

## **1. Einleitung**

## 2. Entwicklung des Nervensystems im menschlichen Körper

In diesem ersten Punkt soll ein Überblick gegeben werden über die Entwicklung des Nervensystems im menschlichen Körper im Laufe der embryonalen Phase, d.h. über die sichtbaren Veränderungen des Zentralnervensystems in der Entwicklung eines Menschen.

Der Anfang des gesamten Nervensystems des Menschen liegt in einer Zellplatte am Rücken des Embryos, der sogenannten Neuralplatte. Diese Neuralplatte fängt schließlich an sich einzustülpen und wird zur Neuralrinne, später dann zum Neuralrohr. Im Neuralrohr sind bei einem Querschnitt in Höhe des künftigen Rückenmarks bereits die weiße Substanz (primär bestehend aus Axonen) und die graue Substanz (primär bestehend aus Nervenzellkörpern) zu erkennen.

Der Schlauch des Neuralrohrs knickt in der weiteren embryonalen Entwicklung mehrfach ein und an seinem Vorderende gehen aus drei Schwellungen die drei Hauptabschnitte des Gehirns hervor, das *Prosencephalon* (Vorderhirn), das *Mesencephalon* (Mittelhirn) und das *Rhombencephalon* (Rautenhirn). Später werden daraus fünf Abschnitte: *Telencephalon* (Endhirn), *Diencephalon* (Zwischenhirn), *Mesencephalon* (Mittelhirn), *Metencephalon* (Hinterhirn) und *Myelencephalon* (Nachhirn). Dabei gehen aus dem *Prosencephalon* das *Telencephalon* und das *Diencephalon* und aus dem *Rhombencephalon* das *Metencephalon* und das *Myelencephalon* hervor.

Die drei Hauptabschnitte des Gehirns:

Prosencephalon	Vorderhirn
Mesencephalon	Mittelhirn
Rhombencephalon	Rautenhirn

Später werden daraus fünf Abschnitte:

Prosencephalon	Telencephalon	Endhirn
----------------	---------------	---------

	Diencephalon	Zwischenhirn
Mesencephalon	Mesencephalon	Mittelhirn
Rhombencephalon	Metencephalon	Hinterhirn
	Myelencephalon	Nachhirn

**Abb.1: Embryonale Entwicklung des Gehirns**

Von den fünf Abschnitten des Gehirns eines erwachsenen Menschen erfährt das *Telencephalon*, bestehend aus der linken und rechten Großhirnhemisphäre den stärksten Volumenzuwachs.

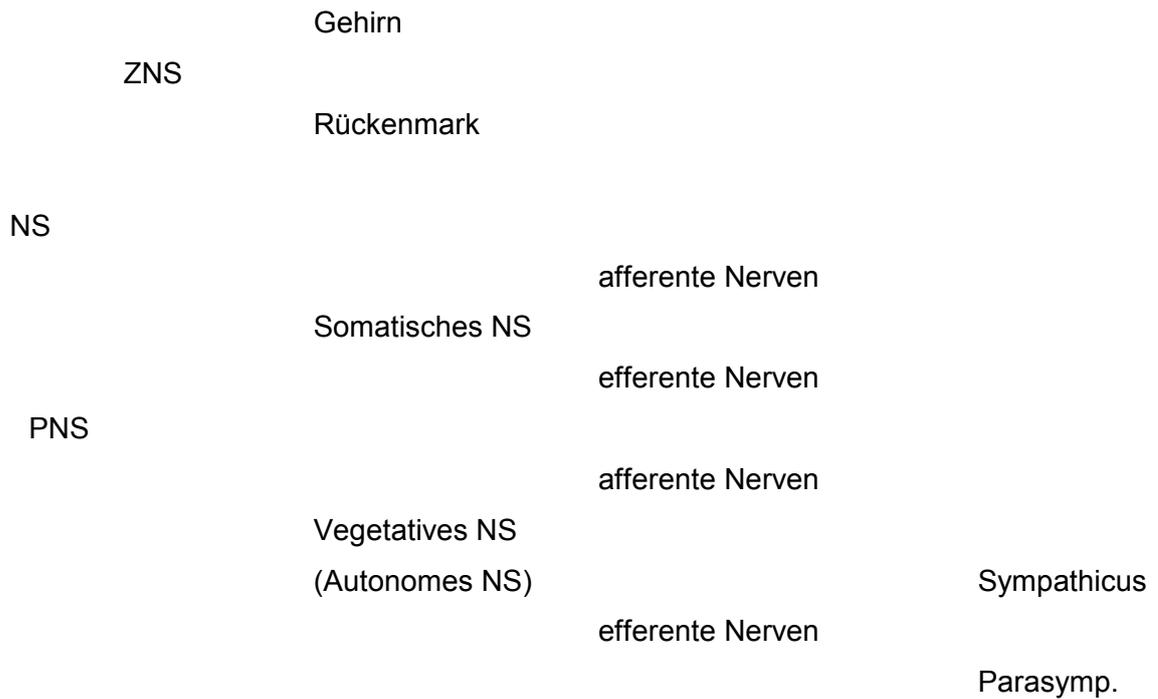
Als Hirnstamm bezeichnet man alle Abschnitte des Gehirns, ausgenommen des *Telencephalons*. Die beiden Großhirnhemisphären, deren charakteristische Faltung erst in der Mitte der Schwangerschaft eintritt, gehen aus zwei Bläschen am Ende des Neuralrohrs hervor und überwachsen im Laufe der Entwicklung Zwischenhirn, Mittelhirn und zum Teil auch das Hinterhirn.

Im voll entwickelten menschlichen Gehirn haben sich dann innerhalb der fünf Gehirnabschnitte verschiedene Strukturen herausgebildet. Diese seien hier kurz erwähnt, in Punkt 5.2. ausführlicher erläutert.

So lassen sich dem Telencephalon der *Neocortex* (Hirnrinde), die *Basalganglien* und das *limbische System*, dem Diencephalon u.a. *Thalamus* und *Hypothalamus* sowie dem Mesencephalon u.a. *Tectum* und *Tegmentum* zuordnen. Im Metencephalon findet man das *Cerebellum* (Kleinhirn) und die *Pons* (Brücke) und im Myelencephalon die *Medulla oblongata*.

### 3. Der Aufbau des Nervensystems

Das Nervensystem im menschlichen Körper gliedert sich in das Zentralnervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS).



**Abb.2: Aufteilung des Nervensystems**

Das ZNS besteht aus dem Gehirn und dem Rückenmark. Es ist also der Teil des Nervensystems, der von knöchernen Strukturen eingeschlossen ist, wobei das Gehirn von den Schädelknochen und das Rückenmark von der Wirbelsäule umhüllt wird.

Fast alle Nerven gehen vom Rückenmark aus, bis auf die zwölf Hirnnerven, die vom Gehirn ausgehen. Zu den Hirnnerven zählen unter anderem der *nervus olfactorius* (Riechnerv), *nervus opticus* (Sehnerv), *nervus vestibulocochlearis* (übermittelt Signale vom Ohr und von den Gleichgewichtsorganen) und der *nervus trigeminus* (leitet Signale von der Gesichts- und Kopfhaut weiter).

Das PNS besteht aus den Nerven, die Informationen zum ZNS hin- und vom ZNS weggleiten. Hierbei unterscheidet man zwei Untergruppen: Somatische Nerven und vegetative oder autonome Nerven.

Die somatischen Nerven "interagieren mit der Umwelt", d.h. sie stellen die Verbindung des ZNS zu zahlreichen Sinnesrezeptoren in der Haut und zur Skelettmuskulatur dar. Die vegetativen Nerven dagegen innervieren die inneren Organe und Drüsen. Ihnen unterliegen hauptsächlich die vegetativen Funktionen wie z.B. Verdauung, Atmung und Fortpflanzung. Sie gliedern sich

ihrerseits in den Sympathicus und den Parasympathicus, Sympathische Nerven entspringen dem Rückenmark an der ventralen Seite und erreichen über Ganglien und postganglionäre Nerven die inneren Organe. Parasympathische Nerven entstammen entweder den Hirnnerven oder dem unteren Ende des Rückenmarks.

*„Allgemein gesagt stimulieren, organisieren und mobilisieren die sympathischen Nerven Energieressourcen, um mit bedrohlichen Situationen fertig zu werden, wohingegen die parasympathischen Nerven dazu beitragen, Energiereserven aufzubauen.“*

Das PNS umfaßt nicht nur einheitliche Nerven, es ist fast durchwegs gemischt aus afferenten und efferenten Nerven. Afferente Nerven laufen zum ZNS, efferente führen vom ZNS weg. Die Aufteilung des Sympathicus und Parasympathicus betrifft nur die efferenten Nerven des vegetativen Nervensystems.

#### **4. Das Neuron – Grundbaustein des Nervensystems**

Grundlegende funktionelle Einheit des Nervensystems ist das Neuron (Nervenzelle). Allein im Gehirn befinden sich mehr als  $10^{11}$  solcher Zelltypen. Neuronen sind auf die Übertragung von Informationen auf andere Neuronen und auf Muskel- oder Drüsenzellen spezialisiert und unterscheiden sich in zwei Punkten von anderen Zellen.

Zum Einen hören Neuronen kurz nach der Geburt auf, sich zu teilen. Ein Mensch hat also ab dem Zeitpunkt der Geburt eine bestimmte Anzahl von Nervenzellen, die sich dann im Gegensatz zu anderen Zellen nicht mehr vermehren. Zum Anderen ist die Zellmembran darauf spezialisiert Informationen weiterzuleiten (s.o.).

Eine Neuron ist wie folgt aufgebaut. Von dem *Perikaryon* (Zellkörper) gehen viele Fortsätze aus, einen einzigen davon bezeichnet man als Axon. Die anderen werden Dendriten genannt.

Das Axon spaltet sich am Ende mehrfach auf. An jeder dieser Endigungen befindet sich ein synaptisches Endknöpfchen, der Ort der Informationsübertragung auf eine andere Zelle. Das Axon gibt also Informationen an andere Neuronen weiter, die Dendriten – übersät mit Synapsen - dagegen empfangen die Informationen.

Die besonders langen Axone einiger Nervenzellen sind mit Myelin umgeben, einem fetthaltigen, isolierenden Material, das die Übertragungsgeschwindigkeit erhöht.

Wird nun eine Information einer Nervenzelle ausgesendet entsteht im Axon an der Stelle, wo es den Zellkörper verläßt, ein Aktionspotential. Dieses durchläuft das Axon bis es zur synaptischen Übertragung am den Kontaktstellen mit anderen Nervenzellen kommt. Das Aktionspotential ist also quasi die Information, die weitergeleitet wird. Dabei werden winzige Mengen chemischer Stoffe freigesetzt, die die Übertragung ermöglichen, die sogenannten *Neurotransmitter*.

Außerdem sind nicht alle Neuronen gleich, es lassen sich mehrere Typen unterscheiden, hier seien nur einige davon genannt.

*Motoneuronen* stehen mit Muskelfasern und Drüsenzellen in Verbindung. Ihr Zellkörper ist größer als der aller anderen Nervenzellen und ein sehr langes Axon.

*Sensorische Neuronen* verbinden das Nervensystem mit den Rezeptoren in der Haut und bilden die außerhalb des Rückenmarks liegenden Spinalganglien (s. 5.1).

Innerhalb des Gehirns lassen sich noch *Hauptneuronen* und *Interneuronen* unterscheiden. *Hauptneuronen* übertragen Informationen zwischen einzelnen Gehirnregionen, *Interneuronen* begrenzen sich nur auf die Gehirnregion, in der sie sich befinden.

Neben den Nervenzellen befinden sich zusätzlich noch *Gliazellen* im Zentralnervensystem und im Peripheren Nervensystem *Satellitenzellen*. Sie nehmen tote Zellen und andere neuronale Zellteile auf und dienen u.a. als Stützgewebe, welches die Nervenzellen zusammenhält.

## **5. Das zentrale Nervensystem (ZNS)**

Das ZNS gehört zu den am Besten geschützten Regionen des menschlichen Körpers. Zum einen wird es von den knöchernen Strukturen des Schädels und der Wirbelsäule umhüllt, zum anderen ist es zusätzlich durch mehrere Häute und die Cerebrospinalflüssigkeit nach außen hin geschützt (s. 4.1 und 4.2).

*”Das Zentralnervensystem kann als die große Schaltzentrale des Körpers betrachtet werden. Die unendlich vielen nervösen Impulse, die aus dem Körper selbst oder aus der Außenwelt kommen, werden hier so verarbeitet, daß eine sinngemäße, dem Leben dienende Organreaktion eintritt.”*

### **5.1 Das Rückenmark (medulla spinalis)**

Eingebettet im Wirbelkanal der Wirbelsäule und als Teil des Zentralnervensystems erstreckt sich das Rückenmark vom Gehirn aus als verlängertes Mark stabförmig etwa 40 cm lang bis zum 2. Lendenwirbel. Es ist durch drei Häute und Flüssigkeit geschützt. Die äußere Haut bezeichnet man als *dura mater spinalis*. Ihr eng anliegend folgt als mittlere Hülle die *arachnoidea spinalis* und schließlich liegt direkt am Rückenmark die *pia mater spinalis* an. Zwischen der mittleren und der inneren Hülle befindet sich der *Subarachnoidalraum*, der die *Cerebrospinalflüssigkeit* enthält. Zusammen mit den schützenden Häuten und der *Cerebrospinalflüssigkeit* füllt das Rückenmark den Wirbelkanal allerdings noch nicht voll aus, sondern bietet noch Platz für Venengeflechte und Fettansammlungen.

Bei einem Querschnitt durch das Rückenmark sind gut die graue und die weiße Substanz zu erkennen.

Die graue Substanz besteht überwiegend aus Nervenzellkörpern und hat im Querschnitt die Form eines Schmetterlings. Die beiden dorsalen Ausläufer der grauen Substanz bezeichnet man als Hinterhörner; sie dienen als Schaltstationen der sensorischen Informationen des Körpers. Auf der ventralen Seite des Rückenmarks befinden sich die Vorderhörner der grauen Substanz, die motorische Signale empfangen und weiterleiten. Die graue Substanz ist völlig von der, überwiegend aus Nervenfasern bestehenden weißen Substanz eingehüllt.

Zwischen je zwei Wirbeln treten die insgesamt 31 Spinalnerven paarweise ins Rückenmark ein. Jeweils einer von der rechten und einer von der linken Seite. Sie teilen sich kurz vor dem Rückenmark auf und treten an der dorsalen Seite durch die Hinterwurzel und an der ventralen Seite durch die Vorderwurzel ein, wobei die beiden Wurzeln jeweils aus den Axonen der in Hinterhorn und Vorderhorn liegenden Neuronen bestehen. Dementsprechend ist also die Hinterwurzel für sensorische Signale, die Vorderwurzel für motorische Signale verantwortlich. Kurz vor dem Zusammenfließen beider Wurzeln schwillt die Hinterwurzel zum Hinterwurzelganglion bzw. Spinalganglion an.

Die aus dem Rückenmark austretenden Nerven sind jeweils für eine ganz bestimmte Körperregion zuständig und bilden somit das periphere Nervensystem (s. 5.).

Über das Rückenmark laufen also alle Informationen des Körpers zusammen (ausgenommen der Hirnnerven) und werden zum Gehirn hin- oder vom Gehirn weggeleitet. Verletzungen am Rückenmark können daher sehr tiefgreifende Schäden im menschlichen Körper zur Folge haben.

*„Daher führt ein Schaden in dorsalen Regionen des Rückenmarks zu sensorischen Störungen (Empfindungsverlusten), wohingegen ein Schaden im ventralen Teil zu motorischen Störungen oder Defekten (zum Beispiel Lähmungen) führt.“*

PINEL -FOLIE

**Abb.3 Hinter- und Vorderwurzel des Rückenmarks**

## **5.2 Das Gehirn**

In diesem Kapitel wird ein Aufbau des Gehirns im Überblick gegeben, sowie einige Funktionen einzelner Gehirnabschnitte bzw. Strukturen beschrieben in Hinblick auf Verhalten und Steuerung der Körperfunktionen.

Da das Thema Aufbau des Gehirns und die damit verbundenen Funktionen ist sehr komplex ist, werde ich mich bei den folgenden Erläuterungen auf die wichtigsten Strukturen im Gehirn beschränken.

Das Gehirn liegt völlig eingeschlossen innerhalb der Schädeldecke. Geschützt wird es neben den knöchernen Struktur des Schädels zusätzlich – wie das Rückenmark – durch drei Häute, Flüssigkeit und einer speziellen Schutzfunktion, der Blut-Hirn-Schranke.

Direkt unter der Schädeldecke liegt die *Dura mater* (die äußere harte Hirnhaut). Darauf folgt die *Arachnoidea* (Spinnwebhaut) und schließlich die *Pia mater* (innerste Hirnhaut). Ebenfalls wie beim Rückenmark befindet sich hier zwischen der mittleren und der innerern Hirnhaut die *Cerebrospinalflüssigkeit* im Subarachnoidalraum.

Durch die Blut-Hirn-Schranke wird verhindert, daß toxische Stoffe aus dem Blut ins Gehirn gelangen. Die Zellen der Blutgefäßwände im Gehirn liegen dichter beieinander als im restlichen Körper, daher können große Moleküle und einige Proteine nicht ins Gehirn übertreten. Dies heißt jedoch nicht, daß generell große Moleküle nicht ins Gehirn gelangen; vielmehr werden benötigte Moleküle erkannt und aktiv durch die Blutgefäßwände hindurch transportiert.

Das Gehirn besteht aus fünf Abschnitten: *Telencephalon*, *Diencephalon*, *Mesencephalon*, *Metencephalon* und *Myelencephalon*. Die vier zuletzt genannten Teile bezeichnet man als den Hirnstamm, weil aus ihm die beiden Großhirnhälften entspringen.

### **Telencephalon (Endhirn):**

Das Telencephalon nimmt den Großteil des gesamten Gehirns ein und besteht zunächst einmal aus den beiden Großhirnhemisphären. Sie werden vom *Cortex cerebri* (Hirnrinde) bedeckt, der wie beim Rückenmark ebenfalls in eine graue und weiße Substanz aufgeteilt ist. Die graue, 4 - 5 mm dicke, außen liegende Substanz besteht überwiegend aus Nervenzellkörpern, die darunter liegende weiße Substanz aus Nervenfasern. Auffällig ist die starke Faltung der Oberfläche, die dadurch mehr Platz für Neuronen und deren Versorgung mit Nährstoffen durch die Flüssigkeit in der *Arachnoidea* bietet. Der *Cortex cerebri* ist durch *Fissuren* (tiefe Furchen) und *Sulci* (flachere Furchen) durchzogen. Als *Fissura longitudinalis cerebri* bezeichnet man die große Längsfurche, die beide Großhirnhemisphären fast vollständig voneinander trennt. Weitere tiefe Furchen sind die *Fissura lateralis* (Sylvische Furche) und die *Sulcus centralis* (Zentralfurche). Neben den Furchen gibt auch noch Windungen im *Cortex cerebri*, die sogenannten *Gyri*. Durch die Furchung des *Cortex* kommt es fast zu einer Vierteilung der Hirnrinde: *Frontallappen*, *Parietallappen*, *Temporallappen* und *Occipitallappen*.

Der *Cortex cerebri* teilt sich wiederum in den *Neocortex* und den *Hippocampus*, der sich am unteren Cortextrand befindet. Verbunden sind die beiden Großhirnhemisphären durch den Balken.

*”Die Großhirnrinde (cortex cerebri) macht den Menschen zu dem, was er ist. In diesem großen Gehirnbereich verbirgt sich ein entscheidender Teil des Geheimnisses unseres Bewußtseins, [...], unserer motorischen Fähigkeiten, unseres Denk- und Vorstellungsvermögens [...] unserer einzigartigen sprachlichen Fähigkeiten.”*

Auf der Hirnrinde gibt es verschiedene Regionen, die für verschiedene Funktionen verantwortlich sind, z.B. motorische Regionen, sensorische Regionen und Assoziationsfelder. Allerdings kann man nicht sagen, daß eine einzige Region auf dem Cortex cerebri nur für eine einzige Funktion verantwortlich ist, letztendlich stehen alle Bereiche im Gehirn miteinander in Verbindung und befinden sich in stetem Austausch.

#### *Limbisches System:*

Als limbisches System bezeichnet man eine Struktur im Gehirn, die zwischen Diencephalon und den beiden Großhirnhemisphären liegt und Teile des Frontal-, Temporal- und Parietallappens des Cortex cerebri enthält. Wichtige Teile des limbischen Systems sind die *Amygdala* (Mandelkern) und der *Hippocampus* (Ammonshorn).

Diese Struktur beeinflusst Gefühle wie Angst, Wut, Hemmung und Freude, hat Einfluß auf das Sexualverhalten sowie die vegetativen Funktionen des Organismus.

#### *Basalganglien:*

Sie befinden sich als Gruppen großer Zellkerne im Zentrum der Großhirnhemisphären. Strukturen des Basalganglien sind *Nucleus caudatus* und *Putamen*, zusammen als *Striatum* bezeichnet sowie *Globus pallidus*.

Diese Ansammlungen von Nervenzellkörpern leisten einen Beitrag zur Bewegungskontrolle im menschlichen Körper.

#### **Diencephalon (Zwischenhirn):**

Das Diencephalon liegt unterhalb der beiden Großhirnhemisphären und besteht aus drei wesentlichen Strukturen: *Thalamus*, *Hypothalamus* und *Epithalamus*.

Der Name Diencephalon kommt von einer wichtigen Funktion dieses Gehirnabschnittes; es ist eine Verbindungsstelle, die das Vorderhirn mit dem Hirnstamm verbindet.

*Thalamus:*

Als Thalamus wird der dorsale Teil des Diencephalon bezeichnet. Er besteht wiederum aus grauer und weißer Substanz und wird manchmal auch Sehhügel genannt. Hier befindet sich eine Durchlaufstelle der wichtigsten sensiblen Nervenbahnen, die vom Rückenmark ins Gehirn laufen: Schmerz, Hören, Sehen und somatosensorische Nervenbahnen.

*Hypothalamus:*

Der Hypothalamus besteht aus 22 Nuclei und Fasersystemen, die ihn durchziehen, sowie den *Mamillarkörpern*. Er steht in enger Verbindung mit der *Hypophyse*, einer wichtigen Hormondrüse. Diese innerviert er mit Nerven, dadurch hat er also indirekt Einfluß auf die Hormonausschüttung des Körpers. Zusätzlich beeinflusst er das Schlafen, das Sexualverhalten, die Temperaturregulation und das emotionale zwischenmenschliche Verhalten.

*Epithalamus:*

Die exakte Funktion des Epithalamus im menschlichen Gehirn ist bis heute noch nicht genau bekannt. Zu ihm gehört die *Epiphyse* (Zirbeldrüse).

**Mesencephalon (Mittelhirn):**

Das Mesencephalon besteht aus zwei großen Teilen, dem *Tectum* und dem *Tegmentum* und folgt in Richtung Rückenmark auf das Diencephalon.

*Tectum:*

Das Tectum (Dach) bildet den dorsalen Teil des Mesencephalon. Dort haben sich zwei paarige Hügel mit unterschiedlicher Funktion herausgebildet. Zum Einen die *Colliculi inferiores* mit der Hörfunktion und zum Anderen die *Colliculi superiores* mit der Sehfunktion.

### *Tegmentum:*

Der ventrale Teil des Mesencephalon dagegen besteht aus dem Tegmentum. Dort finden sich drei wesentliche Strukturen: *Substantia grisea centralis*, *Substantia nigra* und *Neucleus ruber*. Erstere ist wichtig bei der Übertragung schmerzreduzierender Wirkungen von Opiaten, die anderen beiden spielen eine Rolle im sensomotorischen System.

### **Metencephalon (Hinterhirn):**

Dieser Gehirnabschnitt beinhaltet die *Pons* (Brücke), das *Cerebellum* (Kleinhirn) sowie Teile der *formatio reticularis*.

### *Pons:*

Die Pons stellt eine Ausbeulung an der ventralen Seite des Metencephalon und eine Verlängerung der *Medulla oblongata* dar. Als *Medulla oblongata* bezeichnet man die Fortsetzung des Rückenmarks in das Gehirn, die graue Substanz in diesem Bereich nennt man *formatio reticularis*. Im Bereich der Pons liegen mehrere Kerne derjenigen Hirnnerven, die bei der Kontrolle des Gesichtsausdruckes und der Nahrungsaufnahme eine Rolle spielen.

### *Cerebellum:*

Das Kleinhirn ist eine stark gefaltete Struktur an der dorsalen Seite des Hinterhirns. Verletzungen an dieser Stelle führen dazu, daß Einzelbewegungen nicht mehr flüssig ineinander übergehen. Beispielsweise können Gegenstände nicht mehr ergriffen werden oder auch Klavierspielen stellt ein Problem dar. Allerdings fallen die motorischen Fähigkeiten nicht komplett aus, sondern die Koordination und die Geschwindigkeit der Bewegungen wird beeinträchtigt. Auch der Gleichgewichtssinn befindet sich innerhalb dieser Struktur.

### **Myelencephalon (Nachhirn):**

Das Nachhirn oder auch *Medulla oblongata* (verlängertes Mark) genannt stellt den Übergang zum Rückenmark dar, in das es, sich nach unten verjüngend, übergeht.

Dort befinden sich fast ausschließlich Faserzüge, die Informationen zwischen dem Körper und dem Gehirn weiterleiten. Das Myelencephalon ist quasi auch der Anfang der *formatio reticularis*, die sich von da aus weiter ins Gehirn erstreckt. Diese ist u.a. an Funktionen wie Schlaf, Bewegung, Aufmerksamkeit und den Atemreflexen beteiligt.