



**med**  
medizin

Wynn Kapit  
Lawrence M. Elson

# Anatomie Malatlas

3., aktualisierte Auflage

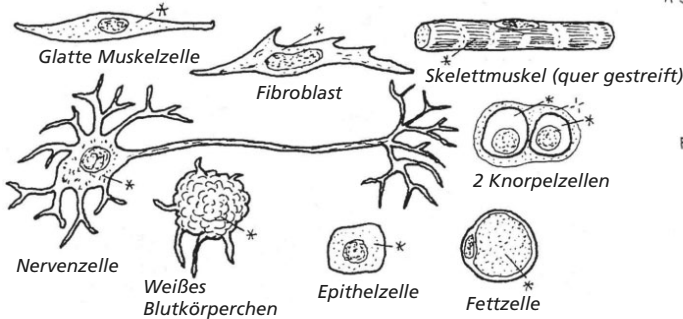
Benjamin Cummings

# DIE ZELLE

**MALHINWEIS**

Kolorieren Sie die unterschiedlichen Zellformen in der Abbildung oben links grau. Benutzen Sie helle Farben für A, C, D, F und G. (1) Die kleinen Kreise stellen die Ribosomen (H) dar und finden sich sowohl im Zytoplasma (F) als auch am rauen endoplasmatischen Retikulum (G<sup>1</sup>); kolorieren Sie zunächst die Gebiete, in denen sie vorkommen, einheitlich und versehen Sie anschließend die Ribosomen mit einer dunkleren Farbe. Exemplarisch wird jeweils eine der in Wirklichkeit zahlreichen Zellorganellen dargestellt.

## ZELLFORMEN



## ZELLORGANELLEN

### ZELLMEMBRAN<sub>A</sub>

ENDOZYTOSE<sub>B</sub> / EXOZYTOSE<sub>B1</sub>

### ZELLKERNMEMBRAN<sub>C</sub>

### KERNPLASMA<sub>D</sub>

### NUCLEOLUS<sub>E</sub>

### ZYTOPLASMA<sub>F</sub>

### ENDOPLASMATISCHES RETIKULUM

GLATTES<sub>G</sub> / RAUES<sub>G1</sub>

### RIBOSOMEN<sub>H</sub>

### GOLGI-APPARAT<sub>I</sub>

### MITOCHONDRIMUM<sub>J</sub>

### VAKUOLE<sub>K</sub>

### LYSOSOM<sub>L</sub>

### ZENTROMER<sub>M</sub>

### MIKROTUBULI<sub>N</sub>

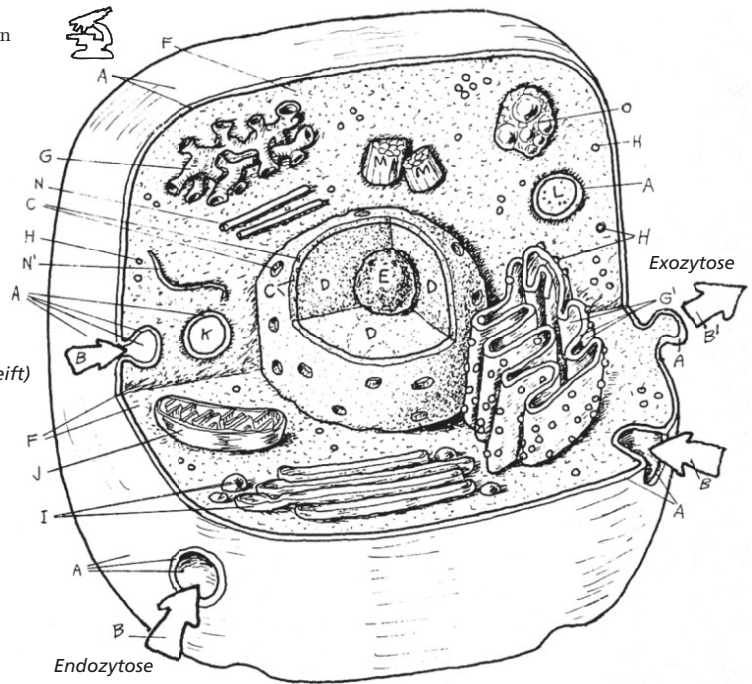
### MIKROFILAMENTE<sub>N1</sub>

### ZELLEINSCHLÜSSE<sub>O</sub>

Die Zelle ist die kleinste strukturelle und funktionelle Einheit des Lebens. Alles Lebende ist durch die Fähigkeit zu Wachstum und Fortpflanzung, Verstoffwechslung (Umwandlung oder Erzeugung/Verbrauch von Energie) sowie eine begrenzte Anpassung an Veränderungen des inneren und äußeren Milieus gekennzeichnet. Körperbestandteile, denen diese Merkmale fehlen, wie z.B. die Fasern des Bindegewebes, werden nicht als „belebt“ betrachtet. Der Körper ist weitaus komplexer als eine Zelle, denn er besteht aus einer Ansammlung von vielen Zellen und deren Produkten.

Zellaktivitäten bestimmen den Lebensvorgang; diese beinhalten die Aufnahme, Assimilation und Verdauung von Nährstoffen sowie die Ausscheidung von Reststoffen, die Atmung, den Auf- und Abbau von Substanzen, die Bewegung sowie die Erregbarkeit oder die Reaktion auf Stimuli. Eine Beeinträchtigung oder Einstellung dieser Aktivitäten in normalen Zellen aufgrund von Verletzung, Infektion, Tumor, Degeneration oder angeborenen Defekten stellt die Basis von Funktionsstörungen und Krankheit dar.

Vom Volumen her besteht die Zelle zu 80 % aus Wasser. Ihr Gewicht verteilt sich auf Proteine (ca. 15 %), Fette (3 %), Kohlenhydrate (1 %) sowie Nucleinsäuren und Mineralstoffe (1 %). Diese Substanzen sind in strukturell-funktionellen Untereinheiten (Organellen) organisiert bzw. bilden mobile funktionelle Einheiten (z.B. Messenger-RNS, kugelförmige



proteinbasierte Enzyme) oder Zellprodukte. Die Grundfunktion der Zelle ist die Proteinproduktion, welche die Grundlage für die Bereitstellung sowie den Verbrauch von Energie, Organbildung und Reparatur von Strukturen und Zellaktivitäten im Allgemeinen (z.B. Synthese, Sekretion, Absorption, Kontraktion) liefert.

**Zellmembran:** Die Zelle wird durch eine Lipoproteinmembran begrenzt, welche die inneren Strukturen schützt und Im- und Export von Stoffen ermöglicht. Durch Einfalten bzw. Ausstülpungen der Membran werden Stoffe in die Zelle aufgenommen (Endozytose) oder aus ihr ausgeschieden (Exozytose).

**Kernmembran:** begrenzende, mit Poren versehene Lipoproteinmembran; reguliert die Passage von Proteinen.

**Kernplasma:** Das Kernplasma enthält Chromatin (Chromosomen während der Zellteilung) und RNS.

**Nucleolus:** Ansammlung von vorwiegend RNS; er bildet die ribosomale RNS (r-RNS), die in das Zytoplasma wandert und dort Proteine aufbaut.

**Zytoplasma:** die Grundsatzsubstanz der Zelle ohne den Zellkern. Enthält Organellen und die unten aufgeführten Zelleinschlüsse.

**Glattes/raues endoplasmatisches Retikulum (ER):** aus Membranen gebildetes Röhrensystem, an dem Ribosomen anhaften (raues ER, abgeflachte Röhren) oder nicht (glattes ER, runde Röhren). Das raue ER ist am Transport von Proteinen, die in den Ribosomen synthetisiert wurden, beteiligt. Das glatte ER stellt in manchen Zellen komplexe Moleküle wie die Steroide her, speichert Calcium in Muskelzellen oder baut Toxine in der Leber ab.

**Ribosomen:** der Ort, an dem die Aminosäuren in der Proteinsynthese gemäß der Bauanleitung der m-RNS aneinandergereiht werden.

**Golgi-Apparat:** flache, aus Membranen gebildete Röhren, die an ihren Enden kleine Vesikel abschnüren. Diese sammeln Zellprodukte, die zur Sekretion bestimmt sind, z.B. Lysosomen.

**Mitochondrien:** ovale, von Membranen umgebene Strukturen, deren innere Membran einem Labyrinth gleicht. Die Energie, die eine Zelle für ihre Arbeit benötigt, wird hier durch eine Reihe von Reaktionen von Sauerstoff mit den Produkten der Verdauung bereitgestellt (oxidative Phosphorylierung).

**Vakuolen:** membranöse Speicher, die mit anderen Vakuolen oder anderen membranösen Strukturen wie z.B. der Zellmembran verschmelzen können. Sie dienen als Transportvesikel.

**Lysosomen:** membranöse Enzymspeicher mit der Eigenschaft, Mikroorganismen, beschädigte Zellstrukturen oder aufgenommene Stoffe abzubauen.

**Zentriole:** Bündel von Mikrotubuli in der Form eines Fasses, die gewöhnlich in Paaren aneinanderliegen. Aus ihnen gehen die Zellspindeln hervor, die an der Wanderung der Chromosomen bei der Zellteilung beteiligt sind.

**Mikrotubuli:** geformte Proteine; sorgen für die strukturelle Grundlage der Zelle und/oder ihrer Organellen.

**Mikrofilamente:** ebenfalls strukturelle Proteine der Zelle, jedoch aus anderen Proteinen gebildet als die Mikrotubuli. In den Muskelzellen sind die Proteine Actin und Myosin Beispiele für diese Mikrofilamente.

**Zelleinschlüsse:** Ansammlungen von Materialien in der Zelle, die jedoch keine funktionelle Einheit (Organelle) darstellen, z.B. Glykogen oder Fett.



# ZELLEILUNG/MITOSE (siehe Tafel 8)



**MALHINWEIS**

Benutzen Sie für Zellmembran, Kernmembran, Nucleolus und Zentriole dieselben Farben wie auf der vorigen Tafel, auch wenn die Buchstabenbezeichnungen andere sein sollten. Verwenden Sie kontrastreiche Farben für E-E<sup>2</sup> und F-F<sup>2</sup> und Grau für D-D<sup>1</sup>, um Letztere von jenen in kontrastreichen Farben unterscheiden zu können. (1) Beginnen Sie mit der Zelle in der Interphase, lesen Sie den entsprechenden Text und vervollständigen Sie die Abbildung, bevor Sie mit der nächsten Zelle fortfahren. (2) Kolorieren Sie den Namen jedes Stadiums und den entsprechenden weiterführenden Pfeil. Beachten Sie, dass in der Interphase das Chromatinmaterial innerhalb der Kernmembran sich in einem fadenartigen Zustand befindet. Kolorieren Sie den gesamten Bereich in der entsprechenden Farbe. Beachten Sie, dass das Chromatin zu Beginn (D\*) anders koloriert ist als in den Tochterzellen (E<sup>2</sup>, F<sup>2</sup>), es sich hierbei jedoch um dasselbe Chromatin handelt.

- ZELLMEMBRAN<sub>A</sub>
- KERNMEMBRAN<sub>B</sub>
- NUCLEOLUS<sub>C</sub>
- CHROMATIN<sub>D\*</sub> / CHROMOSOM<sub>D<sup>1</sup>\*</sub>
- CHROMATID<sub>E</sub> / CHROMOSOM<sub>E<sup>1</sup></sub>
- CHROMATIN<sub>E<sup>2</sup></sub>
- CHROMATID<sub>F</sub> / CHROMOSOM<sub>F<sup>1</sup></sub>
- CHROMATIN<sub>F<sup>2</sup></sub>
- ZENTROMER<sub>G</sub>
- ZENTRIOLE<sub>H</sub>
- ASTRALMIKROTUBULI<sub>I</sub>
- MITOSESPINDEL<sub>J</sub>

Die Eigenschaft, sich fortzupflanzen, ist charakteristisch für alles Lebende. Zellen vermehren sich in einem Prozess von Verdoppelung und Teilung, der als Mitose bezeichnet wird. Epithelien und Bindegewebszellen reproduzieren sich ständig, ausgereifte Muskelzellen nicht so häufig und differenzierte Nervenzellen so gut wie gar nicht. Übermäßige Mitose kann zu einem abgekapselten Tumor führen, und unkontrollierte Mitose in Kombination mit Invasion und Metastasen wird Krebs genannt.

Die wichtigsten zellulären Prozesse bei der Mitose spielen sich im Kern und in dessen Umgebung ab, und nur diese Bereiche sind hier dargestellt. Wir zeigen hier, wie das Kernchromatin (diffuses Netzwerk aus DNS und dazugehörigen Proteinen), das einst dupliziert wurde, sich in 46 Chromosomen umwandelt, welche sich in paarige Untereinheiten aufteilen (92 Chromatiden); diese Chromatiden trennen sich und wandern zu entgegengesetzten Polen der sich teilenden Zelle, wo sie die 46 Chromosomen der neu gebildeten Tochterzelle formen. Zum Verständnis zeigen wir hier nur vier Chromosomen- und Chromatidenpaare. Die Phasen der zu beobachtenden Kernveränderungen während der Mitose werden im Folgenden beschrieben.

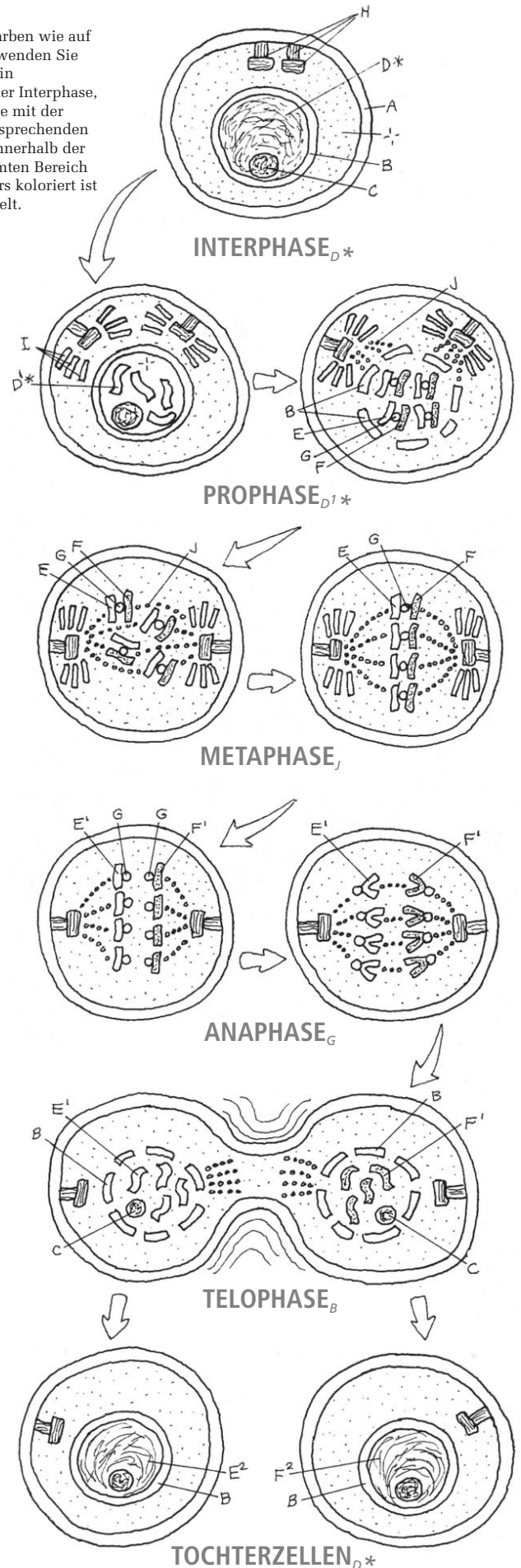
**Interphase:** die längste Zeitspanne des Reproduktionskreislaufs; Phase zwischen zwei Reproduktionen. Die Verdoppelung der DNS (Chromatin) geschieht während dieser Phase. Das verteilte Chromatin (D\*) besteht hier aus einem Netzwerk feiner Fibrillen, die nicht als einzelne Einheiten im Kernplasma zu sehen sind. Die Kernmembran, der Nucleus und der Nucleolus sind intakt. Die Zentriolen liegen paarig und miteinander verbunden an einem Pol der Zelle.

**Prophase:** Das verteilte Chromatin verdickt, sortiert und spult sich zu kondensiertem Chromatin oder Chromosomen (D<sup>1</sup>\*) auf. Jedes Chromosom besteht aus zwei Schwesterchromatiden (E und F) die über das Zentromer (G) miteinander verbunden sind. Jedes Chromatid hat den gleichen Anteil an DNS eines Chromosoms. Zu einem späteren Zeitpunkt dieser Phase lösen sich die Kernmembran und der Nucleolus auf. Die Zentriolen, die sich in der Interphase verdoppelt haben, trennen sich nun und wandern zu entgegengesetzten Polen der Zelle. Sie bilden Mikrotubuli aus, sog. Astralmikrotubuli.

**Metaphase:** Die Fasern der Mitosespindel erstrecken sich von den Polen zur Mitte der Zelle, die Chromatiden verbinden sich am Zentromer mit diesen und reihen sich in der Äquatorialebene der Zelle auf, wobei die Hälfte (46) auf der einen Seite und die andere Hälfte auf der Gegenseite zu liegen kommen.

**Anaphase:** Die Zentromere teilen sich so, dass jedes Tochterzentromer mit einem Chromatid verbunden ist. Jedes Zentromer, und damit das jeweilige Chromatid, wird entlang den Fasern der Zellspindel an den entsprechenden Zellpol gezogen. Die Chromatiden repräsentieren nun die späteren Chromosomen. Die Anaphase endet, wenn die Tochterchromosomen an den entsprechenden Zellpolen angelangt sind.

**Telophase:** Die Zelle trennt sich in der Mitte in zwei mit der Mutterzelle identische Tochterzellen, vorausgesetzt, es haben keine Mutationen stattgefunden. Das Zytoplasma und die Zellorganellen haben sich schon zu einem früheren Zeitpunkt verdoppelt und verteilen sich nun auf die neu gebildeten Zellen. Wenn der Zellkern wiederhergestellt ist und die Kernmembran sowie der Nucleolus wieder in der neuen Zelle erscheinen, verwandeln sich die Chromosomen in das Chromatin und die Zentromere verschwinden. Die komplette Trennung der Mutterzelle in die zwei Tochterzellen beendet den Prozess der Mitose. Jede Tochterzelle tritt in die Interphase ein und beginnt den Prozess von Neuem. Der Vorgang der Zellteilung erhöht die Zahlzahl, ohne den Zellinhalt zu verändern.





# GEWEBE: EPITHELIEN



**MALHINWEIS**

Benutzen Sie durchweg helle Farben.  
(1) Kolorieren Sie die Pfeile, welche das Vorkommen der Gewebe in den Körperorganen beschreiben.

Epithelgewebe, eine der vier Grundgewebearten, bilden die funktionalen Oberflächen der Haut und aller Körperhöhlen, einschließlich Drüsen, Gängen und Gefäßen. Ihre Aufgabe besteht darin, zu schützen und zu begrenzen, zu sezernieren, zu absorbieren oder zu fühlen (z.B. Neuroepithelien). Einige können sogar kontrahieren (Myoepithelien). Epithelien sind grundsätzlich aus einer (einschichtiges Epithel) oder mehreren Zellschichten (mehrschichtiges Epithel) aufgebaut. Die unterste Schicht des Epithels ist mit dem darunterliegenden Bindegewebe über die Basalmembran verbunden. Epithelzellen können auf eine oder mehrere Arten miteinander verbunden sein: über adhäsive Glykoproteine, über Desmosomen, durch Gap Junctions oder über intermediäre Filamente (nicht dargestellt).

## EINSCHICHTIGE EPITHELIEN

Diese Oberflächengewebe haben die Funktion der Filtration, Diffusion, Sekretion und Absorption.

### PLATTENEPITHEL<sup>A</sup>

Das einschichtige Plattenepithel besteht aus dünnen, flachen Zellen. Diese spielen eine Rolle bei der Diffusion. Sie kleiden u.a. das Herz, die Blutgefäße (Endothel), die Alveolen und die geschlossenen Körperhöhlen aus.

### KUBISCHES EPITHEL<sup>B</sup>

Einschichtiges kubisches Epithel besteht in der Regel aus sekretorischen Zellen. Es bildet fast alle Drüsen im Körper, die Nierentubuli, die terminalen Bronchiolen der Lunge und die Gänge der Genitalien.

### ZYLINDRISCHES (HOCHPRISMATISCHES) EPITHEL<sup>C</sup>

Das zylindrische Epithel kleidet den Gastrointestinaltrakt aus und spielt eine Rolle bei der Sekretion und Absorption. Seine dem Lumen zugewandte Oberfläche besitzt fingerartige Ausstülpungen der Zellmembran, sog. Mikrovilli, die eine Oberflächenvergrößerung zur besseren Sekretion/Absorption bewirken.

### ZWEIREIHIGES HOCHPRISMATISCHES EPITHEL<sup>D</sup>

Die zylindrischen Zellen sind dicht gebündelt, so dass sie den Eindruck einer Schichtung erwecken. Jede Zelle ist jedoch mit der Basalmembran verbunden. Diese Zellen kleiden die Genitalien und die Atemwege aus. Zilien an der freien Oberfläche dieser Zellen können mithilfe wellenartiger Schläge Materialien transportieren.

## MEHRSCHICHTIGE EPITHELIEN

Mehrschichtige Epithelien besitzen generell die Fähigkeit, mechanischen Einflüssen zu widerstehen, da sie einen Vorrat an Ersatzzellen haben.

### MEHRSCHICHTIGES PLATTENEPITHEL<sup>E</sup>

Dieses Gewebe kann verhornt (Haut) oder unverhornt (Mundhöhle, Rachen; Stimmfalten, Oesophagus, Vagina, Anus) sein. Die basalen Zellen, von denen alle Zellen dieses Gewebes abstammen, sind immer hochprismatisch.

### ÜBERGANGSEPIITHEL<sup>F</sup>

Mehrschichtige Epithelien kleiden die ableitenden Harnwege aus. In der leeren Harnblase ist die fibromuskuläre Schicht aufgrund des Muskeltonus kontrahiert: Das Epithel ist eng zusammengezogen. Mit der Füllung der Blase werden die Zellen ausgestreckt: Das Gewebe ist nun dünner als im kontrahierten Zustand. Das Gewebe ist gegenüber Volumenänderungen sehr anpassungsfähig.

## DRÜSEN EPITHELIEN

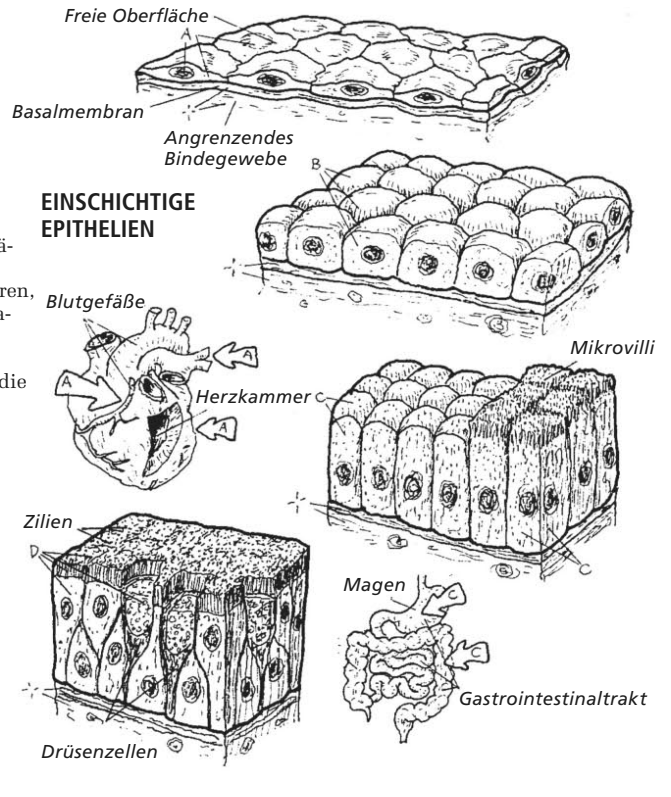
Exokrine Drüsen produzieren Sekrete/Exkrete verschiedener Zusammensetzung wie z.B. Schweiß, Milch, Talg, Hormone oder Enzyme. Myoepithelien sorgen für die Freisetzung des Sekrets.

### EXOKRINE DRÜSEN<sup>G</sup>

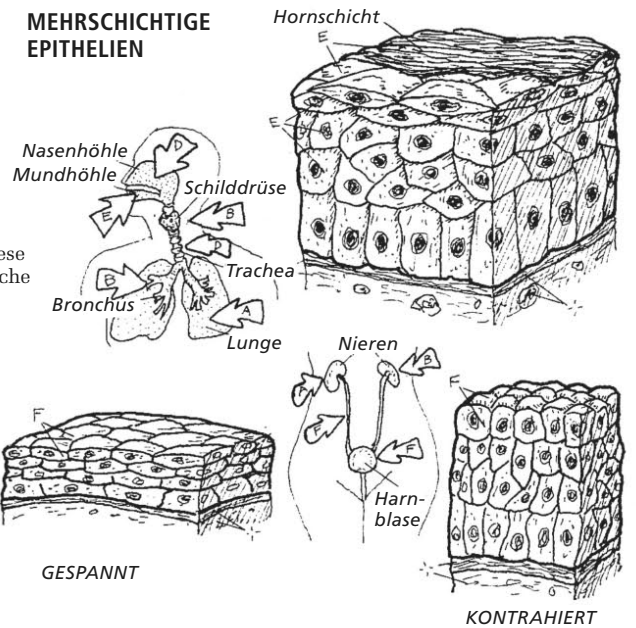
Exokrine Drüsen (z.B. Schweiß-, Talg-, Pancreas- und Brustdrüsen) bestehen aus mit Epithelzellen ausgekleideten Aussackungen, die über einen Ausführungsgang zur Oberfläche der Haut oder des Organs verfügen, um das produzierte Sekret ausscheiden zu können. Die sekretorische Einheit kann verschiedene Formen (tubulär, gewunden, alveolär oder azinös) haben und über einen oder mehrere Ausführungsgänge verfügen.

### ENDOKRINE ZELLEN<sup>H</sup>

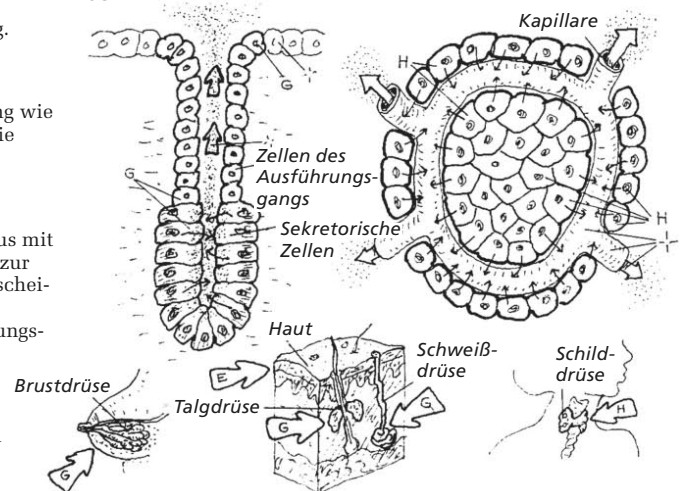
Endokrine Drüsen entstehen aus epithelialen Abkapselungen, verlieren jedoch während der Entwicklungszeit ihren Kontakt zur Oberfläche. Sie sind immer mit dichten kapillären Netzwerken assoziiert, in die sie ihr Sekret abgeben.



## MEHRSCHICHTIGE EPITHELIEN



## DRÜSEN EPITHELIEN





# GEWEBE: KOLLAGENHALTIGE BINDEGEWEBE

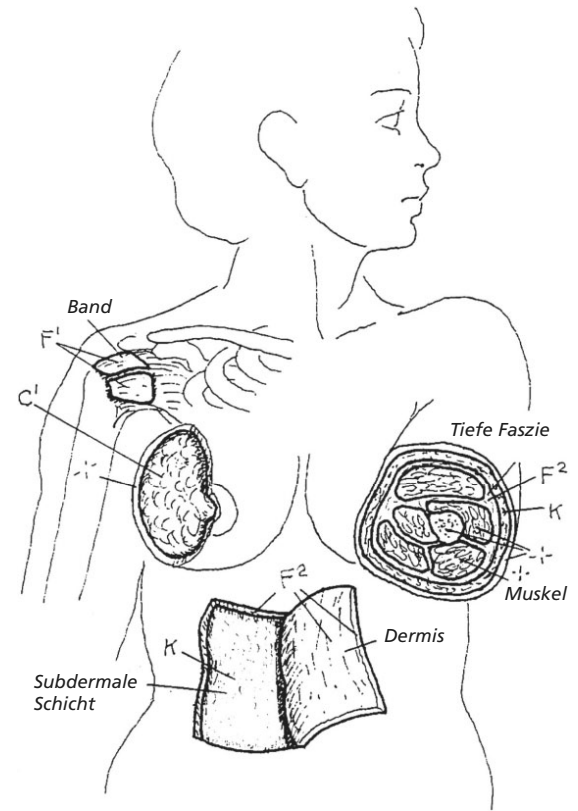
MALHINWEIS

Benutzen Sie Gelb für C sowie C<sup>1</sup> und Rot für J. (1) Beginnen Sie mit der Abbildung links in der Mitte und den entsprechenden Überschriften dazu (A bis K). Die Überschriften und Umrandungen der mikroskopischen Schnitte des straffen parallelfaserigen und straffen geflechtartigen Bindegewebes (F<sup>1</sup>, F<sup>2</sup>) werden in der Farbe für Kollagen markiert (F), da es das für dieses Gewebe vorherrschende Material ist. (2) Kolorieren Sie nicht die extrazelluläre Matrix.

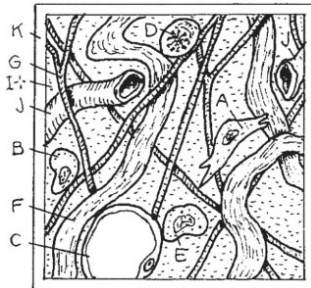
**ZELLEN**  
**FIBROBLASTEN**<sub>A</sub>  
**MAKROPHAGEN**<sub>B</sub>  
**FETTZELLEN**<sub>C</sub>  
**PLASMAZELLEN**<sub>D</sub>  
**MASTZELLEN**<sub>E</sub>

**FASERN**  
**KOLLAGENE**<sub>F</sub>  
**ELASTISCHE**<sub>G</sub>  
**RETIKULÄRE**<sub>H</sub>  
**MATRIX, GRUNDSUBSTANZ**<sub>I</sub>  
**KAPILLAREN**<sub>J</sub>

Die Bindegewebe verbinden, umhüllen und versorgen Strukturen des Körpers. Sie bestehen aus einer variablen Anzahl von Zellen, Fasern und Grundsubstanz (flüssig, viskös, gallertartig, mineralisiert). Auf mikroskopischer Ebene (hier wird eine ca. 600fache Vergrößerung verwendet) reichen Bindegewebe vom Blut (Zellen/Flüssigkeit) über kollagenhaltige Bindegewebe (Zellen/Fasern/unterschiedliche Matrix) bis hin zu den stabilen Stützgeweben (Zellen/Fasern/dichte Matrix) von Knorpel und mineralisiertem Knochen. Bindegewebe sind aber auch mit bloßem Auge am Körper in den Faszien der Körperwand, den Sehnen und Bändern, den Knochen usw. zu erkennen. Auf dieser Tafel werden die kollagenhaltigen Bindegewebe vorgestellt.



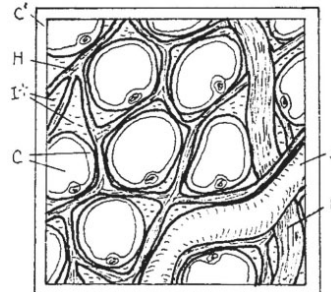
## LOCKERES, RETIKULÄRES BINDEGEWEBE<sub>K</sub>



Lockeres Bindegewebe ist durch viele Zellen, lose und unregelmäßig angeordnete Fasern und eine leicht visköse Grundsubstanz gekennzeichnet. Fibroblasten produzieren die Fasern und die Grundsubstanz dieses Gewebes. Makrophagen phagozytieren Zelltrümmer, fremdes Material oder Mikroorganismen. Fettzellen speichern Fette und können in geringer Anzahl oder reichlich (Fettgewebe) vorliegen. Plasmazellen sezernieren bei einer Infektion Antikörper. Mastzellen enthalten Heparin und weitere sekretorische Produkte, die nach Freisetzung allergische Reaktionen hervorrufen können. Viele andere Zellen können in diese Gewebe einwandern, darunter auch weiße Blutkörperchen

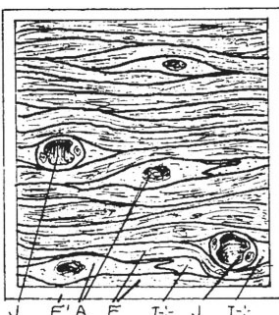
(Leukozyten). Kollagene (Verbindung von Proteinen mit hoher Zugelastbarkeit) und elastische Fasern (aus dem Protein Elastin gebildet) sind die faserigen Elemente dieses Gewebes. Retikuläres Bindegewebe ist eine Unterform von Kollagen und bildet erhaltende Netzwerke um Zellen des blutbildenden Gewebes, des lymphatischen Gewebes und des Fettgewebes. Die Matrix (bestehend in erster Linie aus Wasser mit in Lösung befindlichen Glykoproteinen und Glykosaminoglykanen) ist die Grundsubstanz mit allen oben beschriebenen Eigenschaften; in fibrösem Gewebe erscheint sie flüssig. Viele Gefäße durchziehen dieses Gewebe. Unter der Haut befindliches lockeres Bindegewebe wird Fascia superficialis, subdermales Bindegewebe oder Hypodermis genannt. Es findet sich auch unter Epithelien muköser oder seröser Membranen von Hohlräumen.

## FETTGEWEBE<sub>C1</sub>



Fettgewebe besteht aus einer Ansammlung von Fettzellen in Verbindung mit kollagenen Fasern und Blut sowie Lymphkapillaren. Die Speicherung/Freisetzung von Fett in Fettgewebe wird von Hormonen (einschließlich Nährstoffen) oder neural gesteuert. Das Gewebe dient als Brennstoffreservoir, als Isolierschicht, als mechanisches Polster und als Speicherort fettlöslicher Vitamine. Fettgewebe findet sich in erster Linie in der subkutanen Schicht (vor allem in der Brust, am Gesäß, in der vorderen Bauchwand, am Arm und am Oberschenkel), im gelben Knochenmark und an der Oberfläche seröser Membranen.

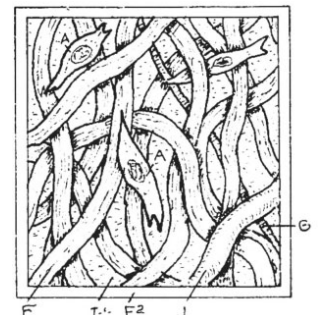
## STRAFFES PARALLELFASERIGES BINDEGEWEBE<sub>F1</sub>



Dichte, parallel angeordnete Ansammlungen kollagener/elastischer Fasern aus Bändern und Sehnen, die stark auf Zug belastbar sind, besitzen einen geringen Grad an Elastizität. Bänder und Sehnen enthalten wenige Zellen, vorwiegend Fibroblasten. Elastische parallelfaserige Bänder finden sich in hauptsächlich im Nackenbereich sowie zwischen den Wirbeln. Die Achillessehne ist das stärkste elastische Band im Körper, das beim Gehen Energie speichert.

Dichte, geflechtartig angeordnete Ansammlungen miteinander verwobener kollagener Fasern (und weniger elastischer Fasern) mit einer viskösen Matrix bilden Gelenkkapseln, Muskelfaszien (tiefe Faszien), Organkapseln verschiedener viszeraler Organe (u.a. Leber, Milz) und einen großen Teil der Haut. Dieses Gewebe ist gegen Belastungen aus verschiedenen Richtungen stabil, besteht aus wenigen Zellen und ist kaum vaskularisiert.

## STRAFFES GEFLECHTARTIGES BINDEGEWEBE<sub>F2</sub>





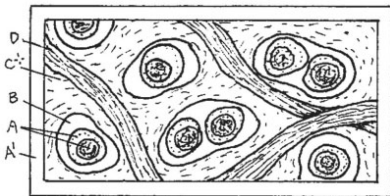
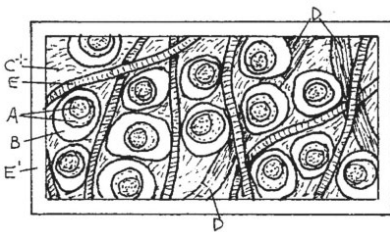
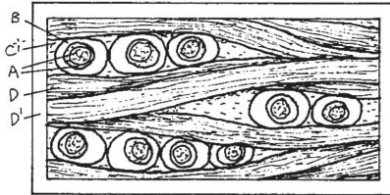


# GEWEBE: STÜTZGEWEBE

**MALHINWEIS**

Benutzen Sie dieselben Farben für kollagene (D) und elastische Fasern (E) wie auf der vorigen Tafel. Verwenden Sie Braun oder Gelb für F, Rot für L und helle Farben für A, B, G, I und M. Stellen Sie zunächst die oberen Abbildungen fertig, bevor Sie sich dem Knochen zuwenden.

**KNORPEL**  
**CHONDROZYT**<sub>A</sub>  
**VORHOF**<sub>B</sub>  
**MATRIX**<sub>C, C'</sub>  
**KOLLAGENE FASER**<sub>D</sub>  
**ELASTISCHE FASER**<sub>E</sub>



**KNOCHEN**<sub>F</sub>  
**PERIOST**<sub>F1</sub>  
**COMPACTA**<sub>G</sub>  
**OSTEON**\*-  
**HAVERS-KANAL**<sub>H</sub>  
**LAMELLE**<sub>G1</sub>  
**OSTEOZYT**<sub>I</sub>  
**OSTEOKLAST**<sub>I1</sub>  
**LAKUNEN**<sub>B</sub>  
**CANALICULI**<sub>J</sub>  
**VOLKMANN-KANAL**<sub>K</sub>  
**BLUTGEFÄSS**<sub>L</sub>  
**SPONGIÖSER KNOCHEN**<sub>G2</sub>

Unter dem Mikroskop zeigen sich in Knorpelgewebe Zellen, (Chondrozyten) die in kleinen Höhlen (Vorhöfen) zusammenliegen und von einer harten, aber dennoch flexiblen Matrix aus an Proteoglykane und kollagene Fasern gebundenem Wasser umgeben sind. Der gefäßlose Knorpel wird durch Diffusion aus den Gefäßen des umgebenden Gewebes versorgt. Aus diesem Grund ist die Reparaturfähigkeit des Knorpels nach Verletzung begrenzt. Dennoch ist knorpeliges Gewebe in Form von Kallus als Zwischenstufe der Frakturheilung des Knochens zu beobachten. Es gibt drei Arten von Knorpelgewebe.

Knochen ist wegen seiner mineralisierten Matrix (65% Mineralien, 35% organische Materialien) bemerkenswert. Das Skelett besteht aus Knochen. Knochen stellt ein Calciumreservoir dar, er dient als Anheftungspunkt der Muskulatur, Sehnen und Bänder, beherbergt viele Organe, ist an der Atemmechanik beteiligt, und in seinen Höhlen findet die Blutbildung (Hämatopoese) statt und wird Fett gespeichert.

## FASERKNORPEL<sub>D1</sub>

Faserknorpel verbindet Stabilität mit Flexibilität und ist druck- sowie zugstabil. Ein typisches Beispiel für dieses Gewebe ist die Bandscheibe der Wirbelsäule. Sie besteht aus straffem Bindegewebe, in welches wenige Zellen eingelagert sind, umgeben von einer relativ geringen Menge extrazellulärer Matrix.

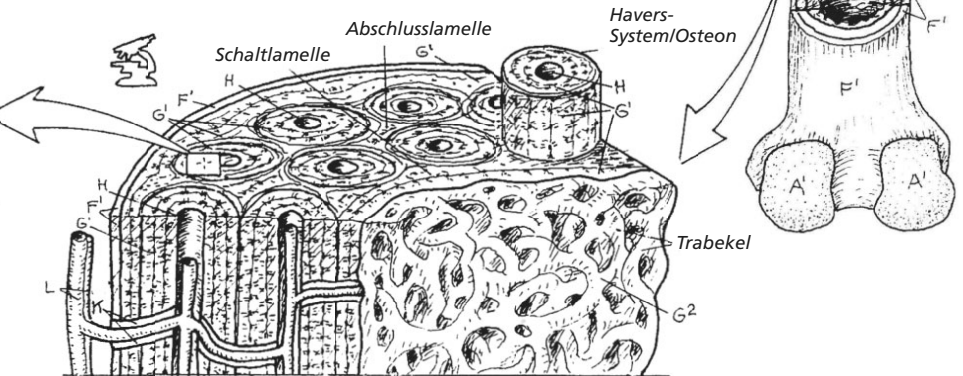
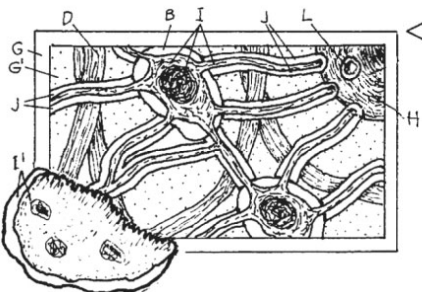
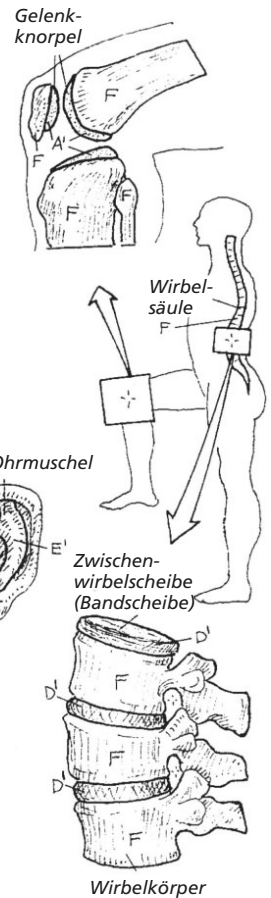
## ELASTISCHER KNORPEL<sub>E1</sub>

Faserknorpel verbindet Stabilität mit Flexibilität und ist druck- sowie zugstabil. Ein typisches Beispiel für dieses Gewebe ist die Bandscheibe der Wirbelsäule. Sie besteht aus straffem Bindegewebe, in welches wenige Zellen eingelagert sind, umgeben von einer relativ geringen Menge extrazellulärer Matrix.

## HYALINER KNORPEL<sub>A1</sub>

Als Bedeckung der Knochenenden (Gelenkknorpel) bekannter hyaliner Knorpel ist gefäßlos, nicht sensibel und komprimierbar. Er ist durchlässig für Nährstoffe und Sauerstoff. Er bildet die äußere Nase (vergleichen Sie die Elastizität mit dem Ohr) und ist der Hauptbestandteil des Larynx sowie des Bronchialsystems. Er stellt die erste Entwicklungsstufe fast aller Knochen dar (Tafel 168).

Ziehen Sie beim Lesen Tafel 20 zum Vergleich heran. Knochen existiert in kompakter und spongioser Form. Die Compacta ist der druckresistente und gewichttragende äußere Teil des Knochens, der vom versorgenden fibrösen Periost umgeben ist. Die Compacta besteht aus Havers-Systemen bzw. Osteonen, kreisrunden Schichten (Lamellen) aus mineralisierten Lagen kollagener Matrix, die um einen zentralen Kanal (Havers-Kanal) angeordnet sind und Blutgefäße enthalten. Die Volkmann-Kanäle verbinden die Havers-Kanäle untereinander. Beachten Sie die zwischengeschalteten Lamellen sowie die alles umgebende Abschlusslamelle. Zwischen den Lamellen sind kleine Höhlen (Lakunen) eingelagert, die wiederum durch feine Kanäle (Canaliculi) miteinander verbunden sind. Knochenzellen (Osteozyten) füllen diese mit den Havers-Kanälen verbundenen Zwischenräume aus. In den Resorptionszonen des Knochens finden sich große, mehrkernige, knochenabbauende Osteoklasten, die mit ihren Zellfortsätzen gegen den zu resorbierenden Knochen gerichtet sind. Knochenbildende Zellen (Osteoblasten) sind in Tafel 168 zu sehen. Spongioser Knochen befindet sich innerhalb der Compacta und ist vor allem im Bereich der Knochenenden zu beobachten. Er besteht aus unregelmäßig geformten und miteinander verwobenen Knochenbälkchen (Trabekel), die keine Havers-Systeme besitzen.





# GEWEBE: MUSKELGEWEBE

Muskelgewebe, eines der vier Grundgewebe, besteht aus Muskelzellen und deren Hüllen aus kollagenhaltigem Bindegewebe. Es gibt drei Arten von Muskelgewebe: Skelettmuskel, Herzmuskel und glatte Muskulatur. Muskelgewebe verkürzt sich (kontrahiert) als Antwort auf nervale, nervenartige oder hormonelle Stimulation. In Abhängigkeit von ihren Ansätzen bewegen Muskeln Knochen, Gelenke, verschließen Höhlen oder bewegen die Haut. Herzmuskelzellen kontrahieren die Herzkammern oder steuern die Sequenz der Herzmuskelkontraktion. Glatte Muskulatur bewegt durch rhythmische Kontraktionen den Inhalt von Hohlorganen, verengt Gefäße und umgibt und innerviert die Haare sowie die Poren der Haut. Das *umgebende Bindegewebe* überträgt die muskuläre Kraft auf benachbarte Zellen und stellt die Versorgung des Gewebes mit zahlreichen Blutkapillaren sowie Nerven sicher.

## SKELETT / QUER GESTREIFTE MUSKULATUR<sub>E</sub> / ZELLE<sub>E'</sub> / SARKOLEMM<sub>F</sub>

Skelettmuskel wird aus langen, quer gestreiften und *vielkernigen Zellen* gebildet, die Myofibrillen, *Mitochondrien* und andere Zellorganellen in ihrem Plasma besitzen. Jede Zelle ist in eine Zellmembran eingehüllt, das sog. *Sarkolemm*. Viele Muskelzellen zusammen bilden die Muskelbäuche. Die gut vaskularisierten Muskelzellen tragen maßgeblich zu Größe und Form des Körpers bei. Skelettmuskel stehen über ihre sehnigen Enden mit Knochen oder anderen Muskeln in Verbindung. Muskeln überspannen zwischen ihrem Ursprung und Ansatz ein oder mehrere Gelenke und bewegen diese. Muskeln können nur ziehen (sich verkürzen), niemals drücken. Skelettmuskelkontraktionen bestehen aus kurzen, schnellen Zusammenziehungen, die eine beträchtliche Kraft entwickeln können. Jede kontraktile Zelle zieht sich maximal zusammen. Es gibt drei Arten von Muskelfasern: rote (kleiner Durchmesser, dunkel, zu Dauerleistung fähig, langsam kontrahierend, Fasern der Haltemuskulatur mit sauerstoffreichem Myoglobin und vielen Mitochondrien), weiße (relativ großer Durchmesser, hell, anaerob, zu kurzfristiger Leistung geeignet, schnell kontrahierende Muskelfasern mit wenigen Mitochondrien) und Übergangsformen. Durch Training können schnelle in langsame und langsame in schnelle Fasern überführt werden. Muskelkontraktionen benötigen Nervenimpulse zur Auslösung (Innervation). Ohne Nervenverbindung (Denervation) hören Muskelzellen auf, sich zu verkürzen und gehen irgendwann zugrunde. Ohne nervale Innervation verliert ein Muskel auch seine Grundspannung und erschlafft. Nach und nach wird der gesamte Muskel kleiner (Atrophie). Muskelkontraktionen obliegen in der Regel willentlicher Steuerung, die Regulation der Muskelspannung der Haltemuskulatur (Muskeltonus) jedoch erfolgt unwillkürlich. Nach Verletzung können sich Muskelzellen aus Myoblasten regenerieren, ohne dabei zwangsläufig bedeutende Funktionseinschränkungen zu entwickeln. Diese Form der Regeneration spielt auch bei der Hypertrophie eines Muskels durch Training eine Rolle.

## QUER GESTREIFTES HERZMUSKELGEWEBE<sub>G</sub> / ZELLE<sub>G'</sub> / GLANZSTREIFEN<sub>H</sub>

Herzmuskelzellen bilden den Herzmuskel. Es handelt sich um verzweigte gestreifte Zellen mit einem oder zwei zentral gelegenen Kernen. Das Sarkoplasma (Zytoplasma der Muskelzelle) ist von Sarkolemm (Zellmembran der Muskelzelle) umgeben. Beide sind über Verbindungskomplexe, die sog. *Glanzstreifen*, miteinander verbunden. Ihr Aufbau ist vergleichbar mit dem der Skelettmuskulatur, jedoch weniger gut organisiert. Der Herzmuskel ist gut vaskularisiert, seine Kontraktionen sind rhythmisch, kräftig und durch impulsgebende Muskelzellen, nicht Nerven, genau gesteuert. Die Frequenz der Herzmuskelkontraktionen (Anstieg/Abnahme) wird durch das vegetative (autonome) Nervensystem beeinflusst. Herzmuskelgewebe ist vermutlich nicht regenerationsfähig.

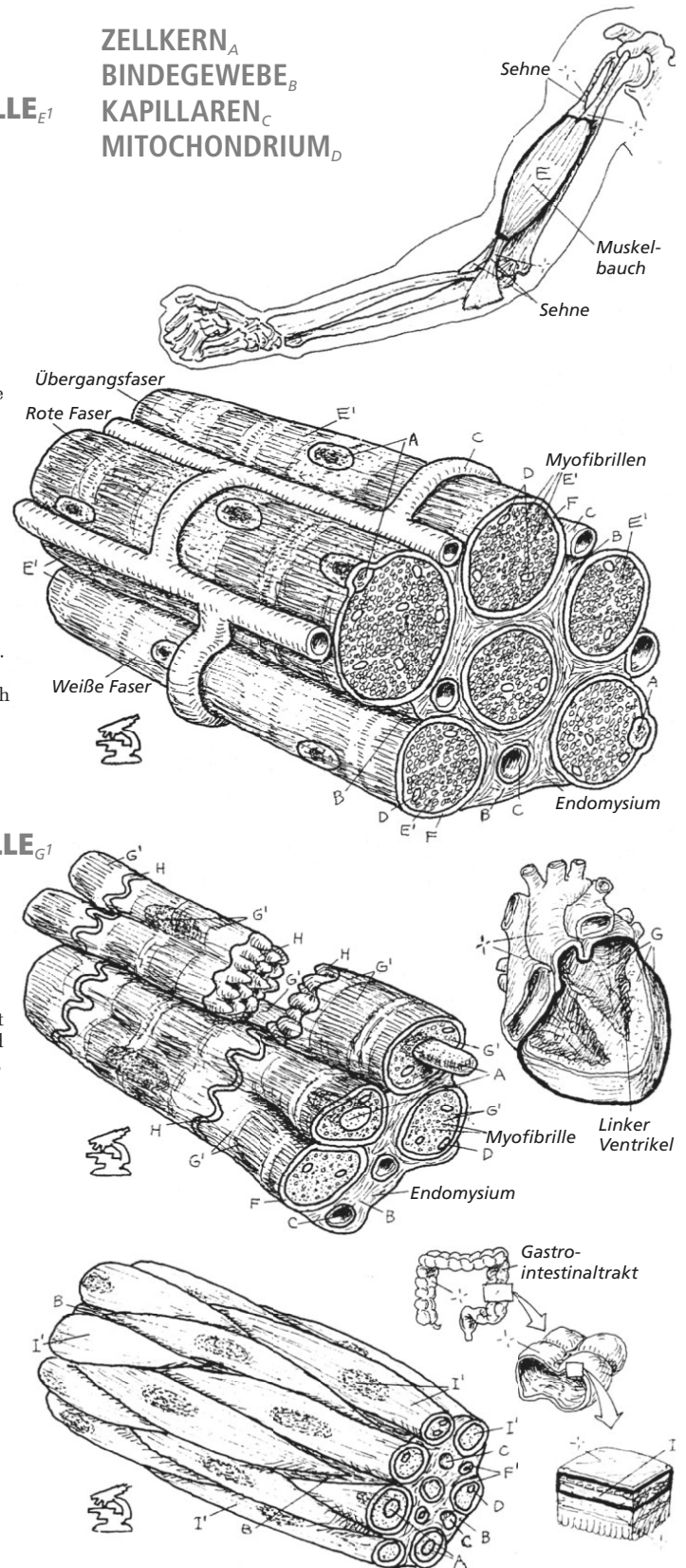
## VISZERALE / GLATTE MUSKULATUR<sub>I</sub> / ZELLE<sub>I'</sub> / PLASMALEMM<sub>F'</sub>

Glatte Muskelzellen sind lange, konische Zellen mit einem zentralen Kern. Jede Zelle ist von *Plasmalemm* (Zellmembran) umgeben. Diese Zellen wirken glatt (nicht gestreift). Die Myofibrillen sind nicht zu sehen. Die Myofilamente liegen weniger organisiert vor als in der quer gestreiften Muskulatur. Glatte Muskulatur findet sich in den Wänden der Hohlorgane und treibt deren Inhalt entlang ihrem Verlauf durch langsame, aber kraftvolle und rhythmische (peristaltische) Kontraktionen voran (denken Sie an Menstruations- oder Magenkrämpfe). Glatte Muskelzellen sind senkrecht zur Flussrichtung des Hohlorganinhalts angeordnet und fungieren an bestimmten Stellen als Schließmuskeln (Sphinkter), die den Durchfluss regulieren, wie z.B. beim Zurückhalten des Urins. Gut vaskularisierte glatte Muskulatur kontrahiert als Antwort auf nervale wie auch hormonelle Impulse. Sie kann sich aber auch spontan zusammenziehen. Glatte Muskulatur ist unter bestimmten Bedingungen regenerationsfähig.

MALHINWEIS

Benutzen Sie Rot für C und Ihre hellsten Farben für B, E, G und I. (1) Das Sarkolemm (F), das alle Skelett- und Herzmuskelzellen umgibt, wird nur an den angeschnittenen Enden farbig markiert. Das Plasmalemm (F'), welches die glatten Muskelzellen bedeckt, wird ebenfalls nur an den angeschnittenen Enden koloriert. (2) Die Kerne der Herzmuskelzellen und der glatten Muskulatur, die im Innern der Zellen liegen, sind auch nur an den angeschnittenen Enden (A) einzufärben. (3) Einer der Glanzstreifen (H) der Herzmuskelzellen wurde schematisch aufgetrennt, um seine innere Struktur zu verdeutlichen. (4) Alle Zellen sind auf mikroskopischer Ebene dargestellt.

## ZELLKERN<sub>A</sub> BINDEGEWEBE<sub>B</sub> KAPILLAREN<sub>C</sub> MITOCHONDIUM<sub>D</sub>





# GEWEBE: MIKROSTRUKTUR DES SKELETTMUSKELS (siehe Tafel 13)

**MALHINWEIS**

Verwenden Sie dieselben Farben für das Sarkolemm (A) und die Mitochondrien (D) wie auf der vorigen Tafel. Benutzen Sie für die Myofibrillen (E) dieselben Farben wie für die Skelettmuskelzelle. Nehmen Sie helle Farben für G und J, eine dunkle Farbe für H und sehr dunkle Farben für F und K. Der Zellkern ist hier nicht dargestellt. (1) Beginnen Sie mit der Zeichnung des Arms. (2) Kolorieren Sie die Bestandteile der Muskelzelle in der mittleren Abbildung; beachten Sie dabei die vorhandenen Mitochondrien (D) zwischen den Myofibrillen. (3) Kolorieren Sie die schematisch dargestellte (unterste) Myofibrille sowie die Buchstaben, Bänder, Linien und Zonen. Beachten Sie, dass das angeschnittene Ende dieser Myofibrille bis zur A-Bande des angrenzenden Sarkomers zur Identifikation die Farbe für E erhält. (4) Kolorieren Sie die entspannten und kontrahierten Sarkomere, die Filamente und den Kontraktionsmechanismus; beachten Sie dabei den Farbbezug zur Myofibrille und zu deren Bestandteilen.

Dargestellt ist ein Ausschnitt einer Muskelzelle mit geöffnetem Sarkolemm, um die zellulären Inhalte zu zeigen. Am auffälligsten sind dabei die *Myofibrillen*, welche die kontraktile Einheiten der Zelle bilden. Sie sind von dem flachen und röhrenförmigen *sarkoplasmatischen Retikulum* (SR) eingehüllt, das zum Teil die Verteilung der Calciumionen ( $Ca^{++}$ ) in den Myofibrillen reguliert. Nach innen verlaufende röhrenförmige Einstülpungen, sog. *transversale Tubuli* (T-System), stellen Verbindungen des SR auf Höhe der Z-Linien zu der Myofibrillen dar. Das T-System enthält Speicher an Natrium- ( $Na^+$ ) und Calciumionen ( $Ca^{++}$ ) und überträgt elektrochemische Erregungen vom Sarkolemm auf die Myofibrillen. Mitochondrien stellen die Energie für die Zellarbeit bereit.

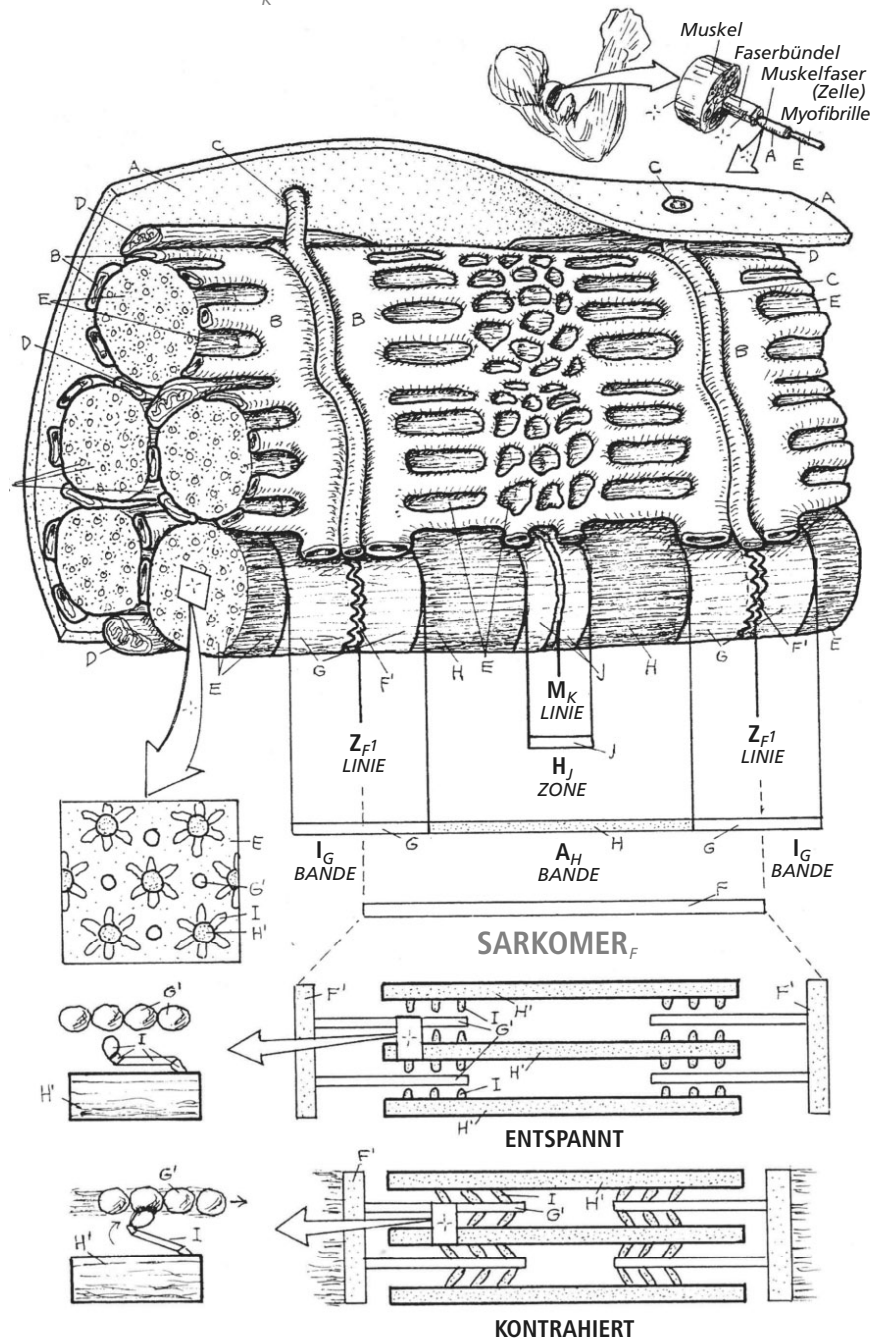
Die Myofibrillen werden aus Myofilamenten gebildet: *dicken Filamenten* (weitgehend Myosin) mit Köpfen, die als *Verbindungsbrücken* nach außen zeigen, und *dünnen Filamenten* (weitgehend Actin), die aus zwei miteinander verwobenen Strängen bestehen. Diese beiden Filamenttypen sind zu kontraktile Einheiten, sog. *Sarkomeren*, arrangiert. Jede Myofibrille besteht aus mehreren längs angeordneten Sarkomeren. Am Ende jedes Sarkomers sind die dünnen Filamente am *Z-Streifen*, der die Sarkomere voneinander trennt, befestigt. Das unterschiedliche Arrangement von dicken und dünnen Filamenten innerhalb eines Sarkomers bedingt die *hellen* (I, H) und *dunklen Banden/Zonen* sowie die *M-Linie*, die für das quer gestreifte Erscheinungsbild des Muskels sorgen.

Eine Verkürzung der Myofibrille tritt auf, wenn die dünnen Filamente sich nach zentral (H-Zone) bewegen und somit die Z-Linien näher aneinander bringen. Verkürzt sich die Myofibrille nicht, bewegen sich die Myosinfilamente auch nicht. Die enge Beziehung des T-Systems mit der Z-Linie legt nahe, dass in diesem Bereich das Ineinandergleiten ausgelöst wird. Die Gleitbewegung wird durch die Verbindungsbrücken (Köpfchen der dicken Filamente) zu den dünnen Filamenten ausgelöst. Aktiviert durch den Energielieferanten ATP schwingen die Köpfchen in Richtung der H-Zone und ziehen die dünnen Filamente mit sich. Das Sarkomer verkürzt sich, wenn sich die gegenüberliegenden dünnen Filamente in der M-Linie treffen oder überlagern.

In Abhängigkeit von der Anzahl der gleichzeitig kontrahierenden Myofibrillen einer Muskelzelle kommt es zu unterschiedlicher Verkürzung der Muskelzelle. Übertragen auf viele Tausend Muskelzellen eines trainierten Athleten, kann die Kraft so groß werden, dass ein Baseball hundert Meter und weiter durch die Luft geschleudert werden kann.

## SKELETTMUSKELZELLE

- SARKOLEMM<sub>A</sub>
- SARKOPLASMATISCHES RETIKULUM<sub>B</sub>
- TRANSVERSALES TUBULÄRES SYSTEM<sub>C</sub>
- MITOCHONDIUM<sub>D</sub>
- MYOFIBRILLE<sub>E</sub>
- SARKOMER<sub>F</sub>
- I-BANDE<sub>G</sub>
- DÜNNES FILAMENT (ACTIN)<sub>G<sup>1</sup></sub>
- Z-LINIE<sub>F<sup>1</sup></sub>
- A-BANDE<sub>H</sub>
- DICKES FILAMENT (MYOSIN)<sub>H<sup>1</sup></sub>
- VERBINDUNGSBRÜCKE<sub>I</sub>
- H-ZONE<sub>J</sub>
- M-LINIE<sub>K</sub>



**DÜNNES FILAMENT**<sub>G<sup>1</sup></sub>



**DICKES FILAMENT**<sub>H<sup>1</sup></sub>

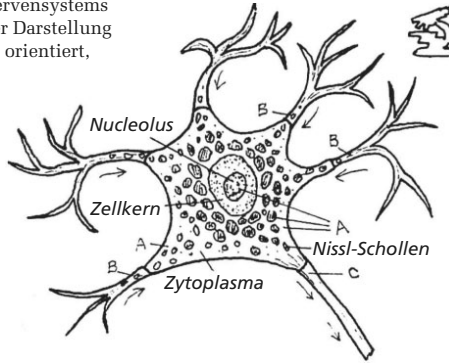


# NERVENGEWEBE (siehe Tafel 70)

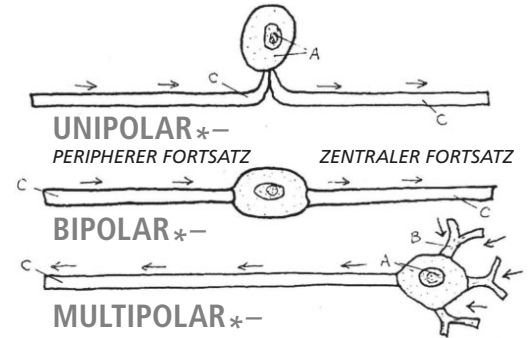
**MALHINWEIS**

Benutzen Sie helle Farben für A. Beachten Sie die kleinen Pfeile, die die Richtung der Reizweiterleitung anzeigen. Die Neurone des peripheren Nervensystems in der Abbildung unten links sind in ihrer Darstellung an der Ausrichtung der linken Extremität orientiert, jedoch stark vergrößert.

**NEURON**  
**ZELLKÖRPER**<sub>A</sub>  
**ZELLFORTSÄTZE**<sub>(-)</sub>  
**DENDRIT**<sub>B</sub>  
**AXON**<sub>C</sub>



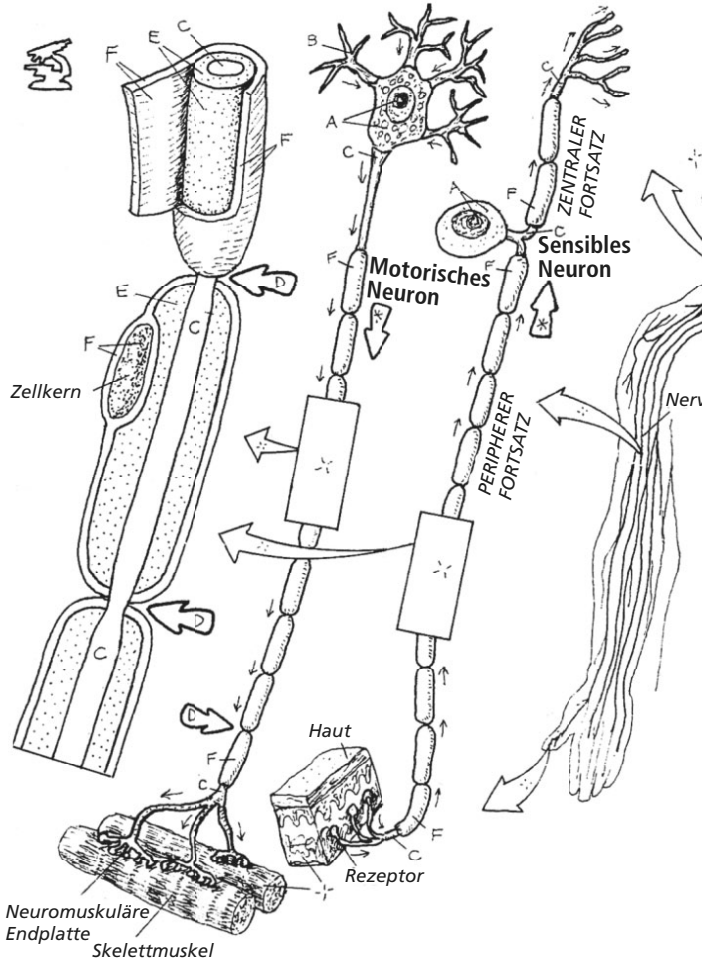
## ARTEN VON NEURONEN



Nervengewebe besteht aus *Neuronen* (Nervenzellen) und *Neurogliazellen*. Neurone generieren elektrochemische Impulse durch *zelluläre Prozesse* und leiten diese weiter. Neurogliazellen sind an der Versorgung des Nervengewebes, nicht an der Generierung und Weiterleitung von Impulsen beteiligt. Der Hauptteil der Neurone ist der den Zellkern tragende *Zellkörper*. Sein Zytoplasma enthält die üblichen Zellorganellen. Das endoplasmatische Retikulum liegt hier in Gruppen formiert vor und wird Nissl-Schollen genannt. Neurone teilen sich nach der Geburt nicht mehr (Mitose), was sich negativ auf ihre Regenerationsfähigkeit nach Verletzung auswirkt. Das Wachstum der Nervenzellen besteht in erster Linie aus Wanderung und Verzweigung der Zellfortsätze. Neurone sind die impulsweiterleitenden Zellen des Gehirns und des Rückenmarks (zentrales Nervensystem oder ZNS) sowie der Spinal- und Gehirnnerven (peripheres Nervensystem oder PNS).

Neurone werden, abhängig von der Anzahl ihrer Fortsätze (Pole), in drei Kategorien eingeteilt. Stark verzweigte und unbedeckte Fortsätze werden als *Dendriten* bezeichnet. Schlanke, lange und kaum verzweigte Fortsätze werden *Axone* genannt. In jeder einzelnen Kategorie gibt es wiederum eine Reihe unterschiedlich geformter Zellen. *Unipolare Zellen* haben – tatsächlich oder scheinbar (pseudounipolar) – nur einen Fortsatz, der sich in der Nähe des Zellkörpers in einen zentralen und peripheren Anteil aufspaltet. Beide Fortsätze leiten Impulse in dieselbe Richtung und werden Axone genannt (siehe das sensible Neuron in der Abbildung unten links). *Bipolare Neurone* haben zwei Fortsätze (zentral und peripher) die ebenfalls Impulse in dieselbe Richtung leiten (siehe Tafel 70). *Multipolare Zellen* haben drei oder mehr Fortsätze, von denen einer ein Axon ist (siehe PNS-Motoneuron in der Abbildung unten links oder ZNS-Neurone unten rechts).

## PERIPHERES NERVENSYSTEM (PNS)



## ZENTRALES NERVENSYSTEM (ZNS)



**NEUROGLIA**  
**PROTOPLASMATISCHE ASTROZYTEN**<sub>G</sub>  
**FIBRILLENREICHE ASTROZYTEN**<sub>H</sub>  
**OLIGODENDROZYTEN**<sub>I</sub>  
**MIKROGLIAZELLEN**<sub>J</sub>

Die meisten Axone sind von mehreren (bis zu 200) Schichten isolierender Phospholipide (*Myelin*) umhüllt, was die Geschwindigkeit der Signalweiterleitung erhöht. Myelin wird von den *Oligodendrozyten* im ZNS (unten rechts) und von den Schwann-Zellen im PNS (unten links) gebildet. Alle Axone des PNS sind von Plasmalemm der Schwann-Zellen umgeben, jedoch nicht zwangsläufig myelinisiert. Die Lücken zwischen den einzelnen Schwann-Zellen werden *Ranvier-Schnürringe* genannt und ermöglichen eine schnelle, von Lücke zu Lücke (saltatorisch) stattfindende Weiterleitung der Impulse. Die Schwann-Zellen sind auch für eine eventuelle Regeneration der Axone im PNS verantwortlich. Eine signifikante Regeneration im ZNS ist noch nicht beobachtet worden.

**RANVIER-SCHNÜRRING**<sub>D</sub>  
**MARKSCHEIDE**<sub>(-)</sub>  
**MYELIN**<sub>E</sub>  
**SCHWANN-ZELLE**<sub>F</sub>

Neurogliazellen finden sich sowohl im ZNS als auch im PNS (Schwann-Zellen). *Protoplasmatische Astrozyten* kommen in der Regel in der grauen Substanz (Ort der Dendriten und Zellkörper), *fibrillenreiche Astrozyten* in der weißen Substanz (Ort der myelinisierten Axone) des ZNS vor. Ihre Fortsätze sind mit den Neuronen und mit Blutgefäßen verbunden und versorgen somit das Gewebe mit Nährstoffen. Sie spielen auch bei der Blut-Hirn-Schranke eine Rolle. Oligodendrozyten sind kleiner als Astrozyten, haben weniger Fortsätze und liegen in der Regel neben Neuronen. *Mikroglia* sind die Müllmänner des Gehirns und des Rückenmarks.

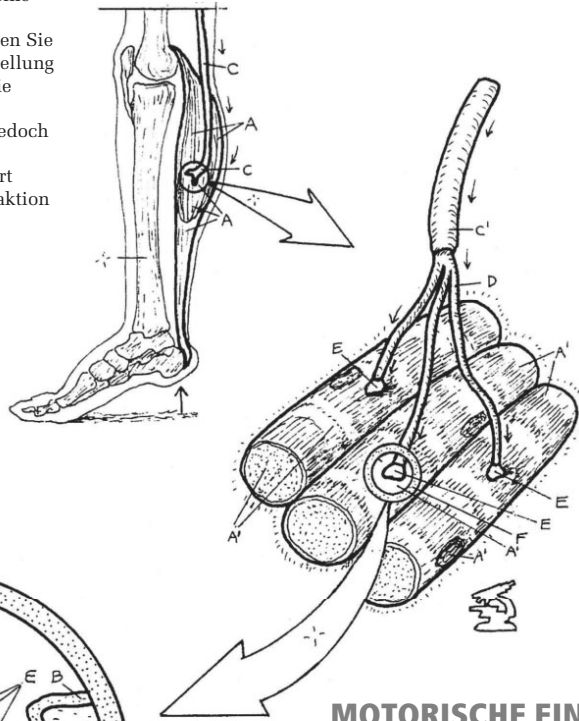




# NEUROMUSKULÄRE VERBINDUNG

**MALHINWEIS**

Benutzen Sie sehr helle Farben für A und E und eine dunkle Farbe für F. (1) Beginnen Sie mit dem Skelettmuskel, der die Ferse anhebt, und kolorieren Sie die motorische Einheit auf der vergrößerten Darstellung der neuromuskulären Endplatte. (2) Kolorieren Sie sorgfältig die motorischen Einheiten und die dazugehörigen Überschriften ganz unten, wobei jedoch nur die aktiven motorischen Einheiten (dunkel umrandet) farbig markiert werden sollen. Das Wort „partielle“ unter dem Beispiel für partielle Kontraktion ist nicht zu kolorieren.



- SKELETTMUSKEL<sub>A</sub>
- MUSKELFASER<sub>A1</sub>
- MOTORISCHE ENDPLATTE<sub>B</sub>
- MOTORISCHER NERV<sub>C</sub>
- AXON<sub>C1</sub>
- AXONALE VERZWEIGUNG<sub>D</sub>
- TERMINALES AXON<sub>E</sub>

- MOTORISCHE EINHEIT<sub>-1-</sub>
- AXON<sub>C1</sub>
- AXONALE VERZWEIGUNG<sub>D</sub>
- NEUROMUSKULÄRE ENDPLATTE<sub>F</sub>
- MUSKELFASER<sub>A1</sub>

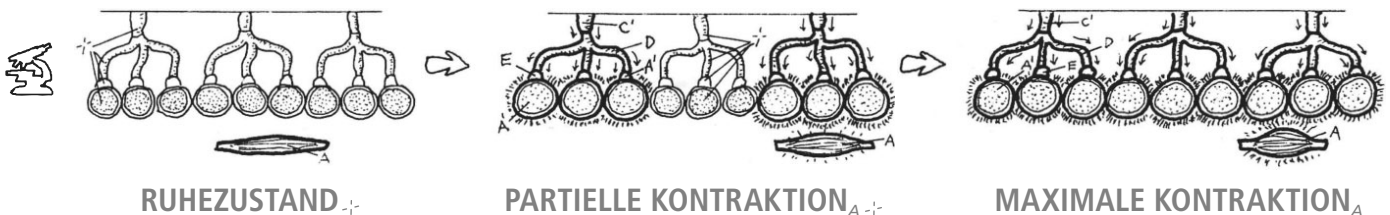
Ein Axon eines einzelnen motorischen Neurons, seine axonalen Verzweigungen und die Muskelfasern, mit denen diese neuromuskuläre Endplatten ausbilden, bilden eine *motorische Einheit*. In jedem Skelettmuskel bestimmt die Menge der von einem Motoneuron innervierten Muskelfasern die Genauigkeit der Muskelkontraktion. Je weniger Muskelfasern von einem Motoneuron innerviert werden, umso präzisere und feiner abgestimmte Kontraktionen können ausgeführt werden.

- NEUROMUSKULÄRE ENDPLATTE (SYNAPSE)<sub>F</sub>
- TERMINALES AXON<sub>E</sub>
- MOTORISCHE ENDPLATTE<sub>B</sub>

Skelettmuskeln setzen sich aus unzähligen Muskelfasern (Zellen) zusammen und brauchen eine intakte Nervenverbindung, um kontrahieren zu können. Solche Nerven, sog. *motorische Nerven*, bestehen aus zahlreichen Axonen motorischer Nervenzellen. Motoneurone (siehe Tafel 15) innervieren ausschließlich Muskelfasern und bringen diese zur Kontraktion. Jede einzelne *Muskelfaser* wird von einer axonalen Aufzweigung innerviert. Die mikroskopische Einheit, in der ein Axon mit einer Muskelfaser verbunden ist, wird *neuromuskuläre Endplatte* (Synapse) genannt. Jede neuromuskuläre Endplatte besteht aus einem *terminalen Axon*, das in der Nähe einer Muskelfaser und ihres Sarkolemm, der sog. *motorischen Endplatte*, liegt. Zwischen den beiden Oberflächen findet sich ein Spalt (synaptischer Spalt). Soll eine Muskelfaser erregt werden, wird ein chemischer Neurotransmitter, Acetylcholin, vom terminalen Axon in den synaptischen Spalt ausgeschüttet. Der Transmitter bewirkt auf der Gegenseite des Spalts eine Veränderung der Durchlässigkeit des Sarkolemm für Natrium (Na<sup>+</sup>), welches die Kontraktion der Muskelfaser auslöst. Eine einzelne Muskelfaser kann immer nur zur Gänze kontrahieren (Alles-oder-Nichts-Gesetz).

## ABSTUFUNGEN DER KONTRAKTION<sub>-1-</sub>

In Anbetracht der Tatsache, dass eine Muskelfaser immer nur „alles oder nichts“ kontrahieren kann, wird die Abstufung der Kontraktion eines ganzen Muskels dadurch bewirkt, dass je nach Bedarf unterschiedlich viele Muskelfasern aktiviert werden. In einem *ruhenden Muskel* sind keine motorischen Einheiten aktiv, im *maximal kontrahierten Muskel* dagegen alle. Im *M. gluteus maximus* liegt das Verhältnis von motorischen Neuronen zu Muskelfasern bei 1:1000 oder mehr, was keine sonderlich feine Abstimmung der Muskelkontraktion erlaubt. In den Muskeln des Gesichts oder der Hand dagegen beträgt das Verhältnis etwa 1:10. Somit kann in diesen Muskeln eine kleine Anzahl von Muskelfasern aktiviert werden, was eine sehr feine Abstimmung der Kontraktion ermöglicht (z.B. Mienenspiel).





# INTEGRATION DER GEWEBE

**MALHINWEIS**

Verwenden Sie Gelb für D, helle, aber dennoch kontrastreiche Farben für A und B sowie Mittelbraun für C. Die in den Geweben dargestellten unterschiedlichen Gefäße – Arterien und Venen oben, Arteriolen, Venolen, Kapillaren und Lymphgefäße unten – sollen nicht farbig markiert werden, da sie aus mehr als nur einem Grundgewebe aufgebaut sind. Beachten Sie, dass in den tiefen Schichten Arterien immer gemeinsam mit Venen auftreten.

Diese Tafel soll Ihnen eine visuelle Hilfestellung bieten, um die vier Grundgewebearten mit somatischen (Körperwände) und viszerale (innere Organe) Strukturen zu verbinden. Beachten Sie, wie die vier Grundgewebearten in den jeweiligen Beispielen kombiniert sind. Denken Sie dabei immer an ihre Grundeigenschaften und wie diese sich in der Funktion der Struktur/des Organs widerspiegeln. Es gibt unzählige funktionsbezogene Variationsmöglichkeiten, wie diese vier Gewebe die Organe des Körpers bilden.

## SOMATISCHE STRUKTUREN \*—

### EPITHELGEWEBE -|-

HAUT (ÄUSSERE SCHICHT)<sub>A</sub>

### BINDEGEWEBE -|-

HAUT (TIEFE SCHICHT)<sub>B</sub>

OBERFLÄCHLICHE FASZIE<sub>B1</sub>

TIEFE FASZIE<sub>B2</sub>

BÄNDER<sub>B3</sub>

KNOCHEN<sub>B4</sub>

PERIOST<sub>B5</sub>

### MUSKELGEWEBE -|-

SKELETTMUSKEL<sub>C</sub>

### NERVENGEWEBE -|-

NERVEN<sub>D</sub>

Somatische Strukturen, die den von Haut bedeckten muskuloskeletalen Rahmen des Körpers bilden, sind mit Stabilität, Bewegung und Schutz befasst. In ihrem Aufbau spiegeln sich diese Funktionen wider. Die Oberfläche des Körpers wird von einem *verhornten Plattenepithel* gebildet, welches als *äußere Schicht der Haut* (Epidermis) bezeichnet wird. Epitheliale Gewebe finden sich außerdem an der inneren Oberfläche von Gefäßen und Drüsen (nicht dargestellt). Zu den bindegewebigen Schichten der Körperwände gehören die *tiefe Schicht der Haut* (Dermis), die aus dichtem, geflechtartigem *kollagenem Bindegewebe* besteht, und die sich anschließende verschiebliche subkutane *Fascia superficialis* (lockeres Bindegewebe und Fettgewebe), welche Gefäße, Nerven und zum Teil auch große Venen birgt. Die tiefe Faszie (*Fascia profunda*) besteht aus straffem, geflechtartigem Bindegewebe, ist gut vaskularisiert und sensibel innerviert und umhüllt sowohl Muskeln als auch Gefäße. *Bänder* (straffes parallelfaseriges Bindegewebe) verbinden über das Periost (vaskularisiertes, zellreiches geflechtartiges kollagenes Bindegewebe) *Knochen* mit Knochen. *Skelettmuskeln* und ihre *Nerven* sind in Gruppen zusammengelagert, getrennt durch tiefe Faszien, die als Verschiebeschichten dienen und wiederum die Gefäßstränge führen. Die kollagenen Fasern der Muskeln laufen an deren Enden zu Sehnen zusammen.

## VISZERALE STRUKTUREN \*—

### EPITHELGEWEBE \*

TUNICA MUCOSA<sub>A1</sub>

DRÜSEN<sub>A2</sub>

SEROSA (ÄUSSERE SCHICHT)<sub>A3</sub>

### BINDEGEWEBE -|-

LAMINA PROPRIA<sub>B6</sub>

TUNICA SUBMUCOSA<sub>B7</sub>

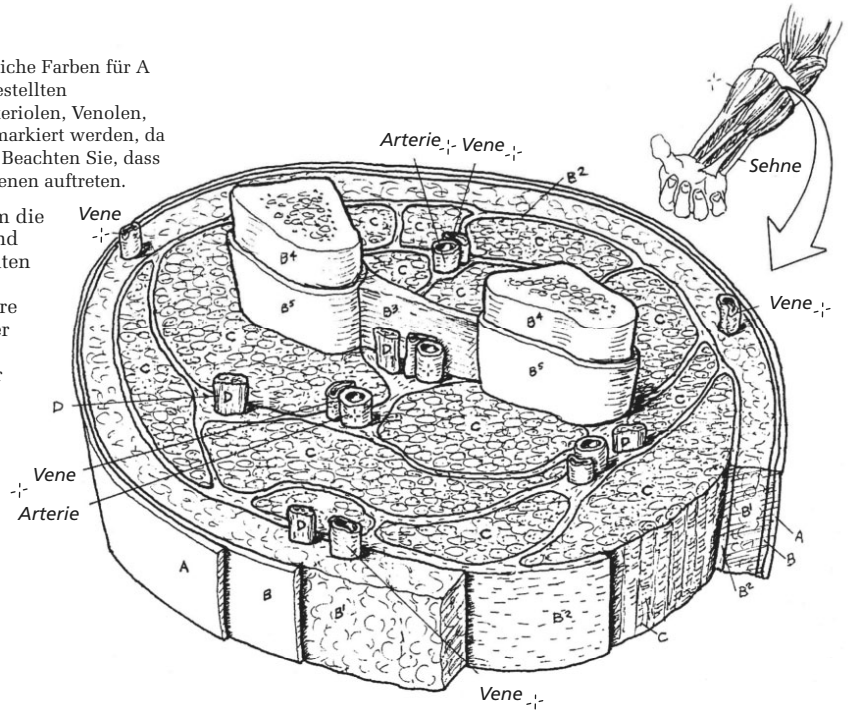
SEROSA (INNERE SCHICHT)<sub>B8</sub>

### MUSKELGEWEBE -|-

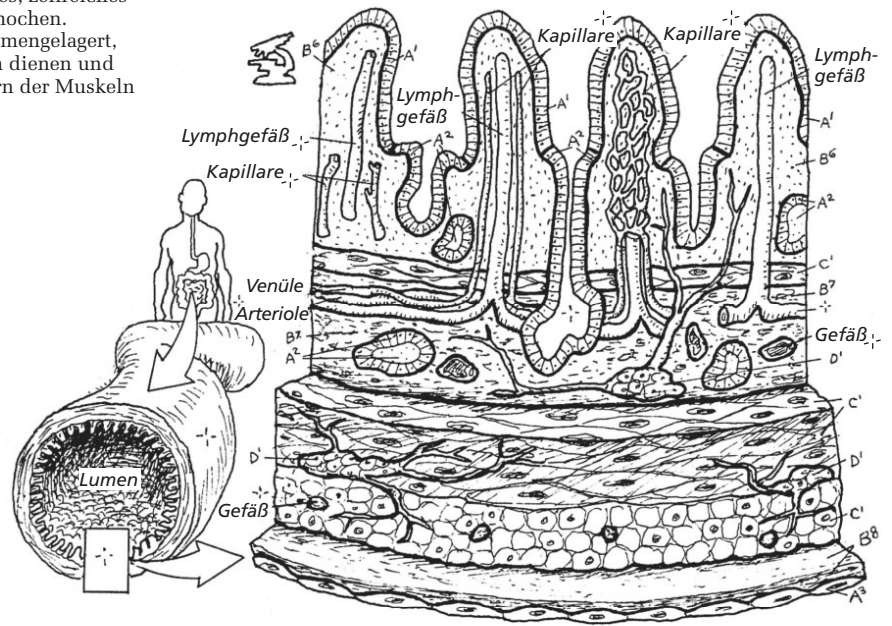
GLATTE MUSKULATUR<sub>C1</sub>

### NERVENGEWEBE -|-

NERVENZELLEN<sub>D1</sub>



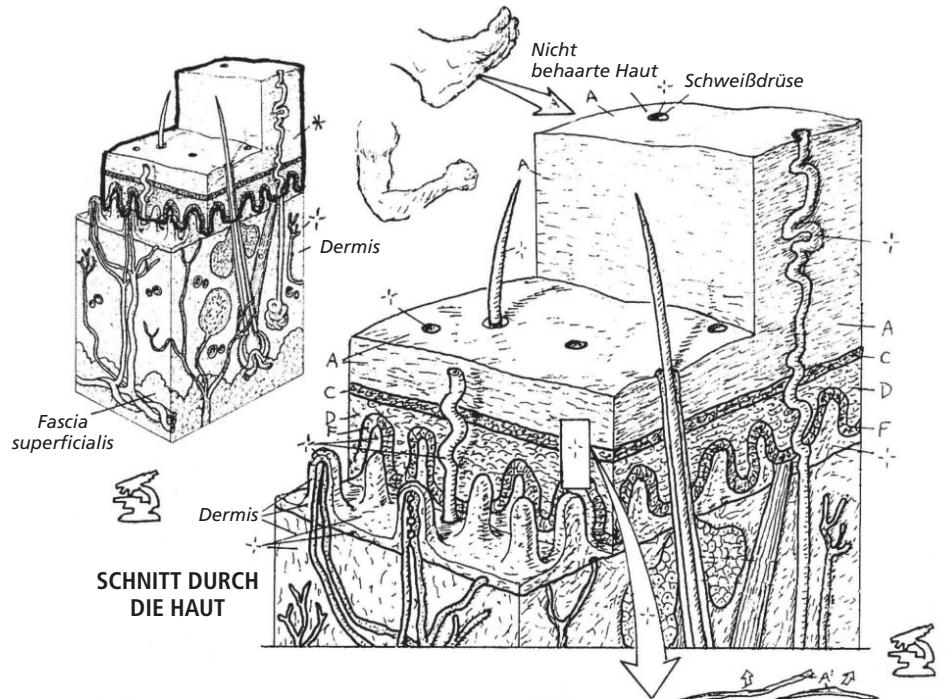
Viszerale Strukturen sind in der Regel mit Aufgaben wie Absorption, Sekretion, Aufnahme und/oder Transport von Nahrung, Luft, Sekreten und/oder Abfällen betraut. *Epithelgewebe* bilden dabei immer die dünne und geschmeidige innerste Schicht (*Tunica mucosa*) dieser Hohlorgane. Sie zeigt zum Lumen (Organhöhlen), besteht oft aus einer einzelnen Zellschicht (mit Ausnahme von Oesophagus, ableitenden Harnwegen sowie Genitalien) und spielt für die Funktion des jeweiligen Organs eine Rolle. *Drüsen*, welche in Form einzelner oder mehrerer Zellen in der Mucosa oder Submucosa liegen, sind ebenso wie die inneren Schichten der Blutgefäße epithelialer Herkunft. Die aus lockerem Bindegewebe bestehende Schicht (*Lamina propria*) der Submucosa wird zur Mucosa gezählt und führt Drüsen sowie Gefäße und *Nerven*. Die tiefste Schicht der Mucosa wird von *glatten Muskelzellen* gebildet, die die fingerartigen Ausstülpungen (Villi) der Mucosaoberfläche bewegen. Sehr tief unter der Mucosa findet sich eine aus straffem Bindegewebe bestehende Schicht, die mit großen Gefäßen und kleinen Nerven/Nervenzellen versehen ist (intramurale Ganglien). Darauf folgt eine Schicht aus zwei bis drei Lagen glatter Muskulatur (*Tunica muscularis*), die von den lokalen Nervenzellen innerviert wird und für die peristaltische Bewegung dieser Organe sorgt. Die äußerste Schicht eines Hohlorgans wird von der glitschigen Serosa gebildet, die aus einfachem äußerem Plattenepithel und angrenzendem Bindegewebe besteht.



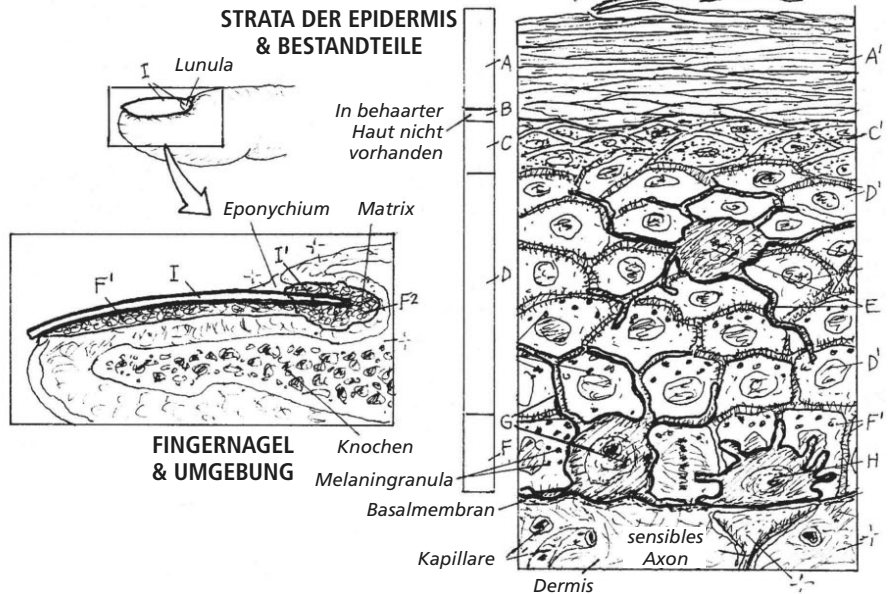
# EPIDERMIS (siehe Tafel 19)

**MALHINWEIS**

Benutzen Sie außer für E, G und H helle Farben. (1) Kolorieren Sie auf der Abbildung rechts oben die gesamte Epidermis grau. (2) Kolorieren Sie die Schichten der Epidermis auf dem größeren Hautschnitt. Der dickere Teil des Stratum corneum (A) repräsentiert einen haarlosen Hautabschnitt. Das Stratum lucidum (C), das nur in unbehaarten Hautabschnitten vorkommt, ist zu dünn, um es hier abzubilden. (3) Kolorieren Sie die Strata mit ihren jeweiligen Zellen in der unteren Abbildung; arbeiten Sie sich dabei, beginnend mit der untersten Schicht (F), nach oben, in Richtung der Zellmigration, vor. (4) Kolorieren Sie das Schnittbild des Fingernagels und seiner Elemente.



- EPIDERMIS\***
- STRATUM CORNEUM<sub>A</sub>**
- HORNZELLE<sub>A1</sub>**
- STRATUM LUCIDUM<sub>B</sub>**
- HORNZELLE<sub>N.A. 1</sub>**
- STRATUM GRANULOSUM<sub>C</sub>**
- HORNZELLE<sub>C1</sub>**
- STRATUM SPINOSUM<sub>D</sub>**
- HORNZELLE<sub>D1</sub>**
- LANGERHANS-INSELZELLE<sub>E1</sub>**
- STRATUM BASALE<sub>F</sub>**
- MITOTISCHE HORNZELLE<sub>F1</sub>**
- MELANOZYT<sub>G</sub>**
- MERKEL-ZELLE<sub>H</sub>**



- FINGERNAGEL, /NAGELWURZEL<sub>1</sub>**
- NAGELBETT<sub>F1</sub> MATRIX<sub>F2</sub>**

Die Haut besteht aus einem avaskulären, mehrschichtigen Plattenepithel (*Epidermis*) und einer vaskularisierten Bindegewebschicht (*Dermis*). Innerhalb der einzelnen Schichten gibt es beachtliche Unterschiede. Die Epidermis besteht aus 4–5 Schichten Keratin produzierender Zellen (Hornzellen, Keratinozyten). Aufgrund der fehlenden Vaskularisierung werden diese Zellen durch Diffusion versorgt. Die äußere Schicht der Haut spiegelt die Auswirkungen einer Dehydratation wider.

Mitotische Hornzellen bilden in Form von zylindrischem Epithel die unterste Schicht der Epidermis (*Stratum basale*), die von der Dermis durch eine Basalmembran getrennt ist. Sie stellen die Keimzellen der Epidermis dar. Sie teilen sich, und ihre Tochterzellen werden von der nachfolgenden Generation wiederum in Richtung Oberfläche gedrückt. *Melanozyten* bilden Melaningranula, die sie an ihren Zellfortsätzen (Dendriten) exprimieren. Diese Dendriten sind zwischen den Zellen des Stratum basale und Stratum spinosum verwoben und verteilen das Melanin so zwischen den Hornzellen. Melanin schützt die Haut vor ultravioletter (UV) Strahlung. Merkel-Zellen reagieren sehr empfindlich auf mechanische Deformierung (Berührung) der Hautoberfläche. Ihre Verbindungen zu den Axonen der sensiblen Nerven sind vergleichbar den Synapsen (siehe Tafeln 72, 91).

Das Stratum spinosum besteht aus mehreren Reihen würfelförmiger und platter Keratinozyten. Die Zellen haben an ihrer Oberfläche Zellfortsätze, die mit Desmosomen bestückt sind (siehe Tafel 10). Diese interzellulären Tonofibrillen lassen sich gut in Schnitten zeigen, die durch Dehydrierung aufbereitet wurden. Die Zellen dieser Schicht erscheinen dadurch stachelig. Eine andere Art von dendritischen Zellen, die *Langerhans-Zellen*, findet sich sowohl im Stratum basale und Stratum spinosum als auch in der Dermis. Diese Zellen phagozytieren in

erster Linie Fremd- und Abbaustoffe, um dann die aufgenommenen Antigene wiederum T-Lymphozyten zu präsentieren (siehe Tafel 124). Das Stratum granulosum besteht aus abgeflachten Keratinozyten, die typischerweise einen nicht mehr soliden Zellkern, intrazelluläres Keratohyalin und basophile Granula besitzen. Der fettreiche Inhalt der Granula füllt die Zellzwischenräume (Interzellulärspalten) auf und sorgt so für die Wasserundurchlässigkeit der Haut.

Das dünne Stratum lucidum findet sich nur in dicker, nicht behaarter Haut. Seine flachen Keratinozyten sind mit Filamenten gefüllt, und die Kerne dieser Zellen sind weitgehend verschwunden.

Die äußerste Schicht (Stratum corneum) setzt sich aus mehreren Lagen flacher, toter, keratingefüllter Zellen (*Keratinozyten*, *Hornzellen*) zusammen. Das Keratin ist durch Filamente fest mit dem Zytoplasma verbunden. Die Abschuppung der äußeren Zellschichten geschieht durch Aufbrechen der Zellverbindungen (Desmosomen, Filamente, amorphe Lipide). Die Dicke des Stratum corneum variiert von 5 Lagen am Augenlid bis 50 Lagen an der Fußsohle.

Die Fingernägel bestehen aus kompakten, stark verhornten Zellen des Stratum corneum. Sie liegen an der Dorsalseite der Finger und sind durchsichtig, so dass das darunterliegende Nagelbett durchscheint. Das *Nagelbett* besteht nur aus dem Stratum basale und Stratum spinosum. Der proximale Teil des Nagels (*Nagelwurzel*) steckt in einer Rinne unter der Nagelfalte. Das Epithel um die Nagelwurzel stellt das Ausgangsgewebe des Nagels dar und nimmt in Richtung der Lunula (weißer, halbmondförmiger Rand am proximalen Ende des Nagels) an Größe zu. Der Fingernagel bekommt seine Form durch das nach distal wachsende Epithel und wird dabei kontinuierlich von den aus der Matrix kommenden verhornenden Epithelien „nach vorn gedrückt“.