

Während des Workshops kann aus zeitlichen Gründen nicht auf die anatomisch-physiologischen Grundlagen der Muskelfunktionen eingegangen werden.

Hier ein kurzer theoretischer Abriss zum Selbststudium:

## Allgemeines zur Muskulatur (Anatomie und Physiologie) – Wie funktioniert Sensomotorik? –

*Nur wonach die Muskeln tasten, dessen entsinnt sich das Gehirn nicht mehr und nicht weniger.*  
(William Faulkner)

Ein gesunder und gut durchtrainierter Körper besteht zum überwiegenden Teil aus Muskulatur. Es sind unsere Muskeln, die uns „in Form“ oder „nicht in Form“ halten, die uns ein Gefühl von Fitness oder Schlapheit vermitteln. Ein geschmeidiger, weicher, elastischer Muskel vermittelt uns direkt ein entspanntes Körpergefühl und Aussehen.

In Abhängigkeit von der Bemuskelung und dem Trainingszustand eines Körpers machen die Muskeln ca. dreiviertel des Körpergewichtes aus.

Auf Grund ihrer Fähigkeit zur Kontraktion und Extension sind sie verantwortlich für alle Bewegungen des Körpers -- angefangen bei unbewussten Kontraktionen zum Beispiel bei der Kontraktion eines Blutgefäßes bis hin zum bewussten Gehen und Vorwärtsbewegen.

Durch Muskelaktivität wird der größte Anteil der durch Nahrung und Atmung zugeführten Energie verbraucht. Damit ist die Körpermuskulatur das bei weitem größte und aktivste Stoffwechselorgan unseres Körpers.

Die persönliche Ausdrucksfähigkeit unseres Körpers (Körpersprache, Körpergefühl) wird stark von dem „Grundtonus“ (Schlaffheit, Spannung) und der Masse oder auch dem Mangel von Muskeln geprägt.

Neben dem Fettgewebe ist die Körpermuskulatur das Gewebe, welches unsere sichtbaren Konturen umgrenzt und somit unser Äußeres stark prägt.

Der Zustand und die Aktivität unserer Muskulatur üben nicht nur auf unsere biologische Entwicklung, sondern genauso auf unsere mentale Verfassung und unsere Kompetenz im Umgang mit der Umwelt (sozial und biologisch) einen großen Einfluss aus.

### WIE GESCHIEHT BEWEGUNG?

Um Bewegung und die Vorgänge in unserem Körper, die zu Bewegung führen, zu verstehen, ist es sinnvoll, auf ein paar Grundlagen zu schauen.

Im gegenwärtigen wissenschaftlichen Denkmodell wird davon ausgegangen, dass unser Nervensystem sozusagen in zwei Abteilungen unterteilt ist:

- das zentrale Nervensystem, welches sich aus Gehirn und Rückenmark zusammensetzt ist die wichtigste und sehr empfindliche Schalt- und Verarbeitungszentrale unseres Körpers. Sie ist umgeben von schützendem Knochengestüt (Schädelknochen, Wirbelsäule).
- das periphere Nervensystem setzt sich aus allen peripheren Neuronen zusammen: Nervenzellen, -Endigungen, -Verzweigungen und -stränge, die sich auf sämtliche Körper- und Hautregionen verteilen. Innerhalb des peripheren Nervensystems treffen wir die grobe Unterscheidung zwischen zwei Nervengruppen:  
die eine übermittelt die sensorischen Informationen an das ZNS (AFFERENZEN),  
die andere leitet diese Informationen in Form von motorischen Informationen zurück zu Muskeln, Haut, Organen und Drüsen (EFFERENZEN)

Das Zentralnervensystem und die beiden Nervengruppen des peripheren Nervensystems sind die drei grundlegenden funktionellen Merkmale unseres Nervensystems.

1. Informationsstrom, der von den sensorischen Nervenrezeptoren an das ZNS geliefert wird.
2. Fabrik(=ZNS), in der die Informationen bearbeitet, weitergeleitet und koordiniert werden.
3. **Vom ZNS** ausgehend, werden die Reaktionen über motorische, bzw. sensomotorische Bahnen zurück in Richtung Muskulatur und andere Empfangsorgane gesandt.

Unser Nervensystem funktioniert so präzise und komplex, dass wir Veränderungen wahrnehmen und sofort darauf reagieren können, z.B. indem die Hand schnell weggezogen wird bei Kontakt mit einer offenen Flamme. Die Aktivität der Muskulatur ist also im Wesentlichen als Reaktion auf Sinneswahrnehmungen zu verstehen.

## Unser Muskel als Sinnesorgan

Der kinästhetische Sinn

Auch wenn unsere Muskulatur nicht primär bewusste Empfindungen vermittelt, so leistet sie doch einen großen Beitrag zu unserer Sinneserfahrung. Die Funktionen der Muskeln beschränken sich nicht auf einfache hydraulische, mechanische oder kraftfordernde Tätigkeiten. Jede Empfindung, jeder Gedanke, zieht eine muskuläre Reaktion nach sich. So wird jede Bewegung, motorisch wie emotional, zu einem sensomotorischen Vorgang aus dem eine komplexe Kommunikation innerhalb des Körpers entsteht.

Bewegung und Sinneserfahrung sind die Voraussetzung für die Wechselbeziehung zwischen den beiden Seiten (sensorisch u. motorisch) unseres Nervensystems. Demnach ist **Verhalten** eigentlich nichts anderes, als die Wechselwirkung aus (Sinnes)Wahrnehmung und ihrer motorischen Antwort. Bewegung macht uns zu einem sozialen Wesen. Bewegung ermöglicht Kommunikation. Bewegung ermöglicht neue Sinneserfahrungen.

## Muskelempfindungen (Spindelzellmechanismus und Golgi-Sehnen-Organ)

Erst im 20igsten Jahrhundert konnte dank Elektronenmikroskopie gezeigt werden, dass unsere Muskeln sozusagen mit „Sinnesorganen“ angefüllt sind, wobei die Muskelspindeln zu den am häufigsten vorkommenden und sensibelsten Strukturen zählen. Neben dem Seh-Sinn und dem Hör-Sinn zählt die Muskulatur wahrscheinlich zu dem empfindlichsten und raffiniertesten Sinnesorgan unseres Körpers.

Das Wissen um die Funktion und Aufgaben dieser „Sinnesorgane“ macht es möglich, solche Phänomene, wie Muskeltonus, Körperhaltung, vererbte Reflexe, erlernte Fertigkeiten und überhaupt muskuläre Reaktionen zu verstehen.

### Die Muskelspindel

Die Spindelzellen sind die eigentlichen Gehirne der Muskeln, sie steuern die Kontraktion der Muskeln indem sie die Länge messen.

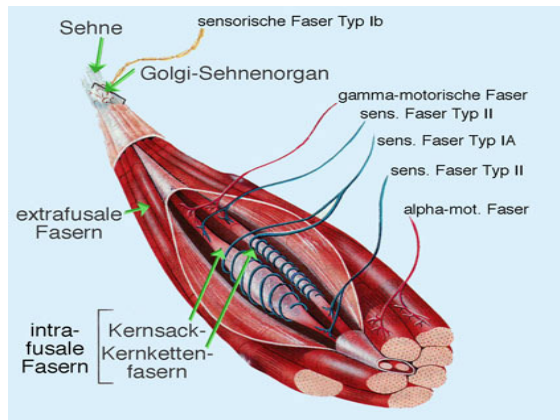
Eine Muskelspindel besteht aus einem mit Flüssigkeit gefülltem Bündel von drei bis zehn spezialisierten Muskelfasern, die kleiner und kürzer sind als die Skelettmuskelzellen in ihrer Umgebung. Sie sind spindelförmig, deshalb der Name SPINDELZELLE, und werden auf Grund ihrer Lage „zwischen den Muskelfasern“ auch als „intrafusale“ Fasern bezeichnet.

Spindelzellen sind wie eine Skelettmuskelzelle aufgebaut, also auch quergestreift nur viel dünner. Sie haben nicht die Kraft eines Skelettmuskels, aber sie können sich genauso zusammenziehen bzw. verlängern, wie eine normale Skelettmuskelzelle.

Der Unterschied zur Muskelzelle liegt darin, dass sich eine Spindelzelle in ihrem Mittelteil nicht kontrahieren kann, Der nicht kontraktile Mittelteil dehnt sich und erschlafft passiv jeweils in Abhängigkeit von der Aktivität der beiden kontraktilen Enden im quergestreiften Teil der Zelle.

Um den nicht kontraktilen Mittelteil der Spindelzelle wickelt sich eine sensorische Nervenendigung, der sogenannte „Anulospiralrezeptor“. Auf Grund seiner spiraligen Anordnung kann der Anulospiralrezeptor präzise jede auftretende Verkürzung oder Verlängerung der Mittelzone zu messen.

Wenn es zu einer plötzlichen Längenveränderung des Muskels kommt, können die anulospiralen Fasern der Spindelzelle z.B. eine reflektorische Kontraktion des Hauptmuskels provozieren.



Spindelzelle (quelle: user.medunigraz.at)

### Die Muskelspindel – eine motorische Einheit

Die anulospiralen und die blütendoldenartigen Rezeptoren sind sensorische Nervenendigungen, die das ZNS über Muskellänge, Längenveränderungen und über Dehnung des Muskels an sich informieren

Auf dem Weg zum Gehirn verhalten sich die Faserstränge der Anulospiralkörper wie alle sensorischen Nerven. Sie sammeln sich zu ihrem eigenen sensorischen Strom, knüpfen dann allerdings im Rückenmark eine zusätzliche motorische Verbindung.

Die sensorischen Zellen des anulospiralen Rezeptorensystems verbinden sich mit dem motorischen Nerv, der die Skelettmuskeln in der Umgebung ihrer Muskelspindel versorgt.

Was heißt das?

In den Muskelspindeln gehen die beiden Teile unseres Nervensystems – das sensorische und das motorische System - die engste physiologische Verbindung ein.

Das motorische Neuron, welches die Muskelzelle direkt erregt, reagiert nicht nur auf motorische Befehle direkt vom Gehirn, sondern auch auf sensorische Signale von der Muskelspindel, die von Muskelzellen aus der gleichen motorischen Einheit umgeben ist → einfacher Spindelreflexbogen

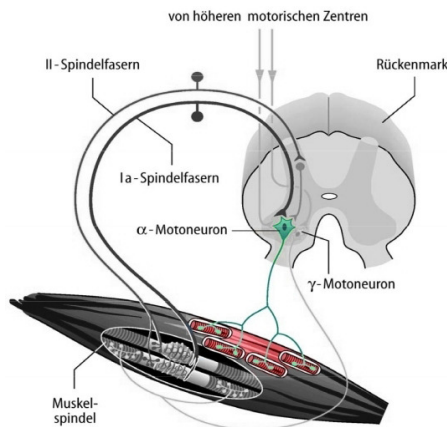


Abb. Reflexbogen

Quelle:

[www.mastersinfo.de/2011/05/krafttraining-mastersschwimmers](http://www.mastersinfo.de/2011/05/krafttraining-mastersschwimmers)

Einfacher Spindelreflexbogen: Der Anulospiralrezeptor (in der Spindelzelle) bildet das Ende eines afferenten Nerven, der im Rückenmark mit einem motorischen Nerven synaptiert. Dieser motorische Nerv synaptiert in Folge mit den Muskelzellen aus der gleichen motorischen Einheit der Spindelzelle (Muskelzellen in unmittelbarer Nachbarschaft der Spindelzelle), was dann im Falle einer Kontraktion, zu einer reflektorischen Erschlaffung des Anulospiralrezeptors führt.

Das ist der **Spindelzellmechanismus**, den wir beim Muskeltesten nutzen, um zu überprüfen, ob die Muskulatur in Homöostase ist. Die Beschreibung des ‚Spindelreflexbogens‘ ermöglicht zu verstehen, was in der Muskulatur, bzw. im Muskel geschieht, wenn er „abgespindelt“ wird (wird im Seminar praktisch gezeigt).

## Das Golgi-Sehnen-Organ

Der zweite wichtige Propriozeptor für die Muskelarbeit ist das sogenannte Golgi-Sehnenorgan. Die Golgisehnenorgane sitzen in den Kollagenbündeln der Sehnen und kontrollieren den Spannungszustand eines Muskels.

Anders als die Spindelzellen sind sie zu den extrafusalen Fasern in Serie geschaltet und bestehen aus einem Netzwerk knötchenartiger Nervenendigungen, die zwischen den Sehnenfasern liegen. Stimuliert werden sie sowohl durch passive Dehnung als auch durch aktive Kontraktion des Muskels. Wenn die Muskelspannung steigt, ziehen sich die Sehnenfasern fest zusammen, wodurch sich der Druck auf die Nervenendigungen erhöht. So feuert das auf diesem Wege erregte Golgi-Sehnenorgan Informationen zum ZNS.

Wenn eine bestimmte Spannungsgrenze überschritten ist, hemmen die Golgisehnenorgane den Muskel, in dessen Endsehnen sie eingelagert sind und schalten den Antagonisten ein, um eine Überdehnung der Sehnen und des Muskels zu verhindern. So wird der Muskel durch das aktive Golgi-Sehnenorgan vor Zerreißung oder Abriss von den Ansatzstellen geschützt.

Das Golgi-Sehnen-Organ ist für die Regelung der Muskelspannung verantwortlich, wohingegen die Muskelspindeln als Regler für die Muskeldehnung (Länge) dienen.

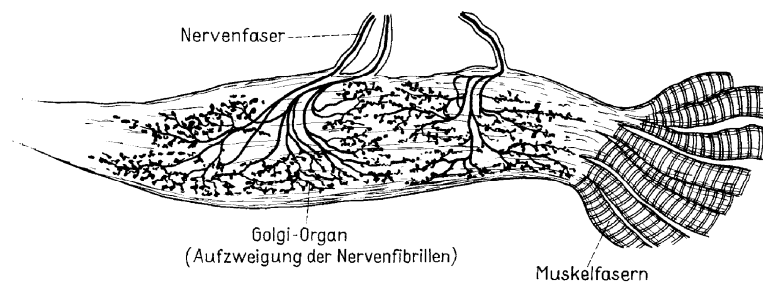


Abb. Golgi-Sehnen-Organ, aus Ganong, med. Physiologie

### Die Zusammenarbeit von Golgi-Sehnen-Organ und Spindelzellen

Die Anulospiralrezeptoren der Spindelzellen messen die Länge der Muskelfasern und die Geschwindigkeit in der sich die Länge verändert. Die Golgisehnenorgane messen die Muskelspannungen, die auf Grund der Längenveränderung zustande kommen.

Beide Sinnesorgane liefern kontinuierlich Daten an das ZNS über den momentanen Zustand der Körpermuskulatur.

Wenn ich zum Beispiel eine Teetasse anhebe, gehen von den Muskelspindeln die Informationen über den Grad der Muskeldehnung an das Gehirn, die Golgisehnenorgane berechnen aber den genauen Widerstand, den eine Kontraktion über eine bestimmte Länge und einen bestimmten Zeitraum überwinden muss. Während die Spindelzellen also die aktive „Arbeit“ des Muskels, nämlich die Kontraktion, steuern, sind die Golgisehnenorgane verantwortlich für das Überwachen der Muskelspannung und fungieren als Sicherung. Die Golgisehnenorgane „dirigieren“ unsere Feinmotorik.

„Jeder vom Gefühl getragene Gedanke hat eine Muskelveränderung zur Folge. Primäre Muskelstrukturen gehören zum biologischen Erbe der Menschen: Daher zeichnet der ganze Körper des Menschen sein emotionales Denken auf.“ Mabel Todd, Der Körper denkt mit

### Schlussfolgerung:

Die enge Verbindung, die in den Muskelspindeln zwischen motorischem und sensorischem Nervensystem stattfindet, ermöglicht eine Reizleitungsübertragung nicht nur motorischer sondern auch emotionaler Art. **Hier zeigt sich, wie nah Emotion und „Motion“ (Bewegung) beieinander liegen!** – Diesen Zusammenhang nutzen wir beim Muskeltesten