

Einführung in die Motorik und Sensorik des Menschen

Wendelin Hilt

Jörg Schmidt

Erinnern Sie sich daran als Sie lernten Fahrrad zu fahren? An die ersten Versuche, die Fehlschläge, die Stürze?

Wahrscheinlich hat Sie jemand festgehalten. Am Sattel zum Beispiel. Sie sind die Straße auf und ab gefahren. Ziemlich wackelig am Anfang. Schließlich immer sicherer. Und irgendwann haben Sie dann festgestellt, dass derjenige, der Sie eigentlich hätte festhalten sollen, längst losgelassen hatte und lächelnd 50 Meter weiter hinten auf der Straße stand.

Dies ist ein treffendes Beispiel für die faszinierenden Möglichkeiten unseres Körpers, sich den unterschiedlichsten Anforderungen anzupassen, zu lernen und sich immer wieder zu verbessern.

Wir wollen daran den Einstieg in die Welt des sensomotorischen Systems schaffen.

Jenes faszinierende Informationssystem des Körpers, welches hinter jeder Bewegung, jedem Gedanken, jeder Wahrnehmung steckt.

“Leben ist Bewegung” stand kürzlich in einer Werbeanzeige.

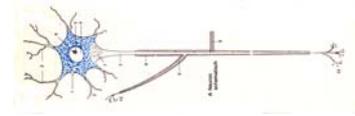
Bewegung bedeutet Aktivität, Lebensfreude

und Gesundheit. Sie ist in der Tat ein elementarer Bestandteil des Lebens. Rein physikalisch betrachtet versteht man unter Bewegung die *stetige Ortsveränderung eines Körpers auf einer Bahn oder einem Weg*. Doch wie kommt diese Bewegung beim Menschen zustande? Was ist also notwendig, damit wir uns bewegen können?

Zuerst fallen uns dabei natürlich die aktiven und passiven Teile des Bewegungsapparates ein. Es sind dies:

- Skelett
- Gelenke
- Muskulatur
- Sehnen
- Bänder
- Sensoren (Rezeptoren)
- Nerven (periphere)
- ZNS (Zentrales Nervensystem)

Wir gehen davon aus, dass die Funktion von Skelett, Gelenken, Sehnen und Bändern keiner weiteren Erklärung bedarf und widmen uns somit den Bereichen Nerven, Muskulatur, Sensoren und dem Zentralen Nervensystem. Dieses umfasst das Gehirn und Rückenmark und wird oftmals kurz ZNS genannt.



Aufbau der Nervenzelle

Eine Nervenzelle besteht aus einem Zellkörper und den sich anschließenden Fortsätzen. Die Fortsätze dienen sowohl der Aufnahme als auch der Abgabe von Erregung von oder zu einer Nachbarzelle. Die Fortsätze werden unterteilt in Axone und Dendriten. Dendriten sind kurze Fortsätze, die meist erregende Synapsen (Schaltstellen) besitzen. Die Axone können bis zu 1 Meter lang sein, bis sie zu ihrem Erfolgsorgan gelangen; an ihrem Ursprung finden hemmende Einflüsse einen guten Ansatz. Also wird bereits im Ansatz einer Erregung entschieden, ob der Reiz weitergeleitet oder schon hier unterbrochen wird. Eine sinnvolle Einrichtung angesichts der Summe der auf uns wirkenden Einflüsse von außen und innen.

Schaltet man mehrere Nervenzellen hintereinander, entsteht eine Nervenleitung oder –bahn. In dieser Nervenbahn stoßen sich die einzelnen

Zellen mit ihrer Erregung gegenseitig an. Sie aktivieren sich quasi wie umfallende Dominosteine gegenseitig.

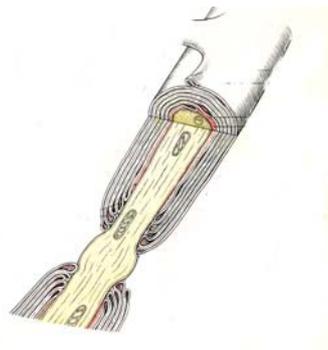
Die Nervenzelle wird also durch einen eingehenden Reiz erregt, der somit ein sog. Aktionspotential auslöst.

Bei den Nervenbahnen kann zwischen verschiedenen Qualitäten hinsichtlich Aufbau und Leitungsgeschwindigkeit unterschieden werden. Grundsätzlich differenziert man markhaltige und marklose sowie dicke und dünne Fasern. Hierbei gilt der Grundsatz, dass markhaltige Fasern schneller leiten als marklose, dicke Fasern schneller als dünne. (Siehe Tabelle)

Faser-Typ	Funktion (z.B.)	Mittlerer Faserdurchmesser (µm)	Mittlere Leitungsgeschwindigkeit (m/s)
Aα	Primäre Muskelspindel-fibrieren, motorisch zu Skelettmuskeln	15	100 (70-120)
Aβ	Haarafferenzen für Berührung und Druck	8	50 (30-70)
Aγ	Motorisch zu Muskelspindeln	5	20 (15-30)
Aδ	Haarafferenzen für Temperatur und Nozizeption	<3	15 (12-30)
B	Sympathisch präganglionär	3	7 (3-15)
C	Haarafferenzen für Nozizeption, sympathische postganglionäre Efferenzen	1	1 (0,5-2)

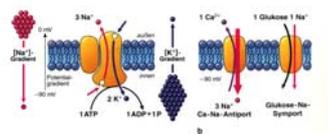
Markhaltige Fasern sind mit einer Myelinschicht ummantelt, die wie eine Isolation wirkt. Diese ist allerdings nicht wie bei einem Elektrokabel durchgängig, sondern besitzt in festgelegten Abständen Einschnürungen, die sog. Ranvier'schen Schnürringe. Die

Reizübermittlung springt von Schnürring zu Schnürring über die "Isolation" (saltatorisch) und ist damit auf Grund der übersprungenen Distanz wesentlich schneller.



Funktionell unterschieden wird zwischen den zum ZNS aufsteigenden (afferenten) und absteigenden (efferenten) Bahnen. Hier spielen auch die Geschwindigkeitsunterschiede eine nicht unwesentliche Rolle. Die zur Skelettmuskulatur ziehenden Bahnen gehören zu den am schnellsten leitenden, wohingegen die für das Schmerzempfinden zuständigen marklosen Fasern die langsamsten sind.

Funktion von Nervenzellen



Eine Zelle ist die kleinste Einheit im Organismus. Jede Zelle besitzt die Eigenschaft der Erregbarkeit. Bei Nervenzellen ist diese besonders ausgebildet. Sie bildet die Basis für Informationsaufnahme und -weiterleitung.

Zellen sind von Hüllen umschlossene Funktionsräume. So wie die Gummihaut eines Luftballons das Innere des Ballons vom Äußeren abschließt, trennt die Zellmembran das Zellinnere vom Zwischenzellraum. Die Membran ist allerdings nicht völlig dicht. Bestimmte Stoffe können sie durchdringen. Und dies sowohl von innen nach außen als auch umgekehrt.

Und so funktioniert's:

Wie wir vielleicht noch aus dem Physikunterricht wissen, haben Stoffe eine elektrische Ladung. Man spricht in diesem Zusammenhang von entweder positiv (+) oder negativ (-) geladenen Ionen. Die Ionenverteilung bei unserer vorgenannten Nervenzelle ist zwischen dem Zellinneren und -äußeren unterschiedlich. Im Zellinneren besteht eine hohe Konzentration an Kalium

sowie eine niedrige Chlorid- und Natriumkonzentration. Außerhalb der Zellen im sog. Zwischenzellraum ist es umgekehrt. Hier dominieren die Chlorid- und Natrium- gegenüber den Kalium- und Kalziumionen.

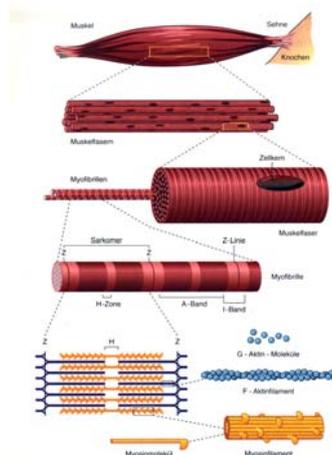
Im nichterregten Zustand verfügt die Zellmembran über eine hohe Durchlässigkeit für Kaliumionen. Die Kaliumionen diffundieren auf Grund des Konzentrationsunterschiedes, welcher wie ein Druckgefälle wirkt, aus der Zelle hinaus in den Zwischenzellraum.

Hierdurch wird die Innenseite der Zellmembran negativ (-) und die Außenseite der Membran positiv (+) aufgeladen. Das (messbare) Potential beträgt zwischen -60 und -90 mV. Man bezeichnet es als Ruhemembranpotential.

Bei Eingehen eines Reizes reagiert die Membran mit einem verstärkten Durchlass für Natriumionen. Überschreitet die Natriumkonzentration in der Zelle einen kritischen Wert, steigt die Konzentration sprunghaft an und depolarisiert die Zellmembran kurzzeitig. Sie ist nun an der

Innenseite positiv und an der Außenseite negativ aufgeladen. Diesen Zustand bezeichnet man als Aktionspotential. Er beträgt zwischen +20 und +40 mV.

Die Muskulatur



Die Muskulatur ist unser "Motor" und unser "Ofen". Sie wandelt chemische Energie in Bewegung und Wärme um. Differenzieren können wir grundsätzlich zwischen der glatten und der quergestreiften Muskulatur sowie dem Herzmuskel als einer Mischform dieser beiden. Wir wollen uns hier nur mit der quergestreiften Muskulatur - also der Muskulatur des Bewegungssystems - beschäftigen. Die glatte Muskulatur kommt im Bereich der inneren Organe vor und ist an dieser Stelle von untergeordnetem Interesse.

Die Muskulatur besteht zu ca. 80 % aus Wasser. Die verbleibenden 20 % feste Substanzen sind meist Eiweiße. Die wichtigsten hiervon sind Aktin und Myosin, welche die sogenannten Filamente, also feinste Fädchen, bilden.

Ähnlich wie die schweren Stahlseile einer Seilbahn, welche aus Tausenden dünnen Metalldrähten zusammengedreht sind, baut sich auch ein Muskel auf. Die einzelnen Filamente sind zu Myofibrillen gebündelt. Die Myofibrillen werden wiederum zu Muskelfasern und diese zum eigentlichen Muskel zusammengepackt.

Jedes dieser Bauelemente ist von einer Membran umgeben. Kleine Muskeln bestehen aus wenigen Muskelfasern, während große leistungsfähige Muskeln aus sehr vielen Fasern bestehen.

Was beim Stahlseil einer Seilbahn nicht zu Begeisterungstürmen der mitfahrenden Passagiere führen würde, ist beim Muskel die eigentliche Tätigkeit. Er kann sich verkürzen. Und dies nicht unerheblich. Das

geschieht in den kleinsten Bauelementen, den oben angesprochenen Aktin- und Myosinfilamenten. Bei Entspannung des Muskels kann er wieder in seine ursprüngliche Lage zurückgleiten oder auch darüber hinaus gedehnt werden. Da die einzig mögliche aktive Bewegung eines Muskels im Zusammenziehen (Kontraktion) liegt, ist für die Bewegung einer Gliedmaße zu jedem Muskel auch immer ein Gegenspieler (Antagonist) notwendig. Will man z. B. den Arm beugen, muss sich der Bizeps verkürzen. Mit der gleichen Intensität muss sich zeitgleich der Trizeps entspannen. Diesen Mechanismus macht man sich bei der physiotherapeutischen Behandlung durch die Postisometrische Relaxation zunutze. Eines muss an dieser Stelle noch erwähnt werden: Die Muskulatur ist lediglich ein ausführendes Organ. Sie macht nichts von sich aus. Erst ein Reiz versetzt sie in Aktion.

Kommen wir wieder zum Muskelaufbau zurück. Das Aktin hat im Muskel die Form zweier miteinander verdrehter Perlenketten. Das Myosin könnte man sich als einen kleinen

Strang, bestehend aus vielen Häkchen vorstellen. Diese Häkchen besitzen ein Schwanz-Hals- und Kopfteil, welche untereinander beweglich sind. Dieser Myosinstrang ist nun von beiden Seiten durch die Aktinketten eingerahmt. Bei einer Muskelaktivität binden nun die Myosinköpfchen an die Aktinperlen. Der Hals-teil macht in diesem Moment eine Kippbewegung und schiebt das Aktin ein Stück nach innen. Anschließend löst sich das Myosinköpfchen wieder, kippt zurück und bindet erneut an eine Aktinperle. Das Anhaften und Ablösen ist hierbei ein energieverbrauchender Prozess unter Zuhilfenahme von Kalzium und ATP (Adenosintriphosphat). Letzteres ist der eigentliche "Brennstoff", welcher vom Körper aus der Nahrung gewonnen resp. umgebaut wird. Die Wirkungsweise von ATP besteht im Ablösen von Aktin und Myosin. Es ist quasi das Lösungsmittel. Dies erklärt auch die Totenstarre. Ist das ATP nämlich nach einiger Zeit verbraucht und wird auch nicht mehr nachgeliefert, "verkleben" Aktin und Myosin miteinander.

Der Muskel ist nicht mehr beweglich.

Sensoren

Sensoren sind im allgemeinen Informationsaufnehmer und -wandler. Genau wie im technischen Bereich haben die Sensoren im Organismus festgelegte Eigenschaften. Sie reagieren auf mechanische, chemische, optische oder thermische Reize und wandeln diese in Informationen z. B. elektrische Ströme um, welche dann zum ZNS weitergeleitet werden. Mechanisch und thermisch reagierende Sensoren kommen im Hautsystem oder den Muskeln und Bändern vor. Diesen werden wir unsere besondere Aufmerksamkeit widmen. Chemisch sensible Sensoren existieren z. B. in Mund und Nase. Sie melden Gerüche und Geschmack. Aber auch in den Gelenken sind auf chemische Reize abgestimmte Sensoren zu finden. Sie reagieren hier z. B. auf Veränderungen in der Zusammensetzung der Synovia. Optische Sensoren befinden sich in der Netzhaut der Augen.

Sie registrieren sowohl die Reizintensität als auch die Geschwindigkeit, mit welcher sich der Reiz verändert. Sie haben mit zunehmendem Druck eine zunehmende Entladungsrate.

- **Merkel-Axonkomplex**

Diese ähneln in ihrer Form einem Blumenkohl und gehören zu den SA-I-Sensoren. Sie registrieren also wie die Ruffini-Kolben sowohl die Reizintensität als auch die Reizänderungsgeschwindigkeit über den gesamten Zeitraum, reagieren allerdings mit einer höheren Entladungsrate im Zeitbereich der Druckzunahme.

- **Meissner-Zell-Axonkomplex**

Ein reiner RA-Sensor (rapidly adapting = schnell adaptierender). Da er sich sehr schnell an den entsprechenden Reiz anpasst, ist er ein ausgesprochener Geschwindigkeitssensor. Er registriert also nur die Reizstärkenänderung pro Zeiteinheit.

- **Haarfollikelrezeptoren**

Unter jedem Haar gelegene RA-Rezeptoren, die ebenfalls zu den Geschwindigkeitsrezeptoren zählen.

Denken wir wieder kurz an das vorher Angesprochene:

Erst das Zusammenwirken aller Sensoren und die Verrechnung der Information im ZNS ergibt ein Gesamtbild. Zur Wahrnehmung bedarf es jedoch noch der Interpretation. Das ist ein absolut wichtiger Ansatz und spielt auch, wie wir anschließend sehen werden, im Bereich der Sensomotorik eine große Rolle.

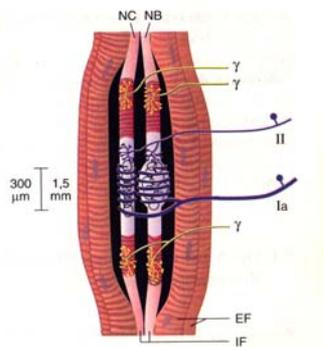
Lassen Sie uns hierzu Prof. Dr. H. O. Handwerker zitieren: *“Wenn wir die Augen aufschlagen und vor uns eine blaue Fläche mit weißen Flecken darin sehen, dann nehmen wir weiße Wolken am blauen Himmel wahr oder Schaumkronen auf den blauen Wellen eines Sees oder ein blaues Tuch mit weißen Mustern... . Diesen komplexen Bewusstseinsinhalt nennen wir Wahrnehmung. Wahrnehmungen sind einerseits durch den Sinneseindruck,*

andererseits aber auch durch unsere Erfahrungen, also durch Lernvorgänge bestimmt”.

Das bedeutet also, dass erst nach der Interpretation von Sensorinformationen eine Wahrnehmung entsteht. Und da die Interpretation einen Lernvorgang voraussetzt, muss ich also schon einmal etwas zumindest Ähnliches gespürt haben, um dies als solches zu deuten.

Dieser Gedankenansatz bringt uns schnell zu Überlegungen von Lothar Jahrling oder Nancy Hylton, aber auch Dr. R. J. Bourdiol, Lydia Aich und anderen.

Nun haben wir nur die Sensoren der Haut angesprochen. Die propriozeptiven Sensoren, also jene, welche uns über die Lage unseres Körpers im Raum informieren, fehlen jedoch noch. Es sind dies die Dehnungsrezeptoren:



Eine Muskelspindel im Schema.

Eingebettet von der normalen Arbeitsmuskulatur sieht man links eine sog. Kern-Kette-Faser (NC-Nuclear-chain-Faser) und rechts eine Kern-Sack-Faser (NC- Nuclear-bag-Faser).

Diese gliedern sich in je einen Mittelbereich und je zwei Endbereiche (Äquatorial- und Polarteil). Die Endbereiche bestehen aus Muskulatur, wobei die Mittelbereiche dehnbar sind. Die Muskulatur in den Endbereichen ist über die γ -Motoneuronen innerviert. Hierüber ist es dem ZNS möglich, die Empfindlichkeit der Spindeln dem jeweiligen Anspruch entsprechend einzustellen. Sie sind in ihrer Länge und im Spannungszustand veränderbar.

Die informationsabgreifenden Sensoren befinden sich im Mittelteil.

Primäre Muskelspindelafferenzen der Gruppe I (Ia-Fasern) und sekundäre Afferenzen der Gruppe II messen nun die Länge und übertragen die Information zum ZNS. Die Sensoren haben eine statische und eine dynamische Komponente. Erstere ist in den NB-Fasern, zweitere in den NC-Fasern besonders ausgebildet.

- Intrafusale Muskelfasern

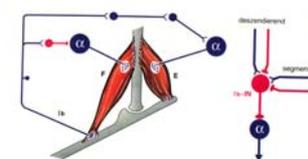
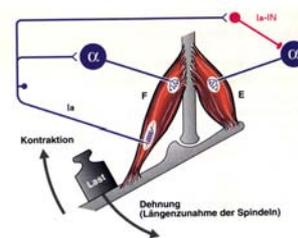
Die sog. Muskel-spindeln sind in die Arbeitsmuskulatur eingebettet und bestehen aus spezialisierten Muskelfasern. In besonders großer Menge sind sie in der Finger- und Nackenmuskulatur zu finden. Bezeichnenderweise also überall dort, wo größte neuromotorische Präzision gefragt ist. Sie nehmen die Längenänderung im Muskel auf und geben diese Information über Afferenzen der Gruppe I (Ib-Afferenz) zum ZNS weiter. Die intrafusalen Muskelfasern werden über ein gesondertes System, die sog. γ -Motoneuronen vom ZNS innerviert. Hierbei wird - vereinfacht ausgedrückt - die Vorspannung der Muskelspindeln verstellt. Das ZNS kann über diese Einflussnahme die Empfindlichkeit der intrafusalen Fasern jeder Situation anpassen und den so generierten Reflex in die Motorik einflechten ("Hab-Acht-Stellung").

- Golgi-Sehnenorgane

Sind in die Sehnen eingebettet. Sie haben eine sehr hohe Empfindlichkeit, so dass schon die Kontraktion einer

einzigsten Muskelfaser einen adäquaten Reiz auslöst. Sie informieren über

Spannungszustand und Kontraktionskraft des jeweiligen Muskels. Somit sorgen sie für eine Konstanthaltung der Muskelspannung.



Wird ein Skelettmuskel gedehnt, dann werden die Muskelspindeln ebenfalls gedehnt. Dieser Dehnungsreiz führt zu einer Erregung sensibler Nervenfasern der sogenannten Gruppe II und Ia. Die Fasern ziehen über die sensible hintere Wurzel im Rückenmark zur motorischen Vorderhornwurzel und innervieren dort die α -Motoneurone desselben Muskels. Er wird also auf diesem Wege zur Kontraktion gebracht. Zwischen dem eingehenden und ausgehenden Reiz besteht nur eine synaptische Verbindung. (Synapse nennt man die Stelle,

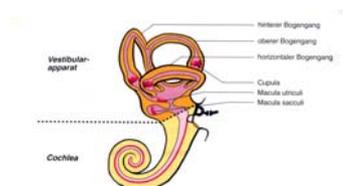
an der die Erregung von einem Neuron auf das nächste überspringt.) Darum spricht man auch vom monosynaptischen Muskeldehnungsreflex.

Bedenken muss man dabei, dass jeder Muskel auch einen antagonistischen Kollegen hat. Die ganzen Sensoren dienen also nicht nur dazu, Informationen von außen aufzunehmen, sondern auch die darauf folgende Antwort zu initiieren und zu kontrollieren. Aktivieren des Agonisten unter Hemmung des Antagonisten bei gleichzeitiger Weiterleitung der Information an die höhergelegenen Zentren - all dies geschieht in einem Bruchteil von Sekunden. Das bedeutet, wenn sich der Armbeuger anspannt, muss der Armstrecker in gleichem Maße entspannen. Es ist also ein ausgeklügeltes System von Erregung (Bahnung) und Hemmung erforderlich. Auch dies wird über Muskelspindeln und Golgi-Sehnenorgane gesteuert.

Reflexe

Man unterscheidet Eigen- und Fremdreflexe. Bei den Eigenreflexen sind Aufnahme- und Erfolgsorgan dasselbe. Reiz und Antwort erfolgen also im selben Muskel und deshalb wird diese Reaktion auch Eigenreflex genannt. Die Reflexzeit beträgt dabei ca. 20 Millisekunden, ist also sehr kurz. Beim Fremdreflex unterscheiden sich Aufnahme- und Erfolgsorgan. So hat ein Streichen über die Bauchdecke eine Kontraktion der Bauchmuskulatur zur Folge, d. h. Reizung der Hautsensoren hat die Anspannung eines Muskels zur Antwort. Reflexe sind überlebenswichtige Funktionen und darum tief in unserem ZNS verankert.

Vestibularsystem (Gleichgewichtssystem)



Eine besondere Rolle im "propriozeptiven Konzert" spielt das vestibuläre System. Es gehört nicht direkt zur

Propriozeption, ist aber für die gesamte Körperhaltung von besonderer Bedeutung. Die Vestibularorgane befinden sich im Innenohr und ergeben sich aus einem System zusammenhängender Kanäle. Diese sind mit einer gallertartigen Masse (Endolymphe) gefüllt, in welche jede Menge Sinneshärchen hineinragen.

In jedem Innenohr (rechts und links) befinden sich je zwei Maculaorgane und drei Bogenorgane. Die Maculaorgane sind für die Erkennung von Translations- und Gravitationsbeschleunigungen zuständig. Die Bogengänge sind zur Messung von Drehbeschleunigungen ausgelegt.

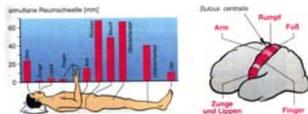
Hier macht sich die Natur das physikalische Massenträgheitsgesetz zunutze. Vereinfacht ausgedrückt bleiben die Endolymphe und darin zum Teil enthaltene Kristalle bei einer Beschleunigung um einen winzigen Bruchteil zurück und reizen so die Sinneshärchen.

Das System ist so empfindlich, dass Drehbewegungen von 0,005°/s registriert werden.

Das Vestibularorgan ist nicht nur koordinativ mit der motorischen Rumpfmuskulatur verschaltet, es ist auch

reflektorisch mit der Augenmuskulatur verbunden und steuert die Gegenbewegung der Augen bei einer zielgerichteten Körperbewegung. Und natürlich haben die visuellen Informationen wiederum einen Einfluss auf die Motorik. Wir sehen also, das Thema wird zunehmend komplexer.

Tastsinn

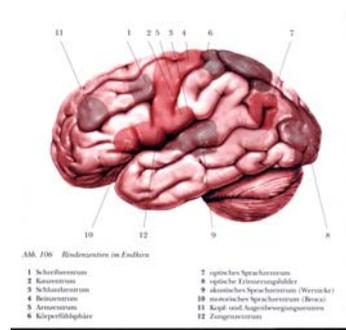


Der Tastsinn beschreibt die Möglichkeit zur Gestaltwahrnehmung von Gegenständen. Am ausgeprägtesten ist dieser an den Fingerspitzen. Wir unterscheiden mit Leichtigkeit einen Bleistift von einem Radiergummi. Auch bei unserer täglichen Arbeit setzen wir diesen Sinn mehr oder weniger unbewusst ein, indem wir mit den Fingern über unser Werkstück streichen und somit die Form und Funktion erfühlen. Dieser Sinn kann unterschiedlich ausgeprägt sein. Er ist auch trainierbar wie uns die Ausbildung bei blinden Menschen bestätigt. Während der frühkindlichen Entwicklung trägt er zur Verbesserung der

Raumvorstellung bei. Dieser Aspekt erscheint uns sehr wichtig und wird zu einem späteren Zeitpunkt noch einmal aufgegriffen. Damit unser Tastsinn auch "sinnvoll" funktioniert, werden mehrere Dinge vorausgesetzt:

- spezialisierte Sensoren
- Fähigkeit zur Differenzierung der Information aus benachbarten Sensoren, um ein räumliches Muster zu erhalten
- Fähigkeit zur Koordinierung der eingehenden Information mit der Ansteuerung der Tastmotorik.

Das Gehirn und Rückenmark



Um nun all diese Informationen aus unserer Umwelt und aus unserem Inneren verarbeiten zu können, benötigen wir eine Zentrale.

Bei dem angesprochenen monosynaptischen Dehnungsreflex liegt diese zentrale Schaltstelle im Rückenmark, da dies ein sehr schnell ablaufender Vorgang sein muss, der uns unter Umständen vor Verletzungen schützen soll. Das Wegziehen des Beines, wenn wir auf einen spitzen Gegenstand getreten sind, sei hier als Beispiel angeführt. Doch damit alleine ist es ja nicht getan. Denn neben der Aktivierung der Hüft- und Kniebeugemuskulatur als Schutzreflex müssen gleichzeitig die Streckmuskeln des anderen Beines aktiviert werden, damit wir nicht umfallen (denn was nutzt das Wegziehen des Beines, wenn wir anschließend fallen und uns den Arm brechen?).

Und ob das Umschalten auf die Gegenseite und die Aktivierung des Standbeines so in Ordnung waren, dies wird in den motorischen Zentren unseres Gehirns überprüft. Alle diese Dinge müssen wir lernen in unserer motorischen Entwicklung, in der wir verschiedene Phasen durchleben - von der Rückenlage über das Drehen, Abstützen, Vierfüßlerstand, Krabbeln bis hin zum

Stand und schlussendlich das freie Gehen. Diese Lernprozesse werden als bleibende Eindrücke (Engramme) in unserer Großhirnrinde abgespeichert. Jedem Körperteil sind bezüglich der Sensorik als auch der Motorik unterschiedlich große Rindenfelder zugeordnet. Auf diese abgespeicherte Programme können wir jederzeit zurückgreifen und uns somit koordiniert fortbewegen. Die in uns gelegenen Rezeptoren vermitteln unserem Gehirn die notwendigen Daten bezüglich unserer Umwelt (Temperatur, Licht, Geruch) sowie der Stellung des Körpers im Raum. Die Information wird durch die Sensoren aufgenommen und zum Rückenmark geleitet. Dort treten sie über das Hinterhorn ein, die Umschaltung auf die weiterleitenden Bahnen erfolgt. Die zum Gehirn führenden aufsteigenden (afferenten) Bahnen gliedern sich in Vorderseitenstrang- und Hinterstrangbahnen.

Im Gehirn werden diese Informationen an die entsprechenden Zentren weitergeleitet, verarbeitet und nun an

die Peripherie zur Durchführung zurückgeleitet. Hierfür sind die absteigenden (efferenten) Bahnen zuständig. Sie teilen sich in Pyramidenbahnen, extrapyramidale Bahnen und vegetative Bahnen.

Unter Propriozeption verstehen wir also dieses fein abgestimmte Zusammenspiel zwischen Informationsgeber Rezeptor und unserer Muskulatur, Informationsleiter in Form von auf- und absteigenden Nervenbahnen sowie den verarbeitenden Zentren.

Motorische Zentren

Für die Motorik, die wir in diesem Artikel erläutern möchten, sind sowohl im Bewegungsentwurf als auch in seinem koordinierten Ablauf der Hirnstamm (Mittelhirn = Mesencephalon; Brücke = Pons; Hirnanhangdrüse = Medulla oblongata) und das Netzwerk (Formatio reticularis) verantwortlich. In diesen Zentren werden die eingehenden Informationen aus der Peripherie aufgenommen, ausgewertet und zu

einem sinnvollen Ganzen zusammengesetzt. Dies geschieht unter Abgleichung der Muskel- und Sehnenspindelinformation mit anderen entscheidenden Faktoren, den z. B. aus den Vestibularorganen eintreffenden Reizen. Diese Reize werden im Kleinhirn (Cerebellum) verarbeitet, um so die Afferenz zur Muskulatur sofort zu überprüfen und gegebenenfalls, wenn die Stellung im Raum dies erfordert, eine Korrektur vorzunehmen.

Erinnern wir uns an das am Beginn stehende Beispiel des Fahrradfahrens. Neben der Koordination des wechselnden Bein- anbeugens und -streckens müssen die Hände fest am Lenker greifen, um ein Geradeausfahren zu ermöglichen. Am Anfang noch sehr wackelig erhält das Gleichgewichtsorgan ständig die Veränderung des Körperschwerpunktes mitgeteilt und den Auftrag, eine Ausgleichbewegung zu veranlassen. Ein sehr hoher Anspruch, den wir da an uns selbst stellen, da alle beteiligten Zentren von der Großhirnrinde über das Kleinhirn, die

Formatio reticularis bis hin zur Medulla oblongata in Aktion sein müssen, um diesen Menschen vor dem Hinfallen zu bewahren. Ein weiterer Part entfällt auf die Verarbeitung der Augenbewegungen und somit auch der Einstellung des Kopfes im Raum; hierfür ist der Thalamus verantwortlich.

Motorisches Lernen, Bahnung

Dass dies jedoch anfänglich noch häufiger geschieht, liegt eben daran, dass für den komplexen Vorgang des Radfahrens noch kein Engramm vorliegt.

Deshalb werden in der ersten Phase noch viele Muskeln aktiviert, die eigentlich gar nicht benötigt werden. Wir befinden uns in der Grobform, in der wir noch sehr leicht beeinflussbar bezüglich des Bewegungsablaufes sind.

In der nächsten Phase, der Feinform, sieht das alles schon erheblich besser aus, das Ganze läuft wesentlich geschmeidiger ab und ist auch nicht mehr so anstrengend, da unser Gehirn bereits gelernt hat, welche Muskeln denn eigentlich not-

wendig sind für das, was wir da vorhaben. Auch können wir schon einmal einen kurzen Blick zur Seite werfen, da das System schon nicht mehr ganz so störanfällig ist, denn die ersten synaptischen Verschaltungen, die letztendlich das Engramm darstellen, sind bereits erfolgt.

Das Ziel ist erreicht, wenn unser scheuer Blick zu unserem Helfer diesen nicht mehr neben uns, sondern am Ende der Straße erblickt. Nun haben wir das Stadium der Automation erreicht, in dem die Bewegungsabläufe harmonisch und ökonomisch geworden sind und auch nicht mehr störanfällig durch äußere Einflüsse. Die synaptische Verschaltung ist abgeschlossen, das Engramm hat sich in der Großhirnrinde manifestiert.

Bahnung und Hemmung

Dieser sensible Vorgang beruht darauf, dass ein bestimmter Bewegungsablauf geübt wird. Es kommt zu einer räumlichen (viele Gelenke, Muskeln, Gleichgewichtsorgan) und zeitlichen (Reize treten häufig und lange auf)

Summation der Reize, die das Gehirn dazu veranlassen, ein Programm zu schalten und ständig abrufbar zu machen. Den

entgegengesetzten Prozess bezeichnet man als Hemmung; hierunter versteht man die zeitlich begrenzte Verminderung der Erregungsübertragung. Im ersten Moment hört sich dies schlecht an, doch wenn man diesen Vorgang genauer betrachtet, so ist er hochgradig sinnvoll.

Im vorangehenden Abschnitt über den Aufbau der Nervenzelle haben wir ausgeführt, dass am Ursprung der Axone hemmende Einflüsse einen guten Ansatz finden und hier eine erste Kontrollinstanz zu finden ist, ob der Reiz weitergeleitet oder unterbrochen, also gehemmt wird. Angesichts der Fülle an Informationen, die unser Gehirn zu verarbeiten hat, eine überaus sinnvolle Einrichtung.

Bewegungskontrolle, Propriozeption

In unserem Bewegungssystem findet eine ständige Kontrolle der eingeleiteten Muskelaktionen statt. Zunächst über die sogenannten

Interneurone, die sofort nach Abgabe eines Impulses eine Rückmeldung an die auslösende Zelle geben und überprüfen, ob dieser Reiz adäquat zur erforderlichen Aktion ist.

Weiterhin kennen wir die Renschaw'sche Hemmzelle, ein typisches Beispiel der Rückwärtshemmung.

Auch hier ist die Kontrolle des gegebenen Impulses das ausschlaggebende Moment; es soll ein unkontrolliertes Aufschaukeln der Entladungsfrequenz zur Haltemuskulatur verhindert werden (Spastizität).

Dies bedeutet also, dass ein gewisser Teil der abgehenden Impulse nach Kontrolle bereits auf Rückenmarksebene verarbeitet und nicht zwangsläufig an das Gehirn weitergeleitet

wird. Dies gilt im Besonderen für die schnell ablaufenden Reflexe.

Man sieht also: dieses gesamte Thema ist so tiefgreifend, dass ein Artikel an dieser Stelle kaum ausreichend sein kann, um es zu erklären. Wir haben an diesen Zeilen gut ein Jahr geschrieben, Teile davon wieder verworfen und neue hinzugefügt. Unser Anspruch war eine kurze Einführung in das Thema Sensomotorik. Immer wieder mussten wir uns zurücknehmen, wenn wir von der Faszination beflügelt immer mehr schrieben. Bei tiefergreifendem Interesse gibt es in der einschlägigen Literatur weitreichende Erklärungen. Auf diese möchten wir verweisen.

Literaturhinweise:

Debrunner H. U.
Biomechanik des Fußes,
Ferdinand Enke Verlag,
Stuttgart
Hylton N., Dynamic Orthotic
Concepts, Verlag
Orthopädie Technik,
Dortmund
Illert M. Motorik – Bewegung
und Haltung in: Deetjen P.,
Speckmann E.-J.
Physiologie, Urban &
Schwarzenberg, München
Kahle W., Nervensysteme
und Sinnesorgane, Thieme
Deutscher Taschenbuch
Verlag
Rosenkranz J.,
Kompendium der Anatomie
& Physiologie, G. Fischer
Verlag, Jena
Schmidt R. F., Thews G.
Physiologie des Menschen,
Springer Verlag, Berlin HD
New York
Schmidt R. F., Neuro- und
Sinnesphysiologie, Springer
Verlag, Berlin HD New York
Wieben K.,
Muskelfunktionen, Thieme
Deutscher Taschenbuch
Verlag