

Motorik und Sensorik

Zelluläre Mechanismen, Muskulatur, Nervenfunktion, Reizleitung und neurophysiologische Grundlagen von Gehirn, Rückenmark und peripheren Nerven



neurochirurgie@klinikum-karlsruhe.de



Der Begriff **Motorik** ist eine griechisch-lateinische Wortschöpfung, abgeleitet von griech. *motorikè téchne* mit der Bedeutung *Bewegungstechnik, Bewegungsfertigkeit, Bewegungskunst, Bewegungswissenschaft, Bewegungslehre* und lat. *motor* = *Beweger*, abgeleitet von *movere* = *bewegen, antreiben*

Motorik steht für die Gesamtheit der **Aktionen der Muskulatur**

Spezialgebiete der Motorikwissenschaften:

Die **Sensomotorik** beschäftigt sich mit den Zusammenhängen von Sinneseindrücken und Muskelaktivität. Untersucht werden Komplexverbindungen von visuellen und taktilen Wahrnehmungen, neuraler Reizleitung und motorischen Vorgängen sowie spezifische Steuerungs- und Regelungssysteme.

Die Methodik ist vergleichbar mit der Kybernetik

Die **Psychomotorik** erforscht die wechselseitigen Beziehungen von geistig-seelischer Verfassung und Befindlichkeiten des menschlichen Körpers.

Psychomotorik befasst sich mit den für die Persönlichkeit charakteristischen Ausdrucksformen wie Mimik, Gestik, Körperhaltung, Gehweise, Sprechen und Sprache. Es werden entsprechende Typologien herausgearbeitet.

Die **Sensorik** bezeichnet in der Technik die Wissenschaft und die Anwendung von Sensoren zur Messung und Kontrolle von Veränderungen von biologischen oder technischen Apparaten oder Systemen

Der Bereich der technischen „Sensorik“ wird im deutschsprachigen Raum unterschiedlich abgegrenzt, teilweise werden ausschließlich Sensorelemente der Messtechnik betrachtet, an anderer Stelle ausschließlich binäre, also schaltende Systeme (z. B. Lichtschranken), wieder andere beziehen auch Labor- und Industrie-Messsysteme zur Automatisierung mit ein

Gemeinsam ist der technischen Sensorik, dass sie technische Produkte behandelt, die in der Regel nicht-elektrische Messgrößen in elektrische Signale wandeln
z.B. „elektronische Nase“ zur Überwachung von Gaskonzentrationen

In vielen Fällen kommen dabei die sogenannten Einheitssignale zur Anwendung

Muskelarbeit = Umwandlung chemische in mechanische Energie

➤ Unterschiedliche Muskulatur

Quergestreifte Muskulatur: Skelett und (Herz)

Glatte Muskulatur: Hohlorgane: Magen, Darm, Gefäßsystem

➤ Sehnen – Skelettansatz *(Willkürmotorik)*

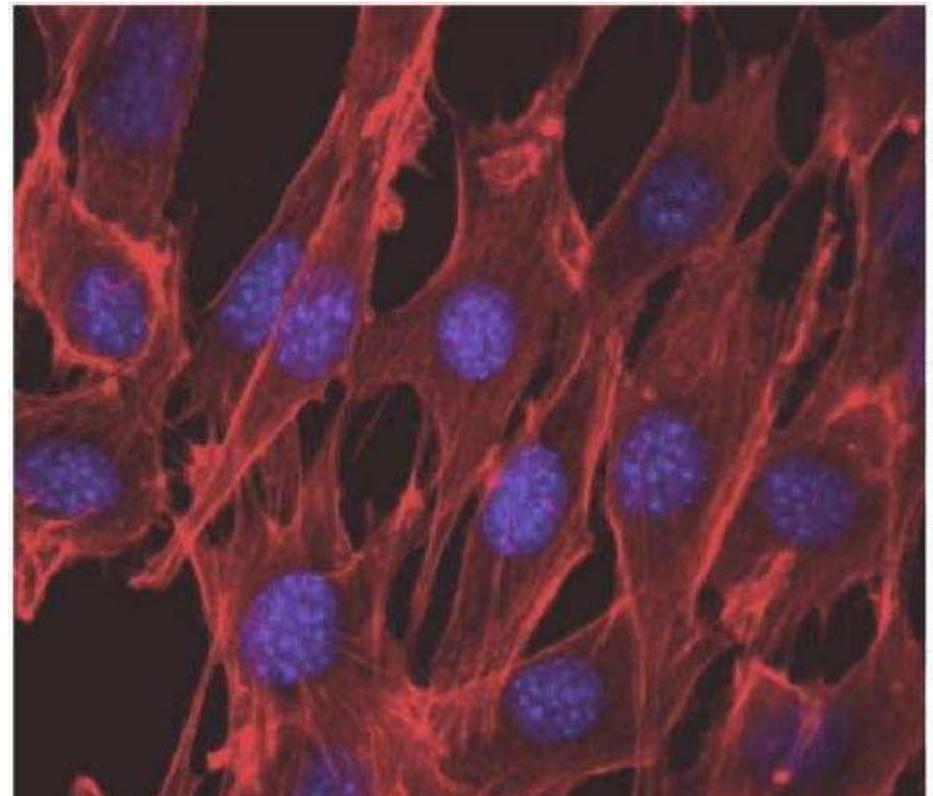
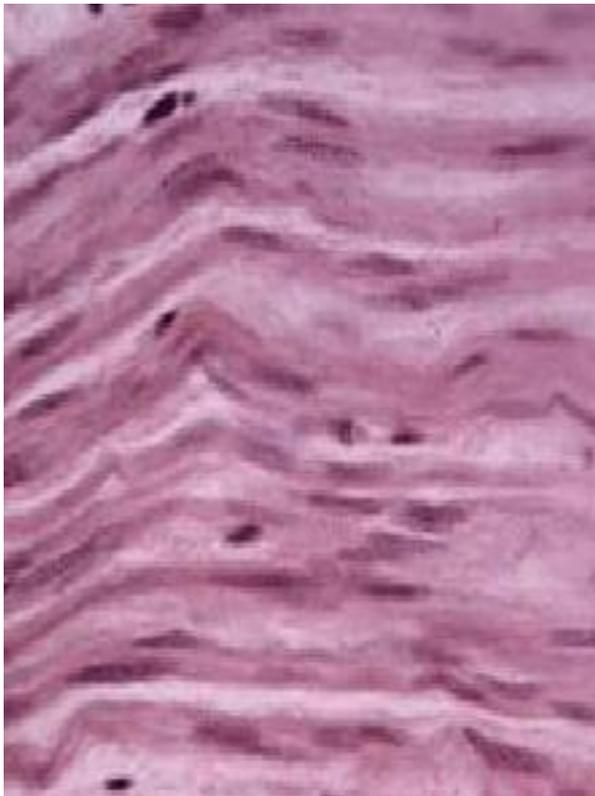
➤ Nerven & Blutgefäße *(Versorgung: Information & Energie)*

➤ Aufbau & Arbeitsweise der Muskulatur

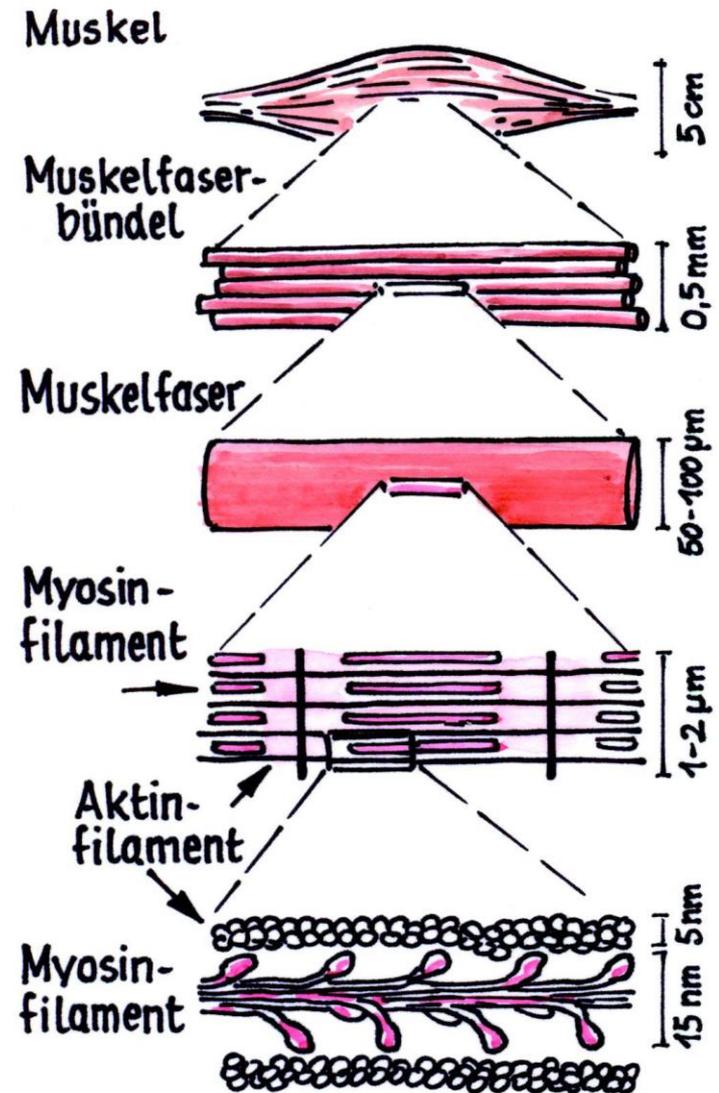
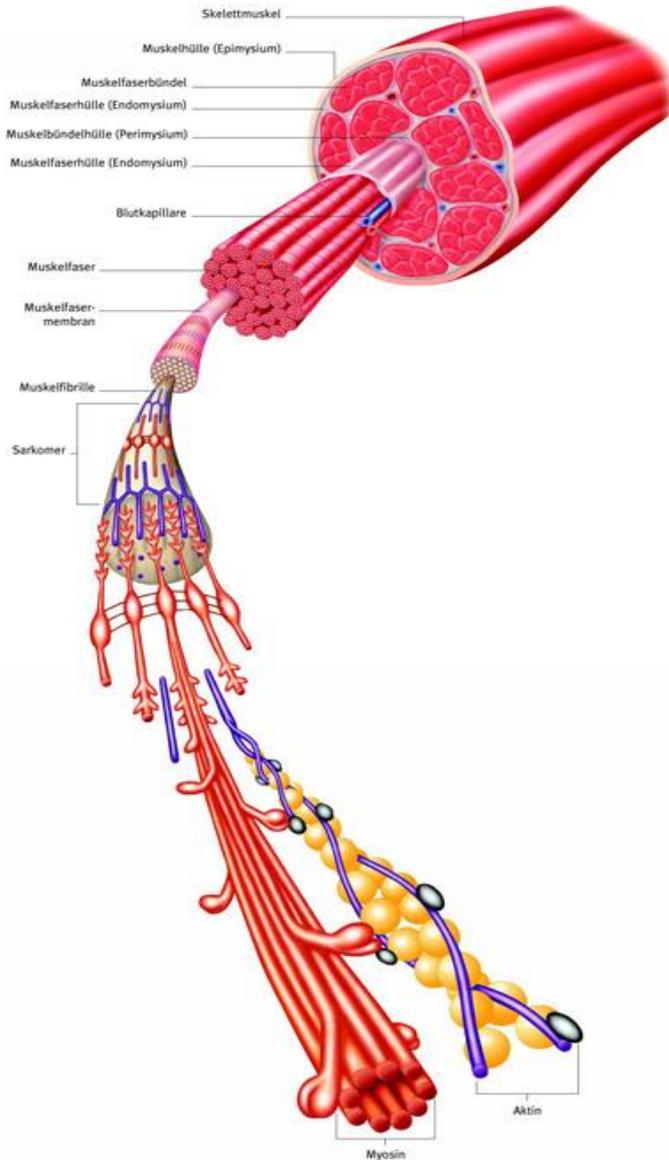
➤ Quergestreifte M. *Willkürinnervation*

Ausnahme: Herzmuskel keine motorische Endplatten / gap junctions

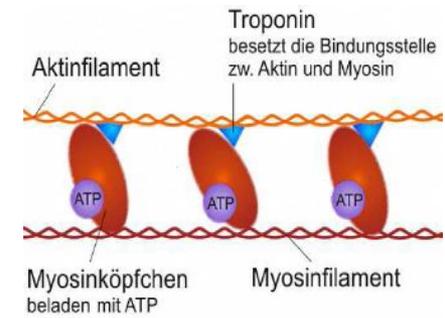
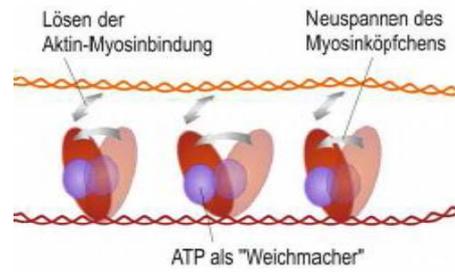
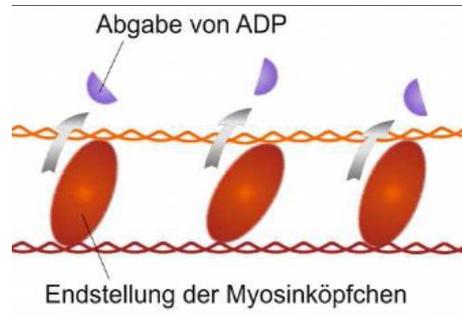
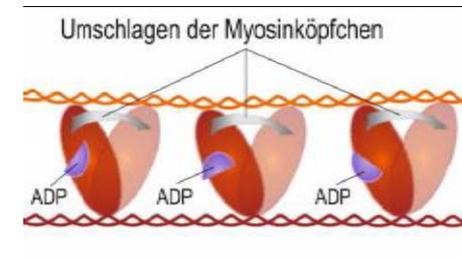
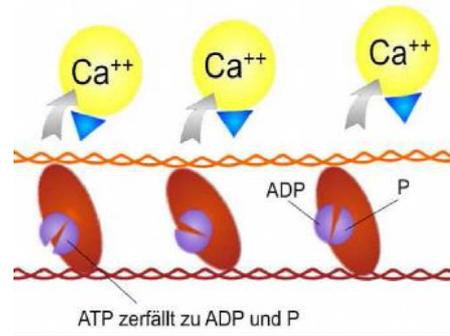
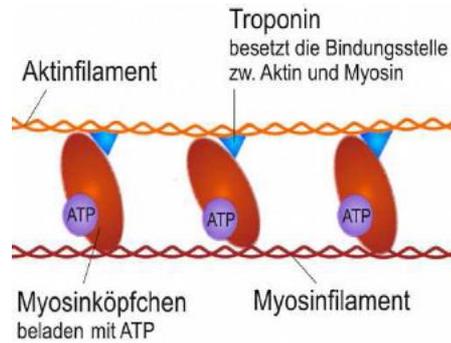
➤ Feinstruktur und Histologie (*Gewebeaufbau*)



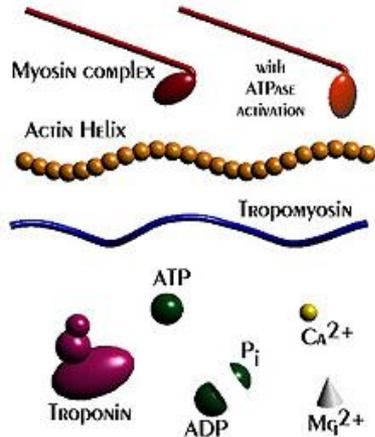
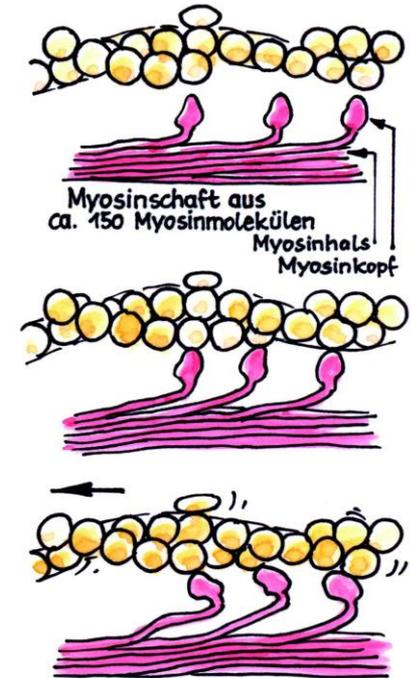
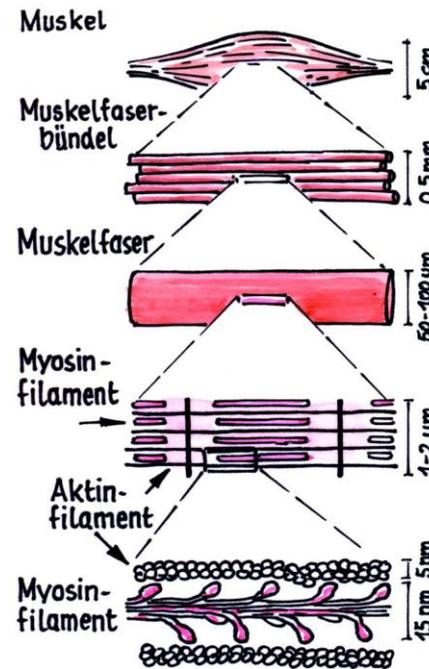
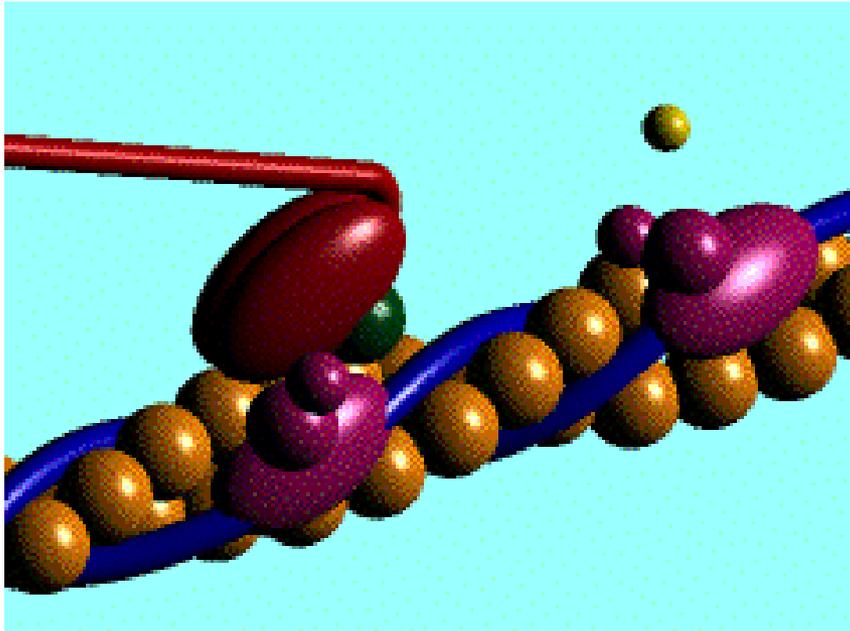
Muskulatur (Aufbau & zelluläre Mechanismen)



Muskulatur (zelluläre Mechanismen)



Muskel (Feinstruktur & Mechanismen)

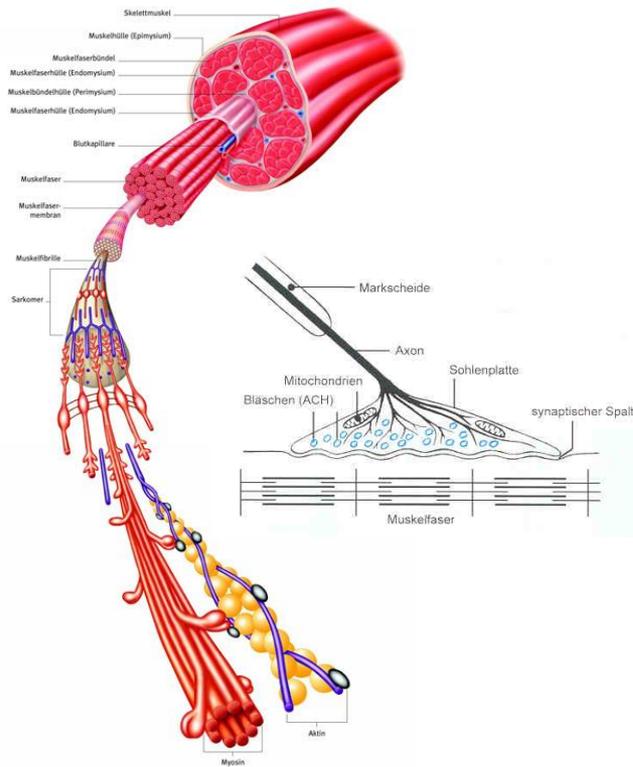


- **Willkürmotorik** (*„bewußter“ Muskeleinsatz*)
- **Idee** (*Hirnaktivität SMA – gespeicherte Bewegungsgrundmuster*)
- **Gezielte Reizleitung** (*motorischer Kortex – RM – Nerv*)
- **Informationsweiterleitung** (*motorische Endplatte*)
- **Muskelarbeit** (*Ansatz Skelett – Kraftrückmeldung – Modulation*)

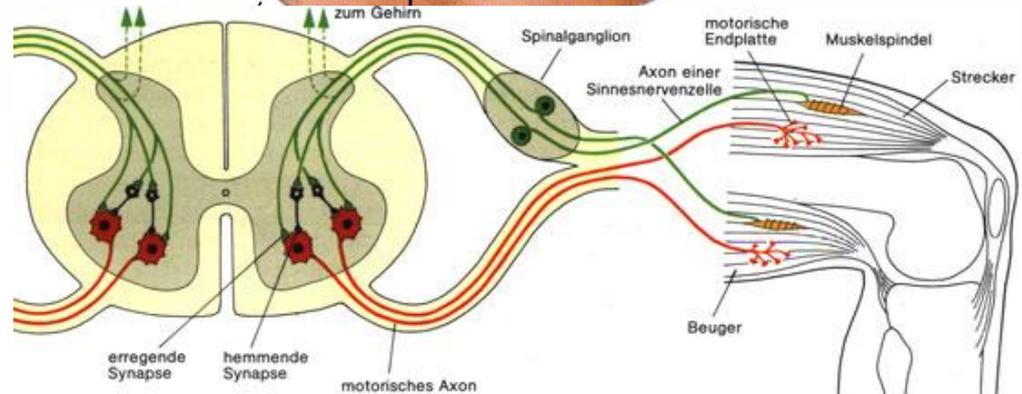
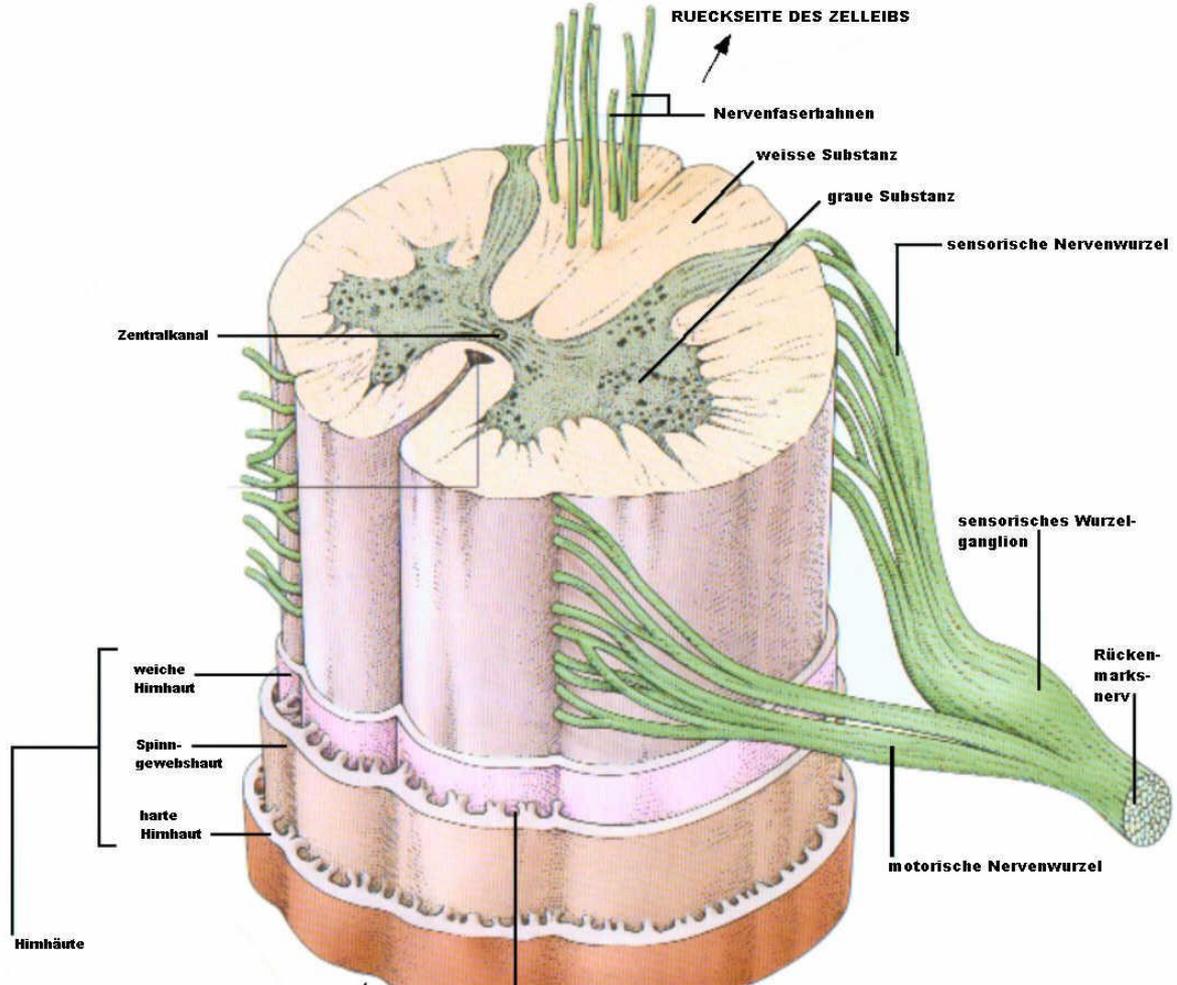
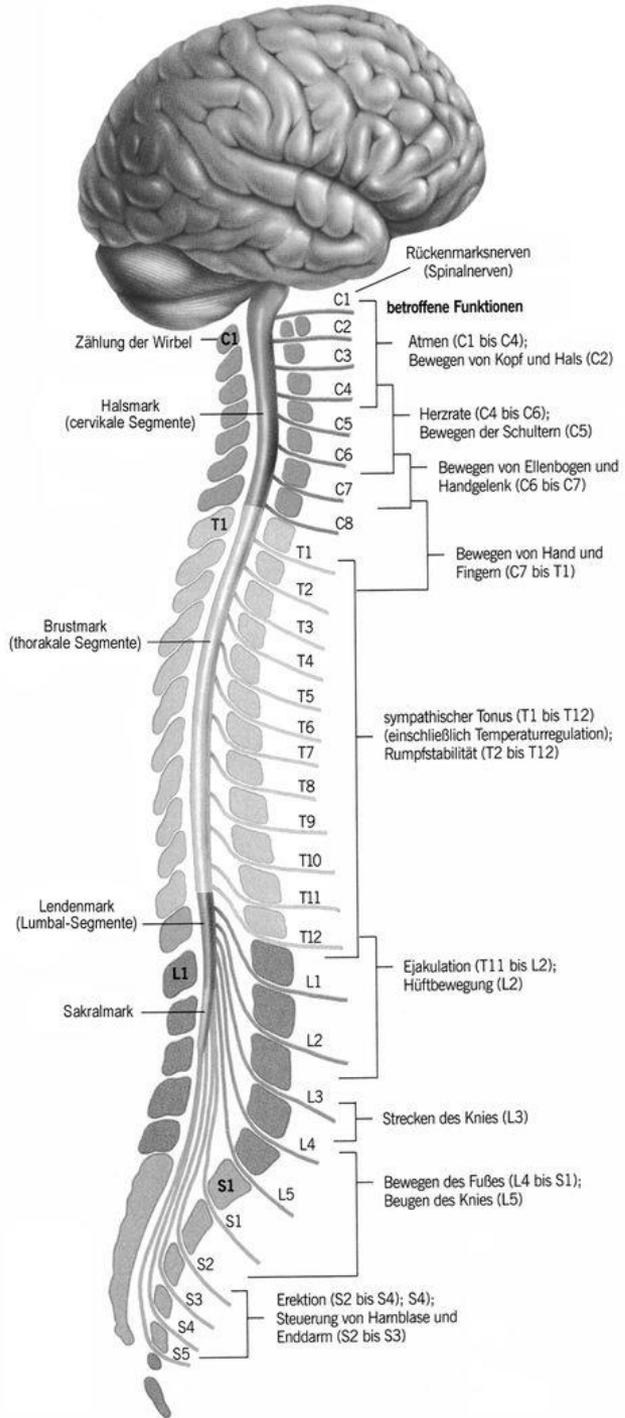
Motorische Endplatte

Die motorische Endplatte überträgt den elektrischen Reiz von einer Nervenfaser via chemischem Impuls auf die Muskelfaser.

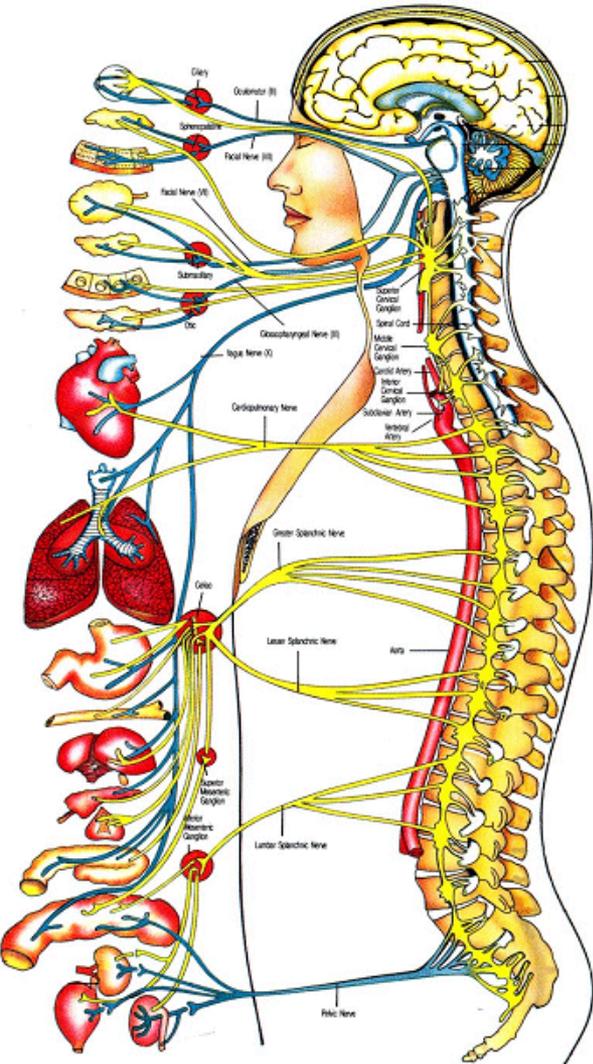
Die motorische Endplatte ist im eigentlichen Sinn eine chemische Synapse mit dem Neurotransmitter Acetylcholin.



- **Zentrales Nervensystem (ZNS)**
(Gehirn, Hirnnerven und Rückenmark)
- **Peripheres Nervensystem (PNS)**
- **Autonomes Nervensystem**
(Sympathicus – Parasympathikus)



Vegetatives (autonomes) Nervensystem

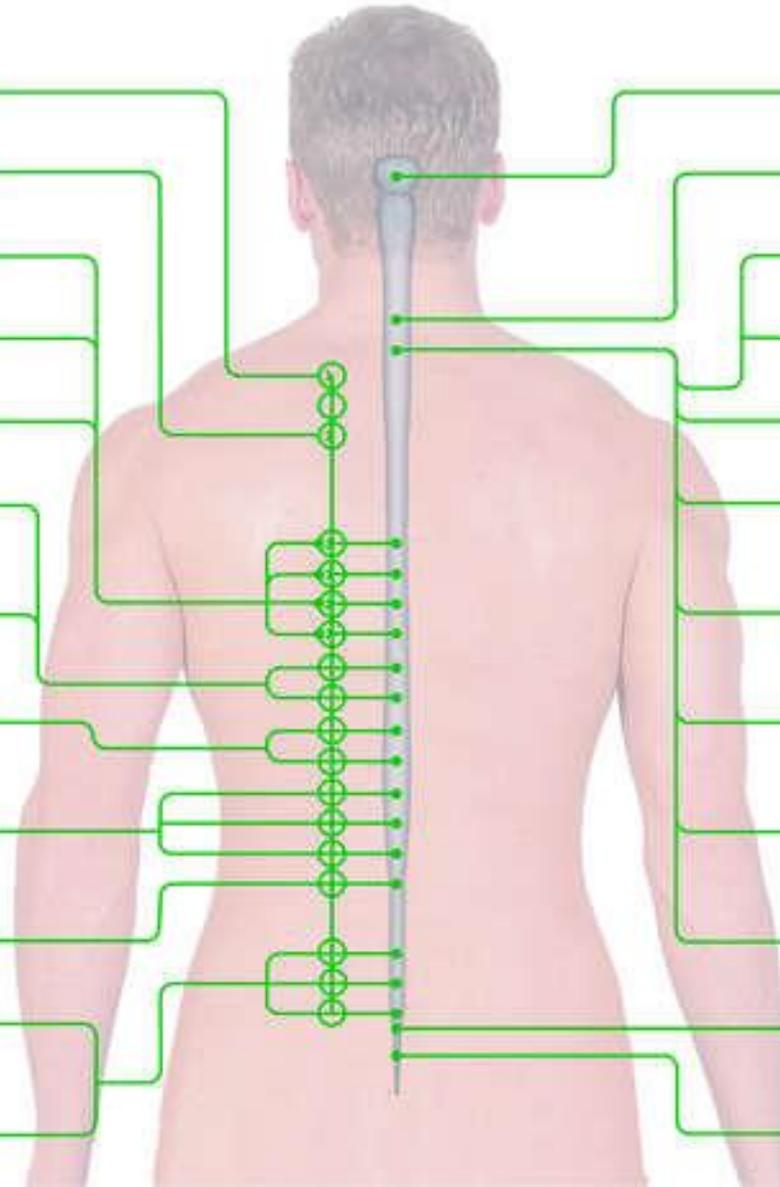


Sympathikus

AUGEN
Pupillenerweiterung
MUND
Speicheldrüsenhemmung
HAUT
Schweißdrüsenaktivierung
LUNGE
Erweiterung der Luftwege
HERZ
Frequenzbeschleunigung
MAGEN
Hemmung der Magensaftsekretion
LEBER
Ausschüttung von Glykogen ins Blut
DARM
Hemmung des Verdauungsprozesses
BAUCHSPEICHELDRÜSE
Verminderung der Sekretion von Verdauungsenzymen
NIEREN
Hemmung der Urinbildung
HARNBLASE
Hemmung der Blasenentleerung
ENDDARM
Kontraktion des Enddarms

Parasympathikus

AUGEN
Pupillenverengung
MUND
Speicheldrüsenaktivierung
HAUT
Keine Wirkung
LUNGE
Verengung der Luftwege
HERZ
Frequenzverlangsamung
MAGEN
Aktivierung der Magensaftsekretion
LEBER
Speicherung von Glucose in Form von Glykogen
DARM
Aktivierung des Verdauungsprozesses
BAUCHSPEICHELDRÜSE
Erhöhung der Sekretion von Verdauungsenzymen
NIEREN
Förderung der Urinbildung
HARNBLASE
Aktivierung der Blasenentleerung
ENDDARM
Entspannung des Enddarms

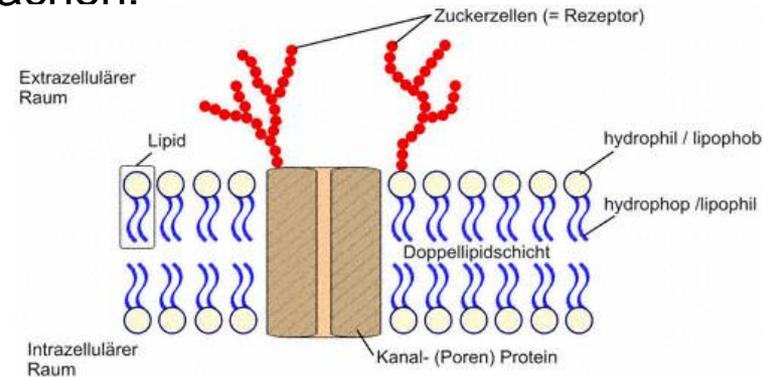


- **Aufbau der Nervenzelle** (*Axone & Synapsen*)
- **Axone** (*Myelinscheiden*)
- **Synapsen** (*mobile Übertragungsstationen*)
- **Reizleitung** (*elektro-chemisch*)
- **Molekulare Mechanismen** (*Aktionspotential*)

Zellulärer Aufbau

Zytoplasma	Das Zytoplasma füllt die Zelle wie eine „Suppe“. Das Zytoplasma besteht aus Wasser, Salzen, Eiweiß, Fetttropfchen, Zucker ... Hier findet auch die sogenannte Glycolyse statt.
Organellen	Organellen sind die Funktionseinheiten einer Zelle Hier die Liste mit ihren wichtigsten Funktionen:
Zellkern (1)	Zellkern (Nukleus), trägt die gesamte Erbinformation (Baupläne) gespeichert in langen chemischen Molekülen = DNS (DNA)
Mitochondrien (2)	Mitochondrien sind die "Kraftwerke der Zelle". Energiegewinnung aus Zucker mit Hilfe des Zitronensäurezyklus unter O ₂ -Verbrauch.
Endoplasmatisches Retikulum (3)	Endoplasmatisches Retikulum (ER) sorgt für den Membranaufbau und dient als Speicher, Stofftransport innerhalb der Zelle (intrazellulär), Stoffspeicher (z. B. Ca ⁺⁺ in der Muskelzelle).
Ribosomen (4)	Ribosomen sind die "Eiweißfabriken" unserer Zellen. Hier werden Eiweiß-Ketten nach Bauplan (DNA aus dem Zellkern) zusammengesetzt.
Golgi-Apparat (5)	Golgi-Apparat ist die "Verpackungsfabrik", Sekrete werden hier in kleine Bläschen (Vesikel) verpackt und zum Plasmalemm gebracht. Dort wird der Inhalt der Bläschen abgegeben (Exozytose).
Lysosomen (6)	Lysosomen mit Eiweiß abbauenden Enzymen. Enzym = Eiweiß, das eine biochemische Reaktion in Gang setzt, vergleichbar mit einem „LötKolben“ oder „Schneidbrenner“. Die Lysosomen verschmelzen mit den ankommenden Nahrungsvakuolen und die Enzyme der Lysosomen bauen die „Nahrung“ ab. Die Nahrungsvakuolen werden durch Endozytose gebildet.
Zytoskelett	Das Zytoskelett besitzt Mikrofilamente aus Eiweißfäden, die sich aneinander entlang hangeln können. Dies bewirkt eine Formveränderung der Zelle, evtl. Bewegung.
Mikrotubuli	Mikrotubuli nennen sich Eiweißröhren (siehe auch Mikrofilamente) z. B. in Cilien = Geißeln = Flimmerhärchen, mit deren Hilfe sich z. B. Einzeller wie das Pantoffeltierchen fortbewegen.
Mikrovilli	Als Mikrovilli werden fingerförmige Membranausstülpung bezeichnet z. B. zur Oberflächenvergrößerung im Darm.

Die ca. 5nm dicke Zellmembran einer Nervenfaser besteht aus einer Doppelschicht von Lipiden, deren lipophile Seite nach innen und deren hydrophile Seite nach außen zeigt. In diese Lipiddoppelschicht sind Proteine (Eiweiße) eingebaut, die verschiedene Funktionen erfüllen. Bei einigen dieser Proteine handelt es sich um Ionenkanäle, welche die Zellmembran für bestimmte Ionen durchlässig machen.



Die Ionenkonzentrationen innerhalb und außerhalb der Zelle sind unterschiedlich. Die Konzentration der positiv geladenen Kaliumionen (K^+) ist im Zellinneren höher als im Außenmedium, positiv geladene Natriumionen (Na^+) kommen dagegen vermehrt außerhalb der Zelle vor. Dieses Konzentrationsgefälle wird durch die sogenannte Ionenpumpe aufrechterhalten, die in einem Pumpzyklus 3 Natriumionen nach außen und 2 Kaliumionen in die Zelle hinein bringt. Die dazu benötigte Energie wird durch die Spaltung von ATP (Adenosintriphosphat) gewonnen

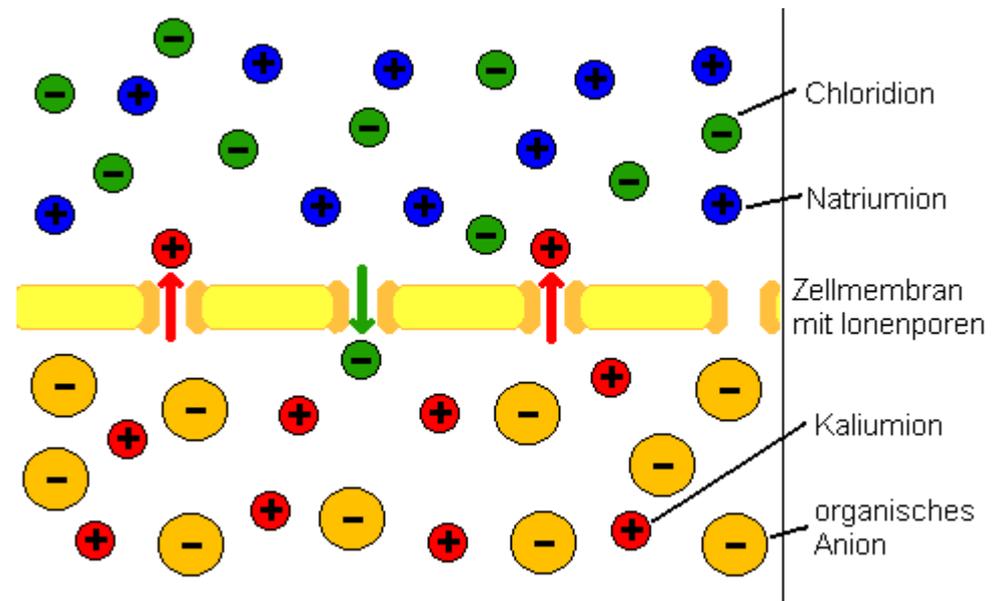
Während nun Kalium- und negativ geladene Chloridionen (Cl⁻) durch die Ionenkanäle diffundieren können, ist die Zellmembran für Natriumionen praktisch undurchlässig.

Wegen ihrer hohen Konzentration im Zellinneren strömen Kaliumionen laufend durch die Membranporen ins Außenmedium.

Chloridionen, deren Konzentration im Außenmedium höher ist, diffundieren in geringerem Umfang ins Innere der Zelle. Dadurch entsteht außerhalb der Zelle ein Überschuß an positiv geladenen, innen dagegen ein Überschuß an negativ geladenen Ionen.

Außen – extrazellulärer Raum (+)

Innen – intrazellulärer Raum (-)



Ionenkanäle spielen eine entscheidende Rolle bei der Kommunikation von Nervenzellen und der Innervation von Muskeln

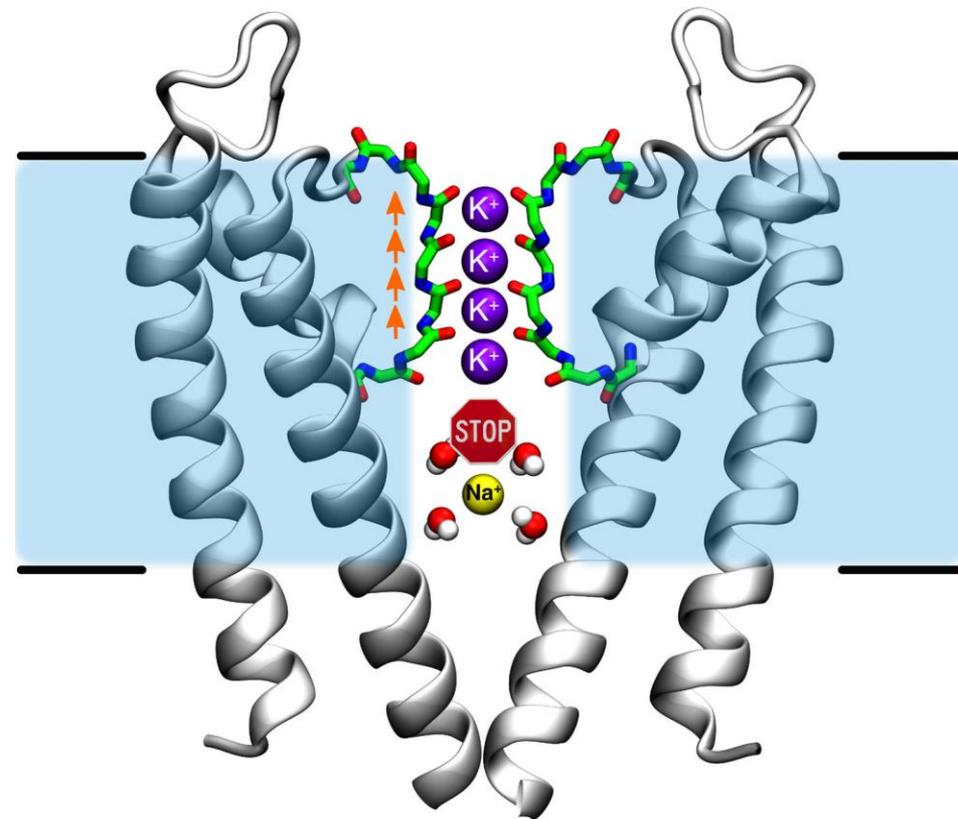
Es sind Poren in der Zellmembran die ermöglichen geladenen Teilchen (Ionen) in rasanter Geschwindigkeit in Zellen hinein- und wieder hinauszuströmen

Viele Ionenkanäle sind auf eine bestimmte Ionensorte spezialisiert

Kaliumionen passieren die Kanäle trotz der positiven Ladung und der Abstoßung dicht hintereinander

Nur Kaliumionen können ihre Wasserhülle abstreifen, um den engen Ionenkanal zu passieren

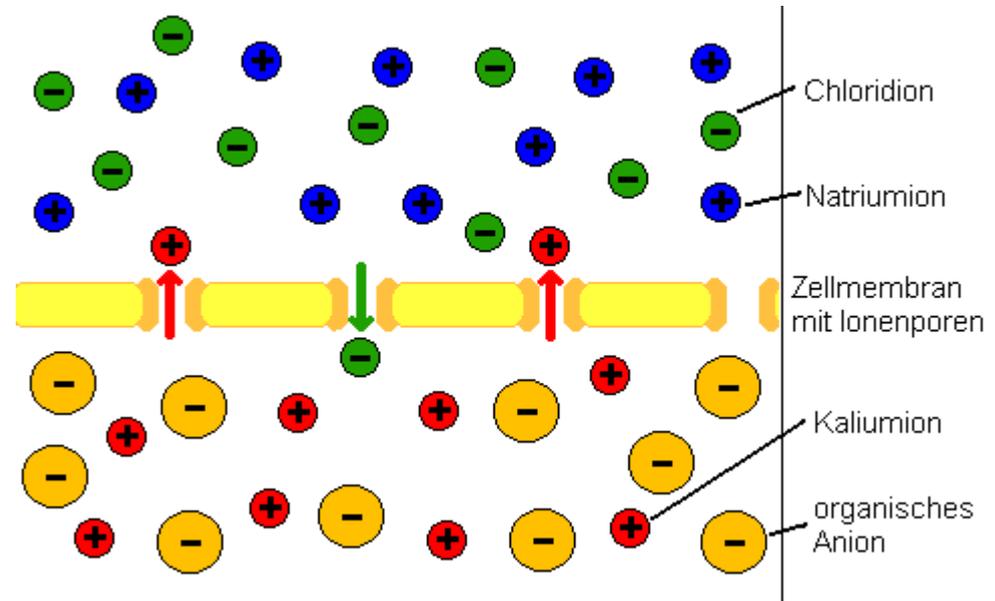
Kaliumkanäle lassen nur Kaliumionen (K^+) hindurch, während Natriumionen (Na^+) zuverlässig am Durchfluss gehindert werden



© Wojciech Kopec / Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie

Außen – extrazellulärer Raum (+)

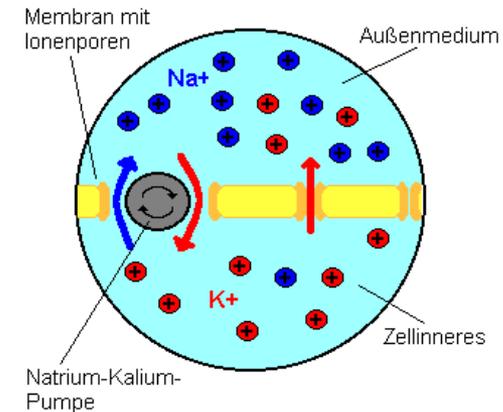
Innen – intrazellulärer Raum (-)



Durch diese Potentialdifferenz wird der Ausstrom der Kaliumionen gebremst, so daß sich ein Gleichgewichtszustand zwischen der nach außen gerichteten Diffusionstendenz und der nach innen gerichteten elektrischen Anziehung für Kaliumionen einstellt. Umgekehrt gilt dies für die Chloridionen. Es resultiert ein Gleichgewichtszustand, bei dem das Zellinnere gegenüber dem Zelläußeren negativ geladen ist.

Dieser Gleichgewichtszustand wird als **Ruhepotential** bezeichnet.

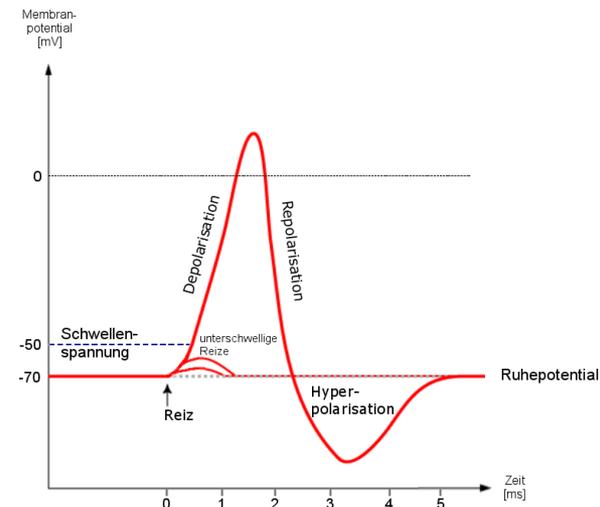
In der Membran eines Axons befinden sich spannungsgesteuerte Porenproteine, deren Durchlässigkeit vom Membranpotential abhängig ist. Beim Ruhepotential sind die Natriumkanäle geschlossen, nur ein Teil der Kaliumporen ist geöffnet.

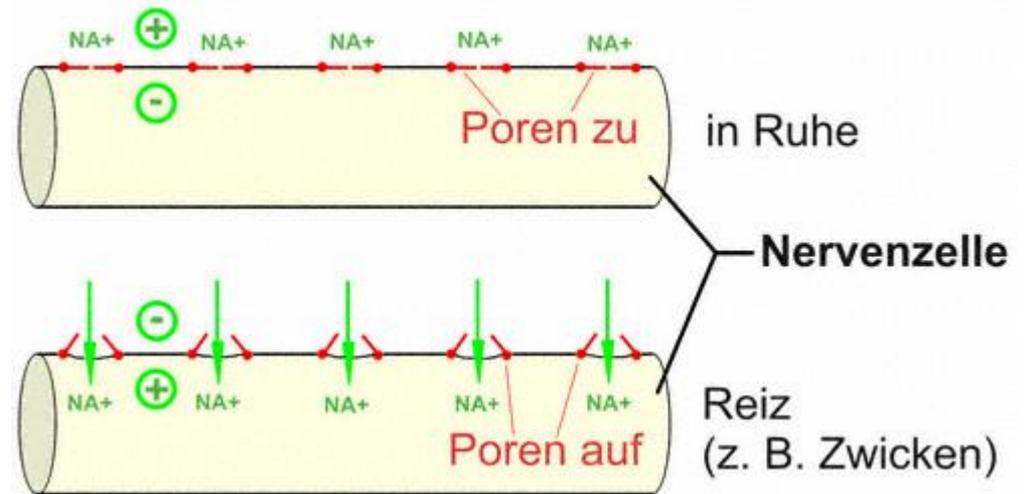
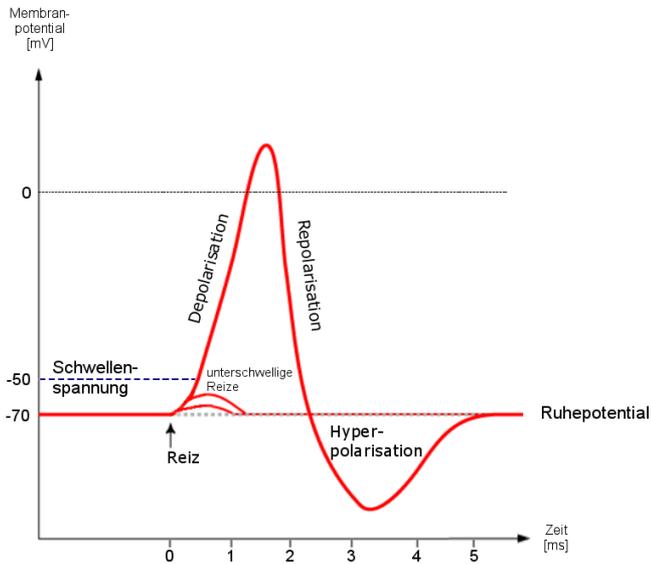


Durch geringen Ausstrom von Kaliumionen entsteht das **Ruhepotential**. Das Zellinnere ist gegenüber dem Außenmedium negativ geladen.

Wird das Axon durch einen elektrischen Reiz etwas depolarisiert, öffnen sich einige Natriumporen.

Erst wenn die Depolarisation einen Schwellenwert erreicht, öffnen sich alle Natriumkanäle, während die Anzahl der durchlässigen Kaliumporen zunächst unverändert bleibt. Deshalb strömen zu Beginn des Aktionspotentials mehr Natriumionen nach innen als Kaliumionen nach außen, so daß im Inneren des Axons ein Überschuß an positiver Ladung entsteht.





Die Membran ist also gegenüber dem Ruhezustand umgekehrt geladen.

Nach 1-2ms schließen sich die Natriumporen wieder, während sich alle noch geschlossenen Kaliumkanäle öffnen. Durch einen erhöhten Ausstrom an Kaliumionen kehrt das Membranpotential rasch wieder zum Ruhewert zurück.

Elektrische Nervenleitung

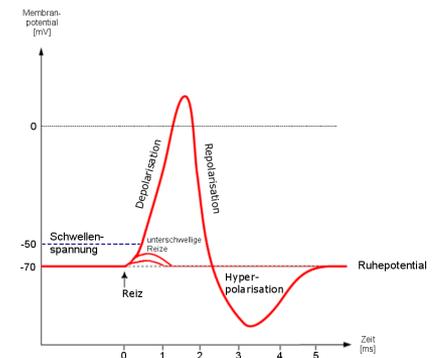
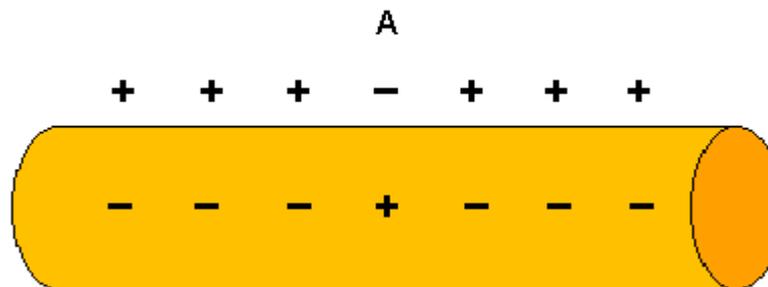
Die Weiterleitung des Aktionspotentials erfolgt so:

Entsteht durch Reizung einer bestimmten Stelle ein Aktionspotential, grenzen an dieser Stelle positive und negative Ladungen ohne trennende Membran aneinander.

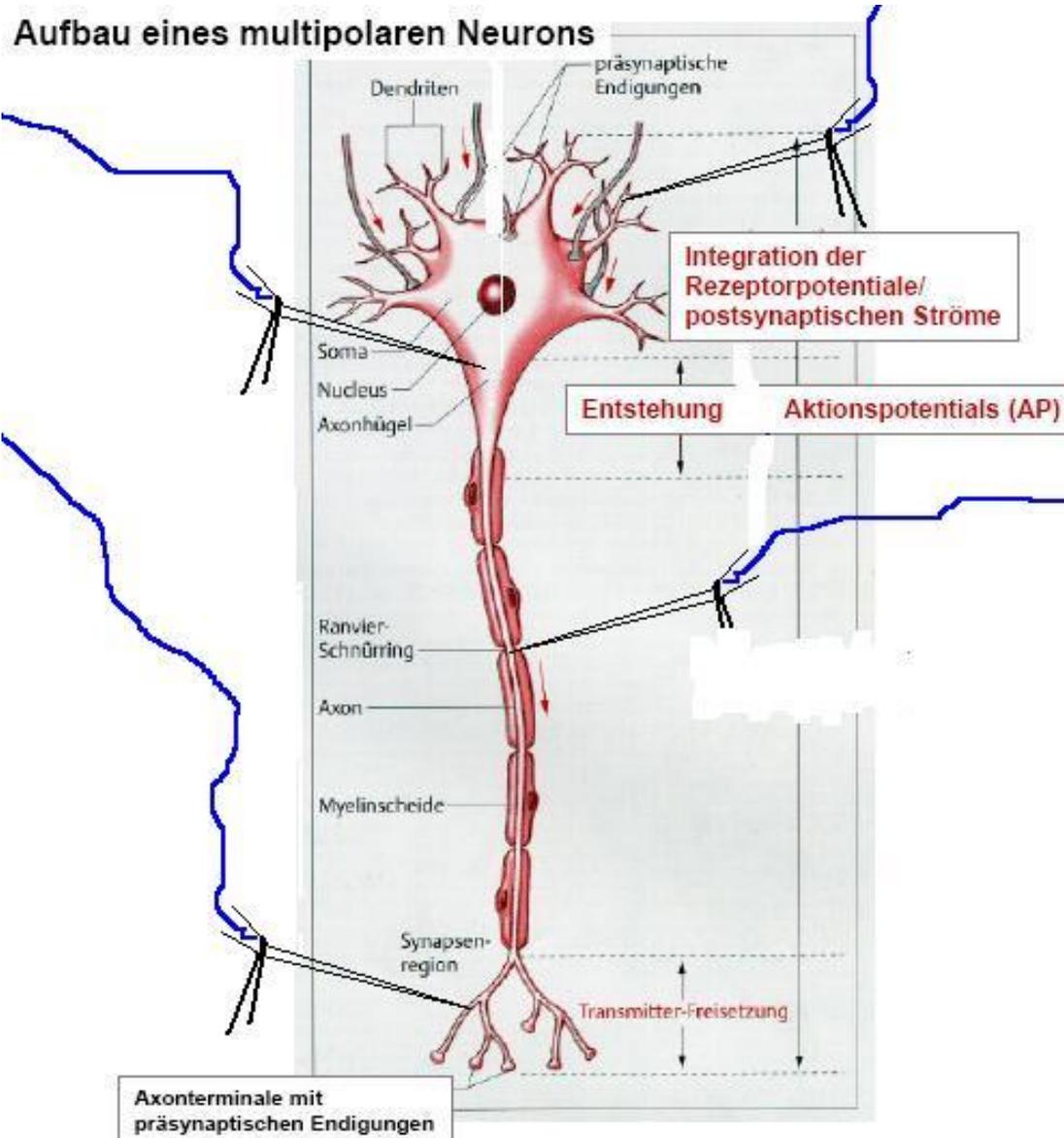
Es entstehen Ausgleichsströme, da sich Ionen unterschiedlicher Ladung gegenseitig anziehen. Das Membranpotential der benachbarten Stellen wird auf diese Weise erniedrigt. Ist der Schwellenwert erreicht, entsteht auch hier ein Aktionspotential.

Diese neu entstandenen Aktionspotentiale erniedrigen ihrerseits wieder das Aktionspotential benachbarter Stellen. Dies geschieht auch an der ursprünglichen Reizstelle, die jedoch noch unerregbar ist, so daß hier kein Aktionspotential entsteht.

Nervenfaser, bei A gereizt



Nervenleitung

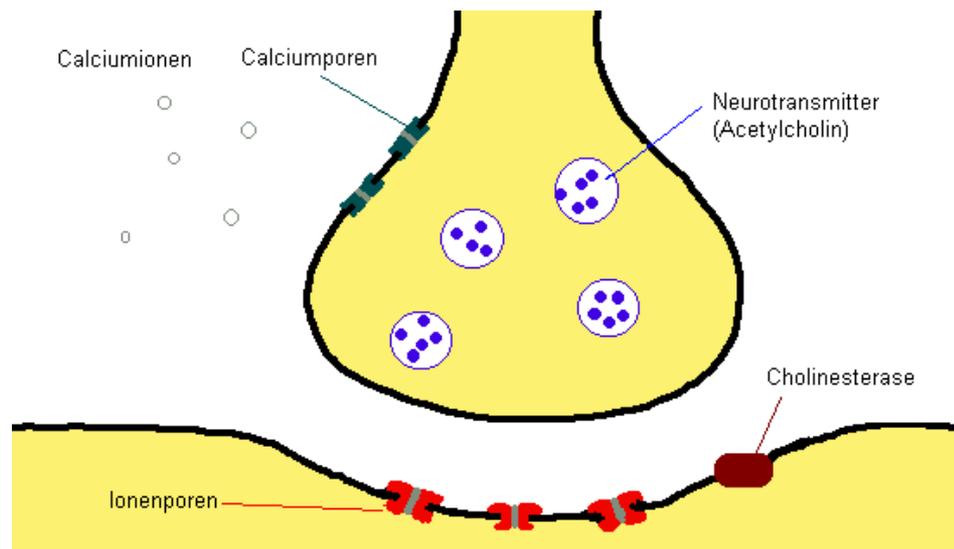


Funktionsweise - Synapse

Die Neurotransmitter werden in den Nervenzellen produziert und wandern in kleinen Bläschen zum Endköpchen des Axons der Synapse.

Innerhalb weniger Millisekunden wird durch das Aktionspotential der Nervenzelle, die Freisetzung der Neurotransmitter induziert. Durch die Öffnung spannungsaktivierter Calciumkanäle kommt es zum Anstieg der intrazellulären Calciumionenkonzentration.

Die Vesikel binden sich daraufhin an die präsynaptischen Membran und der Inhalt der Vesikel wird dann in den synaptischen Spalt freigesetzt.

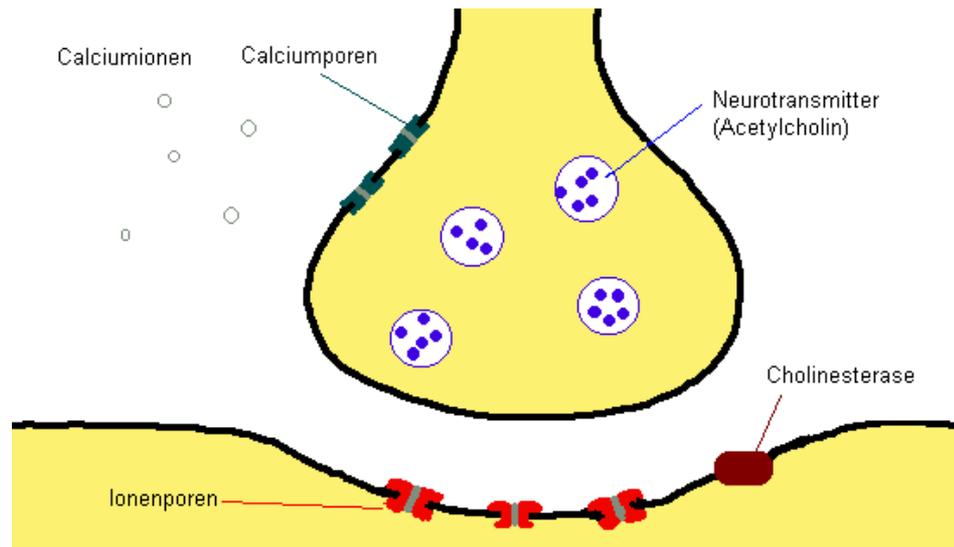


Funktion der Synapse

An der Synapse wird das elektrische zunächst in ein chemisches Signal umgewandelt: Das ankommende elektrische Signal (Aktionspotential) führt dazu, dass an der präsynaptischen Membran chemische Botenstoffe (Neurotransmitter) ausgeschüttet werden.

Diese chemischen Botenstoffe diffundieren durch den synaptischen Spalt zur gegenüberliegenden Zelle (postsynaptische Membran) und bewirken dann je nach Art des Neurotransmitters einen elektrischen Impuls (hemmende oder aktivierende Neurotransmitter).

Somit unterscheidet man exzitatorische oder inhibitorische Synapsen.

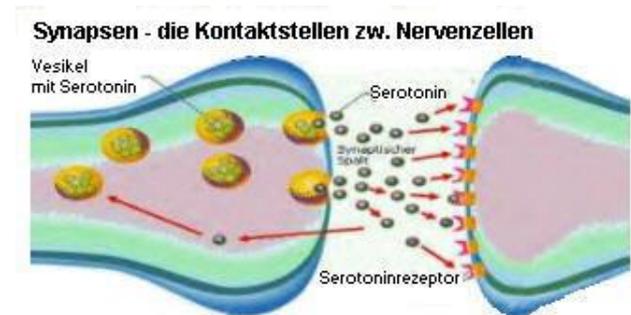


Reizleitung: Signalmodulation

Wichtig für das Verständnis der Weiterleitung des Nervensignals ist, daß das Aktionspotential immer die gleiche Amplitude und die gleiche Form besitzt. Das bedeutet, daß ein einzelnes Signal außer durch den Ort, an dem es gesendet wird, keine Informationen tragen kann. Die Information wird also über die Frequenz der Aktionspotentiale sowie die Dauer der Entstehung von Aktionspotentialen codiert.

Interessant ist auch, daß sich die Eigenschaften einer Synapse kurz- oder längerfristig ändern können. Bei wiederholter Reizung kann eine verminderte Ausschüttung des Neurotransmitters erfolgen. Dies bezeichnet man als Habituation (Gewöhnung). Andererseits kann die Ausschüttung der Transmitter auch erhöht werden, also eine Sensibilisierung erfolgen.

Während Habituation und Sensibilisierung nur verhältnismäßig kurze Zeit anhalten, gibt es auch längerfristige Veränderungen der Aktivität von Synapsen, die durch strukturelle Veränderungen der Synapsenregion entstehen.

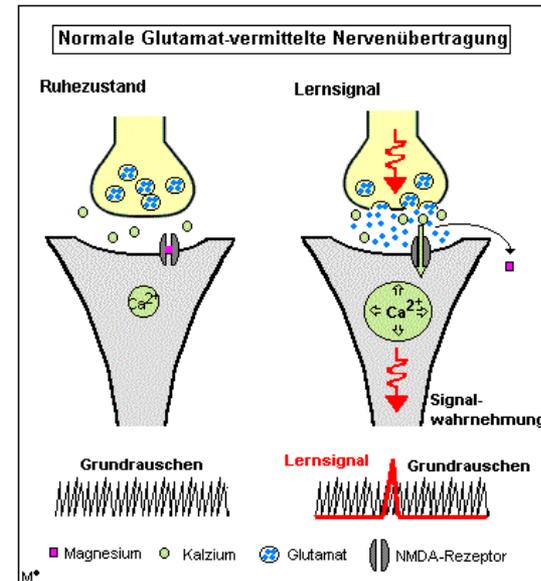


Grundsätzlich unterscheidet man:

hemmende (inhibitorische) und **erregende** (excitatorische) Synapsen

Je nach **Neurotransmitter** unterscheidet man:

cholinerge, adrenerge, dopaminerge, serotonerge, glutamaterge, glycinerge, GABA-erge, nikotinerge und peptiderge Synapsen



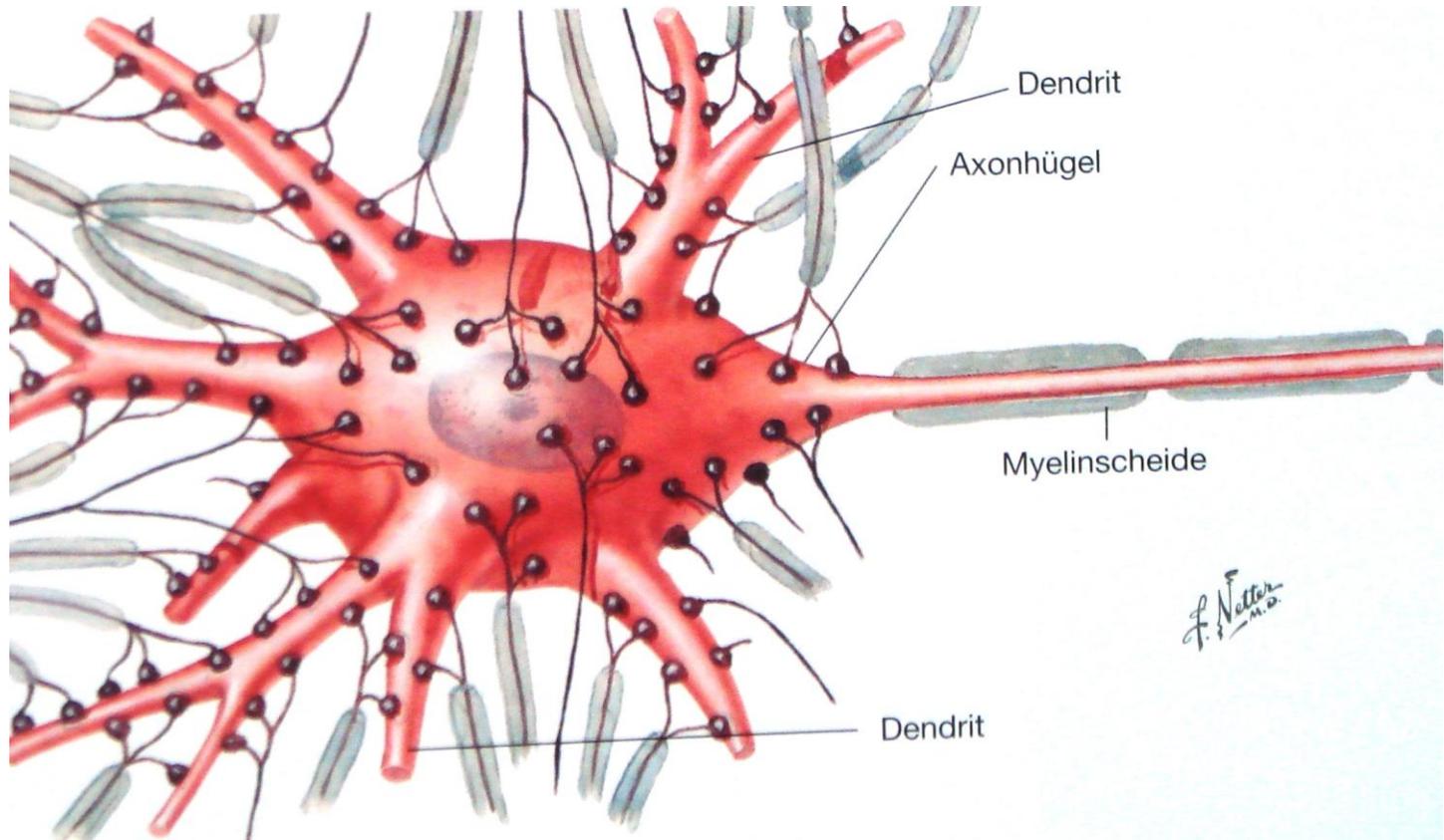
Effektorsynapsen enden an verschiedenen Drüsen oder an Muskelzellen

Rezeptorsynapsen dienen der sensiblen Innervation

Interneuronalen Synapsen stellen den Kontakt zwischen einzelnen Nervenzellen auf unterschiedlichste Weise her (dieser Typ ist am häufigsten im Gehirn vorhanden)

Die Mehrzahl der Synapsen arbeitet mit einer **chemischen** Informationsübertragung, es gibt aber auch eine direkte elektrische Weiterleitung.

In **elektrischen** Synapsen wird das Aktionspotential direkt und ohne Umwege auf die nachfolgende Zelle weitergeleitet über direkte Verbindungskanäle (Gap junctions), darüber sind Zellinnenräume unmittelbar aneinander grenzender Zellen miteinander gekoppelt.



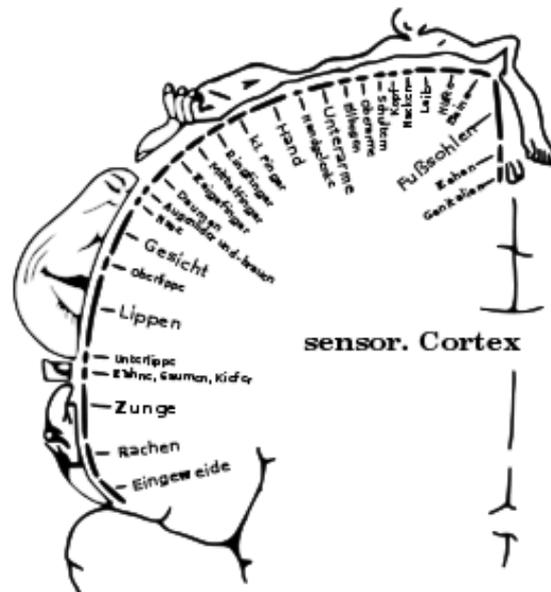
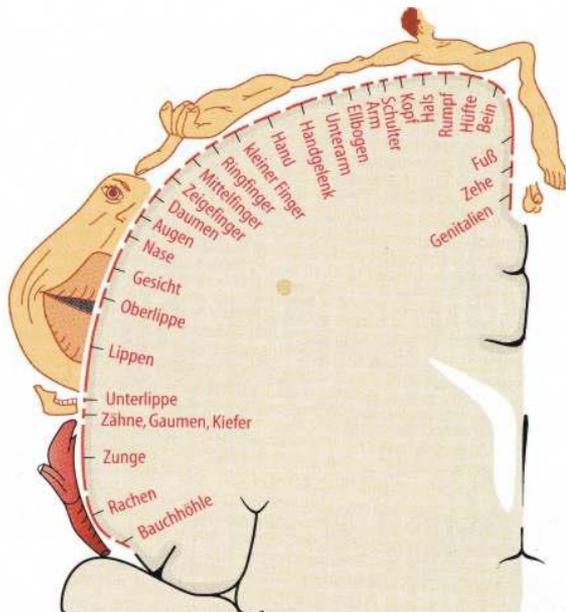
Motorische Region (*Gyrus präzentralis*)

Fritsch und Hitzig hatten 1870 durch Experimente am Hund erkannt, dass die Reizung bestimmter Rindenfelder am Gehirn zu definierten motorischen Reaktionen führt

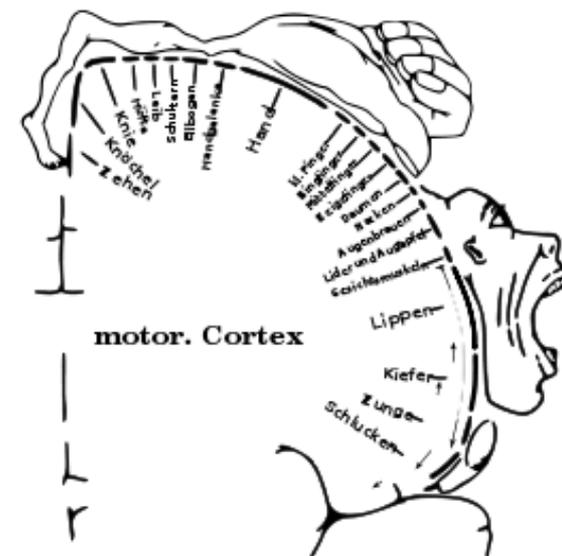
Diese Ergebnisse wurden von David Ferrier 1890 durch Versuche am Affen bestätigt

John Hughlings Jackson bestätigte dann allein aus der genauen Beobachtung fokaler Anfälle die im Wesentlichen zutreffenden Theorien über die Organisation der motorischen Systeme beim Menschen

Homunculus (lat. „Menschlein“)



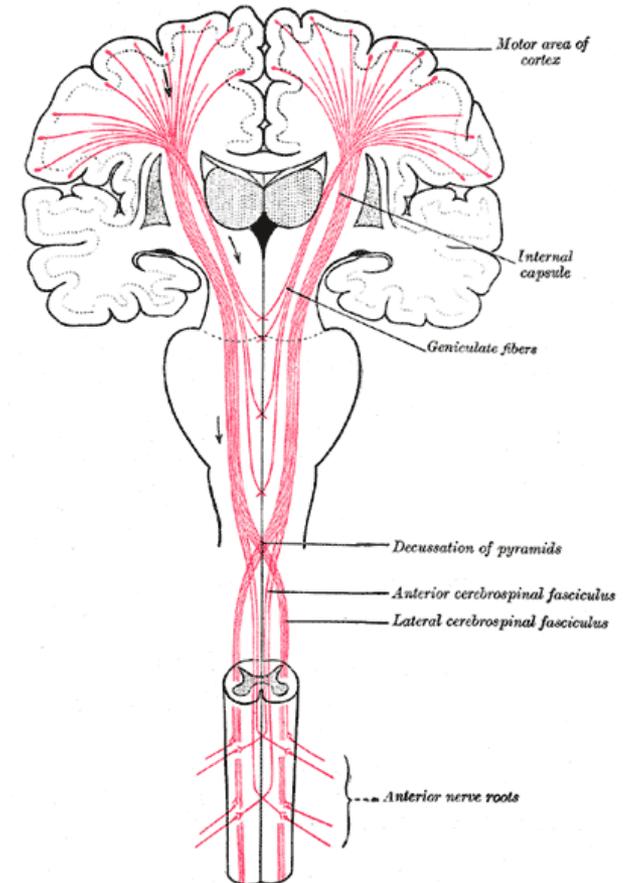
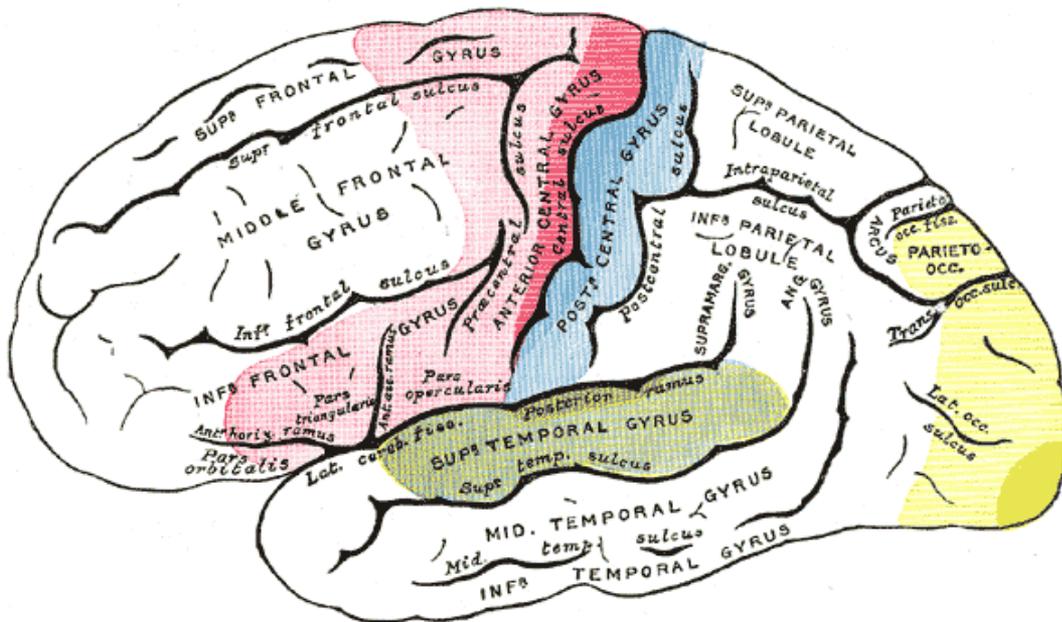
sensor. Cortex



motor. Cortex

Motorische Region (*Gyrus präzentralis*)

Die Entdeckung der Bedeutung und der somatotopen Gliederung der primär-motorischen Rinde beim Menschen geht auf den kanadischen Neurochirurgen Penfield zurück. Erst 1949 bewies er dass durch schwache elektrische Reizung der Hirnrinde von wachen Patienten bei offener Schädelkalotte, sich durch Stimulation des *Gyrus praecentralis* Zuckungen in konkreten Muskelgruppen auslösen lassen



Der **Tastsinn** und das **Temperaturempfinden** der Haut ist im **Gyrus postcentralis** lokalisiert. Die erfassten sensorischen Signale werden über das Zentralnervensystem an das Gehirn zum **somatosensorischen Cortex** zur Weiterverarbeitung geleitet. Aufgrund seiner Eigenschaften, kann der Tastsinn Größe, Gewicht, Form und Oberfläche eines ertasteten Gegenstandes bestimmen.

Berührung und Druck werden von zwei Rezeptortypen verarbeitet. Die sogenannten **Vater-Pacinischen Körperchen** (Vibration) sind für Berührung im **großflächigen** Sinne zuständig, während die **Merkelschen Scheiben** auf **örtlich exakt** bestimmbare Berührung reagieren. **Haarfollikelrezeptoren** und **Meissnersche Tastrezeptoren**.

Die **Wärmerezeptoren** der Haut, **Ruffinische Endbüschel** und die entsprechenden **Kälterezeptoren**, sogenannte **Krausesche Endkolben** ermitteln die Temperatur an der Hautoberfläche.

Durch die gemeinsame Ergebnisanalyse können **Dauer, Ort und Stärke** der jeweiligen Berührung genau ermittelt werden. Wie beim motorischen Cortex gibt es beim sensorischen Cortex einen **sensiblen Homunculus**.

Das Gesicht und die Hände sind großflächig auf dem sensorischen Cortex repräsentiert, sie haben einen sehr ausgeprägten Tasts- und Berührungssinn, während der übrige Körper deutlich weniger empfindlich ist. Beispiel Cornea!

Als **Oberflächensensibilität** bezeichnet man Empfindungen, die über **Rezeptoren** in der Haut wahrgenommen werden (Mechano-, Thermo- und Schmerzrezeptoren).

Der Tastsinn wird als Oberbegriff für die **taktile** (*das Tasten betreffend - passiv*) und die **haptische** (*auf dem Tastsinn beruhend - aktiv*) **Wahrnehmung** verwendet.

Der Begriff **Tiefensensibilität** bezeichnet die Wahrnehmung bestimmter **Reize aus dem Körperinneren**. Abhängig von der Lage der Rezeptoren unterscheidet man die Tiefen- und die Oberflächensensibilität.

Tiefensensibilität umfasst:

Lagesinn (Informationen über die Position des Körpers im Raum und die Stellung der Gelenke und des Kopfes)

Kraftsinn (Informationen über den Spannungszustand von Muskeln und Sehnen)

Bewegungssinn (Bewegungsempfindung und das Erkennen der Bewegungsrichtung)

Gehirn und Zentrales Nervensystem

Diskussion & Fragen

Struktur, Informationstransfer, Reizverarbeitung, Neurophysiologie und Therapie

