

Gewebelehre - von der Ruhr

VL1

- Vom Mensch zum Gewebe
  - Organisationsebenen
  - 4 Grundgewebetypen
- Epithelgewebe
  - Funktionen
  - Besondere morphologische Charakteristika
- Polarer Aufbau
  - Oberflächendifferenzierungen (Apikaler Pol)
  - Aufbau der Kinozilien
  - Kartagener-Syndrom (Kinozilien)
  - Zell-Zellkontakte (Lateraler Pol)
  - Schlussleistenkomplex
  - Schlussleistenkomponenten
  - Variabilität: Zell-Zellverbindungen
  - Basalmembran (Basaler Pol)
    - Polarer Aufbau

- Hemidesmosomen
- Aufbau der Basalmembran
- Zytoskelettkomponente
- Intermediärfilamente → Zytokeratin
- Zusätzliches intermediäres Zytoskelett-Netz

Epithelformen

- Einteilung nach Form und Funktion
- Einteilung nach Form
- Einteilung nach Funktion
- Epithelformen – Histologie
- Alle Epithelformen (Histologie)
- Einteilung nach Funktion

Drüsengewebe

- Drüsenepithel (exo-, endokrin)
- Exokrine Formen der Sekretabgabe
- Formenvielfalt epithelialer Drüsen
- Exo-epitheliale Drüsen – Sekretart
- Sekretionsvorgang

Einteilung nach Funktion – Beispiele

- Oberflächenepithel / Deckepithel
- Resorptionsepithel
- Respiratorisches Epithel
- Sinnes- & Neuroepithel

VL2

Binde- und Stützgewebe

- Funktionen des Bindegewebes
- Bestandteile des Bindegewebes

Extrazelluläre Matrix (Interzellularsubstanzen)

- Fasern / Fasertypen
- Kollagen

        - Übersicht wichtiger Kollagentypen (I–IV)
    - Grundsubstanz
    - Variabilität der Interzellularsubstanzen
- Histologie: Variantenreichtum Bindegewebe
    - Retikuläres Bindegewebe
    - Fettgewebe
    - Faseriges Bindegewebe
    - Freie Bindegewebszellen
- Stützgewebe
    - Übersicht: Einteilung des Stützgewebes
    - Knorpelgewebe
    - Knochengewebe
    - Weitere Sonderformen
- Knorpelgewebe (Detail)
    - Eigenschaften des Knorpels
    - Funktionen des Knorpels
    - Zellen des Knorpels
    - Perichondrium (Knorpelhaut)
    - Chondron
    - Interzellularsubstanz des Knorpels
    - Wachstumsformen des Knorpels
    - Knorpeltypen – Übersicht
    - Histologie der Knorpeltypen
- Knochengewebe (Detail)
    - Funktionen des Knochens
    - Eigenschaften des Knochengewebes
    - Zellen des Knochens
    - Remodelling – Knochenaufbau vs. Knochenabbau
    - Beeinflussung des Knochenaufbaus
    - Knochentypen

- Aufbau des Röhrenknochens (Lamellenknochen)
- Wachstumsformen des Knochens
- Verknöcherung (Ossifikation) der Röhrenknochen

Zahngewebe

- Aufbau des Zahns
- Zahnhalteapparat (Parodontium)
- Matrixbildende Zellen des Zahns
- Zusammensetzung der ECM des Zahns

Nervengewebe

- Überblick: Nervengewebe
- Zahlen & Fakten zum Gehirn
- Gliazelltypen
- Funktionen des Nervensystems
- Was ist zur Erfüllung der Funktionen nötig?
- Einteilungsmöglichkeiten des Nervensystems
  - 1. Standardeinteilung
  - 2. Alternative Einteilungen
- Somatisches vs. Autonomes Nervensystem
  - Somatisches NS (PNS-Anteil)
  - Autonomes NS (PNS-Anteil)
- Afferentes vs. Efferentes Nervensystem
- Bezeichnungsunterschiede: ZNS vs. PNS
- Hirnnerven im ZNS

Aufbau des Neurons

- Das Neuron – Grundstruktur
- Aufbau des Motoneurons (Beispiel)
- Perikaryon (Zellkörper) – Detailaufbau
- Synapsentypen am Perikaryon
- Motorische Endplatte (Neuron)

Neuronentypen

- Einteilung nach Fortsätzen
- Multipolare Neuronen – Beispiele

Gliazellen (Neuroglia)

- Gliazellen im ZNS vs. PNS
- Astrozyten (ZNS)
- Mikroglia & Oligodendrozyten (ZNS)
- Schwann-Zellen & Mantelzellen (PNS)

Nervenregeneration

- PNS: Nerven können regenerieren!

ZNS-Synapsentypen & Neurotransmitter

- Glutamaterge Synapse (exzitatorisch, +)
- Transmitterübersicht

Nervenfasern und Leitungsgeschwindigkeit

- Fasertypen

Reflexe

- Monosynaptisch vs. Polysynaptisch
- Aufbau des Reflexbogens (Rückenmark)

Das enterische Nervensystem (ENS)

- Der Verdauungstrakt besitzt ein eigenes Nervensystem
- Aufbau
- Regulatorische Funktionen

Histologie: Periphere Nerven & Rückenmark

- Periphere Nerven
- Rückenmark

Klinisches Beispiel: Morbus Hirschsprung

- Entwicklungsstörung des ENS

Histologie der Nervengewebe

- Peripherer Nerv (Querschnitt)
- Spinalganglion (Histologie)
- Rückenmark (Histologie)

- VL3
  - Muskelgewebe
    - Muskelgewebetypen
    - Lichtmikroskopische Unterschiede
    - Glattes Muskelgewebe
    - Suborganisation der Muskeltypen
  - Organisation des Skelettmuskels
    - Hierarchischer Aufbau
    - Muskelfaser = Muskelzelle
    - Bindegewebselemente des Skelettmuskels
  - Organisation der Skelettmuskelfaser
    - Bestandteile der Muskelfaser
    - Querstreifung unter dem Mikroskop
    - Sarkomeranordnung
    - Kontraktile Filamente
    - Intrafusale & extrafusale Muskelfasern
  - Motorische Einheit
    - Aufbau
    - Motorische Endplatte
  - Ca^{2+}-Ionen Fluss & Kontraktion
    - Zeitliche Abfolge der Erregung
    - Ablauf im Detail
  - Sarkomerverkurzung & Kraft
    - Kraft-Längen-Beziehung
    - Strukturproteine des Sarkomers
  - Kontraktionsvergleich: quergestreifte vs. glatte Muskulatur
    - Skelettmuskel (quergestreift)
    - Glatter Muskel
  - Histologischer Vergleich Muskelzelltypen
    - Skelettmuskel

Herzmuskel
Glatter Muskel
Rückenmark (motorische Vorderhornneurone)
Aufbau & Strukturen

VL1

Vom Mensch zum Gewebe

Organisationsebenen

Systemebene	Organebene (Beispiele)
Kardiovaskuläres System	Herz, Blut-, Lymphgefäße
Atmungssystem	Trachea, Lunge
Verdauungssystem	Magen-Darmtrakt, Leber
Immunsystem	Tonsillen, Milz, Lymphknoten
Urogenital System	Niere, Blase, Reproduktionsorg.
Nervensystem	Gehirn, Rückenmark, Darm
Hormonsystem	Leber, Nebenniere, Hypophyse
Bewegungsapparat	Muskeln, Knochen, Sehnen

4 Grundgewebetypen

- **Epithelgewebe** (Epithel- / Drüsengewebe)
- **Binde- und Stützgewebe**
- **Muskelgewebe**
- **Nervengewebe**

Epithelgewebe

Funktionen

- **Schutz** (Haut, Schleimhäute, Blutgefäße ...)
- **Transport** (Nase, Rachen, Luftröhre, Darm, Niere ...)

- **Stoffproduktion und Sekretion** (Mucine, Schweiß, Hormone ...)
- **Vermitteln von Sinneseindrücken** (Sehsinn, Gehör-, Geruch- & Geschmackssinn ...)

Besondere morphologische Charakteristika

- Polarer Aufbau
- Oberflächendifferenzierungen
- Zell-Zellkontakte
- Basalmembran
- Zytoskelettkomponente: **Intermediärfilamente**

Polarer Aufbau

Epithelzellen besitzen eine klar definierte Polarität mit drei Bereichen:

- **Apikaler Pol** (oben) – zur Organoberfläche / Lumen hin
- **Laterale Pole** (seitlich) – Kontakt zu Nachbarzellen
- **Basaler Pol** (unten) – zur Basalmembran hin

> 💡 **Lateraler** und **basaler Pol** werden oftmals als **basolateraler Pol** zusammengefasst

---

Oberflächendifferenzierungen (Apikaler Pol)

Struktur	Maße	Funktion & Merkmale
Mikroplicae	Niedrige Auffaltungen	Auffaltungen der Zellmembran → Fkt. **Haftverbesserung des Flüssigkeitsfilms**. Bsp.: Speiseröhre, Stimmlippen, Cornea
Mikrovilli (Bürstensaum)	Länge bis 2 µm, ∅ 100 nm	Fingerförmige Ausstülpungen → Fkt. **Oberflächenvergrößerung** (Resorption, Sekretion). Binnengerüst aus **Aktin**
Stereozilien (Stereovilli)	Länge ca. 10 µm, ∅ 100 nm	Lange fingerförmige Ausstülpungen → Fkt. **Oberflächenvergrößerung**

Struktur	Maße	Funktion & Merkmale
		(Resorption, Sekretion). Binnengerüst aus **Aktin** (besonders lange Mikrovilli)
Kinozilien	Länge typ. 5 µm, ∅ 250 nm	Aktiv **bewegliche Flimmerhärchen** → Fkt. **Oberflächlicher Transport**. Motorproteine aus **Tubulin** (α, β Untereinheiten), 9×2+2 Anordnung. Bsp.: Tuba uterina

🔗 **Mikrovilli / Stereovilli:** Binnengerüst aus Aktin ist **verankert mit dem Zytoskelett**

Aufbau der Kinozilien

- Grundstruktur: **Axonem** mit **9×2+2-Anordnung** (9 äußere Mikrotubulidupletts + 2 zentrale Einzelmikrotubuli)
- **Dynein-Arme** erzeugen die Schlagbewegung
- A-Tubulus und B-Tubulus als Untereinheiten der Dupletts

Kartagener-Syndrom (Kinozilien)

Primäre Zilien-Dyskinesie: Genetisch bedingte Funktionsstörung der zilientragenden Zellen

- Fehlen oder Funktionsverlust der für die Bewegung der Zilien entscheidenden **Dynein-Arme**
- **Bewegungseinschränkung** aller zilienbesetzten Zellen des Körpers:
  - Bronchialepithel
  - Tuba eustachii (Verbindung Rachen – Ohr)
  - Rachen & Nasennebenhöhlen
  - Spermien & Tuba uterina → **Infertilität**

⚠️ **Pränatale Auswirkungen:** Durch das Fehlen des gerichteten Zilienschlags in der Embryonalphase kommt es bei rund 50 % der Betroffenen zu **Lageanomalien der inneren Organe** (max. bis zum Situs inversus)

Zell-Zellkontakte (Lateraler Pol)

Schlussleistenkomplex

Der Schlussleistenkomplex besteht aus drei Komponenten (von apikal nach basal):

1. **Zonula occludens** (Tight Junctions, ZO)
2. **Zonula adhärens** (ZA)
3. **Desmosomen** (D)

Zusätzlich: **Gap Junctions** (kommunizierende Verbindungen)

Schlussleistenkomponenten

Komponente	Aufbau
Zonula occludens	Verankert über **Aktin**. Charakteristische Proteine: **Occludin**, **Claudin**
Zonula adhärens	Verankert über **Aktin**
Desmosomen	Verankert über **Zytokeratin** und **Desmin**

Variabilität: Zell-Zellverbindungen

Die Anordnung der Zellkontakte variiert je nach Gewebetyp:

- **Darm** (einschichtig unverhornt): Desmosomen, Gap Junctions und klassischer Schlussleistenkomplex
- **Epidermis** (mehrschichtig verhornt): Zonula occludens, Hemidesmosomen, Verankerung in Basalmembran

---

Basalmembran (Basaler Pol)

Polarer Aufbau

- **Apikaler Pol** → Oberflächendifferenzierungen
- **Laterale Pole** → Zell-Zellkontakte
- **Basaler Pol** → **Basalmembran**

Hemidesmosomen

Hemidesmosomen verankern die Epithelzellen in der Basalmembran

- Verbindung: **Zytokeratin – Basalmembran**

Aufbau der Basalmembran

- **Lamina basalis** + **Lamina lucida**
- **Lamina fibroretikularis**

Zytoskelettkomponente

Intermediärfilamente → Zytokeratin

Das **Zytokeratinnetzwerk** stabilisiert die Zelle und verankert sie via **Desmosomen** an benachbarten Epithelzellen und über **Hemidesmosomen** in der Basalmembran

Zusätzliches intermediäres Zytoskelett-Netz

- Aufgebaut aus **α-Keratinfasern**
- Hierarchischer Aufbau: Einzelne Keratinmoleküle → Dimere → Tetramere → Protofilamente → Intermediärfilamente

---

Epithelformen

Einteilung nach Form und Funktion

🔬 **Grundprinzip:** FORM ↔ FUNKTION – die Gestalt des Epithels steht in direktem Zusammenhang mit seiner Aufgabe

Einteilung nach Form

Kategorie	Untertypen
Einschichtig / -reihig	Platt/flach; kubisch/(iso)prismatisch; hochprismatisch
Mehrreihig	Iso-, hochprismatische Zellen
Mehrschichtig	Unverhornt ~; verhornt ~

Einteilung nach Funktion

- **Schutzfunktion**
- **Transportfunktion / Resorption**
- **Stoffproduktion / Sekretion**
- **Vermitteln von Sinneseindrücken**

Epithelformen – Histologie

Alle Epithelformen (Histologie)

Epithelform	Vorkommen (Beispiele)
Einschichtig, platt	Plattenepithel (Cornea innen)
Kubisches / isoprismatisches Epithel	Nierentubuli
Hochprismatisches Epithel	Dünndarm
Mehrreihiges Epithel	Nebenhoden, Eileiter
Mehrreihiges / -schichtiges Epithel / Urothel	Harnblase, -wege
Mehrschichtiges Epithel unverhornt	Vagina
Mehrschichtiges Epithel verhornt	Epidermis

Einteilung nach Funktion

Funktionstyp	Beschreibung
Oberflächenepithel / Deckepithel	Schutz-, Barrierefunktion
Drüsenepithel	Sekretion
Resorptions-, Transportepithel	Aufnahme und Weitertransport von Stoffen
Sinnes-, Neuroepithel	Vermittlung von Sinneseindrücken

Drüsengewebe

Drüsenepithel (exo-, endokrin)

Typ	Merkmal
Exokrine Drüse	Ausführungsgang an eine **freie Oberfläche** (z. B. Haut, Schleimhaut)
Endokrine Drüse	**Kein Ausführungsgang**, Abgabe in das **Blut** (z. B. Schilddrüse)

Exokrine Formen der Sekretabgabe

Sekretionsform	Mechanismus & Beispiele
Merokrine Sekretion (ekkrin)	Stoffabgabe über **Exozytose** ohne nennenswerten Membranverlust. Drüsen mit hoher Sekretionsleistung. Bsp.: **Speicheldrüsen**, alle endokrinen Drüsen, **Schweißdrüsen**
Apokrine Sekretion	**Teilabschnürung** der Zellmembran bei der Sekretion. Bsp.: Milchabgabe aus der **Brustdrüse** (laktierende Brustdrüse: merokrin + apokrin)
Holokrine Sekretion	Stoffabgabe ist mit einem **Zelluntergang** verbunden. Bsp.: **Talgdrüsen** der Haut

Formenvielfalt epithelialer Drüsen

- **Tubulöse Drüse** (röhrenförmig)
- **Azinöse Drüse** (beerenförmig)
- **Alveoläre Drüse** (bläschenförmig)
- **Tubulo-azinöse Drüse**
- **Tubulo-alveoläre Drüse**

Exo-epitheliale Drüsen – Sekretart

Drüsentyp	Merkmale
Seröse Drüsen	Eiweißreiches, dünnflüssiges Sekret. Meist enges Drüsenlumen, isoprismatische Zellen mit rundem Zellkern. Bsp.: Bauchspeicheldrüse, Tränendrüse
Muköse Drüsen	Zähflüssiger Schleim. Weites Drüsenlumen, Zellen mit basal liegenden, meist flachen Zellkernen. Bsp.: Gaumen-, Magendrüsen
Gemischte Drüsen	Besitzen seröse und muköse Anteile (seröser Halbmond). Bsp.: Speicheldrüsen des Mundbodens

Sekretionsvorgang

- **CFTR** = *Cystic Fibrosis Transmembrane Conductance Regulator*
- Chloridkanal, der für die Sekretion von Flüssigkeit in den Drüsenausführungsgang essenziell ist

⚠️ **Mukoviszidose / zystische Fibrose**
Erbkrankheit, bei der durch einen genetischen Defekt die Sekrete von exokrinen Drüsen verdickt sind. Dadurch können sie nicht abfließen und verstopfen die Ausführungsgänge.
→ Zähe Schleime → **Entzündungsreaktionen**
→ Vermehrt Bindegewebe und sackartige Erweiterungen in den Organen

Betroffene Organe:
- **Lunge:** Bronchien mit zähflüssigem Schleim verstopft
- **Magen-Darm-Trakt:** Verdickung des Darminhaltes
- **Bauchspeicheldrüse:** Verstopfung der Ausführungsgänge
- **Galle:** Verstopfung der Gallengänge
- **Samenleiter:** Verklebung und Verödung

Einteilung nach Funktion – Beispiele

Oberflächenepithel / Deckepithel

- Schutz-, Barrierefunktion
- Verschiedene Epithelformen je nach Lokalisation (mehrschichtig verhornt/unverhornt, einschichtig etc.)

Resorptionsepithel

- **Dünndarm:** Einreihiges hochprismatisches Epithel mit **Becherzellen** und **Bürstensaum** (Mikrovilli)

Respiratorisches Epithel

- **Luftröhre:** Mehrreihiges hochprismatisches **Flimmerepithel** mit Becherzellen

- Apikaler Pol: **Kinozilien** zur **mukoziliären Clearance**

Sinnes- & Neuroepithel

Sinnesorgan	Epitheltyp & Funktion
Zunge (Geschmack)	Zungenepithel mit Geschmacksknospen (Geschmackspore → Geschmackssinneszelle → afferenter Nerv)
Cochlea (Hörsinn)	Einreihiges hochprismatisches Epithel mit **Stereozilien**. Fkt.: Akustische Reizgenerierung und Modulation
Retina (Sehsinn)	Einreihiges Epithel. **Sinnesepithel** und **Pigmentepithel**

📝 **Lernkontrolle VL1: Funktionen des Epithels**
- **Schutz** (Barrierefunktion, Abgrenzung, Austausch-Regulation)
- **Transport** (Partikeltransport, Nährstofftransport, Wasser- & Salzresorption ...)
- **Stoffproduktion und Sekretion** (Schutz-, Gleitmittel, Pflege & Kühlung, Zustands-Regulation ...)
- **Vermitteln von Sinneseindrücken** (Perzeption der Umwelt ...)

VL2

Binde- und Stützgewebe

Funktionen des Bindegewebes

- **Mechanische Aufgaben** (Halte-, Bindefunktion)
  - Gewebehüllen (Knochen, Muskeln, Nerven, Gefäße), Organkapseln (Niere, Lymphknoten, Hoden)
- **Determination und Organisation** von Geweben
  - Gewebehüllen, Bildung von Matrices (Milz, Leber)
- **Form-, strukturgebende Funktion**

    - Gewebehüllen (Knochen, Muskeln, Nerven, Gefäße), Organkapseln
- **Regulation: Wasserhaushalt** (Bauchnetz – Omentum minus & -majus)
- **Regulation: Stoffaustausch** (Subepitheliales Gewebe – Lamina propria)
- **Immunabwehr** (frei bewegliche Immunzellen)

Bestandteile des Bindegewebes

Extrazelluläre Matrix / ECM:

- **Fasern** (Kollagen-, Retikuläre-, Elastische Fasern)
- **Grundsubstanz** (Glykoproteine, Glykosaminoglykane, Proteoglykane)

Zelluläre Anteile (Bindegewebszellen):

- **Mesenchymzellen** (embryonal) ⇒
    - **Fibroblasten / Fibrozyten**
    - **Retikulumzellen** (lymphatische Organe, rotes Knochenmark)
- **Eingewanderte freie Zellen / Immunzellen** (Makrophagen, Granulozyten, Lymphozyten, Mastzellen, Plasmazellen)

Extrazelluläre Matrix (Interzellularsubstanzen)

Die ECM besteht aus **Fasern** + **Grundsubstanz**

Fasern / Fasertypen

Fasertyp	Merkmale
Kollagenfasern	Durchmesser: 1–10 µm. Hauptkomponente im straffen und lockeren Bindegewebe. Hauptbestandteil: **Kollagen Typ I**. Vorkommen: Sehnen, Knochen, Bindegewebe
Retikuläre Fasern	Durchmesser: 0,5–2 µm; netzartiger Aufbau. Hauptkomponente: **Kollagen Typ III**. Vorkommen: Basalmembran, lymphatische Organe
Elastische Fasern	Durchmesser: bis 2 µm; verzweigt, zugelastisch. Hauptkomponente: elastische Mikrofibrillen, **Elastin** umhüllt von Fibrillin. Vorkommen: Lunge, elastische Bänder, -Knorpel, elastische Arterien

Kollagen

- Aktuell sind rund **30 verschiedene Kollagentypen** bekannt
- Aufbau kollagener Fasern: Mikrofibrillen → Tropokollagen → Kollagenfibrille → Kollagenfaser → **Kollagenfaserbündel**

Übersicht wichtiger Kollagentypen (I–IV)

Kollagentyp	Vorkommen	Eigenschaften
Typ I	Dermis, Sehnen, Organkapseln, Knochen	Zugfest
Typ II	Knorpel, Glaskörper	Druckelastisch
Typ III	Retikuläre Fasern lymphatischer Organe, Basalmembran (Lam. fibroretikularis)	Feine netzartige Fasern
Typ IV	Basalmembran (Lamina densa)	Zellhaftung, Permeabilitätsbarriere

⚠️ **Ehlers-Danlos-Syndrom**
Ursache: Synthesestörung von Kollagen 5 ⇒ Mutation im Collagen Gen (COL5a)
Symptome:
- Extrem elastische Haut, fragil und leicht verletzlich
- Atrophe Narbenbildung
- Allgemeine Gelenkhypermobilität

Keine ursächlich heilende Therapie – aber multimodale Therapieansätze: Physiotherapie, Schmerztherapie, ständige ärztliche Überwachung, orthopädische Hilfsmittel

Grundsubstanz

Maschenwerk aus Makromolekülen:

- **Glykoproteine** – Proteine mit kurzen Kohlenhydratseitenketten (Fibronektin, Laminin)
- **Glykosaminoglykane (GAG)** – lineare Polysaccharidketten aus repetitiven Disaccharideinheiten (Chondroitinsulfat, Keratansulfat, Hyaluronsäure)

- **Proteoglykane** – Makromolekülkomplexe aus mit Glykosaminoglykanen (GAG) glycosylierten Glykoproteinen

Variabilität der Interzellularsubstanzen

- Je nach Gewebetyp unterschiedliche Zusammensetzung und Menge an Fasern und Grundsubstanz

---

Histologie: Variantenreichtum Bindegewebe

Retikuläres Bindegewebe

- Bsp.: **Lymphknoten**
- Netzartiges Fasergerüst aus Kollagen Typ III

Fettgewebe

Typ	Merkmale
Weißes Fettgewebe (univakuolär)	Große einzelne Fettvakuole, Zellkern randständig. Fkt.: Energiespeicher, Isolierung, Polsterung
Braunes Fettgewebe (multivakuolär)	Viele kleine Fettvakuolen. Fkt.: **Energiereservoir**, **Wärmeproduktion**

Faseriges Bindegewebe

Typ	Merkmale
Straffes Bindegewebe	Faserreich, zellarm, wenig Grundsubstanz. Bsp.: Haut (Dermis) – teils geflechtartig
Lockeres Bindegewebe	Faserarm, zellreich, reich an Grundsubstanz
Straffes, parallelfaseriges Bindegewebe	Streng parallel angeordnete Kollagenfasern. Bsp.: **Sehne**

Freie Bindegewebszellen

- Bsp.: **Mastzellen** (histaminbildende Immunzellen ⇒ Immunaktivierung)
- Vorkommen u. a. in der Uterus-/Schleimhaut

📝 **Lernkontrolle VL2: Funktionen des Bindegewebes**
- **Mechanische Aufgaben** (Halte-, Bindefunktion): Gewebehüllen, Organkapseln
- **Determination und Organisation** von Geweben: Gewebehüllen, Bildung von Matrices (Milz)
- **Form-, strukturgebende Funktion**: Gewebehüllen (Knochen, Muskeln, Nerven, Gefäße)
- **Regulation**: Wasserhaushalt (Bauchnetz), Stoffaustausch (Subepitheliales Gewebe, Lam. propria), Immunabwehr (frei bewegliche Immunzellen)

Bestandteile des Bindegewebes:
- **Zelluläre Anteile:** Mesenchymzellen ⇒ Fibroblasten/Fibrozyten, Retikulumzellen; Eingewanderte freie Zellen/Immunzellen
- **Extrazelluläre Anteile / ECM:** Fasern (Kollagen-, Retikuläre-, Elastische Fasern), Grundsubstanz (Glykoproteine, GAGs, Proteoglykane)

Stützgewebe

Stützgewebe ist eine spezialisierte Form des Bindegewebes mit besonderer **mechanischer Belastbarkeit**.

Übersicht: Einteilung des Stützgewebes

Hauptgruppe	Untertypen	Besonderheiten
Knorpelgewebe	Hyaliner Knorpel, Elastischer Knorpel, Faserknorpel	Druckelastisch, gefäßfrei
Knochengewebe	Geflechtknochen, Lamellenknochen	Zugfest und druckfest, mineralisiert

Knorpelgewebe

Knorpeltyp	Vorkommen	Merkmale
Hyaliner Knorpel	Gelenkflächen, Trachea, Rippen, Nasenseptum	Häufigster Knorpeltyp; glatte, druckelastische

Knorpeltyp	Vorkommen	Merkmale
		Oberfläche; Kollagen Typ II
Elastischer Knorpel	Ohrmuschel, Epiglottis, Tuba auditiva	Zusätzlich elastische Fasern → hohe **Biegsamkeit**
Faserknorpel	Bandscheiben (Disci intervertebrales), Menisken, Symphyse	Hoher Anteil an **Kollagen Typ I** → besondere **Zugfestigkeit**

Knochengewebe

Knochentyp	Merkmale
Geflechtknochen	Ungeordnete Kollagenfasern; entsteht bei der **Knochenentwicklung** und bei der **Frakturheilung**; wird im Laufe der Zeit zu Lamellenknochen umgebaut
Lamellenknochen	Geordnete, lamelläre Struktur; reifer Knochen mit **Osteonen** (Havers-Systeme). Besteht aus **Kompakta** (außen, dicht) und **Spongiosa** (innen, schwammartig)

Weitere Sonderformen

- **Gelenke (Synovia):** Synovialflüssigkeit als Gleit- und Nährmedium für den Gelenkknorpel
- **Zahnbein (Dentin):** Mineralisiertes Stützgewebe, härter als Knochen (nach Zahnschmelz härteste Substanz des Körpers)

📝 **Lernkontrolle: Stützgewebe**
- **Knorpelgewebe:** Hyaliner Knorpel (Gelenke, Trachea), Elastischer Knorpel (Ohrmuschel), Faserknorpel (Bandscheiben) – alle gefäßfrei, Ernährung per Diffusion
- **Knochengewebe:** Geflechtknochen (unreif) → Lamellenknochen (reif, mit Osteonen); Kompakta + Spongiosa
- **Sonderformen:** Gelenke (Synovia), Zahnbein (Dentin)

Knorpelgewebe (Detail)

Eigenschaften des Knorpels

- Gewebe, das **mechanischen Belastungen** ohne dauerhafte Verformung widerstehen kann
- **Bradytrophes Gewebe** (geringer Stoffwechsel)
- **Frei von Gefäßen** (wenige Ausnahmen)
- **Frei von Nerven**
- Großer Anteil **extrazellulärer Matrix** (Kollagene, Proteoglykane, Glykoproteine)

Funktionen des Knorpels

- **Dämpfungsfunktion** (Gelenke)
- **Stützfunktion** (Nase, Ohr, Luftröhre)
- Zum Teil an der **Knochenentwicklung** beteiligt

Zellen des Knorpels

Zelltyp	Funktion
Chondrozyten	Aufrechterhaltung des Knorpels (ruhende Zellen)
Chondroblasten	Bildung von Knorpelmatrix (aktive Zellen)
Chondroklasten	Abbau von Knorpelgewebe

Perichondrium (Knorpelhaut)

- **Funktion:** Ernährung des Knorpels und Knorpelzellneubildung

> ⚠️ **Wichtig:** Das Perichondrium fehlt beim **Gelenkknorpel**!

Chondron

- Funktionelle Einheit des Knorpels
- Besteht aus **Chondrozyten** umgeben von **Interzellularsubstanz**

Interzellularsubstanz des Knorpels

- **Kollagen Typ II**

- **Hyaluronsäure** ⇒ bindet Wasser
- **Proteoglykane** (v. a. Aggrecan) & Hyaluronsäure bilden große Aggregate

Wachstumsformen des Knorpels

Wachstumsform	Beschreibung
Appositionelles Wachstum	Knorpelzuwachs **von außen** durch das **Perichondrium**
Interstitielles Wachstum	**Zellproliferation innerhalb** des Knorpels → Chondronbildung, **isogene Zellen**

Knorpeltypen – Übersicht

Knorpeltyp	Faserhauptbestandteile	Beispiele
Hyaliner Knorpel	Kollagen II	Gelenke, Nase, Larynx (Kehle), Trachea, Bronchien
Elastischer Knorpel	Kollagen II + Elastin	Ohrmuschel, Eustachische Röhre, Larynx (Arykn.)
Faserknorpel	Kollagen I	Schambeinfuge, Zwischenwirbelscheiben

Histologie der Knorpeltypen

- **Hyaliner Knorpel:** Knorpelspangen der Trachea **mit Perichondrium** vs. **Gelenkknorpel ohne Perichondrium**
- **Elastischer Knorpel:** z. B. Aryknorpel – enthält zusätzlich **elastische Fasern** (gut anfärbbar)
- **Faserknorpel:** z. B. Zwischenwirbelscheibe (Bandscheibe) – enthält **Kollagenfaserbündel Typ I**

📝 **Lernkontrolle: Wichtige Fakten zum Knorpelgewebe**
- Bestandteile (Zellen, Fasern, Grundsubstanz)
- Knorpeltypen (hyalin, elastisch, Faser)
- Funktionen (Dämpfung, Stützung, Knochenentwicklung)
- Eigenschaften (bradytroph, gefäßfrei, nervenfrei)

Knochengewebe (Detail)

Funktionen des Knochens

- **Fortbewegung**
- **Formgebung**
- **Schutz** (z. B. Schädel, Brustkorb)
- **Kalziumspeicher**

💡 Unser Skelett besteht aus **über 200 Knochen**

Eigenschaften des Knochengewebes

- Gewebe mit hoher **Widerstandsfähigkeit** gegen Druckbelastungen, Zug, Biegung und Verdrehung
- Die extrazelluläre Matrix ist nach dem Zahnmaterial die **härteste Substanz** im Körper
- Knochen ist **stark durchblutet**
- Umgeben von **Periost** (Knochenhaut)

Zellen des Knochens

Zelltyp	Funktion
Osteozyten	Aufrechterhaltung des Knochens (ruhende, reife Zellen)
Osteoblasten	Bildung von Knochenmatrix (aktive, knochenaufbauende Zellen)
Osteoklasten	Abbau von Knochengewebe (knochenresorbierende Zellen)

🔗 **Differenzierungsweg:** Mesenchym → Osteoblast → Osteozyt; Osteoid (neu gebildete Matrix) → Knochenmatrix

---

Remodelling – Knochenaufbau vs. Knochenabbau

- Knochen unterliegt einem ständigen **Umbau** (Remodelling)
- **Osteoblasten** (Aufbau) und **Osteoklasten** (Abbau) stehen in einem dynamischen Gleichgewicht

Beeinflussung des Knochenaufbaus

Faktor	Wirkung
Parathormon (–)	Nebenschilddrüse → fördert Knochenabbau
Calcitonin (+)	Schilddrüse → hemmt Knochenabbau
Zytokine (–)	Interleukin 1, 6, 11; TNF-alpha → fördern Abbau
Vitamin D / Calcitriol (+/–)	Fördert Kalziumaufnahme; dosisabhängig
Cortison	Kann Knochenabbau fördern
Vitamin C	Wichtig für Kollagensynthese
Wachstumshormon (+)	Fördert Knochenaufbau
Östrogene	Schützen vor Knochenabbau
Androgene	Fördern Knochenaufbau

Knochentypen

Knochentyp	Merkmale
Geflechtknochen	Entsteht bei der **Knochenbildung** und bei **Regenerationsvorgängen**. Vorkommen: Nähte der Schädelknochen, Alveolen der Zähne
Lamellenknochen	Alle **übrigen Knochen**; geordnete lamelläre Struktur mit Osteonen

Aufbau des Röhrenknochens (Lamellenknochen)

- **Epiphyse** (proximal & distal) – Gelenkende mit Gelenkknorpel
- **Diaphyse** – Knochenschaft
- **Epiphysenlinie** (ehem. Epiphysenfuge / Wachstumsfuge)
- **Markhöhle** mit Fettmark
- **Periost** (Knochenhaut) – außen
- **Substantia compacta** (Kompakta) – dichter Knochen außen

- **Substantia spongiosa** – schwammartiger Knochen innen, mit rotem, blutbildendem Knochenmark
- **Apophyse** – Knochenvorsprung für Muskel-/Sehnenansatz

Wachstumsformen des Knochens

Wachstumsform	Beschreibung
Appositionelles Wachstum	Knochenzuwachs **von außen** durch das **Periost**
Interstitielles Wachstum	**Zellproliferation innerhalb** des Knochens

Verknöcherung (Ossifikation) der Röhrenknochen

Chondrale Ossifikation:

- **Perichondrale Ossifikation** – Knochenbildung vom Perichondrium aus (Knochenmanschette um die Diaphyse)
- **Enchondrale Ossifikation** – Ersatz von Knorpelgewebe durch Knochengewebe im Inneren

---

📝 **Lernkontrolle: Wichtige Begriffe zur Knochenbildung**
- **Knochenassoziierte Zellen:** Osteozyten, Osteoblasten, Osteoklasten
- **Unterschiede:** Geflecht- vs. Lamellen- vs. Ersatzknochen
- **Unterschiede:** Desmale vs. chondrale Ossifikation
- **Appositionelles & interstitielles Wachstum**
- **Aufbau Lamellenknochen** (Röhrenknochen mit Epiphyse, Diaphyse, Kompakta, Spongiosa)

Zahngewebe

Aufbau des Zahns

- **Schmelz** (Enamelum) – härteste Substanz des Körpers
- **Dentin** – Hauptmasse des Zahns
- **Pulpe** (Zahnmark) – Blutgefäße, Nerven

- **Zement** (Cementum) – bedeckt die Zahnwurzel
- **Gingiva** (Zahnfleisch)
- **Sulcus gingivalis** – Zahnfleischfurche

Zahnhalteapparat (Parodontium)

Bestandteil	Beschreibung
Alveolarknochen	Zahnfach – knöcherne Verankerung
Wurzelhaut (Desmodontium)	Lig. periodontale mit **Sharpey-Fasern**
Zahnfleisch (Gingiva)	Bedeckt den Alveolarknochen
Zahnzement	Bedeckt die Wurzeloberfläche

Matrixbildende Zellen des Zahns

Struktur	Matrixbildende Zellen
Schmelz	Ameloblasten (= Adamantoblasten)
Dentin	Odontoblasten
Zement	Zementoblasten
Alveolarknochen	Osteoblasten
Wurzelhaut	Fibroblasten
Zahnfleisch	Fibroblasten

Zusammensetzung der ECM des Zahns

Gewebe	Anorganisch	Organisch
Schmelz	95 %	1 %
Dentin	70 %	20 %
Zement	61 %	27 %
Knochen (Vergleich)	50 %	25–30 %

💡 **Knochen** enthält zusätzlich ca. **20–25 % Wasser**

📝 **Lernkontrolle: Wichtige Inhalte zum Zahngewebe**
- **Matrixproduzierende Zellen:** Ameloblasten, Odontoblasten, Osteoblasten, Zementoblasten, Fibroblasten
- **Zahnaufbau & Biomechanik**
- **Zahnhalteapparat (Parodontium):** Alveolarknochen, Wurzelhaut, Gingiva, Zahnzement

---

Nervengewebe

Überblick: Nervengewebe

Nervengewebe ist eines der vier Grundgewebetypen und bildet die Grundlage des **Nervensystems**.

- **ZNS** (Zentralnervensystem) = Gehirn + Rückenmark
- **PNS** (Peripheres Nervensystem) = periphere Nerven

Zahlen & Fakten zum Gehirn

- Gewicht: rund **1300 g**
- **100–1000 Milliarden Neurone** (0,1–1 Bio.)
- **1000 Milliarden Gliazellen** (versorgen Neuronen, bauen Stoffe ab)
- 1 Nervenzelle (Neocortex): bis zu **10.000 synaptische Verbindungen**
- Gesamtstrecke der Nervenfasern: ca. **500.000 km** (vgl. Erdumfang 40.000 km)

Gliazelltypen

Zelltyp	Merkmale
Astrozyt	Stützzelle, Blut-Hirn-Schranke, Nährstoffversorgung
Oligodendrozyt	Myelinbildung im ZNS
Mikroglia	Immunabwehr im ZNS
NG2-Zelle	Oligodendrozyten-Vorläuferzelle
Perizyt	Umgibt Kapillaren, Gefäßregulation

🔬 **Forschungsbeispiel:** Sox2-vermittelte Konversion von NG2-Gliazellen in induzierte Neurone im verletzten adulten zerebralen Kortex (Christophe Heinrich et al.; *Stem Cell Reports*, 2014)

Funktionen des Nervensystems

- **Wahrnehmung von Umweltreizen → Sensorik**
- **Steuerung der Tätigkeit** von Eingeweide- und Skelettmuskulatur → **Motorik**
- **Speicherung von Erfahrungen → Gedächtnis**
- **Entwicklung von Vorstellungen → Denken und Emotionen**

Was ist zur Erfüllung der Funktionen nötig?

- **Informationserwerb**
- **Informationsaustausch**
- **Informationsverarbeitung**
- **Informationsspeicherung**

Einteilungsmöglichkeiten des Nervensystems

1. Standardeinteilung

Einteilung	Bestandteile
ZNS (Zentralnervensystem)	Gehirn + Rückenmark
PNS (Peripheres Nervensystem)	Periphere Nerven

2. Alternative Einteilungen

- **Somatisches & Autonomes Nervensystem**
- **Afferentes & Efferentes Nervensystem**

Somatisches vs. Autonomes Nervensystem

Nervensystem	Merkmale
Somatisches NS (animalisches NS)	**Bewusste Wahrnehmung** von Sinneseindrücken; **Innervation der Skelettmuskulatur**
Autonomes NS (vegetatives / viszerales NS)	**Steuerung der Eingeweidetätigkeit**

Somatisches NS (PNS-Anteil)

- **Exterozeptoren / Propriozeptoren** → **Somatosensorik** → ZNS → **Somatomotorik** → **Skelettmuskulatur**

Autonomes NS (PNS-Anteil)

- **Viszerale Rezeptoren** → **Viszerosensorik** → ZNS → **Viszeromotorik** → **Eingeweide**

Afferentes vs. Efferentes Nervensystem

System	Merkmale
Afferente Nervenfasern	Leiten Signale **zum Gehirn hin** → **sensorisch**. Quellen: Nase, Auge, Ohr, Geschmacksknospen, Haut, Muskeln, Gelenke, Eingeweide
Efferente Nervenfasern	Leiten Signale **vom Gehirn weg** → **motorisch**. Ziele: Speicheldrüsen, glatte Muskulatur, Skelettmuskulatur

💡 **Merke: Afferent** = zum ZNS hin (sensorisch) · **Efferent** = vom ZNS weg (motorisch)

Bezeichnungsunterschiede: ZNS vs. PNS

Spezifische Bezeichnungen	ZNS	PNS
Bündel von Nervenfasern	Tractus (*)	Nerven (*)
Anhäufung von Nervenzellkörpern	Nucleus	Ganglion

(* Ausnahme: Hirnnerven I und II → ZNS)

Hirnnerven im ZNS

- Blick von unten (kaudal) auf das Gehirn mit seinen **Nervenabgängen (I–XII)**
- **ventral** ↑ (in Richtung Bauch)
- **dorsal** ↓ (in Richtung Rücken)

Hirnnerven	Zuordnung
Hirnnerven I und II	Gehören zum **ZNS**
Hirnnerven III–XII	Gehören zum **PNS**

Aufbau des Neurons

Das Neuron – Grundstruktur

- **Zellkörper (Perikaryon)** – enthält den Zellkern und die wichtigsten Organellen
- **Dendriten** – Empfänger synaptischer Eingangssignale (verzweigte Fortsätze)
- **Axon** – leitet Signale weiter, Länge von weniger als 1 mm bis über 1 m
- **Axonendverzweigungen** – bilden **Synapsen** auf Zielzellen aus

Aufbau des Motoneurons (Beispiel)

- **Dendrit mit Dornen** (Spines)
- **Perikaryon** mit Kern und Organellen
- **Axonhügel / Ursprungskegel** – Übergang zum Axon
- **Myelinscheide** (Internodium) – im ZNS durch **Oligodendrozyten**, im PNS durch **Schwann-Zellen**
- **Ranviersche Schnürringe** – myelinfreie Abschnitte zwischen den Internodien
- **Kollaterale** – Seitenäste des Axons
- **Terminale / Synapsenknöpfchen** – synaptische Endigung

- Übergang ZNS → PNS am Axonverlauf

Perikaryon (Zellkörper) – Detailaufbau

Struktur	Merkmale
Nucleolus & Kernhülle	Zellkern mit Nucleolus
Raues ER & Polyribosomen	Proteinsynthese (Nissl-Substanz)
Golgi-Apparat	Proteinmodifikation und -sortierung
Mitochondrium	Energieversorgung (ATP)
Lysosomen / Lipofuszingranulum	Abbau und Alterungspigment
Multivesikuläres Körperchen	Endosomaler Transport
Neurofilamente	Stabilisierung (Intermediärfilamente des Neurons)
Mikrotubuli	Intrazellulärer Transport
Plasmalemm	Zellmembran

Synapsentypen am Perikaryon

- **Terminale mit axodendritischer Synapse** (Synapse auf Dendrit)
- **Terminale mit axosomatischer Synapse** (Synapse auf Zellkörper)
- **Dornenapparat innerhalb eines dendritischen Dorns**

Motorische Endplatte (Neuron)

- **Schwann-Zelle** – umhüllt das Axonende
- **Ende der Myelinscheide**
- **Terminale mit synaptischen Vesikeln** – enthalten Neurotransmitter
- **Synapsenspalt mit Basallamina**
- **Axon → Muskelfaser**

Neuronentypen

Einteilung nach Fortsätzen

Neuronentyp	Merkmale
Unipolar	Ein einziger Fortsatz vom Zellkörper
Bipolar	Zwei Fortsätze (ein Dendrit, ein Axon)
Pseudounipolar	Scheinbar ein Fortsatz, der sich T-förmig teilt (z. B. Spinalganglien)
Multipolar	Viele Dendriten + ein Axon (häufigster Typ)

Multipolare Neuronen – Beispiele

- **Motoneuron des Rückenmarks**
- **Purkinje-Zelle** (Kleinhirn) – stark verzweigter Dendritenbaum
- **Pyramidenzelle** (Großhirnrinde)

Gliazellen (Neuroglia)

Gliazellen im ZNS vs. PNS

ZNS	PNS
Astrozyten	Mantelzellen (Satellitenzellen)
Oligodendrozyten	Schwann-Zellen
Mikroglia	Makrophagen (?)

Astrozyten (ZNS)

Typ	Merkmale
Protoplasmatischer Astrozyt	Stark verzweigte, buschige Fortsätze; v. a. in der **grauen Substanz**
Faserastrozyt	Lange, wenig verzweigte Fortsätze; v. a. in der **weißen Substanz**

Mikroglia & Oligodendrozyten (ZNS)

- **Mikroglia** – residente Immunzellen des ZNS (Phagozytose)
- **Oligodendrozyten** – bilden die **Myelinscheide** im ZNS; ein Oligodendrozyt kann **mehrere Axone** myelinisieren
- **Ranviersche Schnürringe** und **saltatorische Erregungsleitung** – Aktionspotential springt von Schnürring zu Schnürring → schnelle

Signalweiterleitung

Schwann-Zellen & Mantelzellen (PNS)

- **Schwann-Zellen** – bilden die **Myelinscheide** im PNS; eine Schwann-Zelle umhüllt **ein Internodium eines Axons**
- **Mantelzellen** (Satellitenzellen) – umgeben Nervenzellkörper in **Ganglien** des PNS
- **Ranviersche Schnürringe** – auch im PNS zwischen den myelinisierten Abschnitten
- Aufbau peripherer Nerv: **Myelin Sheath** (Myelinscheide) mit **Node of Ranvier** (Ranvierscher Schnürring)

> 💡 **Merke:** Oligodendrozyten (ZNS) können **mehrere Axone** myelinisieren, Schwann-Zellen (PNS) umhüllen jeweils **nur ein Internodium**

Nervenregeneration

PNS: Nerven können regenerieren!

- Nach Verletzung im PNS können Axone **nachwachsen**
- Ablauf der Regeneration (zeitlicher Verlauf):
  1. **3. Tag:** Wallersche Degeneration – distaler Axonabschnitt und Myelinscheide degenerieren; Makrophagen räumen Trümmer ab
  2. **2. Woche:** Schwann-Zellen proliferieren und bilden **Büngner-Bänder** (Leitstrukturen)
  3. **4. Woche:** Axon wächst entlang der Büngner-Bänder nach
  4. **4. Monat:** Remyelinisierung und funktionelle Wiederherstellung
- Im **ZNS** ist die Regenerationsfähigkeit stark eingeschränkt (Oligodendrozyten, Narbenbildung durch Astrozyten)

ZNS-Synapsentypen & Neurotransmitter

Glutamaterge Synapse (exzitatorisch, +)

- **Glutamat** – wichtigster **erregender** Neurotransmitter im ZNS
- Beteiligte Enzyme:
  1. Transaminasen
  2. Glutaminase
  3. Glutaminsynthetase
  4. Glutamatdehydrogenase
- **Neurotransmitter-Recycling** über **Astrozyten** (Glutamat-Glutamin-Zyklus)
- Postsynaptische Rezeptoren: **AMPA**, **Kainat**, **NMDA**
- Signaltransduktion über **Ca^{2+}**-Einstrom und intrazelluläre Kaskaden (z. B. **PLC**)

Transmitterübersicht

Transmitter	Überwiegend wirksam im…
Adrenalin	ZNS + PNS
Dopamin	ZNS
Melatonin	ZNS
Noradrenalin	PNS
Serotonin	ZNS
Oxytocin	ZNS
Vasopressin	PNS
γ-Aminobuttersäure (GABA)	ZNS – (inhibitorisch)
Glutaminsäure (Glutamat)	ZNS + (exzitatorisch)
Glycin	ZNS – (inhibitorisch)
Acetylcholin	PNS + (exzitatorisch)
NO	PNS + (Gefäße)

Nervenfasern und Leitungsgeschwindigkeit

Fasertypen

Fasertyp	Funktionen	Mittlerer ∅	Leitungsgeschw.
Aα	Motorisch zu Skelettmuskeln, afferent von Muskelspindeln	15 µm	70–130 m/s
Aβ	Afferent von Hautrezeptoren für Berührung und Druck	8 µm	30–70 m/s
Aγ	Motorisch zu Muskelspindeln	5 µm	15–30 m/s
Aδ	Afferent von Hautrezeptoren für Temperatur und Schmerz	<3 µm	12–30 m/s
B	Vegetativ präganglionär	3 µm	3–15 m/s
C	Sympathisch postganglionär, afferent von Schmerzrezeptoren	1 µm	0,5–2 m/s

Reflexe

Monosynaptisch vs. Polysynaptisch

Reflextyp	Merkmale & Beispiele
Monosynaptischer Reflex	Nur **eine Synapse** im Reflexbogen (afferentes Neuron → α-Motoneuron). Bsp.: Zehenbeugereflex, Trizepssehnenreflex, **Patellarsehnenreflex**, Bauchdeckenreflex, Bizepssehnenreflex, Achillessehnenreflex
Polysynaptischer Reflex	**Mehrere Synapsen** im Reflexbogen (Interneurone zwischengeschaltet). Bsp.: Kornealreflex, Pupillenreflex, Schluckreflex, Würgreflex, Kremasterreflex, Analreflex

Aufbau des Reflexbogens (Rückenmark)

- **Hinterwurzel / Hinterhorn** – sensorischer Eingang
- **Pseudounipolares Perikaryon** im **Spinalganglion**
- **Vorderwurzel / Vorderhorn** – motorischer Ausgang
- **α-Motoneuron** im Vorderhorn

- Bei polysynaptischen Reflexen: **Axone der Interneurone** zwischengeschaltet

---

Das enterische Nervensystem (ENS)

Der Verdauungstrakt besitzt ein eigenes Nervensystem

- **Größte Ansammlung von Neuronen außerhalb des ZNS** (ca. **100 Millionen Nervenzellen**)
- Viele verschiedene Nervenzelltypen
- Hohes Maß an funktioneller Autonomie → **„Brain in the gut“**

Aufbau

- **Plexus myentericus** (Auerbach-Plexus) – zwischen den Muskelschichten
- **Plexus submucosus** (Meissner-Plexus) – in der Submukosa

Regulatorische Funktionen

- Intestinale **Motilität** (Peristaltik)
- **Sekretion + Resorption**
- **Wasser- und Elektrolythaushalt**
- **Blutfluss**
- **Immunsystem**

Histologie: Periphere Nerven & Rückenmark

Periphere Nerven

- **N. ischiadicus** (Ischiasnerv) – größter peripherer Nerv; Querschnitt zeigt gebündelte Nervenfasern
- **Spinalganglion** – Ansammlung pseudounipolarer Nervenzellkörper; histologisch: große, runde Zellkörper mit **Mantelzellen** (Satellitenzellen)

Rückenmark

- **Motorische Vorderhornneurone** – große multipolare Neurone im Vorderhorn des Rückenmarks

- Histologie: Querschnitt zeigt **graue Substanz** (schmetterlingsförmig) und **weiße Substanz**

Klinisches Beispiel: Morbus Hirschsprung

Entwicklungsstörung des ENS

⚠️ **Morbus Hirschsprung**
Ursache: Partielle oder totale **Aganglionose des Colons** → keine Darmperistaltik → kein Fäzestransport durch den Darm

Symptomatik:
- Wenige Tage bis Wochen postnatal: Bildung eines **Mega-Colons** wegen Darmverschlusses
- Fäzes-Stauung

Therapie:
- **Chirurgischer Eingriff**: Anus praeter mit späterer Rückverlagerung
- Nur bei milden Verläufen (kurze aganglionotische Colonabschnitte) konservativ möglich

---

Histologie der Nervengewebe

Peripherer Nerv (Querschnitt)

- Nervenfaserbündel mit umgebenden Bindegewebshüllen
- **Epineurium** – umgibt den gesamten Nerv
- **Perineurium** – umgibt einzelne Faserbündel (Faszikel)
- **Endoneurium** – umgibt einzelne Nervenfasern

Spinalganglion (Histologie)

- Ansammlung **pseudounipolarer Nervenzellkörper**
- Große, runde Perikaryen umgeben von **Mantelzellen** (Satellitenzellen)

Rückenmark (Histologie)

- Querschnitt: **Graue Substanz** (Schmetterlingsform, Neurone) und **Weiße Substanz** (Nervenfasern)
- **Vorderhorn**: motorische Neurone (α-Motoneurone)
- **Hinterhorn**: sensorische Neurone

📝 **Lernkontrolle: Nervengewebe (komplett)**
- **Grundaufbau:** ZNS (Gehirn + Rückenmark) vs. PNS (periphere Nerven)
- **Fakten Gehirn:** 1300 g, 100–1000 Mrd. Neurone, 1000 Mrd. Gliazellen, bis 10.000 Synapsen pro Nervenzelle
- **Neuron:** Perikaryon, Dendriten, Axon, Myelinscheide, Ranviersche Schnürringe, Synapsen
- **Neuronentypen:** unipolar, bipolar, pseudounipolar, multipolar
- **Gliazellen ZNS:** Astrozyten (protoplasmatisch/Faser-), Oligodendrozyten, Mikroglia
- **Gliazellen PNS:** Schwann-Zellen, Mantelzellen
- **Myelinisierung:** Oligodendrozyten (ZNS, mehrere Axone) vs. Schwann-Zellen (PNS, ein Internodium)
- **Nervenregeneration:** im PNS möglich (Wallersche Degeneration → Büngner-Bänder → Nachwachsen)
- **Neurotransmitter:** Glutamat (+), GABA (–), Glycin (–), Acetylcholin (PNS +), Dopamin, Serotonin, Noradrenalin u. a.
- **Nervenfasertypen:** Aα–Aδ, B, C – mit unterschiedlicher Leitungsgeschwindigkeit
- **Reflexe:** Monosynaptisch (z. B. Patellarsehnenreflex) vs. Polysynaptisch (z. B. Pupillenreflex)
- **ENS:** "Brain in the gut", Plexus myentericus (Auerbach) + Plexus submucosus (Meissner)
- **Morbus Hirschsprung:** Aganglionose des Colons → Mega-Colon
- **Histologie:** Peripherer Nerv (Epi-/Peri-/Endoneurium), Spinalganglion, Rückenmark (graue/weiße Substanz)

VL3

Muskelgewebe

Muskelgewebetypen

- **Quergestreifte Muskulatur**
  - Skelettmuskulatur
  - Herzmuskulatur
- **Glatte Muskulatur**

Lichtmikroskopische Unterschiede

Merkmal	Skelettmuskelgewebe	Herzmuskelgewebe
Querstreifung	Ja	Ja
Zellkerne	**Randständig**	**Zentral**
Zellverband	**Echtes Synzytium** (vielkernige Fasern)	**Einzelne Zellen** (funktionelles Synzytium)
Glanzstreifen	Nein	**Ja**
Verzweigung	Nein	**Ja**

Glattes Muskelgewebe

- **Keine Querstreifung**
- Zellkerne **zentral**
- **Einzelne Zellen** (funktionelles Synzytium möglich)

Suborganisation der Muskeltypen

Muskeltyp	Suborganisation
Skelettmuskelfaser	Querstreifung, Zellkerne randständig, vielkernige Zellen (echtes Synzytium), Muskelfasern aus zahlreichen **Myofibrillen**
Herzmuskelzelle	Querstreifung, Zellkerne zentral, einzelne Zellen (funktionelles Synzytium), **Glanzstreifen**, Verzweigungen
Glatte Muskelzelle	Keine Querstreifung, Zellkerne zentral, einzelne Zellen (funktionelles Synzytium möglich)

Organisation des Skelettmuskels

Hierarchischer Aufbau

Von außen nach innen:

1. **Muskelfaszie** – umgibt den ganzen Muskel
2. **Epimysium** – liegt unter der Muskelfaszie
3. **Perimysium externum** – umgibt Sekundärbündel
4. **Perimysium internum** – umgibt Primärbündel
5. **Endomysium** – umgibt jede einzelne Muskelfaser
6. **Basalmembran** – hüllt jede Muskelfaser ein

Muskelfaser = Muskelzelle

- Durchmesser: 10–100 µm
- Enthält: **Myofibrillen**, **Sarkolemm** (Zellmembran), **Satellitenzellen**, Zellkerne, Mitochondrien
- Myofibrillen bestehen aus **Sarkomeren** (ca. 1 µm)

Bindegewebselemente des Skelettmuskels

Bindegewebsschicht	Kollagentyp	Funktion / Lage
Muskelfaszie	Kollagen I	Straffes geflechtartiges Bindegewebe, scheren-gitterartig angeordnet; **umgibt den ganzen Muskel**
Epimysium	Kollagen I	Lockeres Bindegewebe; liegt **unter der Muskelfaszie**
Perimysium	Kollagen I	Umgibt **Sekundärbündel** (P. externum) und **Primärbündel** (P. internum)
Endomysium	Kollagen III	Umgibt **jede Muskelfaser**
Basalmembran	Kollagen IV	**Hüllt jede Muskelfaser ein**

Organisation der Skelettmuskelfaser

Skelettmuskelfaser = Muskelzelle

Bestandteile der Muskelfaser

- **Sarkolemm** (Zellmembran)
- **Myofibrillen** – kontraktile Elemente
- **T-System** (transversale Tubuli) – Einstülpungen des Sarkolemms
- **L-System** = **Sarkoplasmatisches Retikulum** (longitudinale Tubuli) – Kalziumspeicher
- **Mitochondrien** – Energieversorgung
- **Satellitenzellen** – Stammzellen für Regeneration
- Zellkerne (randständig, vielkernig)
- **Endomysium** und **Basalmembran** umgeben die Faser

Querstreifung unter dem Mikroskop

Im Licht- und Elektronenmikroskop erkennbar: verschiedene **Bänder / Streifen**

Sarkomeranordnung

- **Sarkomer** = kleinste funktionelle Einheit der Myofibrille (von Z-Linie zu Z-Linie)
- **Z-Linie** – Verankerung der Aktinfilamente
- **M-Linie** – Mitte des Sarkomers
- **A-Bande** (anisotrop) – Bereich mit **Myosin** (dunkle Bande)
- **I-Bande** (isotrop) – Bereich nur mit **Aktin** (helle Bande)
- **H-Zone** – Bereich nur mit Myosin (innerhalb der A-Bande)

Kontraktile Filamente

- **Myosin** (dicke Filamente)
- **Aktin** (dünne Filamente)

Intrafusale & extrafusale Muskelfasern

- **Extrafusale Muskelfasern** – reguläre, kontraktile Skelettmuskelfasern

- **Intrafusale Muskelfasern** – spezialisierte Fasern innerhalb der **Muskelspindeln** (Propriozeption: Lage des Körpers / der Extremitäten im Raum)

Motorische Einheit

> ❗ **Klausurrelevant!** Definition: Alle von einem **Motoneuron** innervierten **Muskelfasern**

Aufbau

- Ein **α-Motoneuron** im Rückenmark sendet sein **Axon** mit **Axonkollateralen** zu mehreren Muskelfasern
- Jede Muskelfaser wird von einer **motorischen Endplatte** kontaktiert – dies kann aber **nur einmal** geschehen
- Ein Motoneuron innerviert mit einer seiner Endplatten eine Muskelfaser **nur einmal**

Motorische Endplatte

- **Motoneuron** → **Markscheide** → **motorische Endplatte** auf der Muskelzelle
- **Vesikel mit Acetylcholin** werden freigesetzt
- Bestandteile:
  - **Synaptischer Spalt**
  - **Basalmembran**
  - **Postsynaptische Membran** (subneuraler Faltenapparat)
  - **Schwann-Zelle**
  - **Sarkoplasma** und **Myofibrillen** auf der Muskelseite
  - **Acetylcholin-Rezeptoren** auf der postsynaptischen Membran

---

Ca^{2+}-Ionen Fluss & Kontraktion

Zeitliche Abfolge der Erregung

1. **Aktionspotential** am Motoneuron
2. Freisetzung von **Ca^{2+}** aus dem sarkoplasmatischen Retikulum
3. **Kraftentwicklung** (Kontraktion)

Ablauf im Detail

1. **Depolarisation** → Nervenimpuls (Aktionspotential) erreicht die **motorische Endplatte**
2. **Freisetzung von Ca^{2+}** aus den **Terminalzisternen des SR** (sarkoplasmatisches Retikulum)
3. Ca^{2+} diffundiert zu den **Myofibrillen** → **Kontraktion**
4. **Rückstrom von Ca^{2+}** in das SR durch die **Ca^{2+}-ATPase** → **Relaxation**



Der Ca^{2+}-Ionen Fluss löst die Kontraktion aus!

Sarkomerverkurzung & Kraft

Kraft-Längen-Beziehung

- Optimale Sarkomerlänge für maximale Kraft: ca. **2,0–2,2 µm**
- Bei zu kurzer Sarkomerlänge (< 1,6 µm): Filamente überlappen zu stark → Kraft sinkt
- Bei zu langer Sarkomerlänge (> 2,9 µm): Filamente verlieren Kontakt → Kraft sinkt
- Maximale Sarkomerlänge: ca. 3,6 µm (keine Überlappung → keine Kraft)

Strukturproteine des Sarkomers

- **Titin** – elastisches Protein, verbindet Myosin mit der Z-Linie
- **Aktin** – dünnes Filament
- **Myosin** – dickes Filament

Kontraktionsvergleich: quergestreifte vs. glatte Muskulatur

Skelettmuskel (quergestreift)

- Motorische Endplatte → Muskelfaser → Myofibrillen → **Sarkomere**
- Aufbau: **Z-Scheibe** – dünnes Filament (Aktin) – **M-Linie** – dickes Filament (Myosin) – **Titinfilament**
- **I-Bande-Hälfte** | **A-Bande** | **I-Bande-Hälfte** mit **H-Zone**
- Bei **Kontraktion**: I-Bande und H-Zone werden kürzer, A-Bande bleibt gleich

Glatter Muskel

- **Keine Sarkomere**, stattdessen kontraktiler Apparat aus:
  - **Aktinfilamente**
  - **Myosinfilamente**
  - **Intermediärfilamente**
  - **Dense Bodies** (Verankerungspunkte, analog zu Z-Scheiben)
- Innervation über **Varikositäten** (Verdickungen am Axon) und **Gap Junctions**
- Kontraktion: Zelle verkürzt sich insgesamt (spindelförmig → kugelig)

Histologischer Vergleich Muskelzelltypen

Skelettmuskel

- **M. brachioradialis** (Längsschnitt): deutliche Querstreifung, randständige Zellkerne

Herzmuskel

- **Papillarmuskel** (Längsschnitt): Querstreifung sichtbar, **Glanzstreifen** als Verbindung der Zellen, Verzweigungen
- **Papillarmuskel** (Querschnitt): zentrale Zellkerne erkennbar

Glatter Muskel

- **Dünndarm – Azan-Färbung**: **2 Muskelschichten** (Längs- und Ringmuskulatur), keine Querstreifung, zentrale Zellkerne

---

Rückenmark (motorische Vorderhornneurone)

Aufbau & Strukturen

- **Vorderhorn** – enthält die **spinalen Motoneuronen** (α-Motoneurone)
- **Vorderwurzel** – motorischer Ausgang (efferent)
- **Gemischter Spinalnerv** – enthält sowohl afferente (sensorische) als auch efferente (motorische) Fasern
- **Muskelfaser** – Zielorgan der Motoneurone, Innervation über die motorische Endplatte

💡 **Merke:** Die motorischen Vorderhornneurone sind **multipolare Neurone**, deren Axone über die Vorderwurzel das Rückenmark verlassen und als Teil des gemischten Spinalnervs die Skelettmuskulatur innervieren.

📝 **Lernkontrolle VL3: Wichtige Begriffe zum Muskelgewebe & Nervengewebe** ❗ *Klausurrelevant!*

Muskelgewebe:
- Lichtmikroskopisch erkennbare Unterschiede zwischen **Herz-, Skelett- und glatter Muskulatur**
- Aufbau eines **Sarkomers** (I-Bande, A-Bande, H-Zone, Z-Scheibe, M-Linie)
- **Endo-, Peri- und Epimysium** – Bindegewebshüllen des Muskels
- **Echtes Synzytium** (Skelettmuskel) vs. **funktionelles Synzytium** (Herzmuskel, glatte Muskulatur)
- Besitzen glatte Muskelzellen **Aktin- und Myosinfilamente**? → Ja, aber ohne Sarkomerorganisation (Dense Bodies)
- **Transversales System** (T-System: Einstülpungen des Sarkolemms) und **Longitudinales System** (L-System: sarkoplasmatisches

Retikulum, Ca^{2+}-Speicher)
- Organe mit großen Anteilen an **glattem Muskelgewebe** (Darm, Blase, Uterus, Gefäße ...)
- **Motorische Einheit** – alle von einem Motoneuron innervierten Muskelfasern
- Faszie, Muskelfaserbündel, Muskelfaser, Myofibrillen, Myofilamente
- Glanzstreifen, Aktin, Myosin

Nervengewebe:
- **Zelltypen im Nervengewebe**: Neurone + Gliazellen (Astrozyten, Oligodendrozyten, Mikroglia, Schwann-Zellen, Mantelzellen)
- Funktionen von **Astrozyten** (Stütze, Blut-Hirn-Schranke), **Oligodendrozyten** (Myelinbildung ZNS), **Schwann-Zellen** (Myelinbildung PNS)
- **Uni-, pseudouni-, bi- und multipolare Neuronen** – Einteilung nach Fortsätzen
- **Motorische Einheit** – Definition und Aufbau
- **Graue und weiße Substanz** im Rückenmark (Schmetterling: Vorder-/Hinterhorn) und Großhirn (Cortex = grau, Mark = weiß)
- Welchen **Neurotransmitter** setzen Motoneurone an der Skelettmuskulatur frei? → **Acetylcholin**