

3. Nervensystem (ca. 3 Std.)

- afferente und efferente Leitungsbahnen
- Aufbau und motorische Funktionen des zentralen Nervensystems
- Bau und Funktion einer Nervenzelle
- synaptische Verbindungen, Neurotransmitter
- neuronale Steuerung der Muskelkontraktion: motorische Einheit, Mechanismen der Abstufung von Kontraktionskraft und -geschwindigkeit, intra- und intermuskuläre Koordination

3.1 Allgemeine Grundlagen zum Nervensystem

Allgemein: Nervensystem steuert die Bewegungen räumlich und stimmt sie zeitlich aufeinander ab. Komponenten des Nervensystems sind:

- *Zentrales Nervensystem* (ZNS): Rückenmark und Gehirn (bestehend aus Nervenzellen)
- *Peripheres Nervensystem* (PNS): Nervenzellen und Fortsätze außerhalb von Rückenmark und Gehirn

Das Gehirn besteht aus ca. 100 Milliarden Nervenzellen und 1 Billiarde Synapsen. Es ist Denk-, Kontroll- und Befehlszentrale des Menschen. Es wiegt zwischen 1000 bis 2200 Gramm, bei einem Durchschnitt von 1330 Gramm. In Abhängigkeit von der zerebralen Aktivität verändert sich während des gesamten Lebens das Gehirngewicht durch infrastrukturelle Veränderungen. Zerebrale Aktivität – z. B. auch durch sportliche Aktivitäten bzw. Inaktivität – schlägt sich demnach während des gesamten Lebens ähnlich wie beim Muskel in funktioneller bzw. morphologischer Hinsicht nieder (z. B. Hypertrophie bzw. Atrophie).

3.2 Afferente und efferente Leitungsbahnen

Beispiel:

- **Rezeptoren** (Auge, Ohr, Haut...) nehmen Reize auf (*Auge sieht den Ball*)
- Reize gelangen über **afferente (sensorische)** Nervenbahnen (**Afferenzen**) zum **ZNS (Rückenmark und Gehirn)** → viscerale Afferenzen bei Informationen aus den Eingeweiden
- Verarbeitung im ZNS
- Umschaltung auf **efferente (motorische)** Nervenbahnen (**Efferenzen**) und Leitung zum Muskel (**Effektoren**) → Kontraktion (*Bein führt Schussbewegung aus*)
→ vegetative Efferenzen zu Drüsen, Herzmuskel, glatter Muskulatur (Atmung, Harntrakt, Magen-Darm, Gebärmutter, Haut, Blutgefäße)

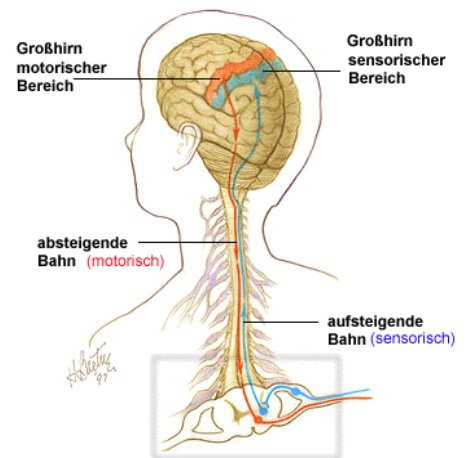


Abb. 1: Auf- und absteigende Bahnen

3.3 Bau und Funktion einer Nervenzelle

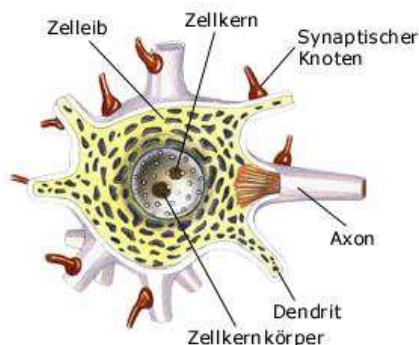
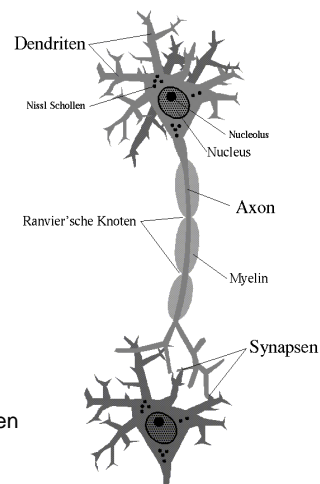


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Nervenzelle mit ihren Fortsätzen



Die kleinste funktionelle Einheit ist die Nervenzelle, das Neuron. Es setzt sich zusammen aus:

- Neurit: - Leitungskabel zu anderen Neuronen oder zur Peripherie
- Leitungsgeschwindigkeit abhängig von Temperatur
- Dendrit: - Aufnahme von Informationen aus der Nachbarschaft
- Dendritenaussprossung bei intensiven neuronalen Aktivitäten (Lernen)
- Synapse: - Schalt- oder Kontaktstelle
- Neurotransmitter: - z.B. Acetylcholin, Adrenalin
- Neuroglia: - Stützgewebe für Abschirmung, Ernährung und Regeneration

3.4 Aufbau und motorische Funktion des Zentralnervensystems

Das **ZNS** gliedert sich in Endhirn (Großhirnebene), Zwischenhirn, Mittelhirn, Brückenhirn, Kleinhirn, verlängertes Mark (Nachhirn) sowie das Rückenmark.

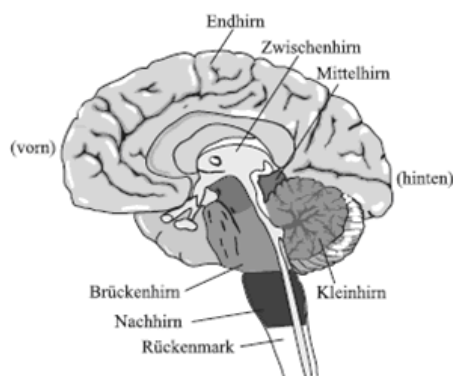


Abb. 3: Schematische Darstellung des Aufbaus des ZNS

3.4.1 Funktionen des Großhirns

Keine räumlich abgegrenzten Bezirke, sondern funktionell verknüpfte Rindenbezirke und Kerne.

Motivationsareale (Limbisches System)

- Entscheidungsinstanz („ich möchte den Ball schießen“): auch als emotionales Gehirn bezeichnet

Assoziationsfelder des Endhirns

- Speicherung der Bewegungs-Programm-Entwürfe
- Bereich der Großhirnrinde

Motorische Rindenfelder

- Bereiche der Großhirnrinde (Motorkortex); ca. 2 – 4 mm dick
- Exekutivorgan für die Ausführung des Bewegungsprogrammes (Speicherung der Informationen über Bewegungsmuster bzw. -schemata)
- Pyramidenbahnen leiten den erstellten Bewegungsplan in die Skelettmuskulatur
pyramidale Nervenbahnen: Verbindung zwischen Großhirnrinde und Rückenmark (von dort werden die Muskeln der Peripherie aktiviert), wobei sich die Bahnen in der Pyramide (Hirnstamm) kreuzen. Abrufen von Willkürbewegungen
extrapyramidale Nervenbahnen: keine Kreuzung in der Pyramide: Steuerung der Haltefunktion.
- Durch Training Verdichtung des Fasernetzes und Hypertrophie der beanspruchten Rindenbezirke

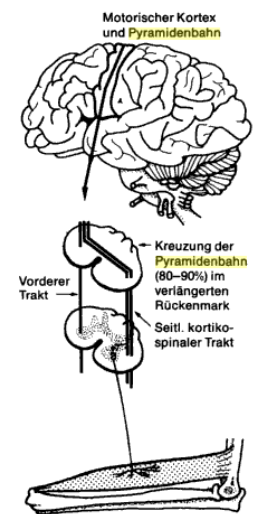


Abb. 4: Schemadarstellung des Motorkortex

Aufgaben des Großhirns hinsichtlich der Motorik sind:

- Weitergabe von Bewegungsprogrammen, die in übergeordneten Zentren gebildet wurden, über Hirnstamm und Rückenmark an die Skelettmuskulatur,
- Ausführung differenziert reflektorischer Bewegungsabläufe,
- Speicherung von Informationen über Bewegungsmuster,
- Steuerung der Willkürbewegungen (rechte Hirnhälfte verantwortlich für die Muskelgruppen der linken Körperhälfte und umgekehrt; Grund: Kreuzung der Pyramidenbahnen),
- Bewegungsentwürfe (in den Assoziationsfeldern des Endhirns).

3.4.2 Funktionen der dem Großhirn untergeordneten Gehirnbereiche

- **Zwischenhirn**
 - Umschaltstelle für die afferenten Sinnesinformationen auf dem Weg zum Großhirn
 - Thalamus = „Sekretär“: filtert aus Vielzahl von Informationen die wichtigsten heraus
- **Kleinhirn- und Basalganglienebene**

Diese stellt ein wichtiges Bindeglied zwischen den Assoziationsfeldern des Endhirns und den motorischen Zentren der Großhirnrinde dar.

Kleinhirn und Basalganglien haben folgende Aufgaben hinsichtlich der Motorik:

 - Mitwirkung bei der Umsetzung von Bewegungsplanung in Bewegungsprogramme,
 - Basalganglien: Programmierung von langsamen Bewegungsabläufen,
 - Kleinhirn: Programmierung von raschen Bewegungen, Vornahme von Kurskorrekturen, Verknüpfung der Programme mit der Haltung, Beeinflussung des Muskeltonus., Gleichgewicht, Muskelkoordination
- **Hirnstamm**
 - Hirnstamm = Mittelhirn (Hören, Sehen), Brückenhirn Blutkreislauf, Atmung, Schlucken, Niesen), verlängertes RM
 - Anpassung der Stützmotorik (Körperstellung im Raum - unter Mitwirkung des Gleichgewichtsorgans): Für diese Aufgabe werden afferente Meldungen zahlreicher Rezeptoren verwertet. Von besonderer Wichtigkeit sind dabei die Rezeptoren der Gleichgewichtsorgane. Der Hirnstamm übernimmt hinsichtlich der Motorik folgende Aufgaben:
 - Sicherung und Kontrolle der Körperstellung im Raum,
 - Veränderung des Muskeltonus,
 - Verwertung durchlaufender Informationen für die Realisation von Bewegungen.

3.4.3 Funktionen des Rückenmarks

Bestehend aus einem Strang und 31 seitlich entspringenden Spinalnervenpaare, die den Wirbelkanal durch die Zwischenwirbelöffnungen verlassen

graue Substanz Hinterhornbereich: Aufnahme der afferenten Nervenfasern
Vorderhornbereich: Austritt der efferenten Nervenfasern

weiße Substanz auf- und absteigende Nervenfasern

Hauptaufgabe des RM : einfachere Bewegungsmuster :

Aufrechterhaltung des Gleichgewichts im Stand und in der Bewegung , Dehnungs- und Beugereflexe

- **Dehnungsreflexe:**
 1. Eigenreflex: Rezeptor (Signalempfänger) und Effektor (Auslöser) liegen im selben Organ (Patellasehnenreflex)
 2. Reflexbogen: Stehen → Tendenz zur Beugung im Knie → Dehnung des Oberschenkelstreckers → laufende Kontraktion des Oberschenkelstreckers über Reflexbogen (Erhaltung einer Körperposition)
- **Beugereflex:** Reiz kommt von außen = Fremdreiflex (Hustenreflex, Wischreflex, Saugreflex, Niesreflex, Lidschlagreflex) → Schutzreflexe

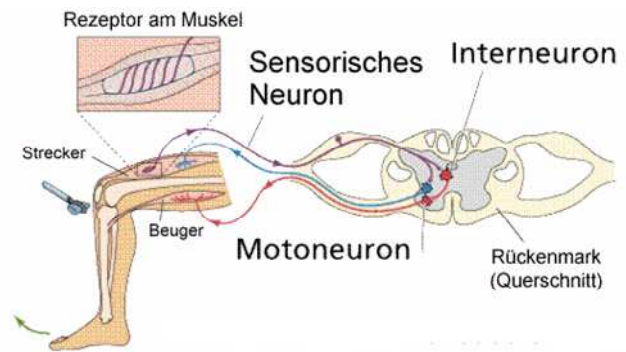
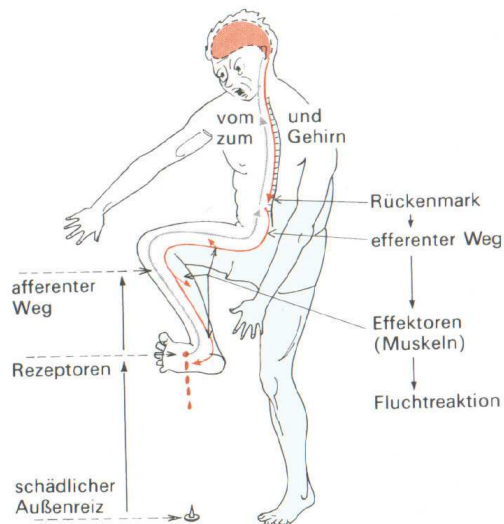


Abb. 5: Schematische Darstellung des Eigen- und Fremdreflexes

Beteiligte Hirnstruktur	Funktion
Limbisches System und andere Motivationsareale	Entscheidungsinstanz für den Abruf von
Assoziationsfelder des Endhirns	↓ gespeicherten Programmentwürfen, die
Kleinhirn und Basalganglien	↓ in räumlich-zeitlich gegliederte Bewegungshandlungen umgesetzt,
Motorische Rindenfelder	↓ dem Motorkortex als Exekutivorgan für die Ausführung des Bewegungsprogramms zugeleitet werden. Über efferente Bahnen gelangen die differenzierten Bewegungsengramme (Bewegungsschemata etc.)
Hirnstamm	↓ bei angepasster Stützmotorik (sie schafft über die situationsgemäße Anpassung der Körperhaltung die Voraussetzung für die zielmotorische Bewegung) über den Hirnstamm
Rückenmark	↓ zu den motorischen Vorderhornzellen des Rückenmarks, wo sie auf Alphamotoneurone umgeschaltet werden, die über
Skelettmuskulatur	↓ die Zahl der innervierten motorischen Einheiten bzw. die vorliegende Impulsfrequenz der aktivierten Muskeln zu abgestuften Muskellängen und –kraftänderungen und damit zu einer Bewegung oder Haltungsveränderung führen

Tab. 1: Schematische Darstellung des Ablaufs einer Bewegungshandlung unter Angabe der dabei beteiligten anatomischen Strukturen

3.5 Neuronale Steuerung der Muskelkontraktion: Synaptische Verbindungen und Neurotransmitter

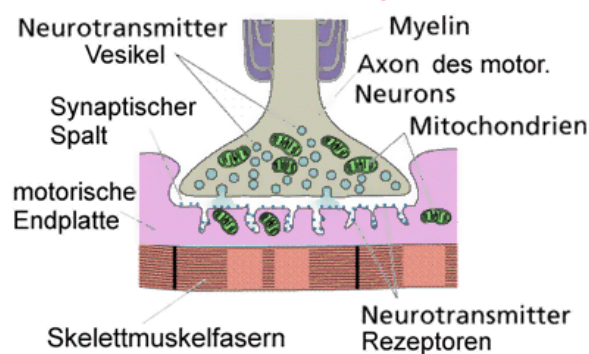


Abb. 6: Die neuromuskuläre Synapse

1. Elektrischer Impuls gelangt über den Nerv an die motorische Endplatte

- Freisetzung von Azetylcholin (Transmittersubstanz) → Aufbau eines elektrischen Potentials, das sich über Röhrensystem über ganze Muskelfaseroberfläche ausbreitet
- Ausbreitung über T-System (querverlaufendes (transversales) Röhrensystem)
- Übergang in L-System (längsverlaufendes (longitudinales) Röhrensystem)
- dort Freisetzung von **Kalziumionen** (Ca^{2+})



Verbindungsstellen am Aktinfilament für die Myosinköpfe werden freigegeben (Tropomyosinfäden verlagern sich in das Innere der Aktinfilamente)

Aktivierung des Enzyms ATPase im Myosinkopf, Spaltung von ATP (Adenosintriphosphat), dabei wird Energie frei für die Kippbewegung der Myosinköpfe

Aktivierung des Enzyms Muskelphosphorylase → zuständig für Regulierung des Glykogenspeicherabbaus und damit für die ATP-Nachlieferung

2. Aufhören des Nervenimpulses

- „Zurückpumpen“ der Kalziumionen in das L-System
- Myosin - Aktin - Bindungsstellen werden wieder blockiert

3.6 Motorische Einheit, Mechanismen der Abstufung von Kontraktionskraft und -geschwindigkeit, intra- und intermuskuläre Koordination

3.6.1 Motorische Einheit

Unter **motorischer Einheit** versteht man die Funktionseinheit aus Nervenzelle und den von ihr innervierten Muskelfasern.

In unten stehender Abbildung ist zu erkennen, dass die Nervenfasern von einer Nervenzelle (*Neuron*) im Rückenmark entspringt; von dort geht ein Nervenfortsatz (*Neurit*) aus, der aus Achsenzylinder (*Axon*) und einer schlauchartigen Hülle („*Schwannsche Zellen*“) besteht. Schließlich verzweigt er sich mehrfach, bevor er über die sogenannten „motorischen Endplatten“ die Muskelfaser erreicht. Alle Muskelfasern, die von einer Nervenfasern erregt werden, treten gemeinsam in Aktion.

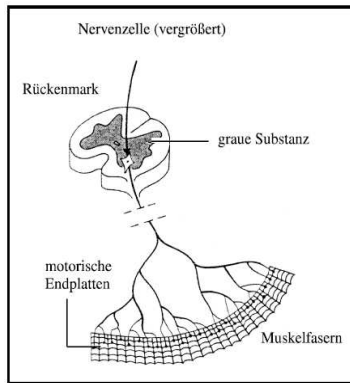


Abb. 7: Die motorische Einheit

3.6.2 Mechanismen der Abstufung von Kontraktionskraft und –geschwindigkeit

Die Bewegungsqualität wird durch die unterschiedliche Anzahl und Größe der motorischen Einheiten (ME) in verschiedenen Muskelgruppen beeinflusst.

- ✦ z. B. Augenmuskel ca. 13 ME pro Nerv
 - ✓ feinkoordinierte Arbeit
 - ✓ geringe Kraftentwicklung (0,1g pro ME)
- ✦ z. B. zweiköpfiger Armmuskel ca. 750 ME pro Nerv
 - ✓ grobkoordinierte Arbeit
 - ✓ große Kraftentwicklung (50g pro ME)

Hinsichtlich Feinabstufung, Grobabstufung und Variation der Geschwindigkeit gilt:

Die Feinabstufung der Bewegung erfolgt durch

- ✓ Steigerung der Entladungsfrequenz des zugehörigen Motoneurons
- ✓ Größe der ME

Die Grobabstufung der Bewegung wird bestimmt durch

- ✓ Veränderung der Zahl der ME
- ✓ Größe der ME

Die Variation der Geschwindigkeit verändert sich durch

- ✓ Aktivierung spezieller ME (FT-, ST-Fasern; kleine und große Einheiten)
- ✓ Beachten Sie: Bei explosiver Kraftentwicklung beginnen alle Muskelfasern gleichzeitig zu „feuern“, v. a. aber Typ-IIb

3.6.3 Intra- und intermuskuläre Koordination

Intramuskuläre Koordination: Nerv-Muskel-Zusammenspiel eines einzelnen Muskels innerhalb eines gezielten Bewegungsablaufs. Gekennzeichnet durch das Wechselspiel von Nervensystem und Skelettmuskulatur in Bezug auf Einsatz und Beanspruchungsgröße der motorischen Einheiten.

Intermuskuläre Koordination: Zusammenwirken verschiedener Muskeln bei einem gezielten Bewegungsablauf. Gekennzeichnet durch das Zusammenspiel der agonistisch und antagonistisch tätigen Muskeln.

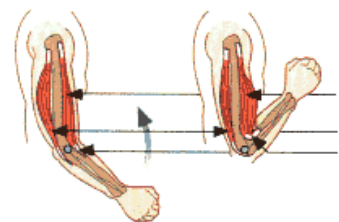
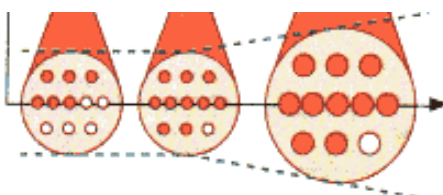


Abb. 8: Intramuskulär: Krafttraining aktiviert nach und nach mehr Muskelfasern (links); intermuskulär (rechts): Haupt- und Hilfsmuskeln machen Bewegung möglich

3.7 Adaptationen beim motorischen Lernprozess

3.7.1 Die Anpassung des NS an sportliche Belastungen und an Bewegungsmangel

-durch Bewegung und Sport
- Verbesserung der Stimmung durch die Ausschüttung von
.....
- Schärfung der durch Bewegung und Sport
-durch Vermehrung
Verbindungen
- Neubildung von
- Vermehrung von
- Gesteigerte
- Steigerung von

3.7.2 Der motorische Lernprozess unter dem Aspekt der „.....“

Der motorische Lernprozess besteht aus neurophysiologischer Sicht in der

.....

.....

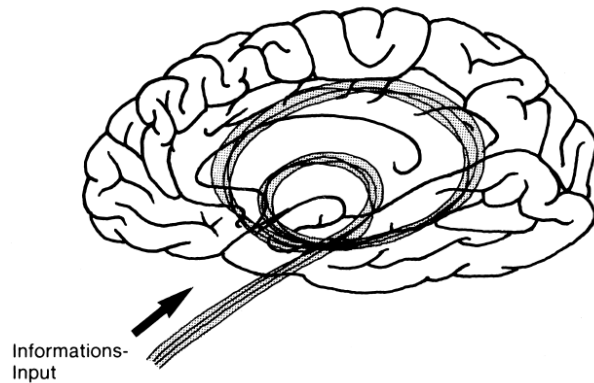


Abb. 9: Schematische Darstellung einer

LERNEN =

VERLERNEN =

UMLERNEN =

Zu Beginn eines Lernprozesses müssen die Erregungszuflüsse (.....)

die durchlaufen (.....).

Die ist nochund (.....).

Beim Anfänger

.....).

Man spricht von (Gehirnstrukturen werden mitaktiviert, die eigentlich keine unmittelbare Bewegungsrelevanz haben).

Im Laufe des Trainings- und Lernprozesses kommt es zu einer

.....