

Muskelsteuerung

Prinzip der biologischen Erregung

Um den Muskel zur Kontraktion zu veranlassen, bedarf es eines schnellen **Informationssystems**. Die der Information zugrunde liegenden Signale werden mit Hilfe des Prinzips der biologischen **Erregung** über Nervenzellen (Neurone) geleitet. Erregung kann zustande kommen dadurch, dass der Organismus äussere Reize, die meist physikalischer oder chemischer Natur sind, mit Hilfe von **Rezeptorzellen** in Erregung umwandelt. Sie kann aber auch spontan innerhalb des Organismus entstehen.

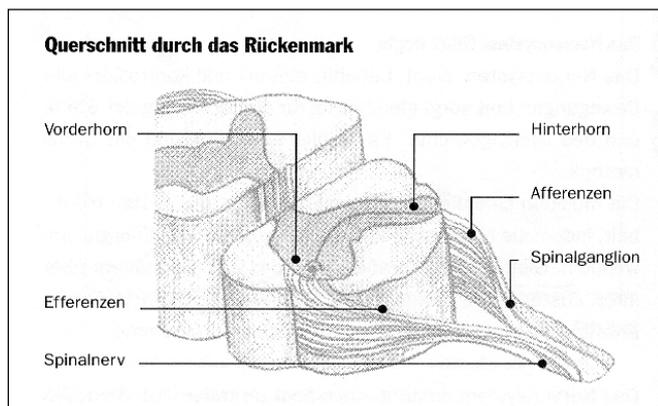
Die Muskelkontraktion wird zwar letztlich über motorische Nervenzellen übertragen, jedoch findet eine intensive Erfolgskontrolle über zahlreiche sensorische Rezeptoren (Muskelspindel- und Sehnenrezeptoren) statt. Für das Verständnis der nervösen Steuerung der Muskulatur ist es hilfreich, über die Bauelemente der Informationsübertragung Bescheid zu wissen.

Das Nervensystem

Die Gesamtheit der Nervengewebe des Menschen wird als **Nervensystem** bezeichnet. Das Nervensystem dient der Erfassung, Auswertung, Speicherung und Aussendung von Informationen. In Zusammenarbeit

mit dem Hormonsystem werden dadurch die Leistungen aller Organsysteme geregelt und der Gesamtorganismus den sich ständig ändernden Anforderungen der Außenwelt angepasst.

Mit spezialisierten Messfühlern (**Rezeptoren**) nimmt das Nervensystem Veränderungen im Bereich des Körpers und der Außenwelt wahr; es übermittelt sie über **afferente** (hinführende) **Nervenfasern** an übergeordnete Zentren, verarbeitet sie dort und antwortet über **efferente** (wegführende) **Nervenfasern** mit entsprechenden Reaktionen.



Aufgrund seines Aufbaus wird das Nervensystem in ein **zentrales** und ein **peripheres Nervensystem** unterteilt. Zum zentralen Nervensystem (**ZNS**) gehören die übergeordneten Zentren **Gehirn** und **Rückenmark**, zum peripheren Nervensystem alle außerhalb dieser zwei Zentren liegenden Nervenzellen und Nervenbahnen. Diese verbinden die Peripherie mit dem zentralen Nervensystem.

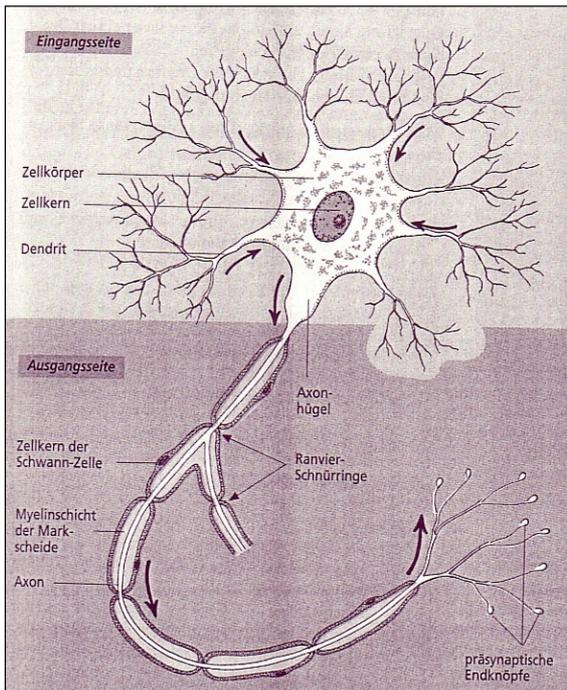
zentrales Nervensystem (ZNS)
Gehirn und Rückenmark

Peripheres Nervensystem
Spinalnerven und alle weiteren außerhalb davon liegenden Nervenzellen und Nervenbahnen

Nach der Funktion und der Art der Steuerung unterscheidet man ausserdem das **willkürliche** (somatische) **Nervensystem**, das alle dem Bewusstsein und dem Willen unterworfenen Vorgänge (z.B. die Bewegung von Muskeln) steuert, und das **vegetative** (autonome) **Nervensystem**, welches hauptsächlich die Funktionen der inneren Organe steuert. Es ist durch den Willen nur wenig beeinflussbar.

Strukturelemente des Nervengewebes
Nervenzelle (Neuronen)
Gliazellen (Stützzellen)

Das Nervengewebe besteht aus zwei unterschiedlicher Zelltypen, den **Nervenzellen** (Neuronen) und den **Gliazellen** (Stützzellen). Die Nervenzellen sind hoch spezialisierte Zellen, die zur Erregungsbildung und Erregungsleitung fähig sind, jedoch andere, einfachere Fähigkeiten verloren haben. So können sie sich weder selbst stützen noch ausreichend ernähren. Diese und andere Funktionen übernehmen die Gliazellen.



Die obere, hellgrau unterlegte Bildhälfte stellt die "Eingangseite" des Neurons dar, wo Informationen aufgenommen werden; die untere, dunkelgrau hinterlegte Bildhälfte die "Ausgangsseite", die Informationen fortleitet - zu anderen Nerven- oder zu Muskelzellen

Aufbau der Nervenzelle

Ein **Neuron** - 100 Milliarden davon enthält allein das Gehirn - besteht aus einem **Zellkörper** und **Zellfortsätzen**.

Zum Zellkörper gehören der **Zellkern** und das **Zytoplasma** mit den **Zellorganellen**. Hier finden die Eiweiss-Synthese und der gesamte Zellstoffwechsel statt. Die für eine Zellteilung erforderlichen Zellorganellen finden sich in der Nervenzelle jedoch meist nur während der Entwicklungszeit des Nervensystems vor und kurze Zeit nach der Geburt. Daher können Nervenzellen, die zu einem späteren Zeitpunkt zugrunde gehen, nicht ersetzt werden.

Die Fortsätze der Nervenzellen heißen **Dendriten** und **Axone** (Neuriten).

Dendriten sind kurze, baumartig verzweigte Ausstülpungen des Zytoplasmas. Sie sind **zuführende Fortsätze**, d.h. sie nehmen Erregungsimpulse aus benachbarten Zellen auf und leiten sie weiter zum Zellkörper.

Axone sind längliche Ausstülpungen des Zytoplasmas. Sie entspringen am Axonhügel, der Verbindungsstelle zum Zellkörper, ziehen dann als dünne kabelartige Fortsätze weiter und teilen sich am

Ende in viele Endverzweigungen auf. Als **wegführende Fortsätze** leiten sie elektrische Impulse zu anderen Nervenzellen oder Muskelzellen weiter. Die Länge von Axonen variiert von wenigen Millimetern (z.B. innerhalb des ZNS) bis zu über einem Meter (z.B. vom Rückenmark zum Fuß). Die meisten Nervenzellen haben mehrere Dendriten, aber nur ein Axon.

Bei den peripheren Nerven wird jedes Axon schlauchartig von speziellen Gliazellen, den **Schwann-Zellen**, umhüllt und damit zusammen als **Nervenfaser** bezeichnet. Bei einigen Nervenfaseren wickelt sich die Schwann-Zelle mehrfach um das Axon herum und bildet eine dickere Hülle aus **Myelin**. Diese schützende Myelin-Ummantelung wird **Markscheide** (Myelinscheide) genannt. Im Querschnitt ähnelt eine solche Nervenfaser einem Draht, der von einer Isolierung umgeben ist. Durch diese elektrische Isolierung erhöht sich die Übertragungsgeschwindigkeit für ausgehende Nervensignale: Die Markscheide der markhaltigen Fasern ist in Abständen von 1-3mm durch Einschnürungen unterbrochen, die man als **Ranvier-Schnürringe** bezeichnet. Die Erregungsausbreitung erfolgt „**saltatorisch**“. Sie wird in den Ranvier-Schnürringen verstärkt und springt dabei von Schnürring zu Schnürring.

Die Axone übertragen ihre Impulse meist auf die Dendriten des nächsten Neurons. Dies geschieht über unzählige **Synapsen**, welche die wichtigsten Schaltstellen für die Kommunikation zwischen den Neuronen darstellen. Die Axonenden sind vielfach verzweigt und an jeder Schaltstelle knopfförmig zu **präsynaptischen Endknöpfen** aufgetrieben. Diese enthalten Bläschen (**synaptische Vesikel**), in denen die Überträgerstoffe für die synaptische Übermittlung, die **Neurotransmitter**, gespeichert werden.

markhaltige Nervenfaser
dicke Myelinschicht und damit hohe Leitungsgeschwindigkeit

marklose Nervenfaser
dünne Myelinschicht und damit geringe Leitungsgeschwindigkeit.

Multiplen Sklerose
Zerstörung der Markscheiden im ZNS
die Erregungsleitung wird gestört
Lähmungen und Sensibilitätsstörungen sind die Folge.

**Dendriten =
"Eingangsseite"**
Neuron-Abschnitt, der
Signale empfängt

**Axon mit seinen End-
knöpfen =
"Ausgangsseite"**
Neuron-Abschnitt, der
überwiegend Signale an
andere Zellen weitergibt

Nervenfasern und Nerven

Ein Axon und seine zugehörige Markscheide werden **Nervenfasern** genannt. Wie erwähnt, heißen Nervenfasern, die vom ZNS zur Peripherie ziehen, efferente Nervenfasern. Versorgen diese einen Skelettmuskel, nennt man sie auch **motorische Nervenfasern** (Motoneuron). Umgekehrt heißen zum ZNS ziehende Nervenfasern afferente Fasern. Leiten sie Informationen von Sinneszellen oder -organen, werden sie auch als **sensible** oder **sensorische** Nervenfasern bezeichnet.

Bündel von mehreren parallel verlaufenden Nervenfasern, die gemeinsam in eine Bindegewebshülle eingebettet sind, bilden einen **Nerven**. Ein Nerv kann sich in seinem Verlauf mehrere Male aufteilen oder sich auch mit anderen Nerven vereinigen. Er kann sowohl motorische als auch sensible Fasern enthalten (= gemischte Nerven").

Grundelemente der Informationsverarbeitung

Die Fähigkeit von Neuronen, Informationen in Form von elektrischen Signalen aufzunehmen, zu verarbeiten und weiterzuleiten, beruht auf **elektrischen und biochemischen Vorgängen**:

- An der Membran einer nicht erregten Nervenzelle besteht eine elektrische Spannung, das **Ruhepotential** (Innenseite negativ., Aussenseite positiv).
- Durch **Depolarisation** kann das **Membranpotential** einen kritischen Wert erreichen, der bei Überschreiten eines Schwellenwertes ein **Aktionspotential** auslöst. Während des Aktionspotentials kehren sich die Ladungsverhältnisse um (Innenseite positiv, Aussenseite negativ).
- Das Aktionspotential breitet sich entlang des Axons bis zu den Synapsen aus.
- Das Ruhepotential wird wiederhergestellt durch die **Repolarisation**.
- Während und unmittelbar nach einem Aktionspotential ist ein Neuron nicht erregbar (**Refraktärzeit**).

Ruhepotential
-80 bis -90 mV
handelsübliche Batterie =
1500 mV = 1,5 V
(mV=Millivolt)

Die am Axon elektrisch
fortgeleitete Erregung
wird an der Synapse
chemisch übertragen.

An der Membran des
nachgeschalteten Neu-
rons werden die einge-
gangenen Informationen
dann als Aktionspotential
wieder elektrisch
weitergeleitet.

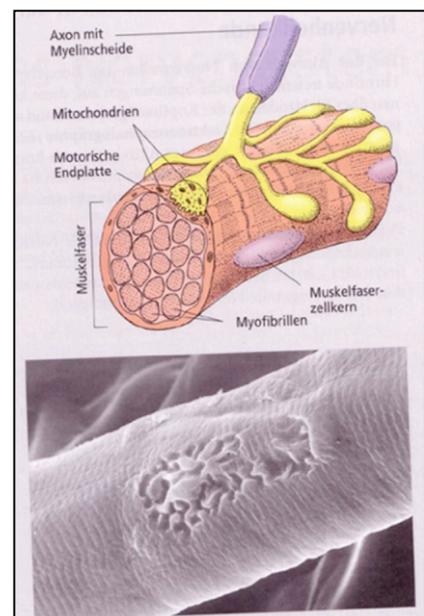
Informationen werden entlang des Axons in Form der Aktionspotentiale fortgeleitet. Diese müssen jedoch nicht nur innerhalb einer einzelnen Nervenzelle weitergegeben werden, sondern es muss auch eine **Übermittlung an andere Zellen** stattfinden. Dies geschieht an den **Synapsen**. Synapsen verbinden Nervenzellen miteinander (in der Regel das Axon einer Nervenzelle mit dem Dendriten einer anderen Zelle), aber auch Nervenzellen mit Muskel- oder Drüsenzellen.

Die synaptische Verbindung zwischen einem Axon und einer Muskelzelle wird **motorische Endplatte** genannt, die normalerweise in der Mitte der Faser angeordnet ist.

Die motorische Endplatte

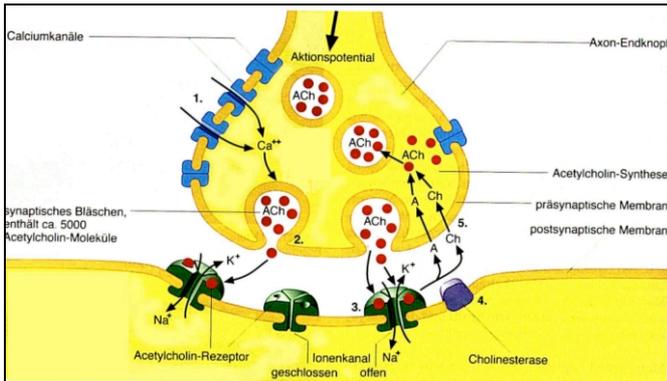
Oben: Ein motorischer Nerv verzweigt sich in mehrere synaptische Endknöpfe, die mit einer Muskelfaser eine motorische Endplatte bilden.

Unten: Motorische Endplatte im Rasterelektronenmikroskop.



Die Erregung der Muskelfaser

Damit sich ein Skelettmuskel kontrahiert, muss er von einer Nervenzelle (Neuron) einen Reiz erhalten. Dieses **Motoneuron** nähert sich - meist vom Rückenmark kommend - in Form seines Ausläufers (Axon) dem **Sarkolemm**, ohne dieses jedoch zu berühren. Das Sarkolemm ist eine **semi-permeable** Membran, die nicht für alle Ionen gleich durchlässig ist. Die Erregungsübertragung von Motoneuron zur Muskelfaser findet an der **motorischen Endplatte** statt (s. Abb. oben). Dort befinden sich Sekretbläschen, **synaptische Vesikel** genannt, die einen chemischen Überträgerstoff, den **Neurotransmitter Azetylcholin** enthalten.



Kommt eine Nervenenerregung am Axonende an, dringen **Calciumionen** aus der Umgebung der motorischen Endplatte in das Axon ein und bewirken die Ausschüttung von **Azetylcholin** in den **synaptischen Spalt**, den Zwischenraum zwischen Motoneuron und Sarkolemm. Am Sarkolemm vereinigen sich die Azetylcholinmoleküle mit Rezeptoren. Dadurch verändert sich die Durchlässigkeit des Sarkolemm für **Natrium- und Kaliumionen**.

Es kommt zu einer **Depolarisation** der Membran und eine Erregung wird ausgelöst, welche als Erregungswelle (**Aktionspotential**) mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m/s durch das **T-System** auf die Myofibrillen in das Innere der Skelettmuskelfaser weitergeleitet wird.

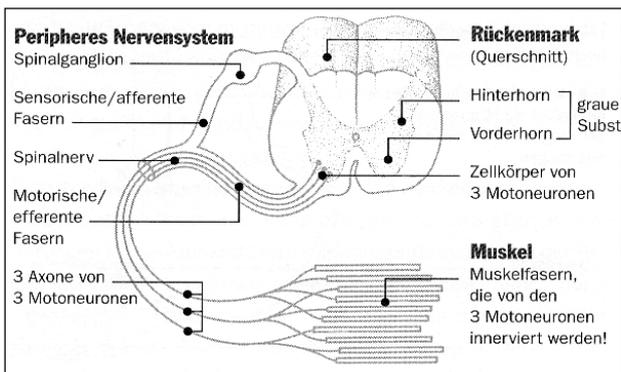
Bei jedem Aktionspotential wird eine bestimmte Mikromenge an **Ca²⁺-Ionen** aus dem **L-System** in das Sarkoplasma abgegeben.

Durch den Einstrom von Calcium kommt es zur **Brückenbildung** des Myosinköpfchens an das Aktinfilament. Die **Aktinfilamente** gleiten tiefer zwischen die **Myosinfilamente**, das **Sarkomer**, und damit der gesamte Skelettmuskel, verkürzt sich.

Etwa 1/1000s nachdem die Depolarisation erfolgt ist, nimmt die Durchlässigkeit ab; die Membran wird **repolarisiert**, so dass sie für einen neuen Reiz empfänglich wird.



elektrische Erregung wird in eine mechanische umgesetzt



Die Motorische Einheit

Eine motorische Einheit wird aus einem **Motoneuron** und der von ihm innervierten **Gruppe von Muskelfasern** gebildet. Ein einzelnes motorisches Neuron versorgt also mehrere Muskelfasern. Bei Muskeln, die einer äußerst präzisen Steuerung bedürfen, z.B. den Augenmuskeln, bilden weniger als zehn Muskelfasern eine motorische Einheit. In anderen Muskeln sind bis zu 2000 Muskelfasern in einer motorischen Einheit zusammengefasst.

Alles-oder-Nichts-Regel

Nach der so genannten Alles-oder-Nichts-Regel kontrahiert sich jede Muskelfaser einer motorischen Einheit maximal, sobald ein ausreichend starker Reiz die motorische Endplatte erreicht. Es gibt also keine "halbe" Kontraktion einer motorischen Einheit.

Es kommt jedoch in der Regel nicht zur Kontraktion aller motorischen Einheiten eines Muskels da – von Krampfanfällen einmal abgesehen – das ZNS immer nur einen Teil der motorische Einheiten eines Muskels zur selben Zeit reizt. In der nächsten Zehntelsekunde aktiviert das ZNS die nächste motorische Einheit, so dass die zuerst gereizte sich wieder erholen kann. Die abwechselnde Aktivierung von jeweils nur einem Teil der motorischen Einheiten eines Muskels verhindert, dass der Muskel frühzeitig ermüdet. Nur so sind Dauerleistungen wie langes Stehen und Tragen von Lasten möglich.

Die Alles-oder-Nichts-Regel bedeutet aber nicht, dass sich Muskeln nicht in verschiedenem Ausmaß kontrahieren können: Da sich der Muskel aus vielen hundert motorischen Einheiten zusammensetzt, wird eine abgestufte Zusammenziehung erreicht, indem sich einmal zehn, ein andermal vielleicht zwanzig und bei maximaler Anstrengung z.B. hundert motorische Einheiten gleichzeitig kontrahieren.

Wird eine motorische Einheit zweimal unmittelbar hintereinander gereizt, reagieren ihre Muskelfasern auf den ersten, jedoch nicht auf den zweiten Reiz. Nach dem ersten Reiz befindet sich die motorische Einheit in der **Refraktärperiode**, einer Art Schutzpause, die etwa 1 ms dauert. Danach reagiert die motorische Einheit wieder auf einen **Reiz**.

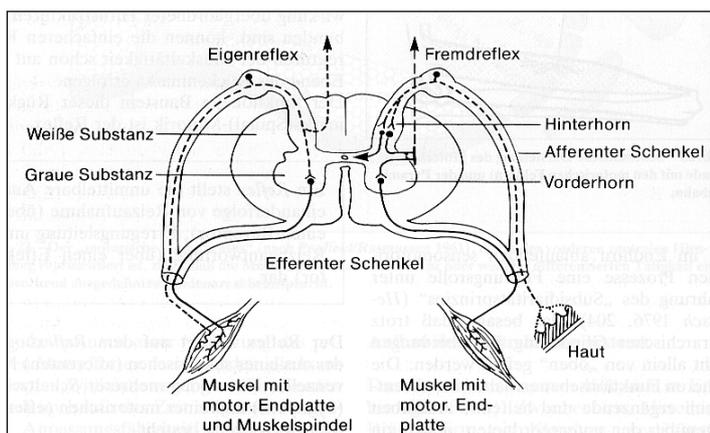
Reflex → Reflexbogen

Die einfachste Form einer geregelten Motorik stellen die **monosynaptischen Reflexe (Eigenreflexe)** dar. Grundsätzlich kann man einen Reflex als eine **unwillkürliche Antwort auf einen Reiz** definieren. Der Reflex läuft über einen **Reflexbogen**, der aus Rezeptor, afferenter Leitung, Umschaltstelle, efferenter Leitung und Effektor besteht. Auch dem Laien ist heute das Prüfverfahren des bekanntesten Reflexes aus dieser Gruppe, des so genannten **Patellarsehnenreflexes** (Kniescheibenreflex) bekannt (s. unten).

Beim Gesunden kann man gleichartige Reflexe an der gesamten Skelettmuskulatur auslösen. Wesentlich ist dabei, daß der Muskel kurz gedehnt wird; er antwortet dann immer mit einer Zuckung. Der ausgelöste monosynaptische Reflex ist die charakteristische Antwort eines **Regelkreises**, der für die Einstellung der Muskellänge verantwortlich ist.

Motorik
nervöse Kontrolle von
Haltung und Bewegung.

Reflexbogen
Rezeptor
afferente Leitung
Umschaltstelle
efferente Leitung
Effektor



Der Reflex heißt monosynaptisch, da er im Zentralnervensystem **nur über eine Synapse** läuft, d. h., er wird von einer sensorischen Afferenz direkt auf die motorische Vorderhornzelle (a-Motoneuron) umgeschaltet.

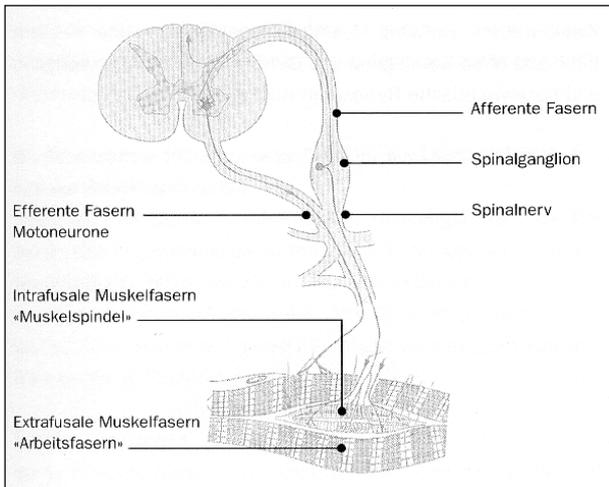
Der **Rezeptor**, der die Information über die Dehnung des Muskels via afferente Bahnen und das Hinterhorn des Rückenmarks dem a-Motoneuron zuleitet, heißt **Muskelspindel**.

Muskelfaser der Arbeitsmuskulatur = **extrafusale Faser**

Muskelspindel = **intrafusale Faser**

Muskelspindeln

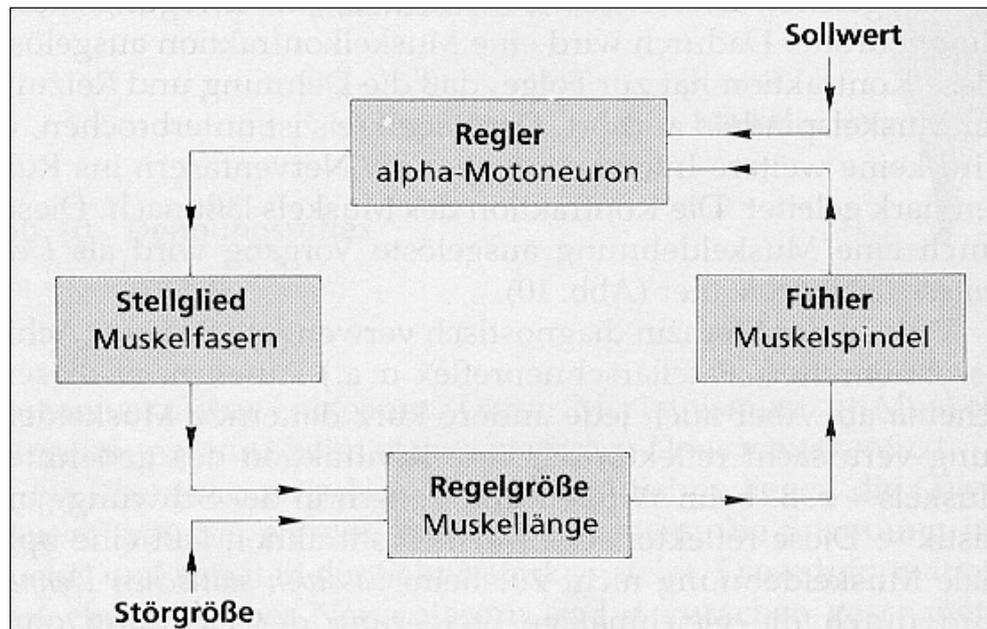
Bei den Muskelspindeln handelt es sich um durchschnittlich 3 mm lange und 0,2 mm dicke Muskelfasern. Sie sind **Spannungsfühler**, die der **Messung und Regulierung der Muskellänge** dienen. Im Gegensatz zu den Muskelfasern der Arbeitsmuskulatur (**extrafusale Fasern**) werden sie als **intrafusale Muskelfasern** bezeichnet.



Die Muskelspindeln liegen in Verlaufsrichtung des Muskels parallel zu den Skelettmuskelfasern. Sie sind kürzer als normale Muskelfasern und bestehen aus ca. 3-6 Muskelfasern. Der Mittelteil dieser Muskelfasern enthält jedoch keine kontraktilen Elemente, kann sich also nicht zusammenziehen und ist nicht dehnbar. Kommt es nun zu einer Muskeldehnung, kann dieser Mittelteil die Dehnung nicht mitmachen und reagiert mit einer Meldung an die Zentrale (Rückenmark und Gehirn). Die Zentrale reagiert mit einer Art **Schutzreaktion**, indem sie die Muskeln veranlasst, dieser Dehnung entgegenzuwirken. Um eine Überdehnung zu verhindern, zieht sich der Muskel reflexartig zusammen.

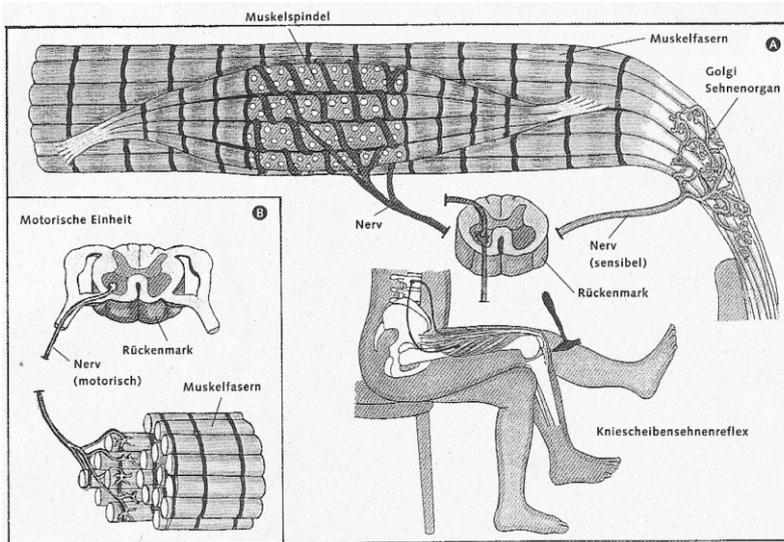
In der Sehne des Muskels finden sich noch **Sehnenrezeptoren**, die aktiviert werden, wenn die Sehne stark gespannt wird. Man nennt diese Rezeptoren nach ihrem Entdecker **Golgi-Sehnenorgane**.

Das **Spindelsystem** ist Teil eines **Regelkreises**, der die Aufgabe hat, die Länge eines Muskels auf einem vorgegebenen Wert zu halten, unabhängig davon, welche Kräfte von aussen auf den Muskel wirken.



Beispiel Kniescheibensehnenreflex

Klopft man mit einem Reflexhammer auf die Kniescheibensehne, wird der dazugehörige Streckmuskel des Oberschenkels kurzzeitig gedehnt und hierdurch die Muskelspindeln aktiviert, die durch ihre «Meldung»



dafür sorgen, dass der Muskel sich reflexartig zusammenzieht und der Unterschenkel gestreckt wird. Dauert die Dehnung eines Muskels jedoch zu lange oder überschreitet ein bestimmtes Maß, so wird der durch die Muskelspindeln ausgelöste Reflex unterdrückt. In diesem Falle werden die Golgi-Organe aktiviert, die in den Sehnen liegen. Die Golgi-Organe sorgen dafür, daß die reflexartige Kontraktion bei Dehnung des Muskels unterbleibt und der Muskel noch weiter gedehnt werden kann. Diese Reaktion stellt einen Schutz der Sehne vor Zerreissung dar.

Hieraus lässt sich der Effekt der langsamen, gehaltenen **Stretching-Methoden** erklären: Wird die Dehnübung ruckartig, wippend ausgeführt, kommt es über die Aktivierung der Muskelspindeln immer wieder zu einer reflexartigen Kontraktion, also Verkürzung des Muskels. Bei der langsamen und gehaltenen Dehnung wird dieser Reflex unterdrückt, und über die Aktivierung der Golgi-Sehnenorgane lässt sich der Muskel noch besser dehnen.

Fremdreflex

Bei den monosynaptischen Reflexen liegen die Rezeptoren im Bereich des Muskels selbst bzw. in seinen Sehnen. Viele der übrigen Rezeptoren des Körpers, z. B. die **Tastrezeptoren der Haut**, aber auch **Schmerz- und Temperaturrezeptoren**, können ebenfalls motorische Reflexe auslösen. Charakteristisch für diesen, auch **Fremdreflex** genannten Typ ist, dass er eine große Variabilität besitzt, da Reflexzeit und Ausbreitung sehr stark von der räumlichen und zeitlichen Reizeinwirkung sowie der Intensität abhängen. Man kann sich das deutlich klar machen, wenn man sich vorstellt, wie sich ein Mensch verhält, wenn er beispielsweise barfuss auf einen kleinen Stein oder auf eine scharfe Glasscherbe tritt. Bei dem Stein wird er sein Gewicht etwas verlagern, so dass es der Beobachter möglicherweise gar nicht bemerkt, während die Schutzreaktion, die von Glasscherben ausgelöst wird, sehr viel Muskulatur sehr schnell aktiviert.

Eigenreflex = monosynaptischer Reflex

Rezeptoren im Bereich des Muskels selbst bzw. in seinen Sehnen

Fremdreflex = Polysynaptischer Reflex

Bspw. Tastrezeptoren der Haut, Schmerz- und Temperaturrezeptoren

Das Zusammenwirken von Muskeln

Jede Bewegung stellt das Resultat der Zusammenarbeit mehrerer Muskeln dar. Daher werden die Hauptbewegungsmuskeln (**Agonisten**), die die eigentliche Bewegung ausführen, von den **Antagonisten** unterschieden, die für die entgegengesetzte Bewegung verantwortlich sind. Der Antagonist ist aber nicht nur der „Gegenspieler“, sondern er bremst und dosiert die Arbeit des Hauptbewegungsmuskels.

Da wir in unserem Leben ständig der Erdanziehung ausgesetzt sind, erfolgen einige Bewegungen als Hauptbewegungsmoment durch die Schwerkraft. Wenn man sich setzt oder in eine Hockstellung geht, muss die Muskulatur dieser Kraft entgegenwirken. Die Antagonisten steuern diese Bewegungen durch langsames Abbremsen. Daher muss bei der Trainingsgestaltung unbedingt beachtet werden, dass Agonisten und Antagonisten gleichmässig belastet werden. So sind die häufig auftretenden Verletzungen der Oberschenkelrückseite bei Sprintern auf ein Ungleichgewicht im Training der Oberschenkelstrecker und -beuger zurückzuführen.

Je nach beabsichtigter Bewegungsrichtung wirkt ein- und derselbe Muskel entweder als Agonist oder als Antagonist. Dies soll am **Beispiel des Ellbogengelenks** erklärt werden:

Agonist („Spieler“)
Muskel, der die eigentliche Bewegung ausführt

Antagonist („Gegenspieler“)
Muskel, der dieser Bewegung entgegenwirkt

Synergisten
Muskeln, die sich gegenseitig in ihrer Arbeit unterstützen

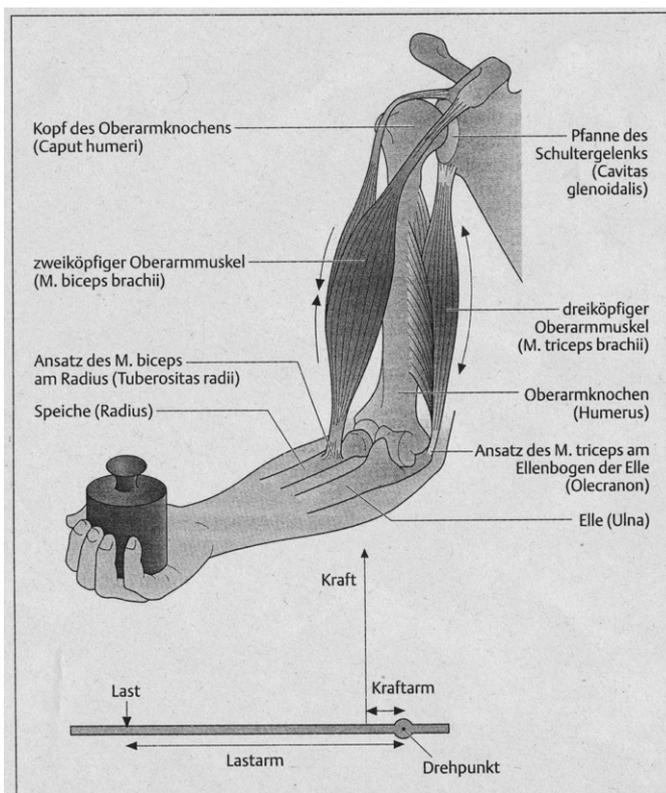


Abb. 4.5 Wirkung der Beuger und Strecker des Oberarms auf die Bewegung am Unterarm. Beuger im Ellenbogengelenk: zweiköpfiger Oberarmmuskel (M. biceps brachii); Strecker im Ellenbogengelenk: dreiköpfiger Oberarmmuskel (M. triceps brachii). Im Sinne der Muskelmechanik gilt: $\text{Last} \times \text{Lastarm} = \text{Kraft} \times \text{Kraftarm}$ (das Produkt aus Kraft \times Kraftarm und Last \times Lastarm ist das jeweilige Drehmoment)

Soll der Unterarm *gebeugt* werden, muss sich der **M. biceps brachii** zusammenziehen, er ist *Agonist*. Während er sich kontrahiert, muss sich sein Gegenspieler, der **M. triceps brachii**, entspannen. Er ist *Antagonist*. Soll der Ellbogen nun *ausgestreckt* werden, ist der M. triceps brachii der Agonist, während der M. biceps brachii die Aufgabe des (sich entspannenden) Antagonisten übernimmt.

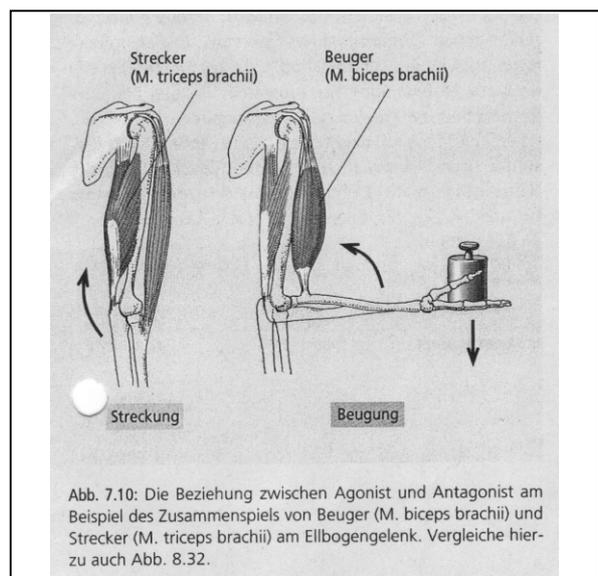


Abb. 7.10: Die Beziehung zwischen Agonist und Antagonist am Beispiel des Zusammenspiels von Beuger (M. biceps brachii) und Strecker (M. triceps brachii) am Ellbogengelenk. Vergleiche hierzu auch Abb. 8.32.

Kontrahieren sich Agonist und Antagonist gleichzeitig mit gleicher Kraft, so entsteht keine Bewegung, sondern eine **isometrische Kontraktion**.

Muskeln, die sich gegenseitig in ihrer Arbeit unterstützen, nennt man **Synergisten**. So unterstützt der M. brachialis (Oberarmmuskel) die Arbeit des M. triceps brachii bei der Armbeugung.

Muskelschlinge

Zusammenwirken mehrerer Muskeln oder Muskelgruppen um eine Bewegung auszuführen

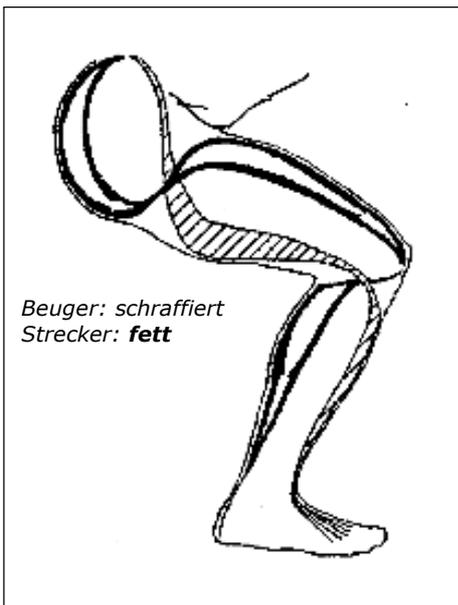
Muskelschlingen

Die Bewegungen des gesamten Körpers oder einer Extremität entstehen durch den zeitlich koordinierten Einsatz mehrerer Muskeln oder Muskelgruppen, die zu **Muskelschlingen** zusammengefasst werden. Bei sportlichen Bewegungen werden also meist mehrere Muskelgruppen in Form einer speziellen Muskelschlinge aktiviert, deshalb macht es Sinn, diese Muskelschlingen gezielt zu trainieren anstatt einzelne Muskeln zu isolieren.

Man kann verschiedene **Arten von Muskelschlingen** unterscheiden:

- **Muskelschlingen bei statischen Bewegungsabläufen**
(z.B. Stütz im Barren)
- **Streckschlingen** (z.B. Startsprung)
- **Beugeschlingen** (z.B. Hürdenlauf)
- **Schlingen bei rotatorischen Bewegungen** (z.B. Diskuswurf)

Beispiel für eine Streckschlinge



Beim Absprung aus in den Hüft-, Knie- und Fussgelenken gebeugten Beinen werden im Sinne der Streckung folgende Muskeln miteinander koordiniert (es sind nur die wichtigsten berücksichtigt):

- **grosser Gesässmuskel** (streckt die Hüfte, aber auch den Unterschenkel)
- **vierköpfigem Schenkelstrecker** (Vorderseite Oberschenkel)
- **Zwillingswadenmuskel** und **Schollenmuskel** (Hinterseite Oberschenkel)

Der Einfluss dieser Muskeln reicht vom Darmbeinkamm bis zum Fersenhöcker. Im antagonistischen Sinne verhindern die Gegenspieler eine Überstreckung der Gelenke: zwei-köpfiger Schenkelmuskel und Halb- und Plattensehnenmuskel (Hinterseite Oberschenkel), vorderer Schienbeinmuskel, langer Grosszehen- und langer Zehenstrecker (Vorderseite Unterschenkel und Füsse)

Literatur/Quellen:

- Biologie/Anatomie/Physiologie; Anne Schäffler/Nicole Meuche (Hrsg.), 4. Auflage, Urban und Fischer
- Leistungsphysiologie; Jürgen Stegemann, 3. überarbeitete Auflage, Thieme 1984
- wikipedia
- <http://www.sportunterricht.de/lksport/bewegappa.html>