrium der Gebärmutter ein. Danach differenzieren sich Synzytiotrophoblast und Zytotrophoblast. Synzytiotrophoblast kommt mit mütterlichem Gewebe in Kontakt und vergrößert sich ständig. Zellen des Endometriums bilden als Reaktion auf die Nidation Dezidualzellen aus, dieser Teil der Schleimhaut wird nun Dezidua genannt.

Ab dem 9. Tag entstehen im Synzytiotrophoblast Lakunen, welche sich mit mütterlichem Blut füllen. Diese Lakunen fließen zu einem Labyrinth zusammen und bilden später den intravillösen Raum. Außerdem bilden sich Chorionzotten. In diesen Zotten entstehen ab Ende der 3. Woche Blutgefäße, die bald Anschluss an den Blutkreislauf des Embryos bekommen. Manche Zotten wachsen extrem aus und sorgen für die Verankerung des Chorions in der Dezidua (extravillöser Trophoblast). Ab der 10. Woche zapfen die extravillösen Trophoblastenzellen die mütterlichen Spiralarterien an und ersetzen andere Zellen und Strukturen, sodass die Arterien der Mutter in den intravillösen Raum münden können.

6.6.2 Blutzirkulation

Das fetale Blut gelangt über 2 Nabelarterien in die Zottenstämme. Nach Passage des Kapillarbettes verlässt es die Plazenta schließlich wieder über 1 Nabelvene.

Das mütterliche Blut gelangt über die Spiralarterien in den intravillösen Raum und wird über Venen wieder abtransportiert.

6.6.3 Stoffaustausch

Für den Stoffaustausch sind die reich kapillarisierten Terminalzotten am wichtigsten. Terminalzotten bilden sich nach dem 4. Schwangerschaftsmonat aus und besitzen keine Zytotrophoblasten mehr. Dadurch wird eine Verschmälerung zwischen intravillösen Raum und fetalen Gefäßen erreicht und der Stoffaustausch erleichtert.

Folgende Mechanismen spielen beim Stoffaustausch eine Rolle:

- Einfache Diffusion
- Durch Carrier erleichteter passiver Transport
- Carriervermittelter aktiver Transport
- Endozytose

6.6.4 Plazentaschranke

Als Plazentaschranke werden die Strukturen bezeichnet, die mütterliches und embryonales/fetales Blut trennen und beim Stoffaustausch durchquert werden müssen. Sie dient somit als passive Filtermembran. Die Plazentaschranke ist aus folgenden Strukturen aufgebaut: Synzytiotrophoblast, Zytotrophoblast, Basallamina, Mesenchym, Basallamina der fetalen Kapillaren und Endothel. Zu Beginn der Schwangerschaft ist der Diffusionsweg noch relativ lang. Dieser nimmt im weiteren Verlauf jedoch ab und kann zu Ende hin nur mehr aus Synzytiotrophoblast, Basallamina und Kapillarendothel bestehen.

Durch diese Plazentaschranke dringen leider nicht nur „gute“ Substanzen wie etwa Sauerstoff, Wasser, Vitamine, IgG Antikörper, etc., sondern auch schädliche Stoffe wie Alkohol, Drogen und Medikamente.

6.6.5 Plazenta als Hormondrüse

Die Plazenta produziert Hormone und ermöglicht somit das Weiterbestehen der Schwangerschaft. Die wichtigsten Hormone sind:

- Human Chorionic Gonadotropin (HCG)
- Östrogene
- Progesteron
- Humanes Plazentalaktogen (HPL)

6.7 Schwangerschaft

Schwangerschaft wurde für den MedAT 2018 aus der Stichwortliste gestrichen. Wir lassen diesen Teil allerdings im Heft, da es für euer Verständnis von Vorteil sein kann.

Als Schwangerschaft oder Gravidität bezeichnet man die Zeit, in der die befruchtete Eizelle zu einem Kind heranwächst und schließlich geboren wird. In den ersten 8 Wochen wird die Frucht als Embryo bezeichnet, ab der 9. Woche und nach Anlage der inneren Organe wird die Frucht Fetus (Fötus) genannt.

6.7.1 Berechnungen

6.7.1.1 Schwangerschaftsalter

Die Schwangerschaft dauert von der Befruchtung zur Geburt. Das Problem ist, dass der genaue Zeitpunkt der Befruchtung (Verschmelzung Eizelle und Spermium) oft nicht bekannt ist. Daher haben sich 2 unterschiedliche Zeitrechnungen etabliert.

Man kann ab dem Tag der Empfängnis (p.c. = post conceptionem) oder ab dem ersten Tag der letzten Regel (p.m. = post menstruationem) rechnen. Eine Umrechnung von p.c. in p.m. (= p.c.+ 14 Tage) ist möglich, jedoch ungenau. Bei p.m. wird von einer Zyklusdauer von 28 Tagen ausgegangen, wobei die Befruchtung am 14. Tag des Zyklus stattfindet. Bei p.m. dauert eine Schwangerschaft 280 Tage bzw. 40 Wochen. Bei p.c. dauert sie hingegen nur 38 Wochen.

Ohne den Zusatz p.c. oder p.m. ist meist die Schwangerschaftsdauer in SSW (p.m.) angegeben.

6.7.1.2 Geburtstermin

Der Geburtstermin kann mithilfe der Naegle-Regel berechnet werden: der erste Tag der letzten Periode + 280 Tage oder vom ersten Tag der letzten Regel + 1 Jahr – 3 Monate + 7 Tage. Dieses Datum ist nur ein ungefährender Richtwert, denn nur ein Teil der Kinder kommt am errechneten Geburtstermin zur Welt.

6.7.2 Schwangerschaftsverlauf

Die Schwangerschaft wird in 3 Teile zu je 3 Monaten bzw. 13 Schwangerschaftswochen eingeteilt.

1. Trimenon (1.-3. Monat): Hormonelle Umstellung der Schwangeren, am Ende des 1. Trimenons sind alle Kompartimente der Frucht angelegt
2. Trimenon (4.-6. Monat): Weiterentwicklung der Organe
3. Trimenon (7.-9. Monat): Baby nimmt an Körperfett zu, Baby nimmt die richtige Position für die Geburt ein

6.7.3 Physiologie der Schwangeren

Die Schwangere muss sich mit ihren Organfunktionen an das heranwachsende Baby anpassen.

Stoffwechsel: Unter Einfluss von Progesteron und Östrogen kommt es zur Zunahme der Uterusmuskulatur. Die Zunahme des Körpergewichts wird vor allem im 2. Trimenon deutlich. Im Durchschnitt wiegt eine Schwangere zum Zeitpunkt der Geburt 12 kg mehr (40% davon sind Fetus, Plazenta und Fruchtwasser). Ausreichende Eisen- (für Hämoglobinbildung) und Vitamin-D-Aufnahme (ausreichende Calciumaufnahme für Knochenbildung) ist wichtig.

Herz und Kreislauf: Aufgrund des Blutraumes in Plazenta und Uterus steigt das Blutvolumen um ca. 30% an.

Atmung: O₂-Bedarf und CO₂-Produktion steigen um ca. 20% an.

Niere: Die glomeruläre Filtrationsrate nimmt um ca. 50% zu

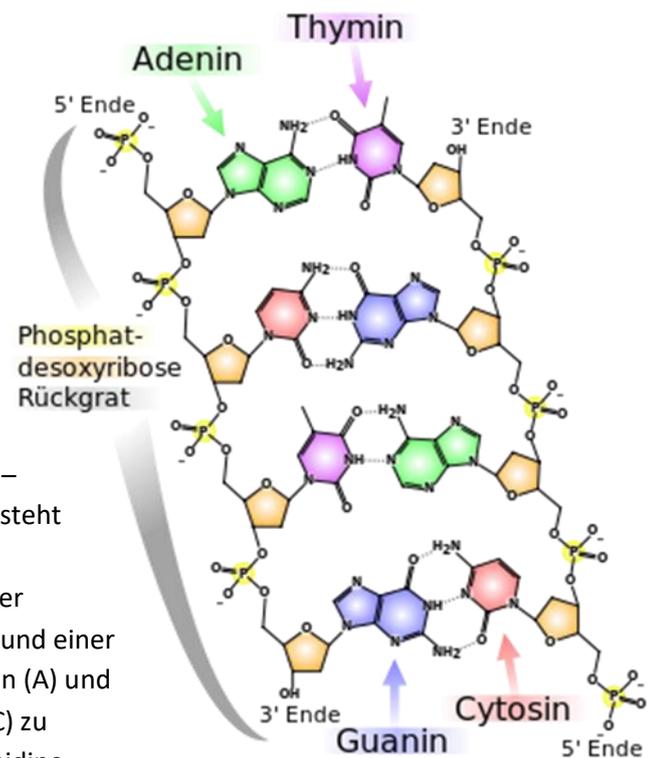
7 Molekulare Genetik

7.1 DNA⁵⁷

Die DNA oder DNS (Desoxyribonukleinsäure) ist ein Biomolekül, das für die Speicherung und Weitergabe von Erbinformation, sowie die aktive Produktion von lebensnotwendigen Proteinen im Körper aller Lebewesen essentiell ist.

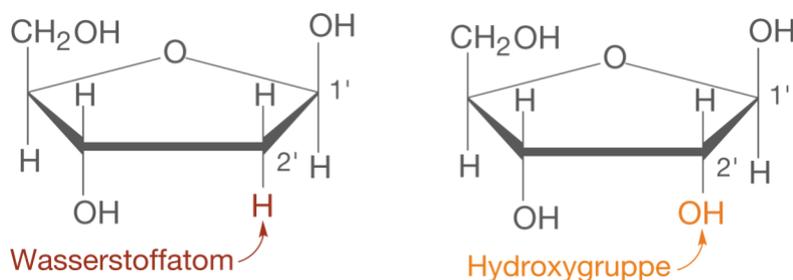
7.1.1 Aufbau

Die DNA liegt als langes Kettenmolekül (Polymer) in Form einer Doppelhelix im Zellkern bzw. in der Matrix der Mitochondrien vor und setzt sich aus einzelnen Bausteinen – sogenannten Nukleotiden – zusammen. Jedes Nukleotid besteht hierbei aus drei Bausteinen: der Phosphorsäure bzw. dem Phosphat, dem Zucker – der Desoxyribose, die bei jedem der Einheiten identisch ist und somit eine Art Rückgrat bildet – und einer von vier Basen. Hierbei gilt es, zwischen den Purinen Adenin (A) und Guanin (G) bzw. den Pyrimidinen Thymin (T) und Cytosin (C) zu unterscheiden. Eselsbrücke: die Basen mit Y sind die Pyrimidine.



Die fünf Kohlenstoffatome der Desoxyribose sind von 1 bis 5 durchnummeriert. Die Base befindet sich am 1' C-Atom, der Phosphatrest am 5' C-Atom.

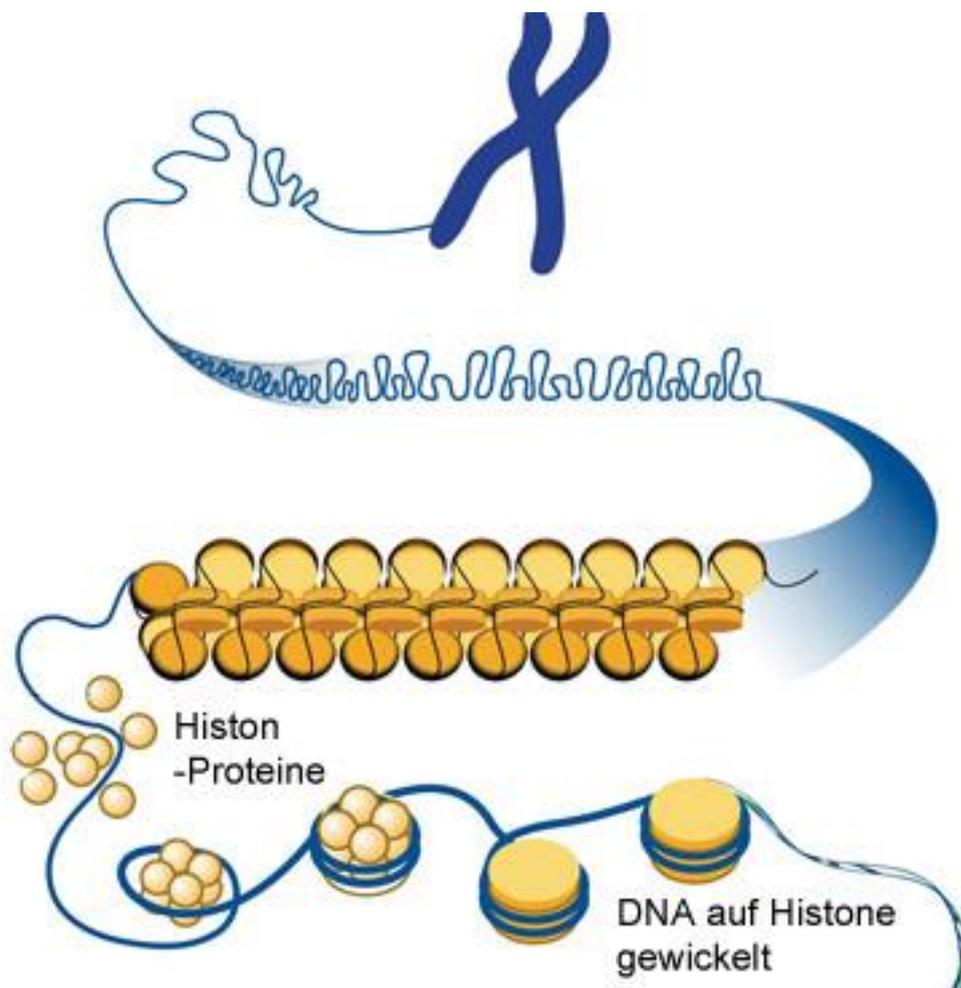
Am 3' C-Atom befindet sich eine Hydroxy-Gruppe (OH), die die zwei benachbarten Zucker über eine Phosphodiesterbindung zum 5' C-Atom zusammenhält. Daraus ergibt sich, dass ein DNA Strang immer ein 5' und ein 3' Ende besitzt, wobei ein neues Nukleotid immer nur ans 3' Ende angehängt werden kann (siehe DNA Replikation). **Übrigens:** der Name Desoxyribose (*desoxy = ohne Sauerstoff*) für den Zucker rührt daher, dass die „echte“ Ribose am 2' C-Atom eine weitere OH-Gruppe trägt (rechts im Bild), die in unserem Fall aber durch ein einfaches H-Atom substituiert wurde (links im Bild).



In der Doppelhelix liegen immer zwei komplementäre Stränge mit entgegengesetztem Verlauf (5'-3' und 3' nach 5') vor. Sie sind in der Mitte über die Wasserstoffbrückenbindungen ihrer komplementären Basen sowie die Wechselwirkungen, die sich aus einer so großen Anzahl aneinandergelagerter Moleküle ergeben verbunden. Es paaren sich jeweils Adenin und Thymin mit zwei (1=1, 6=6) bzw. Cytosin und Guanin mit drei Wasserstoffbrückenbindungen (zusätzlich 2=2). Somit lässt sich der eine Strang jeweils aus dem anderen ableiten bzw. synthetisieren. Die Abfolge der Basenpaare kodiert in weiterer Folge die genetische Information.

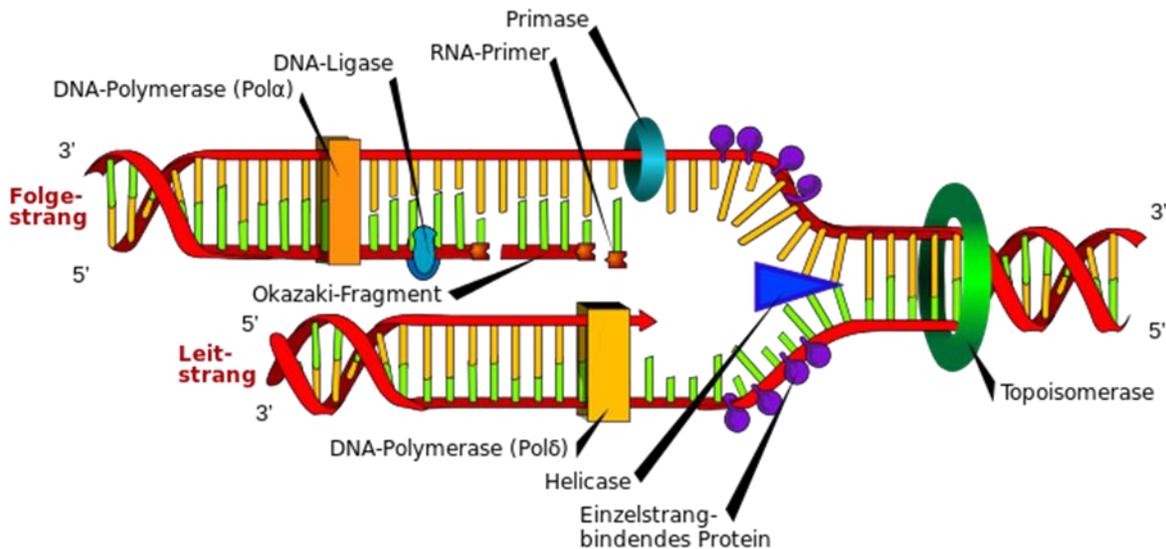
In der eukaryontischen Zelle ist die DNA in Form von Chromatinfäden organisiert, wobei jeder einzelne Faden in seiner kondensierten Form ein Chromosom ergibt. Um für mehrere Zentimeter Doppelstrang pro Chromosom in einem einige Mikrometer großen Zellkern Platz zu finden, ist die DNA zusätzlich um sogenannte Histone gewickelt, „wie Perlen auf einer Schnur“. Einen solchen DNA-Histon-Komplex nennt man Nukleosom.

Weil es hier oft zu Verwirrungen kommt, sei bereits kurz etwas vorweggegriffen. Während der Interphase, also der längeren Phase des Zellzyklus, liegt das Chromatin ungeordnet (man spricht auch von dekondensierter Form). Erst während der Zellteilung, der Mitose, kondensiert das Chromatin und nimmt die Form der bekannten Chromosomen an, die dann lichtmikroskopisch sichtbar werden. Ausführlich gehen wir auf dieses Thema in [Kapitel 9.2 Zellteilung und Zellzyklus](#) ein.



7.1.2 Replikation⁵⁸

Die Replikation also Vervielfältigung der DNA ist für jede Zellteilung essentiell. Während der S- also Synthese-Phase vor der Mitose bzw. Meiose 1 werden in drei Teilschritten die beiden DNA-Stränge aufgebrochen und semikonservativ (beide Teile dienen sozusagen als halbe Vorlage) repliziert.



7.1.2.1 Initiationsphase

An jeder eukaryontischen DNA gibt es (im Vergleich zu den Prokaryonten) mehrere „Origins of Replication“ – ORIs oder Replikationsursprünge. Diese sind AT-reiche Sequenzen (also Abschnitte auf der DNA, in denen Adenin und Thymin oft hintereinanderliegen), die von Enzymen gebunden werden und an den speziellen Stellen die Replikation einleiten. Der gleichzeitige Synthese-Start an unterschiedlichen Stellen ist notwendig, da die Entspiralisierung aus den Histon-Komplexen, sowie die Replikation selbst (50-100 Basenpaare/Sekunde) und die proof-reading Aktivität im Rahmen der Reparaturmechanismen länger dauern (siehe DNA Reparatur).

Die beiden DNA Stränge werden also durch das Enzym Topoisomerase entwunden und somit besser zugänglich gemacht. Im nächsten größeren Schritt werden die komplementären Basen durch die Helicase an ihren Wasserstoffbrückenbindungen aufgespalten. Damit sich die Stränge nicht gleich wieder verbinden, werden sie durch Einzelstrang-bindende Proteine (single-strand-binding-proteins, SSB-Proteins) offen gehalten.

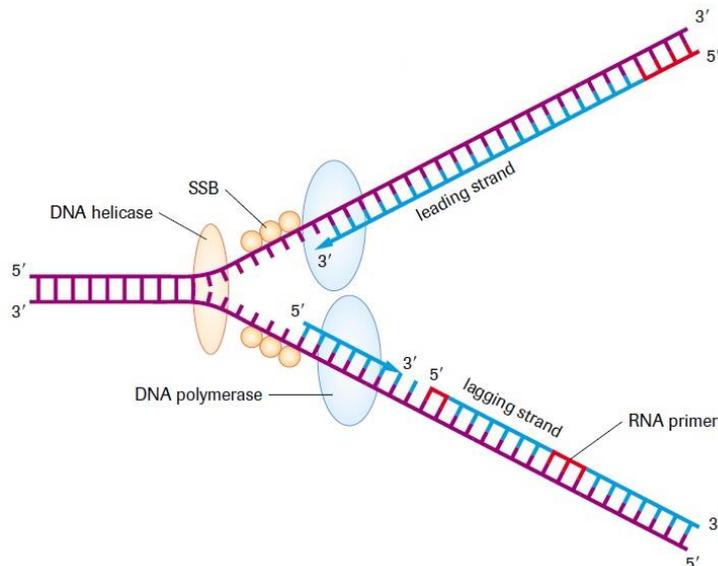
Nun erfolgt die eigentliche Verdopplung der DNA. Ein kurzes Stück RNA, der Primer (ca. 10 Nukleotide), wird durch die Primase, eine RNA-Polymerase, an den freien Einzelstrang gesetzt. Ein sogenanntes Primosom mit freiem 3' Ende ist entstanden. Nur von dort aus kann die DNA-Polymerase beginnen weitere Nukleotide an den Matrizenstrang zu synthetisieren.

7.1.2.2 Elongationsphase

Die DNA-Polymerase synthetisiert nun den kompletten komplementären Strang zur vorher aufgespaltenen Vorlage. Die Nukleotid-Bausteine dafür liegen in der Zelle frei vor.

Die DNA-Polymerase kann allerdings nur in eine Richtung arbeiten. Sie wandert den Matrizenstrang (also die Vorlage) in 3'-5'-Richtung ab und synthetisiert dabei den neuen Strang in 5'-3'-Richtung. (Tipp: dieses Detail gut merken und beim MedAT bei Aufgaben zu diesem Thema genau lesen, ob vom neu synthetisierten Strang oder Matrizenstrang die Rede ist.)

Da der Strang immer nur vom 5' zum 3' Ende synthetisiert werden kann, die beiden Stränge der Ausgangs-DNA aber in entgegengesetzter Richtung vorliegen, ergibt sich bei der Synthese ein Problem: Es entstehen zwei antiparallele Stränge an der Replikationsgabel – der Leitstrang („leading strand“), der von 5' nach 3', und der Folgestrang („lagging strand“), der von 3' nach 5', orientiert ist.



Während am Leitstrang die Replikation nun problemlos in einem Stück verläuft, muss am Folgestrang diskontinuierlich synthetisiert werden. Immer, wenn die Helicase ein Stück weiter gewandert ist und einen weiteren Teil der zu replizierenden DNA geöffnet hat – etwa alle 100-200 Nukleotide – muss also ein neuer Primer weiter vorn andocken, von dem aus dann die Polymerase bis zum vorangegangenen Primer in die 3' Richtung des Lagging Strand arbeiten kann. Man nennt das eine semidiskontinuierliche Verdoppelung.

Die so entstehenden DNA-Fragmente werden Okazaki-Fragmente genannt. Um schlussendlich trotzdem einen kontinuierlichen Strang zu erhalten, werden in weiterer Folge die vielen RNA-Primer (durch eine RNase) wieder entfernt, Nukleotide durch eine weitere DNA-Polymerase eingefügt und am Ende durch eine Ligase verbunden.

7.1.2.3 Termination

Im Normalfall setzt die Termination dann ein, wenn der jeweilige DNA Strang zu Ende ist bzw. zwei Replikationsgabeln ineinanderlaufen.

Zusätzlich ist aber im Hinterkopf zu behalten, dass auch an den Enden der DNA-Stränge ein ähnliches Problem wie am Folgestrang entsteht. Die RNA Primer, die am Anfang ans 3' Ende des Mutterstranges gesetzt wurden, werden von RNAsen entfernt, können aber aufgrund der falschen Replikationsrichtung nicht nachsynthetisiert werden, weil das ja wieder Aufgabe einer DNA-Polymerase ist und die kann, wie wir inzwischen wissen nur in 5'-3'-Richtung neue Nukleotide einfügen. Somit verkürzt sich die repetitive Sequenz am Ende jedes Chromosoms – auch Telomer genannt – bei jedem Replikationsvorgang.

Sinngemäß kann also eine Zelle nur eine beschränkte Anzahl an Teilungen durchlaufen, bevor die unwichtigen Telomer-Sequenzen „aufgebraucht“ sind und immer größere Teile der kodierenden DNA

verloren gehen. Man bringt diesen Vorgang auch mit dem Prozess des Alterns, bzw. der in späteren Lebensabschnitten erhöhten Mutationsrate in Verbindung.

7.1.2.4 Reparatur

Schäden in der DNA können im Laufe der Replikation durch mutagene Substanzen, ionisierende Strahlung, Wärme etc. hervorgerufen werden. Dies kann für Mitose, Zellteilung und in weiterer Folge den Fortbestand der Zelle gravierende Folgen, wie fehlerhafte oder funktionslose Proteine oder Doppelstrangbrüche der DNA, haben.

7.1.3 Arten von DNA Schäden

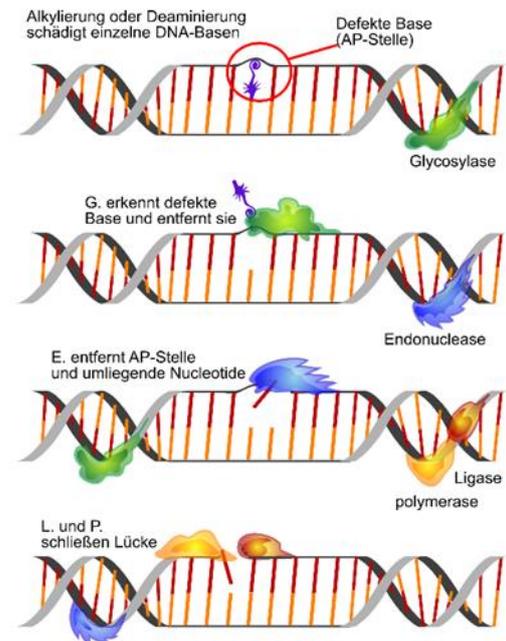
- Basenmodifikationen (Basen werden z.B. oxidiert/alkyliert, verändern Struktur der DNA)
- Basenfehlpaarungen (Mismatch)
- Basenverlust
- Veränderungen im Zucker-Gerüst
- Falsche Verknüpfungen zwischen DNA, Proteinen usw.
- Einzel- bzw. Doppelstrangbrüche

7.1.4 Reparaturmechanismen

Für die verschiedenen Arten von Schäden haben sich im Laufe der Zeit spezifische Reparaturmechanismen entwickelt. Die Wichtigsten sind hier aufgelistet:

7.1.4.1 Basenexzisionsreparatur (BER) ⁵⁹

Hier werden Fehler an einzelnen Basen, die z.B. alkyliert oder oxidiert wurden (siehe Basenmodifikationen), von einem Enzym namens DNA-Glykosylase erkannt und herausgeschnitten (=Exzision). Anschließend erzeugt eine AP-Endonuklease einen Einzelstrangbruch im Zucker-Phosphat Rückgrat, die DNA-Polymerase fügt die korrekte komplementäre Base wieder ein und eine DNA-Ligase verknüpft die Stränge wieder miteinander. Dieser Mechanismus kann nur eine Base (short patch repair), aber auch bis zu 20 Nukleotide (long patch repair) betreffen.



7.1.4.2 Nukleotidexzisionsreparatur (NER)

Hier werden v.a. sogenannte „bulky lesions“, also Unförmigkeiten und Buckel, in der DNA Struktur erkannt, die zum Beispiel durch UV-Strahlen verursacht werden. Dieser Mechanismus wird entweder direkt während der Transkription (Transcription Coupled Repair = TCR) oder in transkriptionsinaktiven Bereichen (Global Genome Repair = GGR) angewandt. Die beiden Formen unterscheiden sich nur in den an der Schadenserkennung beteiligten Enzymen.

Enzyme leiten Helicasen zu den beschädigten Stellen, die DNA wird aufgetrennt, von Endonukleasen an zwei verschiedenen Punkten zerschnitten (=duale Inzision), sodass ein ca. 30 Basen großes Oligonukleotid frei wird. Danach repliziert die DNA-Polymerase wieder den korrekten Abschnitt, der von einer DNA-Ligase mit der restlichen DNA verbunden wird.

Zusatzinfo für Übermotivierete: Die meisten der in diesen Reparaturmechanismus involvierten Enzyme gehören zur der XPA bzw. XPG Familie. Sie sind nach dem Krankheitsbild „Xeroderma pigmentosum“ benannt. Diese PatientInnen weisen einen genetischen Defekt dieser Enzyme auf und haben somit ein wesentlich erhöhtes, durch UV-Strahlung verursachtes Hautkrebsrisiko.

7.1.4.3 Proofreading durch DNA-Polymerase – Mismatch-Reparatur

Die DNA-Polymerase besitzt die überaus nützliche Fähigkeit, den neuen DNA-Strang noch während der Synthese Korrektur zu lesen bzw. mit dem Mutterstrang zu vergleichen. Dieser Mechanismus ist aber relativ ungenau und würde ohne weitere Kontrollen nicht ausreichen.

Auch für Doppelstrangbrüche gibt es eigene Reparaturmechanismen, deren detaillierter Ablauf aber über das hier besprochene Stoffgebiet hinausgeht.

7.2 Vom Gen zum Merkmal

Die Struktur und der Aufbau der DNA, sowie deren Vervielfältigung wurden in den vorhergehenden Kapiteln ausführlich besprochen. Wie jetzt aber aus dem ominösen Erbgut, den As und Ts und Gs und Cs, von denen immer die Rede ist, auch tatsächlich ein sichtbares Merkmal oder fertiges Protein wird, ist noch einmal ein ganz eigener komplexer Prozess.

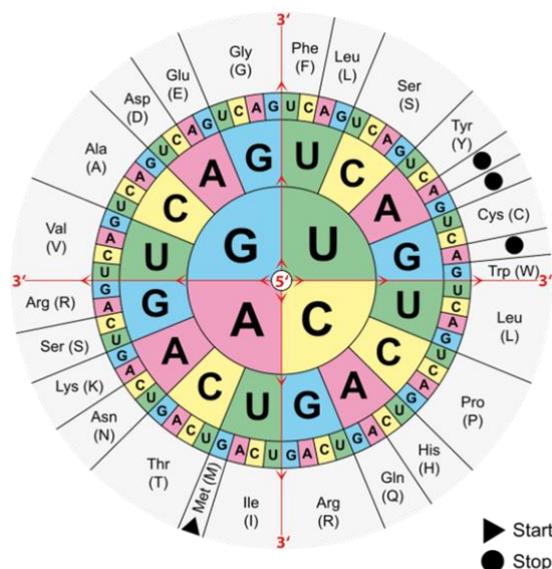
7.2.1 Genetischer Code⁶⁰

Wie bereits oben erwähnt sind nahezu alle Erbanlagen, die wir besitzen, und aus denen in unserem Körper Informationen abgelesen werden, auf unseren Chromosomen gespeichert, die wiederum aus langen Fäden an auf Histonen aufgewickelter DNA bestehen. Das Zucker-Phosphat Rückgrat dieser Nukleinsäure ist dabei immer gleich, die einzige sich verändernde Komponente bilden die Basen und deren Abfolge.

Sie sind es also, die für den tatsächlichen Inhalt unserer so aufwendig weitergegebenen Erbinformationen verantwortlich sind. Man bezeichnet die Abfolge dieser Basenpaare als „Genetischen Code“. Faszinierenderweise ist es bei allen entschlüsselten Lebewesen gleich, welche Basentriplets für welches Protein kodieren.

Im weiteren Verlauf der Proteinsynthese (siehe Proteinsynthese) wird dieser Code jeweils als Triplet von drei Basen, auch Codon genannt, in eine Aminosäure übersetzt und dann in die Polypeptidkette des entstehenden Proteins eingebaut.

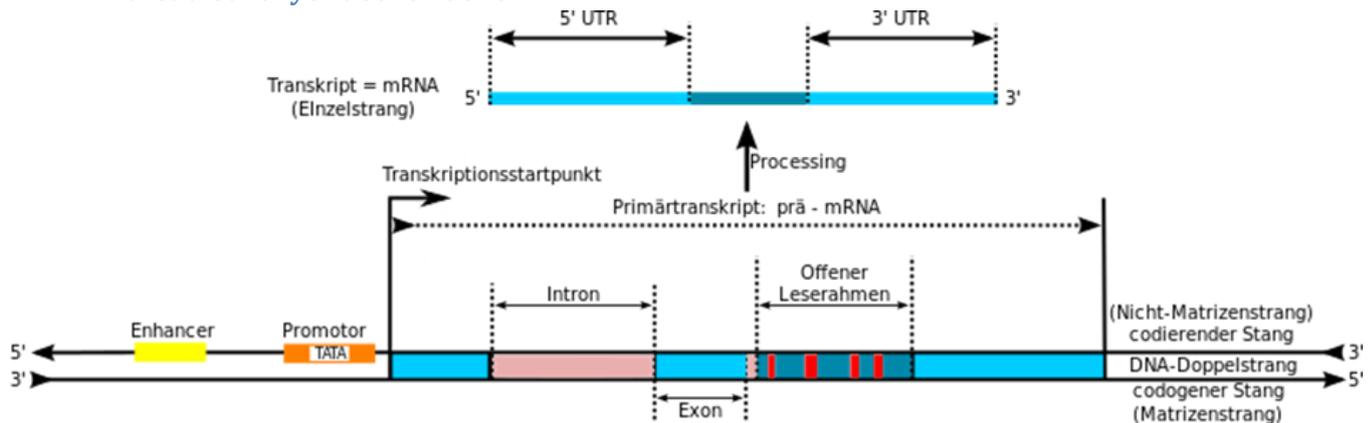
Insgesamt existieren 4 (Basen) hoch 3 (Plätze im Triplet) also 64 Kombinationsmöglichkeiten. 61 davon kodieren für die 20 proteinogenen Aminosäuren, 3 fungieren als STOP-Codons. Es gibt also für die meisten Aminosäuren mehrere Kodierungen (siehe Tabelle).



Gelesen wird immer von innen nach außen. Die Basenabfolge GCA steht also für Ala (Alanin).

Tipp: Basenabfolgen und ihre Übersetzung in Aminosäurenabfolgen werden (mit gegebener Grafik!!) gerne als Beispiele gegeben – ein paar Mal üben kann also nicht schaden. Auswendig wissen solltet ihr nur das Start-Codon (=Methionin), sowie die 3 Stop-Codons.

7.2.2 Aufbau eukaryontischer Gene⁶¹



Die Abbildung erklärt im Wesentlichen den Aufbau eukaryontischer Gene.

Wichtig sind hier vor allem die Begriffe Intron und Exon. Die Exone sind jene Abschnitte der DNA, die relevante genetische Informationen tragen. Die Introns hingegen können als Leerinformation angesehen werden, sie werden nicht in Proteine übersetzt. Die Introns sind aber keineswegs unwichtig für unser Genom. In ihnen liegen die für die Transkription unerlässlichen Regulationselemente, die cis-acting-elements, die als Promotoren, Enhancer (sorgen für eine verstärkte Transkription) und Silencer (verminderte Transkription) die Transkription dieser Gene regeln.

Während bei Bakterien Gene aus einer komplett kodierenden Nukleinsäurekette bestehen, die teilweise auch Informationen für andere Genprodukte enthält (polycistronischer Aufbau), sind die meisten Gene bei höheren Lebewesen von nicht-kodierenden Abschnitten, den Introns unterbrochen; die eigentlich kodierenden Abschnitte eines Gens werden deshalb als Exons bezeichnet.

7.2.3 RNA

Die RNA (Ribonukleinsäure) ist wie die DNA eine Nukleinsäure. Sie spielt eine wesentliche Rolle in der Umsetzung von genetischer Information in Proteine (siehe unten).

Die RNA ist in der Regel einzelsträngig, besteht in ihren Grundbausteinen ebenso aus Phosphat, einer Ribose (hier ist aber eine Hydroxylgruppe statt eines einfachen Wasserstoff-Atoms am C2, wodurch sie im Vergleich zur DNA wesentlich instabiler ist) und einer von vier organischen Basen (wobei Thymin durch Uracil ersetzt ist).

Wichtige Formen der RNA:

- **mRNA** = messenger-RNA, transkribiert die Basenabfolge der DNA und trägt sie zum Ribosom
- **rRNA** = ribosomale RNA, trägt zum Aufbau des Ribosoms bei
- **siRNA** = small interfering RNA & **miRNA** = microRNA, sind an der Regulation, De- bzw. Inaktivierung von Genen beteiligt, steuern so Prozesse wie Proliferation oder Apoptose einer Zelle
- **tRNA** = transfer-RNA, Hilfsmolekül in der Proteinsynthese, liefert das komplementäre Anti-Codon mit passender Aminosäure zum Ribosom.

7.2.4 Genexpression: Informationsfluss Gen – Protein

Die Genexpression eines einzelnen Gens in ein fertiges, einsatzbereites Protein ist im Prozess der Proteinbiosynthese zusammengefasst.

7.2.4.1 Proteinbiosynthese

Ist der Überbegriff für alle Prozesse, die zur Neubildung von Proteinen in Zellen beitragen. Auch sie wird aufgrund der unterschiedlichen Orte bzw. Vorgänge in mehrere Arbeitsschritte gegliedert.

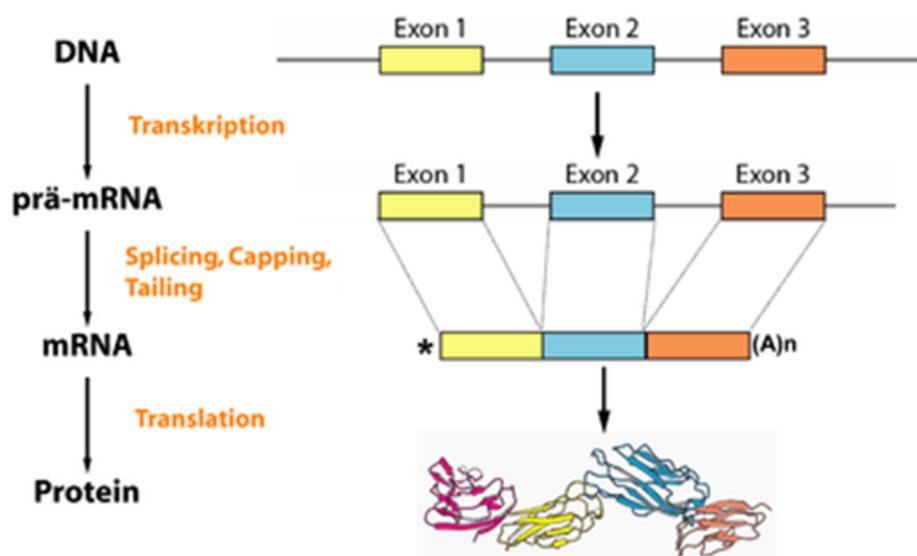
7.2.4.1.1 Transkription – Abschreiben ⁶²

Das sich im Zellkern befindliche Gen wird abgelesen. Dazu wird durch einen sogenannten Promotor der Startpunkt an der DNA bestimmt. Die RNA-Polymerase entspiralisiert den jeweiligen Strang durch Lösen der Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Basen und legt zwischen 10 und 20 Basen frei. An diese lagern sich dann freie komplementäre Nukleotide aus dem Zellkernplasma an. So entsteht ein komplementärer RNA-Strang, bei dem die DNA-Base Thymin durch Uracil ersetzt ist.

Zusätzlich durchläuft die RNA, bis sie als reife messenger RNA (mRNA) bezeichnet wird, einige posttranslationale Modifikationen:

- Capping: Schon während der Synthese wird am 5' Ende der RNA eine „Cap-Struktur“ angehängt, die zum Schutz vor Abbau und als Signal zum Transport aus dem Zellkern dient.
- Polyadenylierung: Am 3' Ende der unreifen mRNA wird ein Poly(A)-Schwanz aus ca. 250 Adenin-Molekülen angehängt. Er ist für eine höhere Stabilität der mRNA und die spätere Initiation der Translation am Ribosom zuständig. Außerdem verkürzt sich der Schwanz mit fortschreitendem Alter des Moleküls, er reguliert also auch dessen Halbwertszeit und Abbau.
- Splicing: Als Splicing wird der Prozess bezeichnet, bei dem noch im Zellkern die Introns aus der transkribierten RNA herausgeschnitten und die verbleibenden Exons (kodierenden Strukturen) miteinander verknüpft werden.

„Alternatives Splicing“, also an unterschiedlichen Stellen, ermöglicht, dass aus derselben prä-mRNA verschiedene reife mRNAs gemacht werden können. Rund 1/3 aller menschlichen Gene werden so hergestellt.



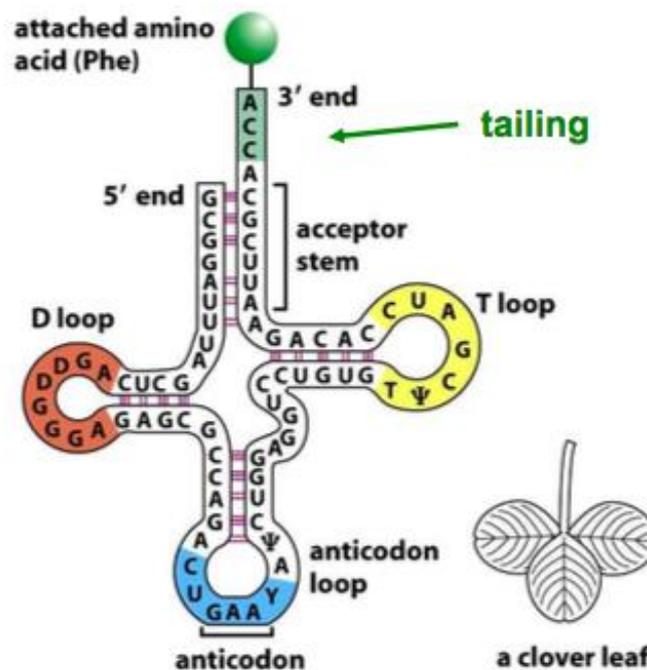
7.2.4.1.2 Translation – Übersetzen ⁶³

Nach dem Transport der mRNA durch die Poren der Zellkernmembran bewegt sie sich durchs Zytosol, bis sie auf ein freies Ribosom (siehe Ribosom) trifft. Dort beginnt dann die erste der drei Translationsphasen (ähnlich Replikation):

Initialphase:

Die kleine Untereinheit des Ribosoms wandert so lange die Kette der mRNA entlang, bis sie auf das Start-Codon AUG (siehe Genetischer Code) stößt. Dieses kodiert gleichzeitig für die Aminosäure Methionin. Da es keine strukturelle Verwandtschaft zwischen Codon und passender Aminosäure gibt, braucht es ein Zwischenstück. Dieses bildet die sogenannte transfer-RNA (tRNA), die in allen Variationen an komplementären Anti-Codons und Aminosäuren im Zytosol vorkommt.

Es heftet sich also die kleeblattförmige tRNA mit dem Basentriplet UAC an das Codon und bildet so den Initiationskomplex.



Elongationsphase:

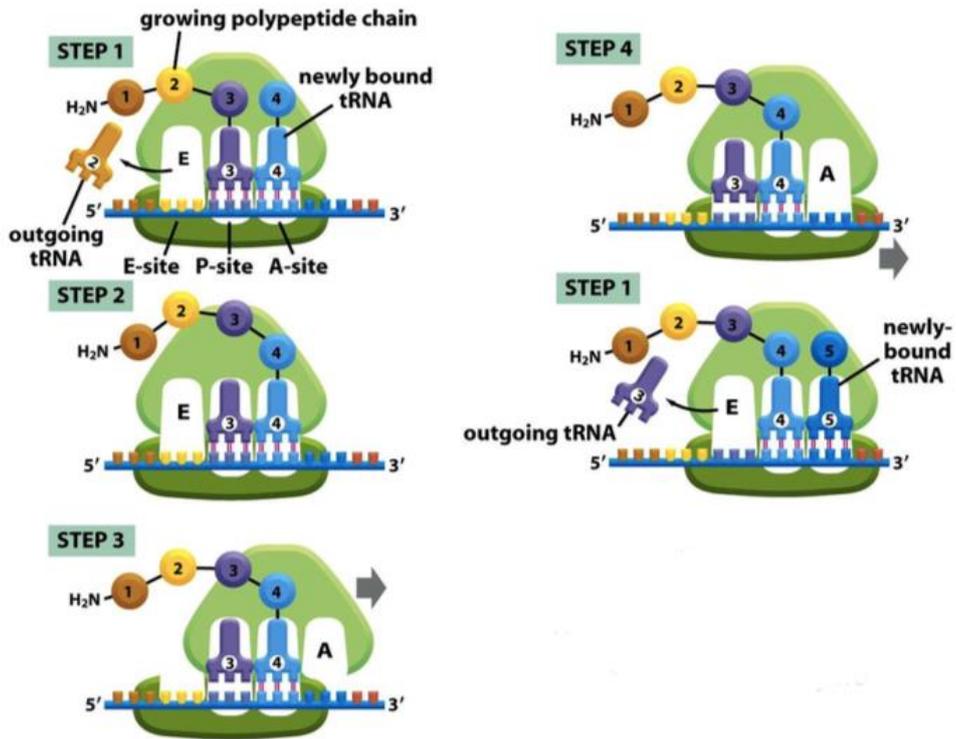
Zwischen der großen und kleinen ribosomalen Untereinheit befinden sich drei verschiedene Bindungsstellen: A-Stelle (leicht zu merken durch Ankom- oder Amino-Stelle), P-Stelle (Polypeptid-Stelle) und E-Stelle (Exit-Stelle). Das Ribosom befindet sich zunächst im prätranslationalen Zustand: die A-Stelle trägt den neu verbundenen mRNA-Codon – tRNA-Anti-Codon - Komplex, die P-Stelle trägt die tRNA mit der langsam entstehenden Polypeptid-Kette. (siehe Bild unten)

Durch die Peptidyltransferase wird die Polypeptidkette von der tRNA der P-Stelle auf die tRNA der A-Stelle verschoben, das Ribosom wechselt in den posttranslationalen Zustand und kann die mRNA Kette um drei Basen weiterrücken. Die nun leere P-Stellen-tRNA verlässt über die E-Stelle das Ribosom.

So verlängert sich Schritt für Schritt die Kette aus Polypeptiden, die über Phosphodiesterbindungen verknüpft sind und die Vorstufe des späteren Proteins bilden.

Termination:

Bei Erreichen eines Stopp-Codons wird die Translation durch Bindung eines Freisetzungsfaktors abgebrochen und die Polypeptidkette aus dem Ribosom entlassen.



Bis zum fertigen Protein durchläuft auch die Polypeptidkette noch einige posttranslationale Modifikationen (langsam erkennt man ein Muster ;). Diese umfassen v.a. Oxidationen, Decarboxylierungen oder Glykosylierungen, die entweder direkt bei der Translation, in anderen Zellorganellen wie dem Golgi-Apparat oder erst extrazellulär stattfinden.

Die fertigen Proteine werden dann anhand ihrer spezifischen Markierungen (z.B. Signalsequenzen am N- oder C-Terminus) zu den verschiedenen Zellorganellen bzw. Einsatzorten transportiert.

8 Immungenetik und Immunbiologie

Auch hier sind die Erklärungen im Skriptum sehr detailliert abgehandelt. Viel davon ist für den Aufnahmetest nicht essentiell. Es empfiehlt es sich graphisches Material (z.B. Youtube-Videos) aus dem Internet zum besseren Verständnis heranzuziehen.

8.1 Antikörper

Antikörper, oder anders genannt Immunglobuline, sind Proteine (Eiweiße), die im Körper als Reaktion auf bestimmte Stoffe gebildet werden. Sie sind Teil des Immunsystems und dienen im Rahmen der erworbenen oder spezifischen Immunabwehr der „Bekämpfung“ von Fremdstoffen. Ihr Bindungsort sind die Antigene von Keimen oder Fremdstoffen – spezielle, für die jeweilige Zellart einzigartige Moleküle.

8.1.1 Bildung von Antikörpern

Antikörper werden ausschließlich von sogenannten B-Zellen gebildet. B-Zellen können durch körperfremde Stoffe (= Antigene) aktiviert werden und sich dann zu Antikörper-produzierenden Plasmazellen differenzieren. Für maximale Antikörperproduktion benötigen die B-Zellen die Hilfe von T-Zellen.

B-Zellen erkennen das Antigen über spezifische Antigenrezeptoren, endozytieren und verarbeiten es und präsentieren es schließlich über MHC-Klasse-II-Moleküle den T-Zellen. Die T-Zellen erkennen das Antigen auf den B-Zellen über T-Zell-Antigenrezeptoren. Mithilfe von sogenannten Co-Rezeptoren auf den T-Zellen, wie CD4 und CD40-CD40L, werden die B-Zellen von den T-Zellen aktiviert. T-Zellen sezernieren Interleukin-2 und Interleukin-4, woraufhin die B-Zellen wachsen und zu antikörperproduzierenden B-Zellen, den Plasmazellen, differenzieren.

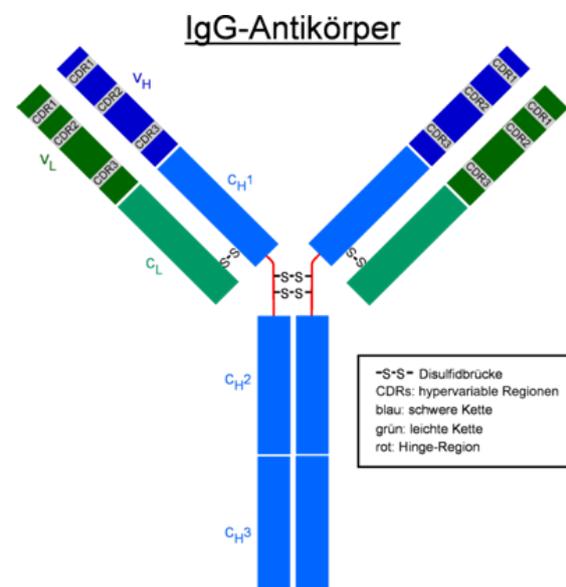
Diese Aktivierung der B-Zellen findet in sekundär lymphatischen Organen (Lymphfollikel, Peyer-Plaques, Tonsillen, Milz, Lymphknoten und Wurmfortsatz) statt. Pathogene werden im Gewebe von dendritischen Zellen über Mustererkennungsrezeptoren (z.B. CD14, Toll-like-Rezeptoren) erkannt und entweder aufgenommen oder rezeptorunabhängig endozytiert (=Makropinozytose). Dadurch wird in den dendritischen Zellen ein Signal ausgelöst und sie wandern in den nächsten Lymphknoten. Dort aktivieren sie die antigenspezifischen T-Helferzellen, die dann wiederum, wie oben beschrieben, mit den B-Zellen interagieren.

B-Gedächtniszellen werden bei erneutem Kontakt mit demselben Antigen sofort aktiviert und können innerhalb weniger Stunden eine Immunreaktion auslösen.

8.1.2 Struktur der Antikörper^{64,65}

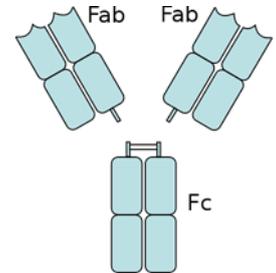
Antikörper werden auch noch Gammaglobuline genannt, weil ihre Struktur einem „Y“ gleicht. Alle Antikörper bestehen aus 4 Polypeptidketten:

- 2 jeweils idente schwere Ketten (heavy chains) (blau) und
- 2 jeweils idente leichte Ketten (light chains) (grün)



Die Ketten sind durch Disulfidbrücken (Atombindung zwischen 2 Schwefelatomen) miteinander verbunden. Die leichten Ketten sind je nach Typ entweder vom Typ κ oder λ und besitzen jeweils eine variable (im Bild VL) und eine konstante (im Bild CL) Domäne. Die schweren Ketten sind hingegen aus einer variablen und drei (IgG, IgA) bzw. vier (IgM, IgE) konstanten Domänen aufgebaut.

Die variablen Regionen werden über die Rekombination des Genmaterials und Verbindungsvariationen von Gensegmenten gebildet, während die konstanten Regionen (Stammolekül, Fc-Region) keiner Rekombination unterliegen. Dadurch entsteht eine enorme Antikörpervielfalt und jeder Mensch verfügt potentiell über 10^{12-14} verschiedene Antikörper.



Die Antigenbindungsstelle liegt in der variablen Region von leichter und schwerer Kette (Fab-Region) und wird als Complementary Determining Region (CDR) bezeichnet. Die Fc-Region führt zur Anlagerung von unspezifischen Abwehrzellen, die Fc-Rezeptoren tragen (zum Beispiel: Makrophagen, neutrophile Granulozyten oder Natürliche Killerzellen). Außerdem führt die Fc-Region zur Aktivierung des Komplement-Systems.

8.1.3 Antikörperisotypen

Grundsätzlich gibt es fünf Hauptklassen von Antikörpern, die an verschiedenen Stellen des Körpers vorkommen und unterschiedliche Aufgaben haben:

1. IgM
2. IgG
3. IgA
4. IgE
5. IgD

Diese Isotypen entstehen durch einen Klassenwechsel während der B-Zell-Reifung. Das bedeutet, dass eine B-Zelle in verschiedene Tochterzellen differenzieren kann. Diese produzieren dann die unterschiedlichen Klassen, wobei alle für dasselbe Antigen spezifisch sind.

8.1.3.1 IgM:

- Pentamer – 5 IgM Monomere
- Mehrfach vorhandene Antigenbindungsstellen
- Erste Abwehr gegen Mikroorganismen im Blut
 - Wird immer im Laufe einer Primärinfektion gebildet-> weist in der Diagnostik auf eine frische Infektion hin
- Stärkster Aktivator des Komplementsystems
- Erkennt ABO-Blutgruppen

8.1.3.2 IgG

- Monomer
- Hat die höchste Plasmakonzentration
- Kann die Plazentaschranke als einziger Antikörper überwinden. Das bedeutet, dass das Neugeborene durch mütterliche IgG einen Nestschutz aufweist.
- Neutralisation von Bakterientoxinen, Komplementaktivierung und Opsonisierung für die Aufnahme durch Phagozyten
- Zeigt eine durchgemachte Infektion oder Impfung an

8.1.3.3 *IgA*

- Dimer
- Befindet sich zum größten Teil als sekretorisches IgA auf Schleimhautoberflächen, in der Tränenflüssigkeit, in der Muttermilch und im Speichel
- Gelangt durch die Muttermilch in den Darm des Kindes und schützt dieses somit
- Wirkt hauptsächlich neutralisierend

8.1.3.4 *IgE*

- Monomer
- Aktivierung von Mastzellen
- Auslösung einer anaphylaktischen Reaktion (Überempfindlichkeitsreaktion vom Soforttyp)
- Parasitenabwehr

8.1.3.5 *IgD*

- Über die Funktion ist leider wenig bekannt
 - Eventuell Beeinflussung der Lymphozytenfunktion- es ist neben IgM auf der Oberfläche von B-Zellen vorhanden

8.1.4 Funktion von Antikörper

Antikörper haben 3 Funktionen

1. Neutralisation
2. Opsonisierung
3. Aktivierung des Komplementsystems

8.1.4.1 *Neutralisation:*

Antikörper neutralisieren die Antigene, indem sie diese an ihre Fab-Region binden und dadurch verhindern, dass sie Körperzellen bzw. Moleküle befallen.

8.1.4.2 *Opsonisierung:*

„Schmackhaft machen“. Antikörper markieren das Pathogen und machen es so für Phagozyten erkennbar, die über die Fc-Region an Antikörper binden.

8.1.4.3 *Aktivierung des Komplementsystems*

Das Komplementsystem zählt zum unspezifischen, humoralen Immunsystem. Humoral bedeutet hier „nicht-zellulär“ – das Komplementsystem arbeitet also nicht mit Makrophagen, Monozyten, oder Killerzellen (die sind Teil des zellulären Immunsystems). Stattdessen greift es auf insgesamt über 20 Proteine zurück, um unseren Körper vor Erregern zu schützen. Diese Proteine bilden untereinander die sogenannte Komplementfaktoren C1-C9. Es gibt drei verschiedene Aktivierungswege, die unterschiedlich beginnen, aber letzten Endes allesamt mit dem gleichen Ergebnis enden.

- Klassischer Weg: ein Antigen-Antikörper-Komplex (sprich: eine fremde Zelle, die vom Immunsystem mit IgG oder IgM markiert wurde) dient als Bindungsstelle für C1. Es kommt zu einer kaskadenartigen Aktivierung des Komplementsystems: die verschiedenen Komplementfaktoren binden aneinander, spalten sich in Untereinheiten, die dann gemeinsam wieder neue Komplexe bilden.

- Alternativer Weg: hier werden keine Antikörper benötigt, sondern standardmäßig im Plasma zirkulierende Proteasen führen zu einer Spaltung von C3 in C3a und C3b. Letztere kann in Anwesenheit von bakteriellen Toxinen an diese binden und löst so ebenfalls eine Kaskade aus.
- MBL (Mannose-bindendes-Lektin) Weg: der Einfachzucker Mannose befindet sich auf der Oberfläche von Bakterien. Gelangen diese ins Blut, kann ein dort zirkulierendes Lektin an diese binden und die MBL-assoziierten Serinproteasen MASP-1 – MASP-3 aktivieren. Darauf folgt die gleiche Kaskade wie in den anderen beiden Wegen.

Alle drei Wege münden letztlich darin, dass der Komplementfaktor C5 in C5a und C5b gespalten wird. C5b verbindet sich daraufhin mit den übrigen Faktoren C6-C9 und bildet den Membranangriffskomplex. Dieser perforiert die Erregerzelle und führt zu deren Zerstörung.

Selbst wer nur kurz einen Blick auf das Thema wirft, wird feststellen, wie komplex es ist. Es ist daher absolut nicht nötig, dass ihr sämtliche Komplementfaktoren und Details auswendig lernt. Merkt euch einfach die verschiedenen Wege, die das System einleiten und dass es ein Teil der unspezifischen, humoralen Immunantwort ist.

8.1.5 Immunologisches Gedächtnis

Das immunologische Gedächtnis, also das Vorhandensein von Gedächtnis B-Zellen bzw. Plasmazellen, ist vor allem bei Zweitinfektionen mit demselben Krankheitserreger von Bedeutung. Der Antikörperspiegel steigt schneller an und es werden größere Antikörpermengen erreicht. Diese Phase ist dadurch charakterisiert, dass im Gegensatz zur Erstinfektion nur geringe Mengen IgM, aber große Mengen IgG und IgA produziert werden.

8.1.5.1 Exkurs: Immunisierung

Aktive Immunisierung: Der Organismus kommt in Kontakt mit einem Antigen und der Körper produziert als Reaktion selbstständig Antikörper. Bei Impfungen handelt es sich um präparierte und/oder abgeschwächte Antigene oder auch nur Teile davon.

Passive Immunisierung: Übertragung von Antikörpern. Diese Methode wird dann angewendet, wenn keine Zeit mehr für eine aktive Immunisierung ist, da der Organismus dem Erreger bereits ausgesetzt ist. Passive Immunisierung bietet aber keinen nachhaltigen Schutz, da die Antikörper abgebaut werden.

8.2 Gene der Antikörper

8.2.1 Die Grundlage der Antikörpervielfalt

Eine Antikörpervielfalt wird durch Kombination von Genabschnitten auf den Genen für leichte und schwere Ketten der Antikörper erreicht. Da der Körper mehrere Millionen Antikörper gegen verschiedene Antigene bilden kann, ist es unmöglich für jeden Antikörper ein eigenes Gen zu haben. Bei der Antikörpervielfalt sind also 2 Mechanismen von Bedeutung:

1. Genkombination = V(D)J-Rekombination = Gen-Rearrangement
2. Somatische Mutation

8.2.1.1 Genkombination⁶⁶

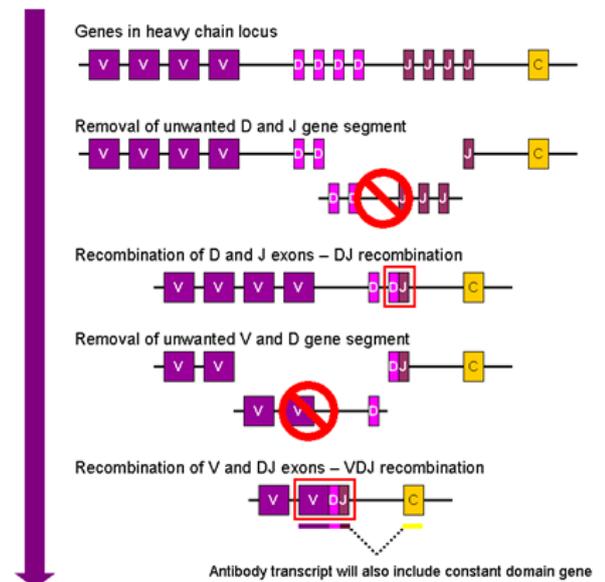
Hierbei handelt es sich um eine genetische Umlagerung an der DNA, die bereits während der Entwicklung der B-Zellen im Knochenmark stattfindet. Aus verschiedenen Genen für die leichten und

schweren Ketten werden zufällige Auswahlen von DNA-Abschnitten kombiniert. Man geht davon aus, dass theoretisch ca. 10^{12-14} verschiedene Antikörper gebildet werden können, wovon den Mensch lediglich eine Zahl im Millionenbereich nutzt.

Die leichten Ketten der Immunglobuline werden von 4 verschiedenen Exons kodiert. Exons sind die Teile, die nach dem Spleißen erhalten bleiben.

1. Leit-Segment (L)
2. Variables Segment (V)
3. Joining-Segment (J)
4. Konstantes Segment (C)

Die L, V, und J Segmente kodieren für den variablen Teil der Kette, während das C-Segment für den konstanten Teil kodiert. Die einzelnen Segmente sind in der DNA hintereinander angeordnet. Während es etwa 200 Tandems aus (L- und) V- Teilen gibt, gibt es nur etwa 5 J-Teile und nur einen C- Teil. Während der Differenzierung zum B-Lymphozyt kommt es zur Rekombination dieser Exons, wobei immer dasselbe Bild entsteht: L-, V-, J- und C- Segment werden hintereinander gereiht, wobei der wichtigste Schritt wohl die Verknüpfung eines beliebigen V- Gens mit einem beliebigen J-Gen ist. Durch Transkription und Splicing entsteht aus dieser DNA dann eine mRNA, die für eine spezielle leichte Kette kodiert. Nach der Translation wird das L-Segment abgespalten und es entsteht schließlich die leichte Kette eines Antikörpers.



Auch die schweren Ketten entstehen durch eine solche Gen-Kombination. Sie entstehen bis auf 2 Unterschiede auf die gleiche Weise:

- 1) Unterschied: Zusätzlich zu den L-, V-, J- und C- Segmenten gibt es noch ca. 10 D-Segmente, die sich zwischen L-/V- und J-Teilen befinden. Weiters gibt es zwischen V- und D- bzw. D- und J-Segmenten noch eine sogenannte N- Region, welche einen besonders variablen Abschnitt darstellt.
- 2) Unterschied: Es gibt 5 CH-Segmente, welche die Antikörperklassen festlegen
 - a) μ -> IgM
 - b) δ -> IgD
 - c) γ -> IgG
 - d) ϵ -> IgE
 - e) α -> IgA

Es lassen sich also mit den 200 V-Teilen, den 5 J-Teilen und einem C-Teil ca. 1000 verschiedene leichte Ketten herstellen. Bei den schweren Ketten geht man davon aus, dass ca. 75-100 V-Gene, 10-20 D-Gene und 6-J Gene kombiniert werden und so etwa 12.000 schwere Ketten entstehen können. Bedenkt man nun, dass auch die leichten und schweren Ketten beliebig kombinierbar sind, kommt man auf die große Menge von 10^{12-14} Antikörper.

Die entscheidenden Genkomplexe für die oben beschriebenen Vorgänge befinden sich auf 4 verschiedenen Chromosomen: Chromosom 2 und 22 für die leichten Ketten vom Typ κ und λ , Chromosom 14 für die schweren Ketten und Chromosom 14 und 7 für den T-Zell-Rezeptor.

8.2.1.2 Somatische Mutation

Nach Aktivierung der B-Lymphozyten werden Mutationen in bereits kombinierte Gene eingefügt, um die Bindungsstärke zwischen Antigen und Antikörper zu erhöhen. Diese zufälligen Veränderungen der DNA entstehen durch das Enzym Activation Induced Cytidine Deaminase (AID). Durch Selektion werden dann die bindungsstärksten Antikörper ausgewählt, welche das Antigen am besten bekämpfen können.

8.2.2 Klassenwechsel der Antikörper (Isotyp Switching)

Als Klassenwechsel bezeichnet man den Wechsel des Antikörpertyps einer B-Zelle. Im Laufe einer Immunantwort werden unterschiedliche Immunglobuline gebraucht, weshalb ein solcher Isotyp-Switch sinnvoll erscheint. Für diesen Wechsel gibt es 2 Mechanismen:

1. RNA-Prozessierung
2. Deletion von DNA-Abschnitten

Deletion von DNA-Abschnitten: Auf den konstanten Genabschnitten der schweren Kette befindet sich vor jedem CH-Segment (Ausnahme: $C\delta$) eine sog. S-Region (S= Switch= Wechsel), welche als Signalsequenz dient. Bei einem Klassenwechsel wird die DNA, die zwischen der VDJ-Region und dem gewünschten CH-Teil liegt irreversibel entfernt. Es werden Sequenzen zwischen zwei verschiedenen Switch Regionen herausgeschnitten und die Enden neu verbunden.

8.3 Blutgruppen

Eine Blutgruppe ist die Beschreibung der Oberfläche menschlicher Erythrozyten. Die Oberfläche ist von zahlreichen Molekülen, wie Glykolipiden oder Proteinen geprägt. Gegen manche dieser Moleküle können Antikörper gebildet werden, weshalb man die Moleküle auch als Blutgruppenantigene bezeichnet. Für die Klassifikation von Blut werden die Blutgruppenantigene in Gruppen eingeteilt. Momentan sind 36 Blutgruppensysteme beim Menschen bekannt. Klinisch bedeutend sind nur das ABO-System und das Rhesus-System. Vermischt man Blut zweier inkompatibler Blutgruppen, so verklumpt es.

8.3.1 Das ABO-System⁶⁷

Das ABO-System wurde 1900 vom Österreicher Karl Landsteiner entdeckt, wofür er 1930 den Nobelpreis erhielt. Das System umfasst 4 Blutgruppen: A, B, AB, 0 (Null). Ein angehängtes Plus oder Minus (A+, A-) deutet auf den Rhesusfaktor hin.

Die Antigene des ABO-Systems bestehen aus Glykosphingolipiden, welche durch einen Lipid- und einem Zuckeranteil aufgebaut sind. Der Lipidanteil verankert das Antigen an der Erythrozytenmembran und der Zuckeranteil ragt nach außen. Beim Menschen gibt es 2 Antigene, welche sich nur in einem Zuckermolekül unterscheiden.

Bei der Blutgruppe A befinden sich Antigene vom Typ A auf den Erythrozyten, analog dazu sind auf der Blutgruppe B Antigene vom Typ B. Auf der Blutgruppe AB sind Antigene vom Typ A und B vorhanden und auf der Blutgruppe 0 gibt es keine Antigene. Das System besteht daraus, dass Antikörper gegen die fehlenden Antigene auf den roten Blutkörperchen gebildet werden.

Die gebildeten Antikörper sind vom IgM-Typ und daher nicht plazentagängig. Sie entstehen also nach Sensibilisierung durch verschiedene Bakterien aus der Umwelt. Diese Bakterien haben Ähnlichkeit mit den Antigenen auf den Erythrozyten. Das bedeutet, dass Neugeborene zwischen dem 3. und 6. Lebensmonat Antikörper gegen die Oberflächenstruktur solcher Bakterien entwickeln, sofern sie nicht selber Träger ähnlicher Strukturen auf ihren körpereigenen Erythrozyten sind. Da Bakterienoberflächen den Erythrozytenoberflächen teilweise ähneln, werden sie als körpereigen erkannt. Somit werden gegen diese Strukturen keine Antikörper gebildet.

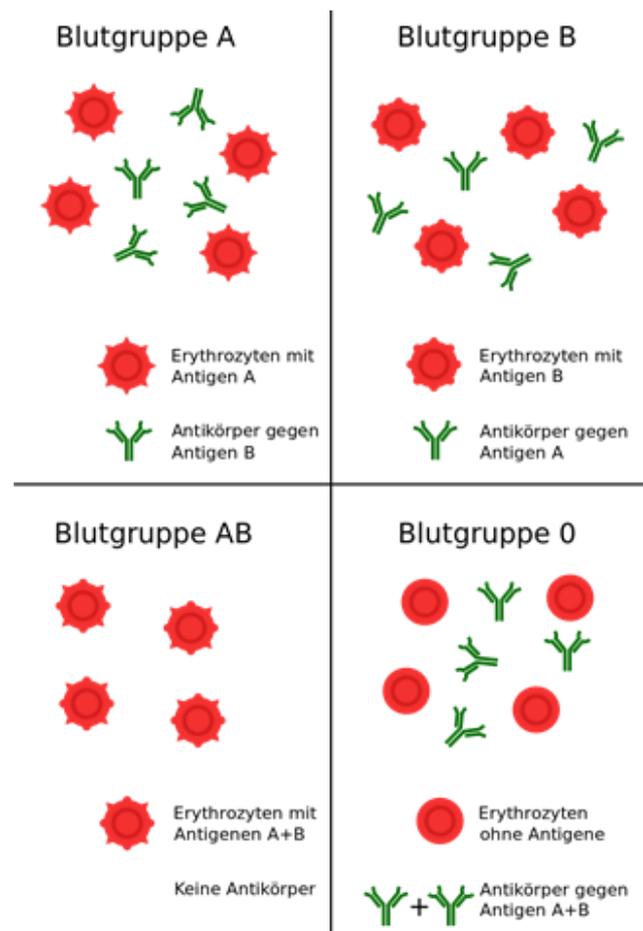
Im Fall der Blutgruppe A (Anti-B) ist die Sensibilisierung durch ein gramnegatives Bakterium aus dem Darm (*Escherichia coli*) erwiesen. Für die Blutgruppe B (Anti-A) vermutet man als auslösenden Faktor Proteine der Influenza-Viren, welche den B-Antigenen ähnlich sind.

Das bedeutet, dass Menschen mit der Blutgruppe A Antikörper gegen Blutgruppe B haben, Menschen mit Blutgruppe B haben Antikörper gegen Blutgruppe A, Menschen mit Blutgruppe AB haben keine Antikörper und Menschen mit Blutgruppe 0 haben Antikörper gegen Blutgruppe A und B. Demnach würde zum Beispiel Spenderblut der Gruppe A bei einem Empfänger mit Gruppe B eine Agglutination (Verklumpung) auslösen. Daher ist eine genaue und sorgfältige Analyse vor der Spende notwendig.

Exkurs: Bombay-Typ: Hierbei handelt es sich um ein sehr seltenes und problematisches Phänomen im ABO-System, das vor allem in Indien vorkommt. Ein genetischer Defekt auf Chromosom 19 unterbindet die Produktion eines Antigens (Vorläufersubstanz H), welches sich normalerweise auf der Erythrozytenoberfläche befindet. Folge ist, dass die betroffene Person Blutgruppe 0 hat. Das Problem ist aber die fehlende Vorläufersubstanz H, gegen die, analog zur oben beschriebenen Antikörperbildung, Immunglobuline gebildet werden. Aus diesem Grund können Betroffene nur Spenderblut von anderen Bombay-Betroffenen erhalten.

8.3.2 Blutgruppenkompatibilität

Die Blutgruppenkompatibilität ist bei der Bluttransfusion von größter Bedeutung. Im Gegensatz zu anderen Blutgruppen, wo die Antikörper erst nach dem ersten Kontakt gebildet werden, entstehen sie beim ABO-System bereits im Säuglingsalter. Es ist daher sehr wichtig, dass nur kompatible Blutbestandteile transfundiert werden, da es sonst zu lebensbedrohlichen immunologischen und hämolytischen Reaktionen kommt. Es gibt aber auch Universalspender und Universalempfänger.



8.3.2.1 Erythrozytenübertragung (E - Erlaubt)

Empfänger	Spender			
	0	B	A	AB
AB	E	E	E	E
A	E		E	
B	E	E		
0	E			

Lesebeispiel: Ein Empfänger mit Blutgruppe A (hat Antikörper gegen B) darf Erythrozyten von einem Spender mit Blutgruppe 0 oder A (haben kein Oberflächenmerkmal B) bekommen

Somit ergibt sich, dass AB der Universalempfänger und 0 der Universalspender ist.

8.3.2.2 Plasmaübertragung

Achtung: Die Blutgruppen-Kompatibilität bei der Übertragung von Plasma ist „umgekehrt“ zu der Erythrozytentransfusion, da sich im Plasma die Antikörper gegen die Erythrozyten befinden.

Empfänger	Spender			
	0	B	A	AB
AB				P
A			P	P
B		P		P
0	P	P	P	P

Lesebeispiel: Ein Empfänger mit der Blutgruppe A darf nur Plasma von einem Spender mit Blutgruppe A oder AB erhalten. Er darf kein Plasma von 0 oder B bekommen, da dieses Antikörper gegen A enthält

Somit ergibt sich, dass 0 der Universalempfänger ist und AB der Universalspender.

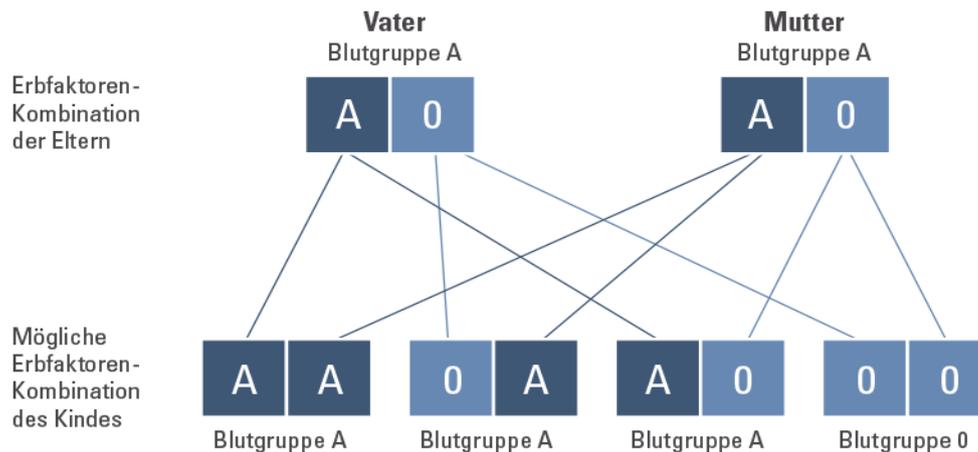
8.3.3 Vererbung⁶⁸

Allele für die Blutgruppenfaktoren A und B verhalten sich dominant bzw. kodominant, Allel für den Blutgruppenfaktor 0 verhält sich rezessiv. Hierdurch ergeben sich verschiedene Genotypen für die Phänotypen A, B, AB und 0.

Phänotyp	Genotyp	
A	AA	A0
B	BB	B0
AB	AB	
0	00	

Das Kind erhält genau ein Allel aus dem Genotyp der Mutter und ein Allel aus dem Genotyp des Vaters.

Beispiel:



Blutgruppe der Eltern	Mögliche Blutgruppe des Kindes			
	A	B	AB	0
A und A	93,75%	-	-	6,25%
A und B	18,75%	18,75%	56,25%	6,25%
A und AB	50%	12,5%	37,5%	-
A und 0	75%	-	-	25%
B und B	-	93,75%	-	6,25%
B und AB	12,5%	50%	37,5%	-
B und 0	-	75%	-	25%
AB und AB	25%	25%	50%	-
AB und 0	50%	50%	-	-
0 und 0	-	-	-	100%

8.3.4 Rhesusfaktor-System

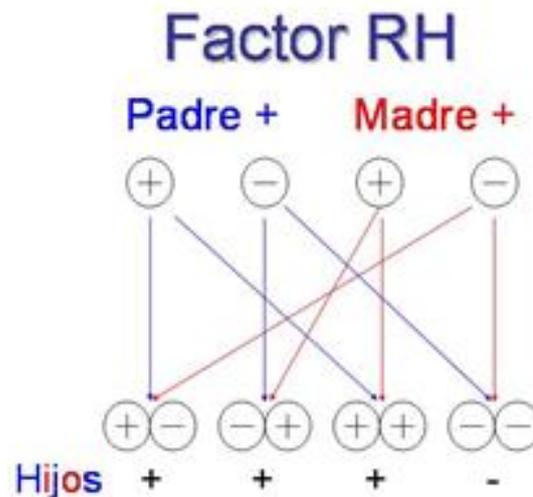
Das Rhesusfaktor-System wurde 1940 von Karl Landsteiner und Alexander Solomon Wiener entdeckt und ist ein kompliziertes Blutgruppensystem. Rhesusfaktoren befinden sich ebenfalls auf den Erythrozytenoberflächen. Sie bestehen aber im Unterschied zu den ABO-Eigenschaften nicht aus Zuckerresten, sondern aus Proteinen. Rhesus-positive Individuen besitzen solche Proteine und Rhesus-negative Personen nicht. Es gibt sehr viele Rhesusantigene, wobei die fünf wichtigsten Vertreter C,c,D,E,e sind. Entscheidend ist jedoch das D-Antigen.

Die Mehrheit der Menschheit ist Rhesus-positiv, besitzt also das Rhesus-D- Antigen. Wie beim ABO System werden Antikörper gebildet: Ein Rhesus-negativer Organismus bildet nach Kontakt mit Rhesus-positivem Blut Antikörper. Bei erneutem Kontakt kann es zur Hämagglutination oder Hämolyse kommen.

8.3.4.1 Vererbung⁶⁹

Die Vererbung erfolgt dominant-rezessiv.

Vater (Padre)=blau, Mutter (Madre)= Rot, Hijos=Kinder



8.3.4.2 Blutgruppenkompatibilität

Auch hinsichtlich des Rhesusystems sollte blutgruppengleich transfundiert werden. Aufgrund des Mangels an Rhesus-negativen Spendern, lässt sich das jedoch nicht immer erfüllen. Das ergibt bei einmaliger Transfusion keine Probleme, da sich die Antikörper erst nach dem ersten Kontakt bilden. Problematisch wird es jedoch beim zweiten Kontakt.

8.3.4.3 Bedeutung bei der Schwangerschaft

Rhesus-positive Menschen haben ein D-Antigen an der Oberfläche der roten Blutkörperchen. Rhesus-negative Menschen besitzen dieses Antigen nicht. Sie bilden aber, wenn sie mit diesem Antigen in Berührung kommen, Antikörper aus.

Dass Rhesus-positive Blutbestandteile in den Blutkreislauf eines Rhesus-Negativen kommen, passiert vor allem bei Bluttransfusionen und unter bestimmten Voraussetzungen in der Schwangerschaft und bei der Geburt.

Normalerweise sind die Blutkreisläufe von Mutter und Kind durch die sogenannte Plazentaschranke voneinander getrennt. Kommt es jedoch aufgrund irgendwelcher Vorgänge zu Mikrotraumen (Verletzung der Nabelschnur, Plazenta, etc.) können Blutbestandteile von Mutter auf Kind oder Kind auf Mutter übertreten und es zu einer Sensibilisierung kommen. Auch die natürliche vaginale Geburt stellt ein Risiko dar.

Problematisch wird das Ganze bei Rhesus-negativen Müttern und Rhesus-positiven Kindern. Ohne Prophylaxe würden bis zu 20% aller Rhesus-negativen Frauen nach der Geburt eines Rhesus-positiven Kindes Antikörper entwickeln. Sollte dennoch eine Sensibilisierung stattfinden, führt das bei der aktuellen (ersten) Schwangerschaft meist zu keinen großen Problemen. Kritisch wird es erst bei einer weiteren Schwangerschaft. Die Antikörper gegen den D-Faktor sind Immunglobuline von IgG-Typ, was bedeutet, dass sie durch die Plazentaschranke in den Blutkreislauf des Kindes wandern können. Dort werden die Erythrozyten des Kindes von den D-Antikörpern der Mutter erkannt und vorzeitig in der Milz des Kindes abgebaut. Es kommt zur hämolytischen Anämie und schlimmstenfalls zum Morbus haemolyticus neonatorum, der zum Tod führen kann.

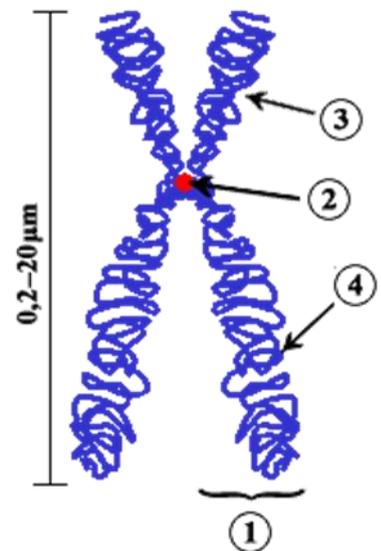
9 Genetik Allgemein

9.1 Mendel'sche Regeln ⁷⁰

Gregor Mendel, ein Augustinermönch des 19. Jahrhunderts, führte in seinem Klostersgarten erstmals dokumentierte Kreuzungsversuche mit Erbsen durch. Er untersuchte dabei immer einzelne Merkmale wie Farbe oder Beschaffenheit der Erbsen und konnte daran die Vererbungsgrundlagen festmachen, auf die wir uns auch heute noch berufen.

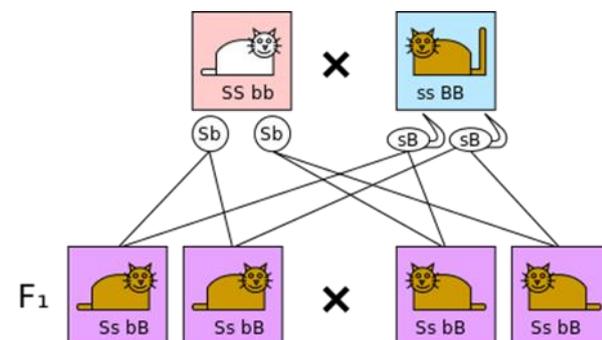
Begriffserklärung:

- DNS: Desoxyribonukleinsäure, großes Biomolekül im Zellkern, Träger der Erbinformation
- Chromosom: kondensierter Teil der DNA, in menschlichen somatischen Zellen 23 Paare
- Chromatide: Bestandteil eines Chromosoms, jeweils kurzer und langer Arm, werden im Zuge der Anaphase getrennt
- Gen: Abschnitt der DNA, der für ein bestimmtes Protein kodiert
- Allel: Verschiedene Ausprägungsform eines Gens
- Homozygot: gleiche Allele auf den zwei Schwesternchromosomen
- Heterozygot: verschiedene Allele auf den zwei Schwesternchromosomen
- AA – reinerbig, dominant
- aa – reinerbig, rezessiv
- Aa – mischerbig, dominant-rezessiv



9.1.1 Uniformitätsregel ⁷¹

Bei Kreuzung von zwei homozygoten Eltern, die sich in dem Merkmal unterscheiden (AA, aa), erhält man in der nachfolgenden F1-Generation heterozygote, gleiche (uniforme) Individuen.

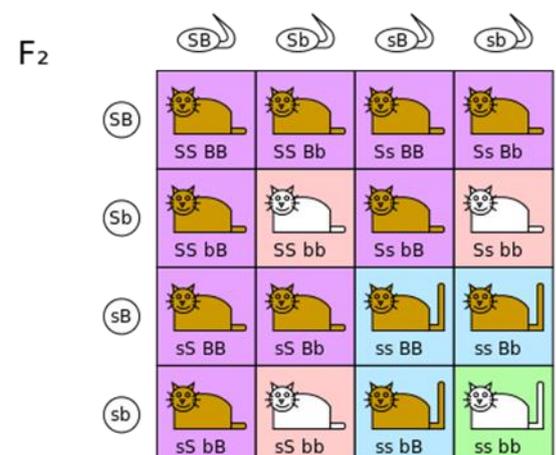


9.1.2 Spaltungsregel

Bei Kreuzung der Individuen der F1-Generation findet in der F2-Generation eine erneute Aufspaltung der Merkmale statt.

Im Genotyp im Verhältnis 1:2:1 (AA, Aa, Aa, aa),

Im Phänotyp im Verhältnis 3:1 (AA, Aa, Aa – dominant, aa – rezessiv)



9.1.3 Unabhängigkeitsregel

Erbanlagen und Merkmale werden frei kombiniert und unabhängig voneinander vererbt. Diese Regel gilt allerdings nur für Gene, die weit genug entfernt auf den Chromosomen angesiedelt sind.

Im Allgemeinen können die Mendel'schen Regeln nur auf einen autosomalen (\neq ribosomale DNA) und monogenetischen (\neq polygenetisch z.B. Augenfarbe, Haarfarbe) Erbgang angewandt werden.

9.1.4 Verschiedene Erbgänge:

- Autosomal rezessiv
Krankheit/Ausprägung tritt nur bei Homozygotie auf
- Autosomal dominant
Krankheit/Ausprägung tritt auch bei Heterozygotie auf
- X-chromosomal rezessiv
Krankheit/Ausprägung tritt bei Frauen nur bei Homozygotie auf
Krankheit/Ausprägung tritt bei Männern immer auf = Hemizygotie
- X-chromosomal dominant
Krankheit/Ausprägung tritt immer auf. Betroffene Männer sind oft gar nicht lebensfähig.

9.2 Zellteilung und Zellzyklus⁷²

Die Zellteilung oder Zytokinese ist aus biologischer Sicht der Vorgang der Teilung einer Zelle in eine oder mehrere Tochterzellen. Zellplasma und andere Bestandteile werden geteilt und durch neue Membranen eingehüllt. Die Teilungsrate bzw. Proliferation ist für jeden Zelltyp spezifisch. So teilen sich z.B. Haar- und Knochenmarkszellen relativ schnell, während sich Neurone nach ihrer Differenzierung gar nicht mehr teilen.

Bis es zu einer tatsächlichen Teilung kommt, muss die Zelle aber noch einige Schritte des Zellzyklus durchlaufen.

9.2.1 Interphase

Die Interphase stellt sozusagen die Vorbereitungsphase vor der eigentlichen Teilung dar. Sie gliedert sich abermals in mehrere Abschnitte.

9.2.1.1 G₁-Phase

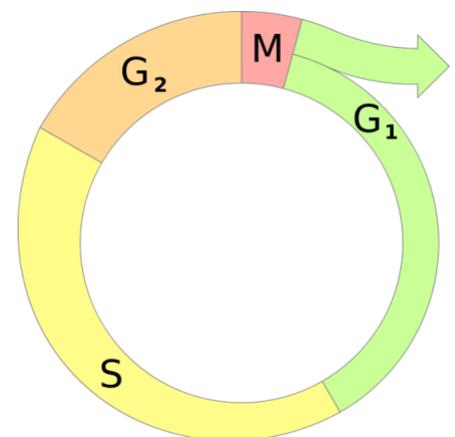
Das G leitet sich hier vom englischen Wort für Lücke „gap“ ab, und soll auf die Pause zwischen Teilung und DNA Replikation hinweisen. In dieser Phase werden Zellbestandteile repariert, Enzyme wie Polymerasen ergänzt. Außerdem findet eine Trennung der Zentriolen statt. Der DNA-Gehalt der Zelle beschränkt sich in dieser Phase auf 2c, also jeweils eine Chromatide.

(Eventueller Übergang in G₀ = Ruhephase, falls eine Zellteilung in nächster Zeit nicht notwendig ist z.B. Nervenzellen)

9.2.1.2 S-Phase

In der sogenannten Synthesephase wird die DNA schrittweise verdoppelt. Histone und Nukleotide wandern vermehrt in den Zellkern, die Zentriolen verdoppeln sich. Die S-Phase ist erst abgeschlossen, wenn sich zu jeder Chromatide eine identische Schwesternchromatide gebildet hat, das nun jeweils am Zentromer verbunden ist. (4c)

Sollten bei der DNA Replikation gravierende Fehler unterlaufen, kann der Zellzyklus in der S-Phase z.B. durch das Protein p21 unterbrochen und die Zelle in die Apoptose überführt werden.



9.2.1.3 G₂-Phase

In der relativ kurzen prämitotischen G₂-Phase werden zellteilungsspezifische Proteine synthetisiert, der ER wird abgebaut und vermehrt Flüssigkeit in die Zelle aufgenommen. Der hier gebildete M-Phase Förderfaktor leitet dann die Mitose ein.

9.2.2 Mitose⁷³

Chromosomen und Zellkern werden in mehreren Schritten aufgeteilt.

9.2.2.1 Prophase

Chromatin (=lose DNA Stränge) kondensieren, Chromosomen werden sichtbar. Zentriolen wandern zu den Zellpolen, von dort aus wird der Spindelapparat aus Mikrotubuli aufgebaut. Die Kernkörperchen (Nucleoli) lösen sich auf.

9.2.2.2 Prometaphase

Kernhülle zerfällt, Spindelfasern dringen in Richtung der langsam entstehenden Kinetochor (=Andockstelle für Kinetochormikrotubuli an den Zentromeren) vor.

9.2.2.3 Metaphase

Die bereits durch den Spindelapparat fixierten Chromosomen ordnen sich an der Äquatorialebene an.

9.2.2.4 Anaphase

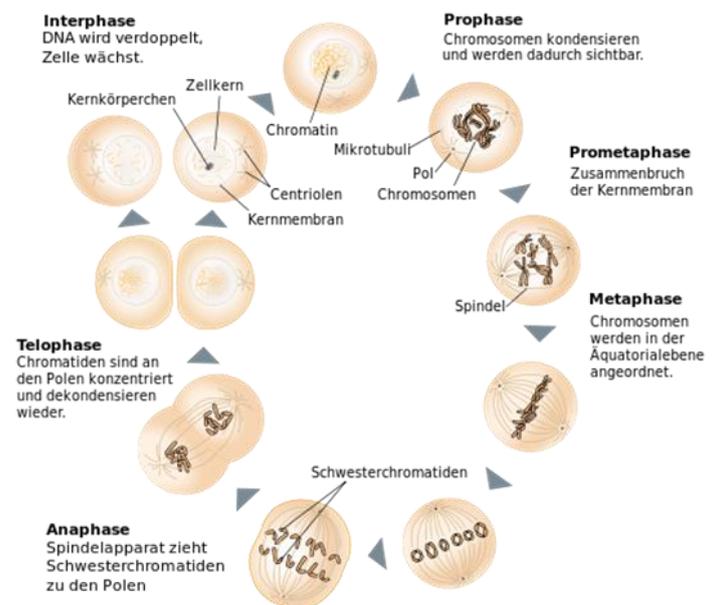
Trennung der Schwesternchromatiden durch Inaktivierung der zusammenhaltenden Proteine. Verkürzung der Kinetochormikrotubuli, Chromatiden werden zu den jeweiligen Polen gezogen. Zelle streckt sich.

9.2.2.5 Telophase

DNA dekondensiert wieder, neue Kernhüllen bilden sich. Jeder Kern enthält 46 Chromosomen.

9.2.3 Zytokinese

Erst jetzt erfolgt die eigentliche Teilung der Zelle. Am Übergang zwischen Ana- und Telophase beginnt die Bildung eines kontraktiven Rings aus Aktin- und Myosinfilamenten, der das Zytoplasma immer weiter einschnürt und schlussendlich zur Teilung der Mutterzelle in zwei identische Tochterzellen führt.

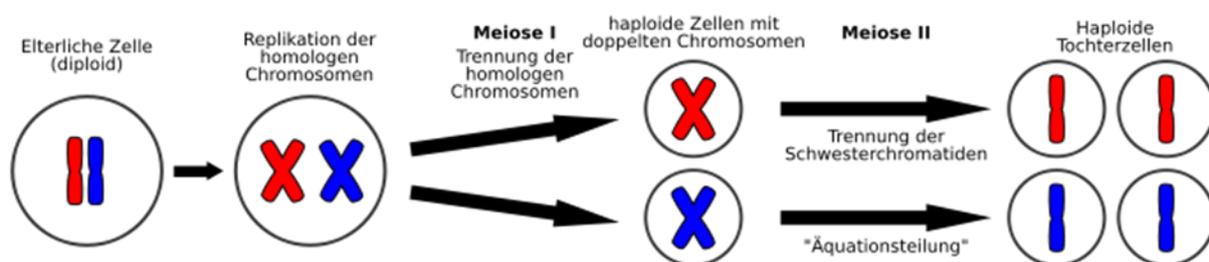


9.2.4 Meiose

Die Meiose bildet den essentiellen Baustein der sexuellen Fortpflanzung. Die Meiose findet in den Keimbahnen der beiden Elternteile in Form der Oogenese und Spermatogenese statt und produziert durch einen weiteren Teilungsschritt im Gegensatz zur Mitose keine diploiden, sondern haploide Tochterzellen. Zusätzlich machen die Zellen einige rekombinante genetische Veränderungen durch.

9.2.4.1 Meiose 1 (Reduktionsteilung)⁷⁴

- Prophase 1: im Vergleich zur Prophase der Mitose stark verlängert.
 - Leptotän: Chromatin kondensiert, Chromosomen sind mit ihren Endstücken (=Telomeren) an innerer Zellkernmembran befestigt
 - Zygotän: Paarung der homologen Chromosomen = Synapsis über den sogenannten synaptonemalen Komplex aus verbindenden Proteinen. Beim Mann paaren X und Y.
 - Pachytän: längstes Stadium der Meiose 1, es kommt zum Crossing-Over (siehe Crossing-Over) zwischen den Nicht-Schwesternchromatiden der gepaarten homologen Chromosomen.
 - Diplotän: Nach abgeschlossener Paarung zerfallen die synaptischen Komplexe, Chromosomen bleiben am Chiasma verbunden.
 - Diaktyotän: Ruhestadium, nur bei der Oogenese vorhanden, kann mehrere Jahre andauern
 - Diakinese: Weitere Kondensation, Chromatiden werden sichtbar, Kernhülle zerfällt, Zentriolen wandern zu den Polen, Spindelapparat wird ausgebildet.
Bivalente=Tetraden aus 4 Chromatiden wandern in die Teilungsebene.
- Metaphase 1: Bivalente sind zufällig (mütterlich-väterlich) in Metaphasenplatte angeordnet, jedes Chromosom ist mit einer Spindelfaser verbunden.
- Anaphase 1: Chiasmata lösen sich auf, Chromosomen zu Polen gezogen. Chromosomensatz (n) ist auf 23 verringert.
- Telophase 1: Chromatin aufgelockert, Kernhülle bildet sich neu. Aus diploidem Kern (2n/4c) sind zwei rekombinierte haploide geworden (n/2c).
- Zytokinese: Furchung der Membran durch kontraktiven Ring. Bei Oogenese inäqual, bei Spermatogenese äqual.
- Interkinese: Kurze Ruhephase zwischen Meiose 1 + 2



9.2.4.2 Meiose 2 (Äquationsteilung)

Abfolge ähnlich einer mitotischen Teilung:

- Prophase 2: Chromosomen kondensieren, Zentriolen zu den Polen, Aufbau Spindelapparat, Kernhülle zerfällt
- Metaphase 2: 23 Chromosomen in der Metaphasenplatte
- Anaphase 2: Chromosomen am Zentromer gespalten, wandern zu den Polen

- Telophase 2: Zellkernhüllen wieder aufgebaut. Die ursprünglichen zwei haploiden Kerne mit doppeltem Chromosomensatz ($n/2c$) aus der ersten Teilung sind nun zu vier haploiden Kernen mit einfachem Chromosomensatz geworden (n/c).
- Zytokinese: Furchung der Membran durch kontraktilem Ring. Bei Oogenese inäqual, bei Spermatogenese äqual.

9.3 Chromosomentheorie der Vererbung

Die Chromosomentheorie der Vererbung besagt, dass der Großteil der für die eukaryotische Fortpflanzung wichtigen Erbinformationen sich im Zellkern, und in weiterer Folge geordnet auf der DNA bzw. den Chromosomen befindet.

Alles Wissen, das wir nun über Keimbahnen, Oogenese, Spermatogenese, Befruchtung und die Entstehung neuen Lebens angehäuft haben und mittlerweile für selbstverständlich erachten, leitet sich aus dieser Erkenntnis ab.

9.3.1 Grundlagen

Wissenschaftler wie August Weismann beschrieben schon Ende des 19. Jahrhunderts die Kernkörperchen als einzig konstantes materielles Element in den komplexen Prozessen der Vererbung von Eltern zu Kindern. Erst die empirischen Erkenntnisse im Laufe des 20. Jahrhunderts zu der Ordnung von Chromosomen und Genen, den Abläufen der Zellzyklen, und nicht zuletzt der tatsächlichen Darstellung Struktur der DNA selbst durch Rosalind Franklins, Watson und Crick ermöglichten eine Untermauerung des schon früh entstandenen Konzeptes.

9.3.2 Gen-Kopplung

Unter Gen-Kopplung versteht man ein Phänomen, bei dem durch Gene kodierte Merkmale gemeinsam vererbt werden und sich somit der dritten Regel Mendels – der Unabhängigkeitsregel entziehen. Die Erklärung dafür findet sich im Verhältnis von Genen zu Chromosomen. Über 20 000 unterschiedliche Gene müssen extrem effizient auf 23 für uns winzig erscheinende Chromosomen aufgeteilt werden.

Wenn zwei Gene nun sehr nahe aneinander liegen, kann es sein, dass sie im Rahmen des Crossing-Overs gemeinsam transferiert und somit vererbt werden. Die Rekombinationswahrscheinlichkeit verhält sich also proportional zur Entfernung der einzelnen Abschnitte. Man nutzt diesen Zusammenhang auch für sogenannte Kopplungsanalysen, also für die Messung der Abstände zwischen zwei oder mehreren Genen. Konkret wird untersucht wie oft pro hundert Meiosen zwei Gene getrennt werden. $1 \text{ Mal} = 1 \text{ centiMorgan (cM)} = \text{ca. } 1 \text{ Million Basenpaare}$

9.3.3 Crossing-Over

Das Crossing-Over ist im Prinzip ein Bruchstück-Austausch zwischen den mütterlichen und väterlichen Chromosomen während der Meiose. Der Prozess findet in der Prophase 1 (Zygotän und Pachytän) im synaptonemalen Komplex (einer Protein-Verbindung zwischen den homologen elterlichen Chromosomen) statt.

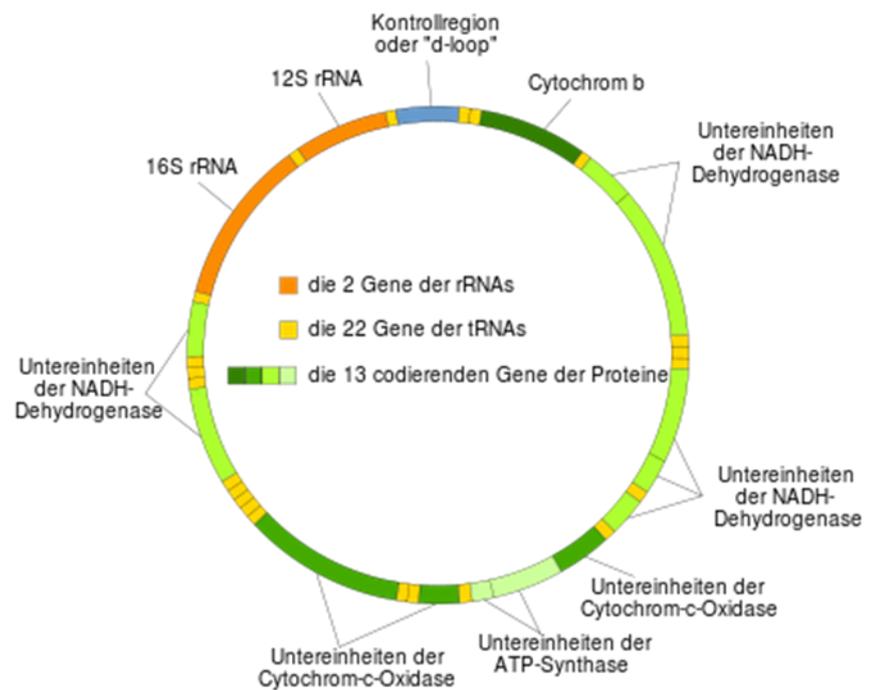
Das Crossing-Over trägt entscheidend zur genetischen Rekombination und Vielfalt bei sich geschlechtlich fortpflanzenden Lebewesen bei.

9.4 Nichtchromosomale Vererbung

9.4.1 Mitochondrien⁷⁵

Mitochondrien sind 1-10µm lange, von einer Doppelmembran umhüllte Zellorganellen, die nur bei Eukaryonten vorkommen. Sie werden aufgrund ihrer essentiellen Rolle in der „Zellatmung“ und somit Produktion von Energie-Speichermolekülen wie ATP oft als „Kraftwerke der Zelle“ bezeichnet (siehe Zellorganellen).

In Bezug auf die Vererbung kommt den Mitochondrien auch eine spezielle Rolle zu. Sie besitzen eine eigene, mitochondriale DNA, die sich zirkulär und doppelsträngig, ähnliches eines Plasmides in der Matrix befindet. Durch ihren eigenen Verdopplungszyklus werden sie als semiautonom bezeichnet, benötigen aber trotzdem einige Proteine, die im Zellkern synthetisiert werden.



Dieses einzigartige Vorkommen von DNA in einem Zellorganell lieferte die ersten Ansätze für die Aufstellung der Endosymbiontentheorie, die besagt, dass Mitochondrien (und die Chloroplasten bei Pflanzen) ursprünglich eigene Organismen waren, und im Laufe der Evolution in Eukaryontenzellen aufgenommen wurden (siehe Endosymbiontentheorie).

Auch in der anthropologischen Forschung ist das mitochondriale Genmaterial von sehr großer Bedeutung, da es ausschließlich maternal vererbt wird. Die Mitochondrien des Spermiums befinden sich im Hals, um die Energiezufuhr für die Fortbewegung zu sichern, und nehmen nicht oder nur begrenzt an der Verschmelzung mit der Eizelle teil. Außerdem werden paternale Mitochondrien von Enzymen der Eizelle markiert (ubiquitiniert) und abgebaut.

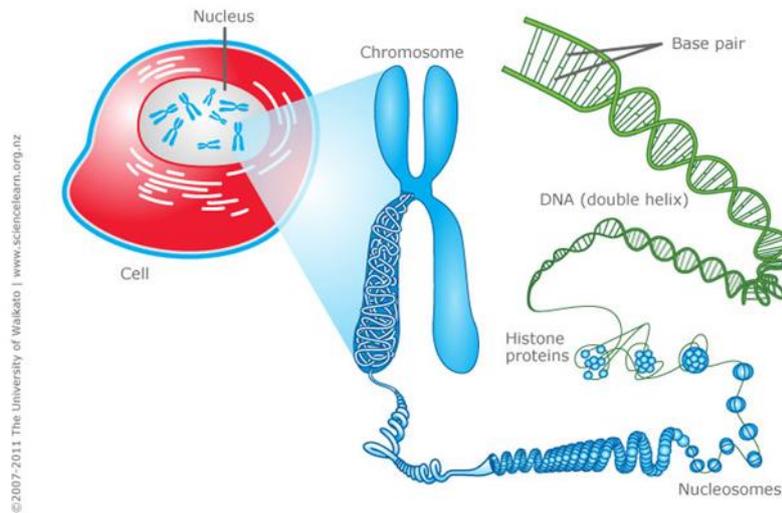
9.5 Aufbau des Genoms bei Eukaryonten⁷⁶

Das Genom bezeichnet die Summe aller materiellen Komponenten der Erbinformation, also im Falle einer eukaryotischen Zelle die DNA selbst, die Chromosomen, die verschiedenen Formen der RNA.

So findet sich in allen mehrzelligen Organismen der Großteil des Erbgutes in Zellkern – man spricht auch vom Kern-Genom oder Karyom. Innerhalb der Doppellipid Membran liegt die DNA aufgewickelt auf sogenannten Histon-Proteinen als dekondensiertes Chromatin vor. Man unterscheidet hier zwischen aufgelockertem Euchromatin, in dem die meiste transkriptionelle Aktivität stattfindet, und sehr verdichtetem, hauptsächlich inaktivem Heterochromatin.

Die oft als „Perlen auf einer Schnur“ bezeichneten Komplexe aus DNA und Histonen kondensieren während der Prophase zu der Struktur der Chromosomen, die wir etwa aus Karyogrammen kennen und anhand derer wir die Position, den Locus einzelner Gene bestimmen können.

Charakteristisch für das Eukaryonten-Genom ist außerdem die Strukturierung der DNA in kodierende (Exons) und nicht-kodierende Teile (Introns), die fast 95% ausmachen. Sie ermöglichen zum einen eine viel weniger fehleranfällige Transkription, zum anderen die unterschiedliche Leseart von Genen durch alternatives Splicing (siehe RNA und Splicing).

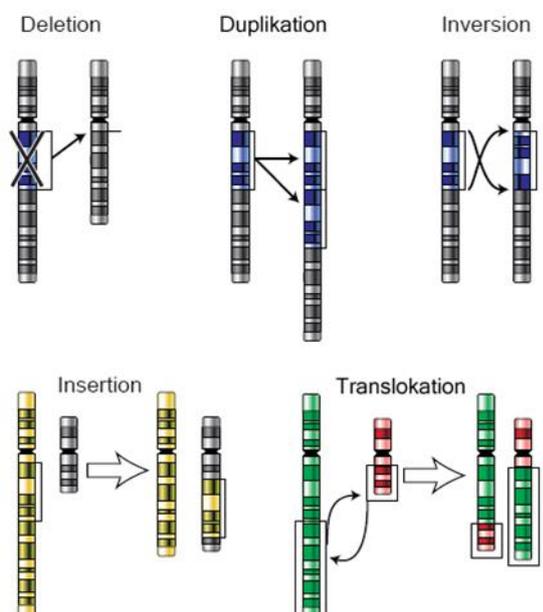


9.6 Mutationen⁷⁷

Der Begriff Mutation bezeichnet eine dauerhafte Veränderung im Erbgut eines Lebewesens. Diese kann im kleinen Rahmen bei Körperzellen eines Individuums passieren, aber in Folge von Keimzellmutationen auch an die nächste Generation weitergegeben werden. Solche Veränderungen sind die Grundlage der Evolution. Sie können eingeteilt werden nach Größe und Ort der Mutation

9.6.1 Genmutationen

Eine Genmutation beschränkt sich in ihren Veränderungen auf nur ein Gen. Sie kann in verschiedenen Ausprägungen von Austausch (Substitution), Entfernung (Deletion) oder Verdopplung (Duplikation) einer einzelnen Base bis hin zu einem größeren Genabschnitt erfolgen. Prinzipiell sagt die Art der Mutation noch nichts über die tatsächlichen Folgen für das Individuum bzw. die Art aus (siehe Folgen).



9.6.2 Chromosomenmutationen

Chromosomenmutationen oder –aberrationen sind vererbare Veränderungen am Aufbau ganzer Chromosomen. Diese können auch im Lichtmikroskop als morphologische Abweichungen der normalen Struktur (z.B. Verlängerung eines Armes durch fehlerhaftes Crossing-Over, Verkürzung durch Verlust eines Abschnittes, etc.) dargestellt werden.

Ein Beispiel für eine solche Mutation ist das Cri-du-chat Syndrom, bei dem ein Teil des Chromosoms 5 verloren gegangen ist, was zu einer starken phänotypischen Ausprägung führt.

9.6.3 Genommutationen bzw. numerische Chromosomenaberrationen

Genommutationen sind Veränderungen die zum einen ein ganzes Chromosom – hier kann es zu Mono- oder Trisomien kommen – andererseits aber auch den ganzen Chromosomensatz betreffen können. In diesem Fall spricht man von Aneu- oder Polyploidie.

Ein klinisch sehr wichtiges Beispiel für numerische Chromosomenaberrationen ist die Trisomie 21, das Down-Syndrom, bei dem das Chromosom 21 drei Mal vorhanden ist.

9.6.4 Folgen der Mutationen

- Letale Mutationen – für das Individuum tödliche Auswirkungen.
- Loss-of-function Mutationen – das betreffende Gen wird durch die Mutation funktionslos. Meist kann aber das zweite Allel den Funktionsverlust kompensieren.
- Gain-of-function Mutationen – ein Gen gewinnt an Aktivität hinzu. Treten aber nicht essentiell im Phänotyp auf (dominant-rezessiv). Die Gain-of-function-Mutation, bei der vorteilhafte Eigenschaften hinzugewonnen werden, ist ein wesentlicher Bestandteil evolutionärer Prozesse.
- Silent Mutationen – Das Genprodukt bzw. Protein bleibt trotz der Mutation unverändert. Kommt oft bei Punktmutationen einzelner Basen vor. RNA ist hier aber trotzdem verändert.

9.6.5 Auslöser von Mutationen

- Spontane Mutationen: passieren ohne äußere Ursache durch unzureichende oder fehlerhafte körperliche Prozesse, zum Beispiel bei der Replikation, Proof-reading-Aktivität, Reparaturmechanismen oder beim Crossing-Over.
- Induzierte Mutationen: passieren durch mutagene Stoffe in der Außenwelt wie UV-Strahlung, Radioaktivität, Hitze, Chemikalien etc.)

10 Genetische Evolutionstheorie

10.1 Mutation

Die Mutation ist der „Motor“ der Evolution, es gibt Mutationen, welche dem Individuum einen Nachteil verschaffen, ist dieser gravierend kann sich das Individuum nicht oder wenig fortpflanzen und das Allel stirbt nach einiger Zeit aus. Wenn die Mutation einem Individuum einen signifikanten Vorteil verschafft wird es sich öfters und mehr reproduzieren können. Das Allel wird weiter verbreitet.

Ein Beispiel ist die Verdauung von Laktose, diese hat uns in früherer Zeit den Vorteil verschafft, Milch auch in höherem Alter trinken zu können. Das Gen hat sehr stark durchgesetzt. Durch Acker und Landbau wurde es aber möglich, auch ohne Milch den Energiebedarf zu decken, deshalb hat sich das Laktose-Gen nicht vollständig, also bei der gesamten menschlichen Population durchgesetzt.

10.2 Ursachen der Genpooländerungen

Innerhalb einer Population können sich die vermehrt weitervererbten Gene ändern. Hier sind die Gründe dafür aufgeführt:

- Gendrift**
 Dieser tritt auf, wenn eine kleine Population von einer Naturkatastrophe betroffen ist, nur wenige überleben und diese bauen anhand ihrer Gene eine neue Population auf, dadurch können auch Gene die vorher selten waren, sehr häufig werden.
- Neue Mutation**
 Nach einer gewissen Zeit schleichen sich auch Mutationen in eine Population ein, die weniger gravierende Änderungen verursachen
- Nichtzufällige Paarung**
 Dies passiert nur künstlich in Zuchtbedingungen.
- Genfluss**
 Sollten 2 Populationen, welche sich miteinander vermehren und überlebensfähige Nachkommen generieren können, treffen, so wird die neue Population die Gene von beiden Ursprungspopulationen beinhalten
- Natürliche Selektion**
 Sollten sich die Umweltbedingungen ändern, so sind die Organismen bevorzugt, welche schon auf die neue Umwelt eingestellt sind.



10.3 Genetische Rekombination

Wie kommen neue Kombinationen der Gene (Genotypen) zustande? Es gibt für den Menschen 2 Möglichkeiten:

- **Interchromosomale Rekombination**, durch Neukombination ganzer Chromosomen. Siehe Meiose.
- **Intrachromosomale Rekombination**, durch Neukombination von Allelen innerhalb von Chromosomen durch Crossing-over bei der 1. Reifeteilung.

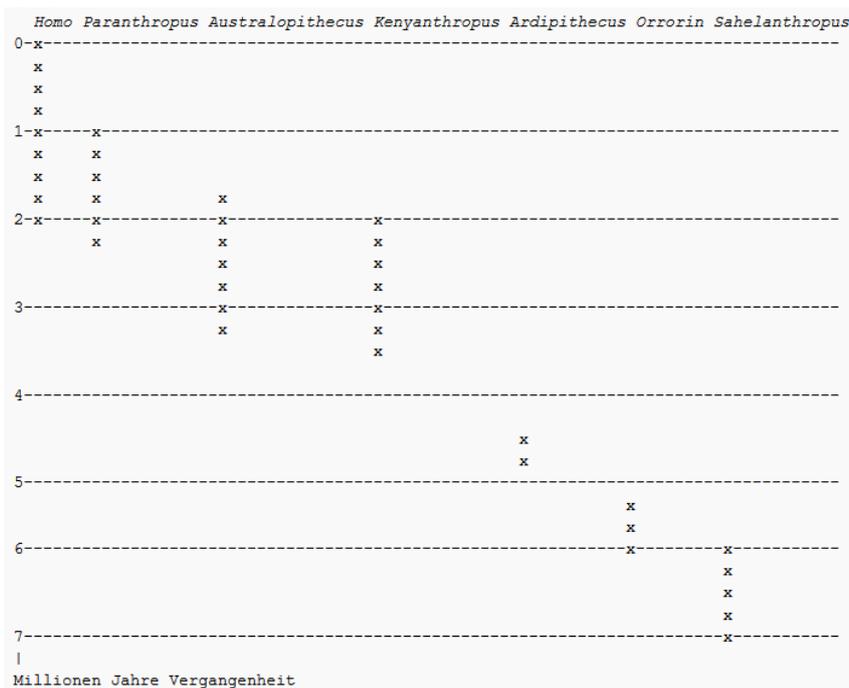
Bei Bakterien gibt es beispielsweise komplett andere Möglichkeiten:

- **Konjugation**, einem direkten Transfer genetischen Materials zwischen zwei miteinander verbundenen Zellen.
- **Transduktion**, einem Transfer mit Hilfe von Viren.
- **Transformation**, durch Aufnahme und Integration von extrazellulärer DNA in das Genom einer Zelle.

10.4 Entwicklung des Menschen

Man nimmt heute an, dass die Menschwerdung vor etwa **5-8 Millionen Jahren in Afrika** begann. Stammesgeschichtlich haben sich die Vorfahren der Schimpansen zu dieser Zeit von der zum Menschen führenden Entwicklungslinie abgetrennt. Nach dem gegenwärtigen Forschungsstand hat sich der Mensch vor etwa **zwei Millionen Jahren** entwickelt und in lang andauernden Wanderungen über die Kontinente ausgebreitet. Die Hominisation (lat. die Menschwerdung) bezeichnet die biologische und kulturelle Entwicklung der Gattung des Menschen (Homo) im Verlauf der Stammesgeschichte. Dieser Prozess fand nach heutigem Forschungsstand in Ostafrika statt. Durch zufällige Veränderungen (Mutationen) des Erbguts, genetische und Selektionsprozesse entstanden in mehreren Ansätzen und teilweise parallel aus schimpansenähnlichen Vorfahren neue Zweige des Stammbaums, wobei aus einem davon der moderne Mensch (Homo sapiens) hervorging.

10.4.1 Übersicht



10.4.2 Die Gattung Homo

Aus den Australopithecinen, womöglich aber auch aus dem „Flat Faced Man“, entwickelten sich vor zwei bis drei Millionen Jahren die ersten Vertreter der Gattung Homo, deren Fossilien insbesondere aufgrund von Werkzeugfunden zu Homo gestellt wurden.

Hierbei handelt es sich um Homo rudolfensis (benannt nach dem Rudolf-See, heute Turkana-See, in Kenia) und Homo habilis (der „geschickte“ Mensch). Als etwas jüngere Art gilt Homo ergaster. Die Verwandtschaftsbeziehungen dieser Arten sind bislang umstritten.

Vor etwa eineinhalb bis zwei Millionen Jahren entwickelte sich Homo erectus. Diese Menschenform gilt bislang als die erste, die Afrika verließ und sich über den vorderen Orient nach Europa und Asien auszubreiten begann; der erste Nachweis der Gattung Homo außerhalb Afrikas stammt allerdings von den homininen Fossilien von Dmanisi, die auf 1,8 Millionen Jahre datiert wurden und deren Anbindung an den Stammbaum der Gattung Homo ungeklärt ist. Als gesichert gilt, dass Homo erectus als erster das Feuer zu beherrschen lernte. Umstritten ist jedoch, ob die in Kenia gefundenen 1,4 Millionen Jahre alten Spuren verbrannten Lehms bereits als Feuerstellen des Homo erectus gedeutet werden können. Gesichert ist der Feuergebrauch vor 500.000 Jahren in China und vor 400.000 Jahren in der Bretagne.

Vor ca. 800.000 Jahren entwickelte sich aus Homo erectus eine Form mit größerem Gehirn, die als Homo heidelbergensis bezeichnet wird. Es ist umstritten, ob sie als eine Unterart des Homo erectus (europäische Paläoanthropologie) oder als eigene Art (angloamerikanische Paläoanthropologie) zu klassifizieren ist. Aus Homo heidelbergensis bzw. Homo erectus heidelbergensis entwickelten sich in Europa die Neandertaler (Homo neanderthalensis), während zur selben Zeit aus den in Afrika verbliebenen Populationen des Homo erectus der Homo sapiens hervorging, der heutige Mensch.

Die vier genannten Menschenformen könnten sogar teilweise gleichzeitig gelebt haben, denn noch aus der Zeit von vor ca. 50.000 Jahren wurden in abgelegenen Gebieten, so auf Java, Fossilien des Homo erectus gefunden.

10.4.3 Anpassungen bei Australopithecinen

Eine Klimaveränderung, ausgelöst durch die plattentektonische Hebung Ostafrikas, bewirkte eine weitgehende Versteppung des angestammten Lebensraums. Diese Grassteppe bot in erster Linie Nahrung für Grasfresser (Paarhufer, Wiederkäuer), die es vorher schon, meist in kleineren Formen, als Waldbewohner gab. Diese traten nun bald in großen Herden auf, und weil sie zahlreicher wurden, konnten sich auch Raubtiere und Aasfresser vermehren.

So differenzierten sich zwei Typen von Vormenschen. Die eine Strategie war eine biologische Anpassung an das neue zellulosereiche Nahrungsangebot. Australopithecus robustus und andere Arten entwickelten als Anpassung eine gewaltige Kaumuskulatur und entsprechend mächtige Zähne. Die Muskulatur setzte dabei an einem deutlich sichtbaren Knochenkamm auf dem Scheitel des Schädels an. Es gab verschiedene, meist mächtige und große Primaten, die diese ökologische Nische zu nutzen versuchten, die allerdings allesamt wieder ausstarben.

Eine andere Strategie war die des Fleischfressers. In den Anfängen dürfte sich dies aber auf Aas und Beuteraub beschränkt haben, da der Mensch weder die Fähigkeit besaß, als Raubtier größere Beutetiere zu stellen, noch über Klauen oder Zähne verfügte, die geeignet gewesen wären, ein Beutetier zu töten oder aufzubrechen. Sehr wahrscheinlich kam es hier zum ersten

Werkzeuggebrauch, indem zufällig gefundene scharfkantige Steine dazu benutzt wurden, Beutetiere aufzubrechen. In dieser Phase der Evolution gab es also primitiven Werkzeuggebrauch und sehr wahrscheinlich auch einfache Formen der Kommunikation.

Die frühe Menschheit stand unter einem starken Selektionsdruck. Die anderen Lebewesen der Steppe waren schon seit Millionen von Jahren an ihre Umgebung angepasst. In körperlicher Leistung konnte man es nicht mit ihnen aufnehmen. Jedoch verfügten die Affen über ein leistungsfähiges Gehirn.

Der größte evolutionäre Schritt war dann aber wohl die Entwicklung der Jagd. Kommunikation und Waffen wurden dabei so weiterentwickelt, dass der frühe Mensch sein biologisches Manko durch kulturelle Leistungen aufhob und nun befähigt war, selbst zu jagen.

Aber damit war die biologische Evolution nicht abgeschlossen. Unter dem Selektionsdruck, Werkzeuge und Kommunikation zu verfeinern, und dem Angebot von reichlich hochwertigem Eiweiß waren höhere intellektuelle Fähigkeiten von Vorteil. Nachdem der Mensch schon Jahrtausende zuvor den aufrechten Gang erworben hatte, entwickelte er nun auch ein größeres Gehirn. Da sich das weibliche Becken unter Einfluss des aufrechten Ganges aber nicht an den wachsenden Kopfumfang des Neugeborenen anpassen konnte, kamen diese zu einem biologisch immer weiter vorverlegten Termin, also immer weniger weit entwickelt und immer mehr und länger auf Brutpflege angewiesen, zur Welt. Zudem war mehr Zeit nötig, um die Fähigkeiten von den Erwachsenen zu erlernen (vertikale Proliferation im Gegensatz zur horizontalen Proliferation durch Vererbung). Die Evolution half mit der „Erfindung“ der Pubertät. Die Entwicklung der Keimzellen wird für einige Jahre gestoppt, wodurch eine längere Zeit von Kindheit und Jugend entsteht, die es dem Menschen ermöglicht, alle überlebensnotwendigen Fähigkeiten zu erlernen (Neotenie). Das menschliche Gehirn wächst bis zum 23. Lebensjahr; bei den Primaten ist es nach 6 bis 12 Monaten ausgewachsen. Das ermöglicht eine verlängerte Lernphase. Die Geschlechtsreife findet jedoch schon vorher statt, (Menschen)Affen werden im Verhältnis zu ihrer mentalen Reife erst „spät“, mit 6 bis 7 Jahren, geschlechtsreif.

Eine weitere biologische Anpassung war das Schwitzen am gesamten Körper. Die ersten Primaten regulierten ihre Körpertemperatur vermutlich wie andere Säugetiere über die Atmung, was den Umfang der Wärmeabfuhr stark einschränkte. Kein anderer Primat verfügt über eine so hohe Dichte an Schweißdrüsen wie der Mensch. Er nutzte nun zur Wärmeabfuhr den ganzen Körper und wurde damit in puncto Ausdauer und Anpassungsfähigkeit den meisten Tieren überlegen. Außerdem ermöglichte das Schwitzen, auch unter großer Hitze oder Anstrengung die Kommunikationsfähigkeit über die Sprache zu erhalten. Wirklich effektiv war die Fähigkeit zu schwitzen jedoch nur, wenn kein Fell die Luftzirkulation behinderte. In der Folge wurde der Mensch also weitgehend unbehaart. Eigentlich ist es effektiver, ein kurzes Fell wie das eines Löwen zu tragen. Wärmeabsorption und UV-Schädigung sind auf nackter Haut weitaus höher. Jedoch war wohl der Selektionsdruck so stark, dass die Vorteile durch die Kühlung alle Nachteile aufwogen. Später entwickelte der Mensch als Ersatz schützende Kleidung, die ihm das Überleben in kälteren Regionen ermöglichte.

Zugegeben, der gesamte Text zur Entwicklung des Menschen ist kopiert von hier:

https://de.wikibooks.org/wiki/Geschichte_der_Menschheit:_Entwicklung_des_Menschen

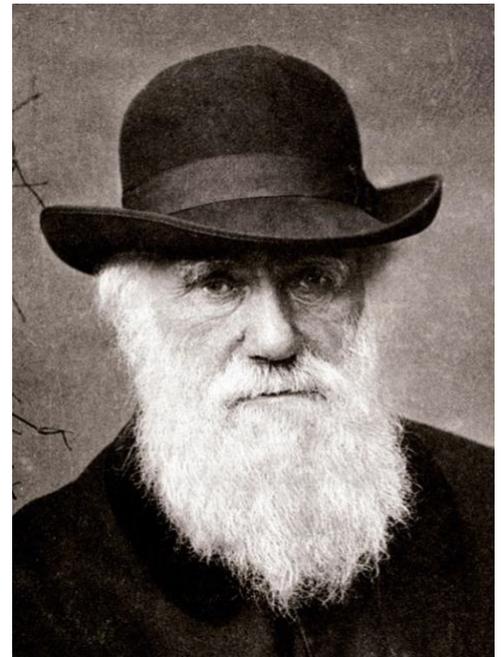
(Es gibt keine gigantischen Fragen zu dem Thema, 5-8 Mio. Jahre und „Out-of-africa“ sollte einem was sagen.)

11 Evolution Allgemein⁷⁸

11.1 Darwin⁷⁹

Charles Robert Darwin war ein britischer Naturwissenschaftler und lebte von 1809 bis 1882. Er lieferte die wesentlichen Beiträge zur Evolutionstheorie, welche bis heute in der Naturwissenschaft als die Erklärung für die Entstehung und Weiterentwicklung des Lebens gilt.

Im Jahre 1831 brach Charles Darwin zu einer fünfjährigen Reise mit dem britischen Schiff "Beagle" auf. Bei dieser Mission erforschte Charles Darwin die geologischen Eigenschaften der Kontinente und Inseln. Er untersuchte eine große Anzahl von Lebewesen und Fossilien und fand viele Gemeinsamkeiten zwischen den verschiedenen Lebensformen.



Die Entdeckung der vielen Gemeinsamkeiten und Ähnlichkeiten führten dazu, dass Charles Darwin 1838 seine Theorie von der Anpassung an den Lebensraum durch Variation und natürliche Selektion verfasste. Die Grundlagen der heutigen Evolutionslehre waren geboren: Lebewesen entwickeln sich genetisch weiter, in dem ihre Gene mutieren. Positive Veränderungen setzten sich durch, negative Entwicklungen wurden durch den Konkurrenzkampf ausgerottet. Darwin schrieb seine Erkenntnisse in dem Buch "On the Origin of Species" nieder.

„Survival of the fittest“ – Es überlebt der am besten Angepasste

11.2 Artbegriff

Der Begriff einer Art ist nicht einheitlich definiert. In der Biologie hat sich jedoch die Betrachtung einer Art darin durchgesetzt, dass es sich um eine Fortpflanzungsgemeinschaft handelt, welche fähig ist, überlebens- und fortpflanzungsfähige Nachkommen zu produzieren. Arten können nur aus einer Artbildung hervorgehen und nicht einfach so auftauchen.

11.3 Artbildung

Die Artbildung erfolgt meistens durch Isolation einer Subpopulation in einer Population. Man stelle sich eine Gruppe Pferde vor, die von einer anderen Gruppe getrennt wird. Es vergehen Millionen Jahre an Evolution, beide Gruppen haben sich weiterentwickelt. Treffen die beiden Gruppen wieder aufeinander, so kann es sein, dass sie sich jetzt untereinander nicht mehr fortpflanzen können bzw. keine zeugungsfähigen Nachkommen mehr produzieren können. Es haben sich 2 neue Arten gebildet.

Die Isolation muss nicht auf räumlicher Ebene stattfinden, es gibt verschiedene Optionen:

- **Ökologische Separation:** Die Arten besiedeln unterschiedliche Lebensräume und kommen deshalb kaum miteinander in Kontakt.
- **Verhalten:** Die Arten haben z. B. unterschiedliche Balzrufe, Gesänge o. Ä. entwickelt.
- **Reproduktionszeit:** Die Arten paaren und vermehren sich zu unterschiedlichen Zeiten.
- **Bestäuber:** Unterschiedliche Pflanzenarten werden von unterschiedlichen Bestäubern befruchtet.

- **Gametische Inkompatibilität:** Es kommt zwar zur Paarung, aber nicht zur Befruchtung (bei Pflanzen: nicht oder zu langsam wachsender Pollenschlauch, bei Tieren: fehladaptierte, langsame Spermien).
- **Sexuelle Selektion:** Partner der jeweils anderen Art sind sexuell unattraktiv (meist Sexualdimorphismus: unterschiedliche männliche Merkmale und weibliche Vorlieben). Das muss nicht auf Räumlicher Ebene stattfinden, es gibt mehrere Möglichkeiten:

Wenn jetzt beide Populationen, welche sich durch oben genannte Gründe voneinander getrennt haben, wieder versuchen miteinander Nachkommen zu bilden, gibt es verschiedene Möglichkeiten.

1. Die Nachkommen sind lebensfähig, gut angepasst und können sich fortpflanzen
 - Es hat sich **keine** neue Art gebildet.
2. Hybriden sind nicht lebensfähig bzw. schwächer.
 - Es haben sich neue Arten gebildet.
3. Hybriden sind lebensfähig, aber steril.
 - Es hat sich **keine** neue Art gebildet.
4. Hybriden sind lebensfähig und fruchtbar, besitzen aber geringere ökologische Fitness.
 - Es haben sich neue Arten gebildet

11.4 Evolutionsfaktoren

Diese wurden in diesem Skriptum schon jeweils erklärt und hier nur nochmal kurz zusammengefasst:

- Mutation
- Rekombination
- Selektion („Survival of the fittest“)
- Gendrift

12 Ökologie

Die Lehre der Ökologie (griech. des Haushaltes, des Verbundenen) setzt sich mit den ständig im Wandel begriffenen Beziehungen zwischen der belebten (biotischen) und unbelebten (abiotischen) Umwelt auseinander. Sie versucht aufzuzeigen, auf welchen Ebenen Organismen Einfluss auf ihre Umgebung nehmen und umgekehrt auch von jener beeinflusst werden.

Gut sichtbar ist dieses Modell zum Beispiel an der Nahrungskette, in der zum einen die größere einer Insektenpopulation von dem vorhandenen Angebot an Nahrung und weiteren Umweltfaktoren wie Temperatur und Witterung abhängt, sie gleichzeitig aber eine Bedingung für das Überleben von Fressfeinden wie Igel, Mäusen und Maulwürfen darstellt.

12.1 Wechselbeziehungen zwischen Umwelt und Organismus

Die können grob in zwei Kategorien unterteilt werden. Die Einflüsse der unbelebten Umwelt auf einen lebenden Organismus werden als **abiotische Faktoren** zusammengefasst. Dazu gehören Licht, Wasser, Temperatur, Nähr- und Rohstoffe sowie die Beschaffenheit des Bodens usw. So passiert zum Beispiel die Ansiedlung und das Wachstum einer Pflanze nicht willkürlich, sie muss sich sozusagen nach den passenden Bedingungen (Sonnenbestrahlung, Wasser, Temperatur, Mineralstoffe, etc.) richten. Der Organismus selbst hat hier auf die abiotischen Faktoren keinen Einfluss.

Die zweite Kategorie der **biotischen Faktoren** beschreibt die Beziehungen zwischen mehreren Lebewesen wie Kampf um vorhandene Nahrung, Parasiten, Fressfeinde oder gemeinsame Feindabwehr. Auch die Symbiose wie zum Beispiel zwischen Putzer- und Großfischen (z.B. Haien) oder die Bestäubung durch Insekten und Vögel sind charakteristische Beispiele.

12.2 Ökosysteme und deren Aufbau ⁸⁰

Jedes Ökosystem kann in dieselben Bestandteile gegliedert werden:

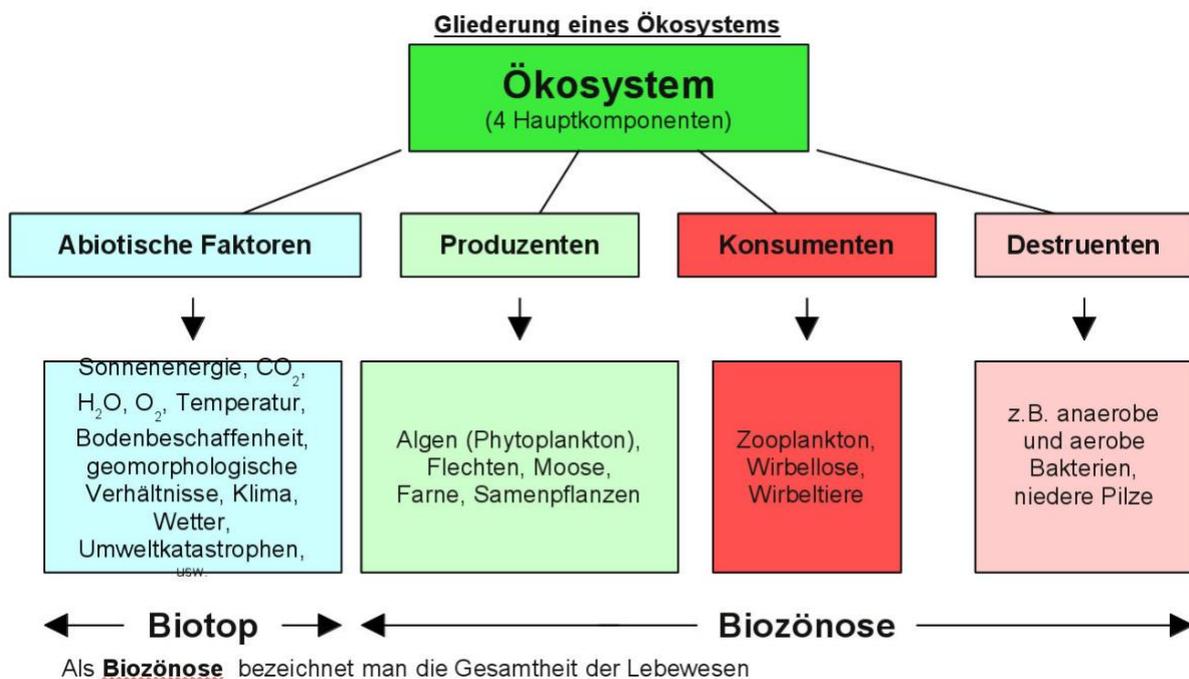
1. **Biotop:** Ein bestimmter Lebensraum (Teich, Korallenriff, Wald...), in dem verschiedene Lebewesen in Wechselwirkung treten.
2. **Biozönose:** Die Lebensgemeinschaft aus der Summe aller Wechselwirkungen.

Einteilung der wirkenden Organismen:

- Produzenten → Erzeuger. Lebewesen, die durch Photosynthese aus anorganischem Material neue Biomasse aufbauen, z.B. grüne Pflanzen, Blaualgen (Cyanobakterien)
= autotrophe Ernährung
- Konsumenten → Verbraucher (Tier, Mensch). Anhängig von der Effizienz der Produzenten.
Primäre Konsumenten – Pflanzenfresser (Herbivore)
Sekundäre Konsumenten – Fleischfresser (Carnivore), kleinere Raubtiere
Tertiäre Konsumenten – Fleischfresser (Carnivore), große Raubtiere
= heterotrophe Ernährung
- Destruenten → Zersetzer. Bauen organische Substanzen wieder zu anorganischen ab. Abfallfresser (Saprophagen) & Mineralisierer (Pilze, Bakterien)
= heterotrophe Ernährung

Einteilung der Wechselwirkungen

- Antibiose (mind. einer der beteiligten Partner ist benachteiligt)
z.B. Parasitismus, Räuber-Beute Verhältnis
 - Probiose (mind. einer der beteiligten Partner hat einen Vorteil)
z.B. Symbiose/Mutualismus (beidseitiger Vorteil)
3. **Ökosystem**: Einheit aus Biotop und Biozönose
 4. **Biosphäre**: globales Ökosystem, z.B. Erde



12.3 Lebensraum und Population

Lebensräume bzw. Biotope sind die kleinste Einheit der Biosphäre. Der Begriff bezieht sich eigentlich auf das konkret beschriebene Habitat (=Wohnraum) eines Lebewesens, wird aber auch oft zur Abgrenzung von Räumen abhängig von ihren abiotischen Faktoren verwendet (Wald, Wiese, Meer, Teich...).

Die Summe der Individuen derselben Art, die einen solchen Lebensraum bevölkern, nennt man Population. Wichtige für die Abgrenzung verschiedener **Populationen** ist die Fähigkeit sich untereinander Fortzupflanzen und zeugungsfähige Nachkommen zu zeugen.

Die Dichte und Größe einer jeweiligen Population ist durch Nahrungs- und Platzangebot sowie Witterung und Katastrophen bestimmt.

12.4 Ökologische Nische

Als **ökologische Nische** wird die Summe aller biotischen und abiotischen Faktoren, wie zum Beispiel Nahrungsquelle, Brutplatz, Jagdgebiet, Beuteschema etc. bezeichnet, die für das Überleben einer spezifischen Art essentiell sind.

Der logische Schluss aus dieser Überlegung ist, dass in einem Lebensraum nie zwei Arten mit derselben ökologischen Nische überleben können, da sie in ihren Bedürfnissen zu sehr konkurrieren würden. Man bezeichnet das als **Konkurrenzausschlussprinzip**. Haben Arten in getrennten

geografischen Lebensräumen ähnliche Nischen, so bilden sie oft morphologische Ähnlichkeiten aus (zB. Fische, Haie, Wale).

Die fundamentale Nische umfasst das größtmögliche Gebiet, in dem eine Art überleben kann, die reale Nische hingegen die tatsächliche Ausbreitung.

12.5 Biologisches Gleichgewicht

Als biologisches Gleichgewicht wird der Zustand bezeichnet, bei dem in einem offenen Ökosystem ohne Einfluss von außen keine größeren Veränderungen in der Anzahl der Individuen, Arten und Populationen stattfinden.

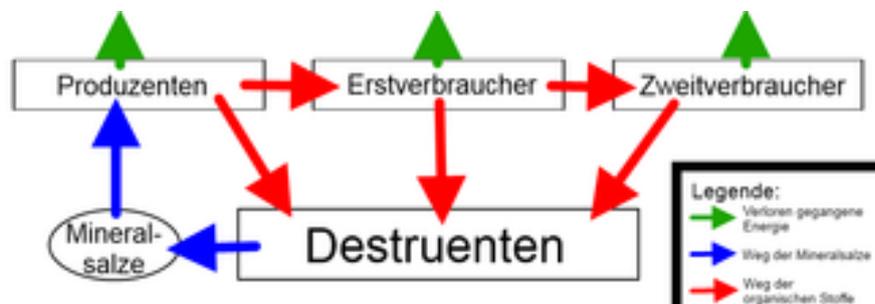
Die selbstregulatorischen Prozesse, die zu einem solchen Gleichgewicht führen umfassen:

- Relativ ausgeglichene Geburten- & Sterberate → Konstante Individuenzahl
- Konstante Artenzahl durch konstante Individuenzahl
- Konstante ökologische Nischen durch konstante Umweltbedingungen

Große und langanhaltende Veränderungen z.B. des Klimas führen zu der Einstellung eines neuen Gleichgewichtes.

12.6 Nahrungsbeziehungen und Energiefluss⁸¹

Das Modell von Nahrungsketten und Nahrungsnetzen, die die immer weiter aufsteigenden Beziehungen zwischen verschiedenen Lebewesen von Produzenten, über Herbivore bis hin zu kleineren und größeren fleischfressenden Raubtieren und Destruenten darstellen sind weithin bekannt.



Grün (verlorene Energie), Blau (Weg der Mineralsalze), Rot (Weg der organischen Stoffe)

Fast noch interessanter sind aber die Energieflüsse und –bilanzen, die man sich aus solchen Modellen ableiten kann. In der ersten Instanz wird aus einem Bruchteil der auftreffenden Sonnenenergie ausschließlich durch Produzenten neue Biomasse erzeugt. Zieht man von der **Bruttoprimärproduktion** den Eigenbedarf der Pflanzen ab, erhält man die **Nettoprimärproduktion**. Diese beläuft sich jährlich auf bis zu $1,2 \times 10^{11}$ Tonnen Trockenmasse pro Jahr und kommt in weiterer Folge den primären bzw. indirekt auch sekundären und Tertiären Konsumenten sowie Destruenten zugute.

Von Niveau zu Niveau wird aber nur 1/10 an Masse aufgebaut, der Rest lediglich als Energiequelle verbraucht. Das Gewicht des Fressenden nimmt also bei zB. 1 kg Getreide nur um 10 g zu.

13 Abbildungsverzeichnis

- ¹ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Miller-Urey-Experiment-2.png> 22.03.2016, 08:56
- ² https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1a/Biological_cell.svg/1280px-Biological_cell.svg.png 22.03.2016, 09:56
- ³ <http://www.zytologie-online.net/images/zellkern.jpg> 22.03.2016, 09:57
- ⁴ http://www.genesisnet.info/bilder/bild_179_g 22.03.2016, 10:19
- ⁵ http://cnx.org/resources/f9943c6984245eea36f34f8ae932ab444acb7929/Figure_05_01_03a.jpg 22.03.2016, 10:24
- ⁶ https://www.google.at/search?q=Mitochondrien&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjunffU_tPLAhVEUBQKHUA2BWUQ_AUIBygB&biw=1600&bih=801#imgrc=em6eGJM6TIE4HM%3A 22.03.2016, 10:35
- ⁷ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f6/Nucleus_ER_golgi.svg/492px-Nucleus_ER_golgi.svg.png 22.03.2016, 12:00
- ⁸ http://www.fsbio-hannover.de/oftheweek/233/612px-Endomembrane_system_diagram.png 23.03.2016, 10:00
- ⁹ <https://micro.magnet.fsu.edu/cells/intermediatefilaments/images/intermediatefilamentsfigure1.jpg> 23.03.2016, 10:01
- ¹⁰ <http://www.zytologie-online.net/images/zytoskellet.jpg> 23.03.2016, 10:02
- ¹¹ http://lh5.ggpht.com/-nl7qvLMnEsA/UW4nY_NblwI/AAAAAAAAABjQ/tTVY4jVdB70/cytoskeleton%25255B9%25255D.gif?imgmax=800 23.03.2016, 10:25
- ¹² https://classconnection.s3.amazonaws.com/596/flashcards/4617596/jpg/centrosome_%28borderless_version%29-en-143DF0D7447747220A1.jpg 23.03.2016, 10:23
- ¹³ http://dccdn.de/pictures.doccheck.com/images/dba/9ba/dba9bad785b9d20a3ae238395110a9e5/56103/m_1407850758.jpg 23.03.2016, 10:24
- ¹⁴ https://viamedici.thieme.de/api/images/l/b/r/i/e/f/histo_000200_steckbrief.png 23.03.2016, 10:15
- ¹⁵ <http://www.medical-pictures.de/bilder/Zytologie-Kinozilien-%28Flimmerhaerchen-Flimmerhaare%29-Flimmerepithel-der-Epithelzellen-582.jpg> 22.03.2016, 19:52
- ¹⁶ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2a/Bakterien_polar_begeisselt_Schwimmen.png 22.03.2016, 20:06
- ¹⁷ https://www.unifr.ch/anatomy/assets/files/elearning/de/biochemie/allg/images/kinozilien_ohne.gif 22.03.2016, 20:05
- ¹⁸ http://www.pflegewiki.de/images/d/d9/Illu_epithelium_de.png 03.04.2016, 10:07
- ¹⁹ https://www.3bscientific.de/imagelibrary/V2052U/V2052U_01_Lehrtafel-Das-Muskelgewebe.jpg 03.04.2016, 10:30
- ²⁰ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cb/Digestive_system_diagram_de.svg/220px-Digestive_system_diagram_de.svg.png 10:47, 03.04.2016
- ²¹ http://195.186.85.46/media/LTH/KOERPER/img_gefaesse_1xl.jpg 11:05, 03.04.2016
- ²² https://www.hochdruckliga.de/tl_files/content/dhl/druckpunkt/2012/2012-02/lungenhochdruck.png, 03.04.2016, 11:17
- ²³ <http://www.emah.de/uploads/pics/HerzNormal.gif>, 03.04.2016, 11:25
- ²⁴ http://www.ulischalk.de/Herz_reizleitung.jpg, 03.04.2016, 11:35
- ²⁵ <http://www.heilpraktiker-heitland.de/wp-content/uploads/2015/12/Blutbild22.jpg>, 03.04.2016, 11:54
- ²⁶ <http://www.wissen.de/sites/default/files/styles/lightbox/public/wissensserver/jadis/incoming/524846.jpg?itok=T68eHORA>, 03.04.2016, 11:55
- ²⁷ http://www.sedivy.net/VO_Inform/Immunologie/kardinaele.jpg, 03.04.2016, 13:09
- ²⁸ <http://www.peak.ag/blog/wp-content/uploads/2010/12/Vereinfachte-Darstellung-Immunabwehr.jpg>, 03.04.2016, 14:15
- ²⁹ <http://www.apotheken-umschau.de/multimedia/62/234/198/6251937809.jpg> 03.04.2016, 14:19
- ³⁰ <http://www.jameda.de/gesundheits-lexikon/bilder/big/506734.jpg>, 03.04.2016, 14:20
- ³¹ <https://www.tk.de/centaurus/servlet/contentblob/31776/Bild/35377>, 03.04.2016, 14:19

- 32 <http://www.biologie-schule.de/img/nervenzelle.gif> 03.04.2016, 16:32
- 33 http://www.biologie-lexikon.de/lexikon/bilder/saltatorische_erregungsleitung.jpg, 03.04.2016, 16:31
- 34
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/92/Neurons_uni_bi_multi_pseudouni.svg/2000px-Neurons_uni_bi_multi_pseudouni.svg.png 03.04.2016, 16:33
- 35 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a1/Schemazeichnung_haut.svg/2000px-Schemazeichnung_haut.svg.png 05.04.2016, 7:37
- 36 <http://www.brillen-sehhilfen.de/auge/images/auge-aufbau3.jpg> 05.04.2016, 7:38
- 37 <http://www.brillen-sehhilfen.de/auge/images/netzhaut-retina.jpg> 05.04.2016, 7:38
- 38 http://www.hoersturz.de/grafiken/ohr_aufbau.gif 05.04.2016, 7:39
- 39 https://www.planet-schule.de/fileadmin/dam_media/swr/total_phaenomenal-sinne/img/tp12_4_2_5_gleichgewichtsorgan.jpg 05.04.2016, 7:40
- 40 <http://www.gesundheit.de/sites/default/files/images/anatomie-lexikon/geschmackssinn.jpg> 05.04.2016, 7:41
- 41 <http://gesund.co.at/wp-content/uploads/2011/04/geschmacksrichtungen.jpg> 05.04.2016, 7:41
- 42 <http://gegenverstopfenase.de/img/Nasentropfen-Abhaengigkeit-Geruchssinn.jpg> 05.04.2016, 7:42
- 43 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/da/Illu_endocrine_system.png/220px-Illu_endocrine_system.png 04.04.2016, 15:17
- 44 https://www.dr-gumpert.de/uploads/pics/Abbildung_Niere_02.jpg 04.04.2016, 15:46
- 45 <http://www.jameda.de/gesundheits-lexikon/bilder/big/524985.jpg> 04.04.2016, 15:54
- 46 http://www.apogepha.de/uploads/tx_templavoila/harnsystem-abb2-harnblase_01.jpg 04.04.2016, 15:58
- 47 http://images03.netdokter.at/images_neu_content_anatomie_mann.jpg/articlelead/2416/6847937 04.04.2016, 16:00
- 48 http://www.mein-lernen.at/potatoe_output/Biologie/Biologie-Frau.jpg 04.04.2016, 16:02
- 49 http://www.6und7.net/uploads/pics/frau-vorne_01.jpg 04.04.2016, 16:03
- 50 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/5/54/MenstrualCycle_de.svg/533px-MenstrualCycle_de.svg.png 03.04.2016, 17:10
- 51
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/13/Simplified_spermatozoon_diagram.svg/611px-Simplified_spermatozoon_diagram.svg.png 03.04.2016, 17:21
- 52 <https://histohelp.files.wordpress.com/2011/09/screen-capture9.png> 03.04.2016, 17:25
- 53 <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/fd/Blastozyste.svg/507px-Blastozyste.svg.png> 03.04.2016, 17:43
- 54 <http://www.embryology.ch/allemand/gnidation/etape03.html> 03.04.2016, 17:53
- 55 <http://www.embryology.ch/allemand/hdisqueembry/triderm02.html> 03.04.2016, 17:56
- 56 <http://thumbs.dreamstime.com/z/anatomy-placenta-12609710.jpg> 03.04.2016, 18:07
- 57 <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQQWW60q-aNhbNeGqz2lXsajOLJkBaTbeOLyeLVZpL58b4lqQmcSuntwPI> 04.04.2016, 11:05
- 58 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/69/DNA_replication_de.svg/691px-DNA_replication_de.svg.png 04.04.2016, 11:06
- 59 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/02/Dna_repair_base_excersion_de.svg/2000px-Dna_repair_base_excersion_de.svg.png 04.04.2016, 11:06
- 60 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/70/Aminoacids_table.svg/220px-Aminoacids_table.svg.png 04.04.2016, 11:07
- 61 <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/48/Gen2.svg/741px-Gen2.svg.png> 04.04.2016, 11:07
- 62 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/20/Eukariotische_Genexpression.png 04.04.2016, 11:08
- 63
- https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/b1/Ribosome_mRNA_translation_en.svg/2000px-Ribosome_mRNA_translation_en.svg.png 04.04.2016, 11:08
- 64 <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e4/IgGantibody.png/576px-IgGantibody.png> 04.04.2016, 11:13
- 65 https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/e2/2fab_fc.svg/404px-2fab_fc.svg.png 04.04.2016, 11:24

-
- ⁶⁶ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3e/VDJ_recombination.png/600px-VDJ_recombination.png 04.04.2016, 11:26
- ⁶⁷ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c1/Blutgruppen_ABO-System.svg/403px-Blutgruppen_ABO-System.svg.png 04.04.2016, 11:30
- ⁶⁸ <http://www.blutspende.ch/uploads/picture/translation/image/2300/erbfaktoren.png> 04.04.2016, 11:34
- ⁶⁹ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a0/Factor_rh.jpg 04.04.2016, 11:37
- ⁷⁰ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/78/Chromosome-upright.png> 04.04.2016, 12:20
- ⁷¹ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3a/Dihybrid_cross.svg/403px-Dihybrid_cross.svg.png 04.04.2016, 12:21
- ⁷² https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/08/Cell_cycle_diagram.svg/2000px-Cell_cycle_diagram.svg.png 04.04.2016, 12:22
- ⁷³ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6b/Schemazeichnung_Mitose.svg/500px-Schemazeichnung_Mitose.svg.png 04.04.2016, 12:23
- ⁷⁴ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/Meiose.svg/690px-Meiose.svg.png> 04.04.2016, 12:26
- ⁷⁵ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0a/Mitochondrial_DNA_de.svg/800px-Mitochondrial_DNA_de.svg.png 04.04.2016, 12:27
- ⁷⁶ <http://sciencelearn.org.nz/var/sciencelearn/storage/images/contexts/uniquely-me/sci-media/images/cell-chromosomes-and-dna/464336-1-eng-NZ/Cell-chromosomes-and-DNA.jpg> 04.04.2016, 12:27
- ⁷⁷ <http://abitur-wissen.org/images/Genetik/Chromosomenmutationen.png> 04.04.2016, 12:32
- ⁷⁸ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/45/Charles_Darwin_1880.jpg 04.04.2016, 14:58
- ⁷⁹ <http://www.frustfrei-lernen.de/biologie/charles-darwin-evolutionstheorie-biologie.html> 04.04.2016, 14:57
- ⁸⁰ <http://abitur-wissen.org/images/Oekologie/oekosystem-aufbau.jpg> 04.04.2016, 12:42
- ⁸¹ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d7/Energiefluss.png/330px-Energiefluss.png> 04.04.2016, 12:42