

Veterinärmedizin

für

Tiermedizinische Fachangestellte

D. Schoon
J. Seeger
F.-V. Salomon

4 Anatomie und Physiologie

4.1 Einführung

(F.-V. Salomon)

Die Anatomie ist ein Teilgebiet der Morphologie.

Morphologie ist die Wissenschaft vom Bau und von der Gestalt der Tiere (Formenlehre) und ihrer Organe (Organlehre).

Die Morphologie umfaßt die Teilgebiete Anatomie, Histologie, Zytologie und Embryologie.

Anatomie lehrt das Zerlegen eines Körpers in seine Bestandteile. Diese Bestandteile werden mit eindeutigen und in der anatomischen Nomenklatur festgelegten Begriffen beschrieben. Dabei werden der Bau und die Funktion stets als Einheit gesehen ("funktionelle Anatomie"). Die Anatomie, die sich mit dem Bau der Haustiere befaßt, ist die "Veterinäranatomie".

Die Veterinäranatomie wird betrieben als:

1. **Beschreibende, deskriptive** oder **systematische Anatomie**. Hierbei werden durch Zergliederung des Tierkörpers dessen Teile nach Lage, Befestigung, Größe, Form, Farbe, Konsistenz... beschrieben und nach funktionellen Kriterien den Organsystemen zugeordnet.
2. **Vergleichende Anatomie**. Diese vergleicht den Bau verschiedener Tierarten. Die Veterinäranatomie vergleicht den Bau der Haustierarten Pferd, Rind, Schaf, Ziege, Schwein, Hund, Katze sowie der Haus- und Wirtschaftsgelügelarten Huhn, Truthuhn, Taube, Ente und Gans (Vergleichende Anatomie der Haustiere).
3. **Topographische Anatomie**. Hier erfolgt die Beschreibung der Organe im Hinblick auf ihre Platzierung in den Regionen des Tierkörpers sowie auf ihre Lagebeziehungen untereinander ohne Berücksichtigung der Zugehörigkeit zu den Organsystemen.
4. **Angewandte** oder **Klinische Anatomie**. Diese beschreibt den Bau des Tierkörpers als Grundlage für diagnostische und therapeutische Handlungen am Tier.

Die Anatomie bedient sich nicht optischer Hilfsmittel und wird deshalb zur Abgrenzung gegenüber der Histologie auch **makroskopische Anatomie** genannt.

Histologie ist die Gewebelehre. Sie gliedert sich in die allgemeine Histologie und die spezielle Histologie oder **mikroskopische Anatomie**. Sie bedient sich des Licht- und des Elektronenmikroskopes. Mit dem Lichtmikroskop können Strukturen bis zu einer Größe von etwa 0,1 Mikrometer erkannt werden. Im Elektronenmikroskop können kleinste Objekte bis zur Größe von 0,1 nm dargestellt werden.

Zytologie ist die Zellenlehre. Die Zelle ist die kleinste Bau- und Funktionseinheit der Lebewesen. Sie besitzt die Grundeigenschaften der lebenden Materie.

Die **Hierarchieebenen** im Aufbau des Tierkörpers sind Zelle – Gewebe – Organ – Organsystem – Individuum.

Embryologie ist die Lehre von der Entwicklung der Individuen von der Befruchtung bis zur Geburt. Diese Phase wird auch als pränatale oder intrauterine Entwicklung bezeichnet. Pränatale und postnatale Lebensphase sind Abschnitte der Entwicklungsgeschichte des Individuums (Ontogenese).

Physiologie ist die Lehre von den Lebensvorgängen oder der Funktionsweise der Organismen. Das Gebiet wird in eine allgemeine und eine spezielle Physiologie gegliedert.

Die **allgemeine Physiologie** befaßt sich mit den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Lebensvorgänge vorwiegend im Bereich der Zelle (**Zellphysiologie**), die für alle Tierarten von prinzipieller Bedeutung sind. Dazu zählen z.B. die Wirkungsmechanismen von Hormonen und Enzymen.

Die **spezielle Physiologie** untersucht die Funktion einzelner Organe (**Organphysiologie**) und deren Zusammenwirken im Gesamtverband des Organismus.

Die **Veterinärphysiologie** ist eine vergleichende Physiologie der Haustiere.

4.2 Tierische Zelle

(J. Seeger)

Die Zelle ist die funktionelle Grundeinheit der Lebewesen. Sie besteht aus dem **Zytoplasma**, in das die Zellorganellen und Einschlüsse eingelagert sind, und dem **Zellkern, Nucleus**. Im Zytoplasma findet der Hauptanteil des Zellstoffwechsels, der Energieumsatz und die Zellatmung statt. Eine **Zellmembran (Plasmalemma)** grenzt die Zelle von den Nachbarzellen ab (Abb. 1, 2).

- oberflächlichen **Membranpolysacchariden (Glykokalix)** Glykokalix besitzt Rezeptoren zur Aufnahme von chemischen Signalstoffen (Hormonen) und zur Erkennung körperfremder- und körpereigener Zellen (Abb. 1).

Spezifische Ausbildungen der Zellmembran sind:

- **Mikrovilli** in Form von Bürstensäumen, die auf ihrer Oberfläche eine Glykokalix tragen, dienen der Resorption (Dünndarm, Gallenblase)

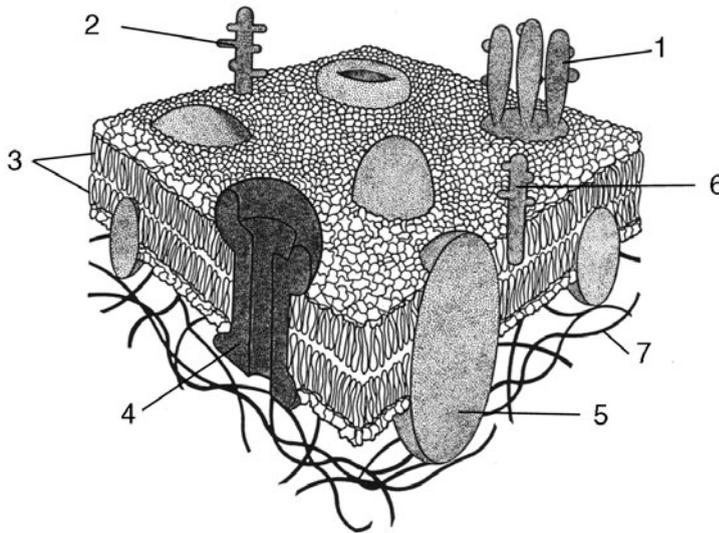


Abb. 1
Schema der Zellmembran
(nach STEVENS und LOWE, 1992)

- 1 Glykoprotein
- 2 Glykolipid
- 3 Lipid-Doppelschicht
- 4 Kanalprotein
- 5 Membranprotein
- 6 Glykolipid, Glykokalix
- 7 Filamente

4.2.1 Zellmembran

Die Zellmembran besteht aus:

- einer **Lipid-Doppelschicht** mit einem wasseranziehenden (hydrophilen) Anteil und 2 hydrophoben Kohlenwasserstoffketten
- eingebauten **Membranproteinen** (Transportproteine, Enzyme, spezifische Rezeptorproteine)

- **Kinozilien**, bewegliche Zellfortsätze (Atemwege/ respiratorisches Epithel, Eileiter; besitzen ein Grundgerüst aus 2 zentralen Mikrotubuli und 9 peripheren Tubuluspaaren (9 x 2 + 2 - Schema); Kinozilienbasis der 9 Doppeltubuli geht in Kinetosom über (Steuerung), Kinozilien transportieren Stoffe oder Zellen
- **Stereozilien**, lange mikrovilliartige Zellausläufer ohne tubuläre Innenstruktur, dienen der Oberflächenvergrößerung und sind an Sekretions- und Resorptionsprozessen beteiligt (Nebenhodengang).

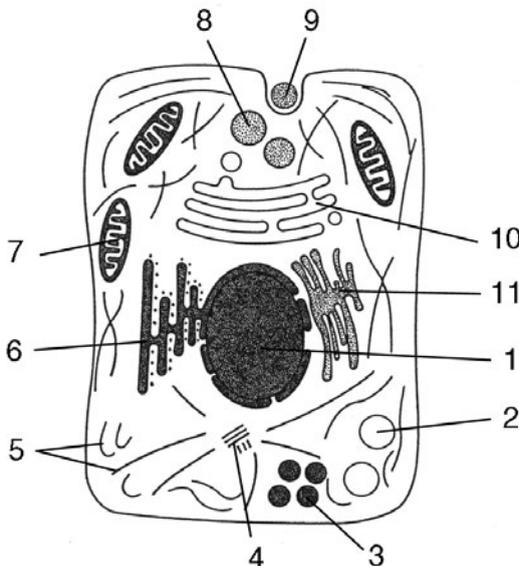


Abb. 2
Zelle (nach STEVENS und LOWE, 1992)

- 1 Zellkern
- 2 Lysosom
- 3 Peroxisom
- 4 Zentriol
- 5 Filamente
- 6 raues endoplasmatisches Retikulum
- 7 Mitochondrium
- 8 Paraplasma
- 9 Aufnahme eines Vesikels
- 10 Golgi-Apparat
- 11 glattes endoplasmatisches Retikulum

Verbindungen zwischen benachbarten Zellen sind:

- **Desmosomen**, scheibenförmige Haftplatten, Verdichtungen der Oberflächenmembran durch intrazytoplasmatische Filamente verstärkt
- **Schlussleisten** (*Zonulae occludentes*) sind an den apikalen Abschnitten oberflächlicher Deckzellen ausgebildet, bilden eine wichtige Stoffwechselbarriere
- **Nexus** (*gap junctions*), ermöglichen einen direkten Austausch von bestimmten Stoffen durch kleine Kanälchen zwischen benachbarten Zellen, interzellulärer Spalt ist sehr klein

Am basalen Zellpol können Einfaltungen und **Semidesmosomen** ausgebildet sein. Eine Vergrößerung der basalen Zellfläche gewährleistet einen hohen Ionenaustausch.

4.2.2 Zellkern

Der Zellkern ist das größte Zellorganell und Träger der genetischen Information. Diese ist in den desoxyribonukleinsäure(DNA)-haltigen, bei der Zellteilung entstehenden **Chromosomen** gespeichert. Die DNA-Stränge sind um bestimmte Proteine (*Histone*) gewickelt und bilden perlschnurartig aufgereihte Strukturen, die **Nukleosomen**. In der Kernruhephase kann das Chromatin in 2 Formen auftreten:

- **Euchromatin**, die funktionell transkriptionsaktiven DNA-Abschnitte erscheinen nur schwach elektronendicht und wenig angefärbt
- **Heterochromatin**, erscheint als stark elektronendichtes dunkel gefärbtes Material, liegt meist der Kernmembran eng an und ist funktioneller Ausdruck der genetisch inaktiven Chromosomenabschnitte und einer reduzierten Stoffwechselaktivität.

Das **Geschlechtschromatin** (Sex-Chromatin) der weiblichen Zellen ist eine Sonderform des Chromatins. Es kann als trommelschlegelartiger Anhang des Zellkerns in neutrophilen Granulozyten auftreten.

Der Zellkern enthält das **Kernkörperchen**, *Nucleolus*. Er synthetisiert ribosomale Untereinheiten, die in das Zytoplasma abgegeben werden. Der Nucleolus besitzt keine eigene Hülle und liegt frei im **Kernplasma**, *Karyoplasma*. Der Zellkern wird von einer zweischichtigen **Kernhülle** (*Nucleolemma*) umschlossen. Zwischen der inneren und der äußeren Kernmembran ist ein perinukleärer Raum ausgebildet, der in das Tubulussystem des endoplasmatischen Retikulums einmündet. Die Kernhülle wird von zahlreichen **Kernporen** durchsetzt, die dem Stoffaustausch zwischen Kernplasma und Zytoplasma dienen.

4.2.3 Zellorganellen

Die Zellorganellen sind von Biomembranen umgeben. Sie bewirken eine Kompartimentierung des Grundplasmas (Abb. 2).

Mitochondrien

Mitochondrien sind von einer Doppelmembran umgebene zylindrische Zellorganellen. Sie produzieren durch oxidative Phosphorylierung Energie und bilden spezielle Stoffwechsellzyme. Mitochondrien besitzen eine eigene DNA und können sich durch Querteilung vermehren. Die spezifische Leistung ist an die Mitochondrienmatrix und die innere Mitochondrienmembran gebunden. Die Mitochondrienmatrix enthält eine große Anzahl von Enzymen, die extrachromosomale DNA und Ribonukleinsäuren.

Die innere Mitochondrienmembran ist in Form von leistenartigen Falten (**Leistentyp**, *Crista-Typ*) oder von tubulären Einstülpungen (**Schlauchtyp**, *Tubulus-Typ*) ausgebildet. Der Leistentyp ist wesentlich häufiger und insbesondere in stoffwechselaktiven Zellen vertreten.

Der Schlauchtyp tritt vorwiegend in Zellen auf, die Steroidhormone produzieren. Die äußere Mitochondrienmembran ist eine typische Biomembran, die spezielle Transportproteine enthält.

Leberzellen können je nach Stoffwechselleistung bis zu 3000 Mitochondrien enthalten.

Ribosomen

Ribosomen liegen als kleine runde elektronendichte Granula entweder einzeln im Zytoplasma oder bilden spiralförmige Ketten, die Polyribosomen. Sie bestehen aus einer größeren und einer kleineren Untereinheit. Ribosomen sind oft außen an die Membranen des endoplasmatischen Retikulums gebunden. Sie bilden aus einzelnen Aminosäuren Polypeptidketten und sind für die zytoplasmatische Proteinbildung verantwortlich. Zahlreiche Ribosomen bewirken eine starke Anfärbbarkeit des Zytoplasmas mit basischen Farbstoffen wie z. B. Methyleneblau.

Endoplasmatisches Retikulum und Golgi-Apparat

Das **endoplasmatische Retikulum** (ER) und der **Golgi-Apparat** bilden ein miteinander kommunizierendes membranöses System von kleinen Säckchen oder Schläuchen. Sie dienen dem Transport und der Synthese von Proteinen und Lipiden sowie komplexer Kohlenhydrate.

Es werden zwei Formen des ER unterschieden:

- **raues granuläres endoplasmatisches Retikulum**, besitzt zahlreiche Ribosomen an der äußeren Membran, verbreitet in Zellen mit hoher Proteinsynthese
- **glattes endoplasmatisches Retikulum**, besteht aus Tubuli, die an der Oberfläche keine Ribosomen aufweisen, besitzt Enzyme zur Zellentgiftung, häufig in Zellen mit hohem Lipidstoffwechsel (Leberzellen).

Golgi-Apparat

Der **Golgi-Apparat** besteht aus Membransäckchen, die sich zu Golgi-Feldern anordnen. Der Innenraum ist häufig zisternenartig erweitert. An den Enden werden Vesikel abgeschnürt. Der Golgi-Apparat ist vorwiegend in Kernnähe lokalisiert. In Drüsenzellen ist der Golgi-Apparat besonders gut ausgebildet. Er dient der Endsynthese, Weiterverarbeitung und dem intrazellulären Transport von Makromolekülen aus dem glatten ER. In Drüsenzellen fungiert er auch als Stapelorgan für Sekrete.

Lysosomen

Lysosomen sind runde oder ovale Zellorganellen. Sie werden von einer einfachen Hüllmembran umschlossen. Sie enthalten eine Vielzahl von hydrolytischen Enzymen (saure und alkalische Phosphatasen, Peptidasen, Ribonukleasen u. a.). Sie fungieren als intrazelluläres Verdauungssystem. Die Abbauprodukte gelangen in das Zytoplasma und werden in den Zellstoffwechsel einbezogen. Verbleiben aufgenommene Stoffe in den Lysosomen, dann können endogene Pigmente wie das Alterspigment (**Lipofuszin**) entstehen.

Es werden 2 Formen von Lysosomen unterschieden:

- **Primäre Lysosomen** sind enzymatisch nicht aktivierte Lysosomen. Es sind kleine Bläschen, die mit dem zu verdauenden Substrat noch keinen Kontakt hatten und aus den Zisternen des Golgi-Apparates entstehen. Sie können aus der Zelle ausgeschleust werden und extrazellulär Substanzen abbauen.
- **Sekundäre Lysosomen** haben mit Substraten Kontakt gehabt und beinhalten aktivierte hydrolytische Enzyme.

Verschmilzt ein in die Zelle aufgenommenes Vesikel (**Phagosom**) mit einem primären Lysosom, dann entsteht ein **Phagolysosom**. Nach Aufnahme zelleigener Membranen oder Organellen entsteht eine von einer einfachen Membran umgebene autophagische Vakuole. Werden diese Vakuolen von Lysosomen aufgenommen spricht man von **Autophagie**. Es entstehen **Autophagolysosomen**.

Peroxisomen

Peroxisomen sind kleine von einer einschichtigen Membran umhüllte Zellorganellen, die oxidative Enzyme enthalten. Sie beteiligen sich am Stoffabbau und zellulären Entgiftungsreaktionen. Sie sind in Leber- und Nierenzellen besonders häufig.

Zentriolen

Die zylinderförmigen **Zentriolen** setzen sich aus 9 Triplet-Mikrotubuli (9x3-Muster) zusammen. Sie sind in Kernnähe neben dem Golgi-Apparat lokalisiert. Vor der Zellteilung kommt es zu einer Verdoppelung der Zentriolen. Sie steuern die Ausbildung des **Spindelapparates** während der Zellteilung. Zentriolen bilden das Zytozentrum der Zelle und bestimmen ihre Polarität.

Zytoskelett

Das **Zytoskelett** besteht aus Proteinen, die sich an die Zellmembran heften und ein dreidimensionales Stützgerüst ausbilden. Sie verleihen der Zelle eine hohe Stabilität.

Nach der Stärke ihrer Filamente unterscheidet man:

- **Mikrofilamente**, besitzen einen kleinen Durchmesser und bestehen aus dem Eiweiß Aktin
- **Intermediärfilamente**, variieren von Zelltyp zu Zelltyp (Tonofilamente in Epithelzellen, Neurofilamente in Nervenzellen)
- **Mikrotubuli**, sehr große Filamente; z. B. in Kinozilien.

Paraplasma

Exogen aufgenommene und endogene Restprodukte des Zellstoffwechsels werden als **Paraplasma** bezeichnet. Paraplasmatische Zelleinschlüsse sind tierische Stärke (Glykogen), Fette, Eiweißkristalle und das Alterspigment, Lipofuszin.

Zellteilung, Mitose

Eine Mutterzelle kann sich in 2 genetisch identische Tochterzellen mit gleichen morphologischen und funktionellen Eigenschaften teilen. Die im Zellkern lokalisierten Gene werden auf die Tochterzellen gleichmäßig verteilt. Diese Form der Zellteilung wird als **Mitose** bezeichnet. Der Kernteilung folgt die Teilung des Zytoplasmas.

Eine Vervielfachung des Chromosomensatzes ohne anschließende Kern- oder Zellteilung ist eine **Endomitose**.

Reifeteilung, Meiose

Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung der Säuger kommt es während der Befruchtung zur Verschmelzung der Eizelle mit einem Spermium. Um eine Verdoppelung des Chromosomensatzes zu vermeiden, wird der diploide Chromosomensatz der Keimzellen vor der Befruchtung halbiert (**haploider Chromosomensatz**). Der haploide Chromosomensatz entsteht bei der Reifeteilung, **Meiose**.

Die Reifeteilung gliedert sich in 2 Phasen:

- **Reduktionsteilung**, entsteht eine Keimzelle mit haploiden Chromosomensatz aber noch doppelter Chromosomenmenge
- **Äquationsteilung**, entsteht der haploide Chromosomensatz der Keimzellen.

Generationszyklus

Der **Generationszyklus** beginnt mit der Zellteilung. Es folgt eine Wachstumsphase (Interphase) und abschließend eine erneute Zellteilung.

Die **Interphase** gliedert sich in 3 Abschnitte:

- G1-Phase, Phase vor der DNS-Verdoppelung
- S-Phase, Synthesephase der DNS
- G2-Phase, Phase nach DNS-Verdoppelung bis zur Zellteilung.

4.3 Gewebelehre, Histologie

(J. Seeger)

Strukturell und funktionell ähnlich differenzierte Einzelzellen bilden Zellverbände, die **Gewebe**. Sie können feste Stoffe (Fasern) oder Körperflüssigkeiten (Blutplasma) bilden.

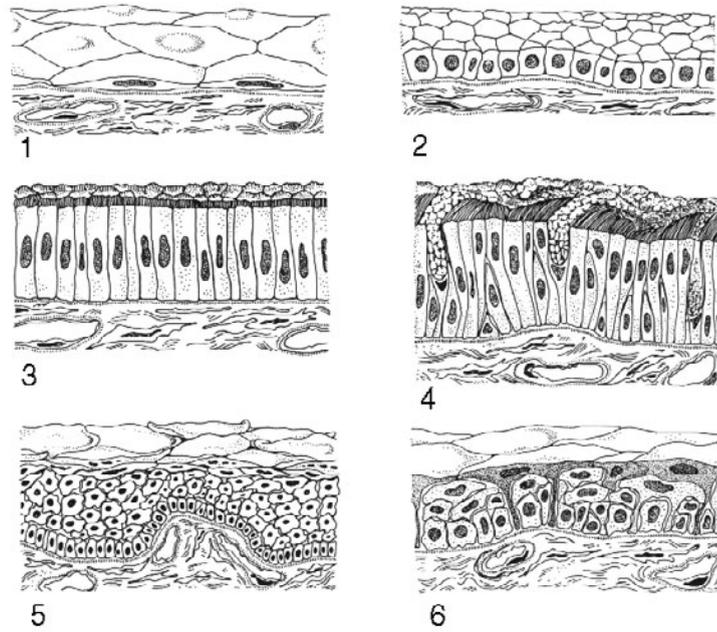


Abb. 3 Epithelgewebe (nach Liebich, 1993)

- 1 einschichtiges Plattenepithel, Serosa
- 2 einschichtiges isoprismatisches Epithel
- 3 einschichtiges hochprismatisches Epithel mit Mikrovilli
- 4 mehrreihiges oder mehrstufiges Epithel mit Kinozilien und Becherzellen
- 5 mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel
- 6 Übergangsepithel

Entsprechend ihrer Struktur und Funktion werden folgende Grundgewebe unterschieden:

- Epithelgewebe
- Binde- und Stützgewebe
- Muskelgewebe
- Nervengewebe.

4.3.1 Epithelgewebe

Das **Epithelgewebe** bildet geschlossene Zellverbände, Grenzschichten zwischen biologisch unterschiedlichen Kompartimenten.

Es wird aufgrund seiner Struktur und Funktion unterteilt in:

- Deck- und Schutzepithel (Resorptionsepithel)
- Drüsenepithel
- Sinnes- oder Neuroepithel
- Myoepithel.

4.3.1.1 Deck- und Schutzepithel

Deckepithelien überziehen als großflächige Abdeckungen die innere und äußere Oberfläche des Körpers. Nach der Anzahl und der Form der Deckzellen werden einschichtige und mehrschichtige Epithelien unterschieden (Abb. 3).

Einschichtige Epithelien bilden eine Zelllage. Alle Zellen sitzen der Basalmembran auf und erreichen die Zelloberfläche. Die mechanische Belastbarkeit ist gering. Die Zellen sind entsprechend ihrer Form:

- abgeplattet, dienen der Regulation des Gas- und Flüssigkeitsaustausches, übernehmen unspezifische Abwehrvorgänge, (Bauchfell, Brustfell (*Serosa*), Auskleidung der Gefäße)
- isoprismatisch, Zellen sind gleich hoch wie breit (Drüsenausführungsgänge, Follikelepithelzellen der Schilddrüse), unterliegen ständigen Ab- und Umbauvorgängen
- hochprismatisch, Zellen sind höher als breit, verantwortlich für Resorption und Sekretion (Drüsenmagen, Darm, Eileiter, Gebärmutter, Gallenblase).

Mehrschichtige Epithelien

Das **mehrschichtige Epithel** besteht aus 2 oder mehreren Zelllagen. Nur die untere, basale Schicht liegt der Basalmembran auf.

Es tritt in 2 Formen auf:

- mehrschichtiges unverhorntes Plattenepithel, kommt an mechanisch wenig belasteten Stellen vor, wird durch Sekrete feucht gehalten (Mundhöhle, Hornhaut des Auges)
- mehrschichtiges verhorntes Plattenepithel, tritt als Schutzepithel in der Oberhaut in Form von 5 oberflächlich verhornten Schichten auf:

Basalzellschicht, *Stratum basale*

Stachelzellschicht, *Stratum spinosum*

Körnerzellschicht, *Stratum granulosum*

Hornzellschicht, *Stratum corneum*.

Mehrschichtiges oder mehrstufiges Epithel

Das **mehrstufige Epithel** ist eine Sonderform des Deckepithels. Alle Zellen sitzen der Basalmembran auf, aber nicht alle Zellen erreichen die Oberfläche. Es tritt als mehrstufiges Epithel mit einem dichten Kinozilienbesatz in den luftzuführenden Wegen des Atmungsapparates sowie im Nebenhodengang (Stereozilien) auf.

Das **Übergangsepithel** ist eine Sonderform der geschichteten Epithelien. Es kommt in den harnableitenden Organen als *Urothel* (Nierenbecken, Harnleiter, Harnblase) vor. Fast alle Zellen sind über Zytoplasmafortsätze mit der Basalmembran verbunden. Es kann sich wechselnden Dehnungsverhältnissen anpassen und von einer vielschichtigen Form in eine 2- bis 3-schichtige Form übergehen (Übergangsepithel).

4.3.1.2 Drüsenepithel

Drüsenepithelien sind auf die Bildung und Abgabe von bestimmten Stoffen (*Sekrete*) spezialisiert. **Exokrine Drüsen** geben ihr Sekret über ein Ausführungsgangsystem nach außen auf die Epitheloberfläche ab. Morphologisch werden Einzeldrüsen (Schweißdrüsen) und zusammengesetzte (Speicheldrüsen) unterschieden. Nach der Zusammensetzung des Sekrets erfolgt eine Einteilung in **seröse-** (eiweiß- und enzymreiche), **muköse-** (schleimhaltige) und **gemischte** Drüsen.

Endokrine Drüsen produzieren Eiweiße (Hormone) die an Blutkapillaren oder Lymphgefäße abgegeben werden (siehe endokrine Organe).

4.3.1.3 Sinnes- oder Neuroepithel

Sinnesepithelzellen sind entweder als primäre Sinneszellen (Nervenzellen der Riechschleimhaut, Stäbchen und Zapfen der Netzhaut) oder als sekundäre Sinneszellen (modifizierte Epithelzellen) ausgebildet. Sie nehmen Reize auf und leiten diese spezifisch weiter.

4.3.1.4 Myoepithel

Myoepithelzellen sind kontraktile Epithelzellen, die glatten Muskelzellen ähneln. Sie liegen Drüsenendstücken (z.B. Milchdrüse) außen an. Ihre Kontraktion unterstützt die Sekretabgabe.

4.3.2 Binde- und Stützgewebe

Das Binde- und Stützgewebe besteht aus Zellen und Interzellulärsubstanzen.

Die Zellen werden eingeteilt in ortsständige und freie Zellen.

Ortsständige Zellen sind Fibroblasten (Faserbildung), Chondroblasten (Knorpelbildung) und Osteoblasten (Knochenbildung).

Freie Zellen liegen insbesondere im lockeren Bindegewebe. Sie können das Gefäßsystem verlassen und in das Bindegewebe wandern.

Freie Zellen sind:

- Gewebsmakrophagen
- Lymphozyten
- Plasmazellen, bilden spezifische Abwehrstoffe, die Immunglobuline
- Mastzellen, beeinflussen Permeabilität der Gefäßwände
- Monozyten, unspezifische Phagozytose.

Interzellulärsubstanz

Die **Interzellulärsubstanz** besteht aus :

- faseriger Grundsubstanz
- ungeformter (*amorpher*) Grundsubstanz.

Bindegewebszellen (Fibroblasten) produzieren die **faserige Grundsubstanz** in Form der :

- retikulären Fasern, bilden ein retikuläres Maschenwerk in Organen
- kollagenen Fasern (Sehnen und Bändern, Knochen und Knorpel)
- elastischen Fasern (elastische Bänder, elastischer Knorpel).

Ungeformte (amorphe) Grundsubstanz

Die ungeformte Grundsubstanz besteht aus Strukturglykoproteinen (Wasserbindung) und Proteoglykanen.

4.3.2.1 Einteilung des Bindegewebes

embryonales Bindegewebe

- mesenchymales Bindegewebe
- gallertiges Bindegewebe, postnatal um den Nabelstrang gelegen.

retikuläres Bindegewebe

- lymphoretikuläres Bindegewebe, in lymphatischen Organen (Lymphknoten)
- hämoretikuläres Bindegewebe im Knochenmark
- Fettgewebe, embryonal braunes oder multivakuoläres Fettgewebe, postnatal weißes oder univakuoläres Fettgewebe.

faseriges Bindegewebe

- faserarmes, lockeres Bindegewebe (Zwischengewebe oder interstitielles Bindegewebe)
- faserreiches, straffes Bindegewebe (Sehnen und Bänder).

4.3.2.2 Stützgewebe

Das Knorpel- und das Knochengewebe bilden gemeinsam das Stützgewebe des Körpers.

Knorpelgewebe

Das **Knorpelgewebe** ist gefäßlos und enthält keine Nerven. Es besteht aus Knorpelzellen (**Chondrozyten**) und umgebenden Fasern, eingebettet in die ungeformte Grundsubstanz.

Entsprechend der Faserqualität unterscheidet man:

- hyalinen Knorpel, häufigstes Knorpelgewebe (Gelenkknorpel, Rippenknorpel, Knorpel der Atemwege)
- elastischen Knorpel (Ohrmuschel, Kehldeckel)
- kollagenen Knorpel (Faserknorpel), druck- und zugfest, sehr widerstandsfähig (Zwischenwirbelscheiben, Hufknorpel, Gelenkscheiben).

Knochengewebe

Das **Knochengewebe** bildet das Skelett und ist ein wichtiger Speicher für die Mineralstoffe. Das Knochenmark gehört zu den blutbildenden Organen. Die Knochen übernehmen also eine wichtige Stütz- und Stoffwechselfunktion. Der Mineralstoffgehalt im Knochengewebe wird über bestimmte Eiweiße (Hormone) gesteuert.

Die Knochen bestehen aus einer äußeren kompakten Schicht (*Substantia compacta*), die außen von einer nervereichen Beinbaut (*Periost*) umgeben ist. Auf die kompakte Schicht folgt ein inneres Bälkchengengerüst (*Substantia spongiosa*) und in den Röhrenknochen das **Knochenmark**.

Knochenbildende Zellen (**Osteoblasten**) wandeln sich nach Mineralisierung der Knochengrundsubstanz in Knochenzellen (**Osteozyten**), um. Das Knochengewebe befindet sich in einem ständigen Umbau. Spezialisierte Zellen (**Osteoklasten**) bauen das Knochengewebe ab.

Die Knochenmatrix besteht aus Kollagenfasern (organischer Anteil) und aus Mineralstoffen (anorganischer Anteil).

Nach der Art des Knochengewebes wird zwischen **Geflecht**- bzw. **Faserknochen** und **Lamellenknochen** unterschieden.

Der Faserknochen wird embryonal angelegt und nach der Geburt durch den Lamellenknochen ersetzt. Im äußeren Gehörgang bleibt der Geflechtknochen erhalten. Er repräsentiert ein verknöchertes Bindegewebe.

Der Lamellenknochen enthält konzentrisch angeordnete Kollagenfasern, die Knochenlamellen bilden. Die funktionelle und strukturelle Einheit ist das **Osteon**.

Das Osteon enthält einen zentralen Kanal (**Havers-Kanal**). Er ist von konzentrischen Lamellen (Speziallamellen) umgeben.

Die Knochenzellen liegen zwischen den Lamellen um den Havers-Kanal. Sie sind über lange Zytoplasmafortsätze miteinander verbunden. Querverlaufende Gefäße (**Volkman'sche-Gefäße**) verlaufen zwischen der inneren und der äußeren Knochenhaut. Über dieses Gefäßnetz (Haver'sche-Gefäße und

Volkman'sche-Gefäße) wird das Knochengewebe mit Nährstoffen versorgt.

Knochenbildung, Osteogenese

- primäre, direkte, **desmale Ossifikation**
Knochen entsteht direkt aus dem Bindegewebe ohne ein knorpeliges Zwischenstadium (Faserknochen des Schädels)
- sekundäre, indirekte, **chondrale Ossifikation**
Knochen entsteht über eine Knorpelzwischenstufe (chondrale Ossifikation), die abgebaut und durch Knochengewebe ersetzt wird (Ersatzknochen, Lamellenknochen).

4.3.2.3 Blut

Das **Blut** besteht aus der Blutflüssigkeit, dem **Blutplasma**, und den **Blutzellen**. Es dient dem Transport von Sauerstoff und Kohlendioxid, von Enzymen, Vitaminen und Hormonen. Das Blut reguliert den Wasserhaushalt und dient der Aufrechterhaltung des physikochemischen Gleichgewichts im Organismus, der **Homöostase**.

Das Blutplasma enthält das für die Blutgerinnung verantwortliche Protein **Fibrinogen**. Bei Verletzungen der Gefäße kommt es zur Blutgerinnung. Das wasserlösliche Fibrinogen wird in Fibrin umgewandelt. Es entsteht ein Blutkuchen (Blutgerinnsel), aus dem eine Flüssigkeit, das **Blutserum**, abgegeben wird.

Die Blutzellen machen bei den Haussäugetieren 30-45% des Blutvolumens (Hämatokrit) aus.

Die Blutzellen werden eingeteilt in:

- **rote Blutkörperchen, Erythrozyten**
Erythrozyten sind bei den Säugern mit Ausnahme der Trampeltiere rund und kernlos. Bei den Vögeln sind sie oval und kernhaltig. Sie dienen dem Gas-transport und enthalten als hochdifferenzierte Blutzellen keine Zellorganellen.
- **weiße Blutzellen, Leukozyten**
Leukozyten werden in Granulozyten und Agranulozyten unterteilt. Die Granulozyten enthalten zahlreiche Granula im Zytoplasma. Diese werden nach der histologischen Anfärbbarkeit eingeteilt in:
 - **neutrophile Granulozyten**
Granula sind feinkörnig, verhalten sich färbereich neutral, Zellkern ist bei jugendlichen Zellen stabkernig, mit zunehmendem Alter segmentkernig, bilden den Hauptanteil der Mikrophagen (Phagozytose)
 - **eosinophile Granulozyten**
Granula sind grobkörnig, färben sich mit sauren Farbstoffen (Eosin) stark an, treten vermehrt bei allergischen Entzündungsreaktionen (Parasitosen, Allergien) auf (Phagozytose)
 - **basophile Granulozyten**
grobkörnige Granula, färben sich mit basischen Farbstoffen intensiv an, sehr selten, sezernieren Heparin zur Verhinderung der Blutgerinnung.

Agranulozyten besitzen keine spezifischen Granula im Zytoplasma. Es werden **Lymphozyten** und **Monozyten** unterschieden.

Nur ein geringer Anteil der Lymphozyten zirkuliert im Blut. Sie sind hauptsächlich in den lymphatischen Organen (Thymus, Milz, Lymphknoten, Mandeln) lokalisiert. Sie werden eingeteilt in T-Lymphozyten und B-Lymphozyten.

- **T-Lymphozyten** (thymusabhängige Lymphozyten), Träger der zellulären Abwehr, nach Antigenkontakt Umwandlung in verschiedene Funktionsstadien, sezernieren Lymphokine, die die biologische Aktivität von Granulozyten, Makrophagen und Lymphozyten beeinflussen
- **B-Lymphozyten**, bei Vögeln in *Bursa Fabricii* (B-Zellen) gebildet, bei Säugern im Knochenmark differenziert, Träger der humoralen Abwehr, bilden spezifische Abwehrstoffe (Antikörper, Immunglobuline)
- **Monozyten**, unspezifische Abwehr (Phagozytose), gehören zum mononukleären Phagozyten-System (MPS), Makrophagen, größte Leukozyten, nierenförmiger Kern.

Blutplättchen (*Trombozyten*) entstehen als kernlose Zytoplasmafragmente durch Zerfall von Knochenmarkriesenzellen (*Megakaryozyten*). Der Zerfall der Trombozyten löst die Blutgerinnung aus. Zusammengelagerte Trombozyten bilden einen Gefäßpfropf (*Thrombus*).

4.3.3 Muskelgewebe

Muskelzellen wandeln chemische Energie (Adenosintriphosphat, ATP) in Wärmeenergie und mechanische Energie um.

Das Muskelgewebe wird eingeteilt in:

- glattes Muskelgewebe
- quergestreiftes Muskelgewebe.

4.3.3.1 Glattes Muskelgewebe

Das **glatte Muskelgewebe** repräsentiert die Eingeweidemuskelatur. Es bildet die Wände der Blut- und Lymphgefäße und einen großen Teil der Wandung der inneren Organe.

Im Gegensatz zur quergestreiften Muskulatur besitzen die spindelförmigen glatten Muskelzellen keine geordnete Myofibrillenstruktur und damit keine Querstreifung. Sie enthalten nur einen zentral gelegenen Zellkern. Er ist vom Zytoplasma (*Sarkoplasma*) umgeben. Das endoplasmatische Retikulum wird in den Muskelzellen als *sarkoplasmatisches Retikulum* bezeichnet. Es fungiert als Ca-Speicher. Bei der Kontraktion gleiten bestimmte **Myofilamente** (Aktinfilamente) über die Myosinfilamente. Die Muskelzellen kontrahieren sich in der Länge und nehmen an Umfang zu.

4.3.3.2 Quergestreiftes Muskelgewebe

Die kontraktile Myofilamente liegen in geordneter Form vor und sind als periodisch auftretende **Querstreifen** sichtbar. Die quergestreifte Muskulatur wird unterteilt in:

- Skelettmuskulatur
- Herzmuskulatur.

Skelettmuskulatur

Die **Skelettmuskulatur** ist die kontraktile Muskulatur des Bewegungsapparates. Die Muskelfasern werden von Bindegewebshüllen zu funktionellen Einheiten zusammengefasst und bilden in ihrer Gesamtheit die willkürliche Muskulatur des Körpers.

Quergestreifte Muskelzellen besitzen sehr viele peripher gelegene Zellkerne. Zwischen den Aktin- und Myosinfilamenten liegen 2 miteinander verbundene Membransysteme des sarkoplasmatischen Retikulums (längsverlaufendes L-System und senkrecht dazu verlaufendes transversales T-System). Bis zu 1000 Myofibrillen pro Muskelfaser ergeben im durchfallenden Licht eine differenzierte Brechung. Es werden unterschieden:

- einfachbrechende, helle isotrope I-Streifen (**Aktinfilamente**)
- doppeltbrechende, dunkle anisotrope A-Streifen (**Myosinfilamente**)

Querlinien unterteilen diese Streifen weiter.

Nach dem Myofibrillengehalt werden folgende **Fasertypen** der quergestreiften Muskulatur unterschieden:

- **Typ-I-Fasern**, myofibrillenarm, sarkoplasmaarm, hoher Gehalt an **Muskelfarbstoff** (*Myoglobin*), rote Muskeln, langsame Kontraktion, zur Dauerleistung befähigt
- **Typ II-Fasern**, myofibrillenreich, sarkoplasmaarm, wenig Myoglobin, weiße Muskeln, schnelle Kontraktion, rasche Ermüdung
- **Intermediärfasern**, funktionell als Zwischenstufe anzusehen.

Die Skelettmuskelfasern werden von Axonen motorischer Nerven über **motorische Endplatten** (Synapsen) innerviert. Als Überträgerstoff (**Neurotransmitter**) fungiert Acetylcholin.

Herzmuskulatur

Die **Herzmuskulatur** ist eine Sonderform der quergestreiften Muskulatur. Aufgrund der spezifischen Leistungsfähigkeit des Herzens ist eine selbstständige, autonome, Erregungsbildung und Reizleitung ausgebildet. Modifizierte Herzmuskelzellen (**Purkinje-Zellen**) übernehmen die Weiterleitung von Reizen.

Die Herzmuskelzellen besitzen einen zentral gelegenen Zellkern, sind verzweigt und bilden ein funktionelles Netz (*Synzytium*) aus. So können alle Muskelfasern gleichzeitig kontrahieren. An Kontaktstellen zu benachbarten Zellen sind besondere Haftkomplexe (**Glanzstreifen**) ausgebildet. Durch ihre Öffnungen können Ca-Ionen von Zelle zu Zelle transportiert werden.

Die Herzmuskulatur wird von **autonomen, vegetativen Nervenfaser**n (Sympathikus und Parasympathikus) innerviert.

4.3.4 Nervengewebe

Das **Nervengewebe** besteht aus Nervenzellen (**Neuronen**) und Stützzellen (**Gliazellen**). Nervenzellen können Erregungen aufnehmen, weiterleiten und verarbeiten.

4.3.4.1 Nervenzellen

Sie bilden Fortsätze, unterschiedlich viele **Dendriten** und immer nur ein **Axon** aus. Durch Schaltstellen (**Synapsen**) sind sie miteinander verbunden. Im Gehirn bilden sie ein neuronales Netzwerk. Aufgrund ihrer hohen Differenzierung können sie sich nach der Geburt nicht mehr teilen.

Dendriten nehmen Erregungen auf und leiten Aktionspotentiale zum Zellkörper der Nervenzelle (*Perikaryon*) weiter. Vom Perikaryon aus wird das Aktionspotenzial über das Axon an ein anderes Neuron oder die Muskulatur weitergegeben (Abb. 4).

Nach der Anzahl der Fortsätze werden Nervenzellen (NZ) eingeteilt in:

- **unipolare Nervenzellen**, nur 1 Axon ausgebildet, embryonal vorhanden
- **bipolare Nervenzellen**, 1 Axon und 1 Dendrit (Photorezeptoren der Netzhaut)
- **pseudounipolare Nervenzellen**, entstehen aus bipolaren NZ, 1 Fortsatz zweigt sich T-förmig auf (Spinalganglien des Rückenmarks)
- **multipolare Nervenzellen**, 1 Axon, zahlreiche Dendriten, häufigste Form der NZ (Pyramidenzellen im Gehirn)

Das endoplasmatische Retikulum und die Ribosomen der Nervenzellen können mit einer spezifischen Färbung nach Nissl als **Nissl-oder Tigroid-Schollen** dargestellt werden. Charakteristisch für Nervenzellen sind Neurofilamente und Neurotubuli, die das Zytoskelett bilden.

Axone motorischer Nervenzellen werden von Markscheiden (**Myelinscheiden**) umhüllt. Diese werden im zentralen Nervensystem von **Oligodendrozyten**, einem spezialisierten Gliazelltyp, im peripheren Nervensystem von **Schwann'schen Gliazellen** gebildet.

Ein Oligodendrozyt bildet die Markscheiden für zahlreiche Axone. Dagegen umhüllt eine Schwann'sche Zelle grundsätzlich nur ein Axon. Das Axon bleibt an den Enden einer Gliazelle unbedeckt. Deshalb wird zwi-

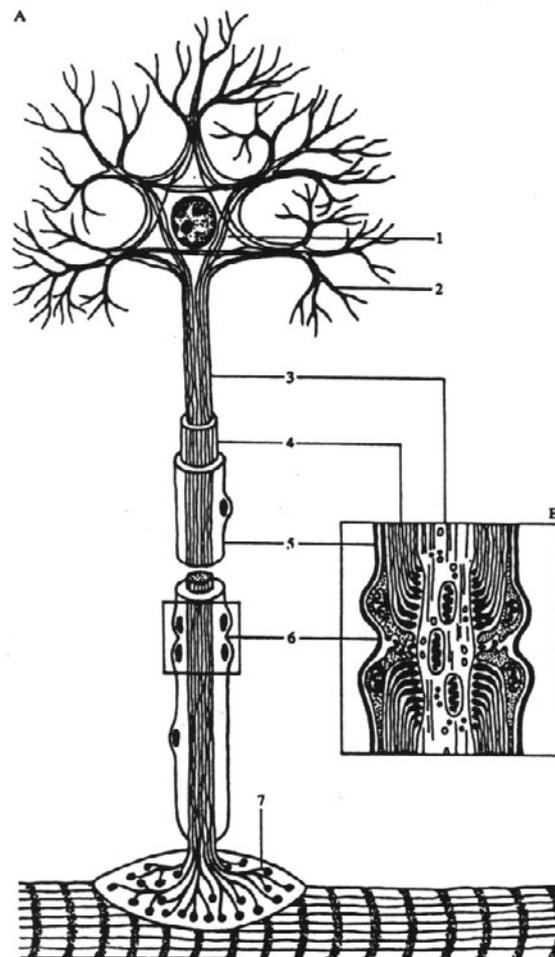


Abb. 4:
Nervenzelle (A) mit Axon und
Ranvier'schem Schnürring (B)
(aus MICHEL, SALOMON,
GUTTE, 1986)

- 1 Perikaryon
- 2 Dendriten
- 3 Axon
- 4 Markscheide
- 5 Schwann'sche Scheide
- 6 Ranvier'scher Schnürring
- 7 motorische Endplatte an Skelettmuskelfaser