

Grundvorlesung Tierphysiologie SS 2004

START

Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

Themen:

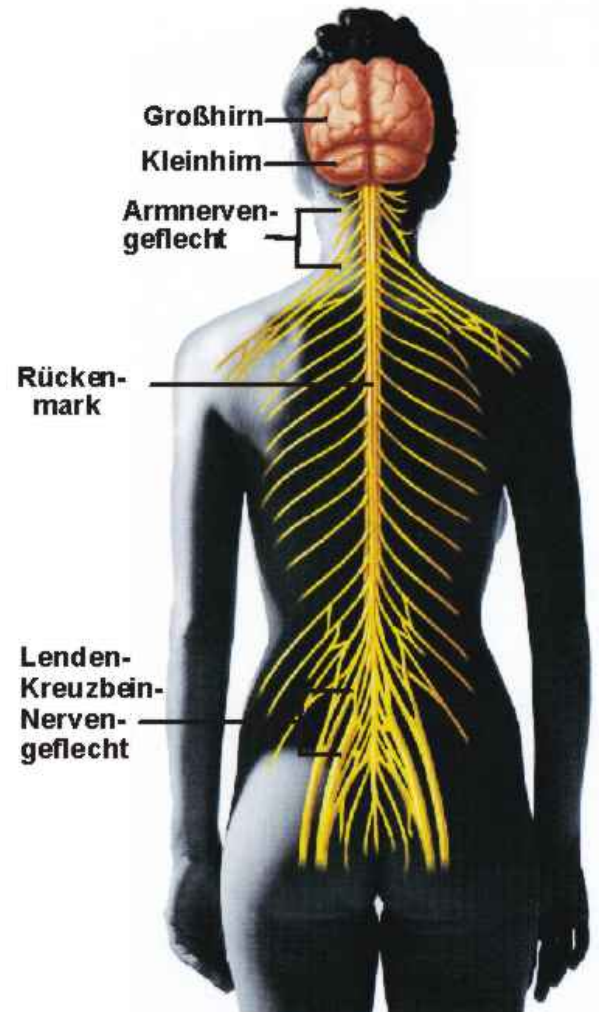
- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzunterdrückung](#)
- [Rekurrente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Spinalnerven und Rückenmark

Die Sinneszellen der Haut, der Gelenke, des Bauchraumes und der Muskeln erreichen das zentrale Nervensystem durch die Spinalnerven. Zu diesen Sinneszellen gehören Berührungs- und Vibrationssensoren, Temperatursensoren, Stellungssensoren und Muskelspindeln sowie Schmerzzellen. Die Spinalnerven fassen die Axone dieser sensorischen Neurone zusammen und leiten sie ins Rückenmark.

Die Wirbelsäule besteht aus 31 Wirbeln, die die 33 Segmente des Rückenmarks beinhalten (8 Halssegmente, 12 Brustsegmente, 5 Lendensegmente, 5 Kreuzbeinsegmente, 3 Steißbeinsegmente). Jedes Segment wird von zwei Spinalnerven versorgt, die sowohl sensorische Afferenzen als auch motorische Efferenzen (Motonaxone) beinhalten. Sensorische und motorische Fasern verlaufen nur unmittelbar am Rückenmark getrennt (siehe unten).

Aus: Weitz, B. (1998)
Atlas der Anatomie
Weltbild Verlag

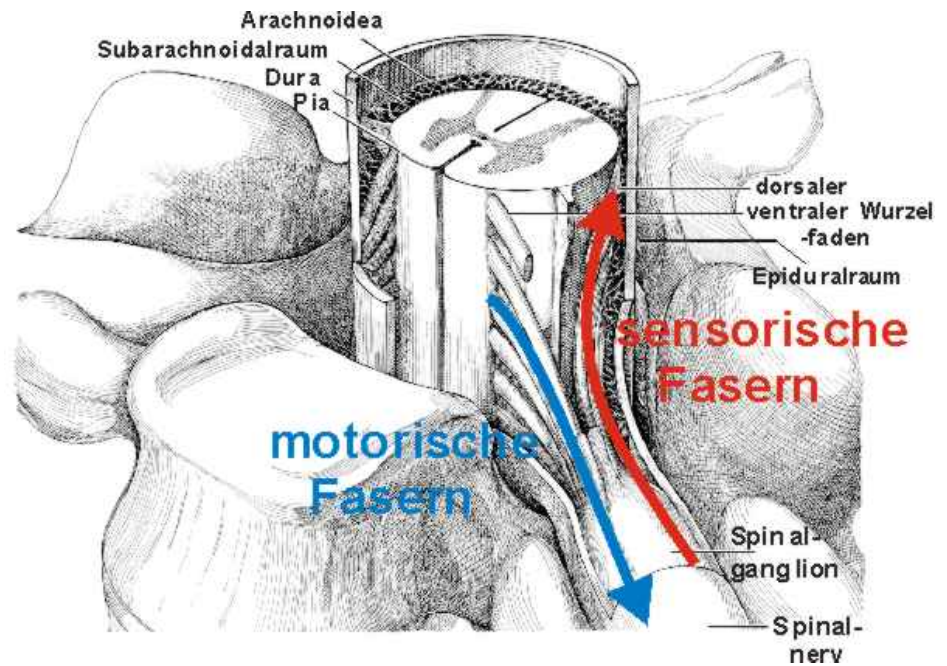
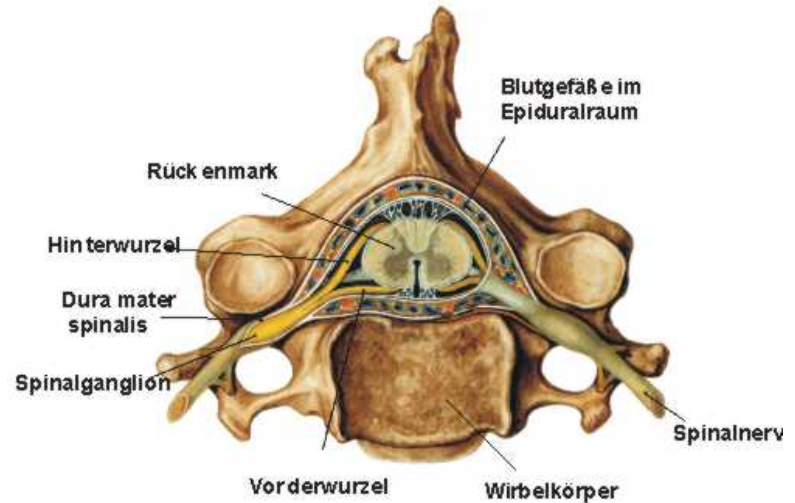


Im Querschnitt des Rückenmarks erkennt man eine zentrale Schmetterlingsform (graue Substanz) und um diese herum eine weisse Substanz. In der grauen Substanz befinden sich die Zellkörper der Rückenmarksneurone sowie die meisten Synapsen. Die weisse Substanz wird hauptsächlich durch myelinisierte Axone gebildet. Die Verschaltung der Neuronen findet also in der grauen Substanz statt, während im Bereich der weissen Substanz die "Kabelstränge" zum Gehirn liegen.

Die in den Spinalnerven gesammelten Nervenfasern werden in den Wirbelkörpern in sensorische und motorische Fasern sortiert. Die sensorischen gelangen durch die Hinterwurzeln zu den Hinterhörnern des Rückenmarks. Die motorischen Fasern entspringen in den Vorderhörnern und verlaufen durch die Vorderwurzeln zu den Spinalnerven.

In den Spinalganglien befinden sich die Zellkörper (Somata) der sensorischen Neuronen. Die Zellkörper der Motoneurone liegen in den Vorderhörnern.

Darstellung des Rückenmarks mit seinen Häuten (Dura, Pia, Arachnoidea) und dem Verlauf sensorischer und motorischer Fasern eines Spinalnervs.



Grundvorlesung Tierphysiologie SS 2004

START

Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

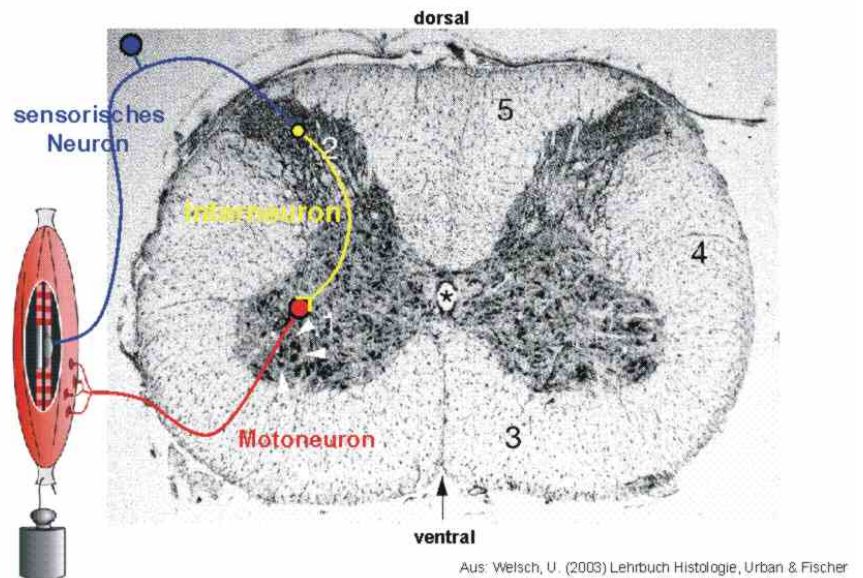
Themen:

- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzunterdrückung](#)
- [Rekurrenente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Reflex und Weiterleitung

In einer Golgi-Färbung eines Rückenmark-Querschnitts erkennt man deutlich die schmetterlingsförmige graue Substanz. Darin sind die großen Zellkörper der Motoneurone in den beiden Vorderhörnern gut zu sehen, die kleineren Zellkörper der afferenten (zum Gehirn führenden) Projektionneurone in den Hinterhörnern sind nur schwer auszumachen.

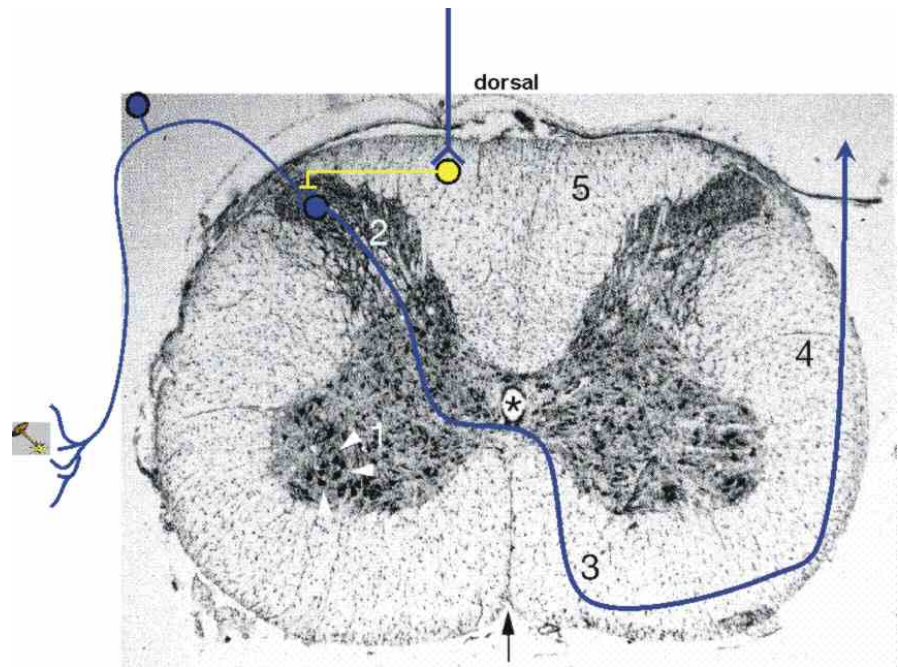
In einem **Reflexbogen** wird eine Motoneuron direkt oder über ein Interneuron von einem sensorischen Neuron gesteuert. Als Beispiel ist hier der Muskeldehnungsreflex schematisch abgebildet. Ein sensorisches Neuron, das in einer Muskelspindel die Dehnung des Muskels misst, bildet im Hinterhorn eine Synapse mit einem Interneuron. Wird der Muskel gedehnt, feuert das sensorische Neuron und erregt das Interneuron. Das Interneuron aktiviert über eine Synapse das Motoneuron, das seinerseits eine Muskelkontraktion auslöst und die Muskeldehnung kompensiert. In einigen Fällen funktionieren Reflexbögen (speziell der Muskeldehnungsreflex) auch ohne Interneuron (monosynaptischer Reflex).



Weiterleitung von sensorischer Information am Beispiel einer Schmerz zelle (Nozizeptor). Der Nozizeptor wird durch Verletzung der Haut aktiviert und leitet die Erregung ins Hinterhorn. Sein Zellkörper liegt in einem Spinalganglion. Der Nozizeptor bildet eine Synapse mit einem afferenten Projektionsneuron, das die Schmerzinformation zum Gehirn leitet. Das Axon des Projektionsneurons durchquert dazu zunächst das Rückenmark und steigt dann im **kontralateralen Vorderseitenstrang** zum Gehirn auf.

Die Weiterleitung kann aber auch unterbrochen werden. Absteigende (vom Gehirn kommende) Axone kontrollieren Interneurone in den Hinterhörnern (**gelb**), die die synaptische Weiterleitung des Schmerzsignals verhindern. Diese Interneurone gehören zum körpereigenen System der Schmerzunterdrückung, ihr Transmitter sind Endorphine und Enkephaline.

Die Blockierung der Nozizeptor-Synapse ist nur ein Beispiel für die vielfältigen **inhibitorischen Verschaltungen** im Rückenmark. Hemmende Synapsen sind die weithaus häufigsten neuronalen Zellverbindungen im Rückenmark.



Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

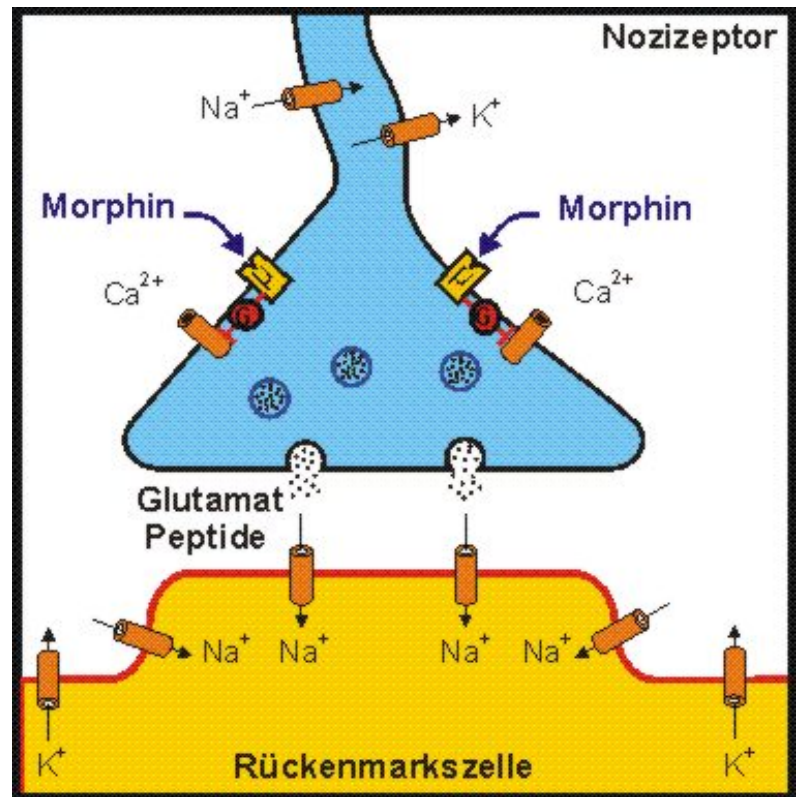
Themen:

- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzunterdrückung](#)
- [Rekurrente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Schmerzunterdrückung

Die präsynaptische Membran der Synapsen von Nozizeptoren (blau) enthält metabotrope Rezeptoren des körpereigenen Systems zur Schmerzunterdrückung (**μ -Opioid-Rezeptoren**). Morphin, eine schmerzstillende Substanz aus dem Schlafmohn *Papaver somniferum*, bindet an diese Rezeptoren und aktiviert sie. Über ein GTP-bindendes Protein (G) hemmen die Rezeptoren die Öffnung der präsynaptischen N-Typ Calciumkanäle. Dadurch wird der Calcium-Einstrom verhindert, der für die Transmitterfreisetzung notwendig ist: Die Signalweiterleitung ist blockiert - das Schmerzsignal wird nicht auf das afferente Projektionsneuron (gelb) übertragen.

Die physiologischen, körpereigenen Liganden der Opioidrezeptoren sind Endorphine und Enkephaline, kleine Peptide, die aus inhibitorischen Interneuronen ausgeschüttet werden, wenn diese selbst durch absteigende Axone an serotonergen Synapsen aktiviert werden.



Das Rückenmark

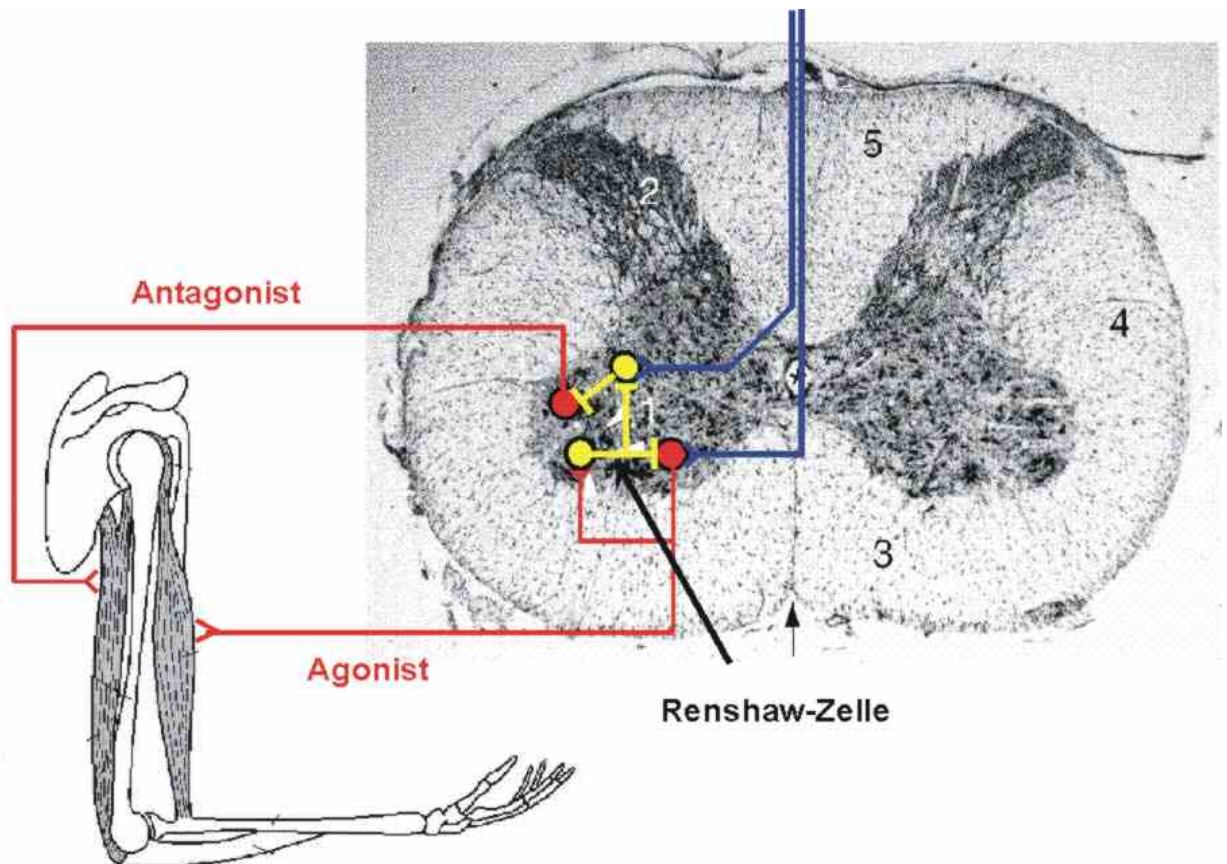
Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

Themen:

- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzünterdrückung](#)
- [Rekurrenente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Rekurrenente Hemmung

Wie kommen abgestufte, genau kontrollierte Bewegungen zustande? Die einfache Aktivierung eines Muskels reicht nicht aus, um subtile Bewegungen zu erzeugen. Bewegungskontrolle beruht immer auf einem Wechselspiel von muskulärer und neuronaler Hemmung und Aktivierung. Soll der Unterarm gehoben werden, wird der Bizeps (Armbeuger)



aktiviert und der Trizeps (Armstrecker) entspannt. Diese Aktivierung des Agonisten und Hemmung des Antagonisten geschieht durch zwei separate Motoneurone, die ihre Befehle durch absteigende Axone aus dem Gehirn erhalten. Dabei wird die Hemmung des Antagonisten durch ein **inhibitorisches Interneuron (gelb)** vermittelt. Inhibitorische Interneurone vermitteln auch die **rekurrente Hemmung** (rückläufige Hemmung, Selbsthemmung), mit der ein Rückenmarksneuron seine eigene Aktivität begrenzen kann. Im hier gezeigten Beispiel dämpft das Neuron, das den Agonisten steuert, seine eigene Aktivierung und schwächt durch dasselbe Interneuron die Hemmung des Antagonisten ab. Beide Prozesse werden durch ein inhibitorisches Interneuron - eine **Renshaw-Zelle** vermittelt. Das Rückenmark verfügt über ein dichtes Geflecht solcher inhibitorischen Interneurone. Sie sind die Grundlage für die genaue Dosierung der neuronalen Befehle, die an die Skelettmuskulatur ausgegeben werden. Der Neurotransmitter dieser Interneurone ist **Glyzin**.

Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

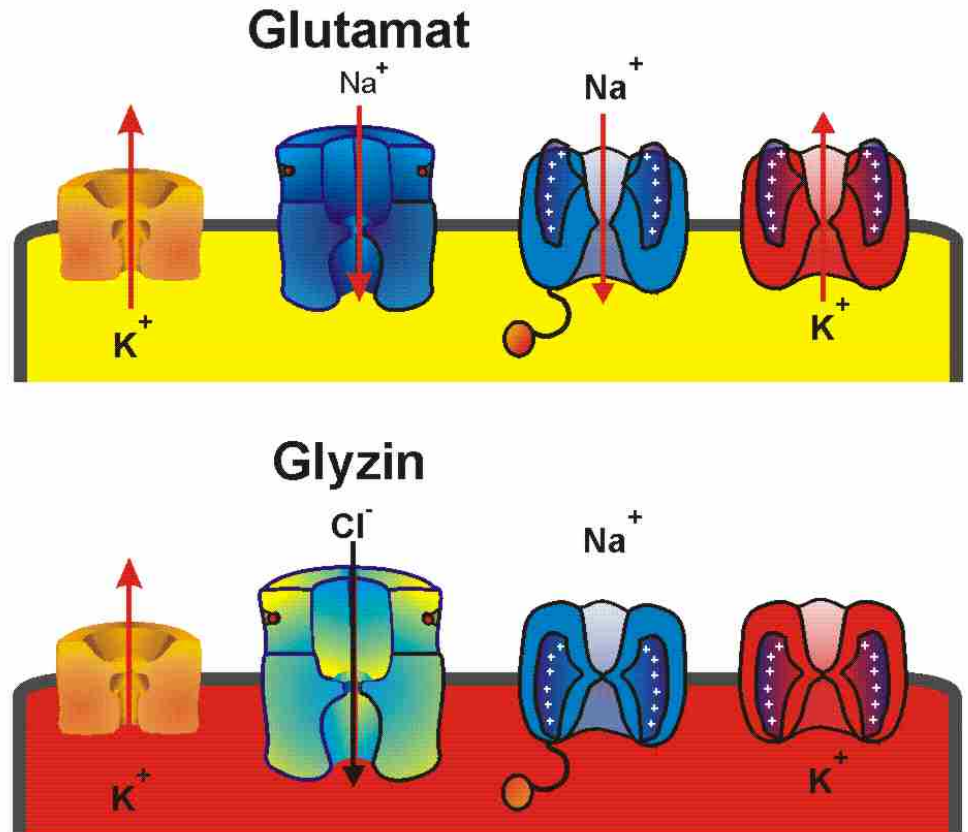
Themen:

- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzunterdrückung](#)
- [Rekurrente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Glutamat und Glyzin

Der wichtigste exzitatorische Neurotransmitter im Rückenmark ist **Glutamat**. Glutamat wird in glutamatergen Synapsen freigesetzt und öffnet **ionotrope Glutamatrezeptoren**. Je nach Affinität für synthetische Agonisten unterscheidet man drei Typen von Glutamatrezeptoren: NMDA-Rezeptoren werden durch N-Methyl-D-Aspartat aktiviert, AMPA-Rezeptoren durch Aminohydroxy-Methylisoxazol-Propionsäure und Kainat-Rezeptoren durch Kainat. Alle drei leiten Na-Ionen und dazu unterschiedliche Mengen von Ca-Ionen. Bei Öffnung depolarisieren sie die postsynaptische Membran und können dadurch Aktionspotentiale auslösen.

Der wichtigste inhibitorische Neurotransmitter im Rückenmark ist die Aminosäure **Glyzin**. Glyzin bindet an **ionotrope Glyzinrezeptoren** in der postsynaptischen Membran. Diese Rezeptoren leiten Chloridionen in die Zelle. Beim Einstrom von Chlorid wird das Ruhepotential der postsynaptischen Neurons stabilisiert - Depolarisation und das Auslösen von Aktionspotentialen werden verhindert.



Grundvorlesung Tierphysiologie SS 2004

START

Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

Themen:

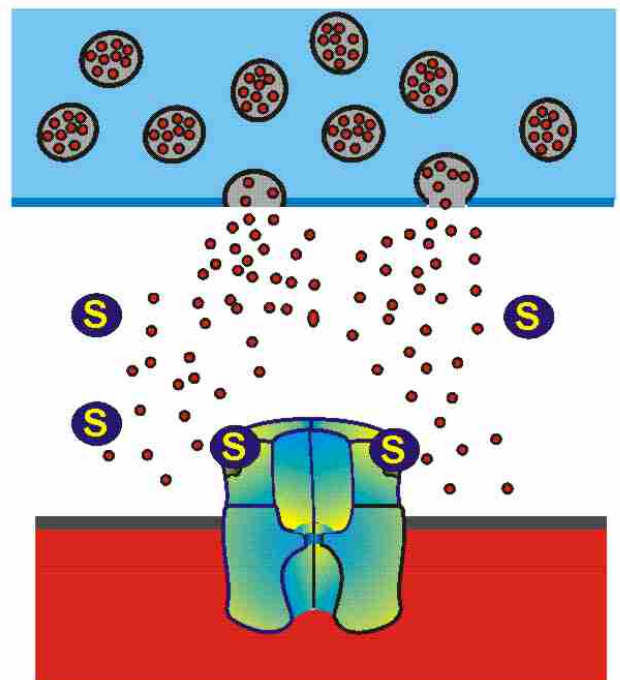
- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
- [Reflex und Weiterleitung](#)
- [Schmerzunterdrückung](#)
- [Rekurrente Hemmung](#)
- [Glutamat und Glyzin](#)
- [Strychnin und Tetanus](#)
- [Zusammenfassung](#)

Strychnin und Tetanus

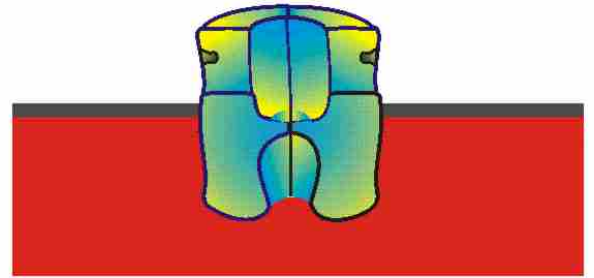
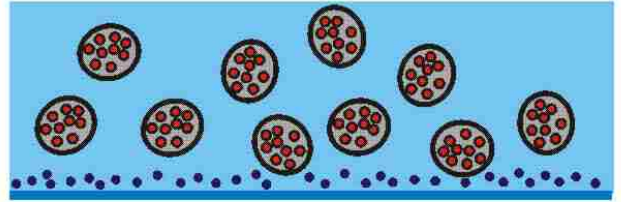
Die Bedeutung des inhibitorischen Systems im Rückenmark wird drastisch deutlich, wenn die glyzinerge synaptische Hemmung beschädigt oder unterdrückt wird. Ohne kontrollierende Inhibition kommt es bei der geringsten Erregung zur Dauerkontraktion großer Teile der Skelettmuskulatur - dem **Starrkrampf**. Dies kann bei erblich erworbenen Schäden (Mutationen) an den Glyzinrezeptoren auftreten ("Startle disease"). Starrkrampf tritt aber auch bei Vergiftung der glyzinerger Synapsen auf:



Strychnin, ein Alkaloid aus den Früchten von *Strychnos nux-vomica* (Brechnuss), wirkt an Glyzinrezeptoren als kompetitiver Antagonist: Strychnin verhindert die Glyzinbindung und damit die Öffnung der Chloridkanäle. Obwohl also Glyzin aus den präsynaptischen Nervenendigungen ausgeschüttet wird, kann es nicht auf die postsynaptische Membran wirken. Das inhibitorische Interneuron verliert somit seine Funktion



Bei einer Tetanus-Vergiftung wird schon die Ausschüttung von Glyzin verhindert. Das Toxin **Tetanospasmin** des Bakteriums *Clostridium tetani* verhindert die Fusion der glyzinhaltigen Vesikel mit der präsynaptischen Membran. Dadurch werden inhibitorische Interneurone wirkungslos, es kommt zu unkontrollierter Muskelkontraktion und damit zum Starrkrampf.



Grundvorlesung Tierphysiologie SS 2004

START

Das Rückenmark

Eingänge und Ausgänge des zentralen Nervensystems

Themen:

- [Spinalnerven und Spinalganglien](#)
 - [Reflex und Weiterleitung](#)
 - [Schmerzunterdrückung](#)
 - [Rekurrente Hemmung](#)
 - [Glutamat und Glyzin](#)
 - [Strychnin und Tetanus](#)
 - [Zusammenfassung](#)
-

Zusammenfassung

- Über die Spinalnerven gelangen sensorische Informationen vom Körper zum Rückenmark.
 - Die Zellkörper der somatosensorischen Neurone liegen in den Spinalganglien direkt an der Wirbelsäule. Ihre Synapsen liegen im Hinterhorn des Rückenmarks.
 - Im Vorderhorn liegen die Zellkörper der Motoneurone. Sie kontrollieren die Kontraktion der Skelettmuskulatur.
 - Motoneurone können durch Interneurone entweder gehemmt oder aktiviert werden.
 - Der wichtigste erregende Neurotransmitter im Rückenmark ist Glutamat, der wichtigste inhibitorische Glyzin.
 - Strychnin hemmt Glyzinrezeptoren, Tetanustoxin die Freisetzung von Glyzin. Beide können durch Unterdrückung des inhibitorischen Systems Starrkrampf erzeugen.
-