

# Gehirn, Rückenmark und Zellen: Eine Einführung in die Neurologie für Nicht-Neurologen

**Carlos A. Pardo, MD**

Johns Hopkins Transverse Myelopathy Center; Johns Hopkins University School of Medicine

Diesen Vortrag, gehalten auf dem *Rare Neuroimmunologic Disorders Symposium 2004*, kann man im englischen Original als Videoaufnahme sehen, wenn man auf [diesen Link](#) klickt.

*Meine Absicht in diesem Beitrag ist es, eine Einführung in die Funktionsweise und die Aufgaben von Gehirn und Rückenmark und dem Zusammenspiel dieser Organe zu geben. Wenn einmal klar ist, wie das Rückenmark funktioniert, wird auch die Transverse Myelitis verständlicher und auf welche Weise die Schädigung des Rückenmarks die vielen unterschiedlichen Symptome dieser Erkrankung verursacht.*

## **Grundlegende Begriffe**

Das Gehirn ist das wichtigste Organ des Körpers, da es die Aufgabe hat, alle Teile des Körpers zu steuern. Es spielt eine wesentliche Rolle in allen Aspekten des täglichen Lebens. Das Gehirn steht in Verbindung mit jeder Struktur des Körpers und produziert eine große Menge Informationen über den Körper; es dient aber auch als Empfänger einer wahren Flut von Informationen, die in Millionen und Abermillionen Zellen verarbeitet wird, die wir *Neuronen* nennen. Gehirn und Rückenmark bestehen aus Neuronen und anderen Zellen, die zusammen die Funktion dessen aufrechterhalten, was wir zusammenfassend das zentrale Nervensystem nennen. Die Neuronen sind das eigentliche Zentrum dieses Nervensystems.

Das Rückenmark ist Teil des Nervensystems und vereinfacht die Wechselwirkung zwischen dem Gehirn und dem Rest des Körpers. Das eigentliche Steuerungssystem befindet sich an der Spitze (das Gehirn) und das Rückenmark fungiert als Verbindungsbrücke, die in dauerndem Kontakt mit dem Gehirn steht und Informationen von allen Teilen des Körpers empfängt und an alle Teile des Körpers versendet. Wir haben beispielsweise die Fähigkeit, miteinander zu sprechen, weil das Gehirn einerseits in der Lage ist, Wörter zu bilden, andererseits verstehen wir, was andere Leute sagen, weil unser Gehirn die empfangenen Informationen verarbeiten kann. Wir sind fähig, Gegenstände zu heben, weil das Gehirn Befehle bildet, die an unsere Muskeln gehen und diese Befehle den Muskeln mitteilen, wie sie sich zu bewegen haben. Die gesamte Information, die an die Muskeln in unseren Gliedern gerichtet ist, wird über das Rückenmark übertragen.

## **Wo werden die Befehle gebildet?**

Die Arbeit des Gehirns wird von zig Milliarden Zellen verrichtet. Der für die Gehirnfunktion wichtigste Zelltypus ist das Neuron. Das Gehirn besteht aus Millionen Neuronen. Jedes Neuron ist eine Fabrik – eine chemische und elektrische Fabrik, die dauernd in Betrieb ist. Schon vor der Geburt beginnen die Neuronen sich auf ihre atemberaubende Tätigkeit vorzubereiten, die chemische und elektrische Aktivitäten verbindet.

Das Gehirn wird oft mit einem Computer verglichen. Es wäre angebrachter zu sagen, deren Schöpfer hätten die Computer dem Gehirn nachempfunden, da dieses ein konkurrenzloses

Beispiel für Organisation darstellt. Das Gehirn hat eine äußerst komplexe Struktur. All die Neuronen genannten Zellen sind sehr gut organisiert und mit verschiedenen Bereichen des Gehirns verbunden. Das Gehirn lässt sich mit einem Schwamm vergleichen; ein Schwamm, der sämtliche Informationen aus der Innenwelt unseres Körpers aufsaugt und gleichzeitig Informationen aus unserer Umwelt sammelt. Diese Tätigkeit des Gehirns wird von allen Zellen unterstützt, die elektrische Aktivität generieren.



Abb. 1a: Rattengehirn – 30g

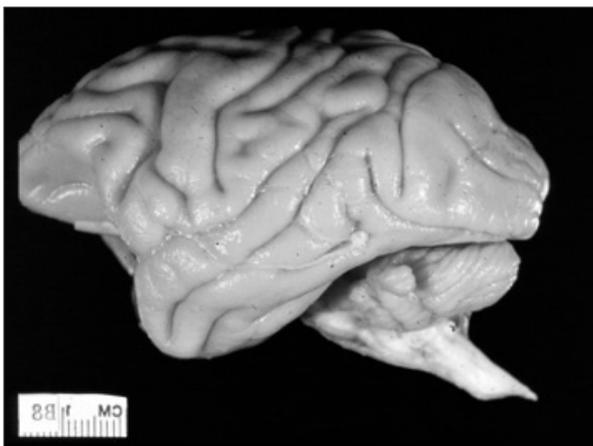


Abb. 1b: Affengehirn – 100g

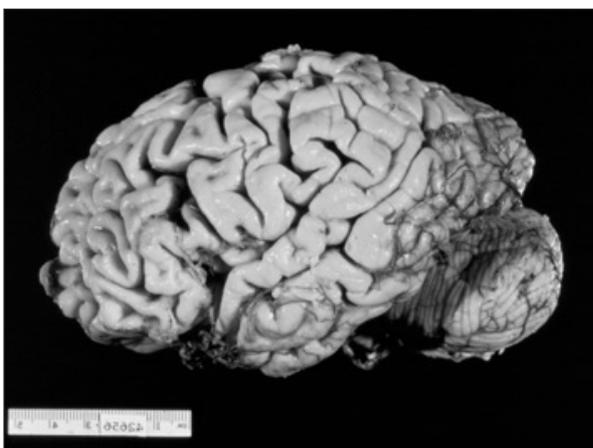


Abb. 1c: Menschliches Gehirn – 1200g

### Wie ist das Gehirn organisiert?

Das Gehirn ist äußerst komplex. Das Gehirn des Menschen ist unter allen Lebewesen das am besten organisierte. Das Gehirn einer Ratte wiegt lediglich 10 g, das Gehirn eines Affen nur 300 g, während das Gehirn des Menschen auf rund 1200 g kommt. (Abb. 1a–c)

Im Lauf der Evolution haben sich im menschlichen Gehirn die Zellen ausgeprägt, die wir heute Neuronen nennen. Die steigende Zahl dieser Zellen hat immer mehr Funktionen möglich gemacht. Aus diesem Grund ist das menschliche Gehirn komplexer und weist eine größere Dichte an Funktionen wie Sprache, Gedächtnis, bildliche Wahrnehmung und Mitteilungsfähigkeit auf.

Das Gehirn besteht aus grauer und weißer Substanz. Oft wird die graue Substanz mit der Hirnrinde gleichgesetzt, doch die graue Substanz befindet sich auch in anderen Teilen des Gehirns. Die graue Substanz besteht aus großen Ansammlung von Neuronen innerhalb des Gehirns, die wir Kerne grauer Substanz nennen. (Abb. 2)

In den Abbildungen des Gehirns, die wir mit Hilfe der Magnetresonanztomographie gewinnen, können wir die Hirnrinde, den äußeren Teil des Gehirns, und *weiße Substanz* im Inneren des Gehirns sehen. Diese weiße Substanz enthält Millionen und Abermillionen Fasern, die aus den Neuronen kommen und für die Kommunikation mit den unterschiedlichen Strukturen des Gehirns zuständig sind.

Die Neuronen befinden sich hauptsächlich in den Gehirnstrukturen, die wir graue Substanz nennen. Die graue Substanz ist im histologischen Querschnitt in Abb. 2 als die äußere Schicht dargestellt. Sie besteht aus zig Milliarden Neuronen, ähnlich denen in Abb. 3 dargestellten.

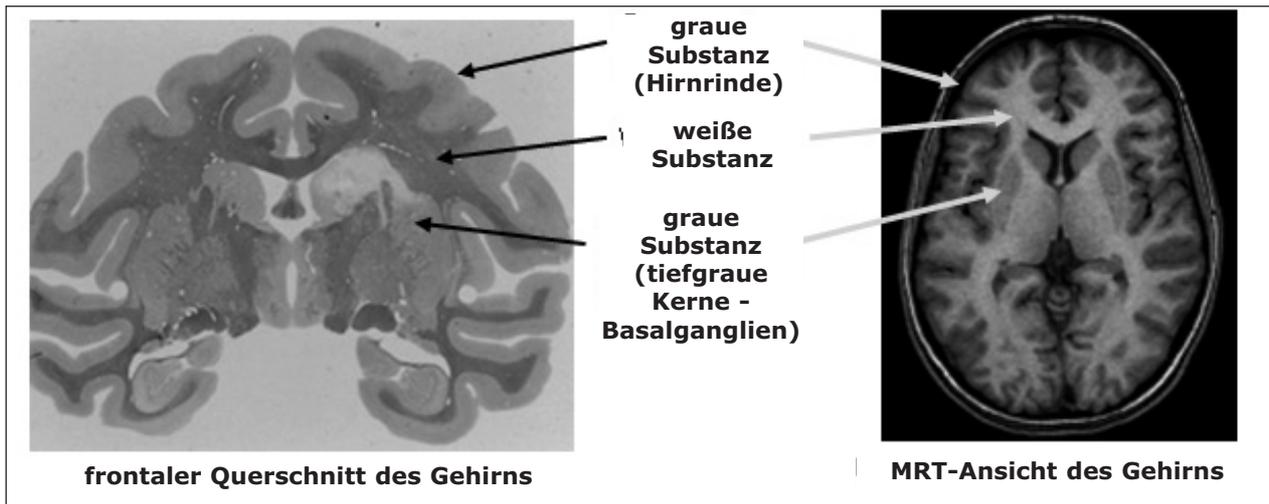


Abb. 2: Das Gehirn hat verschieden Bestandteile: graue und weiße Substanz

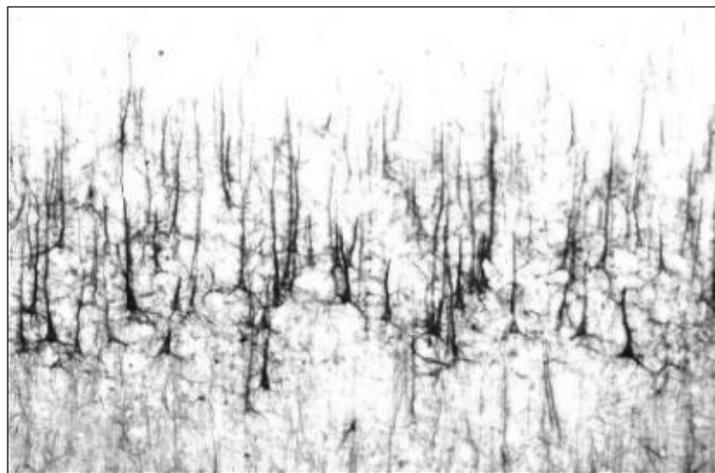


Abb. 3: Neuronen im Gewebeschnittbild

Im Gehirn sind die Neuronen in Schichten angeordnet, welche die Hirnrinde (graue Substanz) bilden. Innerhalb der Hirnrinde sind sie darauf ausgerichtet, elektrische Signale zu senden und zu empfangen. Diese Zellen haben die Aufgabe, Informationen an andere Strukturen im Gehirn zu senden, welche diese Informationen wiederum an andere Bestandteile des zentralen Nervensystems wie das Rückenmark und die peripheren Nerven senden. Der Hauptbestandteil der Zelle, der Zellkörper (des Neurons) befindet sich im Inneren der Hirnrinde oder der anderen Gehirnstrukturen aus grauer Substanz, die als Kerne auftreten. Viele der Neuronen, die an der Bewegung von Armen und Beinen oder jeglicher anderen Art von motorischer oder steuernder Funktion der Körperorgane Anteil haben, senden Fasern hinunter in das Rückenmark. Diese Nervenfasern, die Bestandteile von Neuronen sind und die Kommunikation mit anderen Neuronen oder Organen erleichtern, nennt man Axone (Abb. 4).

Diese Nervenfasern sind äußerst wichtig für das Funktionieren des Gehirns, da sie die Verbindungen im Inneren des zentralen Nervensystems unterstützen. Die Axone unterstützen daher die Kommunikation zwischen der Hirnrinde, dem Rückenmark und anderen Strukturen des Körpers.

Ein Neuron ist eine höchst spezialisierte Zelle, die im Wesentlichen aus einem Zellkörper besteht, in welchem für sie notwendige Proteine hergestellt werden. Es ist die "Küche" des Gehirns. Alle chemischen Stoffe und Proteine, die das Nervensystem zum Funktionieren braucht, werden hier "zubereitet" und anschließend an die Endigungen der Zellen transportiert. Den Fortsatz der

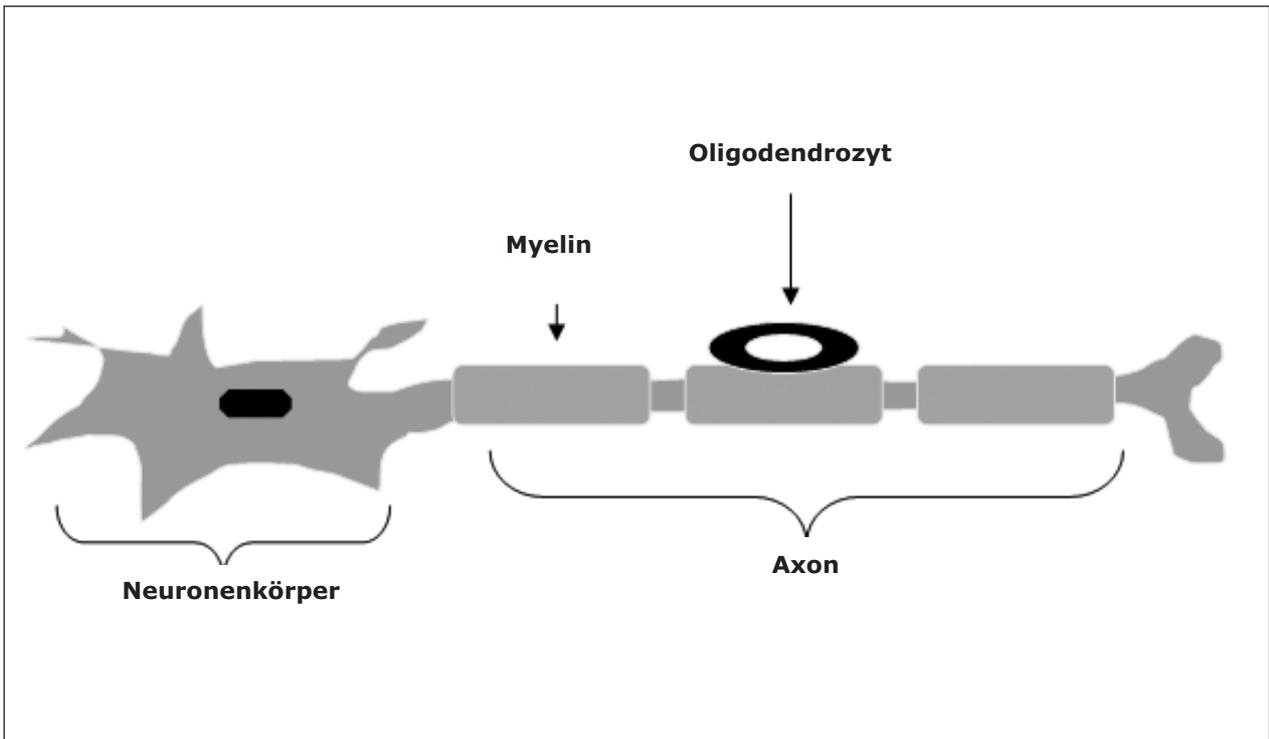


Abb. 4: Das Neuron

Nervenzelle nennt man Axon, das ist ein Zellbestandteil, der einer Faser ähnelt; das Axon funktioniert also als Ausdehnung der Zelle, welche die Interaktion und Verbindung der Zelle mit anderen Neuronen oder anderen Teilen des Körpers erleichtert. Die Axone überbrücken auch beträchtliche Entfernungen bei ihrer Aufgabe, eine Verbindung mit anderen Zellen, anderen Neuronen oder anderen Körperteilen herzustellen. Ein Axon kann ein paar Millimeter, aber auch 50 Zentimeter und mehr lang sein, so zum Beispiel die Axone in den Nerven, die vom Rückenmark zu den Muskeln der Hände reichen. (Abb. 5)

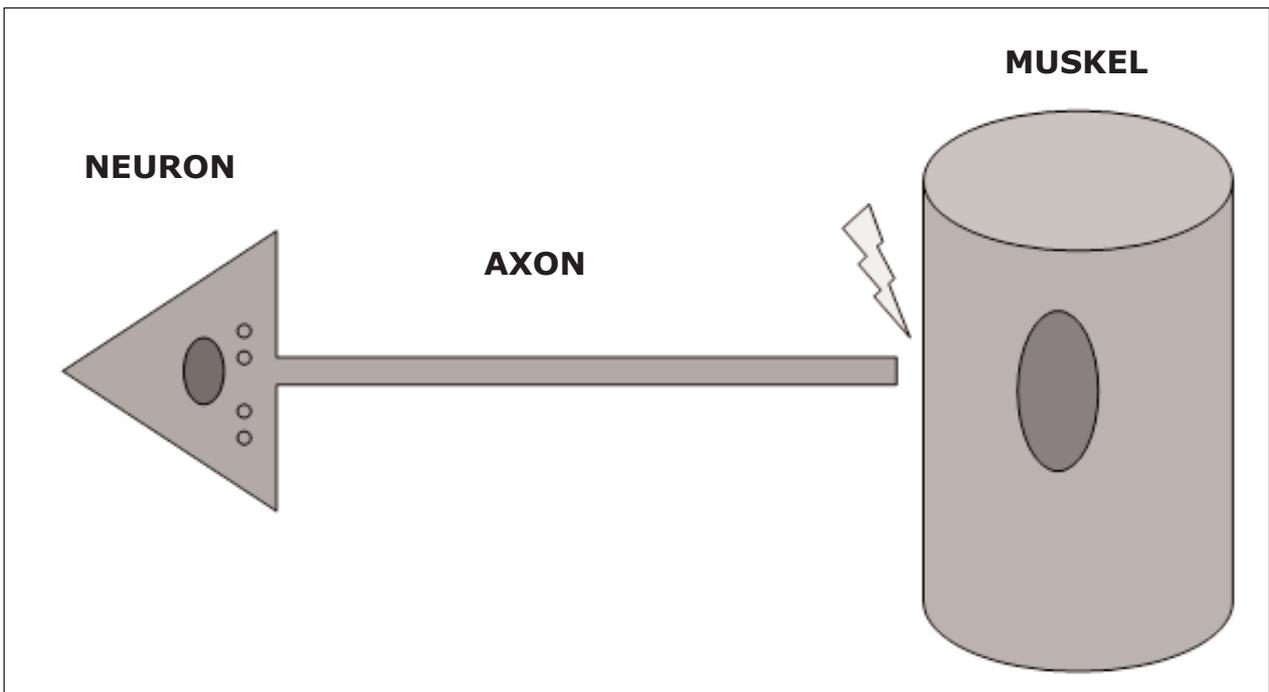


Abb. 5: Das Neuron ist eine chemische und elektrische Fabrik

## Das Neuron ist eine "chemische Küche"

Die wichtigste Tätigkeit des Gehirns ist das Senden von Befehlen an andere Zellen, Organe und Körperbereiche sowie die Sammlung von internen und externen Informationen. Das ist eine ganz außerordentliche Tätigkeit, weil es sich dabei im Wesentlichen um eine Mischung aus chemischen und elektrischen Vorgängen handelt, bei denen Millionen von Zellen im Zusammenspiel eine sehr komplexe Funktion erfüllen. Diese Funktion wird durch sehr einfache Mechanismen erleichtert; chemische und elektrische Interaktionen, die durch Neuronen und andere Zellen im Gehirn und im Rückenmark unterstützt werden. Das Neuron produziert laufend chemische Stoffe, sogenannte *Neurotransmitter*. Diese Überträgerstoffe stellen eine Kommunikation zu anderen Zellen des Körpers, etwa Neuronen oder Muskelzellen her und die Kommunikation, die sie herstellen ist *elektrochemischer* Natur. Anders ausgedrückt, die chemischen Eigenschaften der Neurotransmitter werden im Zusammenspiel der Interaktion mit anderen Zellen zu elektrischen Impulsen, die den Großteil der Kommunikation zwischen den Neuronen und ihren Zielzellen bilden. Die im Zellkörper der Neuronen produzierten chemischen Stoffe werden, wie in der Hirnrinde, zu den Endigungen der Axone transportiert und erleichtern dort die Produktion von elektrischen Stimuli durch Interaktion mit anderen Teilen der Zelle, die als *Rezeptoren* für die Neurotransmitter dienen. Wann immer ein Neurotransmitter produziert und ausgesandt wird, um eine Kommunikation mit anderen Zellen herzustellen, dann gibt es auch einen Empfänger (= *Rezeptor*), der bereit ist, die übertragene Information aufzunehmen. Das Ganze ist ein atemberaubender und komplexer Prozess, an dem zahlreiche Proteine und Zellstrukturen wie die Axone beteiligt sind.

Es handelt sich nicht nur um einen komplexen, sondern auch um einen sehr schnellen Prozess, der nur wenige Millisekunden dauert. Das ist das Außerordentliche an der Funktionsweise des Gehirns und des zentralen Nervensystems. Es dauert nur ein paar Millisekunden, wenn das Gehirn sagt: "Bewege deine Hände" bis die entsprechenden elektrischen Impulse, übermittelt durch chemische Neurotransmitter, zu den betreffenden Muskeln gelangen und dort die gewünschte Bewegung auslösen.

Neurone arbeiten nicht isoliert. Andere Zellen im Nervensystem, Gliazellen (= Stütz- und Hüllzellen) und Blutgefäße arbeiten mit den Neuronen zusammen, um die Funktionsfähigkeit des Gehirns aufrecht zu erhalten. Bestimmte Gliazellen sind dabei von besonderer Relevanz. Eine Gruppe von Gliazellen, die Astrozyten, stehen zur Verfügung um die Neuronen zu unterstützen und die Kommunikation im Blutkreislauf zu erleichtern. Wir sollten nicht vergessen, welche Wichtigkeit der Blutkreislauf für die Funktion des Gehirns und des Rückenmarks hat, da sämtliche Nährstoffe über den Blutkreislauf zum Gehirn gelangen. Der Blutkreislauf stellt den Neuronen Nährstoffe zur Verfügung und dies wiederum wird von den Astrozyten durch die Regelung der Blut-Hirn-Schranke unterstützt. Ein anderer Typ von Gliazelle ist der Oligodendrozyt (Abb. 4). Der Oligodendrozyt ist die myelinproduzierende Fabrik in Gehirn und Rückenmark.

*Myelin* ist ein wichtiger Bestandteil des Axons: es ist eine Schutzschicht, die das Axon umhüllt wie die Isolierung einen elektrischen Leiter (Abb. 4). Im Gehirn und ganz allgemein im Nervensystem umhüllt das Myelin einen Großteil der Axone. Das schützende Myelin, das für das Überleben der Neuronen von außerordentlicher Wichtigkeit ist, wird laufend von den Oligodendrozyten hergestellt.

## Das Rückenmark

Das Rückenmark ist die längste Struktur des zentralen Nervensystems und befindet sich im Wirbelkanal innerhalb der Wirbelsäule. Das Rückenmark ist wie ein Rohr, das eine Verbindung zwischen dem Gehirn und den Gliedern und Organen des Körpers und umgekehrt herstellt. Man

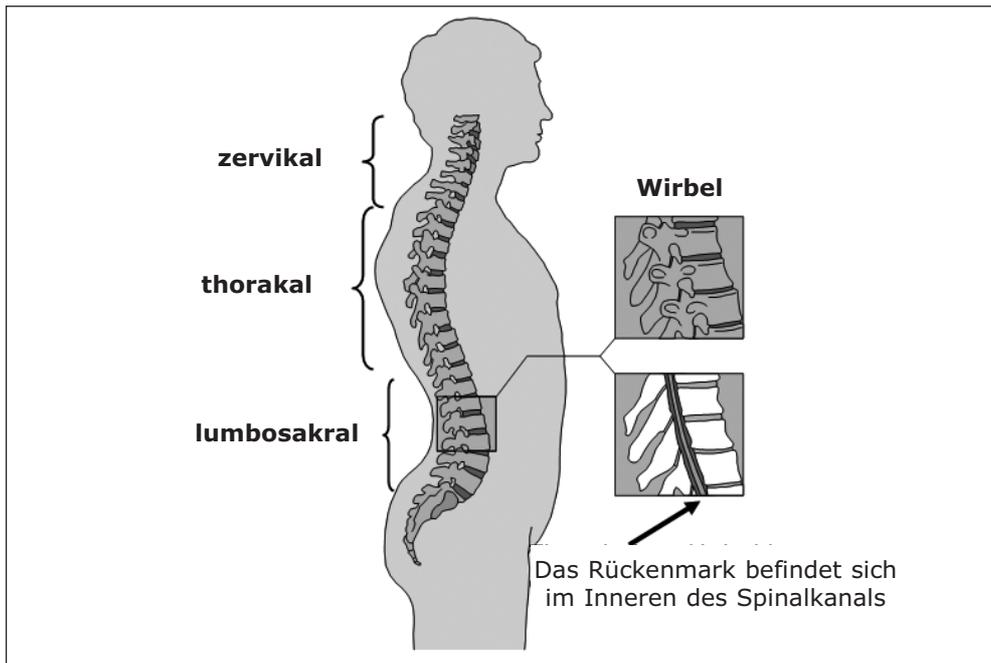


Abb. 6: Das Rückenmark

kann das Rückenmark in drei Bereiche unterteilen: den zervikalen, den thorakalen und den lumbosakralen Bereich (Abb.6).

Das Rückenmark ist der wichtigste Übertragungsweg zwischen dem Gehirn und der Peripherie: den Armen, Beinen, den Nerven und der Haut. Über eine sehr feine Struktur, die Peripherienerven, stehen viele Schmerzrezeptoren und Rezeptoren anderer Stimuli, die sich auf der Haut befinden, mit dem Rückenmark in Verbindung. Die Peripherienerven befinden sich überall im Körper und dienen als Verbindung zwischen der Haut oder der Peripherie und dem Rückenmark. Über diese kleinen Fasern in der Peripherie findet eine dauernde Kommunikation zum Rückenmark und somit zum Gehirn statt. Gleichzeitig schickt das Gehirn eine Menge von Informationen in die entgegengesetzte Richtung. Diese Informationen kommen von der Großhirnrinde nach unten zum Rückenmark und werden dort organisiert um verschiedene Funktionen zu ermöglichen.

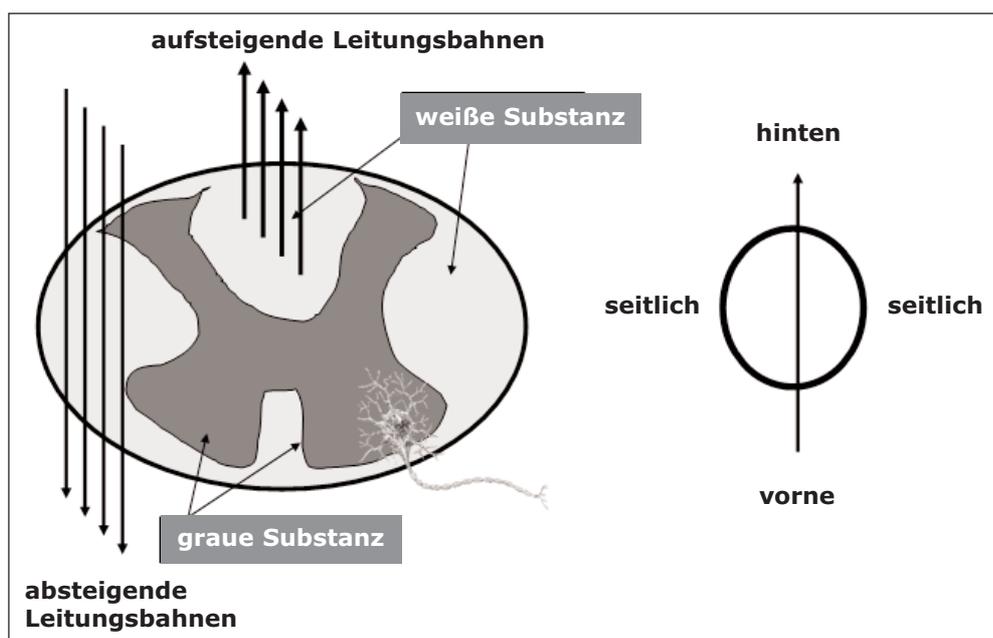


Abb. 7: Auf- und absteigende Leitungsbahnen

Manche dieser Funktionen betreffen motorische Fähigkeiten; diese Informationen gelangen dann zu verschiedenen Muskelgruppen in den Armen und Beinen (Abb. 7). Gleichzeitig gelangen Informationen aus der Peripherie zum Rückenmark, die ebenfalls sortiert, organisiert und an das Gehirn als Teil der Sinnesinformationen weitergeleitet werden.

Wie das Gehirn ist auch das Rückenmark außerordentlich gut organisiert. Das Rückenmark ist unterteilt in Bereiche mit grauer Substanz und Bereiche mit weißer Substanz, die aber anders organisiert sind als im Gehirn. Im Gehirn ist die graue Substanz der **äußere** Teil, im Rückenmark hingegen befindet sie sich im **Inneren**. (Abb. 8)

Die graue Substanz ist im Wesentlichen eine Ansammlung von Neuronen, die entweder mit motorischen oder mit sensiblen Funktionen zu tun haben. Die Neuronen, die sich im vorderen Teil (Vorderhorn) befinden, sind für die motorischen Funktionen zuständig, während die Neuronen im hinteren Teil für die Sensibilität zuständig sind. Die Neuronen im Vorderhorn bekommen ihre Befehle von der motorischen Rinde des Gehirns. Diese lösen die Stimuli aus, die dazu führen, dass Muskeln in den Armen oder Beinen sich bewegen. Unterstützt werden diese Befehle durch die Informationen, die durch die "motorischen" Peripherienerven geleitet werden, einer Gruppen von Axonen von motorischen Neuronen. Diese Axone verbinden die motorischen Neuronen mit ihren Zielobjekten, den Muskeln.

Die Neuronen im hinteren (dorsalen) Bereich der grauen Substanz des Rückenmarks sind für die Sensibilität zuständig. Diese Neuronen erhalten ihre Informationen aus der Peripherie über "sensible" Peripherienerven. Auch diese Nerven sind Bündel von Axonen, aber sie kommen in diesem Fall von den peripheren Rezeptoren auf der Haut, in den Muskeln und anderen Organen.

Der **äußere** Teil des Rückenmarks ist die weiße Substanz. Wie schon gesagt, enthält die weiße Substanz die "Verkabelung" für die Kommunikation vom Gehirn zu anderen Strukturen und umgekehrt. Im Rückenmark befindet sich die weiße Substanz im äußeren Bereich und ist aufgeteilt in Leitungsbahnen vom Gehirn abwärts (absteigende Leitungsbahnen) und Leitungsbahnen vom Rückenmark zum Gehirn (aufsteigende Leitungsbahnen). Diese weiße Substanz im Rückenmark ist ebenfalls gut organisiert und die aufsteigenden und absteigenden

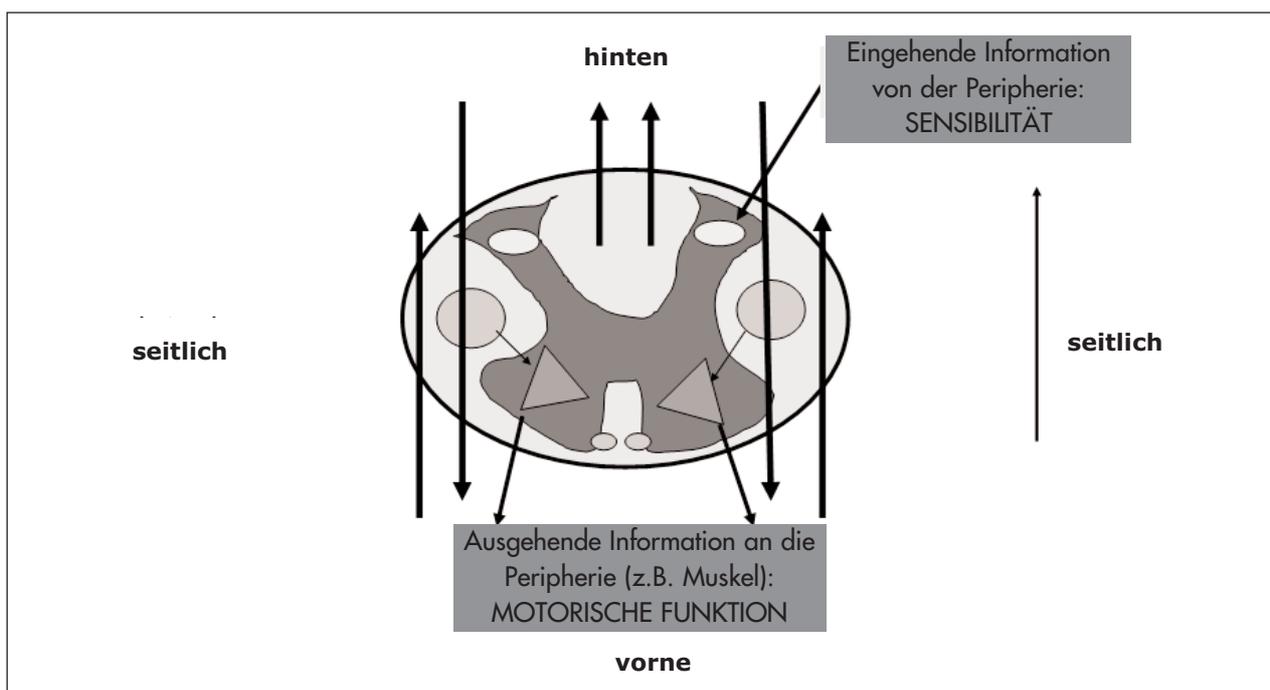


Abb. 8: Vereinfachte Anatomie des Rückenmarks

Leitungsbahnen verteilen sich auf spezifische Bereiche des Rückenmarks. (Abb. 8)

Im seitlichen Bereich des Rückenmarks befindet sich zum Beispiel eine Hauptbahn der motorischen Funktion, die vom Gehirn zum Rückenmark verläuft. Diese Hauptbahn nennt man die Pyramidenbahn, sie verbindet die Hirnrinde mit dem Rückenmark. Durch diese Bahn verläuft ein Großteil der Informationen zur Steuerung motorischer Funktionen. Ist der seitliche Bereich des Rückenmarks bei einer Schädigung in Mitleidenschaft gezogen, so verursacht der Schaden eine Störung der Kommunikation zwischen Gehirn und Rückenmark, was sich als Fehlen von motorischen Steuerungsbefehlen und motorischer Funktionalität äußert. Eine andere Art von Informationen wandert hinauf zum Gehirn. Diese Übermittlungskanäle nennt man, grob gesagt, aufsteigende Leitungsbahnen. Die aufsteigenden Leitungsbahnen transportieren Informationen, die in anderen Körperteilen, Organen oder der Haut gesammelt wurden, zum Gehirn oder zu anderen Teilen des zentralen Nervensystems.

### **Was passiert, wenn Gehirn oder Rückenmark beschädigt werden?**

Leider gibt es viele Faktoren, die die Funktion der Neuronen beeinträchtigen können. Ich konzentriere mich hier vor allem auf die immunologischen Probleme, da diese einen der häufigsten Faktoren in der Entstehung der Transversen Myelitis darstellen. Lassen Sie mich kurz erklären, was mit bestimmten Teilen dieser Neuronen passiert. Wie gesagt, besteht das Neuron aus dem Zellkörper, dem Axon und dem Myelin. Tritt eine Entzündung auf oder ein immunologischer Angriff, so bilden sich entzündliche Zellen wie Lymphozyten oder Leukozyten. Diese weißen Blutkörperchen können zum Gehirn oder zum Rückenmark gelangen und dort eine Immunreaktion gegen den Zellkörper, eine Immunreaktion gegen das Myelin oder eine Immunreaktion gegen das Axon auslösen. An diesem Prozess können andere Faktoren teilhaben. Wir wissen beispielsweise, dass nicht ausschließlich die entzündlichen Zellen dafür verantwortlich sind, Immunreaktionen gegen diesen Teil der Neuronen zu verursachen. Wir wissen, dass es sowohl im Gehirn (die sogenannten Mikrogliazellen) als auch im Blut (Makrophagen) andere Zellen gibt, die in das Rückenmark wandern und dort Immunreaktionen gegen diese Bestandteile der Neuronen auslösen können. Immunglobuline, eine andere Art von chemischen Immunfaktoren im Blut, können diese Art von Immunreaktion ebenfalls auslösen. Das Neuron ist gegen Angriffe dieser Art anfällig, weil es eine sehr lange Struktur hat. Die Neuronen, welche die Bewegungen der Hand kontrollieren, schaffen beispielsweise eine Verbindung, die sich vom Gehirn bis zur Hand erstreckt. Das bedeutet eine Strecke von über einem Meter Länge, die für einen solchen Immunangriff anfällig ist.

Es gibt viele Teile des Neurons und viele davon sind gegen verschiedene Arten von Immunangriff anfällig. Von besonderer Bedeutung ist dabei das Myelin, da beispielsweise im Fall einer Multiplen Sklerose die Immunreaktion speziell das Myelin angreift. Bei anderen Erkrankungen wird der Zellkörper angegriffen. Das ist beispielsweise bei der Amyotrophen Lateralsklerose (auch Lou-Gehrig-Krankheit genannt) der Fall, die den Zellkörper der Motoneuronen im Rückenmark angreift. Aus unbekanntem Gründen startet diese Krankheit einen degenerativen Prozess genau dieser Zellkörper. Bei anderen Erkrankungen, etwa bei peripheren Neuropathien, stellen das Myelin oder das Axon das Hauptproblem dar. Wie gesagt also, gibt es viele Teile des Neurons und diese verschiedenen Teile des Neurons sind anfällig gegen verschiedene Arten von Erkrankungen.

Bei manchen Erkrankungen des Gehirns und des Rückenmarks ist der einzige betroffene Teil des Neurons das Myelin. Im Fall einer Multiplen Sklerose oder anderen Arten von immunologischem Angriff gegen das Nervensystem oder das Rückenmark ist das Myelin eines der Hauptziele der entzündlichen Angriffe. Bei bestimmten Krankheitsformen kann der Angriff allerdings großflächiger erfolgen: sowohl Myelin als auch Axon als auch Zellkörper werden angegriffen, was zu schwerwiegenden Folgen führt, in dem Maß, in dem die Wahrscheinlichkeit eines Absterbens der Zelle steigt. Es gibt ein weiteres Problem, das ich kurz ansprechen will. Zusätzlich zu bisher

beschriebenen Arten von Immunangriffen besteht auch die Möglichkeit eines Schlaganfalls im Rückenmark. Blutmangel im Rückenmark kann zu einer erheblichen Belastung der Neuronen führen. Durch den Sauerstoffmangel kann es dazu kommen, dass Neuronen die Produktion der Proteine stoppen, die sie zum Überleben brauchen. Schlaganfälle und Störungen der Blutzufuhr zum Rückenmark können den Neuronen ebenfalls irreparable Schäden zufügen.

## Die Anatomie des Rückenmarks und TM

Einzelne Bereiche oder Segmente des Rückenmarks können aus verschiedenen Gründen zu Schaden kommen, etwa durch Entzündungen, Probleme bei der Blutzufuhr oder Verletzungen des Rückenmarks. Da das Rückenmark ein höchst organisiertes Gebilde ist, wirkt sich der Schaden an einem bestimmten Bereich in Form unterschiedlicher Formen von Funktionsstörung aus. Die Größenordnung und die Verteilung der auftretenden Probleme hängt von der Verteilung der Schädigung oder der Schädigungen ab.

Eine Schädigung der aufsteigenden Leiterbahnen beeinträchtigt den Fluss der Informationen zum Gehirn: SENSIBLE FUNKTION

Symptome:

- Schmerzen
- Verlust der Sensibilität
- Störungen der Sensibilität
- Gleichgewichtsstörungen

Wann immer man etwas mit den Fingerspitzen berührt, setzt das Nervensystem beispielsweise ein Netzwerk in Aktion, das aus den Rezeptoren in der Fingerspitzen besteht und sich zum dorsalen Wurzelganglion erstreckt, wo sich die Neuronen befinden, welche die Kommunikation mit dem Rückenmark herstellen. Diese übertragene "Empfindungsbotschaft" gelangt anschließend zur hinteren grauen Substanz im Rückenmark, worauf das Rückenmark dem Gehirn mitteilt, dass "die Fingerspitzen Signale registrieren." Das Rückenmark leitet die Signale an das Gehirn weiter, wo eine Verbindung zu verschiedenen Teilen des Gehirns und der Hirnrinde hergestellt werden. (Abb. 9)

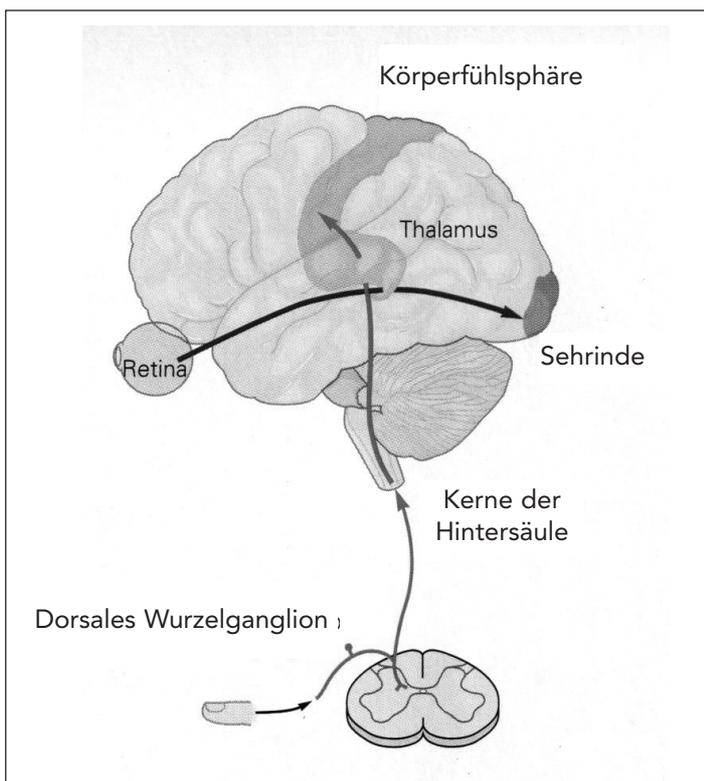


Abb. 9:  
Aufsteigende Information:  
SENSIBILITÄT

Es handelt sich also um eine genau organisierte Kommunikation. Dieses Netzwerk funktioniert innerhalb von Millisekunden und setzt dabei zahlreiche chemische und zahlreiche elektrische Vorgänge ein. Wird diese Empfindungsfunktion gestört (entweder durch einen Immunangriff, einen Schlaganfall oder eine traumatische äußere Einwirkung), so können Schmerzen, fehlende Empfindungen, gestörte Empfindungen oder Gleichgewichtsstörungen auftreten.

Das ist ein wichtiger Aspekt, weil viele TM-Patienten über Gleichgewichtsstörungen klagen. Auch bei Patienten ohne Muskelschwäche können durch die potentielle Betroffenheit der spezifisch für die Sensibilität zuständigen Bereiche des Rückenmarks Probleme mit dem Gleichgewichtssinn und Sensibilitätsstörungen auftreten. In dieser Situation kann das zentrale Nervensystem keine Kommunikation von der Peripherie empfangen, da die dafür zuständigen Verbindungswege durch die bei einer TM auftretenden Schädigung des Rückenmarks gestört sind. Ein weiteres bei der Transversen Myelitis auftauchendes Symptom sind Schmerzen. Dabei handelt es sich um eine der qualvollsten und frustrierendsten Situationen für unsere Patienten. Die Schmerzen können ihren Ursprung sowohl in der Peripherie als auch im Rückenmark haben. Bei Patienten mit Transverser Myelitis vermuten wir, dass das Schmerzzentrum sich im Rückenmark und nicht in den Außenbereichen befindet. Viele Patienten klagen über ein Brennen in den Füßen und andere unangenehme Empfindungen. Die Schmerzen und Gefühlsstörungen können in verschiedenen Teilen des Körpers auftreten, ihre Verteilung hängt davon ab, welcher Teil des Rückenmarks betroffen ist. Die Symptome haben ihren Ursprung in der akuten Phase der Entzündung, Schädigung oder anomalen elektrischen Aktivität des Rückenmarks, wenn die für Sensibilität und Schmerzen zuständigen Neuronen anomale "Fehlzündungen" produzieren. Oft bestehen die Schmerzen weiter auch nachdem die Entzündung oder Schädigung zurückgegangen sind, entweder weil die für Schmerzen zuständigen Netzwerke permanent beschädigt worden sind oder weil es zu fehlerhaften Neuverbindungen der Netzwerke gekommen ist. Der letztere Umstand ist eine Folge der Versuche des Rückenmarks sich nach dem Abklingen des Anfalls zu regenerieren. Im Verlauf der Regeneration entsteht anomale elektrisch-chemische Aktivität, die sich in Form von Schmerzen äußert. Schmerzen sind naturgemäß auch bei Patienten mit Transverser Myelitis eine große Belastung. Andererseits können sie auch ein Hinweis darauf sein, dass im Rückenmark etwas vor sich geht und möglicherweise eine regenerative Aktivität (i.S.e. Reparaturversuchs) die Schmerzen auslöst.

Eine Schädigung der absteigenden Leiterbahnen beeinträchtigt den Fluss der Informationen vom Gehirn zum Rückenmark: **MOTORISCHE FUNKTION**

Symptome:

- Schwäche
- Lähmungserscheinungen
- Steife (Spastizität)
- Krämpfe

Wenden wir uns jetzt der motorischen Funktion zu. Die motorische Funktion nimmt ihren Ausgang von Signalen aus dem Gehirn, die zum Rückenmark hinunter gesendet werden. Diese Funktion lässt sich gut in einem Teil der Großhirnrinde lokalisieren, die man die motorische Rinde nennt. Die motorischen Informationen wandern durch zwei verschiedene Leitungsbahnen nach unten. Die Hauptbahn, die Pyramidenbahn (Tractus corticospinalis), ist ein großes Bündel Axone, das eine Menge Informationen zwischen einem Teil des Gehirns (der Großhirnhemisphäre) und der entgegengesetzten Seite des Rückenmarks transportiert. (Abb. 10)

Auf diese Weise steuert die rechte Hirnhälfte die Bewegungen der linken Seite des Körpers und die linke Hirnhälfte die Bewegungen der rechten Seite, und zwar weil diese Leitungsbahn in dem Stammhirn genannten Teil des Gehirns auf die andere Seite des Körpers hinüberkreuzt. All diese motorischen Informationen werden von der motorischen Rinde des Gehirns an das Rückenmark

übertragen und von dort aus an die Muskeln; eine komplexe Kommunikation, die letztlich Bewegung ermöglicht.

Wenn diese Kommunikation durch die Transverse Myelitis beeinträchtigt wird, entsteht als unmittelbare Folge ein Schwächegefühl, oder der extremste Schwächezustand, die Lähmung. Die von TM verursachte Beeinträchtigung der motorischen Funktion kann sich auch als fehlende Muskelspannung (Hypotonie) oder Steifheit äußern, Symptome, die man häufig mit Schwäche in Verbindung bringt. Die Steifheit bezeichnet man in der medizinischen Terminologie als *Spastizität*.

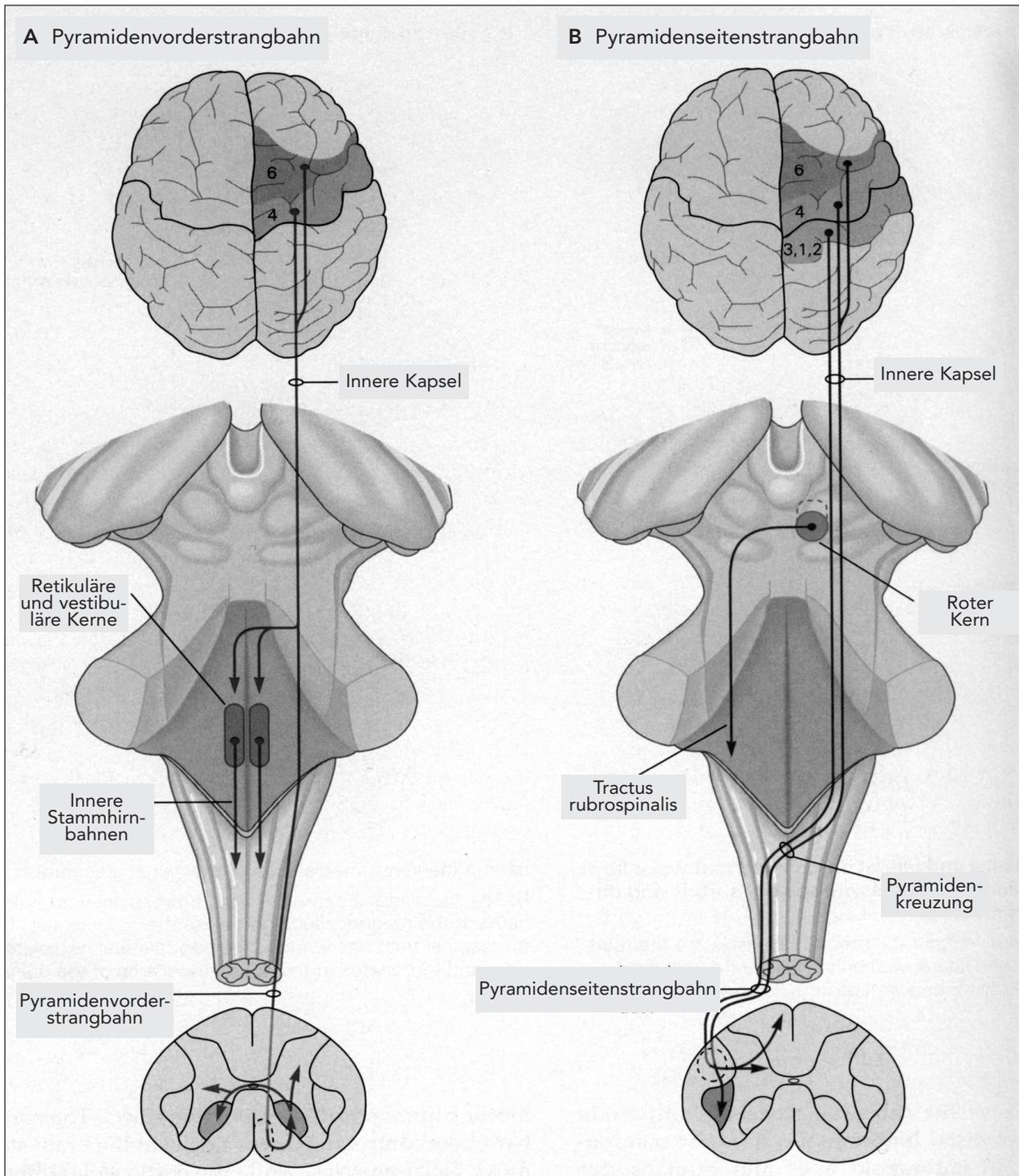


Abb. 10: Absteigende Information: MOTORISCHE FUNKTION

## Die Unterschiedlichkeit der TM-Symptome hängt davon ab, an welcher Stelle das Rückenmark geschädigt worden ist

Die Komplexität und der hohe Organisationsgrad des Rückenmarks führen dazu, dass die Symptome und die Formen des Auftretens der TM sehr unterschiedlich sein können. Wo die Schädigung oder die Schädigungen stattgefunden haben und wie sie sich innerhalb des Rückenmarks verteilen, bestimmt welche Art von Funktionen durch die TM beeinträchtigt werden und welche Symptome bei diesen auftreten. Häufig kommen Patienten zu uns in die Klinik und fragen: "Warum tritt bei mir ein Schwächezustand auf, aber keine Empfindungsstörungen?" Andere Patienten wundern sich wiederum, warum sie unter Sensibilitätsstörungen leiden, aber nicht unter Muskelschwäche. Das ist bedingt durch den hohen Organisationsgrad des Rückenmarks: die TM beeinträchtigt in den einzelnen Fällen unterschiedliche Bereiche, die jeweils für andere Funktionen zuständig sind. In anderen Fällen ist das Ausmaß der Schädigung diffus oder so groß, dass die gesamte Struktur eines Segments in Mitleidenschaft gezogen wird, was zum Verlust oder zur Beeinträchtigung sowohl der motorischen Funktion als auch der Sensibilität führen kann.

### Schädigung der weißen Substanz: motorische und sensorische Symptome

Auf der hinteren Seite des Rückenmarks verläuft ein weiterer wichtiger Übertragungsweg von Informationen von den Armen und Beinen zum Gehirn. Dieser Teil des Rückenmarks transportiert Informationen über die Position des Körpers und der unterschiedlichen Körperteile. Das ist ein Bereich der Sensibilität, der sehr wichtig für die neurologische Funktion ist und dem Gehirn mitteilt, in welcher Position der Körper und die Glieder sich befinden. Wenn die Übertragung der Positionsinformation gestört wird, dann äußert sich das meistens in Form von Sensibilitätsstörungen und insbesondere von Gleichgewichtsstörungen. (Abb. 11a)

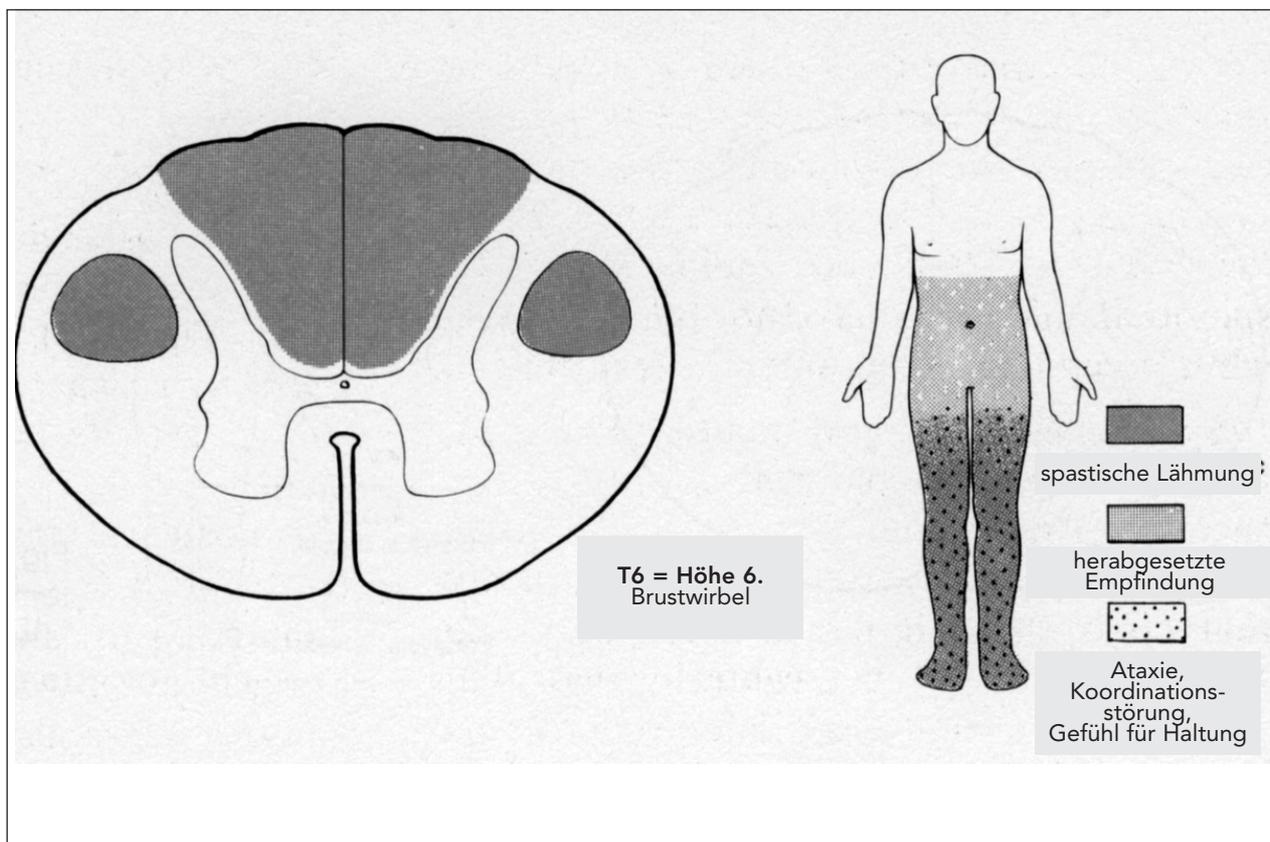


Abb. 11a:  
Immer eine Regel: Die Topographie der Schädigung bestimmt die Natur der Symptome

Der medizinische Terminus für Gleichgewichtsstörungen und der Unfähigkeit, die Bewegungen der Muskeln zu koordinieren, ist **Ataxie**. Diese Art von Symptomen kann isoliert auftreten oder in Zusammenhang mit anderen Störungen der Sensibilität oder Motorik, die durch Schädigung der seitlichen Leitungsbahnen der weißen Substanz (absteigend, motorische Information) entstehen können. (Abb. 12b)

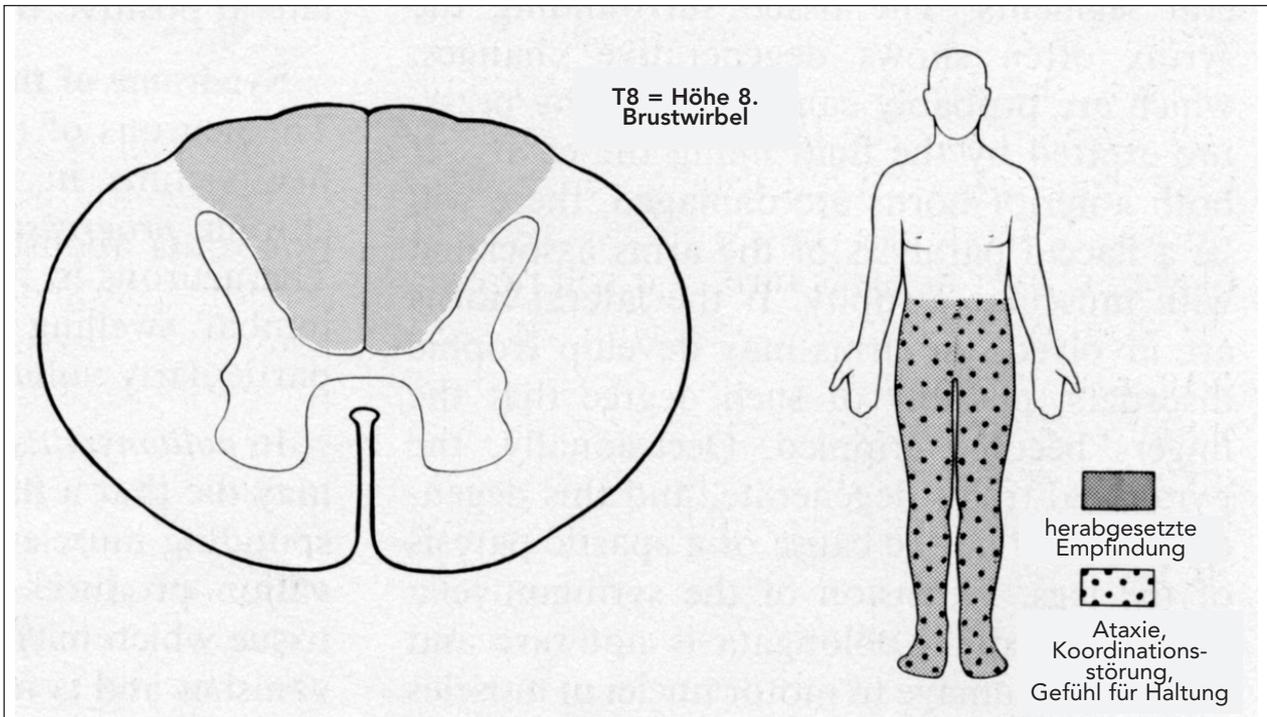


Abb. 11b: Selektive Schädigung der hinteren Leitungsbahnen

Ein Beispiel für die komplexe und aggressive Situation besteht, wenn die TM sowohl die graue als auch die weiße Substanz gleichzeitig in Mitleidenschaft zieht (Abb. 12a und 12b).

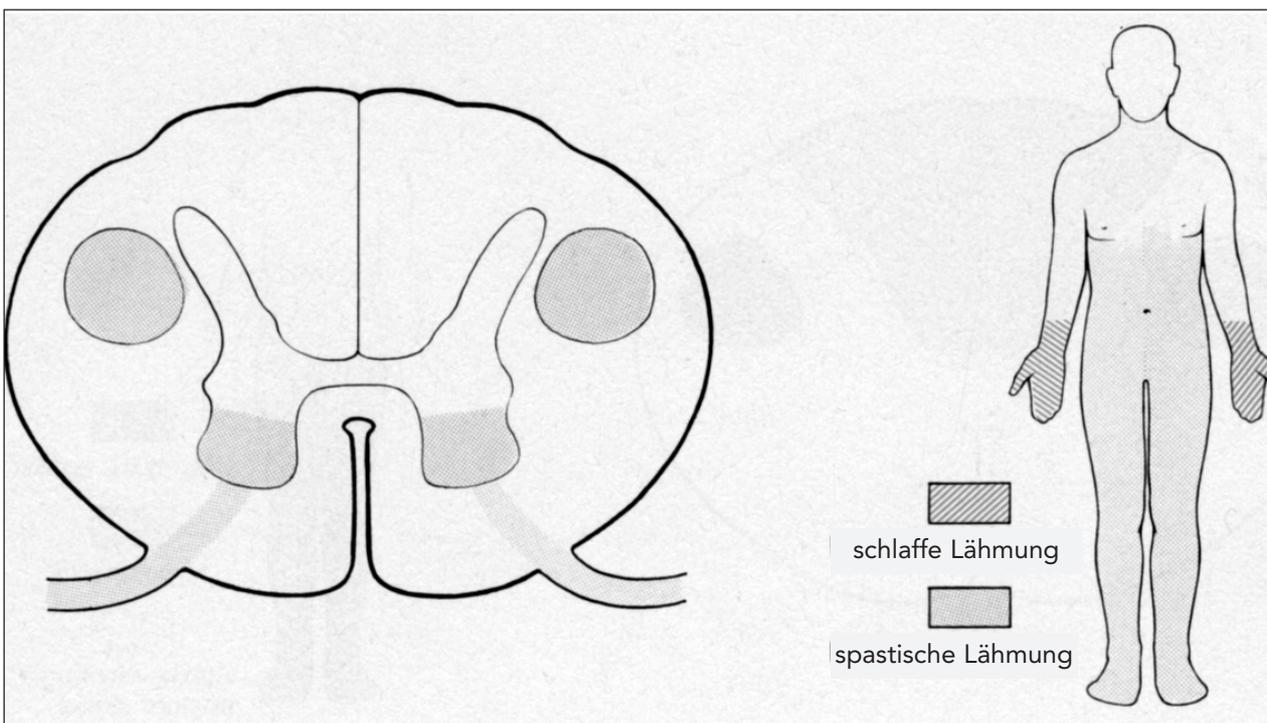


Abb. 12a: Kombinierte Schädigung von weißer und grauer Substanz

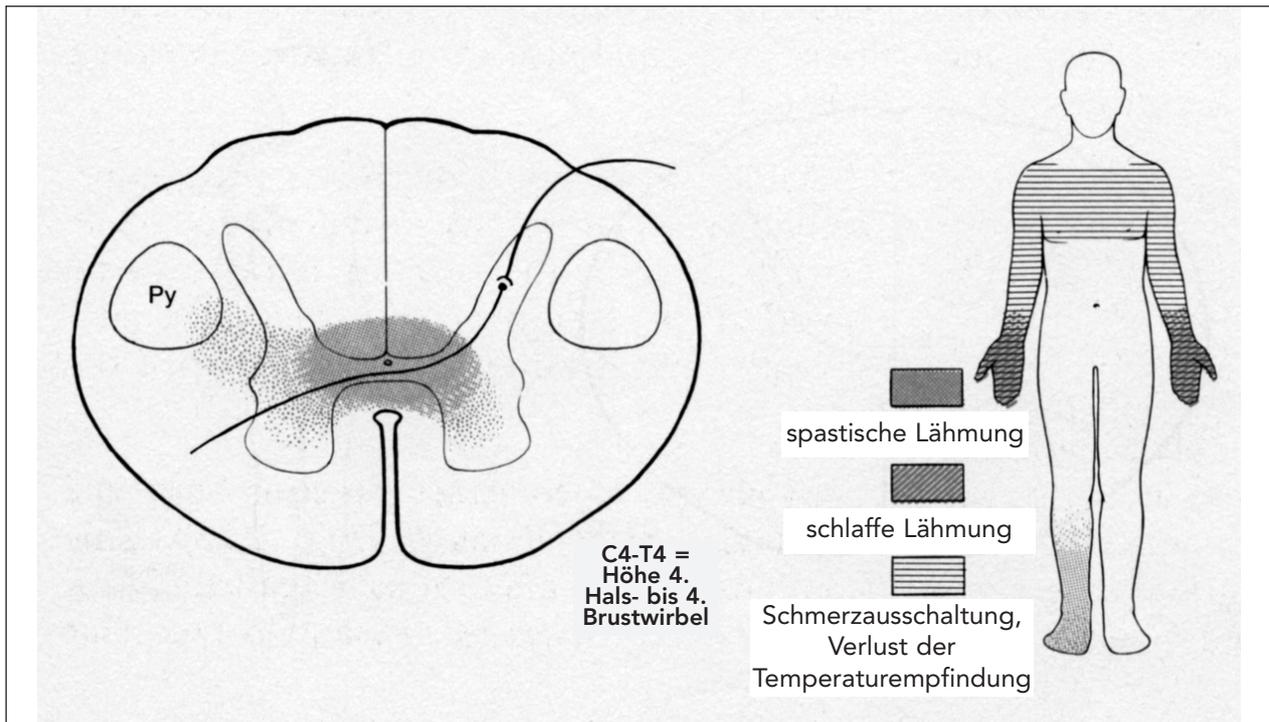


Abb. 12b: Schädigung der zentralen Portion des Rückenmarks (hautps. graue Substanz)

Die motorische Funktion ist nicht mehr vorhanden; es liegt eine vollständige Lähmung und Spastizität vor und es fehlen etliche Sensibilitätsmodalitäten. Dabei handelt es sich um extreme Fälle von Schädigung des Rückenmarks, da die Zerstörung der grauen Substanz häufig ein unumkehrbarer Prozess ist und die abgestorbenen Neuronen durch das Rückenmark nicht regeneriert werden können. Bei einer Multiplen Sklerose beispielsweise betrifft der Ort des Schadens die weiße Substanz, bei etlichen TM-Patienten hingegen kann sich die Schädigung über die weiße Substanz hinaus erstrecken. Ein Schaden an dieser zentralen Position des Rückenmarks verursacht eine Kombination von Störungen an Motorik und Sensibilität.

### Schlussfolgerung

Das Rückenmark ist das Verbindungsglied in der Kommunikation zwischen dem Gehirn und der Peripherie, also allen anderen Teilen des Körpers. Falls eine signifikante Schädigung von Segmenten des Rückenmarks auftritt, so hat dies grundlegende Auswirkungen auf die Struktur und Funktion des Rückenmarks, die sich in Form unterschiedlicher Symptome und schwerwiegender neurologischer Probleme äußern können. Glücklicherweise ist die Schädigung bei vielen TM-Patienten auf umgrenzte Bereiche des Rückenmarks beschränkt und die resultierenden neurologischen Probleme sind weniger schwer. Die neurologischen Symptome hängen von den Bereichen ab, die geschädigt worden sind. Das ist auch die Erklärung für die Unterschiedlichkeit der Symptome der Transversen Myelitis.

Ich hoffe, diese Einführung in die Neuroanatomie und die Funktionsweise von Gehirn und Rückenmark kann zu einem besseren Verständnis der Transversen Myelitis und der zahlreichen verschiedenen Symptome beitragen, die von Schäden verursacht werden können, die durch einen Immunangriff auf das Rückenmark entstehen.