

Prof. Dr. Ingo Froböse  
Muskeln – die Gesundmacher  
So bleiben wir fit, schlank und mental in Balance

Ungekürzte Lesung von Olaf Pessler  
517 Minuten | 142 Tracks

## INHALT

### [2] VORWORT

#### [3] Muskeln sind Kunstwerke – Physiologie und Anatomie

- [5] Muskel ist nicht gleich Muskel
- [9] Bindegewebe auch im Muskel
- [16] Die Muskelfasern und ihre Typen
- [22] Die motorische Einheit – für Kraft und Steuerung
- [25] Muskelarbeit – viele winzige Einheiten bewirken Großes
- [29] Mitochondrien – die Energielieferanten des Muskels

#### [34] Durch Training die Muskulatur verändern

- [35] Muskelwachstum – immer noch ein geheimnisvoller Vorgang
- [39] Mehr Kapillaren zur besseren Versorgung
- [40] Muskeltraining bei Frauen – eine ganz besondere Geschichte
- [42] Muskellänge und Gesamtkraft
- [45] Wie Geschwindigkeit und Muskelkraft zusammenhängen
- [46] Die Steuerung der Muskelkraft
- [49] Typische Muskelbeschwerden vermeiden und behandeln

#### [51] Nährstoffe für die Muskeln

- [52] Proteine – der wichtige Baustoff der Muskeln

#### [59] Muskelkraft und Muskelmasse im Altersverlauf

[59] In Kindheit und Pubertät geht es nur bergauf

[61] Ab 30 geht es bergab

[63] Sarkopenie – krankhafter Muskelverlust

#### **[68] Propriozeption – Muskeln sind Wahrnehmungsorgane**

[70] Muskeln und Gefühle – wie sie sich gegenseitig beeinflussen

[78] Fitte Muskeln – fittes Gehirn

#### **[85] Myokine – die Heilstoffe der Muskulatur**

[86] Immer noch voller Geheimnisse und Rätsel

[88] Ohne Bewegung keine Myokine

[89] IL-6 – das Myokin der Gegensätze

[93] IL-15 – der Kraftprotz unter den Myokinen

[94] Irisin – der Hoffnungsträger für Übergewichtige

[95] BDNF – lässt schnelle, kräftige Muskelfasern wachsen

[96] Myonectin – gut für Herz und Stoffwechsel

[97] Follistatin – der Bodybuilder

[98] Die Apotheke des aktiven Muskels

#### **[99] Muskeln schützen vielseitig**

[103] Ausdauer- oder Muskeltraining?

[104] Herz- und Kreislauferkrankungen vorbeugen

[110] Übergewicht und Adipositas – da helfen nur „dicke“ Muskeln

[121] Mit aktiven Muskeln gegen Diabetes Typ 2

[125] Rückenschmerzen – selbst gemacht und selbst geheilt

[130] Gut bemuskelte Gelenke gegen Arthrose

[137] Die Muskel-Knochen-Connection – gegen den Knochenschwund

[138] Alterssichtigkeit – mit Augentraining das Sehen erhalten

#### **[140] Ein Wort zum Schluss: Muskeln brauchen regelmäßiges Training!**

##### **Literaturverzeichnis**

### [3] Muskeln sind Kunstwerke – Physiologie und Anatomie

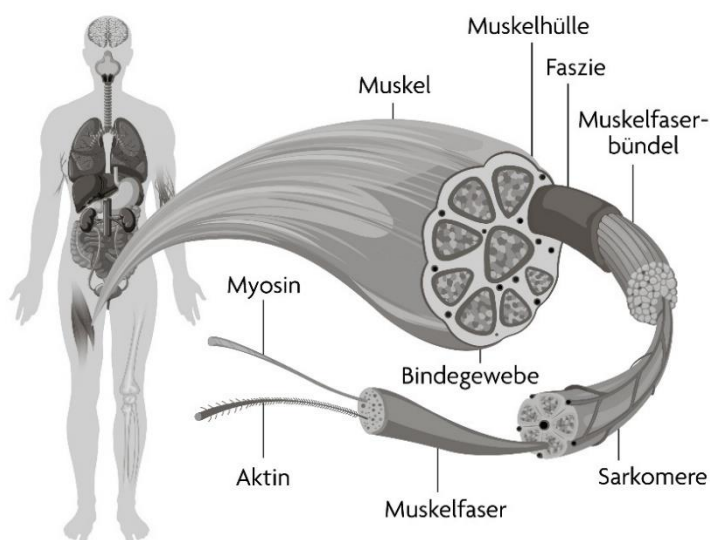
#### [5] Muskel ist nicht gleich Muskel

#### Merkmale und Besonderheiten der einzelnen Muskeltypen

Merkmale/ Besonderheit	Skelett- muskulatur	Herzmuskulatur	Glatte Muskulatur
Dicke	40–100 mm	10–20 mm	5–10 mm
Länge	bis 20 cm	100–150 mm	30–200 mm
Kern	viele Kerne	ein Kern	ein Kern
Anordnung der kontraktilen Filamente	parallele Anordnung, Sarkomere	parallele Anordnung, Sarkomere	gitterartiges Netzwerk, keine Sarkomere
nervale Versorgung	somatisches Nervensystem	vegetatives Nervensystem	vegetatives Nervensystem
Erregungsübertra- gung von Zelle zu Zelle	nein	über Gap Junction	über Gap Junction

(nach Prof. Jürgen Hescheler 2019)

#### Feinstruktur des Skelettmuskels

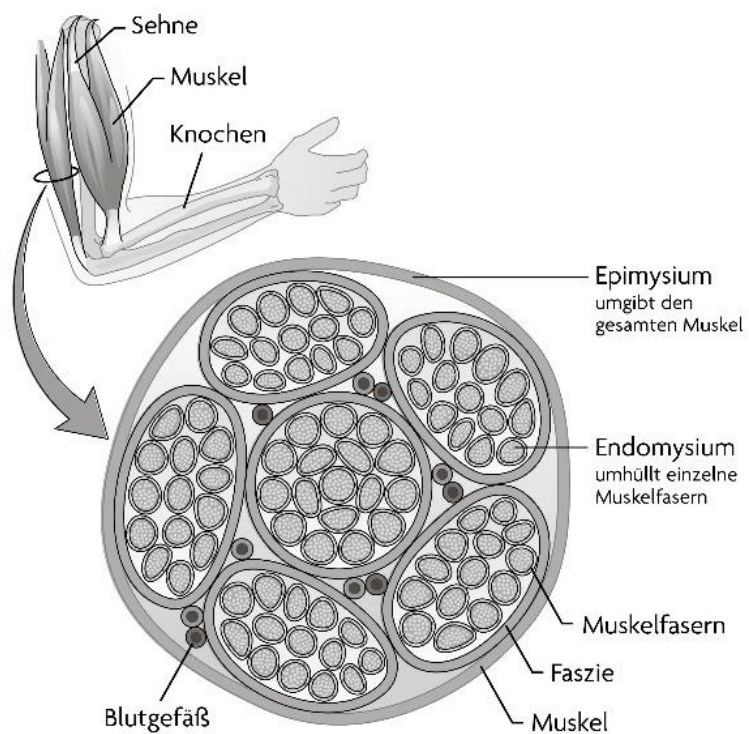


Feinstruktur des Skelettmuskels

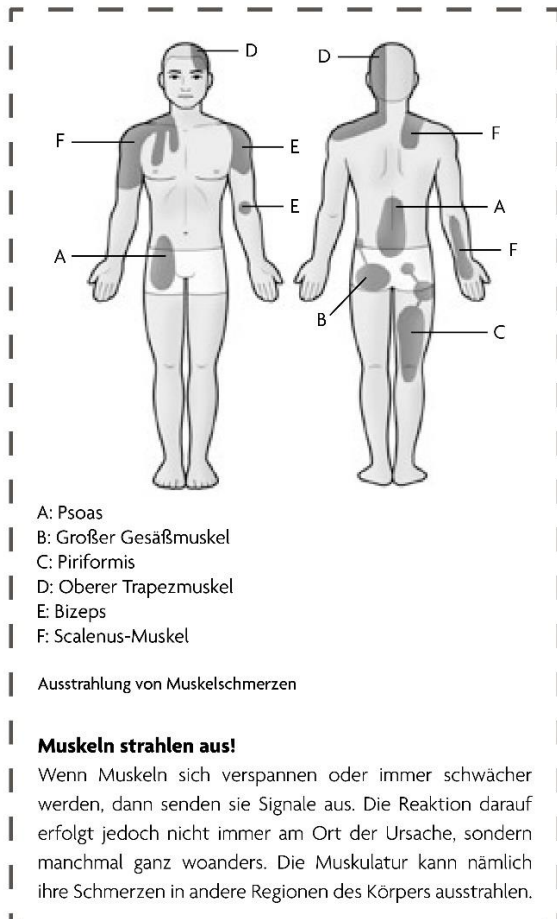
[9] Bindegewebe auch im Muskel

[12] Faszien – das besondere Bindegewebe

### Der Skelettmuskel mit seinen Faserbündeln und zugehörigen Faszien



## Ausstrahlung von Muskelschmerzen



[16] Die Muskelfasern und ihre Typen

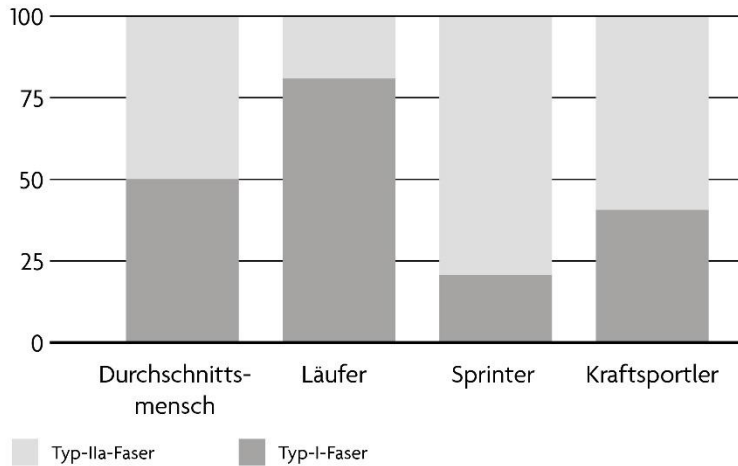
**Muskelfasern im Vergleich\***

<b>Motorische Einheiten</b>	<b>Typ I</b>	<b>Typ IIa</b>	<b>Typ IIx</b>
Kontraktionsform	langsame Zuckung	schnelle Zuckung	schnelle Zuckung
tetanische Kraftentwicklung (mN)	10–130	50–550	300–1300
Anstieg der Einzelzuckung (ms)	58–110	30–55	20–47
tetanische Fusionsfrequenz (Hz)	10–20		50–200
Axonleitgeschwindigkeit (m/s)	75–99	84–113	85–114
Ermüdbarkeit	gering	mittel	rasch
<b>Skelettmuskelfasern</b>	<b>Typ I</b>	<b>Typ IIa</b>	<b>Typ IIx</b>
Farbe	rot	rosa/rot	weiß
Kapillarversorgung	dicht	dicht	gering
Stoffwechsel	oxidativ	glykolytisch und oxidativ	glykolytisch
Gehalt in Mitochondrien	reichlich	reichlich	gering
Phosphorylaseaktivität	niedrig	hoch	hoch
Myoglobingehalt	niedrig	hoch	gering
Laktatdehydrogenaseaktivität	niedrig	mittel oder hoch	hoch
Succinatdehydrogenaseaktivität	hoch	mittel	niedrig

*\*modifiziert nach Prof. Jürgen Hescheler 2019. Zur Erläuterung: tetanische Kraftentwicklung = maximale Anspannung (mN = Milli-Newton, Kraft); Anstieg der Einzelzuckung = Schnelligkeit; Spannungsaufbau; Tetanische Fusionsfrequenz = Innervationsfrequenz bis zum Maximum; Axonleitgeschwindigkeit = Nervenimpuls geschwindigkeit; Phosphorylaseaktivität = Enzymaktivität zur Energiebereitstellung; Myoglobingehalt = im Muskel gebundenes Eisen zum Sauerstofftransport; Laktatdehydrogenase = LDH-Enzym zur sauerstoffarmen Energiegewinnung; Succinatdehydrogenase = Enzymkomplex zur sauerstoffreichen Energiegewinnung*

## Veränderung der Fasertypen durch Training

### Durchschnittliche Muskelfaseranteile bei Sportlern

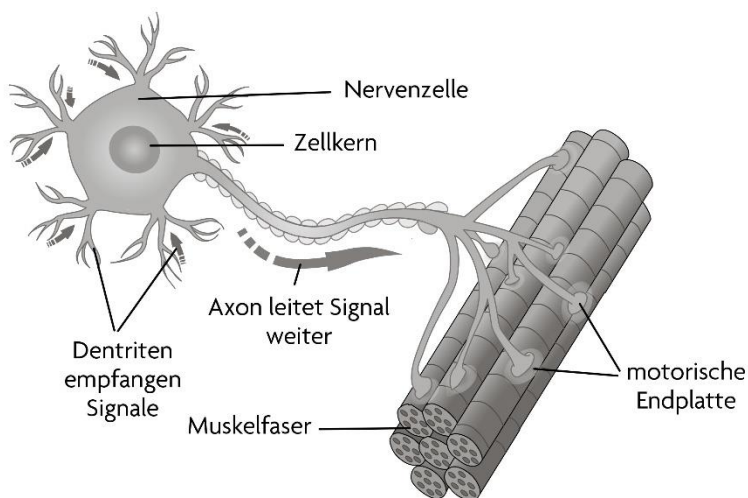


Durchschnittliche Muskelfaseranteile bei Sportlern

## [22] Die motorische Einheit – für Kraft und Steuerung

### Motorische Endplatte – die spezielle Synapse der Muskulatur

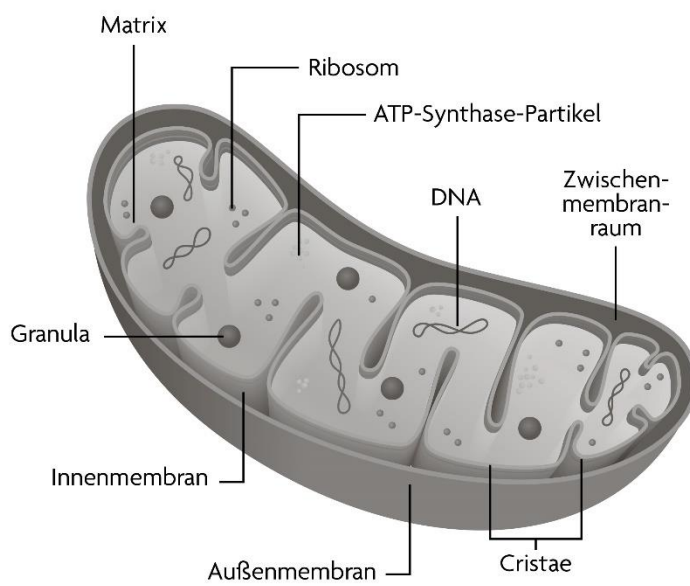
#### Motoneuron



Das Motoneuron

[29] Mitochondrien – die Energielieferanten des Muskels

**Das Mitochondrium**



Das Mitochondrium



**[34] Durch Training die Muskulatur verändern**

**Beurteilung der Muskelmasse von Männern in Abhängigkeit von der Körpergröße**

<b>Körpergröße</b>	<b>muskelschwach</b>	<b>normale Muskelmasse</b>	<b>muskelkräftig</b>
160 cm	< 21,5 kg	21,5 kg–32,8 kg	> 32,8 kg
161 cm	< 21,8 kg	21,8 kg–33,2 kg	> 33,2 kg
162 cm	< 22,0 kg	22,0 kg–33,6 kg	> 33,6 kg
163 cm	< 22,3 kg	22,3 kg–34,0 kg	> 34,0 kg
164 cm	< 22,6 kg	22,6 kg–34,4 kg	> 34,4 kg
165 cm	< 22,9 kg	22,9 kg–34,8 kg	> 34,8 kg
166 cm	< 23,1 kg	23,1 kg–35,3 kg	> 35,3 kg
167 cm	< 23,4 kg	23,4 kg–35,7 kg	> 35,7 kg
168 cm	< 23,7 kg	23,7 kg–36,1 kg	> 36,1 kg
169 cm	< 24,0 kg	24,0 kg–36,6 kg	> 36,6 kg
170 cm	< 24,3 kg	24,3 kg–37,0 kg	> 37,0 kg
171 cm	< 24,6 kg	24,6 kg–37,4 kg	> 37,4 kg
172 cm	< 24,9 kg	24,9 kg–37,9 kg	> 37,9 kg
173 cm	< 25,1 kg	25,1 kg–38,3 kg	> 38,3 kg
174 cm	< 25,4 kg	25,4 kg–38,8 kg	> 38,8 kg
175 cm	< 25,7 kg	25,7 kg–39,2 kg	> 39,2 kg
176 cm	< 26,0 kg	26,0 kg–39,6 kg	> 39,6 kg
177 cm	< 26,3 kg	26,3 kg–40,1 kg	> 40,1 kg
178 cm	< 26,6 kg	26,6 kg–40,6 kg	> 40,6 kg
179 cm	< 26,9 kg	26,9 kg–41,0 kg	> 41,0 kg
180 cm	< 27,2 kg	27,2 kg–41,5 kg	> 41,5 kg
181 cm	< 27,5 kg	27,5 kg–41,9 kg	> 41,9 kg
182 cm	< 27,8 kg	27,8 kg–42,4 kg	> 42,4 kg
183 cm	< 28,1 kg	28,1 kg–42,9 kg	> 42,9 kg
184 cm	< 28,4 kg	28,4 kg–43,3 kg	> 43,3 kg
185 cm	< 28,7 kg	28,7 kg–43,8 kg	> 43,8 kg
<b>Körpergröße</b>	<b>muskelschwach</b>	<b>normale Muskelmasse</b>	<b>muskelkräftig</b>
186 cm	< 29,1 kg	29,1 kg–44,3 kg	> 44,3 kg
187 cm	< 29,4 kg	29,4 kg–44,8 kg	> 44,8 kg
188 cm	< 29,7 kg	29,7 kg–45,2 kg	> 45,2 kg
189 cm	< 30,0 kg	30,0 kg–45,7 kg	> 45,7 kg
190 cm	< 30,3 kg	30,3 kg–46,2 kg	> 46,2 kg
191 cm	< 30,6 kg	30,6 kg–46,7 kg	> 46,7 kg
192 cm	< 31,0 kg	31,0 kg–47,2 kg	> 47,2 kg
193 cm	< 31,3 kg	31,3 kg–47,7 kg	> 47,7 kg
194 cm	< 31,6 kg	31,6 kg–48,2 kg	> 48,2 kg
195 cm	< 31,9 kg	31,9 kg–48,7 kg	> 48,7 kg

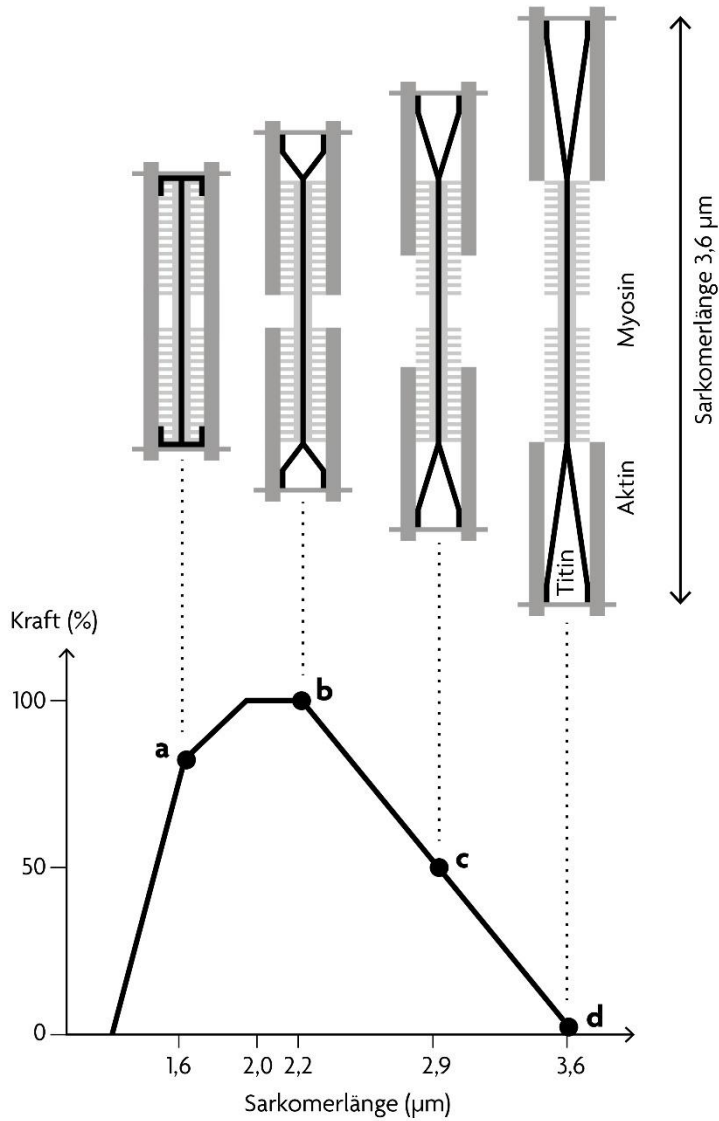
**Beurteilung der Muskelmasse von Frauen in Abhängigkeit von der Körpergröße**

<b>Körpergröße</b>	<b>muskelschwach</b>	<b>normale Muskelmasse</b>	<b>muskelkräftig</b>
150 cm	< 7,0 kg	7,0 kg–15,5 kg	> 15,5 kg
151 cm	< 7,1 kg	7,1 kg–15,7 kg	> 15,7 kg
152 cm	< 7,2 kg	7,2 kg–15,9 kg	> 15,9 kg
153 cm	< 7,3 kg	7,3 kg–16,2 kg	> 16,2 kg
154 cm	< 7,4 kg	7,4 kg–16,4 kg	> 16,4 kg
155 cm	< 7,4 kg	7,4 kg–16,6 kg	> 16,6 kg
156 cm	< 7,5 kg	7,5 kg–16,8 kg	> 16,8 kg
157 cm	< 7,6 kg	7,6 kg–17,0 kg	> 17,0 kg
158 cm	< 7,7 kg	7,7 kg–17,2 kg	> 17,2 kg
159 cm	< 7,8 kg	7,8 kg–17,4 kg	> 17,4 kg
160 cm	< 7,9 kg	7,9 kg–17,7 kg	> 17,7 kg
<b>Körpergröße</b>	<b>muskelschwach</b>	<b>normale Muskelmasse</b>	<b>muskelkräftig</b>
161 cm	< 8,0 kg	8,0 kg–17,9 kg	> 17,9 kg
162 cm	< 8,1 kg	8,1 kg–18,1 kg	> 18,1 kg
163 cm	< 8,2 kg	8,2 kg–18,3 kg	> 18,3 kg
164 cm	< 8,3 kg	8,3 kg–18,6 kg	> 18,6 kg
165 cm	< 8,4 kg	8,4 kg–18,8 kg	> 18,8 kg
166 cm	< 8,5 kg	8,5 kg–19,0 kg	> 19,0 kg
167 cm	< 8,6 kg	8,6 kg–19,2 kg	> 19,2 kg
168 cm	< 8,7 kg	8,7 kg–19,5 kg	> 19,5 kg
169 cm	< 8,9 kg	8,9 kg–19,7 kg	> 19,7 kg
170 cm	< 9,0 kg	9,0 kg–19,9 kg	> 19,9 kg
171 cm	< 9,1 kg	9,1 kg–20,2 kg	> 20,2 kg
172 cm	< 9,2 kg	9,2 kg–20,4 kg	> 20,4 kg
173 cm	< 9,3 kg	9,3 kg–20,7 kg	> 20,7 kg
174 cm	< 9,4 kg	9,4 kg–20,9 kg	> 20,9 kg
175 cm	< 9,5 kg	9,5 kg–21,1 kg	> 21,1 kg
176 cm	< 9,6 kg	9,6 kg–21,4 kg	> 21,4 kg
177 cm	< 9,7 kg	9,7 kg–21,6 kg	> 21,6 kg
178 cm	< 9,8 kg	9,8 kg–21,9 kg	> 21,9 kg
179 cm	< 9,9 kg	9,9 kg–22,1 kg	> 22,1 kg
180 cm	< 10,0 kg	10,0 kg–22,4 kg	> 22,4 kg
181 cm	< 10,2 kg	10,2 kg–22,6 kg	> 22,6 kg
182 cm	< 10,3 kg	10,3 kg–22,9 kg	> 22,9 kg
183 cm	< 10,4 kg	10,4 kg–23,1 kg	> 23,1 kg
184 cm	< 10,5 kg	10,5 kg–23,4 kg	> 23,4 kg
185 cm	< 10,6 kg	10,6 kg–23,6 kg	> 23,6 kg

Quelle: Prof. Dr. med. E. Heinen und Eva Heinen

[42] Muskellänge und Gesamtkraft  
 Muskellänge und was sie beeinflusst

**Überlappungsgrad der Aktin- und Myosinfilamente und isometrische Kraftentfaltung**



Überlappungsgrad der Aktin- und Myosinfilamente und isometrische Kraftentfaltung (modifiziert nach Dr. Annika Kruse, Universität Graz, 2021)

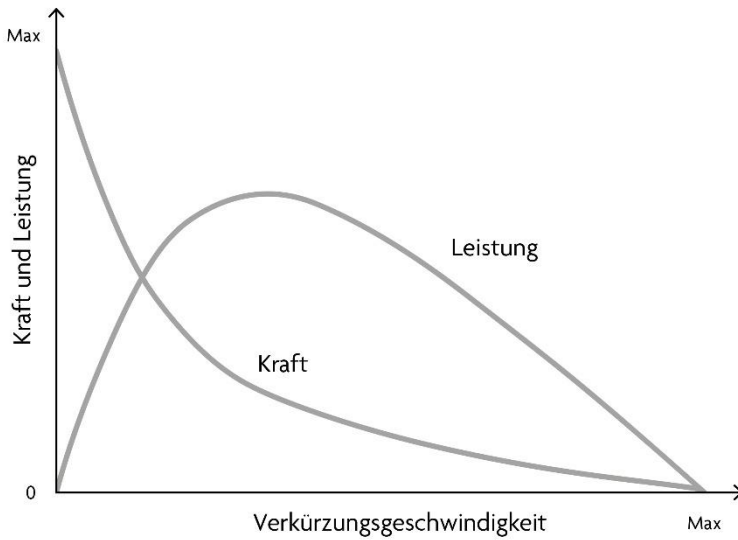
## Methoden zur Verbesserung der Beweglichkeit im Rahmen der Therapie

Einsatzfelder	Ziele	Methoden
Regeneration	Muskelentspannung, Durchblutungsförderung und Ausschwemmung der Stoffwechselabbauprodukte	Aktiv-dynamische Dehnübungen mit geringer bis mittlerer Intensität, Entspannungsübungen
Erhaltung/ Stabilisierung	Erhaltung der Muskelelastizität und Gelenkbeweglichkeit, Vorbereitung für Trainings- und Wettkampfbelastungen	Statische Dehnübungen mit mittlerer Intensität, aktiv-dynamische Dehnübungen in Kombination mit Koordinationsübungen
Training/ Optimierung	Verbesserung der Muskelelastizität und Gelenkbeweglichkeit bei myogenen und bindegewebigen Beweglichkeitsdefiziten, Stärkung bindegewebiger Strukturen, Behandlung von Muskelkontrakturen /-verkürzungen und bindegewebigen Einschränkungen	Aktiv-dynamische und /oder passiv-statische Dehnübungen mit mittlerer bis hoher Intensität und langer Dehndauer, CHRS-Methode /AED-Methode* mit guter Fixation der benachbarten Gelenke, translatorische Gleitbewegungen in Verbindung mit Längstraktionen des zu bewegenden Gelenkpartners (manuelle Therapie)

\* Bei diesen Sonderformen der passiven Dehnung (CHRS = Contract-Hold-Relax-Stretch, AED = Anspannen-Entspannen-Dehnen) werden Kraft- und Dehnbeanspruchungen eines Muskels ausgeführt.

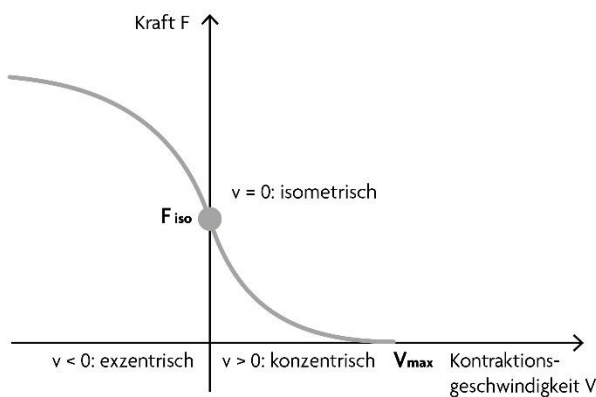
[45] Wie Geschwindigkeit und Muskelkraft zusammenhängen

**Zusammenhang von Muskelkraft und Verkürzungsgeschwindigkeit**



Zusammenhang von Muskelkraft und Verkürzungsgeschwindigkeit

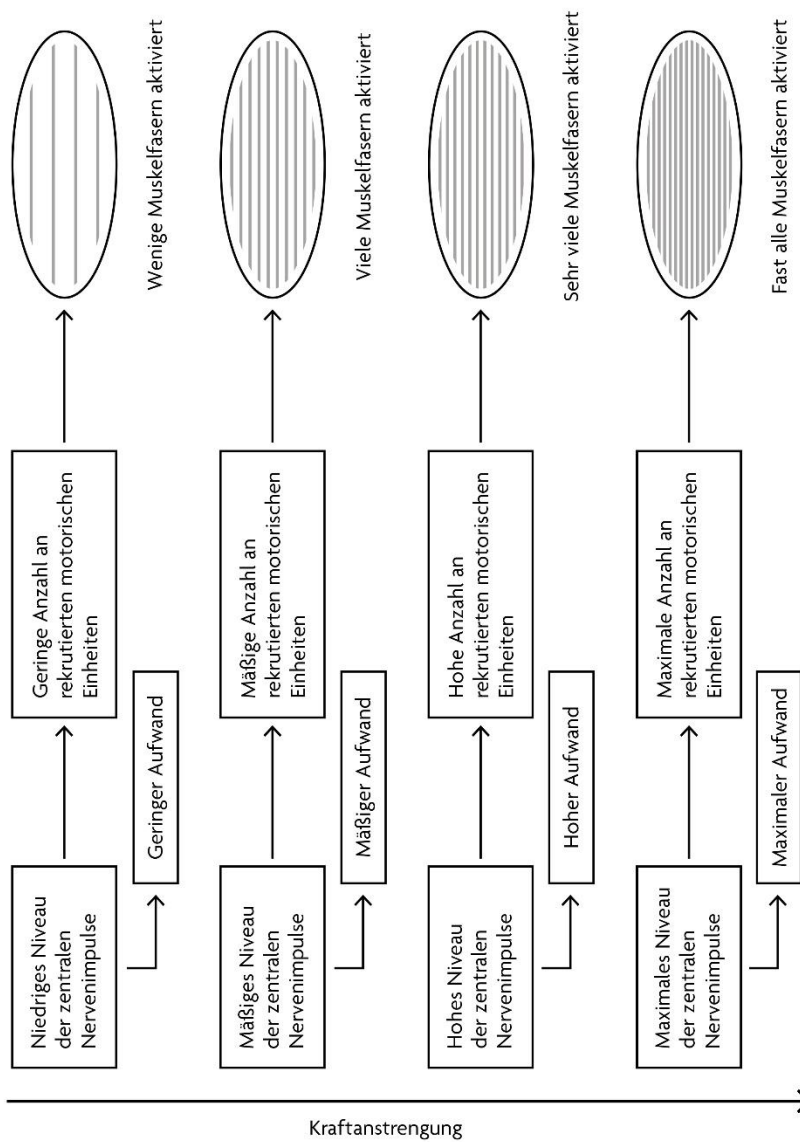
**Das Verhältnis von Kraft und Verkürzung bei isometrischer, konzentrischer und exzentrischer Kontraktion**



Das Verhältnis von Kraft und Verkürzung bei isometrischer, konzentrischer und exzentrischer Kontraktion

[46] Die Steuerung der Muskelkraft

**Ablauf der Kontraktion von leichtem bis maximalem Aufwand mit maximaler Kraftanstrengung**



## [51] Nährstoffe für die Muskeln

### [52] Proteine – der wichtige Baustoff der Muskeln

#### Aminosäuren auf einen Blick

Essenzielle Aminosäuren	Semiessenzielle Aminosäuren	Nicht essenzielle Aminosäuren
Isoleucin*	Arginin	Alanin
Leucin*	Histidin	Asparagin
Valin*		Asparaginsäure
Lysin		Cystein
Methionin		Glutamin
Phenylalanin		Glutaminsäure
Threonin		Glycin
Tryptophan		Prolin
		Serin
		Tyrosin

\*BCAA (Branched Chain Amino Acids), also verzweigtkettige Aminosäuren, kann der Organismus direkt verwenden, weil sie nicht vorher in der Leber verstoffwechselt werden müssen. Sie sind im Kraftsport beliebt, weil sie den Aufbau der Muskulatur anregen.

## Warum sind die richtigen Aminosäuren für Muskeln so wichtig?

### Empfohlene Tageszufuhr essenzieller Aminosäuren

So viele essenzielle Aminosäuren sind täglich nötig, damit unser Organismus und unsere Muskeln einwandfrei funktionieren (in Milligramm pro Kilogramm Körpergewicht):

- Isoleucin – 10 Milligramm
- Leucin – 14 Milligramm
- Lysin – 12 Milligramm
- Methionin – 13 Milligramm
- Phenylalanin – 14 Milligramm
- Threonin – 7 Milligramm
- Tryptophan – 3 Milligramm
- Valin – 10 Milligramm

### Gute Quellen für essenzielle Aminosäuren

Aminosäure	Lebensmittel
Isoleucin	Sonnenblumenkerne, Reis, Geflügel, Wild
Leucin	Erbsen, Leinsamen, Reis, Eier, Thunfisch
Valin	Leinsamen, Sonnenblumenkerne, Reis, Geflügel, Fisch
Threonin	Reis, Chiasamen, Kürbiskerne, Geflügel, Wild
Methionin	Hanfsamen, Chiasamen, Eier, Rindfleisch
Phenylalanin	Leinsamen, Hanfsamen, Reis, Geflügel, Schweinefleisch
Lysin	Erbsen, Sonnenblumenkerne, Rindfleisch, Käse
Tryptophan	Leinsamen, Eier, Schweinefleisch, Wild

**[59] Muskelkraft und Muskelmasse im Altersverlauf**

In Kindheit und Pubertät geht es nur bergauf

**Trainingsinhalte und -schwerpunkte im Kindes- und Jugendalter\***

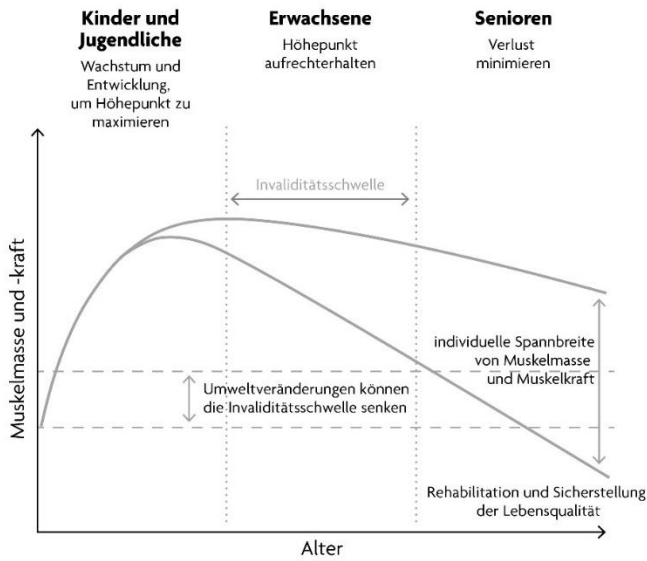
Frühe Kindheit	Späte Kindheit	Jugendalter	Erwachsenenalter
<b>Chronologisches Alter</b>			
weibl.: 6–8 Jahre männl.: 6–9 Jahre	weibl.: 9–11 Jahre männl.: 10–13 Jahre	weibl.: 12–18 Jahre männl.: 14–18 Jahre	weibl.: >18 Jahre männl.: >18 Jahre
<b>Reife</b>			
Präpubertär	Präpubertär	Pubertär	Postpubertär
<b>Phase der langfristigen Athletenentwicklung</b>			
Grundlagen schaffen	Trainieren erfahren	Trainingsbelastbarkeit erarbeiten	Training für den Wettkampf
<b>Langfristige Entwicklung der muskulären Fitness, Kraft und Ausdauer</b>			
niedrig	Kompetenz im Widerstandstraining	hoch	hoch
<ul style="list-style-type: none"> <li>– Koordinationstraining</li> <li>– Beweglichkeitstraining</li> <li>– Muskuläres Ausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht/ Trainingsequipment (z.B. Medizinball) mit dem Fokus auf der Ausübungsqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Balancetraining</li> <li>– Plyometrisches Training im Spiel (z.B. Seilspringen) mit Fokus auf korrekte Sprung- und Landetechnik</li> <li>– Core-Krafttraining</li> <li>– Muskuläres Ausdauertraining mit dem eigenen Körpergewicht/ Trainingsequipment (z.B. Medizinball)</li> <li>– Freies Gewichtstraining mit dem Fokus auf der Ausübungsqualität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Balancetraining</li> <li>– Plyometrisches Training (Sprünge aus geringer Fallhöhe)</li> <li>– Core-Krafttraining</li> <li>– Freies Gewichtstraining mit geringen bis moderaten Gewichten</li> <li>– Krafttraining mit hohem Widerstand (Hypertrophie)</li> <li>– Exzentrisches Widerstandstraining</li> <li>– Sportspezifisches Widerstandstraining</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Balancetraining</li> <li>– Plyometrisches Training (Sprünge aus moderater Fallhöhe)</li> <li>– Core-Krafttraining</li> <li>– Freies Gewichtstraining mit moderaten bis schweren Gewichten</li> <li>– Krafttraining mit hohem Widerstand (neuromuskuläre Aktivierung und Hypertrophie)</li> <li>– Sportspezifisches Widerstandstraining</li> </ul>
<b>Trainingsbedingte Anpassungen/Ziele</b>			
neuronale Anpassungen/Bewegungsqualität	neuronale Anpassungen/Bewegungsqualität	hormonelle, neuronale, muskuläre und Sehnen-Anpassungen	hormonelle, neuronale, muskuläre und Sehnen-Anpassungen

\*modifiziert nach Prof. Kemmler



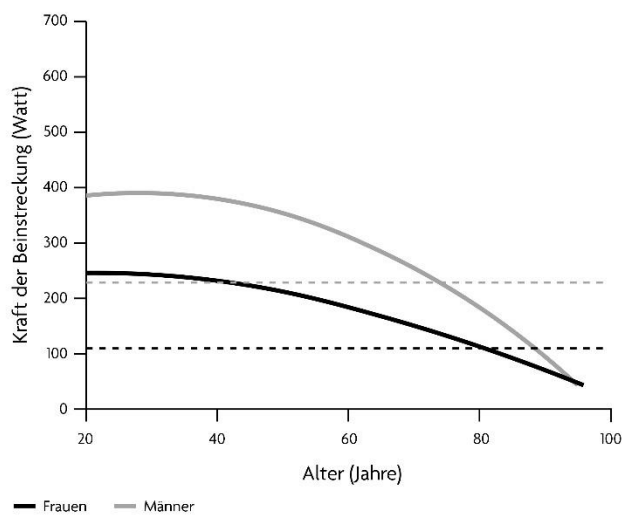
[61] Ab 30 geht es bergab

**Veränderung der Muskelkraft im Altersverlauf (WHO 2000)**



Veränderung der Muskelkraft im Altersverlauf (WHO 2000)

**Die Beziehung zwischen Alter und Muskelkraft der Kniestreckmuskulatur von Männern und Frauen**

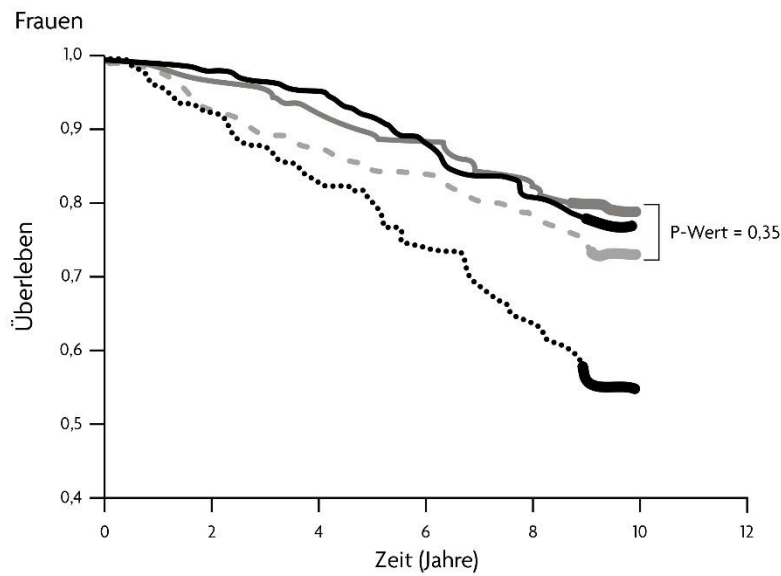
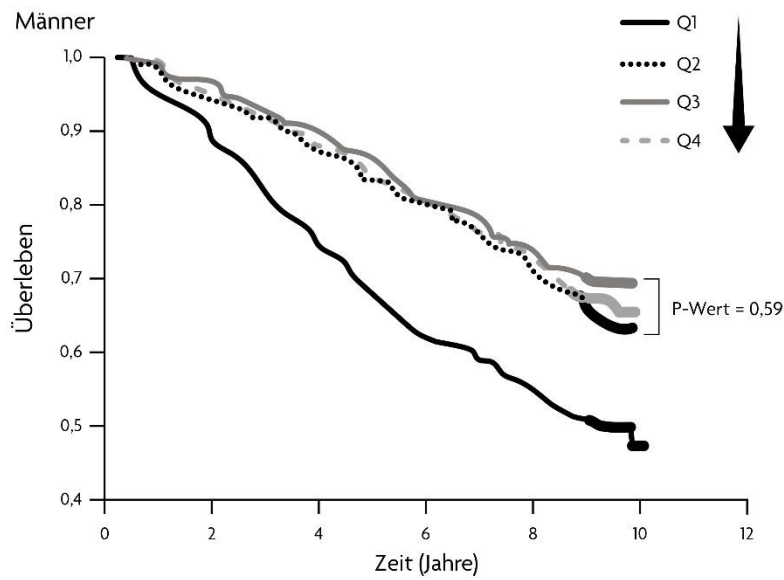


Die Beziehung zwischen Alter und Muskelkraft der Kniestreckmuskulatur von Männern und Frauen (aus der «Copenhagen Sarcopenia Study», 2019).

[63] Sarkopenie – krankhafter Muskelverlust

[64] Kraft und Ausdauer trainieren für Cross-over-Effekte

**Das Sterberisiko im Verhältnis zur Muskelmasse**

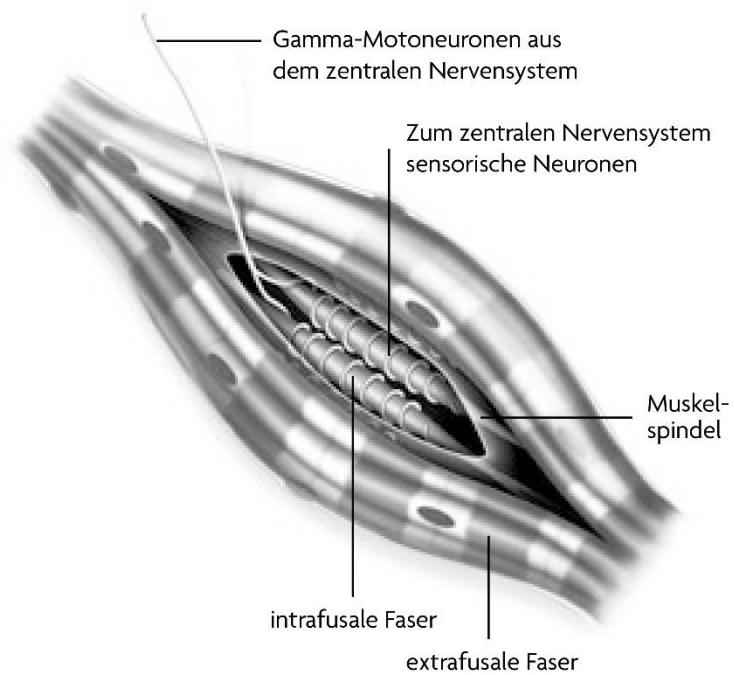


Das Sterberisiko im Verhältnis zur Muskelmasse (Q)

**[68] Propriozeption – Muskeln sind Wahrnehmungsorgane**

**[69] Muskelspindel**

**Muskelspindel mit ihrer sensorischen und motorischen Innervierung**

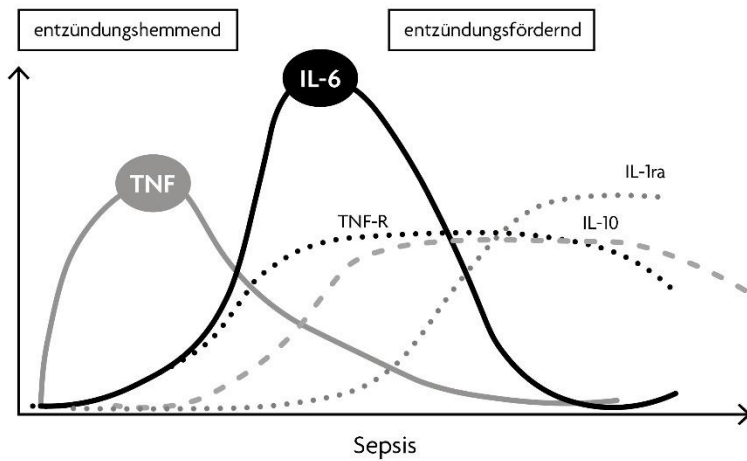
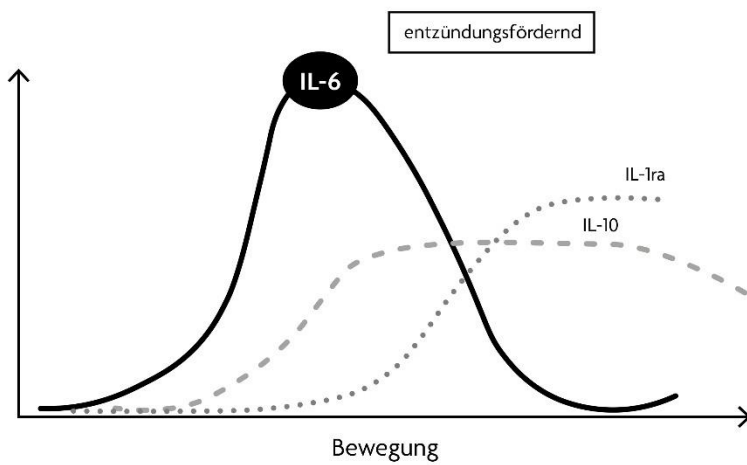


Muskelspindel mit ihrer sensorischen und motorischen Innervierung

**[85] Myokine – die Heilstoffe der Muskulatur**

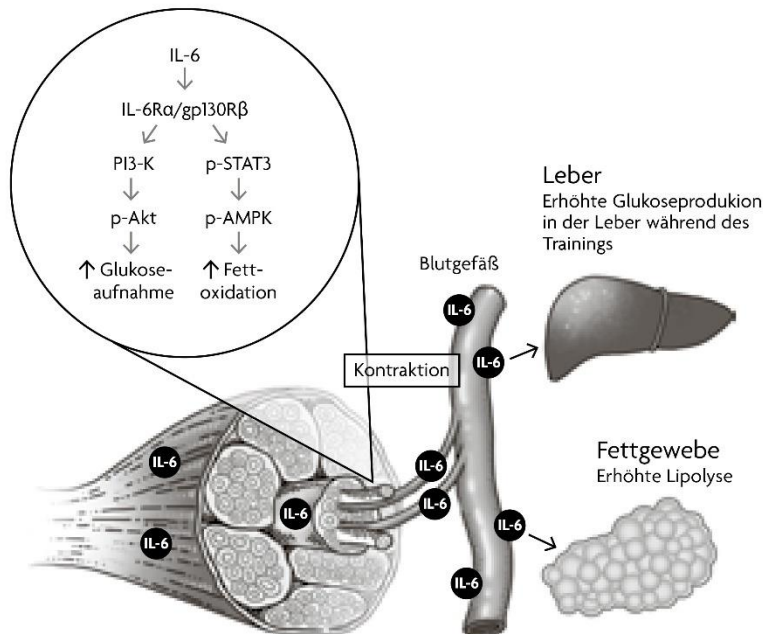
**[89] IL-6 – das Myokin der Gegensätze**

**Aktivitäten von Zytokinen während der Muskularbeit im Vergleich zu einer akuten Entzündung (Sepsis; vgl. Pedersen 2009)**



Aktivitäten von Zytokinen während der Muskularbeit im Vergleich zu einer akuten Entzündung (Sepsis; vgl. Pedersen 2009)

### Wirkung von IL-6 auf den Metabolismus

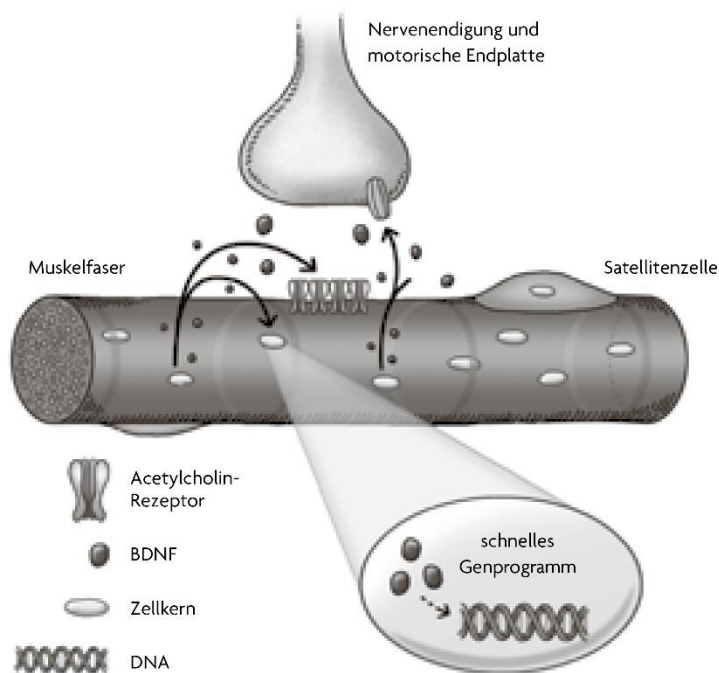


(in Anlehnung an Pedersen 2009)

Wie die Abbildung zeigt, werden durch die Muskelaktivität Myokine in den Blutkreislauf ausgeschüttet. Dabei produzieren beide Muskelfasertypen, Typ I und Typ II, das Myokin IL-6. Es übt zunächst lokal seinen Effekt in der Muskulatur durch Aktivierung von AMPK (siehe Seite 50) aus und wirkt dann nach Überführung in den Blutkreislauf »hormonähnlich« an den verschiedenen Organen. Speziell in der Muskulatur agiert IL-6 in autokriner oder parakriner Form und aktiviert die AMP-Kinase sowie die Glukoseaufnahme und die Fettoxidation. IL-6 kurbelt aber gleichzeitig auch die Glukoseproduktion in der Leber und die Lipolyse im Fettgewebe während der körperlichen Aktivität an.

[95] BDNF – lässt schnelle, kräftige Muskelfasern wachsen

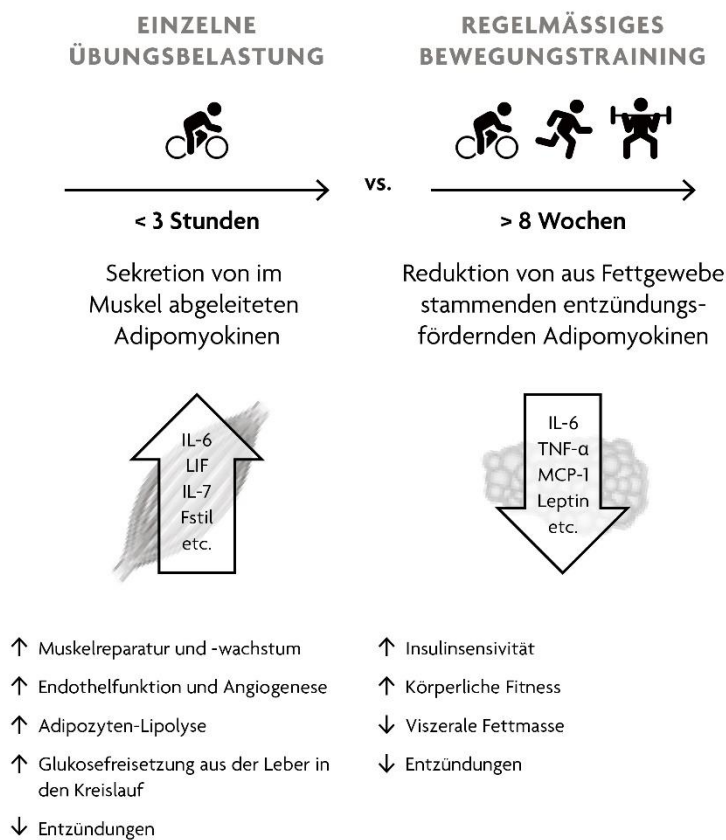
**Wie die Signalübertragung von BDNF neurophysiologische Prozesse beeinflusst (modifiziert nach Universität Basel 2019).**



Wie die Signalübertragung von BDNF neurophysiologische Prozesse beeinflusst (modifiziert nach Universität Basel 2019).

[97] Follistatin – der Bodybuilder

**Effekte von akutem und langfristigem Training (modifiziert nach Prof. Jürgen Eckel 2018)**



**Effekte von akutem und langfristigem Training**  
(modifiziert nach Prof. Jürgen Eckel 2018)

[98] Die Apotheke des aktiven Muskels

**Übersicht über ausgewählte Myokine und ihre Wirkungen**

Wirkungsort	Myokin	Wirkung
Bauchspeicheldrüse	IL-6	Förderung der GLP-1-Sekretion
Blutkreislauf	IL-8	Ausschüttung von VEGF und dadurch Förderung der Bildung von Blutgefäßen und bessere Kapillarisation in den Muskeln
Brustdrüse	OSM	Hemmung des Wachstums von Mammakarzinomzellen
Fettgewebe, braun	IL-15	Förderung der Thermogenese und Fettoxidation
Fettgewebe, weiß	IL-6	Förderung der Lipolyse
Fettgewebe, weiß	FGF 21	Verbesserung der Glukoseaufnahme
Fettgewebe, weiß	Irisin, BAIBA, Metrnl	Steigerung der Thermogenese und Umwandlung des weißen und braunen Fettgewebes
Gastrointestinaltrakt	IL-6	Förderung der GLP-1-Sekretion
Gastrointestinaltrakt	SPARC	Hemmung einer Tumorentwicklung
Gehirn	Irisin	BDNF – Expression für Gedächtnis und Lernprozesse
Herzmuskel	Myonectin	reduziert die Gefahr von Muskelschädigung
Herzmuskel	FSTL-1	herzschützender Effekt
Knochen	CNTF	Hemmung der Osteoblasten (abbauende Knochenzellen) und damit Stärkung der Knochensubstanz
Knochen und Knorpel	FNDC5	fördert den Knochen- und Knorpelstoffwechsel
Wirkungsort	Myokin	Wirkung
Leber	Myonectin	reduziert Überlastung durch Fettspeicherung
Leber	IL-13	Schonung der Leber bei der Glukosebereitstellung und Verbesserung der Glukoseaufnahme
Metabolismus	FGF 21	Insulinregulierung, fördert Fettoxidation
Skelettmuskeln	FSTL-1	fördert Muskelwachstum
Skelettmuskeln	MSTN	Hemmung der negativen Einflüsse auf die Muskelmasse
Skelettmuskeln	IL-6	verbesserte Glukoseaufnahme und Fettoxidation
Skelettmuskeln	IL-8	fördert die Entstehung von neuen Blutgefäßen in den Muskeln der Muskulatur
Skelettmuskeln	IL-13	verbessert den Glukosestoffwechsel
Skelettmuskeln	IL-15	Aufbau von Muskelmasse (Hypertrophie)
Skelettmuskeln	BDNF	Verbesserung der Beta-Oxidation
Skelettmuskeln	Irisin	Optimierung der Energieausbeutung und des desoxidativen Stoffwechsels
Skelettmuskeln	ANGPTL 4	verhindert lokale Überfettung und beschleunigt den Fetttransport in die Muskelzelle

Legende: ANGPTL4 = Angiotensin-related protein 4; BAIBA = Beta-Aminoisobutyric acid; BDNF = Brain-derived neurotrophic factor; CNTF = Ciliary neurotrophic factor; FNDC 5 = Fibronectin Type III Domain-containing protein 5 (Vorstufe des Irisin); GLP-1 = Glukagon-like-Peptide 1; Metrnl = Meteorin-Like; MSTN = Myostatin; OSM = Oncostatin-M; SPARC = Secreted protein acidic and rich in cysteine; VEGF = Vascular endothelial growth factor;

Quelle: in Anlehnung an Dr. Beate Zunner 2019 und Dr. Jürgen Eckel 2018

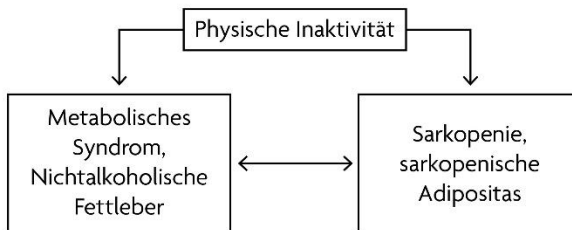


## [99] Muskeln schützen vielseitig

[110] Übergewicht und Adipositas – da helfen nur „dicke“ Muskeln

[111] Veränderungen durch Adipositas

### Auswirkungen von körperlicher Inaktivität auf den Metabolismus und die Muskulatur

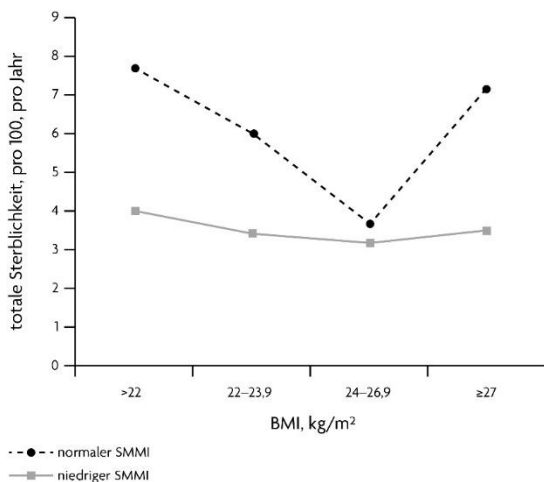


Möglicher zugrunde liegender Mechanismus:

- Insulinresistenz (verringertes IGF 1 etc.)
- Chronische Entzündung (erhöhtes IL-6 oder TNF- $\alpha$  etc.)
- Fettgewebe (mit erhöhter weißer Fettzellenmasse und verringerter brauner Fettzellenmasse)
- Vitamin-D-Mangel (Aktivierung von Transkriptionsfaktoren, die mit der Lipogenese verbunden sind)

## [112] Adipositas messen

### Zusammenhang zwischen BMI, Muskelmasse (SMMI) und Mortalität (modifiziert nach S-Y Chuang 2014)

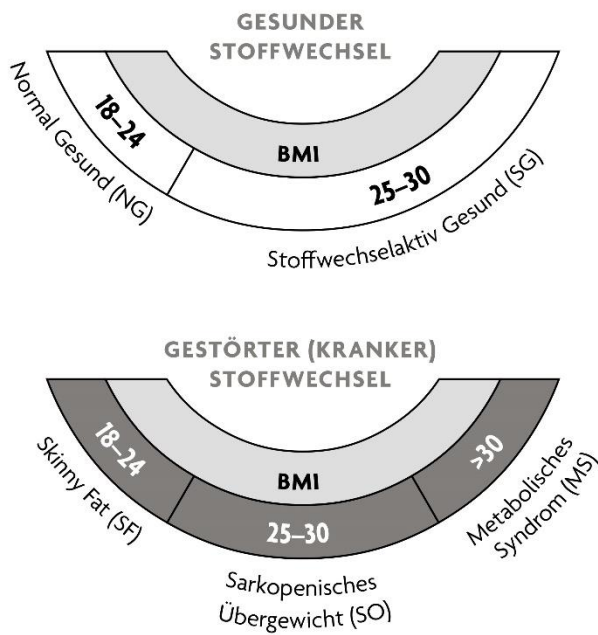


Zusammenhang zwischen BMI, Muskelmasse (SMMI) und Mortalität (modifiziert nach S-Y Chuang 2014)

Die Unterschiede der Adipositasphänotypen berücksichtigen

**Stoffwechsel und Übergewicht (BMI)**

---

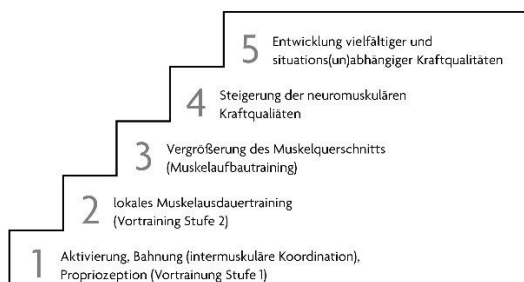


Stoffwechsel und Übergewicht (BMI)

[117] Empfehlungen für das gezielte Krafttraining bei Adipositas

**Das Fünf-Stufen-Modell**

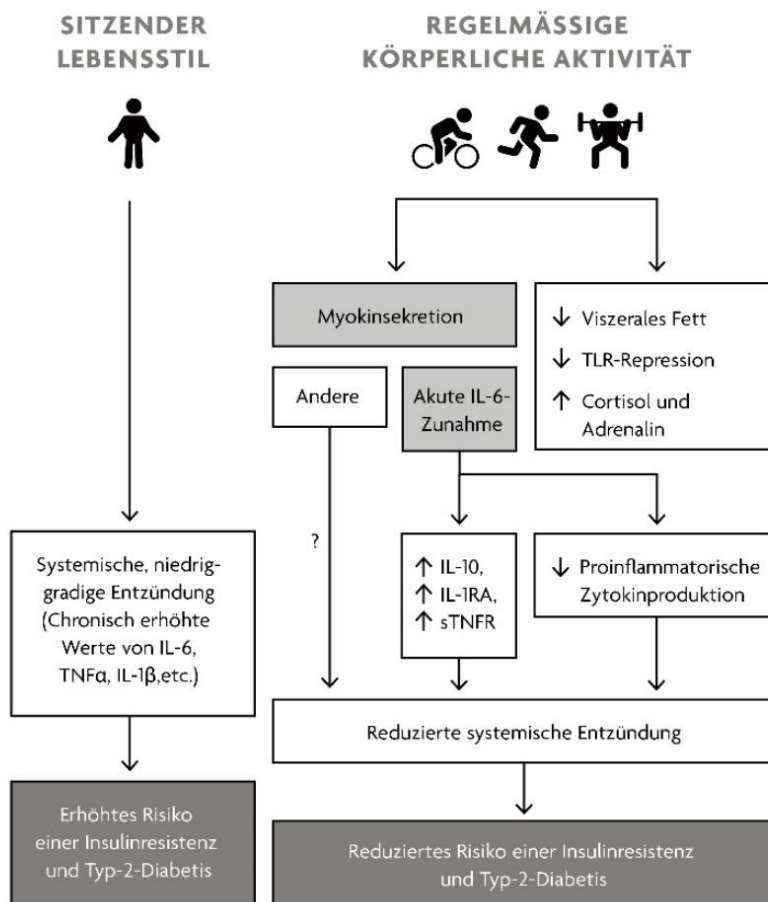
---



Das Fünf-Stufen-Modell

[121] Mit aktiven Muskeln gegen Diabetes Typ 2

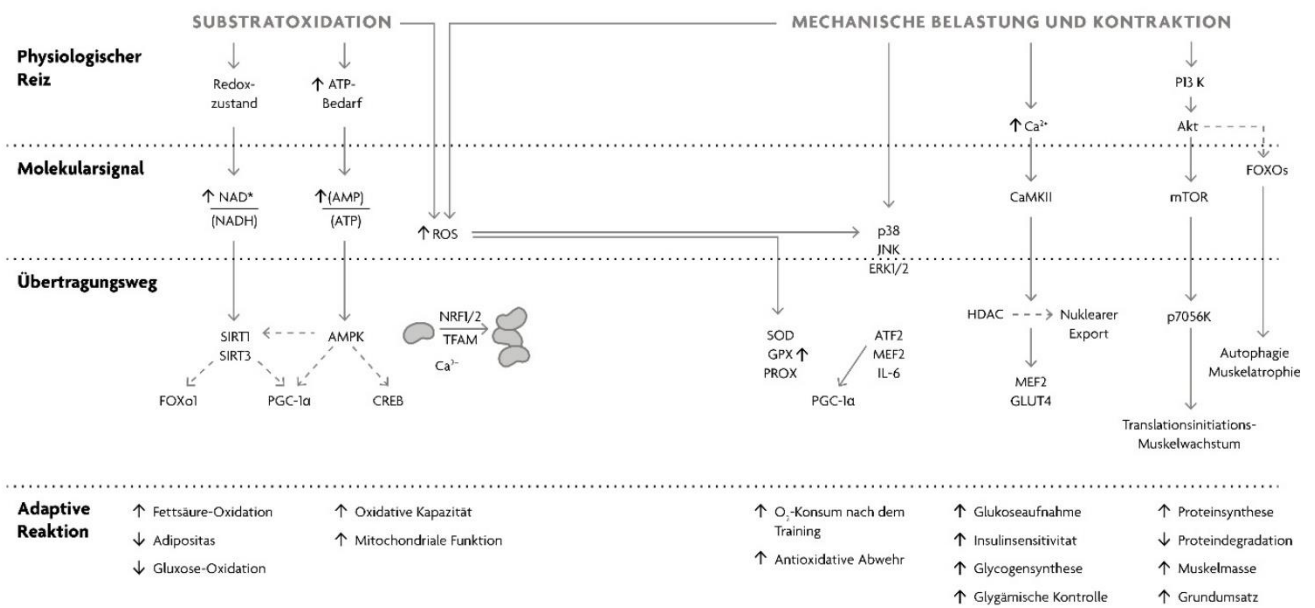
**Einfluss eines passiven oder aktiven Lebensstils auf die Entwicklung von Insulinresistenz und Typ-2-Diabetes (modifiziert nach Prof. Jürgen Eckel 2018)**



**Einfluss eines passiven oder aktiven Lebensstils auf die Entwicklung von Insulinresistenz und Typ-2-Diabetes (modifiziert nach Prof. Jürgen Eckel 2018)**

[123] Mit aktiven Muskeln vorbeugen und behandeln

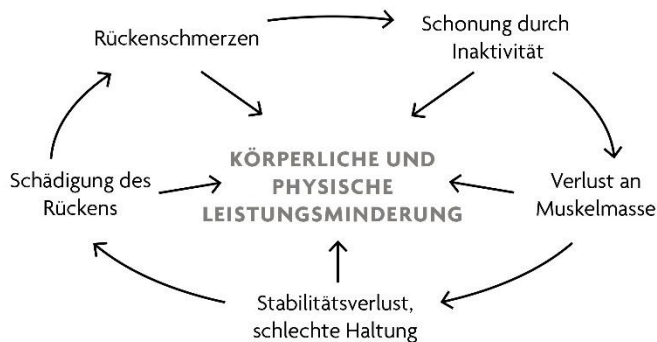
Wirkungen des regelmäßigen Muskeltrainings bei Diabetes Typ 2 (modifiziert nach Dr. Dominik Pesta 2017)



Wirkungen des regelmäßigen Muskeltrainings bei Diabetes Typ 2 (modifiziert nach Dr. Dominik Pesta 2017)

[125] Rückenschmerzen – selbst gemacht und selbst geheilt

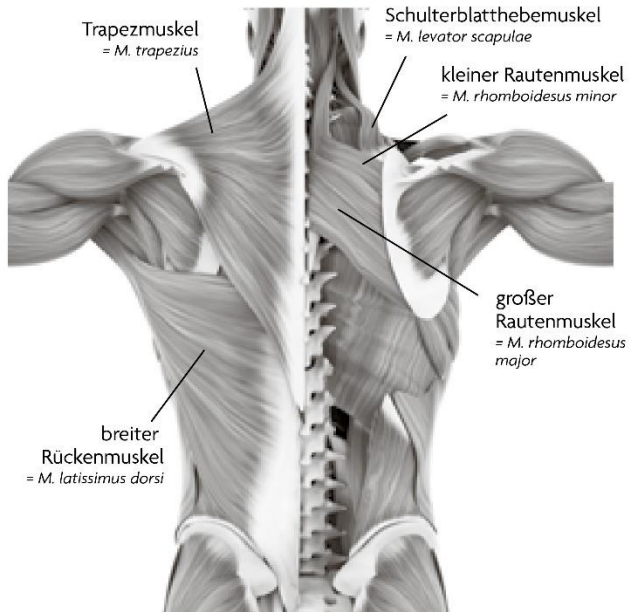
Der Teufelskreis der Schonung



Der Teufelskreis der Schonung

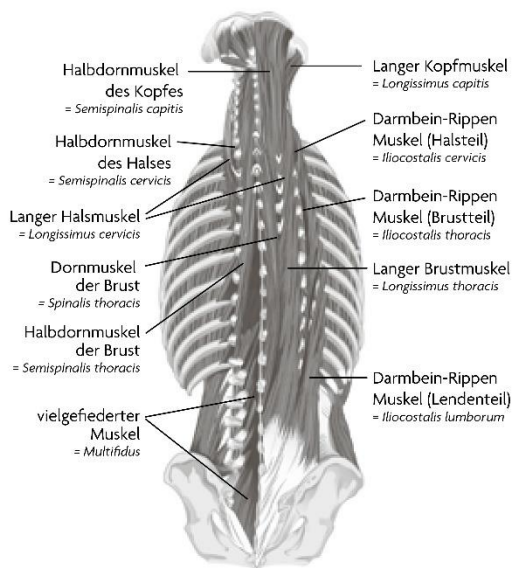
## Der Schlüssel für den gesunden Rücken – die Muskulatur mit ihren drei Schichten

### Tiefe und mittlere Schicht der Rückenmuskeln



Tiefe und mittlere Schicht der Rückenmuskeln

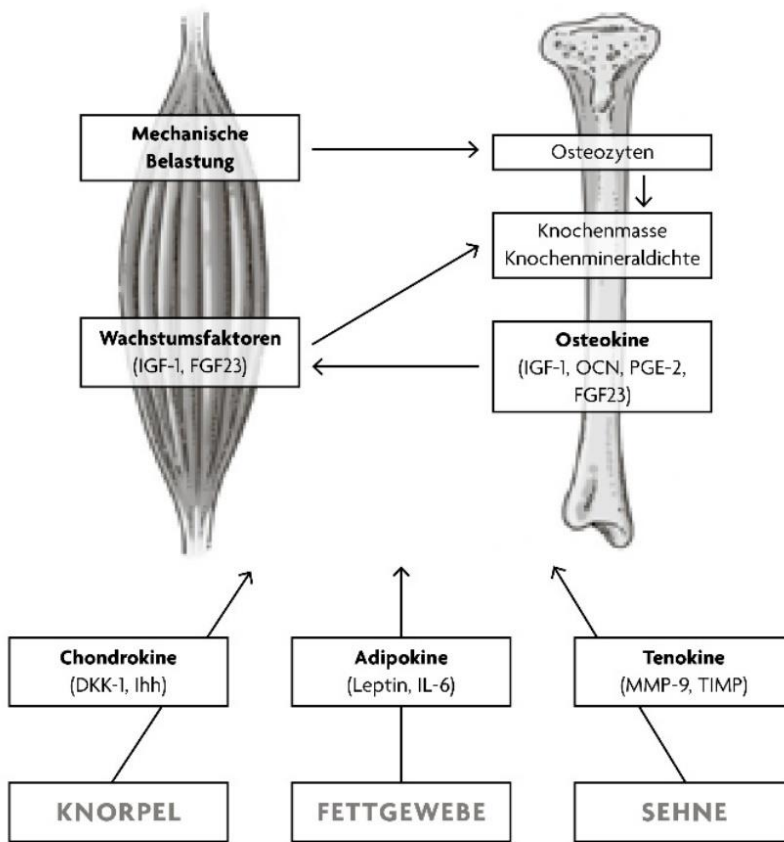
### Oberflächliche Rückenmuskeln



Oberflächliche Rückenmuskeln

[137] Die Muskel-Knochen-Connection – gegen den Knochenschwund

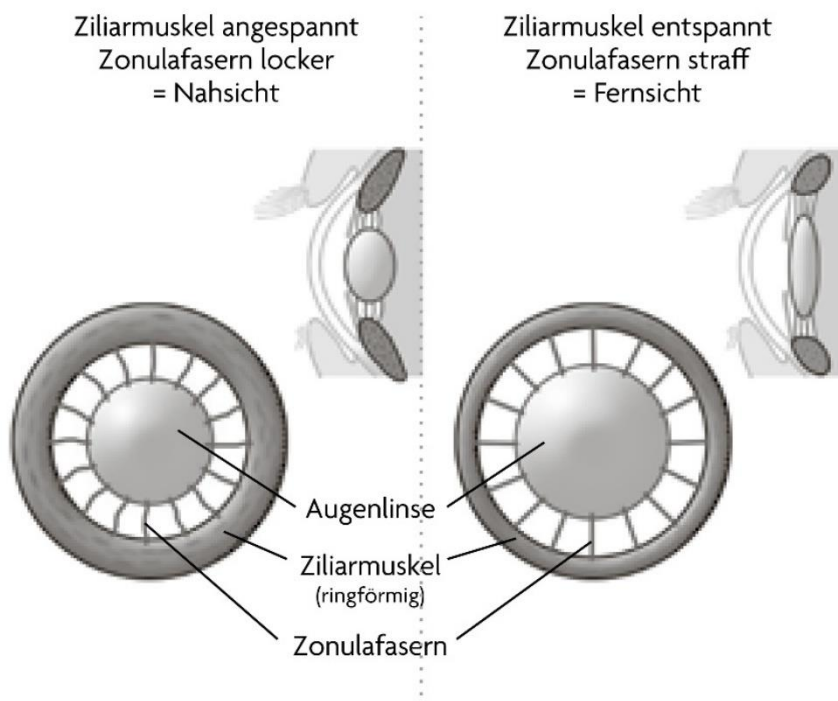
**Die Muskel-Skelett-Einheit**



Die Muskel-Skelett-Einheit

[138] Alterssichtigkeit – mit Augentraining das Sehen erhalten

**Akkommodation ist die Fähigkeit des Auges, die Sehschärfe aktiv an verschiedene Entfernungen anzupassen.**



Akkommodation ist die Fähigkeit des Auges, die Sehschärfe aktiv an verschiedene Entfernungen anzupassen.

## Literaturverzeichnis

- Afonso, J., Olivares-Jabalera, J., Andrade, R. (2021). Time to Move From Mandatory Stretching? We Need to Differentiate »Can I?« From »Do I have to?«. In: *Frontiers in Physiology* 2021; 12: 714166. DOI: 10.2289/fphys.2021.714166.
- Barrès, R. Exercise improves health through changes on DNA. <https://cbmr.ku.dk/news/2020/exercise-improves-health-through-changes-on-dna/> (05. 08. 2021).
- Bartels, R., Bartels, H., Jürgens, K. D. (2004). *Physiologie: Lehrbuch der Funktionen des menschlichen Körpers*. Amsterdam, Niederlande: Elsevier Verlag.
- Bennie, J. A., De Cocker, K., Smith J. J., Wiesner, G. H. (2020). The epidemiology of muscle-strengthening exercise in Europe: A 28-country comparison including 280.605 adults. In: *PLoS ONE* 2020; 15(11): e0242220. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242220>.
- Bloch, W. Immunsystem und Sport – eine wechselhafte Beziehung. <https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/immunsystem-und-sport-eine-wechselhafte-beziehung/> (01. 04. 2021).
- Bredenkamp, A., Hamm, M. (2019). *Erfolgreich Trainieren: Im Fitness-Studio*. Rödinghausen, Deutschland: Fitness Contur Verlag.
- Cannon, W. B. (1963). *The Wisdom of the Body*. New York City, New York, Vereinigte Staaten: W. W. Norton & Company.
- Careau, V., Halsey, L. G., Pontzer, H., Wong, W. W., Yamada, Y., Speakman, J. R. (2021). Energy compensation and adiposity in humans. In: *Current Biology* 2021; 31, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.08.016>.
- Chaffer, T. J., Cefis, M., Leduc-Gaudet, J.-P. (2022). Circadian control of skeletal muscle adaptations to exercise. In: *The Journal of Physiology* 2022; 600(4), S. 723–724. DOI: 10.1113/JP282134.
- Conger, S. A., Toth, L. P., Cretsingher, C., Raustorp, A., Mitás, J., Inoue, S., Bassett, D. R. (2021). Time Trends in Physical Activity Using Wearable Devices: A Systematic Review and Meta-analysis of Studies from 1995 to 2017. In: *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2021. DOI: 10.1249/MSS.0000000000002794.
- Consensus Document EAPC & ESC 2021
- De Stefano, R. (2009). *Muscle Medicine: The Revolutionary Approach to Maintaining, Strengthening, and Repairing Your Muscles and Joints*. New York City, New York, Vereinigte Staaten: Atria Publishing Group.
- Delgado, J. Stress-induced muscle tension: Symptoms and practical solutions. <https://psychology-spot.com/stress-induced-muscle-tension-symptoms-and-practical-solutions/> (09. 02. 22).
- Donner, S. Die Macht der Mitochondrien. <https://www.sueddeutsche.de/wissen/mitochondrien-zelle-long-covid-ernaehrung-1.5375639?reduced=true> (09. 08. 2021).
- Dorrel, H. F., Smith, M. F., Thomas, I. (2020). Comparison of Velocity-based and Traditional Percentage-Based Loading Methods on Maximal Strength and Power Adaptions. In: *Journal of Strength and Conditioning Research* 2020; Volume 34 (1), p 46–53.
- Eckel, J. (2018). *The Cellular Secretome and Organ Crosstalk*. Cambridge, Massachusetts, Vereinigte Staaten: Academic Press.
- Faber, A. Mittel gegen Muskelschwund: Winterschlaf von Grizzlybären könnte Antworten geben. <https://www.mdr.de/wissen/mittel-gegen-muskelschwund-winterschlaf-von-grizzlybaeren-koennte-antworten-geben100.html> (18. 10. 2021).
- Gäbler, R. Transferfaktoren: Wunderwaffe des Immunsystems? <https://factorestransferencia.com/transferfaktoren-wunderwaffe-immunsystems/> (02. 08. 2021).



- Gaesser, G. A., Angadi, S. S. (2021). Obesity treatment: Weight loss versus increasing fitness and physical activity for reducing health risks. In: *iScience* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102995>.
- Gehlert, S. Jacko, D. (2019). The Role of the Immune System in Response to Muscle Damage. In: *German Journal of Sports Medicine* 2019; Vol. 70: 242–249. DOI: 10.5960/dzsm.2019.390.
- Hollstein, T. Sport als Prävention: Fakten und Zahlen für das individuelle Maß an Bewegung. <https://www.aerzteblatt.de/archiv/209444/Sport-als-Praevention-Fakten-und-Zahlen-fuer-das-individuelle-Mass-an-Bewegung> (15. 04. 20).
- Hutterer, C. Definierte Muskeln: Zur Bedeutung von Krafttraining für die Gesundheit. <https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/definierte-muskeln-zur-bedeutung-von-krafttraining-fuer-die-gesundheit/> (02. 06. 2021).
- Hutterer, C. Sarkopenie: Bewegung und proteinreiche Ernährung helfen. <https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/sarkopenie-bewegung-und-proteinreiche-ernaehrung-helfen/> (12. 02. 2021).
- Klinke R., Pape, H.-C., Silbernagl, S. (2005). *Lehrbuch der Physiologie*. Stuttgart, Deutschland: Thieme Verlag.
- Kura, L. (2021). Nonresponder, Low responder, Hardgainer. Was tun, wenn der Trainingseffekt ausbleibt? In: *Dossier der Sportmedizin* 2021; Jhg. 72, Ausg. 6, S. 261–63.
- Kura, L. Hypertonie: Welcher Sport senkt den Blutdruck am wirkungsvollsten? <https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/hypertonie-welcher-sport-senkt-den-blutdruck-am-wirkungsvollsten/> (01. 12. 2021).
- Kwon, Y., Jeong, S. J. (2020). Relative Skeletal Muscle Mass is an Important Factor in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease in Non-Obese Children and Adolescents. In: *Journal of Medicine* 2020; 9, 3355. DOI: 10.3390/jcm9103355.
- Larsson, L. Degens, H., Li, M., Salviati, L., il Lee, Y., Thompson, W., Kirkland, J. L., Sandri, M. (2017). Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. In: *Physiological Reviews* 2019; 99(1): 427–577. DOI: 10.1152/physrev.00061.2017.
- Martorelli, S., Cadore, E. L., Izquierdo, M., Celes, R., Martorelli, A., Cleto, V. A., Alvarenga, J. G., Bottaro, M. (2017). Strength training with repetitions to failure does not provide additional strength and muscle hypertrophy gains in young women. In: *European Journal of Translational Myologie* 2017; 27 (2): 113–120. <https://doi.org/10.4081/ejtm.2017.6339>.
- McKendry, J., Currier, B. S., Lim, C., Mcleod, J. C., Thomas, A. C. Q., Phillips, S. M. (2020). Nutritional Supplements to Support Resistance Exercise in Countering the Sarcopenia of Aging. In: *Nutrients* 2020; 12, 2057. DOI: 10.3390/nu12072057.
- MEDMIX Online-Redaktion. <https://www.medmix.at/sarkopenie-erkennen-behandeln/?cn-reloaded=1> (24. 02. 2021).
- Mende, N. (2021). *Praktische funktionelle Anatomie: Kompetenz im Gesundheitssport*. München, Deutschland: Riva Verlag.
- Müller-Wohlfahrt, H.-W. Update Muskelverletzungen. <https://sportaerztezeitung.com/rubriken/therapie/9702/update-muskelverletzungen/> (29. 09. 2021).
- Müller-Wohlfahrt, H.-W., Ueblacker, P., Hänsel, L. (2018). *Muskelverletzungen im Sport*. Stuttgart, Deutschland: Thieme Verlag.
- Myers, T. (2015). *Anatomy Trains: Myofasziale Leitbahnen*. München, Deutschland: Urban & Fischer Verlag.
- Nader, G. A., von Walden, F., Liu, C., Lindvall, J., Gutmann, L., Pistilli, E. E., Gordon, P. M. (2014). Resistance exercise training modulates acute gene expression during human skeletal muscle hypertrophy. In: *Journal of Applied Physiology* 2014; 15;116(6):693–702. DOI: 10.1152/jappphysiol.01366.2013.

- Palmowski, J., Boßlau, T. K., Ryl, L., Krüger, K., Reichel, T. (2019). Managing Immune Health in Sports – A Practical Guide for Athletes and Coaches. In: *German Journal of Sports Medicine* 2019; Vol. 70: 219–226. DOI: 10.5960/dzsm.2019.389.
- Pangrazzi, L., Naismith, E., Miggitsch, C., Carmona Arana, J. A., Keller, M., Grubeck-Loebenstien, B., Weinberger, B. (2020). The impact of body mass index on adaptive immune cells in the human bone marrow. In: *Immunity & Ageing* 2020; 17:15. <https://doi.org/10.1186/s12979-020-00186-w>.
- Pesta, D. H., Goncalves, R. L. S., Madiraju, A. K., Strasser, B., Sparks, L. M. (2017). Resistance training to improve type 2 diabetes: working toward a prescription for the future. In: *Nutrition & Metabolism* 2017; 14:24. DOI: 10.1186/s12986-017-0173-7.
- Pinho, R. A., Aguiar Jr., A. S., Radák, Z. (2019). Effects of Resistance Exercise on Cerebral Redox Regulation and Cognition: An Interplay Between Muscle and Brain. In: *Antioxidants* 2019; 8, 529. DOI: 10.3390/antiox8110529.
- Podbregar, N. Vier Lebensphasen des Kalorienverbrauchs. <https://www.scinexx.de/news/medizin/vier-lebensphasen-des-kalorienverbrauchs/> (23. 08. 2021).
- Quinlan, J. I. et. al. (2021). Muscle and tendon adaptations to moderate load eccentric vs. concentric resistance exercise in young and older males. In: *GeroScience* 2021; 43(4): 1567–584. DOI: 10.1007/s11357-021-00396-0.
- Rommelfanger, J. Viel Bewegung hilft viel, mehr hilft noch mehr – kein Limit nach oben für kardiovaskulären Benefit? <https://deutsch.medscape.com/artikelansicht/4909703> (02. 08. 2021).
- Speckmann, E., Hescheler, J., Köhling, R. (2019). *Physiologie*. Amsterdam, Niederlande: Elsevier Verlag.
- Stecco, C. (2016). *Atlas des menschlichen Faszien-systems*. München, Deutschland: Urban & Fischer Verlag.
- Talar, K., Hernández-Belmonte, A., Vetrovsky, T., Steffl, M., Kalamacka, E., Courel-Ibáñez, J. (2021). Benefits of Resistance Training in Early and Late Sages of Frailty and Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies. In: *Journal of Clinical Medicine* 2021 10, 1630. <https://doi.org/10.3390/jcm10081630>.
- Tavoian, D., Russ, D. W., Consitt, L. A., Clark, B. C. (2020). Perspective: Pragmatic Exercise Recommendations for Older Adults: The Case for Emphasizing Resistance Training. In: *Frontiers in Physiology* 2020; 11: 799. DOI: 10.3389/fphys.2020.00799.
- Toigo, M. (2019). *MuskelRevolution: Konzepte und Rezepte zum Muskel- und Kraftaufbau*. Heidelberg, Deutschland: Springer-Verlag.
- Van den Berg, F. (1999). *Angewandte Physiologie: Band 1: Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*. Stuttgart, Deutschland: Thieme Verlag.
- Vieweg, M. Warum bringt Krafttraining keine Ausdauer? <https://www.wissenschaft.de/gesundheit-medicin/warum-bringt-krafttraining-keine-ausdauer/> (15. 10. 2021).
- Vogel, S. (2001). *Prime Mover: A Natural History of Muscle*. New York City, New York, Vereinigte Staaten: W. W. Norton & Company.
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J. (2021). Personalized, Evidence-Informed Training Plans and Exercise Prescriptions for Performance, Fitness and Health. In: *Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01495-w>.
- Wirth, K. (2007). *Trainingshäufigkeit bei Hypertrophietraining*. Hellenthal: Sportverlag Strauß.
- Wirth, K., Atzor, K. R., Schmidtbleicher, D. (2007). Veränderungen der Muskelmasse in Abhängigkeit von Trainingshäufigkeit und Leistungsniveau. In: *Deutsche Zeitung für Sportmedizin* 2007.
- Yaribeygi, H., Ranahi, Y., Sahraei, H., Johnston, T. P., Sahebkar, A. (2017). The impact of stress on body function: A review. In: *Excli Journal* 2017; 16: 1057-1072. DOI: 10.17179/excli2017-480.

## **Impressum**

© Ullstein Buchverlage GmbH, Berlin 2023

Illustrationen: Axel Raidt

Bildnachweise: Adobe.com; Kim SeungJun

from Noun Project,

Mitarbeit am Text: Ulrike Schöber, Dortmund

Redaktion: Vera Baschlaw

© + © Hörbuch Hamburg HHV, Hamburg 2023

Grafik Cover: *geniale dilettanten*, Andrea Vagelpohl, Hamburg, nach der Umschlaggestaltung der

Buchausgabe von *zero-media.net*, München

Aufnahme, Schnitt & Mastering: *tonAtelier* Frankfurt a. M., Februar 2023