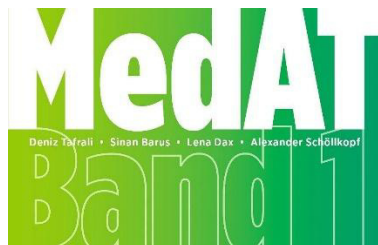


Erratum

Tafrali, Barus, Dax, Schöllkopf

MedAT Lernskript für den BMS (Band 1): Biologie,
Chemie, Physik, Mathematik
(1. Auflage)

ISBN 978-3-437-41259-2



Liebe Leserin, lieber Leser,

auf einigen Seiten fielen Fehler bzw. unklare Formulierungen auf. Mit diesem Erratum möchten wir euch korrigierte Passagen zur Verfügung stellen.

Wir bedauern diese Fehler und danken euch für euer Verständnis. Wir sind dankbar für jeden Hinweis, der uns hilft, dieses Werk zu verbessern. Bitte richtet eure Anregungen, Lob und Kritik an folgende E-Mailadresse: kundendienst@elsevier.com

Mit freundlichen Grüßen
Ihre Elsevier GmbH



ELSEVIER

© 2026 Elsevier GmbH, Deutschland.

Alle Rechte vorbehalten, auch für Text- und Data-Mining, KI-Training und ähnliche Technologien.

www.elsevier.de



Abb. 2.22 Plazenta nach der Geburt. Die Plazenta wird von der Seite der Mutter und von der Seite des Kindes her (hier im Bild) auf Vollständigkeit geprüft. [J787]

- Außerdem fungiert die Plazenta auch als **Barriere für Krankheitserreger** und spielt eine wichtige Rolle bei der **Entgiftung** von Schadstoffen, wie z. B. **Medikamenten**.
- Obwohl es offensichtlich zu sein scheint, ist zu guter Letzt noch zu erwähnen, dass die Plazenta den Fetus von der Mutter trennt und ihm dadurch **biologische Individualität** verleiht.

MedAT-GEHEIMTIPP 2016 gab es eine Antwortmöglichkeit zu einer Frage über die Plazenta, die da lautet: Der Fetus und die Mutter hätten jeweils einen eigenen Kreislauf. Diese Antwortmöglichkeit ist falsch, da der sogenannte **fetale Kreislauf**, der kein expliziter Lernstoff des MedAT ist und den wir hier bewusst nicht abhandeln, sehr eng mit dem Kreislauf der Mutter gekoppelt ist.

Außerdem gab es Fragen zur **Östrogen- und Progesteronbildung der Plazenta** sowie die Frage danach, mit welcher Struktur denn die Nabelschnur den Embryo verbindet (Plazenta!).

2022 wurde nach dem **Größenverhältnis zwischen Fetus und Plazenta** gefragt. Außerdem wurde schon geprüft: Medikamente und Plazenta, Orte der Östrogen- und Progesteronbildung, Plazentazotten und Plazentaschranke. 2023 und 2025 wurde gefragt, was die **Plazentaschranke** trennt: mütterliches und fetales Blut. Außerdem geprüft: Welche Substanz wird bei handelsüblichen Schwangerschaftstests gemessen? Humanes Choriongonadotropin bzw. β -hCG.

2024 wurde zum einen nach der **Blutversorgung der Plazenta** gefragt und zum anderen, woraus sie **entsteht** (aus dem Trophoblasten).

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Um das Kapitel Plazenta grob zu verstehen, müssen wir die **Plazentation**, also die Entwicklung der Nachgeburts, eigentlich nicht durcharbeiten. Im Besonderen müssen wir sie auch nicht durcharbeiten, weil dieses Thema mit **sehr hoher Wahrscheinlichkeit nicht geprüft** wird. Jedoch wollen wir die plazentare Entwicklung den Interessierten unter euch trotzdem nicht vorenthalten:

Nach der Implantation, also am 7.–8. Tag p. c., dringt der Synzytiotrophoblast der Blastozyste in die sogenannte Decidua, eine tiefere Schicht des Endometriums, der Gebärmutter ein. Dies ist das **prälakunäre Stadium**. (Für das weitere Verständnis ist zu bemerken, dass der Zytotrophoblast zu diesem Zeitpunkt den Ort des Trophoblasten eingenommen hat und somit den Embryoblast und die Blastozystenhöhle kugelförmig umgibt, wobei der Synzytiotrophoblast der Blastozyste kappenförmig am Embryonalpol aufsitzt.) (> **Abb. 2.23**)

Als **lakunäres Stadium** bezeichnet man die Phase der Plazentation ca. am 8.–9. Tag p. c., wenn in dem jetzt schon in die Decidua eingewachsenen Synzytiotrophoblasten erste Hohlräume entstehen. Diese Hohlräume fließen als **Lakunen** zusammen, nachdem der Synzytiotrophoblast die Spiralarterien der Gebärmutter Schleimhaut „angezapft“ hat. Die Lakunen bilden dadurch auch den intervillösen Raum (Zwischenzottenraum). Indessen hat sich zwischen dem Embryoblasten und dem Zytotrophoblasten das erste **extraembryonale Mesenchym** ausgebildet. Dieses stellt jetzt die obere Grenze der entstehenden Plazenta dar. Der unter ihr befindliche, also zur Decidua liegende Zytotrophoblast beginnt ca. am 12. Tag p. c. decidualwärts in den Synzytiotrophoblasten einzuwandern. Sind seine Zellen bis zur Decidua durchgewandert, nennt man diese fingerförmigen Ausläufer **Primärzotten**. Darauf folgend wächst das extraembryonale Mesenchym in derselben Manier in die Decidua ein. Ist dieser Vorgang ca. am 15. Tag p. c. abgeschlossen, spricht man von **Sekundärzotten**. Am 19. Tag p. c. entstehen in der Plazenta erstmals eigenständige Blutgefäße. Dadurch werden die Sekundärzotten zu den **Tertiärzotten**. Die gesamte Zottenentwicklung fasst man als **villöses Stadium** zusammen.

Parallel dazu bilden, mit dem Wachstum der Plazenta, das extraembryonale Mesenchym und der Trophoblast gemeinsam das die Keimscheibe und den Dottersack umgebende **Chorion**. Aus ihm entwickelt sich im Laufe der Zeit die **Chorionhöhle**. In der Chorionhöhle ist der Embryo mithilfe einer strangartigen Verdichtung von Mesenchymzellen befestigt, den wir **Haftstiel** nennen (> **Abb. 2.24**).

Der Embryo ernährt sich nun durch den Blutaustausch mit der Mutter und nicht mehr durch die pinozytische Aufnahme von Nährstoffen aus der Umgebung mittels der Lakunen der Plazenta. Dadurch kann er eine größere Menge an Sauerstoff und Nährstoffen zugeführt bekommen, wodurch er auch schneller wächst. Beeinflusst von dieser Veränderung, beginnt sich die schon am 8. Tag p. c. gebildete **Amnionhöhle** rapide zu erweitern. Sie wird später zur **Fruchtblase** und enthält das Fruchtwasser. ~~Es ist wichtig zu wissen, dass das Fruchtwasser nichts anderes ist, als der Urin des Embryos bzw. später des Feten.~~ Es macht also Sinn, dass

Fruchtwasser besteht aus einer Mischung von mütterlichen und fetalen Anteilen. Ab dem 2. Trimenon nimmt der vom Kind produzierte Anteil kontinuierlich zu: Es schluckt Fruchtwasser und scheidet es als Urin wieder aus. Steigt die Harnausscheidung des Kindes, z.B. infolge eines erhöhten fetalen Blutvolumens, so nimmt auch die Fruchtwassermenge zu.

- Die Bindung von Kalzium an Troponin bewirkt, dass die **Bindungsstellen** von Tropomyosin auf Aktin **freigegeben** werden.
- Jetzt erfolgt unter ATP-Abspaltung eine **Bindung des Myosins an Aktin**, wodurch die Bildung von **Querbrücken** initiiert wird.
- Infolgedessen kommt es zu einer Verschiebung (einem Gleiten) von Aktin, was eine **Verkürzung** des Sarkomers zur Folge hat.
- Die Freisetzung des Myosins von Aktin und die Rückführung des Myosinkopfes erfolgt durch die erneute **Bindung von umliegenden ATP** an Myosin.
- Dieser Prozess **wiederholt** sich, solange Kalzium und ATP vorhanden sind.

3.3.4 Nervengewebe

Elektrische Impulse, chemische Kommunikation und extreme Komplexität. Das alles sind Begriffe, mit denen wir das Nervensystem (> Kap. 4.6) beschreiben können. Doch in diesem Unterkapitel wollen wir nicht das gesamte Nervensystem behandeln, sondern die Einordnung seiner Bestandteile (Nervengewebe) im gesamten Gewebe.

Metaphorisch gesprochen, verhalten sich unsere Gewebetypen wie ein großes Orchester. Jeder Einzelne kann seine Aufgabe noch so gut erfüllen, doch ohne eine adäquate Koordination der Musiker wird das Zusammenspiel niemals eine Symphonie hervorbringen. Der Dirigent unserer Gewebe ist das Nervensystem. Es gewährleistet die Steuerung und Kommunikation der Gewebe.

Damit kommen wir zu der elektrisch erregbaren Nervenzelle. Das Nervengewebe ist das Bauelement des Nervensystems (> Kap. 4.6.12), entsteht aus dem **Ektoderm** (mit Ausnahme von Mikroglia) und besteht aus zwei Komponenten:

- **Nervenzellen (Neuronen)**
- **Gliazellen (Stützzellen)**

Nervenzellen

Die Hauptaufgabe der Neurone ist vorwiegend die **Aufnahme und Weiterleitung von Reizen**, welche durch ihren spezifischen Aufbau erleichtert wird. ~~Jedoch fehlen diesen Zellen grundlegende Eigenschaften wie eine eigenständige Ernährung oder die Teilungsfähigkeit nach der Geburt (den meisten zumindest).~~

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Warum schreiben wir *den meisten*? Weil es wenige Hirnstrukturen gibt, in der *Neurogenese* betrieben wird, in der also Nervenzellen sich teilen und neu entstehen. Diese Strukturen sind der sogenannte **Hippocampus** (> Kap. 4.6.11), in dem Erinnerungen aus dem Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis überführt werden, sowie die **periventriculären Anteile des Plexus choroideus**.

Das menschliche Gehirn umfasst ca. 100 Milliarden **Neurone**. Sie alle sind über spezifische Zellkontakte, die **Synapsen**, miteinander verbunden. Auf diese Weise bilden sich differenzierte Neuronenketten oder -kreise, die aber alle einen einheitlichen Zellbauplan besitzen.

Die Nervenzelle besteht grob aus drei Abschnitten (> Abb. 3.12):

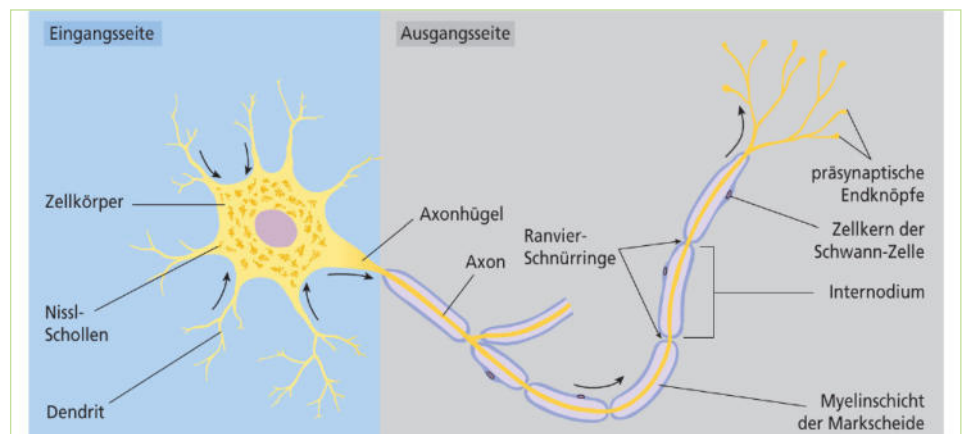


Abb. 3.12 Aufbau eines Neurons. Die linke, hellblau unterlegte Bildhälfte stellt die „Eingangsseite“ des Neurons dar, wo Informationen aufgenommen werden. Die rechte, grau hinterlegte Bildhälfte ist die „Ausgangsseite“, die Informationen fortleitet – zu anderen Nerven-, Drüsen- oder Muskelzellen. Die Pfeile geben die Richtung der Erregungsleitung von den Dendriten über den Zellkörper zum Axon an. [L190]

Anmerkung: Darmzotten sind mit bloßem Auge sichtbar.
daher Nebensatz gestrichen

Dünndarm

Sobald der Nahrungsbrei ins Duodenum gelangt, wird das Hormon **Sekretin** freigesetzt. Dieses hemmt die Magensäureproduktion, indem es die HCl-Sekretion **drosselt**. Außerdem münden im Duodenum die Ausführungsgänge der Bauchspeicheldrüse (Pankreas) und der Gallenblase, wodurch wichtige Verdauungsenzyme und Galle in den Dünndarm abgegeben werden. Der Feinbau des Dünndarms, insbesondere des Duodenums, ist entscheidend für die **Resorption** der Nährstoffe.

Bereits im Anfangsabschnitt des Zwölffingerdarms erscheinen die Darmzotten, ~~die mikroskopisch klein und mit bloßem Auge nicht sichtbar sind~~ (> Abb. 4.20). Sie sorgen für eine starke Oberflächenvergrößerung im Dünndarm und sind maßgeblich für den Übertritt der Nahrungsbestandteile ins Blut. Kleine Moleküle wie **Glukose** können durch die Epithelzellwand der Darmzellen in die darunterliegenden Blutgefäße aufgenommen werden. Wohin die Nährstoffe aus diesem Blutkreislauf gelangen, erfährt ihr noch im weiteren Verlauf. Deutlich größer (ca. 1 cm) sind die **Kerckring-Falten** (Plicae circulares), die etwa 2–5 cm hinter dem Pylorus beginnen und mit bloßem Auge sichtbar sind. Diese Falten tragen ebenfalls zur Oberflächenvergrößerung bei und optimieren die Resorption (> Abb. 4.18).

Die **Brunner-Drüsen**, die nur im Duodenum vorkommen, produzieren Schleim, der eine Schutzschicht für die empfindliche Schleimhaut des Zwölffingerdarms bildet.

Weitere physiologische Besonderheiten der Dünndarmmukosa sind zwar interessant, aber für den MedAT nicht prüfungsrelevant und werden im Studium vertieft behandelt.

Leber

Die Leber übernimmt zahlreiche lebenswichtige Aufgaben, darunter: **Produktion essenzieller Proteine** (wie z. B. der Gerinnungsfaktoren), **Produktion von Galle**, die für die Fettverdauung notwendig sind sowie **Abbau und Ausscheidung von Stoffwechselprodukten, Medikamenten und Giftstoffen** (> Abb. 4.30).

Eine für dieses Kapitel besonders wichtige Funktion ist die Verwertung der Nahrungsbestandteile:

- Speicherung von Kohlenhydraten in Form von Glykogen
- Aufnahme und Speicherung von Vitaminen, die für viele Stoffwechselprozesse benötigt werden.

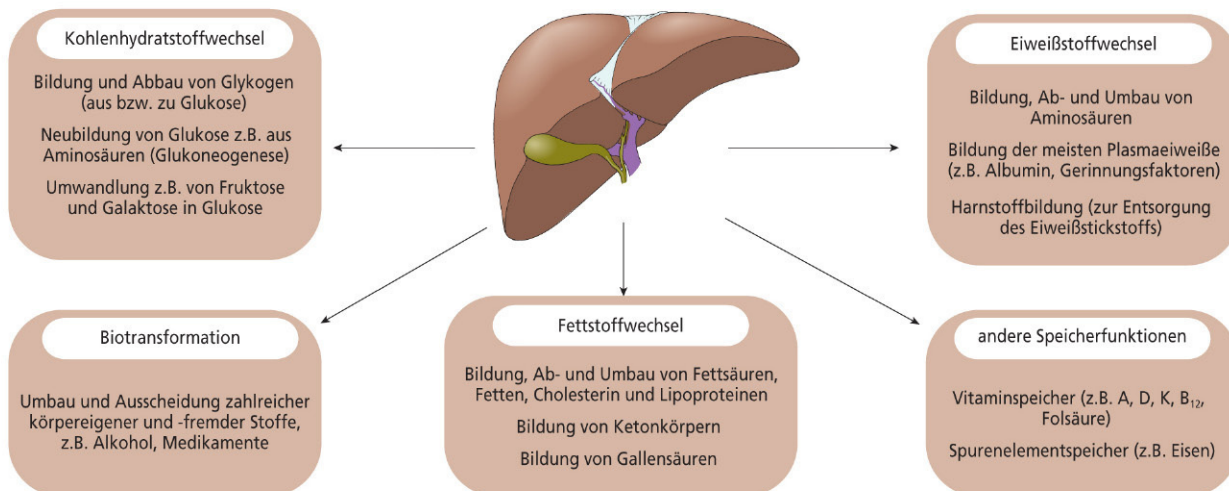


Abb. 4.30 Übersicht über die Stoffwechselläufe der Leber [L190]

MedAT-GEHEIMTIPP Es wurde schon öfter gefragt, wo Glykogen gespeichert wird. Antwort: In den Leberzellen.

Damit die Nährstoffe aus der Nahrung alle Körperzellen erreichen können, müssen sie zunächst ins Blut gelangen – ein Problem, das wir bereits angesprochen haben. Aber was passiert mit den Nährstoffen, die über das venöse Blut des Magen-Darm-Trakts aufgenommen werden?

Die Nährstoffe werden in verschiedenen Venen gesammelt und zur **Vena portae** (Pfortader) zusammengeführt, einer großen, zentralen Vene des Körpers (> Abb. 4.31). Diese transportiert das venöse, nährstoffreiche Blut in die Leber. Dort wird es durch die Leberzellen geleitet, die eine Vielzahl an biochemischen Prozessen durchführen können. Sie machen giftige Stoffe (z. B. Ethanol) unschädlich und sind gleichzeitig in der Lage, Nahrungsbestandteile zu speichern, umzubauen oder weiterzuwerten.

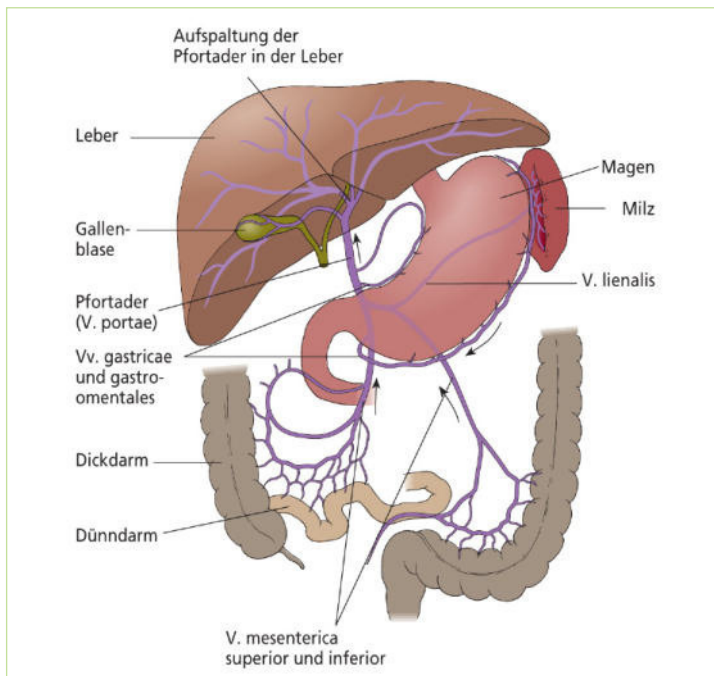


Abb. 4.31 Das Pfortadersystem. Die Pfortader nimmt das venöse Blut aus dem Magen, der Milz, dem Pankreas, dem Dünndarm und dem größten Anteil des Dickdarms auf und leitet es zur Leber. Nur das Blut aus dem mittleren und unteren Mastdarm gelangt in das Hohlvenensystem. [L190]

Nach Abschluss der Stoffwechselprozesse fließt das „gereinigte“ Blut über die **Lebervenen zur unteren Hohlvene (V. cava inferior)**, die es in den rechten Vorhof des Herzens leitet. Von dort wird das **nährstoffreiche Blut** durch den gesamten Körperkreislauf gepumpt und an alle Gewebe verteilt.

Bevor diese wichtigen Nahrungsbestandteile jedoch ins Blut gelangen, finden im Darmlumen noch zahlreiche Umwandlungsprozesse statt. Diese Prozesse sind entscheidend, um bestimmte Nahrungsstoffe in eine verwertbare oder ausscheidbare Form zu überführen. Logischerweise erfolgen diese Umwandlungen hauptsächlich vor der Aufnahme ins Blut.

MedAT-GEHEIMTIPP Häufig gestellte Fragen im MedAT beziehen sich darauf, welche Stoffe die Nahrungsbestandteile bilden. Merkt euch: Die Hauptenergielieferanten der Nahrung sind Proteine, Kohlenhydrate und Fette. Dabei sind Fette besonders energiereich, da sie pro Gramm mehr Energie liefern als die anderen Nährstoffe. Beide Fakten wurden bereits je einmal geprüft.

Bauchspeicheldrüse

Das Pankreassekret enthält verschiedene Bestandteile, die für die Verdauung von größter Bedeutung sind:

- **Bicarbonat (HCO_3^-):** Bicarbonat neutralisiert die Magensäure und hebt den pH-Wert im Duodenum an. Dadurch wird das saure Milieu des Magens beseitigt, sodass die dort aktiven Enzyme ihre Tätigkeit einstellen. Gleichzeitig schafft das Bicarbonat die idealen Bedingungen für die Enzyme des Dünndarms.
- **Endopeptidasen (Trypsinogen und Chymotrypsinogen):** Diese Vorstufen der proteinspaltenden Enzyme werden im Dünndarm in ihre aktiven Formen (Trypsin und Chymotrypsin) überführt (> Abb. 4.32). Im Gegensatz zur Aktivierung von Pepsinogen im Magen erfolgt diese Aktivierung nicht durch Magensäure, sondern durch ein spezifisches Enzym: Die **Enteropeptidase**. Dieses Enzym spaltet gezielt Teile der Vorstufen ab (limitierte Proteolyse), um die aktive Form der Enzyme zu erzeugen.

VERSTÄNDNIS+ Limitierte Proteolyse bezeichnet den kontrollierten Abbau eines spezifischen Peptidfragments, wodurch ein **inaktives Enzym (Zymogen)** in seine aktive Form überführt wird. Bei diesem Prozess wird ein bestimmtes Fragment der Enzymvorstufe abgespalten, wodurch die aktive Struktur des Enzyms freigelegt wird – ähnlich wie ein An-Schalter.

Im Gegensatz zur **unspezifischen Proteolyse** während der Verdauung von Proteinen, bei der viele verschiedene Bindungen gespalten werden, erfolgt bei der limitierten Proteolyse die Abspaltung nur an einer exakt festgelegten Stelle im Peptid. Ein Beispiel dafür ist die Aktivierung von Pepsinogen zu Pepsin oder von Trypsinogen zu Trypsin im Verdauungstrakt.

Anm.: Formulierung irreführend, daher:

In der Leber wird das Blut von toxischen Inhaltstoffen befreit und wiederum mit wichtigen Syntheseprodukten der Leber angereichert. Anschließend fließt es über die Lebervenen zur unteren Hohlvene (V. cava inferior), die es in den rechten Vorhof des Herzens leitet. Nachdem das Blut aus der rechten Herzkammer in die Lunge gelangt ist, wird es dort mit Sauerstoff versetzt und strömt dann in den Körperkreislauf, wo es die Organe mit Sauerstoff und Nährstoffen versorgt.

4.3 Herz-Kreislauf-System

Sinan Barus, Deniz Tafrali

MedAT-Stichwort

Herz-Kreislauf-System
Blut
Lymphatisches System
Lymphe

VIDEO: Das kardiovaskuläre System



<https://www.elsevier.com/books-and-journals/book-companion/9783437412592>

Damit das Blut alle Zellen des Körpers mit Nährstoffen versorgen kann, benötigt es ein **effizientes Transportsystem**, das den gesamten Körper durchzieht und eng mit verschiedenen Organsystemen verbunden ist. Die Hauptakteure dieses Systems sind die **Kreislauforgane**, die aus folgenden Bestandteilen bestehen:

- Herz
- Gefäßsystem

Das Herz fungiert dabei als die **zentrale muskuläre Pumpe**, die das Blut in einem geschlossenen Kreislauf antreibt und dafür sorgt, dass es kontinuierlich durch den Körper zirkuliert. Das Gefäßsystem besteht aus einem Netzwerk **elastischer Röhren**, die das Blut zu den verschiedenen Geweben und Organen transportieren. Dieses Netzwerk umfasst **Arterien**, **Venen**, **Kapillaren** sowie **Lymphgefäße** und spielt eine entscheidende Rolle bei der Versorgung des Körpers mit Sauerstoff, Nährstoffen und der Entfernung von Abfallstoffen.

4.3.1 Makroskopische Anatomie

Sinan Barus

Herz

Das Herz liegt zur Hälfte in der linken und zur Hälfte in der rechten Brustkorbhälfte (> Abb. 4.36). Seine Form erinnert an einen abgerundeten Kegel, dessen Spitze die Brustwand im **5. Interkostalraum** berührt. Es ist schräg im Mediastinum (Mittelfellraum) positioniert, einem Bindegewebsraum zwischen Wirbelsäule und Brustbein, der nach unten vom Zwerchfell begrenzt wird.

Das Herz ist von einer schützenden bindegewebigen Hülle, dem **Herzbeutel** oder **Perikard**, umgeben. Im Inneren des Herzens wird die Wand vom Endokard, einer etwa 1 mm dicken Endothelschicht, ausgekleidet. Diese glatte Oberfläche sorgt für einen verringerten hydrodynamischen Widerstand und ermöglicht einen reibungslosen Blutfluss. Die arbeitsfähige Herzmuskelschicht, das Myokard, ist für die Kontraktion des Herzens verantwortlich (> Abb. 4.37).

EPISCHE ESELSBRÜCKE Eine einprägsame Merkhilfe für die Herzwand von innen nach außen:
„Emma malt Planeten.“
Endokard – Myokard – Perikard

Das Herz ist durch die **Herzscheidewand** (Septum) in zwei Hälften geteilt: ein rechtes Herz, das den Lungenkreislauf versorgt, und ein linkes Herz, das für den Körperkreislauf zuständig ist. Jede Herzhälfte besteht aus ~~insgesamt vier~~ **zwei** Hohlräumen – je einem **Vorhof** (Atrium) und einer **Kammer** (Ventrikel). Der linke Vorhof sammelt das sauerstoffreiche Blut aus der Lunge, während der rechte Vorhof das sauerstoffarme Blut aus dem Körper aufnimmt. Die beiden Kammern nehmen das Blut aus den jeweiligen Vorhöfen auf und pumpen es in die entsprechenden Kreisläufe.

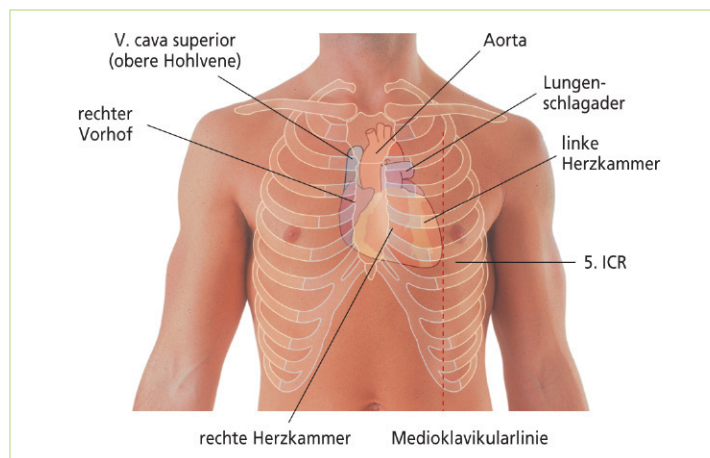


Abb. 4.36 Die Lage des Herzens (ICR = Interkostalraum) [E402]

es muss heißen:
...aus insgesamt 2 Hohlräumen...

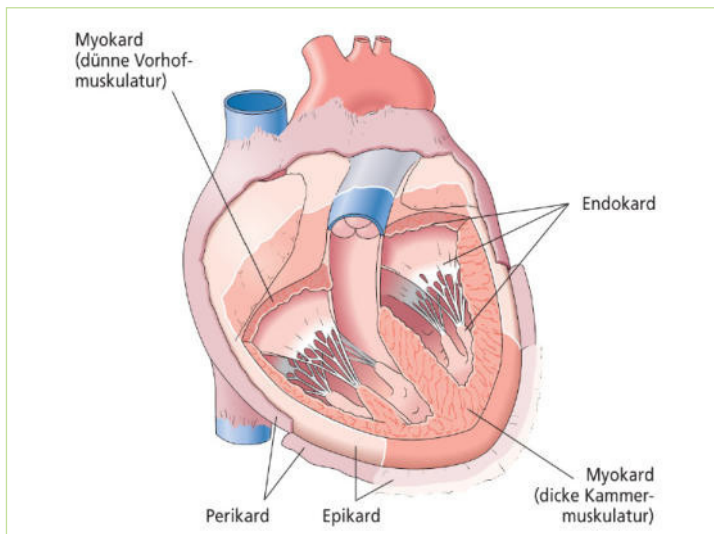


Abb. 4.37 Längsschnitt durch das Herz. Man erkennt den dreischichtigen Aufbau der Herzwand. Das Myokard ist in der linken Kammer (im Bild rechts) am dicksten, in den Vorhöfen am schwächsten ausgebildet. [L190]

Da die linke Herzhälfte den gesamten Körper mit Blut versorgen muss, benötigt sie eine **stärkere Muskelschicht** als die rechte. Die Wandstärke der linken Kammer beträgt etwa 1,4 cm, während die rechte Kammer mit einer Dicke von ca. 0,7 cm auskommt. ~~Der Unterschied ergibt sich aus dem höheren Druck, der notwendig ist, um das Blut durch den gesamten Körper zu transportieren.~~

Die Einteilung des Herzens umfasst folgende Hohlräume:

- Rechter Vorhof
- Rechte Kammer
- Linker Vorhof
- Linke Kammer

Zwischen diesen Hohlräumen und den großen Blutgefäßen sorgen Herzklappen dafür, dass das Blut nur in eine Richtung fließt und kein Rückstrom möglich ist. Es gibt zwei Haupttypen von Klappen ([> Abb. 4.38](#), [> Abb. 4.39](#), [> Abb. 4.40](#)):

- **Segelklappen** befinden sich zwischen den Vorhöfen und Kammern.
- **Taschenklappen** sitzen zwischen den Kammern und den großen abführenden Arterien.

Wandstärke der linken Kammer:

1,2 cm

Wandstärke der rechten Kammer:

0,4 cm

Grund für diesen Unterschied ist der höhere Druck und damit auch die größere Muskelmasse, die notwendig ist, um das Blut gegen den höheren Widerstand des Körperkreislaufs - verglichen mit dem des Lungenkreislaufs - zu pumpen.

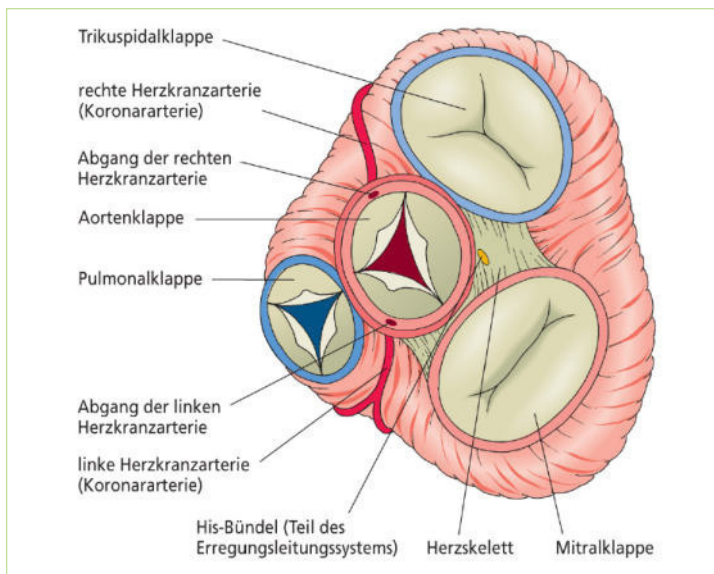


Abb. 4.38 Blick von oben auf die Klappenebene (Vorhöfe abgetrennt). Oberhalb der Aortenklappe gehen die Koronarkranzarterien (Herzkranzgefäße) aus der Aorta ab. Das His-Bündel durchstößt die Klappenebene. [L190]

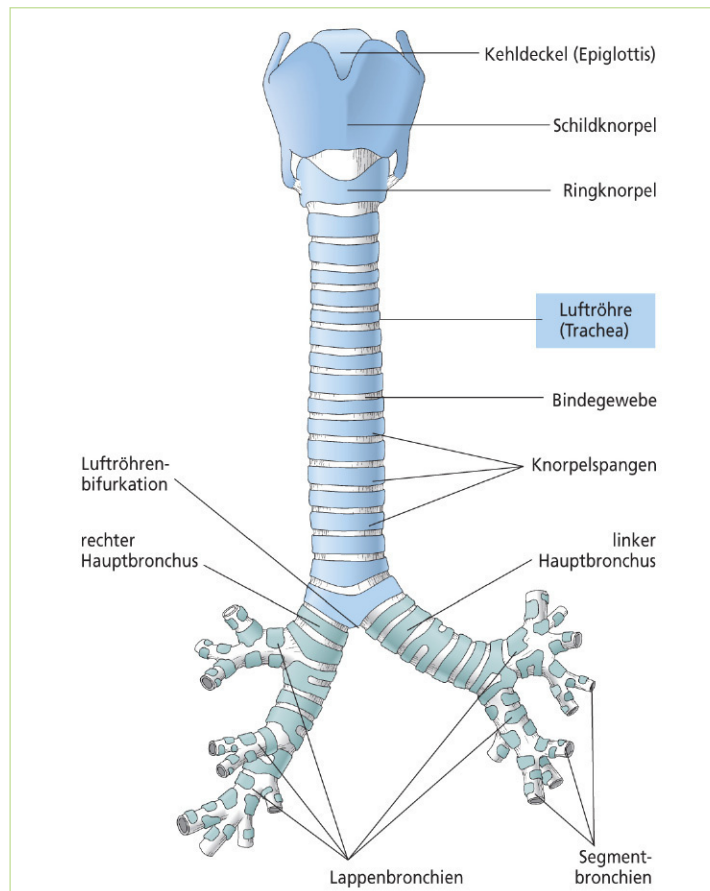


Abb. 4.64 Kehlkopf, Luftröhre und große Bronchien (Ansicht von vorne) [L190]

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Die Carina ist der Prädislokationsort für das gefürchtete Lungenkarzinom. Der Grund dafür ist, dass der inhalede Zigarettenrauch bei jedem Zug direkt auf die Carina trifft, was zu einer überproportional hohen Konzentration von krebserregenden Schadstoffen an dieser Stelle führt. Hinzu kommt, dass diese Stelle nicht operiert werden kann, da die Luftröhre nicht wie z. B. ein Knochen ersetzt werden kann – das Karzinom ist also inoperabel. Deshalb unser Rat an alle Raucher: Versucht, damit aufzuhören!

Nach einigen weiteren Zentimetern verzweigt sich jeder Bronchus in **kleinere Lappenbronchien**. Da auf der linken Seite des Brustkorbs ein größerer Teil des Herzens liegt, befinden sich dort lediglich zwei Lungenlappen und dementsprechend drei Lappenbronchien, während auf der rechten Seite drei Lappenbronchien (und Lungenlappen) vorhanden sind. Von den Lappenbronchien ausgehend, verzweigen sich die Bronchialäste zunehmend weiter und werden dabei immer feiner. Diese Verzweigungen führen über die **Segmentbronchien** schließlich zu den **Bronchioli**, die einen Durchmesser von etwa 1 mm aufweisen. Im Gegensatz zu den größeren Bronchien verfügen die Bronchioli **nicht mehr über Knorpelspangen**. Stattdessen bestehen sie aus glatter Muskulatur und elastischen Fasern, die ihre Flexibilität sicherstellen. Die Bronchioli lassen sich, in Richtung der Alveolen betrachtet, in drei verschiedene Typen unterteilen: lobuläre, terminale und respiratorische Bronchioli (**Bronchioli lobulares, terminales und respiratorii**) (> Abb. 4.65).

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Bis zu den Bronchioli terminales definiert man den anatomischen Totraum, da ab den Bronchioli respiratorii der **Gasaustausch** stattfindet.

Die **Bronchioli respiratorii** gehen durch die Alveolargänge (Ductus alveolaris) zu den Alveolarsäckchen über. In deren Wänden sind die traubenförmigen **Alveolen (Lungenbläschen)** dicht aneinander gepackt und stellen mit den respiratorischen Bronchien gemeinsam den Ort des **Gasaustausches** dar (> Kap. 4.4.3; > Abb. 4.70). Die gesamte Lunge enthält ca. **300 Millionen** Lungenbläschen.

Anm.: Die Carina ist kein typischer Prädislokationsort für Lungenkarzinome; Tumoren in diesem Bereich sind chirurgisch schwierig, aber nicht grundsätzlich inoperabel.

Die Carina dient als wichtiger Orientierungspunkt hinsichtlich der Einteilung des Lungenkarzinoms. Ist die Carina infiltriert, so verschlechtert dies die Prognose. Ein operativer Therapieansatz ist niemals gänzlich ausgeschlossen und muss in jedem Einzelfall individuell gegenüber anderen Therapieoptionen abgewogen werden. Die Infiltration der Carina erschwert jedoch ein chirurgisches Vorgehen.

Umformuliert: Da auf der linken Seite des Brustkorbs ein größerer Teil des Herzens liegt, besteht die linke Lunge nur aus zwei Lungenlappen. Die rechte Lunge setzt sich hingegen aus drei Lungenlappen zusammen. In jeden Lappen führt ein Lappenbronchus.

Außerdem besitzen die Knochen trabekel der Spongiosa selbst keine Blutgefäße. Die Spongiosa ernährt sich per Diffusion aus dem Knochenmark.

VERSTÄNDNIS* Warum ist die Spongiosa nicht auch dicht gepackt?

Die Antwort auf diese Frage kann man in einem Wort zusammenfassen: **Leichtbauweise**. Knochensubstanz und damit Masse, die der Körper nicht unbedingt braucht, wird eingespart. Um den Knochen trotzdem stabil zu halten, richten sich die Knochenbälkchen entlang wichtiger Belastungslinien und passen sich so an die Zug- und Druckkräfte, die auf sie wirken, an.

Außerdem ist die Spongiosa im Gegensatz zur Kortikalis **nicht durchblutet**, sondern ernährt sich per Diffusion aus dem Knochenmark.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM In der embryonalen Entwicklung bildet sich zuerst **Geflechtknochen** aus. Hier sind die Fasern der Knochenmatrix noch kreuz und quer, folgen also keinem geordneten System. Ein Großteil der Knochen wird bis zur Geburt oder in der Zeit danach in **Lamellenknochen** umstrukturiert, dessen Aufbau wir bereits kennengelernt haben. Die Fasern verlaufen nun in Form von Faserbündeln, innerhalb derer alle Fasern parallel zueinander sind. Dadurch kann sich der Lamellenknochen an Belastungen anpassen und diesen standhalten.

Auch nach einem Knochenbruch bildet sich im Laufe der Heilung vorerst Geflechtknochen aus, der erst zum stabileren Lamellenknochen umgebildet werden muss. Deshalb sollte man einen gebrochenen Knochen auch einige Zeit schonen.

Knochenarten

Vergleicht ihr einen Oberschenkelknochen mit einem Schulterblatt, kommt ihr bestimmt schnell zu dem Schluss, dass die Knochen im Körper je nach Funktion sehr verschiedene Formen haben können. Anhand dieser Formen kann man die Knochen in mehrere Gruppen einteilen:

- **Lange Knochen** (Röhrenknochen), z. B. Oberschenkelknochen, Oberarmknochen
- **Kurze Knochen**, z. B. Knochen der Handwurzel
- **Platte Knochen**, z. B. Brustbein, Schulterblatt
- **Luftgefüllte Knochen**, z. B. Knochen im Schädel mit Nasennebenhöhlen
- **Sesamknochen**, z. B. Kniescheibe
- **Unregelmäßige Knochen**, z. B. Wirbelkörper

Die **Röhrenknochen** haben den oben beschriebenen Aufbau mit einer **Markhöhle** im Inneren. Außerdem kann man sie in den länglichen Schaft und die beiden Knochenenden unterteilen. Kurze oder platte Knochen haben keine Markhöhle, das Knochenmark liegt hier in den Hohlräumen der Spongiosa.

Knorpel

Wichtige mikroskopische Details zum Thema Knorpel habt ihr in ➤ Kap. 3.2 bereits kennengelernt. An dieser Stelle sind vor allem die drei Knorpelarten relevant, die ihr auch beim Lernen der Gelenke wiederfinden werdet.

- **Hyaliner Knorpel**, z. B. Gelenkknorpel, Rippenknorpel, Atemwege
- **Faserknorpel**, z. B. Meniskus, Diskus
- **Elastischer Knorpel**, z. B. Ohrmuschel, Bronchien

Gelenke

DEFINITIONEN Ein **Gelenk** ist eine bewegliche Verbindung zwischen zwei oder mehr Knochen.

Echte Gelenke sind solche wie das Knie- oder Ellbogengelenk. Hier ist zwischen den Gelenkkörpern ein tatsächlicher Spalt, weshalb man von diskontinuierlichen Verbindungen spricht.

Unechte Gelenke sind jene Gelenke, bei denen zwischen den beteiligten Knochen kein Gelenkspalt zu finden ist. Die Gelenkkörper sind durch eine Gewebsschicht, zum Beispiel Bindegewebe, kontinuierlich miteinander verbunden, weshalb hier auch kaum bis keine Bewegung stattfinden kann. Beispiele dafür sind Bandscheiben oder Schädelknochen.

Aufbau

An einem echten Gelenk treffen zwei oder mehr **Gelenkkörper** aufeinander, deren **Gelenkflächen** mit hyalinem Knorpel überzogen sind. Außen ist das Gelenk von einer **Gelenkkapsel** umgeben, die die **Gelenkhöhle** nach außen hin abgrenzt (➤ Abb. 4.73). Im Inneren findet sich die Gelenkhöhle mit dem **Gelenkspalt**, in dem die Gelenkkörper aufeinandertreffen und miteinander agieren können. Um bei diesen Bewegungen Reibung zu vermeiden, ist die Gelenkhöhle mit **Synovialflüssigkeit**, auch Gelenkschmiere genannt, gefüllt. Sie bildet einen Gleitfilm auf den knorpeligen Flächen, wodurch sie diese einerseits ernährt und andererseits vor Abnutzungen schont.

Die parallele Anordnung der Fasern und der hohe Wassergehalt des Hornhautgewebes ermöglicht die Transparenz der Hornhaut.

2. Bowman-Membran

- Eine dünne, zellfreie Schicht aus Kollagenfasern.
- Dient der Stabilisierung und Formgebung.

3. Stroma

- Macht etwa 90 % der Hornhautdicke aus.
- Besteht aus regelmäßig angeordneten Kollagenfibrillen und Fibroblasten (Keratinozyten).
- ~~Die Anordnung der Fasern ermöglicht die Transparenz der Hornhaut.~~ ←

4. Descemet-Membran

- Basalmembran des Endothels.
- Dicke nimmt im Laufe des Lebens zu.

5. Hornhautendothel

- Einschichtiges Plattenepithel auf der Innenseite.
- Reguliert den Wassergehalt des Stromas durch aktive Ionentransporte.
- Wichtig für die Aufrechterhaltung der Transparenz.

Sklera

Die **Sklera** besteht aus dichtem, unregelmäßigem Bindegewebe mit Kollagenfasern. Sie ist undurchsichtig und dient als Schutz und Formgeber des Auges.

Aderhaut

Die **Aderhaut** ist eine stark vaskularisierte Schicht, die sich zwischen der Sklera und der Retina befindet. Sie setzt sich aus mehreren Gefäßschichten zusammen, die Arteriolen und Venolen enthalten. Eine besonders wichtige Struktur in der Aderhaut ist die **Kapillarschicht**, auch Choriocapillaris genannt, die für die Versorgung der äußeren Schichten der Retina zuständig ist. Zwischen der Aderhaut und der Retina liegt zudem die **Bruch-Membran**, eine dünne Schicht, die als Trennschicht fungiert und ebenfalls eine wichtige Rolle für die Funktion der Retina spielt.

Netzhaut

Die **Netzhaut**, auch als Retina bezeichnet, stellt die lichtempfindliche Schicht des Auges dar und setzt sich aus zwei Hauptkomponenten zusammen, dem **Pigmentepithel** und der **Neuroretina** (> Abb. 4.125). Das Pigmentepithel stellt eine einschichtige kubische Epithelschicht dar, die Melanin beinhaltet. Es absorbiert Streulicht und regeneriert die Photopigmente. Die Neuroretina umfasst Photorezeptoren und Neuronen und gliedert sich histologisch (von innen nach außen) in neun Schichten:

1. **Stratum limitans internum** (innere Grenzmembran)
2. **Stratum neurofibrarum** (Nervenfaser-schicht)
3. **Stratum ganglionare** (Ganglienzellschicht)
4. **Stratum plexiforme internum** (innere plexiforme Schicht)
5. **Stratum nucleare internum** (innere Körnerschicht/innere nukleäre Schicht)
6. **Stratum plexiforme externum** (äußere plexiforme Schicht)
7. **Stratum nucleare externum** (äußere Körnerschicht/äußere nukleäre Schicht)
8. **Stratum limitans externum** (äußere Grenzmembran)
9. **Stratum photoreceptorum** (Photorezeptorschicht: Stäbchen und Zapfen)

Außen an diese neun Schichten schließt sich das retinale Pigmentepithel an (kein Bestandteil der Neuroretina). Das retinale Pigmentepithel ist eine einschichtige, kubische, melaninreiche Epithelschicht. Es absorbiert Streulicht und regeneriert die Photopigmente.

Photorezeptoren

Die **Photorezeptoren** unterteilen sich in **Stäbchenzellen** und **Zapfenzellen**. Es gibt etwa 120 Millionen Stäbchenzellen pro Auge, die für die Wahrnehmung von Lichtintensität, jedoch nicht von Farben zuständig sind. Sie enthalten das Photopigment **Rhodopsin**. Zapfenzellen, etwa 6 Millionen pro Auge, ermöglichen das Farbsehen und bestehen aus drei Typen, die auf rote, grüne und blaue Lichtwellen spezialisiert sind.

Ziliarkörper

Der **Ziliarkörper** beinhaltet den Ziliarmuskel sowie die Ziliarfortsätze. Der **Ziliarmuskel** besteht aus glatten Muskelzellen, deren Formveränderung die Akkommodation der Linse ermöglicht. Der Muskel ist in drei Arten von Muskelfasern unterteilt, nämlich längs, radial und zirkulär verlaufende Fasern. Die **Ziliarfortsätze** produzieren das Kammerwasser und sind von einem zweischichtigen Epithel überzogen. Das innere, nicht pigmentierte Epithel ist für die Produktion des Kammerwassers verantwortlich.

Haut

Ungeachtet der Art von Haut gliedert sich Haut in drei übereinanderliegende Schichten (> Abb. 4.134):

- Oberhaut (Epidermis)
- Lederhaut (Dermis)
- Unterhaut (Subkutis)

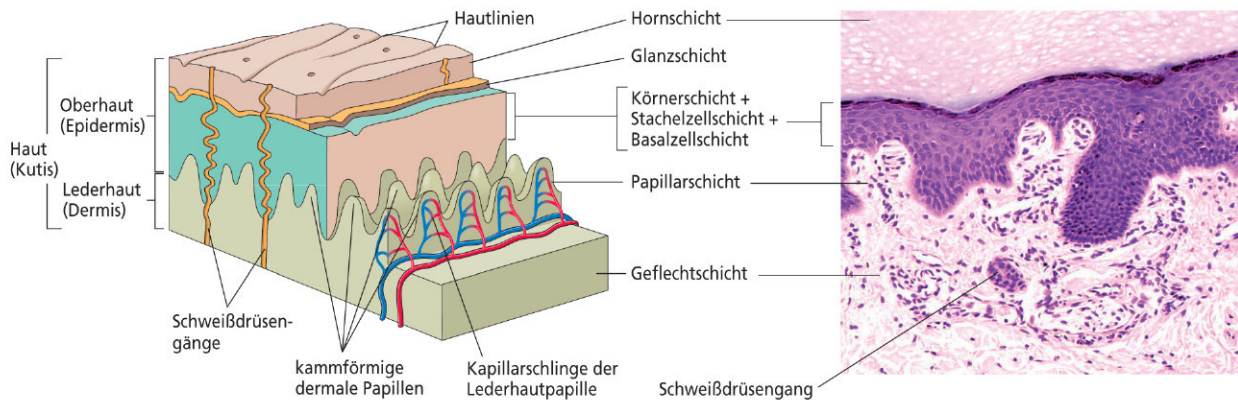


Abb. 4.134 Aufbau der Haut (links: Schemazeichnung, rechts: lichtmikroskopisches Bild) [E645, L190]

Oberhaut

Die oberste Schicht der Haut, die Oberhaut (**Epidermis**), besteht aus einem **mehrschichtig verhornten Plattenepithel** (> Abb. 4.135). Ihre Hauptzellen, die **Keratinocyten**, durchlaufen einen Differenzierungsprozess, in dessen Verlauf sie sich zu **Korneocyten** (Hornzellen) entwickeln und damit die **Hornschicht** der Haut bilden. Die Dicke dieser Schicht variiert je nach Körperregion: Während sie in der Fehderhaut an Armen und Beinen etwa 0,1 bis 0,2 mm beträgt, erreicht sie an den Fußsohlen eine Stärke von 0,8 bis 1,5 mm.

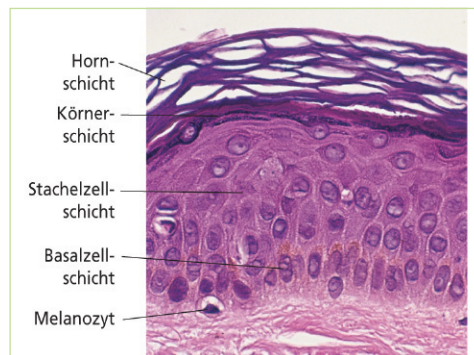


Abb. 4.135 Schichten der Oberhaut (lichtmikroskopisches Bild) [M375]

Die Epidermis ist, wie fast jedes Epithel, gefäßfrei und beherbergt verschiedene Strukturen mit spezifischen Aufgaben. Dazu gehören u.a. Mechanorezeptoren zur haptischen Wahrnehmung der Umwelt, Pigmentzellen (Melanozyten), die für die Hautfärbung verantwortlich sind und vor UV-Licht schützen, sowie Langerhans-Zellen, die als Teil des Immunsystems Antigene aufnehmen und T-Helferzellen präsentieren. Sie ist nicht nervenfrei, denn es befinden sich freie Nervenendigungen in ihr.

Keratinocyten produzieren das wasserabweisende Faserprotein **Keratin**, das der Haut sowohl Stabilität und Festigkeit verleiht, als auch eine schützende Barriere bildet. Die Epidermis ist, wie jedes Epithel, **gefäß- und nervenfrei**, beherbergt jedoch spezialisierte Strukturen wie Mechanorezeptoren, Pigmentzellen (**Melanozyten**), die für die Hautfärbung verantwortlich sind, sowie **Langerhans-Zellen**, die als Teil des Immunsystems Antigene aufnehmen und T-Helferzellen präsentieren.

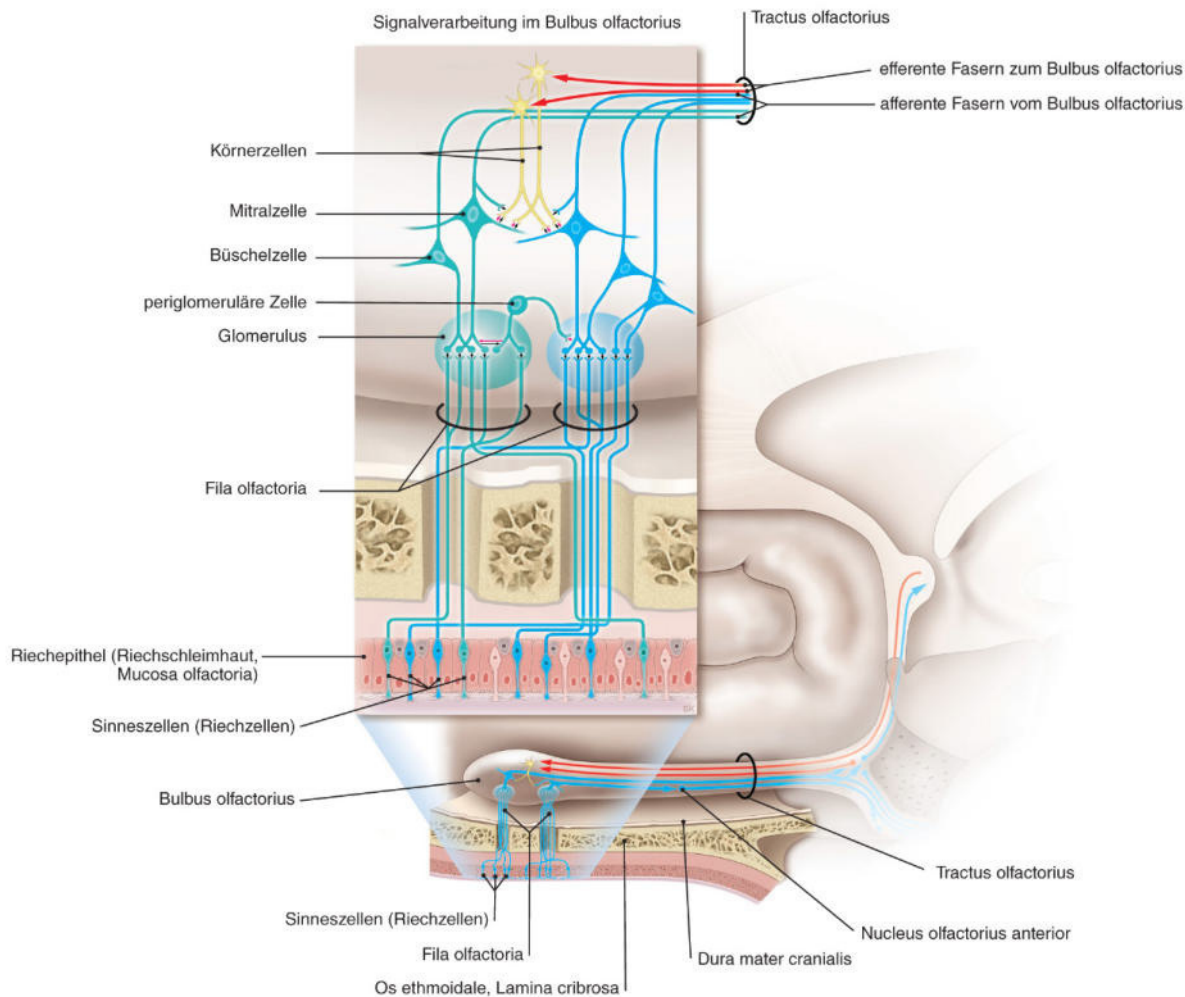


Abb. 4.147 Projektions- und Verschaltungsschema der Riechnerven (Fila olfactoria); Ansicht von links. Alle Fila olfactoria konvergieren in jedem Bulbus auf ca. 1.000 Glomeruli (in der Abbildung sind exemplarisch zwei Glomeruli dargestellt), die gemeinsam den Tractus olfactorius bilden. In den Glomeruli wird über zahlreiche Synapsen auf Mitralzellen (2. Neuron) umgeschaltet. Dabei erreichen alle Neurone, die den gleichen Geruchsrezeptor haben, mit ihren Axonen den Glomerulus, der für genau diesen einen der insgesamt ca. 1.000 Geruchsrezeptoren spezifisch ist. Die Mitralzellen projizieren zu verschiedenen Arealen der Hirnbasis und des Temporallappens. Zur besseren Reizdifferenzierung gibt es Rückkopplungsmechanismen, die auf Körnerzellen zwischen den Mitralzellen wirken. [S700-L238]

Die Nervenenden der Riechzellen mit gemeinsamem Rezeptor führen als **Riechnerv** (N. olfactorius – 1. Neuron) gebündelt über die Löcher der Siebbeinplatte zu den **Riechkolben**. Sie alle sind auf dem Weg zu einem gemeinsamen **Riechknötchen** (Glomerulus olfactorius), wo die Informationen auf die Dendriten einer **Mitralzelle** (Nervenzelle der Riechkolben) umgeschaltet werden (2. Neuron der Riechbahn).

Die neuralen Ausläufer der Mitralzelle vereinigen sich zu einem **Riechstrang** (Tractus olfactorius), der über das zentrale Nervensystem in das Gehirn führt, wo er über ein 3. Neuron der Riechbahn verschaltet wird. Schlussendlich landen die Informationen im Temporallappen bzw. im **Riechhirn**, in dem Sinnesindrücke entstehen.

Von dort aus bestehen Verbindungen zum limbischen System sowie zum Thalamus und Hypothalamus, wobei noch nicht alle Gebiete der olfaktorischen Wahrnehmung erforscht sind.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Jeder Rezeptor spricht jeweils nur auf einen einzigen Duft an. Menschen können circa 400 verschiedene Gerüche unterscheiden, während Hunde ungefähr 1000 verschiedene Rezeptortypen aufweisen. Durch Kombinationen verschiedener Duftstoffe ergeben sich jedoch weit mehr wahrnehmbare Duftvariationen.

Damit der Duftstoff nicht ewig auf dem Epithel festsetzt, gibt es eigens dafür zuständige **Spüldrüsen**, die unter der Riechschleimhaut verankert sind und mit ihren Ausführungsgängen neutralisierende Sekrete absondern.

Jede Sinneszelle besitzt ausschließlich einen spezifischen Typ von Geruchsrezeptor, der wiederum verschiedene Duftstoffe mit ähnlichem strukturellen Aufbau binden kann. Menschen besitzen rund 400 verschiedene Geruchsrezeptortypen, während Hunde ungefähr 1200 davon aufweisen. Die Vielfalt von Duftvariationen, die 400 bzw. 1.200 erfahrungsgemäß deutlich übersteigt, entsteht durch die Kombination verschiedener Duftstoffe.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Das menschliche **olfaktorische System** hat eine bemerkenswerte Besonderheit: Die Rieschleimhaut erneuert sich kontinuierlich, da die **Riechzellen** eine Lebensdauer von nur wenigen Wochen haben. Etwa alle **60 Tage** sterben diese Zellen durch **Apoptose** ab und werden durch **Basalzellen** ersetzt. Die abgestorbenen Zellen werden über den **Nasenschleim** ausgeschieden und nach außen transportiert. Ein weiterer interessanter Aspekt ist, dass der **Geruchssinn** bereits bei der Geburt vollständig entwickelt ist. Bekannt ist auch der **hormonelle Einfluss** auf die Geruchswahrnehmung, insbesondere bei schwangeren Frauen. Durch den erhöhten **Östrogenspiegel** während der Schwangerschaft kann es zu einer verstärkten Geruchsempfindlichkeit kommen, was gelegentlich **Übelkeit** auslösen kann.

Zunge

Die **gustatorische Wahrnehmung** wird durch die Aktivierung von Chemorezeptoren in den Geschmacksknospen ausgelöst, die auf fünf Hauptgeschmacksrichtungen spezialisiert sind: **süß, salzig, sauer, bitter** und **umami**. Jede dieser Geschmacksrichtungen aktiviert spezifische Rezeptoren auf den Geschmackszellen (> Abb. 4.148):

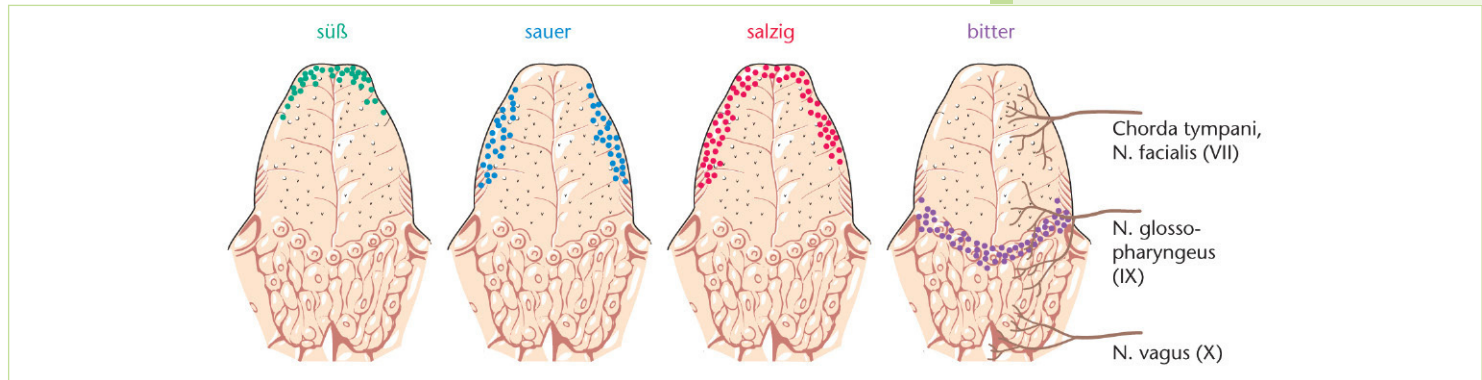


Abb. 4.148 Empfindlichkeitsbereiche für die verschiedenen Geschmacksqualitäten (links) und sensorische Innervation (rechts) [L106]

- **Süß:** Erregt durch Zucker und Zuckerverbindungen, hauptsächlich wahrgenommen an der **Zungenspitze**.
- **Salzig:** Reagiert auf Natrium- und andere Ionen in Speisesalz, am stärksten an den **Seitenrändern** der Zunge empfunden.
- **Sauer:** Erfasst durch Wasserstoffionen (H^+) in sauren Substanzen und an den **Zungenrändern** weiter hinten wahrgenommen.
- **Bitter:** Reagiert auf eine Vielzahl potenziell toxischer Substanzen und wird hauptsächlich am **Zungengrund** erkannt.
- **Umami:** Ein Geschmack, der durch Aminosäuren wie Glutamat ausgelöst wird und auf der gesamten Zungenoberfläche wahrgenommen wird, ohne eine spezifische regionale Zuordnung.

Die Geschmacksstoffe dringen durch den **Geschmacksporus** in die **Geschmacksknospe** ein und binden an spezifische Rezeptoren auf den **Mikrovilli** der Geschmackszellen. Dies führt zur **Depolarisation der Sinneszellen** und zur Freisetzung von **Neurotransmittern**, die ein elektrisches Signal in den afferenten Nervenfasern auslösen. Diese Signale werden über Hirnnerven an das Gehirn weitergeleitet, wo sie im **gustatorischen Kortex** verarbeitet und in Geschmackswahrnehmungen übersetzt werden.

Die **Geschmacksknospen** sind gleichmäßig auf der Zunge verteilt, jedoch gibt es gewisse regionale Unterschiede in der Empfindlichkeit, die sogenannte **Geschmacksfelder** darstellen. Diese Felder sind nicht streng getrennt, sondern zeigen nur leichte lokale Unterschiede in der Empfindlichkeit, sodass jede Geschmacksrichtung prinzipiell überall auf der Zunge wahrgenommen werden kann, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Umami, die fünfte Geschmacksrichtung, wird hauptsächlich durch Aminosäuren wie **Glutamat** geschmeckt. Glutamat kommt natürlicherweise in proteinreichen Lebensmitteln vor, wird aber auch in der Lebensmittelindustrie als **Mononatriumglutamat (MSG)** verwendet, um den Geschmack von Speisen zu verstärken. Besonders in der asiatischen Küche spielt Umami eine wichtige Rolle, da Zutaten wie Sojasauce oder Algen reich an Glutamat sind. Menschen aus asiatischen Regionen können aufgrund der häufigen Verwendung solcher Zutaten möglicherweise eine feinere Wahrnehmung für diesen Geschmack entwickelt haben.

Leider nimmt wie der Geruchssinn auch das Geschmacksvermögen mit fortschreitendem Alter ab. So hat ein 70-jähriger Mensch schon zwei Drittel seiner Geschmacksknospen verloren.

Die Geschmacksknospen befinden sich in unterschiedlicher Dichte in den verschiedenen Papillen, die wiederum ungleichmäßig über die Zungenoberfläche verteilt sind. So enthalten die Wallpapillen im hinteren Bereich der Zunge jeweils bis zu 100 Knospen, während die Pilzpapillen an der Zungenspitze jeweils nur rund 10 Knospen beherbergen. Jede Geschmacksknospe kann jede Geschmacksqualität wahrnehmen. Trotzdem gibt es lokale Unterschiede in der Intensität der Geschmackswahrnehmung (Geschmacksfelder). So ist zum Beispiel der Eindruck von süßem Geschmack an der Zungenspitze am stärksten.

Ob der Geschmackssinn mit dem Alter abnimmt oder nicht, ist noch immer Gegenstand der Forschung. Studien weisen darauf hin, dass die Dichte an Geschmacksknospen mehr oder weniger unverändert bleibt. Zentrale Verarbeitungsprozesse im Gehirn und Hirnstamm können sich aber ändern und so zu einem veränderten Geschmackserleben führen.

Biochemie der Hormone

Hormone können nach ihrem molekularen Aufbau in vier Gruppen eingeteilt werden (> Tab. 4.12).

Tab. 4.12 Übersicht über die Einteilung der Hormone nach ihrem molekularen Aufbau		
Hormonklasse	Biochemischer Ursprung	Beispielhormone
Aminosäurederivate	Einzelne Aminosäuren (z. B. Tyrosin, Tryptophan)	Adrenalin, Noradrenalin, Thyroxin (T ₄), Melatonin
Peptidhormone	Aminosäureketten	Insulin, Glukagon, Wachstumshormon, Oxytocin, ADH, Prolaktin, Parathormon
Fettsäurederivate	Fettsäuren (z. B. Arachidonsäure)	Prostaglandine, Thromboxane, Leukotriene
Steroidhormone	Cholesterin	Cortisol, Aldosteron, Testosteron, Östrogen, Progesteron

MedAT-GEHEIMTIPP 2023 wurde gefragt, welches Hormon aus Cholesterin gebildet wird. Die richtige Antwort war damals Aldosteron.

Außerdem unterscheidet man Hormone danach, ob sie **wasserlöslich (hydrophil)** oder **fettlöslich (lipophil)** sind.

Hydrophile Hormone können die Zellmembran nicht passieren, weshalb ihre **Rezeptoren außen auf der Zellmembran** liegen. Durch ihre Bindung wird im Inneren der Zelle ein Signalweg ausgelöst, wodurch die Wirkung des Hormons erzielt wird. Zu den hydrophilen Hormonen gehören die **Peptidhormone** und die **Aminosäurederivate** (mit Ausnahme der Schilddrüsenhormone).

Lipophile Hormone können durch die Zellmembran hindurchwandern, da diese aus einer Lipid-Doppelschicht besteht, wie ihr in > Kap. 1.2.1 bereits gehört haben solltet. Daher binden sie meist an **Rezeptoren in der Zelle** und dort beeinflussen sie im Zellkern direkt die Genexpression. Allerdings können sie durch ihre **schlechte Wasserlöslichkeit** nur mit Hilfe eines **Transportproteins** im Blutkreislauf zirkulieren. Zu den lipophilen Hormonen gehören die **Steroidhormone** und die **Schilddrüsenhormone**.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM **Hydrophile Hormone** wie Adrenalin und Glukagon binden an Rezeptoren an der Zellmembran. Diese Rezeptoren sind an ein **G-Protein** gekoppelt, welches durch die Bindung des Hormons aktiviert wird. Dadurch wird dessen α -Einheit abgespalten, die wiederum Effektormoleküle aktiviert, die sekundäre Botenstoffe wie die Adenylcyclase oder die Phospholipase C produzieren. Die Adenylcyclase macht aus ATP cAMP, welches wiederum Proteinkinasen aktiviert. Diese Proteinkinasen übertragen Phosphatgruppen auf gewisse Enzyme und Proteine. Durch diese **Phosphorylierung** wird letztendlich die Wirkung des Hormons erzielt.

Andere hydrophile Hormone wie Insulin binden an **Tyrosinkinase-Rezeptoren**, die nicht über G-Proteine, sondern über direkte Phosphorylierung von Proteinen wirken, was ebenfalls die Aktivierung von Signalwegen in der Zelle zur Folge hat.

Schilddrüse und Nebenschilddrüsen

Die Schilddrüse produziert unter Einfluss der Hypophyse die Hormone **Triiodthyronin (T₃)** und **Thyroxin (T₄)**. Diese regen kurz gefasst den **Stoffwechsel** an. Sie erhöhen die **Herz- und Atemfrequenz** und regen den **Stoffwechsel von Kohlenhydraten, Proteinen und Fetten** an. Dadurch steigt der Grundumsatz und der Körper produziert **Wärme**. In der Kindheit und Jugend stimulieren T₃ und T₄ außerdem das Wachstum und die Reifung des Nervensystems.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Was ist der **Unterschied zwischen T₃ und T₄**?

Die Zahl 3 bzw. 4 steht für die Anzahl der **Jod-Atome**. Die Schilddrüse produziert zu **90 % T₄**. **T₄ ist allerdings weniger wirksam als T₃ und gilt als die inaktive Speicherform des Hormons**. Es wird in der Leber oder anderen Geweben zu T₃ umgebaut, indem eine Deiodinase eines der Jod-Atome wegnimmt.

Da T₃ und T₄ Jod enthalten, ist die Hormonproduktion in der Schilddrüse **jodabhängig**. Nehmen wir nicht genügend Jod über die Nahrung auf, führt dieser Jodmangel dazu, dass die Schilddrüse nicht genügend Hormone produzieren kann. Der Körper versucht gegenzusteuern, indem er das Wachstum der Schilddrüse anregt. Hält der Jodmangel monatelang an, wird die immer größer werdende Schilddrüse irgendwann auch von außen deutlich sichtbar, was als **Kropf** oder **Struma** bezeichnet wird. Insbesondere Länder mit niedrigem Jodgehalt im Boden wie z. B. Österreich, die Schweiz oder Deutschland haben zur Prävention die Jodierung von Speisesalz eingeführt, weshalb ein Struma heutzutage äußerst selten vorkommt.

Anm.: T₄ (Thyroxin) ist weniger wirksam als T₃, aber nicht inaktiv; es ist ein aktives Hormon mit eigener Wirkung, wird jedoch zu T₃ (dem wirksameren Hormon) umgewandelt.

Eine zentrale Rolle spielt dabei das sog. **MHC-II-Molekül**. Das entsprechende Gen wird als MHC bezeichnet, wobei MHC für „**major histocompatibility complex**“ steht. Bekannt wurde es durch seine Bedeutung für den Erfolg von Organtransplantationen. Es zeigte sich, dass dieser umso größer war, je ähnlicher sich organspendende und organempfangende Person mit Blick auf das MHC-Gen waren.

Zusätzlich zum MHC-II-Molekül, das mit Makrophagen, dendritischen Zellen und B-Lymphozyten nur Antigen-präsentierende Zellen (APCs) tragen, existiert das **MHC-I-Molekül**. Es befindet sich auf der Membranoberfläche aller kernhaltigen Zellen – also nicht auf Erythrozyten – und spielt, wie wir später sehen werden, eine wichtige Rolle für die immunologische Überwachung des zellinternen Milieus.

Aufbau der MHC-Moleküle

Sowohl MHC-I als auch MHC-II bestehen aus einem α - und einem β -Protein, die an der Zelloberfläche eine **muldenförmige Struktur** bilden. In dieser Mulde werden Teile von Krankheitserregern eingebettet und anderen Zellen präsentiert.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Während im Fall von MHC-I nur das α -Protein in der Zellmembran verankert ist und das β -Protein an diesem befestigt ist, durchziehen beide Proteine des MHC-II-Komplexes die Zellmembran.

Beladung der MHC-Moleküle

MHC-I dient insbesondere der **Präsentation von Proteinen aus dem Zellinneren**. Das können Proteine sein, die die Zelle unter ganz normalen Umständen bildet, z. B. Stoffwechsellenzyme oder Strukturproteine. Es kann sich aber auch um Proteine handeln, die eine Zelle nur dann bildet, wenn sie beispielsweise von einem Virus befallen ist.

VERSTÄNDNIS* Viren sind keine eigenständig überlebensfähigen Lebewesen. Sie sind auf den Proteinsynthese-Apparat der Zelle angewiesen, die sie befallen, und nutzen diesen, um neue Viruspartikel aufzubauen.

Damit ein Protein über MHC-I nach außen präsentiert werden kann, muss es zunächst auf eine Größe von rund **8–10 Aminosäuren** reduziert werden. Von Proteinen zu sprechen, ist also streng genommen nicht korrekt. Vielmehr werden Proteinbestandteile präsentiert.

Zerkleinert werden die Proteine im **Lysosom**. Von dort gelangen die Proteinpartikel in das **endoplasmatische Retikulum**, wo sie auf den MHC-I-Komplex treffen. Sie gehen eine feste Bindung ein und gelangen gemeinsam an die Zelloberfläche.

Anders als MHC-I dient **MHC-II** der **Präsentation von Proteinen aus dem Extrazellulärraum**, die eine Zelle durch Phagozytose in ihr Inneres aufgenommen hat. Die Proteine befinden sich zunächst im Phagosom, welches durch Verschmelzung mit Lysosomen zum **Phagolysosom** wird. Dies ist der Ort, an dem die Proteine und der aus dem endoplasmatischen Retikulum stammende MHC-II-Komplex eine feste Bindung eingehen, bevor sie gemeinsam an die Zelloberfläche gelangen.

Auch mit Blick auf MHC-II ist es eigentlich nicht korrekt, von Proteinen zu sprechen, die präsentiert werden. Es handelt sich vielmehr um Partikel ebendieser, die durch Zerkleinerung der Proteine im Phagolysosom entstehen. Ihre Größe beträgt im Schnitt **12–25 Aminosäuren**.

Funktion der MHC-Moleküle

Um zu verstehen, warum das Immunsystem überhaupt auf MHC-Komplexe angewiesen ist, müssen wir dem nächsten Kapitel ein wenig vorweggreifen. Darin werden die Zellen des erworbenen Immunsystems genauer beschrieben, ebenso ihre Interaktion mit MHC-Komplexen.

Vereinfacht gesagt, dient **MHC-I** der **Sichtbarmachung zellinterner Prozesse auf der Zelloberfläche**. Um nämlich nachvollziehen zu können, ob eine Zelle gesund und intakt oder beispielsweise von einem Virus befallen ist, können Immunzellen nicht einfach in das Zellinnere blicken. Vielmehr untersuchen sie jede Zelle mit Hilfe der MHC-I-Komplexe auf ihrer Oberfläche und können so nachvollziehen, was im Inneren der Zelle vor sich geht.

VERSTÄNDNIS* Weil es immer wieder zu Missverständnissen kommt, sei an dieser Stelle noch einmal betont, dass **mit Ausnahme der Erythrozyten jede Zelle** – gesund, infiziert oder entartet – Auskunft über sich in Form von MHC-I auf der Oberfläche gibt. MHC-I ist also wie das Ausweisdokument oder die Gesundheitsakte einer Zelle, die der ständigen Überprüfung des Immunsystems unterliegt. Befinden sich auf der Oberfläche einer Zelle ausschließlich zelleigene und intakte Proteinpartikel, so besteht nicht die Notwendigkeit eines Eingreifens des Immunsystems. Werden jedoch beispielsweise Bestandteile eines nur in Viren vorkommenden Enzyms präsentiert, so wird eine Immunreaktion eingeleitet.

im Proteasom

Über den **Tubulus reuniens** (Verbindungstubulus) findet das Tubulussystem Anschluss an ein Sammelrohr. Er gewährleistet also die strukturelle Verbindung eines Nephrons mit dem System der Sammelrohre, wobei mehrere Verbindungstubuli in ein gemeinsames Sammelrohr münden ($\rightarrow$ Abb. 4.167).

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Die Henle-Schleife wird von den gestreckt verlaufenden Anteilen des Tubulus proximalis und Tubulus distalis gebildet ($\rightarrow$ Abb. 4.167). Sie steht funktionell im Dienst der Harnkonzentrierung ($\rightarrow$ Kap. 4.11.3).

Im Verlauf des Sammelrohrsystems finden immer mehr Verbindungstubuli von Nephronen Anschluss an die Sammelrohre (ca. 10 pro Sammelrohr), die sich auf ihrem weiteren Weg miteinander zu immer größer werdenden **Papillengängen** (*Ductus papillares*) vereinigen und schließlich im Bereich der Nierenpapillen in das Kelchsystem des Nierenbeckens münden. Auch die **Sammelrohre** tragen einen wichtigen Teil zur Harnbildung bei, da in ihnen nochmals eine Wasserresorption und somit eine weitere Harnkonzentrierung stattfindet. Eine Schlüsselrolle kommt hierbei dem **Hormon ADH** (*antidiuretisches Hormon* = *Vasopressin*) zu, unter dessen Wirkung eine **gesteigerte Wasserresorption** aus den Sammelrohren erfolgt. Das ADH ist ein Hormon, das im Hypothalamus gebildet und vom Hypophysenhinterlappen ausgeschüttet wird.

Die Primärharnbildung wird maßgeblich vom **juxtaglomerulären Apparat** beeinflusst, der ein Überbegriff für Strukturen ist, deren einheitliche Hauptfunktion im Zeichen der **Autoregulation der Niere** steht. Über die Regulation des „niereneigenen“ Blutdrucks kann die Niere auf systemische Schwankungen des Blutdrucks reagieren und außerdem den Filtrationsdruck und somit die Primärharnbildung verändern. Diese Funktion ist Teil des sog. **tubuloglomerulären Feedbacks**.

Der am Gefäßpol des Nierenkörperchens lokalisierte juxtaglomeruläre Apparat umfasst folgende Strukturen:

- **Polkissen:** epitheloide glatte Muskelzellen in der Wand der Arteriola glomerularis afferens, die die eigentlichen Muskelzellen der Gefäßwand ersetzen und Renin produzieren (Regulation der Nierendurchblutung über das Renin-Angiotensin-Aldosteron-System)
- **Macula densa:** veränderte Epithelzellen im Bereich der Berührungsstelle von Arteriola glomerularis afferens und efferens und Pars recta des Tubulus distalis mit der Aufgabe der Bestimmung der Natriumkonzentration im tubulären Harn
- **Extraglomeruläre Mesangiumzellen:** modifizierte glatte Muskelzellen, die zwischen der Arteriolengabel und der Macula densa zu finden sind und mit dem Vas efferens in direktem Kontakt stehen

Harnleiter

Der **Harnleiter** (Ureter) besitzt eine typische vierschichtige Wandstruktur, bestehend aus Mukosa, Muskularis, Adventitia und einer fehlenden Serosa, da er retroperitoneal liegt ($\rightarrow$ Abb. 4.171). Die Mukosa ist mit einem Übergangsepithel (**Urothel**) ausgekleidet, das sich je nach Füllungszustand des Ureters dehnen kann. Darunter liegt eine **Lamina propria** aus kollagenreichem Bindegewebe. Die Muskularis besteht aus

Die Henle-Schleife wird von den gestreckt verlaufenden Anteilen des Tubulus proximalis und Tubulus distalis sowie von dem dazwischen verlaufenden Tubulus intermedius gebildet ($\rightarrow$ Abb. 4.167). Sie steht funktionell im Dienst der Harnkonzentrierung, indem sie einen osmotischen Gradienten im Nierenmark erzeugt ($\rightarrow$ Kap. 4.11.3).

Funktionell wichtiger ist die Verbindung zur afferenten Arteriole und Macula densa, daher sauberer: modifizierte glatte Muskelzellen, die zwischen der Arteriolengabel und der Macula densa zu finden sind und sich an der Kommunikation zwischen Gefäß- und Tubulussystem beteiligen.

Der Harnleiter besitzt eine dreischichtige Wandstruktur, bestehend aus Mukosa, Muskularis und Adventitia.



Abb. 4.171 Ureter mit sternförmig eingeengtem Lumen (*) im Querschnitt. 1 = Urothel; 2 = subepitheliales Bindegewebe; 3 = Tunica muscularis; 4 = begleitende kleine Arterie; 5 = begleitende kleine Vene; 6 = Fettgewebe. [M375]

einer **inneren Längsmuskelschicht**, einer **mittleren Ringmuskelschicht** (ab dem mittleren Drittel) und einer **weiteren äußeren Längsmuskelschicht**, die peristaltische Wellen zum Urintransport erzeugen. Die Adventitia enthält **lockeres Bindegewebe** mit Gefäßen und Nerven, das den Ureter mit seiner Umgebung verbindet.

Harnblase

Die Harnblase besitzt eine vierschichtige Wandstruktur, bestehend aus Mukosa, Muskularis, Adventitia und einer teilweise vorhandenen Serosa an der obersten Blasenfläche (bei Peritonealkontakt). Die Mukosa ist mit einem Übergangsepithel (**Urothel**) ausgekleidet, das sich je nach Füllungszustand der Blase dehnen kann (> Abb. 4.172, > Abb. 4.173). Darunter liegt eine Lamina propria aus **kollagenreichem Bindegewebe**. Die Muskularis besteht aus einer **inneren Längsmuskelschicht**, einer **mittleren Ringmuskelschicht** und einer **äußeren Längsmuskelschicht**, die gemeinsam den **M. detrusor vesicae** bilden, welcher für die Entleerung der Blase verantwortlich ist. Die Adventitia enthält **lockeres Bindegewebe** mit Gefäßen und Nerven, das die Blase mit ihrer Umgebung verbindet.

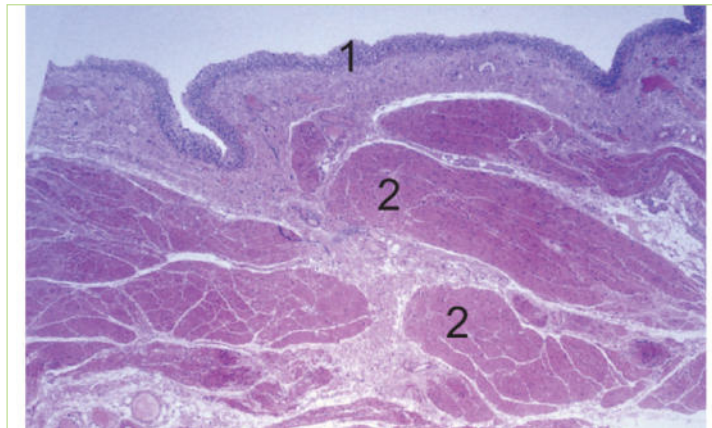


Abb. 4.172 Wand der Harnblase. Die Schleimhaut bildet Falten, die von einem hohen Urothel (1) bedeckt werden. 2 = Muskulatur. [M375]

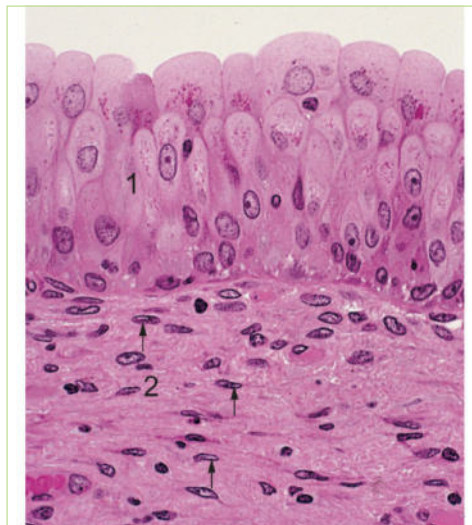


Abb. 4.173 Kernmorphologie in einem Ausschnitt aus der inneren Wand der Harnblase (Mensch). Von der Basis bis zur Oberfläche des Epithels (1) werden die Kerne der ganz dicht beieinanderliegenden Epithelzellen größer und verändern ihre Form. Die durch die Bindegewebsmatrix (2) getrennten Fibroblasten des Bindegewebes haben dagegen kleinere, flache, dunklere Kerne (Pfeile). [M375]

Die Harnröhre (Urethra) besitzt eine dreischichtige Wandstruktur aus Mukosa, Muskularis und Adventitia.

Harnröhre

Die ~~Harnröhre~~ (Urethra) besitzt eine vierschichtige Wandstruktur, bestehend aus Mukosa, Muskularis, Adventitia und einer fehlenden Serosa, da sie extraperitoneal liegt (> Abb. 4.174). Die Mukosa ist je nach Abschnitt mit unterschiedlichem Epithel ausgekleidet: im proximalen Teil mit Übergangsepithel (**Urothel**), weiter distal mit **mehrschichtigem oder mehrreihigem prismatischem Epithel** und im letzten Abschnitt mit **mehrschichtigem Plattenepithel**. Die Lamina propria enthält **muköse Drüsen** (Glandulae urethrales), die die Schleimhaut feucht halten. Die Muskularis besteht aus einer **inneren Längsmuskelschicht** und einer **äußeren Ringmuskelschicht**, die in den inneren **Harnröhrenschließmuskel** (M.

Anm.: Die negative Ladung der Podozyten und Basalmembran dient vor allem der Rückhaltung von anionischen Plasmaproteinen, nicht von Elektrolyten.

wenige Nanometer

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Um die Funktion als glomerulärer Harnfilter wahrzunehmen, gibt es im Glomerulus eine dreischichtige **Filtrationsbarriere**, die das Ultrafiltrat durchlaufen muss. Die Bestandteile sind das **gefenesterte Kapillarendothel**, die **glomeruläre Basalmembran** und die **negativ geladenen Podozyten**. Die Podozyten sind Fortsätze des viszeralen Blattes der Bowman-Kapsel und sind deshalb negativ geladen, um anionische Teilchen wie Plasmaproteine oder Elektrolyte zurückhalten zu können. Sie sind außerdem so um die Gefäßschlingen des Glomerulus angeordnet, dass nur **40 nm** breite Schlitzte frei bleiben, was große Teilchen wie Blutzellen zurückhalten kann.

Die Produktion des Primärharns ist ein Prozess, der im Glomerulus stattfindet und an dem verschiedene physiologisch relevante Faktoren und Komponenten beteiligt sind. Diese sind: Der **glomeruläre Blutdruck**, der **glomeruläre Filtrationsdruck**, der **hydrostatische Druck in der Bowman-Kapsel** und der **kolloidosmotische Druck im Blut**.

Der **glomeruläre Filtrationsdruck** – der nicht, wie man vermuten könnte, identisch zum glomerulären Blutdruck ist, sondern deutlich niedriger – kommt wie folgt zustande: Dem in den Gefäßkapillaren des Nierenkörperchens herrschenden (glomerulären) Blutdruck von ca. 50 mmHg wirken sowohl der hydrostatische Druck in der Bowman-Kapsel als auch der kolloidosmotische Druck im Blut entgegen. Zieht man diese zwei Größen vom glomerulären Druck ab, so erhält man den glomerulären Filtrationsdruck. Dieser ist allerdings nicht über die ganze Gefäßstrecke des Kapillarschlingengeflechts gleich, da, je mehr Wasser über die Strecke abgepresst wird, der kolloidosmotische Druck des Blutes stark ansteigt und den **Gegendruck** zum Blutdruck in den Kapillaren erhöht. Der glomeruläre Filtrationsdruck beträgt zu Beginn des Kapillargeflechts ca. 18 mmHg, um am Ende auf **0 mmHg abzufallen** (> Abb. 4.176).

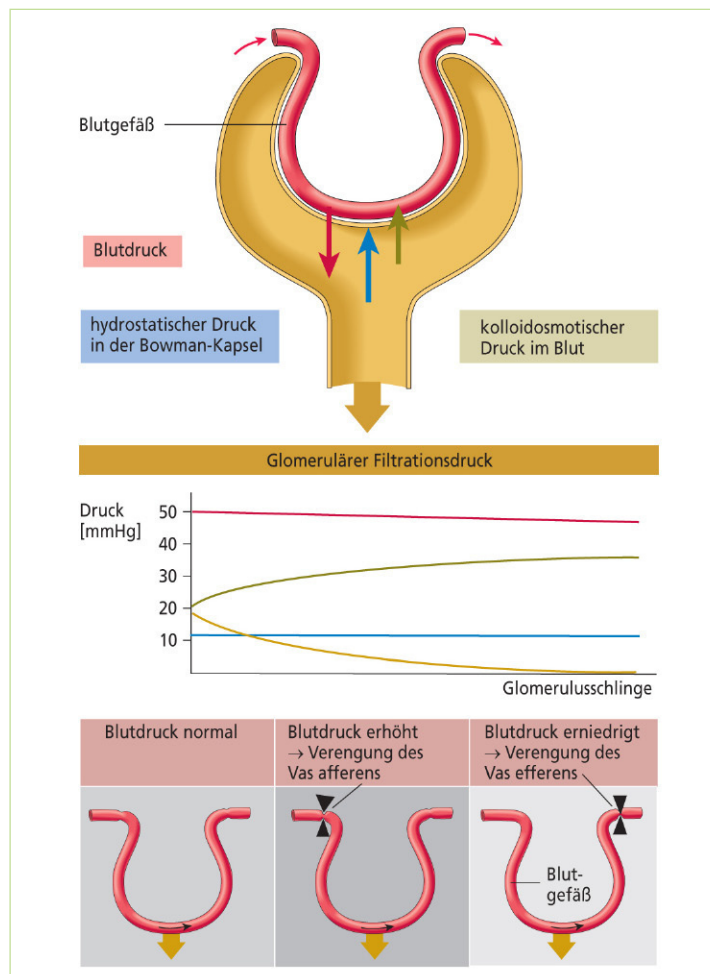


Abb. 4.176 Oben und Mitte: Der glomeruläre Filtrationsdruck fällt von 18 mmHg am Anfang der Glomerulusschlinge auf 0 an ihrem Ende ab. Unten: Die Konstanzhaltung des Drucks in der Glomerulusschlinge erfolgt v. a. über die glatte Muskulatur am Anfang und am Ende der Schlinge (Pfeilspitzen). [L190]

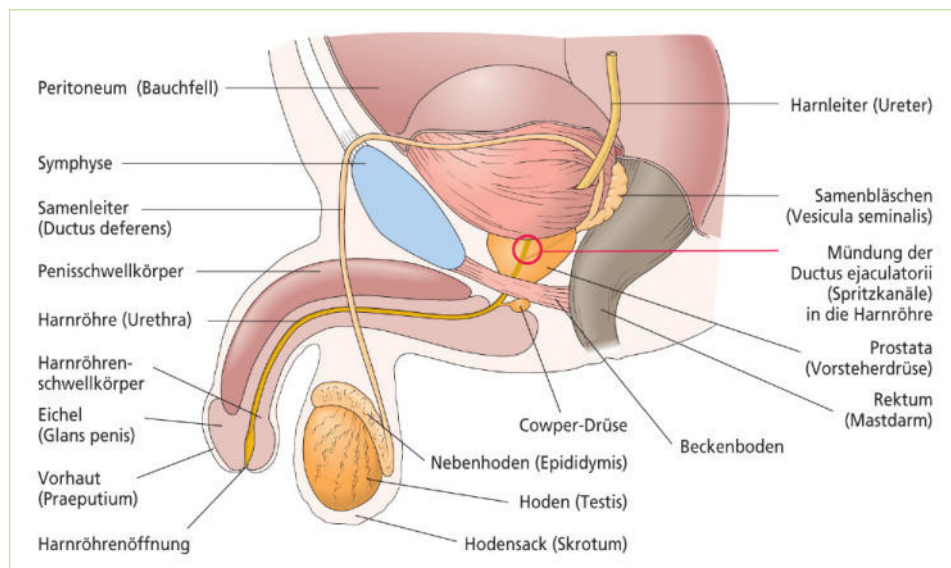


Abb. 4.181 Verlauf der ableitenden Samenwege in der Seitenansicht [L190]

Samenleiter

Auch der ca. 50 cm lange **Samenleiter** ist paarig angelegt und wird ebenfalls zu den samenableitenden Wegen gezählt. Er zieht im **Samenstrang** durch den Leistenkanal, dann seitlich an der Harnblase entlang und durchzieht die Prostata, um sich mit dem **Ausführungsgang der Bläschendrüse** zum **Spritzkanal** zu vereinigen, der dann in die Harnröhre mündet. Die männliche Harnröhre wird ab diesem Punkt als **Harnsamenröhre** bezeichnet (> Abb. 4.179, > Abb. 4.181).

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Im **Samenstrang** (*Funiculus spermaticus*) verlaufen neben dem Samenleiter mehrere Arterien, ein dichtes **Venengeflecht** (*Plexus pampiniformis*), Nerven, Lymphgefäße und Anteile des *M. cremaster*.

Akzessorische Geschlechtsdrüsen

Zu den **akzessorischen Geschlechtsdrüsen** werden die paarige **Bläschendrüse**, die paarige **Cowper-Drüse** sowie die **Vorsteherdrüse (Prostata)** gerechnet. Ihre Aufgabe ist die Produktion von verschiedenen Sekreten, die im Rahmen der Ejakulation zur **Bildung der Samenflüssigkeit** beitragen.

Die **Bläschendrüse** trug früher den Namen **Samenbläschen**. Diese Bezeichnung wird zwar noch verwendet, ist allerdings veraltet und irreführend, da sie weder eine Blase ist, noch Samenzellen enthält oder speichert. Die 4–5 cm lange Bläschendrüse befindet sich an der **Rückseite der Blase** und erstreckt sich von ihrem Fundus aus nach kranial (und leicht lateral). Sie besteht aus einem gewundenen Gang, dessen Ausführungsgang sich innerhalb der Prostata mit dem Samenleiter **zum Spritzkanal vereinigt**. Im paarig angelegten Organ wird ein **alkalisches, fructose-haltiges Sekret** produziert, das die **Beweglichkeit der Spermien** im Ejakulat fördert. Dieses Sekret hat einen Anteil von ca. **70 % am Ejakulat**.

Die beiden **Cowper-Drüsen** oder **Bulbourethraldrüsen** sind im Beckenboden lokalisiert und sind über einen 5 cm langen Ausführungsgang mit der Harnsamenröhre verbunden. Bei sexueller Erregung produzieren diese Drüsen ein klares, visköses Sekret, das die Harnsamenröhre für das folgende Ejakulat **gleitfähig** machen soll.

Die **Prostata (Vorsteherdrüse)** hat die Größe und Form einer Esskastanie und erscheint dorsal leicht abgeplattet. Sie liegt an der Basis der Harnblase und umgibt die Urethra, auch an der Stelle, an der die Samenleiter ihre Mündung in die Harnsamenröhre finden. Nach dorsal grenzt die Prostata außerdem an das **Rektum**, von dem aus man sie als derbe Struktur tasten kann. Die Prostata besteht aus **40–50 Einzeldrüsen**, die von einer sehr kräftigen, fibrösen Kapsel umgeben sind. In ihrer Gesamtheit produzieren diese Einzeldrüsen ein **schwach saures, milchig-trübes Sekret**, das zahlreiche Proteasen enthält, die für die **Verflüssigung des Ejakulats** sorgen. Das Sekret der Prostata hat einen Anteil von **30 % am Ejakulat**. Die Einteilung des Drüsengewebes im Inneren des Organs kann (von innen nach außen) wie folgt vorgenommen werden:

- **Periurethrale Zone:** Umgibt die Harnsamenröhre
- **Transitionszone:** Übergang von Periurethraler Zone zur Innenzone

Bulbourethraldrüsen

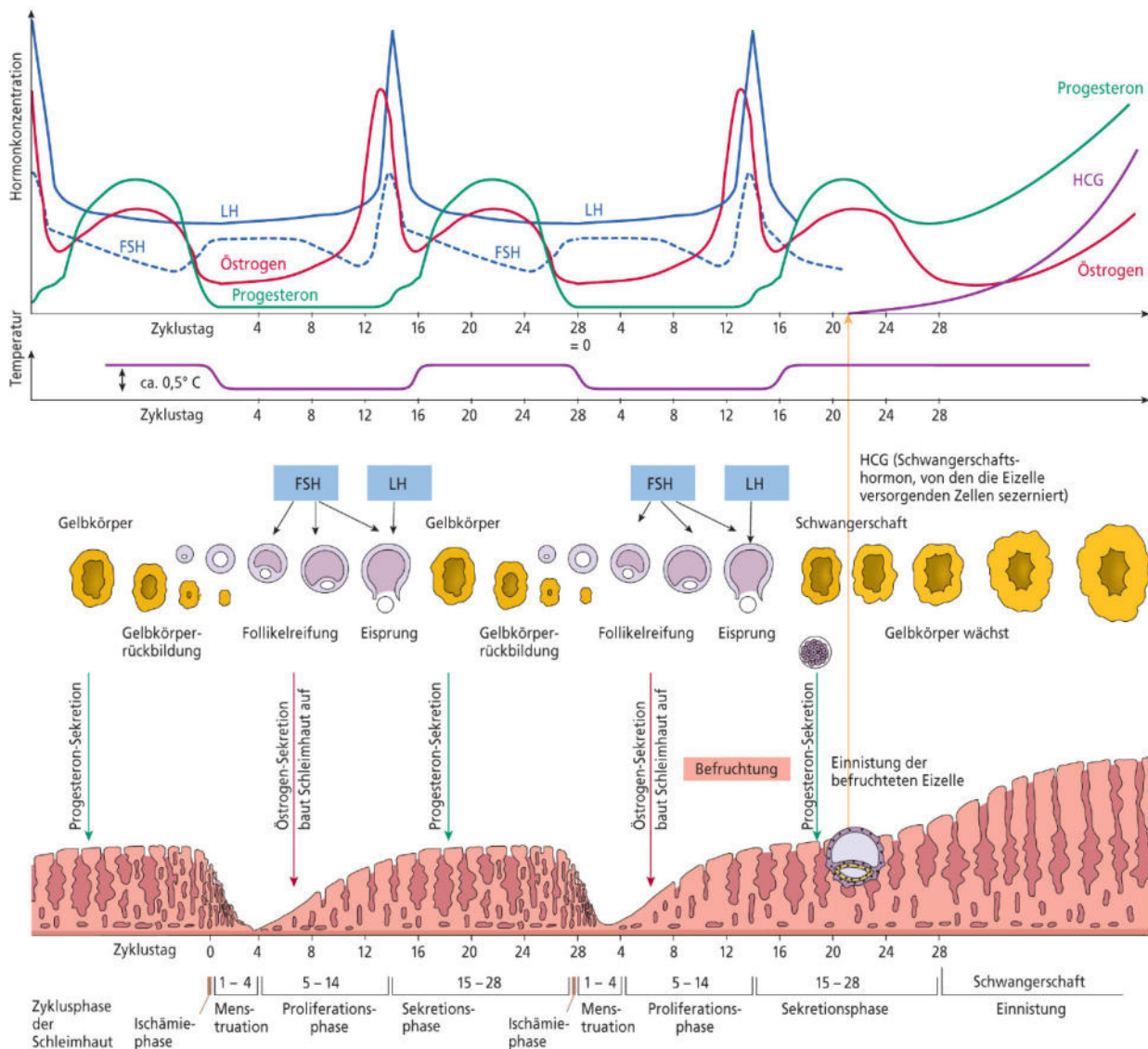


Abb. 4.198 Schema der wichtigsten hormonellen Veränderungen und deren Effekte auf die Gebärmutterwand und die Eierstöcke während des Menstruationszyklus und in der Schwangerschaft [L190]

Die Veränderungen in den FSH- und LH-Spiegeln bewirken die **zyklischen Veränderungen** im Ovar, die eine Änderung der Konzentration der weiblichen Sexualhormone herbeiführen (> Abb. 4.200). Durch diese Änderung wiederum wird die Uterusschleimhaut und damit der Menstruationszyklus beeinflusst. In der **ersten Zyklushälfte (Follikelphase)** werden im Ovar einige Follikel zur Reifung angeregt und beginnen mit der Produktion von **Östrogenen** (*Theca folliculi*; > Kap. 4.12.2, Abschnitt „Eierstock“). Die Östrogene bewirken einen **Wiederaufbau der Gebärmutterwand** und sind letztendlich auch für den **Eisprung** verantwortlich. Von den vielen reifenden Follikeln erreicht schließlich nur einer das sprunghafte Stadium.

Die **zweite Zyklushälfte (Gelbkörperphase)** steht sehr stark unter der Wirkung der Hormonproduktion des Gelbkörpers. Der Gelbkörper entsteht in dieser Phase unter der Wirkung von **LH** und fängt dann an, reichlich **Progesteron** zu produzieren. Das Progesteron ist dafür verantwortlich, dass die Uterusschleimhaut in aufgebautem Zustand **erhalten bleibt**. Bleibt eine Befruchtung aus, geht der **Gelbkörper zugrunde** und die für den Erhalt der Uterusschleimhaut notwendige **Progesteron-Produktion versiegt**. Es folgt die **Hormonentzugsblutung** durch Abstoßung der Funktionalis und der Beginn eines neuen Zyklus.

Progesteron- und Östrogen-Produktion

Info: Der genetische Code ist weitgehend universell, das bedeutet, dass er in allen Organismen - mit wenigen Ausnahmen - identisch ist.

re Codons für die gleiche Aminosäure stehen können (zum Beispiel kodieren UCU, UCA, UCG und UCC alle für Serin). Außerdem ist der genetische Code **universell**, das bedeutet, dass er in allen Organismen **identisch** ist.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Eine Ausnahme ist die mitochondriale DNA (> Kap. 5.3.5), die kleine Abweichungen enthält.

Das **Startcodon** der Translation ist **AUG**, das für **Methionin** codiert, während **Stoppcodons** wie **UAA**, **UAG** und **UGA** das Ende der Translation signalisieren.

EPISCHE ESELSBRÜCKEN Auf die Plätze: **Go! AUG** ist der Startschuss für die Proteinbiosynthese.

MedAT-GEHEIMTIPP Folgende Themen wurden bereits geprüft: Methionin, Definition Gen, Introns, Exons, prozentualer Anteil der Stoppcodons am gesamten Genom (ca. 0,00187%), DNA-Methylierung (> Kap. 6.7) und weitere allgemeine Konzepte der Epigenetik. Die **Code-Sonne** wurde bereits zweimal geprüft. 2025 hat war die richtige Antwort zu einer Frage dieses Themas, dass verschiedene Basentriplets (Codons) dieselbe Aminosäure codieren können (Degeneration des genetischen Codes).

MedAT-Stichwort
Aufbau eukaryotischer Gene

6.3.2 Eukaryotische Gene

Wir haben im Genetik-Kapitel den Aufbau des Genoms bei Eukaryoten (> Kap. 5.7) behandelt. Nun widmen wir uns dem Aufbau von **eukaryotischen Genen** – nicht verwechseln!

DEFINITIONEN Ein **Gen** stellt einen Abschnitt der DNA dar, der in seiner Gesamtheit für **aktive RNAs oder Proteine** codiert.

Ein Gen besteht dabei nicht nur aus der Basenabfolge, die anhand des genetischen Codes in eine Aminosäurekette übersetzt werden kann, sondern enthält weitere Bestandteile, die wir im Folgenden kurz umreißen werden.

Während die tatsächlich **kodierenden Sequenz-Abschnitte** als **Exons** bezeichnet werden, sind **Introns** Abschnitte innerhalb eines Gens, die **nicht für die Synthese von Proteinen kodieren**. Sie befinden sich zwischen den Exons und werden während des **Spleißens** aus der prä-mRNA entfernt. Damit ist es aber nicht getan.

Vor dem eigentlichen Gen befindet sich die **Promotorregion**, an die die **RNA-Polymerase** bindet, um die Transkription zu beginnen. Zusätzlich gibt es hier **regulatorische Elemente** wie **Enhancer** und **Silencer**, die die Genexpression verstärken oder abschwächen können. Als **Terminator** bezeichnet man denjenigen Abschnitt, der das Signal für die Beendigung der Transkription darstellt (> Abb. 6.13).



Abb. 6.13 Schematischer Aufbau eines Gens [L253]

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Nur wenige menschliche Gene sind intronlos. Häufig entstehen sie durch Retroposition, bei der reife mRNA über eine Reverse Transkriptase in DNA rückübersetzt und wieder ins Genom eingebaut wird. Viele solcher rückintegrierten Duplikate sind allerdings **Pseudogene** und besitzen **keine funktionellen Promotorregionen**.

6.3.3 RNA

MedAT-GEHEIMTIPP 2023 wurden allgemeine Aussagen zur RNA geprüft (nichts Kompliziertes). 2024 hingegen gab es als Antwortmöglichkeit einer Frage die **RNA-Interferenz**.

MedAT-Stichwort
RNA

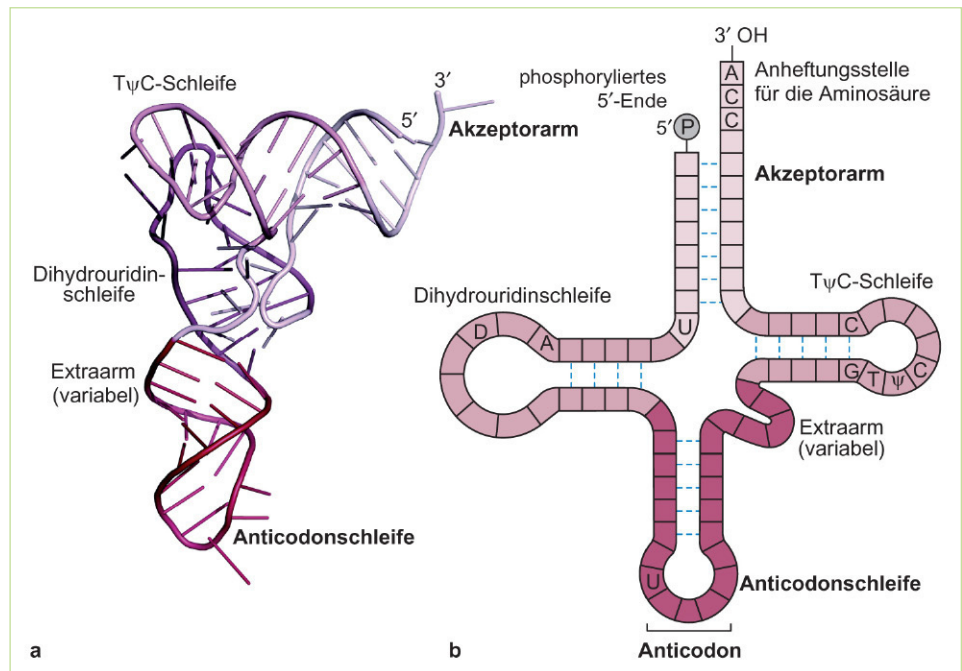


Abb. 6.19 tRNA (D = Dihydrouridin; ψ [Psi] = Pseudouridin). (a) Räumliche Darstellung. (b) Schematische Darstellung. [L299, P414]

Während der **Initiation** bindet die kleine Untereinheit des Ribosoms an das 5'-Ende der mRNA. Die **Start-tRNA**, die die Aminosäure **Methionin** trägt, bindet an das **Startcodon AUG**. Im Anschluss lagert sich die große Ribosomenuntereinheit ebenfalls an, sodass der Translationskomplex ($\rightarrow$ Abb. 6.20) vollständig ist. In der nachfolgenden **Elongationsphase** bewegt sich das Ribosom entlang der mRNA und verknüpft bei jedem Codon mithilfe der Bindung des entsprechenden **Anticodons** der passenden tRNA eine Aminosäure zunächst an das Methionin und anschließend an die jeweils nächste Aminosäure. Die Aminosäuren werden durch **Peptidbindungen** miteinander verknüpft, wodurch die Polypeptidkette aus Aminosäuren wächst.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Da eine lange Aminosäurekette vorerst in ihrer **Primärstruktur** vorliegt, Proteine und Polypeptide jedoch dreidimensional konfiguriert sind, folgt daraus, dass sich die Aminosäurekette nach ihrer Entstehung korrekt im Raum falten muss. Weil sie das nicht selbstständig kann, gibt es sogenannte **Chaperone** (franz. für „Anstandsdame“), die während und bis kurz nach der Translation das Polypeptid in seiner dreidimensionalen Ausgestaltung (Konformation) unterstützen.

Die **Termination** erfolgt, wenn das Ribosom auf ein **Stoppcodon** (UAA, UAG oder UGA) trifft. Logischerweise gibt es dementsprechend keine tRNA, die zu diesen Codons passt. Das Ribosom zerfällt in seine Untereinheiten, entlässt somit die Aminosäurekette und kann für eine neue Runde der Translation verwendet werden ($\rightarrow$ Abb. 6.20).

Nachdem die Aminosäurekette während der Translation vollständig synthetisiert und vom Ribosom freigesetzt worden ist, ist sie in vielen Fällen noch nicht funktional aktiv. Häufig werden am fertiggestellten Protein noch **posttranslationale Modifikationen** durchgeführt. Dabei handelt es sich um chemische oder strukturelle Veränderungen, die nach der eigentlichen Proteinsynthese an bestimmten Aminosäureresten des Proteins vorgenommen werden.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Zu den wichtigsten posttranslationalen Modifikationen zählen unter anderem die **Phosphorylierung**, bei der Phosphatgruppen an Serin-, Threonin- oder Tyrosinreste angeheftet werden, und die **Glykosylierung**, bei der Zuckerreste an spezifische Aminosäuren wie Asparagin, Serin oder Threonin gebunden werden. Ebenso bedeutend sind **Acetylierungen und Methylierungen**, bei denen Acetyl- oder Methylgruppen an bestimmte Aminosäuren, insbesondere Lysin- oder Argininreste, angeknüpft werden. Diese Modifikationen beeinflussen unter anderem die Interaktion von Proteinen mit DNA und tragen damit maßgeblich zur Regulation der Genexpression bei. Ein weiterer wichtiger Prozess ist die **Ubiquitinierung**, bei der Proteine durch die Anheftung des kleinen Proteins Ubiquitin an Lysinreste für den Abbau durch das Proteasom markiert werden. Schließlich erlaubt die **Lipidierung**, also das Anfügen von Lipidgruppen an Proteine, deren Verankerung in oder an Membranen und bestimmt damit ihre subzelluläre Lokalisation sowie ihre Funktionalität.

Info: Nicht alle Proteine benötigen Chaperone für die korrekte Faltung; viele Proteine falten sich nach der Translation spontan in ihre korrekte dreidimensionale Struktur, während andere auf Chaperone angewiesen sind, die die korrekte Faltung unterstützen

Ein weiteres Beispiel ist **Phosphorsäure** (H_3PO_4), die sogar drei Protonen abgeben kann:

1. $\text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}_2\text{PO}_4^-$ (Dihydrogenphosphat)
2. $\text{H}_2\text{PO}_4^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{HPO}_4^{2-}$ (Hydrogenphosphat)
3. $\text{HPO}_4^{2-} \rightarrow \text{H}^+ + \text{PO}_4^{3-}$ (Phosphat)

Mehrprotonige Säuren wie Kohlensäure sind besonders wichtig in Pufferlösungen, wie dem **Bikarbonat-puffer-System** im Blut, das den pH-Wert **konstant** hält. 

MedAT-GEHEIMTIPP Diese gezeigten Merkmale von Säuren werden gerne geprüft (bereits 2×).

Das Bikarbonat-Puffersystem hält den pH-Wert des Blutes in engen physiologischen Grenzen stabil. Er ist nicht vollkommen konstant.

20.6.4 Wichtige Säuren und Basen

DEFINITIONEN Mineralsäuren sind anorganische Säuren, die keine Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindungen enthalten und aus einfachen chemischen Elementen oder deren Verbindungen bestehen. Zu den wichtigsten gehören **Salzsäure (HCl)**, **Schwefelsäure (H_2SO_4)** und **Salpetersäure (HNO_3)**.

MedAT-Stichwort
Mineralsäuren

MedAT-GEHEIMTIPP 2024 wurde erstmals nach Ammoniak gefragt.

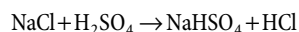
Aufgrund der Relevanz für den MedAT und insbesondere für das Medizinstudium werden wir an dieser Stelle neben Mineralsäuren auch die **Phosphorsäure (H_3PO_4)** und die **Kohlensäure (H_2CO_3)** besprechen. Darüber hinaus schauen wir uns auch **Natriumhydroxid (NaOH)** und **Ammoniak (NH_3)** als wichtige Basen an.

In  **Tab. 20.1** findet ihr eine übersichtliche Zusammenstellung.

Salzsäure

Salzsäure (HCl) ist eine **starke, klare und farblose Säure** mit einem stechenden Geruch. Sie entsteht, wenn gasförmiger **Chlorwasserstoff (HCl)** in Wasser gelöst wird.

Historisch wurde sie durch die Reaktion von Kochsalz (**NaCl**) mit Schwefelsäure hergestellt:



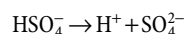
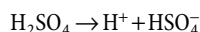
In Wasser dissoziiert Salzsäure vollständig in **Protonen (H^+)** und **Chlorid-Ionen (Cl^-)**, wodurch sie einen sehr niedrigen pH-Wert erzeugt. Zum Beispiel hat eine 100 mmol/L-Lösung von Salzsäure einen **pH-Wert von etwa 1,0**. Aufgrund dieser vollständigen Dissoziation wird Salzsäure als **starke Säure** bezeichnet.

Salzsäure ist ein wichtiger Bestandteil des **Magensaftes**, der einen pH-Wert von **0,8 bis 1,5** hat. Im Magen unterstützt sie die Verdauung, indem sie **Nahrungseiweiße denaturiert** und Krankheitserreger abtötet. Gleichzeitig aktiviert sie das Verdauungsenzym Pepsin aus seinem Vorläufer Pepsinogen.

MedAT-GEHEIMTIPP Wurde schon einmal geprüft: Was passiert, wenn man Salzsäure in Wasser gibt? Richtige Antwort: Sie dissoziiert vollständig in H_3O^+ - und Cl^- -Ionen. Dadurch steigt die H_3O^+ -Konzentration stark an, und der pH-Wert sinkt deutlich.
Bereits zweimal geprüft: Allgemeine Eigenschaften von HCl.

Schwefelsäure

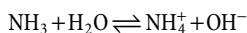
Schwefelsäure (H_2SO_4) ist eine **farblose bis leicht gelbliche, zähflüssige Säure**, die stark feuchtigkeitsbindend ist. In Wasser dissoziiert sie als **zweiprotonige Säure** in zwei Stufen. Dabei gibt sie nacheinander je ein Proton (H^+) ab:



Die zugehörigen pK_s -Werte betragen **-3,0** (erste Dissoziation) und **1,99** (zweite Dissoziation). Eine 100 mmol/L Lösung von Schwefelsäure hat aufgrund ihrer starken Dissoziation einen sehr niedrigen pH-Wert von etwa 0.

Ammoniak

Ammoniak (NH_3) ist ein farbloses Gas mit stechendem Geruch. In Wasser reagiert Ammoniak folgendermaßen:



Diese Reaktion ist reversibel und führt zu einem pH-Wert im alkalischen Bereich, jedoch deutlich unterhalb des pH-Wertes starker Basen (z. B. NaOH). Eine typische 100 mmol/L-Ammoniak-Lösung hat einen pH-Wert um etwa 11.

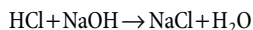
AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Ammoniak (NH_3) spielt eine wesentliche Rolle bei **Leberversagen**, weil es normalerweise in der Leber zu **Harnstoff** umgewandelt und über die Nieren ausgeschieden wird. Bei einem Leberversagen ist diese Umwandlung stark eingeschränkt, sodass sich Ammoniak im Blut anreichern kann (Hyperammonämie).

Das überschüssige Ammoniak wirkt besonders auf das **zentrale Nervensystem** toxisch und führt zu Symptomen wie Verwirrtheit, Bewusstseinsstörungen und letztlich zur sogenannten **hepatischen Enzephalopathie**. Die Verringerung des Ammoniakspiegels im Körper – etwa durch Medikamente oder eine eiweißarme Ernährung – ist daher ein wichtiger Behandlungsansatz bei Leberversagen.

20.7 Neutralisation

Die **Neutralisation** ist eine chemische Reaktion zwischen einer Säure und einer Base, bei der die Protonen (H^+) der Säure von den Hydroxid-Ionen (OH^-) der Base aufgenommen werden. Dabei entstehen Wasser (H_2O) und ein **Salz** (> Kap. 20.8).

Die Reaktion gleicht die Säure- und Baseneigenschaften der beiden Reaktanten aus, sodass die Lösung **neutral** oder nahezu neutral wird. Ein typisches Beispiel ist die Reaktion von **Salzsäure** (HCl) und **Natriumhydroxid** (NaOH):



MedAT-GEHEIMTIPP Exakt diese Neutralisationsreaktion wurde bereits geprüft.

Während die Protonen der Säure mit den Hydroxid-Ionen zu Wasser reagieren, verbinden sich das Anion der Säure und das Kation der Base zu einem Salz. In wässriger Lösung bleibt das Salz **dissoziiert** und **hydratisiert**, da die Ionen stabil von Wassermolekülen umgeben werden (> Abb. 20.4). Erst beim Verdampfen des Wassers bleibt das Salz als Feststoff zurück.

Die **Neutralisation** ist ein **exothermer Prozess**, der Wärme freisetzt (Neutralisationsenthalpie). Interessanterweise ist der Enthalpiewert unabhängig davon, ob eine starke oder eine schwache Säure mit Hydroxid-Ionen reagiert. Die messbare Erwärmung der Lösung kann jedoch variieren, abhängig von der Dissoziationsenergie der Säure und Base.

AUS DEM MEDIZINSTUDIUM Die **Neutralisation von Magensäure** ist ein Beispiel aus der Medizin. Magensäure besteht aus Salzsäure mit einem sehr niedrigen pH-Wert von 0,8 bis 1,5.

Überschüssige Magensäure, wie sie bei Stress, Ernährungseinflüssen oder einer Infektion mit *Helicobacter pylori* entstehen kann, wird oft durch sogenannte **Antazida** neutralisiert. Diese basischen Substanzen, wie **Magnesiumhydroxid**, **Calciumcarbonat** oder **Aluminiumhydroxid**, reagieren mit der Salzsäure zu neutralem Wasser und einem Salz, wodurch der pH-Wert im Magen **erhöht**, also alkalischer (basischer) wird. Allerdings wirken diese Substanzen nur symptomatisch und beheben nicht die Ursache der Übersäuerung.

20.8 Salze

DEFINITIONEN **Salze** sind chemische Verbindungen, die aus **positiv geladenen Kationen** und **negativ geladenen Anionen** bestehen. Sie werden in kondensierter Form per **ionischer Bindungen** zusammengehalten, wobei das geläufigste Salz Natriumchlorid (NaCl , Kochsalz) ist.

MedAT-Stichwort
Salze

MedAT-Stichwort
Dichte

korrekt muss es lauten:
mehr

26.8.2 Dichte

Generell gilt für Stoffe, dass sie unterschiedliches Volumen einnehmen können und unterschiedliche Formen und Volumina haben können. Darüber hinaus können sie sogar unterschiedliches Gewicht haben, je nachdem, wie stark die lokale Gravitation ist. Beispielsweise wiegt ein Astronaut auf der Erde ~~weniger~~ als auf dem Mond, weil die Gravitation auf dem Mond bedeutend schwächer ist. All diese Faktoren können unberücksichtigt bleiben, wenn wir die **Dichte ρ** eines Stoffes oder Körpers betrachten. Sie beschreibt, wie viel Masse ein Stoff pro Volumeneinheit besitzt. Die Dichte wird definiert als das Verhältnis von Masse m zu Volumen V :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Dabei ist:

- ρ : Dichte (kg/m^3)
- m : Masse der Flüssigkeit (kg)
- V : Volumen der Flüssigkeit (m^3)

Die Dichte gibt also an, **wie kompakt** die Materie in einem bestimmten Volumen konzentriert ist. Flüssigkeiten haben im Vergleich zu Gasen eine deutlich höhere Dichte, da ihre Moleküle eng gepackt sind. Die Dichte hängt von der Temperatur und, in geringem Maße, vom Druck ab. Mit steigender Temperatur nimmt die Dichte von Flüssigkeiten ab, da sich die Moleküle durch thermische Bewegung weiter voneinander entfernen. Die Dichte von Wasser beträgt bei 4°C etwa 1000 kg/m^3 und wird oft als Standardwert genutzt. Andere Flüssigkeiten, wie zum Beispiel Alkohol ($\approx 800 \text{ kg/m}^3$) haben geringere Dichten, was sich auf ihre Strömungseigenschaften auswirkt.

26.8.3 Strömungsgeschwindigkeit und Kontinuitätsgleichung

Die Begriffe **Strömungsgeschwindigkeit** und die **Kontinuitätsgleichung** können wir aus allen bereits besprochenen Größen und Konzepten herleiten. Sie beschreiben, wie schnell sich eine Flüssigkeit bewegt und wie sich die Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Querschnitt des Strömungsweges verändert.

Die **Strömungsgeschwindigkeit v** gibt an, wie schnell sich eine Flüssigkeit durch ein bestimmtes Volumen bewegt. Sie wird in der Einheit Meter pro Sekunde (m/s) gemessen. Die Geschwindigkeit hängt dabei von der treibenden Kraft, den Eigenschaften der Flüssigkeit und den geometrischen Bedingungen des Strömungskanal ab.

Wie wir bereits in [Kap. 26.8.1](#) gelernt haben, kann die **Volumenstromstärke** sowohl als verschobenes Volumen pro Zeiteinheit als auch in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeit angegeben werden. Die **Kontinuitätsgleichung** beschreibt nun die Erhaltung der Masse in einem Strömungssystem. In einem geschlossenen System bleibt der Volumenstrom konstant, unabhängig davon, ob der Querschnitt des Strömungskanal variiert ([Abb. 26.6](#)). Dies bedeutet, dass eine Flüssigkeit in einem engeren Abschnitt schneller fließen muss, um dieselbe Menge an Flüssigkeit pro Zeit durchzuleiten.

Analog zur Definition der Volumenstromstärke ergibt sich daher die Gleichung:

$$Q = A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

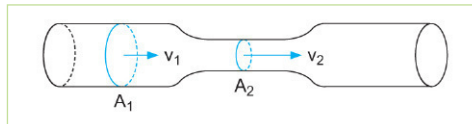


Abb. 26.6 Kontinuität der Volumenstromstärke [L253]

Aus der Gleichung wird ersichtlich, dass sich die Geschwindigkeit v umgekehrt proportional zur Querschnittsfläche A verhält. Wenn sich der Querschnitt halbiert, verdoppelt sich die Strömungsgeschwindigkeit. Die Produkte müssen dabei konstant bleiben, da der Volumenstrom in einem geschlossenen System unabhängig vom Querschnitt konstant bleibt.

26.8.4 Hydrodynamisches Paradoxon: Das Gesetz von Bernoulli

MedAT-Stichwort
Gesetz von Bernoulli

MedAT-GEHEIMTIPP Auch hierzu gab es schon Prüfungsfragen. Zum Beispiel musste man einmal ein Diagramm zur Strömungsgeschwindigkeit im Verhältnis zum Durchmesser der Rohröffnungen interpretieren.

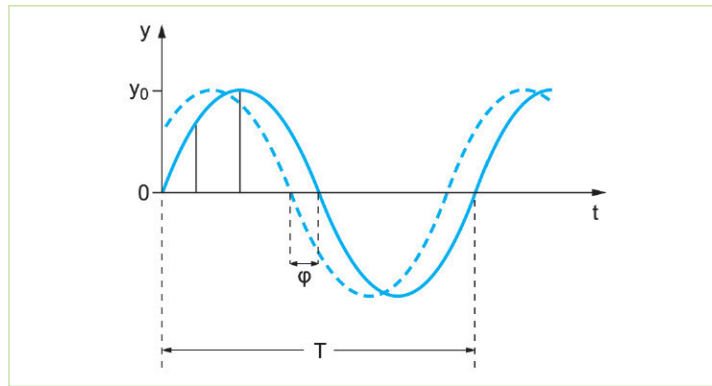


Abb. 27.2 Verlauf einer harmonischen Schwingung der Form [L253]

dann würden sich Berge und Täler der Kurve über eine schier endlose Strecke auf dem Blatt Papier erstrecken.

tig für das Aussehen der Sinuskurve. Würde er sie nämlich mit Lichtgeschwindigkeit wegziehen, ~~dann wäre nur eine horizontale Linie auf oder parallel der x-Achse auf dem Blatt Papier zu sehen.~~ Zieht er sie hingegen mit der Geschwindigkeit der Kontinentaldrift (ca. 10 cm pro Jahr), dann wären die Berge und die Täler der Sinuskurve ganz, ganz eng beieinander. Diese Eigenschaft der Sinuskurve nennt man auch die Kreis- bzw. die Winkelfrequenz. Sie ist definiert durch

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

Wobei ω (Omega) die **Winkelfrequenz**, π bekanntlich die Kreiszahl und f die Frequenz (1/s) darstellt. Amplitude und Winkelfrequenz zusammengekommen ergibt den **Momentanwert** $y_{(T)}$ der Schwingung

$$Y_{(T)} = Y_0 \cdot \sin(\omega T + \phi)$$

T ist, wie wir schon gelernt haben, die **Periodendauer** (hier 1 s). Das ϕ (Phi) ist der **Phasenwinkel**. Ein Wert, der die Verschiebung auf der Zeitachse angibt, wenn zwei Schwingungen zeitlich versetzt auf das gleiche Koordinatensystem aufgetragen werden bzw. an einem anderen Startpunkt als $P_0(0|0)$ beginnen – hat also mit dem obigen Beispiel nichts zu tun, wurde aber der Vollständigkeit halber in die Formel eingefügt. Wir werden darauf in ➤ Kap. 28.4 zurückkommen.

Aber was hat das alles mit einem Fadenpendel zu tun?

27.2.4 Fadenpendel 3.0

Weil wir es jetzt so intensiv abgehandelt haben, prüfen wir nun, ob das Fadenpendel harmonisch schwingt. Wo waren wir stehengeblieben? Bei

$$F_0 = F_g \cdot \sin(\alpha)$$

Wie wir beim Federpendel gesehen haben, sind **harmonische Schwingungen** mit dem **Hook'schen Gesetz** beschreibbar. Deswegen müssen wir die obige Formel jetzt umformen. Statt dem Winkel α wünschen wir uns deshalb erstmal eine Strecke s , wie sie auch beim Hook'schen Gesetz vorkommt.

Dafür muss man wissen, wie man die Länge eines Kreisbogens, die hier durch die Bewegung des Fadenpendels beschrieben wird, berechnet. Das **Bogenstück** ist diejenige geschwungene Linie, die man erhält, wenn man die exakte Bewegung der Punktmasse von seinem Ruheort zu seinem Auslenkungsort nachzeichnet. Die Formel für die **Länge des Kreisbogens** s ist:

$$s = 2 \cdot \pi \cdot L \cdot \left(\frac{\alpha}{2 \cdot \pi} \right)$$

VERSTÄNDNIS* Dazu eine Erläuterung:

Der Kreisumfang U ist bekanntlich durch $2 \cdot \pi \cdot r$ gegeben. In diesem Fall ist der Radius r die **Länge L des Fadenpendels**, also

$$U = 2 \cdot \pi \cdot L$$

Mit dieser Formel beschreibt man aber die gesamte Kreislänge, also den Umfang, den eine gesamte Umdrehung des Fadenpendels hätte. Wir wollen aber nur die Strecke s , die lediglich ein **Teil des Umfangs** ist. Diese Strecke hat hier denselben Anteil am Umfang $2 \cdot \pi \cdot L$ wie der Winkel α an der Kreislänge $2 \cdot \pi$. Genauer bedeutet das, dass s dasselbe Verhältnis zu U hat, wie α zu $2 \cdot \pi$. Deshalb multipliziert man U einfach mit dem Verhältnis $(\alpha / 2 \cdot \pi)$ und bekommt dadurch genau die Strecke s , deren Anteil am Kreisumfang den wir uns wünschen.

Des Weiteren verändert sich logischerweise auch das Verhältnis nicht, wenn man den Radius des Kreises verändert. Bei der Berechnung, wenn man sie denn täte, wäre es wichtig, für α das Bogenmaß (nicht den Winkel) einzusetzen, da Winkelgeraden nicht dasselbe wie Strecken sind.

≤

Technetium ($Z = 43$)
Promethium ($Z = 61$).
Somit existieren 80 Elemente
mit mindestens einem stabilen
Isotop.

MedAT-Stichwort
Kosmische Strahlung

Im Periodensystem finden sich radioaktive Elemente vor allem unter den **Actinoiden**, also in der letzten Reihe des Periodensystems. Beispiele sind Uran ($Z = 92$) und Plutonium ($Z = 94$), die beide durch ihre Fähigkeit zur Kernspaltung in der Energiegewinnung genutzt werden können. Neben diesen natürlich vorkommenden radioaktiven Elementen gibt es auch zahlreiche künstlich erzeugte Radionuklide, die durch Kernreaktionen in Laboren oder Reaktoren hergestellt werden können. Ein Blick ins Periodensystem zeigt: Alle Elemente mit $Z > 82$ zeigen radioaktiven Zerfall. ~~Von denen mit $Z < 82$ gibt es nur zwei, die radioaktiv sind: Technetium und Promethium.~~ Somit gibt es 80 verschiedene stabile Elemente (> Abb. 34.2).

34.6 Kosmische Strahlung

Kosmische Strahlung ist die Strahlung des Weltraums und stammt vorwiegend aus Bereichen **jenseits unseres Sonnensystems**. Diese hochenergetische Strahlung wird in zwei Kategorien unterteilt: Primäre kosmische Strahlung und sekundäre kosmische Strahlung. Die **primäre kosmische Strahlung** besteht aus energiereichen Teilchen, hauptsächlich Protonen, aber auch schwereren Kernen wie Helium oder Eisen. Diese stammen aus verschiedenen Quellen im Universum, wie Supernovae, Pulsaren oder aktiven Galaxienkernen, wo sie auf nahezu Lichtgeschwindigkeit beschleunigt werden. Wenn diese Teilchen auf die Erdatmosphäre treffen, kollidieren sie mit Molekülen wie Stickstoff oder Sauerstoff und erzeugen dabei neue Teilchen. Ergebnis ist die **sekundäre kosmische Strahlung**, die aus Myonen, Pionen, Elektronen und Gammastrahlung besteht.

Die Intensität der kosmischen Strahlung hängt stark von der **Höhe und der geografischen Position** ab. Wenn ihr euch in größeren Höhen, wie in Flugzeugen oder auf Bergen befindet, ist die Strahlung deutlich intensiver, da die dämpfende Wirkung der Atmosphäre geringer ist. Auch die magnetischen Pole der Erde sind stärker betroffen, da das Magnetfeld die Teilchen an den Polen leichter durchlässt. Diese Strahlung stellt ein besonderes Problem für **Astronauten** dar, die außerhalb der schützenden Erdatmosphäre unterwegs sind und dort einer wesentlich höheren Dosis ausgesetzt sind. Aber so hoch muss man nicht einmal hinaus: Die Strahlenbelastung eines durchschnittlichen Transatlantikflugs entspricht etwa 0,03 bis 0,1 Millisievert (mSv) pro Flug – das entspricht in etwa der Strahlendosis, die man durch die natürliche Hintergrundstrahlung an einem bis fünf Tagen erhält oder der Dosis von ein bis zwei Röntgenthoraxaufnahmen.