

## 2.3 Adaptation

Um die Gesundheit zu erhalten und die Leistungsfähigkeit zu steigern verfügt der Mensch als biologisches System über eine wesentliche Voraussetzung für das Leben, die biologische Adaptation.

### Grundlagen

Die biologische Adaptation beschreibt die Fähigkeit sich an veränderte innere oder äußere Anforderungen und Gegebenheiten, durch morphologische und/oder funktionelle Modifikationen des Organismus, anzupassen (Israel, 1995).

Jede körperliche und somit auch sportliche Belastung oberhalb eines gewissen Niveaus führt zu einer Auslenkung aus dem Fließgleichgewicht (Homöostase).

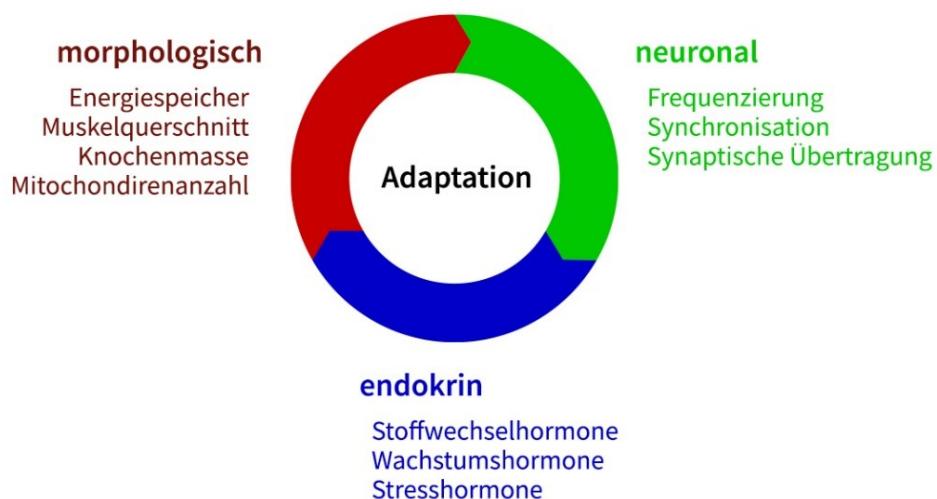


Abbildung 25: Trainingsbedingte Anpassungserscheinungen

### Überschießende Adaptation: Superkompensation

Bei der Wiederherstellung der beanspruchten Systeme, während der Erholungsphase, kommt es zu einer überschießenden Anpassungsreaktion. Im Anschluss an die Regenerationsphase sind die organismischen Strukturen stärker belastbar als vorher. Dieses Phänomen wird als Superkompensation bezeichnet (Badtke, 1995, Jakowlew, 1977, zit. n. Hohmann et al., 2003). Der Zuwachs an Belastungstoleranz ist allerdings zeitlich begrenzt und pendelt sich bei Ausbleiben weiterer Belastungsreize wieder auf dem Ausgangsniveau ein (Hohmann et al., 2003).

### Genetische und extragenetische Adaptation

Es wird zwischen der genetischen Adaptation, die sich im Laufe der Evolution (durch Mutation und Selektion) entwickelt hat und der extragenetischen Adaptation, die im Rahmen des genetischen Programms stattfindet, unterschieden.

Letztgenannte kann weiterhin in epigenetische Anpassungen, die sich durch länger anhaltende, relativ stabile organismische Veränderungen auszeichnen und die metabole Adaptation, die überwiegend auf akuten, funktionellen Umstellungen beruht, eingeteilt werden (Israel, 1995). Akute Reaktionen des Organismus dienen dem Ausgleich von gesteigerten Stoffwechselansprüchen und äußern sich unter anderem in einer gesteigerten Atem- und Herzschlagfrequenz. Ein Beispiel einer epigenetischen Adaptation ist die Absenkung der Ruheherzschlagfrequenz als Folge eines kontinuierlichen und regelmäßigen Ausdauertrainings.

### Adaptationsvoraussetzungen

Grundsätzlich sind alle gesunden Organsysteme fähig sich zu adaptieren. In Abhängigkeit von der Art, Dauer und der Intensität der Belastung werden unterschiedliche Systeme beansprucht, deren Anpassung die Registrierung des Reizes durch das Nervensystem voraussetzt (Badtke, 1995).

## 2.4 Zellen

Alle Lebewesen bestehen aus Zellen, sie sind die Grundeinheiten des Lebens und bilden die Gewebe eines Körpers. Sie sind so klein, dass sie mit einem Mikroskop betrachtet werden müssen. Es gibt verschiedene Arten von Zellen: Eukaryotisch oder prokaryotisch. Eukaryotische Zellen besitzen im Gegensatz zu prokaryotischen Zellen einen Zellkern.

Zellen haben viele Strukturen in sich, die sogenannten Organellen. Diese kann man mit den Organen eines Menschen vergleichen, sie erfüllen ebenso spezifische Funktionen und helfen der Zelle, am Leben zu bleiben.

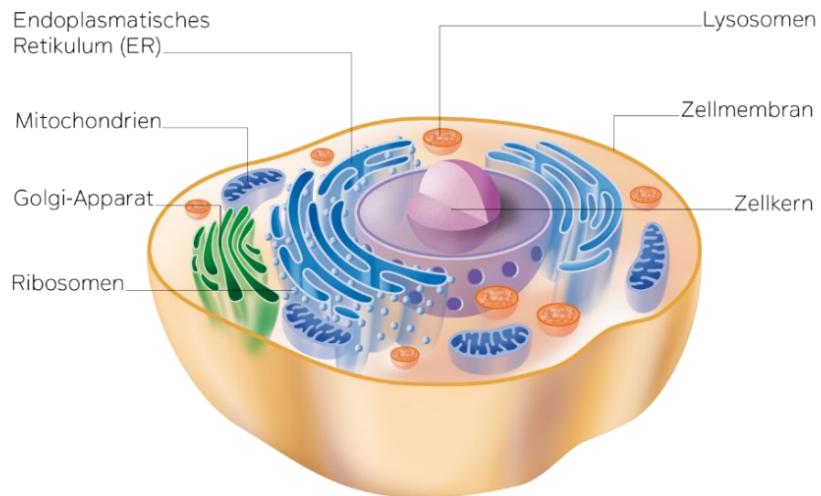


Abbildung 26: Schematischer Aufbau einer Zelle

### Zellmembran

Die Zellmembran stellt die äußere Hülle einer Zelle dar. Sie schützt die Zelle, ermöglicht durch ihre spezifische Beschaffenheit aber gleichzeitig den selektiven Austausch von Ionen und Molekülen mit der Umgebung. Wesentliche Bausubstanzen der Zellmembran sind Proteine und Fette.

### Zellkern

Der Zellkern stellt die Steuerungszentrale der Zelle dar und enthält die Erbinformationen (DNA). Im Zellkern befindet sich ferner der Ausgangspunkt der Mitose, d.h. der Teilung der Zelle zum Zweck der Erneuerung oder des Wachstums. Der Zellkern wird durch eine Hülle vom umliegenden Cytoplasma abgegrenzt, Poren ermöglichen den Austausch mit dem Cytoplasma.

### Ribosomen

In den hunderten bis tausenden von Ribosomen einer Körperzelle werden Proteine aus Aminosäuren synthetisiert, ein elementarer Vorgang für den gesamten Organismus.

### Mitochondrien

Diese kugel- bis röhrenförmigen Zellorganellen werden auch als Kraftwerke der Zelle bezeichnet, denn in ihnen findet die „aerobe Verbrennung“ von energieliefernden Nährstoffen statt. Durch diesen als Oxidation bezeichneten Vorgang wird Energie freigesetzt bzw. chemisch als Adenosintriphosphat (ATP) gespeichert. Das ATP kann als unmittelbar verfügbare Arbeitsenergie genutzt werden, beispielsweise für Muskelkontraktionen. Zellen mit hohem Energieverbrauch (z.B. Muskelzellen, Nervenzellen, Sinneszellen) enthalten besonders viele Mitochondrien. Durch Trainingsreize kann die Vermehrung von Mitochondrien angeregt werden.

### Endoplasmatisches Retikulum (ER)

Das ER ist je nach Zelltyp sehr unterschiedlich ausgeprägt. Funktionell hat es eine hohe Bedeutung bei der Entgiftung, der Produktion von Hormonen, der Speicherung (v.a. von Kohlenhydraten und Calcium) und der Proteinbiosynthese. Speziell in Bezug auf die Proteine ist es eng mit dem Golgi-Apparat verknüpft.

### Golgi-Apparat

Funktionell ist der Golgi-Apparat dem ER gewissermaßen nachgeschaltet. Hier werden Proteine vom ER empfangen, modifiziert, sortiert, „adressiert“ und mit Hilfe von Transportvesikeln zu ihrem Bestimmungsort befördert. Neben Transportfunktionen für weitere Stoffe erfüllt der Golgi-Apparat die Aufgabe, schadhafte Proteine auszusortieren.

### Lysosomen

Die Hauptfunktion dieser sehr kleinen Zellorganellen ist die Verdauung von Stoffen durch die in ihnen enthaltenen Enzyme. Bei den zu zersetzenen Stoffen handelt es sich überwiegend um aufgenommene Fremdstoffe, teilweise aber auch um körpereigene Substanzen.

### Der Einfluss von Training auf Zellen

Trainingsreize sind zunächst einmal Stress für den Körper und bringen diesen aus seinem Gleichgewicht. Um dieses Gleichgewicht wiederherzustellen und um für spätere Belastungen besser gewappnet zu sein kommt es zur Anpassung von Funktionen und Strukturen (Adaptation). Was später z.B. in Muskelwachstum oder Knochendichthezzunahme erkennbar wird, findet auf zellulärer Ebene statt.

Generell hat der Körper drei Möglichkeiten auf Reize zu reagieren:

- Durch Anpassung bestehender Zellen (z.B. Größenanpassung).
- Durch Zellteilung und somit Vermehrung von Zellen.
- Durch Anpassung der Funktion im Sinne einer Ökonomisierung (funktionelle Plastizität – auf neurologischer Ebene z.B.: gleicher Reiz, aber höhere Reaktion).

## 2.5 Gewebe

*Gewebe sind Verbände gleichartig differenzierter Zellen und deren Abkömmlinge.*

nach Platzer, 2013

Die Histologie (griech.) ist die Wissenschaft der biologischen Gewebe. Sie wird deshalb auch als Gewebelehre bezeichnet und ist ein Teilgebiet der Medizin und der Biologie. Unter einem Gewebe im biologischen Sinne ist eine Ansammlung differenzierter Zellen zu verstehen, die alle zu den Aufgaben des Gewebes beitragen, also ähnliche Funktionen erfüllen. Als Organ wird schließlich der funktionelle Verbund mehrerer Gewebearten bezeichnet.

Histologisch werden grundsätzlich vier Gewebearten unterschieden:

1. Stütz- und Bindegewebe (z.B. Faszien, Knorpel, Knochen)
2. Muskelgewebe
3. Nervengewebe
4. Epithelgewebe (z.B. Haut, Drüsen)

## 3 Bewegungsapparat

### Lernziele

In diesem Kapitel lernst du, ...

1. die Funktionen und Bestandteile des Bewegungsapparates kennen.
2. in welche Bereiche du diese Bestandteile (Knochen, Knorpel, Sehnen, Bänder, Muskeln) weiter unterteilen kannst.
3. wie sich die Bestandteile auf Trainingsreize anpassen.
4. was für Probleme bei Überlastung in den einzelnen Bereichen entstehen können.
5. die Funktionsweise eines Muskels und wie er aufgebaut ist.

### Definition

Der Bewegungsapparat ist ein komplexes Organsystem des menschlichen Körpers. Er hilft, die Körperstruktur und -haltung intakt zu halten, zudem dient er auch der Bewegung und Fortbewegung des Körpers.

### Struktur

Der Bewegungsapparat als Ganzes wird auch als Stütz- und Bewegungsapparat bezeichnet, er kann in ein "aktives" und ein "passives" System unterteilt werden. Diese Klassifizierung ist nicht sehr ausgeprägt, da streng genommen nur Muskelgewebe beweglich ist (Kontraktilität). Verschiedene Autoren haben unterschiedliche Konzepte zur Klassifizierung der Komponenten des Bewegungsapparates gewählt.

Aus funktioneller Sicht kann der Bewegungsapparat in die beiden o.g. Bereiche unterteilt werden (Abbildung 27):

- Der *passive Bewegungsapparat*, bestehend aus Knochen, Bändern, Gelenken und Knorpel.
- Der *aktive Bewegungsapparat*, bestehend aus der Skelettmuskulatur mit ihren Hilfseinrichtungen (Sehnen, Sehnenscheiden, Schleimbeutel und Faszien).



Abbildung 27: Menschlicher Stütz- und Bewegungsapparat

### 3.1 Knochen

Der Mensch besitzt ca. 223 einzelne Knochen, die verschiedene Funktionen und Formen besitzen (Tittel 2003). Im Laufe der Lebensspanne verwachsen einige Knochen miteinander, daher kann je nach Literatur die Anzahl an Knochen im menschlichen Körper differieren.

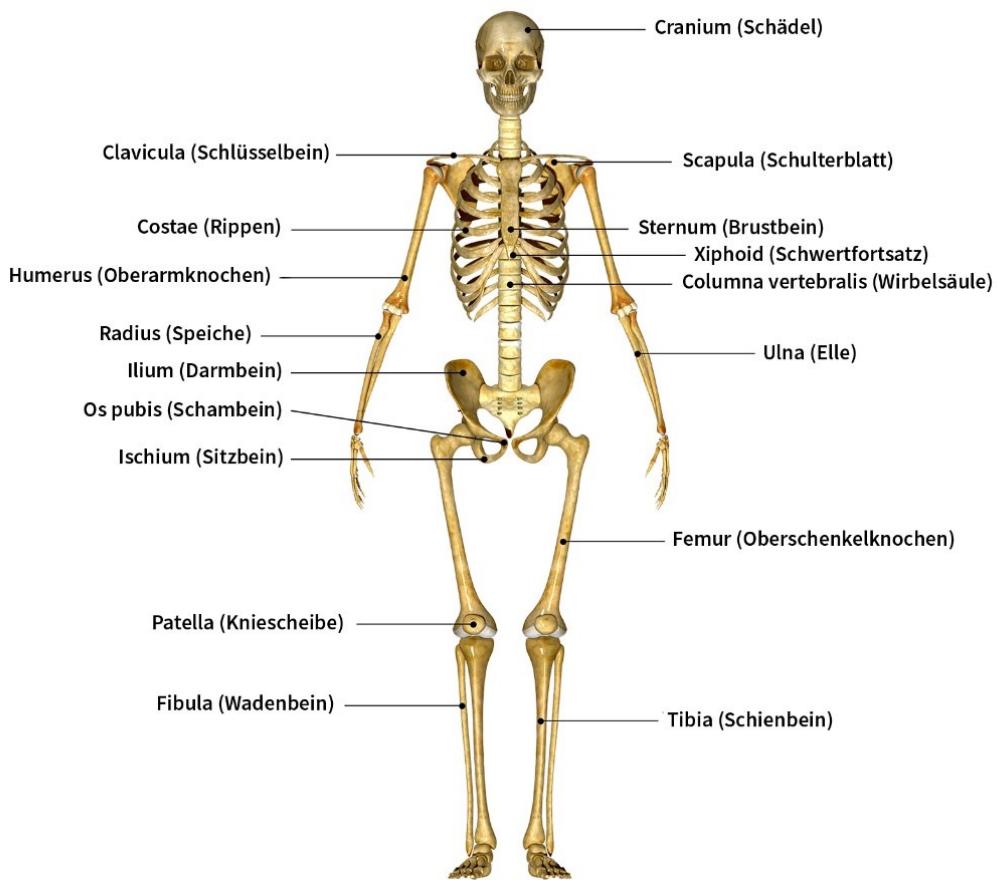


Abbildung 28: Wesentliche Knochen des menschlichen Skeletts

#### 3.1.1 Aufbau und Arten von Knochen

Knochengewebe besteht zu 50 % aus organischen (verleihen Elastizität) und zu 30 % aus anorganischen Anteilen (verleihen Härte), die restlichen 20 % sind Wasser.

Die stabile Außenzone wird als Kortikalis oder Kompakta bezeichnet. Um Gewicht zu sparen sind die Knochen im Inneren in einer Leichtbauweise konstruiert. Das innenliegende schwammartige Gewebe wird als Knochenbälkchen oder Spongiosa bezeichnet. Innerhalb der Knochenbälkchen befindet sich das rote (blutbildende) sowie das gelbe (fetthaltige) Knochenmark.

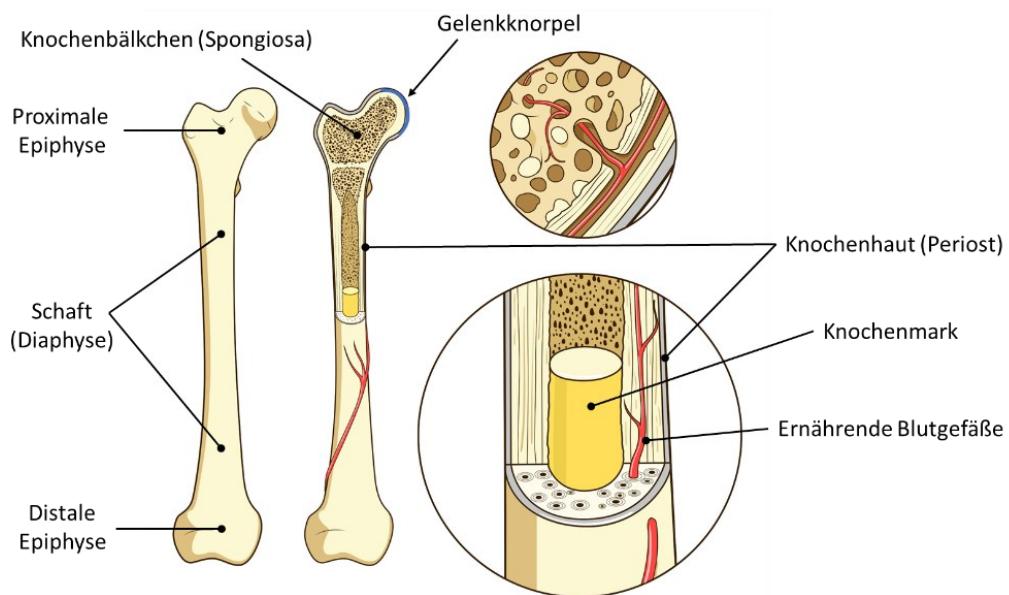


Abbildung 29: Knochenstruktur am Beispiel des Oberschenkelknochens (Os femoris)

Nach ihrem Erscheinungsbild werden Knochen in vier Typen eingeteilt:

- **Röhrenknochen**: Diese länglichen Knochen finden sich ausschließlich in den Extremitäten. Sie bestehen aus zwei dicken Knochenenden (Epiphysen) und einem dazwischen liegenden länglichen Schaft (Diaphyse), in dem sich das Knochenmark befindet. Der kurze Übergang zwischen Diaphyse und Epiphyse wird als Metaphyse bezeichnet und beinhaltet beim nicht ausgewachsenen Menschen die für das Längenwachstum wichtige Epiphysenfuge. Die größten Röhrenknochen im menschlichen Körper sind der Oberarmknochen (Humerus), die Elle (Ulna), die Speiche (Radius), der Oberschenkelknochen (Femur), das Schienbein (Tibia), das Wadenbein (Fibula) und die Fingerknochen.
- **Platte Knochen**: Sie haben keine Epi- und Diaphysen und sind von der Form her eher flächenhaft und dünn. Zu ihnen gehören das Becken (Pelvis), die Schädelknochen (Cranium), die Rippen (Costae), das Schulterblatt (Scapula) und das Brustbein (Sternum). Platte Knochen schützen häufig die unter ihnen befindlichen Organe.
- **Kurze Knochen**: Diese kompakten, stabilen, würfelförmigen oder rundlichen Knochen haben ebenfalls keine Epi- und Diaphysen. Zu ihnen zählen vor allem die Handwurzelknochen (Ossa carpi) und die Fußwurzelknochen (Ossa tarsi).
- **Unregelmäßige Knochen**: Diese Gruppe fasst die verbleibenden Knochen zusammen. Dazu gehören beispielsweise die Wirbelkörper (Vertebrae) oder der Unterkieferknochen (Mandibula).

Tabelle 4: Einteilung von Knochen anhand ihrer Form

Knochenart	Beispiel
Röhrenknochen	Os femoris (Oberschenkelknochen)
Platte Knochen	Os Ilium (Beckenknochen)
Kurze Knochen	Handwurzelknochen
Unregelmäßige Knochen	Wirbelkörper

### 3.1.2 Funktionen der Knochen

#### Statik des Körpers:

Die Knochen bilden ein Stützgerüst und verleihen dem Körper seine stabile äußere Form. Speziell dem Menschen verhelfen sie zum aufrechten Gang und Stand.

#### Ansatzstellen für die Muskulatur:

Die Skelettmuskulatur ist an den Knochen fixiert und ermöglicht durch Verkürzung bzw. Dehnung die spezifische Beweglichkeit des Menschen.

#### Schutz innerer Organe:

Gegen einwirkende Kräfte von außen bilden die Knochen einen robusten Schutzpanzer für darunter befindliche Körperorgane.

#### Mineralspeicher:

Die Knochen stellen das Körperdepot für wichtige Mineralstoffe dar. Insbesondere Kalzium, Phosphat und Magnesium werden in Knochen gespeichert und bei Bedarf wieder an das Blut abgegeben.

#### Beteiligung an der Blutproduktion:

Blutkörperchen haben nur eine begrenzte Lebensdauer und müssen deshalb ständig ersetzt werden. Das in den Knochen eingebettete rote Knochenmark enthält dafür spezielle Stammzellen und ist das wichtigste blutbildende Organ im Körper.

### 3.1.3 Der Einfluss von Training auf Knochen

Durch mechanische Belastungen kann das Knochenwachstum modifiziert werden:

- Hohe Belastung → Knochenaufbau → Knochendichte steigt → Festigkeit steigt
- Zu geringe Belastung → Knochenabbau → Knochendichte sinkt → Festigkeit sinkt

Die Festigkeitszunahme des Knochens resultiert in erster Linie aus der dichtenen Knochenbalkchenstruktur der Spongiosa. Die Ausrichtung der Knochenbalkchen erfolgt entlang der Kraftwirkungslinien.

Adäquate Trainingsreize für Knochen stellen dabei Stoß-, Scher- und Druckbelastungen dar. Bedeutsam ist dabei die einwirkende Verformungsenergie, die ausreichend hoch sein muss, um einen trainingswirksamen Reiz darzustellen. Geeignete Trainingsformen stellen daher ein hochintensives Krafttraining oder reaktive Bewegungen dar. Leichtes Krafttraining oder Ausdauertraining haben keinen positiven Effekt auf die Knochendichte. Im Altersverlauf nimmt die Knochendichte ab, weshalb vor allem im höheren Alter ein adäquates Krafttraining empfehlenswert wäre.

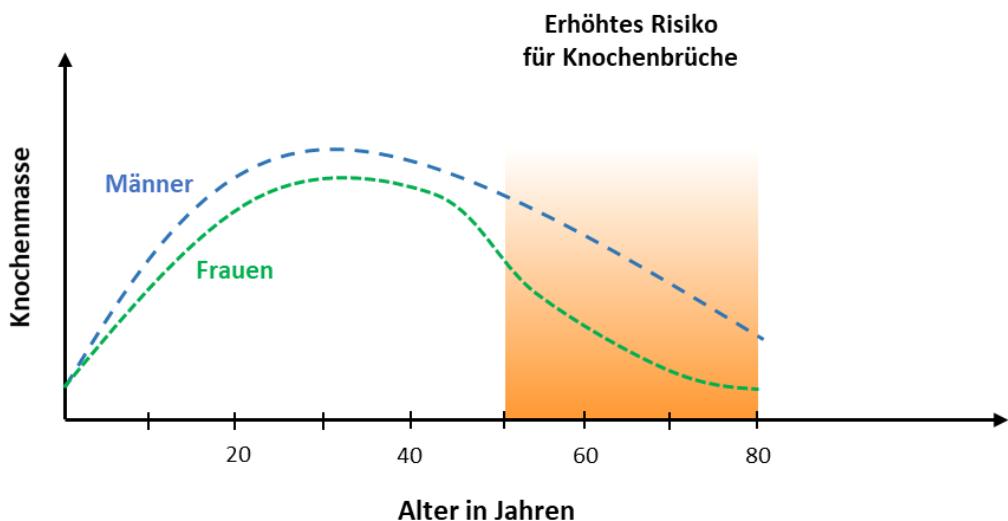


Abbildung 30: Knochendichte und Frakturrisiko im Altersverlauf

## 3.2 Knorpel

Knorpelgewebe ist ein glattes, gefäßarmes Gewebe, das Gelenke und Skelettstellen überzieht. Knorpelgewebe muss elastisch und gleichzeitig stabil sein, um Stöße abfangen zu können. Der Knorpel hat dabei die Funktion eines schützenden Polsters und vergrößert die Auflagefläche. Je nach Anforderung sind die Knorpel unterschiedlich zusammengesetzt. Ihre Nährstoffe erhalten sie aus dem umliegenden Gewebe, dem Perichondrium, das ganz allmählich in Knorpelgewebe übergeht. Menschliches Knorpelgewebe ist (beim Erwachsenen) frei von Blutgefäßen und kann sich daher lediglich über das Perichondrium (Knorpelhaut) oder über die Synovia (Gelenkflüssigkeit) durch Diffusion „ernähren“.

### 3.2.1 Knorpelarten

Tabelle 5: Je nach Aufbau werden drei Knorpelarten unterschieden

Knorpelart	Eigenschaft
Hyaliner Knorpel	Der hyaline Knorpel ist transparent und schimmert bläulich-weiß wie Milchglas. Er zeichnet sich durch hohe Elastizität und Druckfestigkeit aus. An den Gelenkenden wirkt er wie ein Polster, das Stöße abfängt. Die Glätte der Knorpeloberfläche ermöglicht ein reibungsarmes gegeneinander Bewegen der Gelenkkörper.
Faserknorpel	Der Faserknorpel hat einen hohen Bestandteil an kollagenen, miteinander verflochtenen Faserbündeln, die ihn stabil und gleichzeitig elastisch machen. Unter anderem bestehen die Bandscheiben zwischen den Wirbeln aus Faserknorpel. Jede von ihnen bildet einen Faserring mit einem gallertartigen Kern, der Stöße und Erschütterungen abfängt. Auch Knochen und Bänder sind durch Faserknorpel fest miteinander verbunden.
Elastischer Knorpel	Der elastische Knorpel hat wie der Faserknorpel Kollagenfasern, darüber hinaus aber auch gelbliche elastische Fasern. Er ist in Kehlkopf, Ohrmuschel, Gehörgang und Ohrtrumpele zu finden.

### 3.2.2 Knorpelverschleiß

Durch Fehlbelastungen oder Traumata kann es zu maladaptiven Prozessen (ungewünschten Anpassungsreaktionen) im Knorpelgewebe kommen. Folge solcher Fehlbelastungen kann eine Arthrose sein. Durch zu hohe Belastungen im Sport oder Alltag können Gelenkknorpel beschädigt werden. Typische Ursachen sind akute Traumata (z.B. Stürze), aber auch chronische Überbelastungen und Verschleiß. Sowohl die eigene Regenerationsfähigkeit von Knorpelgewebe als auch die Wirksamkeit medizinischer Behandlungsmethoden ist (zumindest derzeit noch) begrenzt. Die möglichen Phasen einer fortschreitenden Degeneration von Gelenkknorpel zeigt Abbildung 31. Das als *Arthrose* bezeichnete Krankheitsbild ist oft ein Funktionskreis aus einer kleineren Schädigung, degenerativen Alterserscheinungen, Überbelastung (beispielsweise durch Übergewicht, einseitigen Belastungen oder dysfunktionalen Übungen) und Mangelversorgung (Immobilisierung bzw. Schonung des Gelenks und daraus resultierende Unterversorgung des Knorpels).

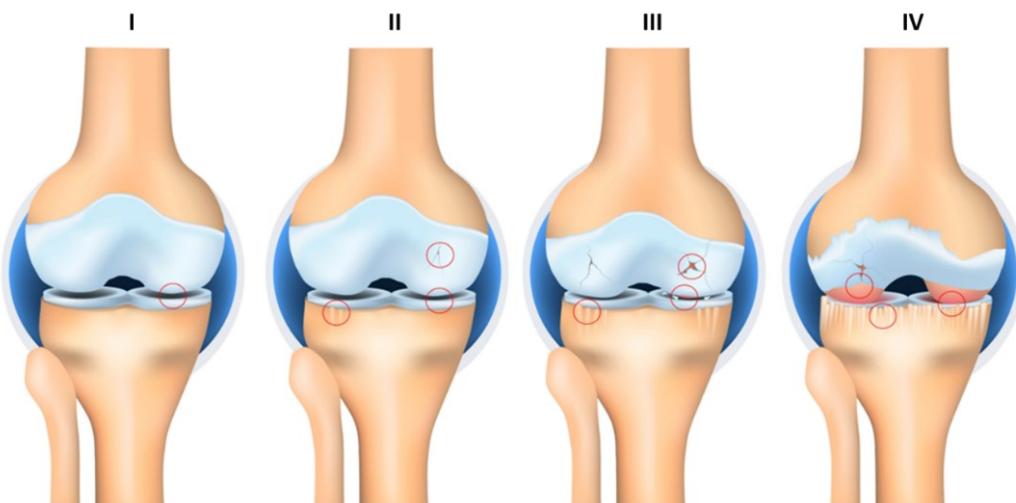


Abbildung 31: Einteilung der Arthrose nach Schweregrad

### 3.2.3 Der Einfluss von Training auf Knorpel

Knorpelmasse ist in der Regel ein bradytropes (stoffwechselarmes) Gewebe. Dennoch können die Stoffwechselprozesse durch ein sportliches Training beeinflusst werden. Durch Scher- und Druckbelastungen wird ein Protein des Knorpelgewebes aktiviert, das die Knorpelmasse reguliert (O’Conor et al. 2014). Zudem werden die bereits bestehenden Knorpelzellen durch Be- und Entlastungsprozesse „ernährt“. Bei Belastung wird der Knorpel ausgepresst und Stoffwechselprodukte werden aus dem Knorpel herausgespült. Bei Entlastung saugt sich der Knorpel wie ein Schwamm mit Flüssigkeit und den darin enthaltenen Nährstoffen voll.

## 3.3 Sehnen

Sehnen verbinden Muskeln mit Knochen und übertragen Kräfte vom aktiven auf den passiven Bewegungsapparat.

### 3.3.1 Aufbau und Arten von Sehnen

Sehnen bestehen aus straffem, kollagenfaserigem Bindegewebe, das trotz seiner hohen Zugfestigkeit eine gewisse Dehnbarkeit aufweist. Durch diese Dehnfähigkeit kann Energie im Gewebe gespeichert