

Neuroathletik Grundlagen

Neurozentriertes Training setzt am Nervensystem an. Dieses Kapitel erklärt, wie es arbeitet, warum Sicherheit zentral ist und was Training wirksam macht.

Sicherheit als Grundprinzip des Nervensystems

Bewegung, Kraft und Leistung sind nur möglich, wenn sich das Nervensystem sicher fühlt. Dieses Kapitel zeigt, warum Sicherheit entscheidend ist und wie Unsicherheit Leistung und Gesundheit begrenzt.

Die zentrale Aufgabe des Nervensystems ist die Sicherung des Überlebens. Zu jeder Zeit, in jeder Situation. Alles, was im Körper geschieht, wird durch diesen übergeordneten Zweck beeinflusst. Jede Information, die das Gehirn erreicht, wird dabei nicht primär nach ihrer Richtigkeit oder Effizienz bewertet, sondern nach einer einzigen Frage: »Ist es sicher?«

Die Antwort auf diese Frage entscheidet über die Reaktion des Systems: Wird eine Situation als sicher eingestuft, gibt das Gehirn freie Bahn für Bewegung, Leistung, Flexibilität und Stabilität. Wird sie dagegen als unsicher bewertet, folgen kompensatorische Schutzreaktionen wie Spannung, Kraftverlust, Bewegungseinschränkung, Schmerz oder Schwindel.

Das Gehirn lebt dabei im Hier und Jetzt. Sein Ziel ist es, diesen Moment zu überleben. Dafür arbeitet es mit dem Prinzip der Vorhersage: Neue Reize werden mit gespeicherten Erfahrungen abgeglichen. Entsteht dabei ein Mismatch, steigt das Risiko einer Schutzreaktion.

Letztlich bewegen wir uns alle auf einem Kontinuum, wie in der Abbildung (Seite 11) dargestellt. An einem Ende stehen Einschränkung, Schmerz oder Überlastung, an dem anderen Leichtigkeit, Stabilität und Leistung. Jeder Mensch befindet sich irgendwo auf dieser Linie und das Ziel eines wirksamen Trainings ist es, diesen Zustand gezielt zu verbessern. Jede Übung, jeder Reiz im neurozentrierten Training zielt letztendlich darauf ab, die wahrgenommene Sicherheit des Systems zu erhöhen. Denn nur in einem Zustand subjektiver Sicherheit gibt das Nervensystem Leistung frei.

Dabei gibt es keine Übung »gegen Schmerzen« oder »für mehr Leistung«. Je nach individueller Ausgangslage entfalten die gleichen Übungen unterschiedliche Wirkungen. Für die eine Person bedeutet ein Reiz die Reduktion von Schmerz, für die andere bedeutet genau derselbe Reiz den nächsten Schritt zu mehr Stabilität, Beweglichkeit oder Performance. Entscheidend ist deshalb nicht die Übung an sich, sondern die Wirkung, die sie in diesem Moment auf das individuelle Nervensystem hat.

Funktion des Nervensystems

Bevor wir uns die Struktur des Nervensystems anschauen, wollen wir zuerst einen Blick auf seine grundlegende Funktion werfen. Wie arbeitet das Nervensystem und unter welchen Bedingungen kann es sich optimal entwickeln, anpassen und funktionieren?

Das Nervensystem übernimmt eine zentrale Rolle bei der Steuerung und Regulation sämtlicher körperlicher Funktionen. Es empfängt ununterbrochen Informationen aus der Umwelt und dem eigenen Körper, filtert und bewertet diese und gibt daraufhin Befehle aus.

Vereinfacht lässt sich diese Arbeitsweise in drei aufeinanderfolgende Prozesse gliedern (Abbildung, Seite 12):

1. Aufnahme (Input),
2. Verarbeitung (Integration) und
3. Reaktion (Output).

Informationsaufnahmen aus der Umwelt und dem Körperinneren

Im ersten Schritt registrieren spezialisierte Rezeptoren (Seite 24) sensorische Reize

aus der äußeren und inneren Umgebung. Über afferente Nervenbahnen werden diese Informationen als elektrische Signale zum zentralen Nervensystem geleitet. Je nach Lokalisation und Funktion werden drei Hauptkategorien sensorischer Informationsaufnahme unterschieden¹:

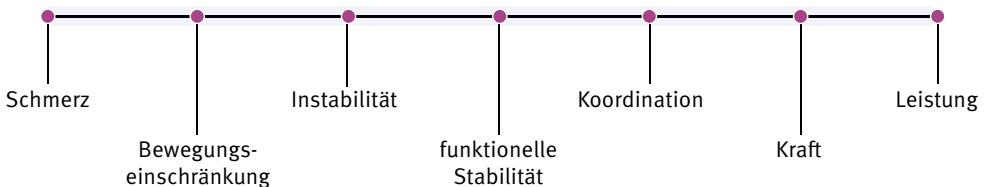
1. **Exterozeption:** Reize aus der Außenwelt (z. B. sehen, hören, tasten, riechen)
2. **Interozeption:** Informationen über das innere Milieu (z. B. Atmung, Blutdruck, pH-Wert, viszerale Signale)
3. **Propriozeption:** Informationen über Gelenkstellungen, Muskelspannung und Körperlage im Raum

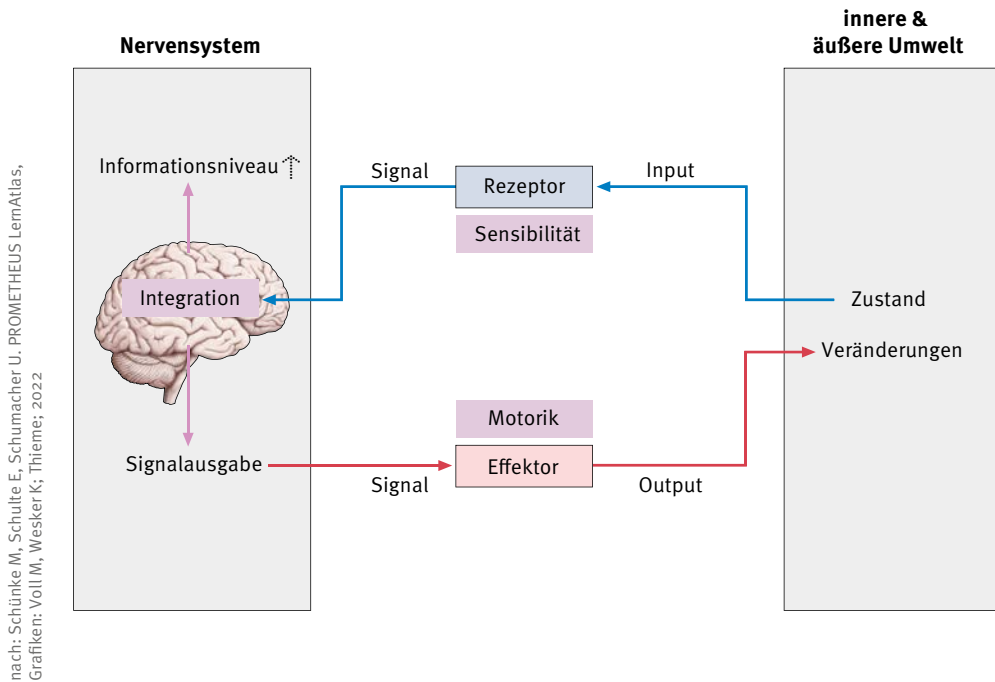
Integration und Bewertung im zentralen Nervensystem

Im Gehirn werden diese eingehenden Informationen bewertet, verglichen und mit Er-

☑ **Das neurozentrierte Trainingskontinuum:** Das Sicherheitsempfinden des Gehirns bestimmt, wo wir uns auf dem Kontinuum zwischen Schmerz und Leistung befinden. Gezieltes Neurotraining verschiebt diesen Zustand in Richtung Leistungsfähigkeit.

Kontinuum von Schmerz zu Leistung





◆ **Modellhafter Überblick über die Funktionsweise des zentralen Nervensystems (ZNS).** Reize aus der Umwelt werden über Rezeptoren aufgenommen, im ZNS integriert und führen zu motorischen oder vegetativen Reaktionen.

fahrungen, Lerninhalten sowie emotionalen Kontexten verknüpft. Dabei finden eine Auswahl und Gewichtung statt. Welche Information ist relevant? Welche Reaktionsmöglichkeiten gibt es? Welche Reaktion ist sinnvoll? Diese Prozesse laufen häufig unbewusst ab, insbesondere bei bekannten oder automatisierten Abläufen. Diese **Integration** von Reiz und Kontext ist entscheidend für eine adaptive, im besten Falle adäquate Reaktion. Im präfrontalen Kortex, im limbischen System sowie in Basalganglien und im Kleinhirn werden Handlungsmöglichkeiten generiert, korrigiert und vorbereitet.

Reaktionsausgabe als motorischer oder vegetativer Output

Die Reaktion erfolgt anschließend über das efferente System. Je nach Art des Reizes werden entweder motorische bzw. somatische (willkürlich steuerbar und reflexiv) Befehle an die Skelettmuskulatur (z. B. bei Bewegung, Flucht oder Greifreaktionen) oder Signale an vegetative (autonome) Nervensystemanteile (z. B. Herzfrequenz, Verdauung, Atmung) gesendet (Abbildung, Seite 13).² Auch hormonelle Systeme können involviert sein. Der Effektor ist somit die ausführende Einheit, der die vom ZNS gesteuerte Antwort umsetzt.

Diese Arbeitsweise des Nervensystems bildet die Grundlage des neurozentrierten Ansatzes. Nur wenn zielgerichtete Reize (Input) gesetzt werden und das Nervensystem diese effizient verarbeiten kann, lassen sich

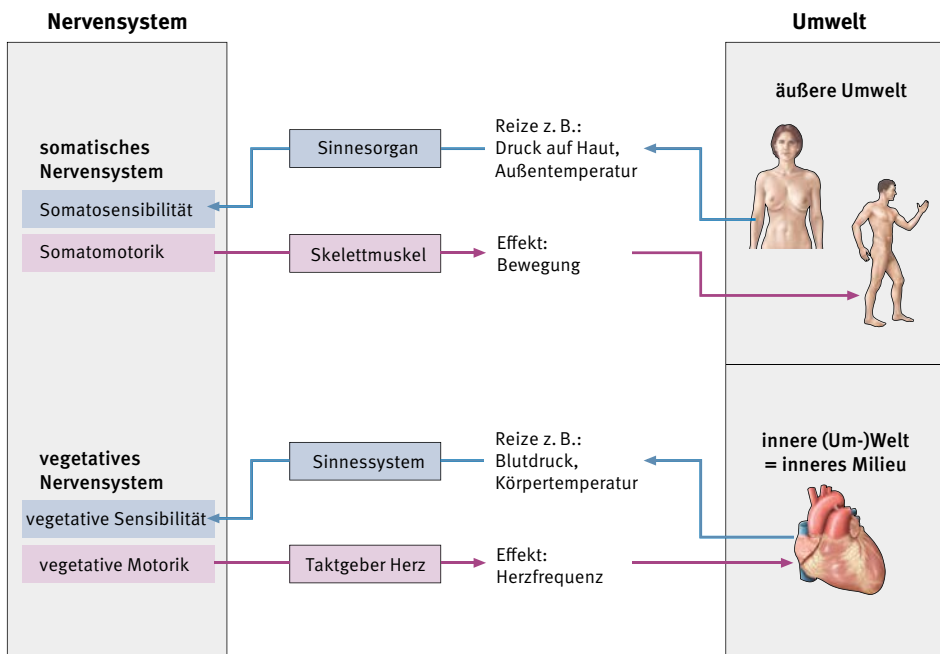
adaptive Veränderungen im Output erzielen. Neurozentrierte Übungen optimieren die Qualität und Relevanz der Reize und damit letztlich die gesamte Verarbeitungskette, mit dem Ziel, bessere Bewegung, höhere Leistung oder reduziertere Schmerzen zu schaffen.

Prinzipien des Nervensystems

Ein zentrales Prinzip für die Beschreibung der Funktionsweise des Nervensystems ist das sogenannte **Use-it-or-lose-it-Prinzip**. Dieses neurobiologische Grundgesetz besagt, dass neuronale Verbindungen, die regelmäßig aktiviert werden, gestärkt, stabilisiert und ausgebaut werden. Ungenutzte Verbindungen werden dagegen allmählich abgeschwächt oder sogar vollständig abgebaut.

Das Nervensystem ist plastisch (veränderbar). Es passt sich ein Leben lang dynamisch an die Anforderungen der Umwelt, der Bewegung und der inneren Zustände an.³ Gerade im Trainings- und Therapiekontext ist diese Erkenntnis essenziell. Nicht allein die Existenz bestimmter neuronaler Strukturen ist entscheidend, sondern ihre regelmäßige Nutzung. Sensorische Reize, motorische Handlungen und kognitive Prozesse sind entscheidende Einflussfaktoren für die funktionelle Organisation unseres Gehirns.⁴ Nur was regelmäßig aktiviert wird, bleibt erhalten oder verbessert sich sogar.

♥ Differenzierung zwischen motorischem/somatischem und vegetativem/viszeralem Nervensystem. Reize wirken auf unterschiedliche Sinnes- und Effektorensysteme und führen zu Bewegungen (z. B. Muskelaktivität) oder Regulation lebenswichtiger Funktionen.



Diese plastischen Veränderungen finden sowohl auf struktureller Ebene statt, z.B. durch die Bildung neuer Synapsen, als auch auf funktioneller Ebene, etwa durch eine verbesserte synaptische Effizienz. Gezielte Reize können zu messbaren Anpassungen in kortikalen Repräsentationen führen.

Ein weiteres fundamentales Prinzip ist das sogenannte SAID-Prinzip – Specific Adaptation to imposed Demands. Es besagt, dass das Nervensystem genau auf die Anforderungen reagiert, denen es ausgesetzt wird. Mit anderen Worten: Wir werden in genau dem besser, was wir regelmäßig tun. Das bedeutet auch, dass Trainingsreize möglichst präzise gesetzt werden müssen, um eine gezielte neuroplastische Anpassung zu erzielen. Ob es sich dabei um Bewegungsabläufe, Gleichgewichtsleistungen, visuelle Anforderungen oder auch kognitive Prozesse handelt – das Gehirn und das gesamte Nervensystem formen sich entlang der Art, Intensität und Wiederholung der gesetzten Reize.

Dieses Prinzip erklärt, warum ein unspezifisches Üben nur zu begrenzten Fortschritten führt, während ein spezifisch gesetzter Trainingsstimulus eine deutlich effektivere Anpassung erzeugt. Es ist damit sowohl für motorisches Lernen als auch für jede Form neurozentrierten Trainings grundlegend.

Zugleich ist es wichtig zu verstehen, dass das Nervensystem nicht isoliert funktioniert, sondern auf intakte Input- (Sinnesorgane) und Outputstrukturen (Muskulatur, Bindegewebe) angewiesen ist. Die Qualität und Genauigkeit der Reizverarbeitung entscheiden letztlich darüber, wie effizient das System als Ganzes funktioniert und wie präzise eine Bewegung, eine Haltungskorrektur oder eine Schmerzmodulation umgesetzt wird.

Diese dynamische Kommunikation erfolgt über eine Vielzahl von auf- und absteigenden neuronalen Bahnen (Seite 19). Die funktionelle Betrachtung dieser Bahnen hilft uns zu verstehen, welche Trainingsreize welche Effekte im System auslösen können und wo ein gezielter neurozentrierter Trainingsansatz ansetzen sollte.

Überblick über das Nervensystem

Ein strukturierter Überblick über Aufbau und Aufgaben des Nervensystems – als Grundlage für alle weiteren Inhalte im Buch.

Für das Verständnis von neurozentriertem Training ist es hilfreich, das Nervensystem grob in zwei Bereiche zu gliedern: das zentrale Nervensystem (ZNS) und das periphere Nervensystem (PNS) (Abbildung, Seite 16). Diese Einteilung orientiert sich an der anatomischen Lage und Schutzfunktion. Alles, was von Knochen umgeben ist, also Gehirn und Rückenmark, gehört zum ZNS. Alle Nervenstrukturen, die außerhalb dieser Schutzräume verlaufen, zählen zum PNS.

Ein wesentlicher Unterschied zwischen zentralem und peripherem Nervensystem zeigt sich in ihrer Fähigkeit zur Heilung und Anpassung. Während sich periphere Nerven nach Verletzungen häufig erstaunlich gut regenerieren können, ist das im zentralen Nervensystem nur sehr eingeschränkt möglich. Diese unterschiedliche Regenerationsfähigkeit hängt unter anderem mit den Schwann-Zellen im PNS zusammen, die aktiv Wachstumsfaktoren für die nachwachsenden Axone bereitstellen. Im ZNS hingegen verhindern hemmende Proteine (wie

sogenannte Nogo-Faktoren) ein vergleichbares Nachwachsen.

Nichtsdestotrotz ist auch das zentrale Nervensystem plastisch. Über die neuronale Plastizität des Gehirns können bestehende Verbindungen verändert (gestärkt und geschwächt), neue Verschaltungen geknüpft und sogar neue Neuronen gebildet werden. Dieses Prinzip nutzen wir im neurozentrierten Training: Durch gezielte, wiederholte Reize und sinnvolle Variation von Übungen lassen sich neuronale Netzwerke umorganisieren und funktionell verbessern.

Auch Studien zur Rückenmarksforschung zeigen, dass selbst bei schweren Schädigungen oft nicht alle Leitungsbahnen vollständig unterbrochen sind. Verfahren wie die epidurale Rückenmarkstimulation durch gezielte elektrische Reizung können verbliebene neuronale Brücken aktivieren und motorische Funktionen teilweise wiederherstellen.⁵ Schauen wir uns nun die beiden Bereiche des Nervensystems genauer an.

Zentrales Nervensystem – Gehirn und Rückenmark

Das zentrale Nervensystem (ZNS) ist das übergeordnete Steuerungszentrum des gesamten Körpers. Es besteht aus Gehirn und Rückenmark, welche durch den Schädel und die Wirbelsäule mechanisch geschützt sind. Das Gehirn ist zusätzlich von drei Hirnhäuten und der Gehirnflüssigkeit (Liquor) umgeben. Diese Barrieren sorgen dafür, dass das System trotz seiner hohen Empfindlichkeit möglichst unbeschadet bleibt.

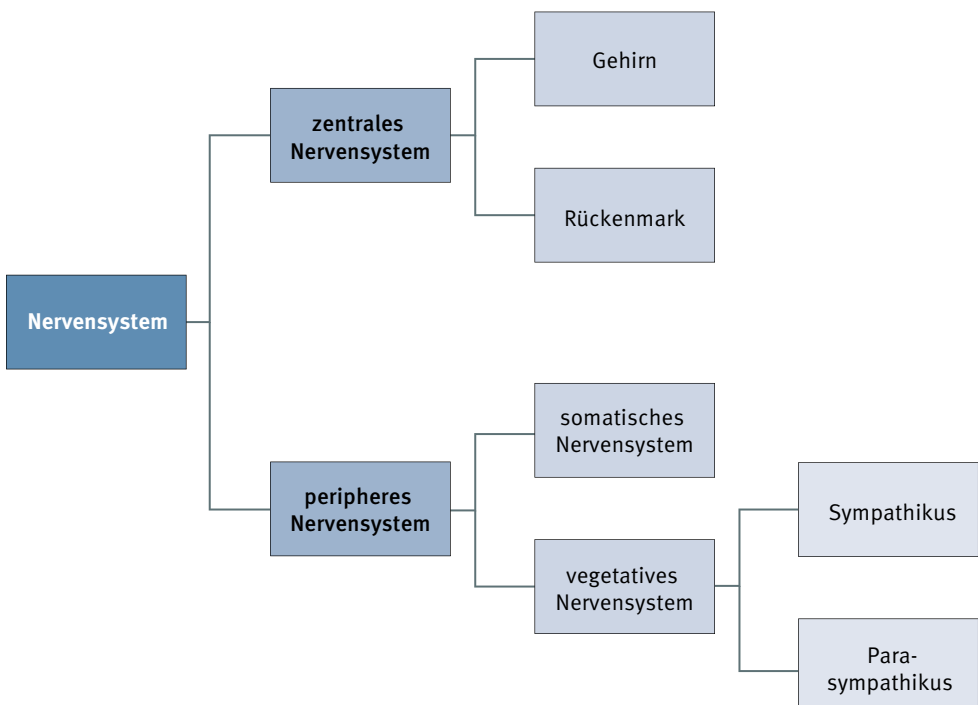
Die Aufgabe des ZNS ist es, sämtliche Informationen, die über das periphere Nervensystem einströmen, zu empfangen, zu bewerten und in geeignete Reaktionen umzusetzen. Das Gehirn bildet dabei die

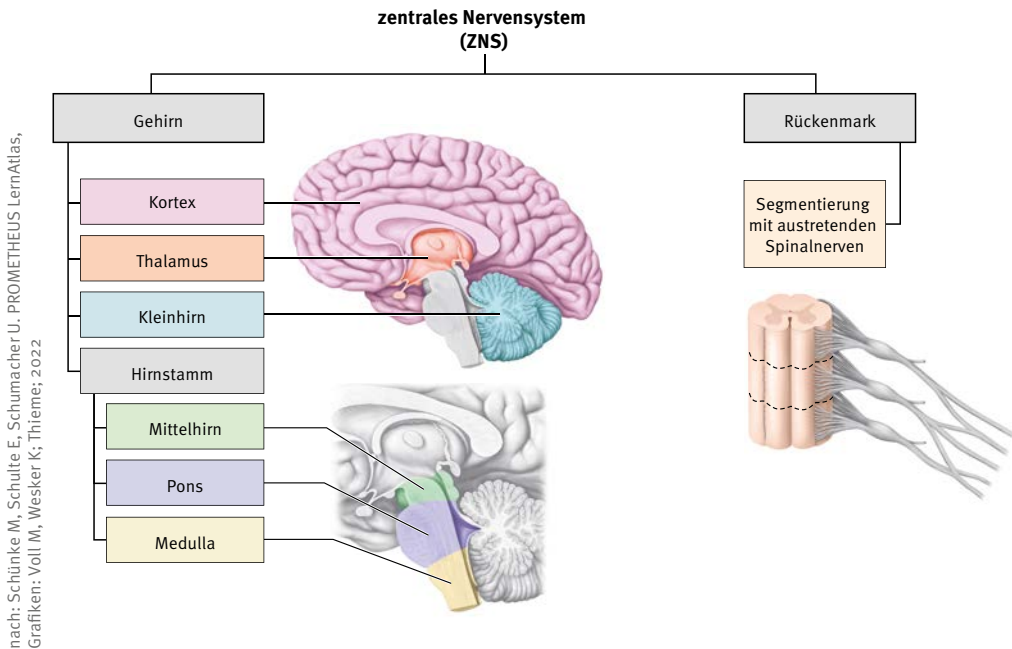
oberste Instanz und ist verantwortlich für alle bewussten Handlungen und Wahrnehmungen sowie gleichzeitig die Steuerung unbewusster Prozesse wie Atmung, Herzschlag oder hormonelle Regulation. Im Gehirn werden Bewegungen geplant, Emotionen bewertet und Sinneseindrücke gefiltert.

Das Rückenmark ist das zentrale Verbindungsstück zwischen Gehirn und Körper. Es leitet Signale in beide Richtungen, von den Sinnesorganen und Rezeptoren des Körpers hinauf zum Gehirn und von dort zurück zu Muskeln und Organen. Gleichzeitig ist es in der Lage, eigenständig schnelle Schutzreaktionen, sogenannte Reflexe, auszulösen, ohne dass das Gehirn dafür eingeschaltet werden muss.

In den folgenden Abschnitten gehen wir kurz auf Aufbau und grundlegende Aufga-

♥ Schematischer Aufbau des Nervensystems.





◆ Aufbau des Zentralnervensystems (ZNS) mit seiner groben morphologischen Einteilung in Gehirn und Rückenmark.

ben des Gehirns sowie das Rückenmark mit seinen Leitungsbahnen ein. Dieser Überblick bildet die Basis, um später im Buch gezielt zu verstehen, wie wir über das Training des Nervensystems Bewegung, Wahrnehmung und Leistung verbessern können.

Aufbau des Gehirns – Grobstruktur und Hauptfunktionen

Das Gehirn ist die Schaltzentrale des menschlichen Körpers und besteht aus evolutionär »alten« und »neueren« Bereichen, die eng miteinander verbunden sind. Das »alte Gehirn« umfasst Hirnstamm und Kleinhirn. Diese Strukturen sichern unser Überleben, da

sie lebenswichtige Funktionen wie Atmung, Herzschlag, Reflexe und grundlegende motorische Koordination steuern. Emotionale Reaktionen und instinktive Verhaltensmuster werden hier ebenfalls verarbeitet.

Über dem »alten Gehirn« liegt das »neue Gehirn«, der Kortex (Großhirnrinde), der sich als oberste Schicht entwickelt hat. Hier werden bewusste Wahrnehmungen, Sprache, Gedächtnis und Entscheidungen koordiniert. Der Kortex gliedert sich in vier große Lappen: Frontal-, Parietal-, Temporal- und Okzipitallappen sowie die Inselrinde, die funktionell Teil des limbischen Systems ist. Diese fünf Bereiche arbeiten eng vernetzt und bilden das Fundament für alle höheren kognitiven und motorischen Prozesse. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Hirnregionen folgt im Buchteil »Neuroathletik-Übungen für einzelne neuronale Bereiche« (Seite 143).

Der Thalamus liegt zwischen diesen beiden Gehirnbereichen und wird oft als »Tor zum Bewusstsein« bezeichnet. Er filtert die eintreffenden Sinneseindrücke und entscheidet, welche Informationen in den Kortex weitergeleitet und somit bewusst wahrgenommen werden. Die Abbildung (Seite 18) verdeutlicht die Einteilung der Großhirnloben und zeigt deren topografische Anordnung.

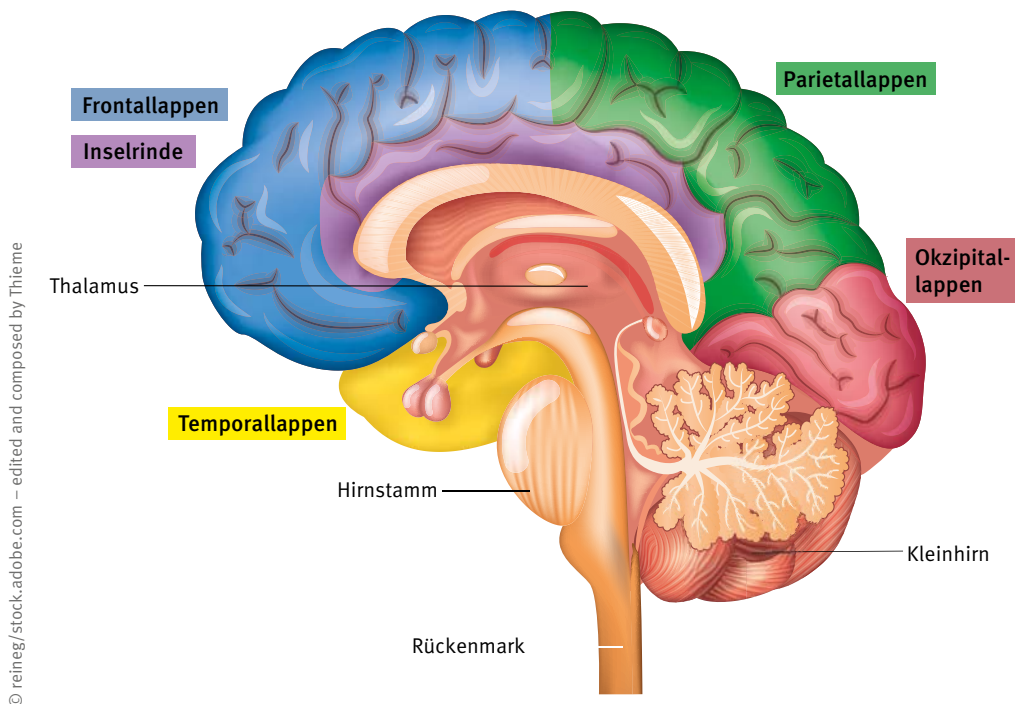
Rückenmark – Aufbau und Funktion

Das Rückenmark (Medulla spinalis) stellt die bilaterale Verbindung zwischen dem kranialen ZNS und der Peripherie dar und besteht aus einer dichten Ansammlung von Neuronen und ihren Axonen. Die auf- und abstei-

genden Faserbündel verlaufen gut geschützt im Spinalkanal der Wirbelsäule, eingebettet in Rückenmarkshäute und umgeben vom Liquor cerebrospinalis, der zusätzlich als Polster wirkt. Vom oberen Ende, wo es nahtlos in die Medulla oblongata des Hirnstamms übergeht, reicht das Rückenmark bis in den Bereich der Lendenwirbel. Die Abbildung (Seite 19) zeigt einen Überblick über das Rückenmark mit den wichtigsten anatomischen Strukturen.

Die 31 bis 32 Segmente des Rückenmarks bringen jeweils ein Paar Spinalnerven hervor. Jedes Segment bildet dabei eine Funktionseinheit, in der sensorische (afferente) und motorische (efferente) Signale gebündelt und verarbeitet werden. Ohne die sensorische Rückmeldung aus dem Rückenmark wäre eine koordinierte Bewegung oder das Halten des Gleichgewichts unmöglich.

♥ Topografische Übersicht einzelner Gehirnbereiche.



Ferner kann das Rückenmark über Reflexbögen eigenständig Reaktionen auslösen, ohne dass das Gehirn beteiligt ist. Diese Reflexe sichern schnelle Schutzreaktionen, die überlebenswichtig sein können.

Im Querschnitt ist das Rückenmark durch die schmetterlingsförmige graue Substanz geprägt, die von der weißen Substanz umgeben wird. Die graue Substanz enthält die Zellkörper von Nervenzellen und lässt sich über die gesamte Länge des Rückenmarks in drei Säulen abgrenzen, die Gruppen funktionell zusammengehöriger Neuronen widerspiegeln.

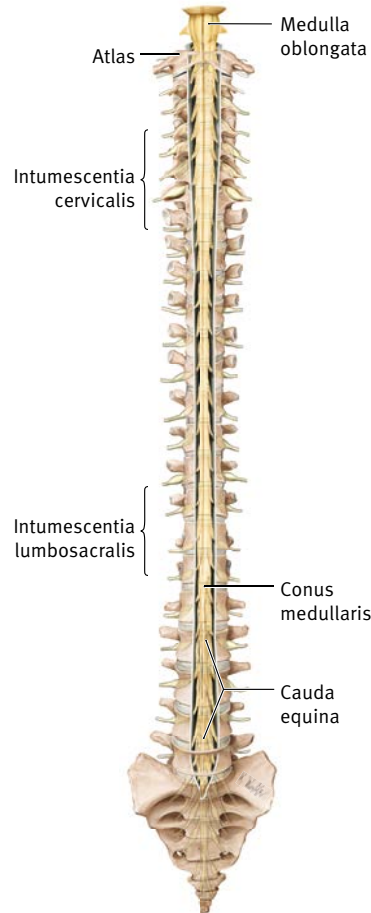
- Das Vorderhorn ist der motorische Bereich und enthält Motoneuronen, die Signale an die Skelettmuskulatur weitergeben.
- Das Hinterhorn dient der Verarbeitung sensorischer Informationen, die über die Hinterwurzeln eintreffen.
- Das Seitenhorn, das vor allem im thorakalen und lumbalen Bereich vorkommt, enthält Nervenzellen des vegetativen Nervensystems.

Die weiße Substanz besteht überwiegend aus Nervenfasern (Axonen), die in auf- und absteigenden Bahnen verlaufen. Sie wird in Vorderstrang, Seitenstrang und Hinterstrang unterteilt, in denen sensible und motorische Leitungsbahnen verlaufen. In den nächsten Abschnitten schauen wir uns die neuronalen Bahnen genauer an.

Neuronale Bahnen – Kommunikationswege im Nervensystem

Bewegung, Wahrnehmung und Regulation funktionieren nur, weil das Nervensystem in der Lage ist, Informationen effizient weiterzuleiten. Diese Kommunikation erfolgt über eine Vielzahl spezialisierter Bahnsysteme

Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS LernAtlas, Grafiken: Voll M, Wesker K; Thieme; 2022



🔹 **Übersicht des Rückenmarks.** In den Bereichen der Hals- und Lendenwirbelsäule zeigt das fingerdicke Rückenmark deutliche Verdickungen (Intumescentiae cervicalis und lumbosacralis), die der dichten Innervation von Armen und Beinen dienen. Im Bereich der Lendenwirbelsäule des Conus medullaris ziehen Nervenfasern als sogenannte Cauda equina weiter in die Peripherie.

(sensorisch und motorisch), die den gesamten Körper mit dem zentralen Nervensystem verbinden. Dabei ist das System so auf-