



universität  
wien

# DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Das Konstrukt «koordinative Fähigkeiten» und deren  
Bedeutung für das Lernen im Setting Schule:  
Modelle, Positionen und Förderungsmaßnahmen“

verfasst von

Lisa Pfneisl

angestrebter akademischer Grad

Magistra der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2014

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 190 344 482

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Lehramtsstudium UF Englisch UF Bewegung und Sport

Betreuerin / Betreuer:

Ao. Univ.-Prof. MMag. Dr. Konrad Kleiner



## **Vorwort**

Ziel meiner Diplomarbeit ist es, den aktuellen Stand der Forschung zur (Bewegungs-) Koordination und den ihr zugrunde liegenden Komponenten darzulegen sowie praxisrelevante Möglichkeiten ihrer Förderung aufzuzeigen, und darüber hinaus ihre Bedeutung für diverse Lernprozesse zu ergründen und hervorzuheben.

Es war mir ein großes Anliegen, mich in meiner Diplomarbeit mit einer möglichst praxisnahen Thematik auseinanderzusetzen und Fragestellungen zu bearbeiten, welche in Hinblick auf die Ausübung meines zukünftigen Berufs als Lehrperson sowohl für das Unterrichtsfach Bewegung und Sport als auch für das Unterrichtsfach Englisch relevant erscheinen. Das außerordentlich breite Feld der Koordination, welches in enger Verbindung mit (neuro-) physiologischen und kognitiven Prozessen steht und auf die Ausübung jeder Bewegung in Sport- und Alltagspraxis Einfluss hat, faszinierte mich in diesem Hinblick besonders.

Die Auseinandersetzung mit dieser spannenden und zugleich sehr vielschichtigen Thematik erforderte allerdings intensive Recherche- und Auswertungsarbeit.

Ich möchte mich daher an dieser Stelle bei meinem Betreuer Ao. Univ.-Prof. MMag. Dr. Konrad Kleiner für die Möglichkeit, eine Arbeit zu dieser Thematik verfassen zu dürfen sowie für die gute Zusammenarbeit und Unterstützung bedanken.

Besonderer Dank gilt auch meiner Familie, die mich seit meiner Geburt optimal unterstützen, mir stets hilfreich mit Rat und Tat zur Seite stehen und mir ein positives und förderndes Umfeld bereiten. Ebenfalls möchte ich mich bei meinem Partner Patrick für seine Unterstützung in allen Bereichen herzlich bedanken.



## **ABSTRACT**

In der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Bewegung und Kognition kommt der (Bewegungs-) Koordination als wesentlicher Bestandteil der Motorik eine entscheidende Rolle zu. Eine enorme Anzahl an unterschiedlichen Modellen, Konzepten und theoretischen Positionen versucht, das Phänomen der (Bewegungs-) Koordination aus verschiedensten Blickwinkeln zu betrachten und es für die Praxis greifbar zu machen. Das komplexe und latente Wesen der (Bewegungs-) Koordination allerdings erschwert die Einigung auf eine allgemeingültige, wissenschaftlich abgesicherte und praxisrelevante Charakterisierung. Ausgehend von der Beleuchtung vielfältiger Ansätze zur Wesensbestimmung des Konstrukts „koordinative Fähigkeiten“ wird deren Bedeutung für motorische und kognitive (Lern-) Prozesse sowie für das Setting Schule geeignete Förderungsmaßnahmen, basierend auf neuro- und sportwissenschaftlicher Literatur unter Verwendung der hermeneutischen Methode, herausgearbeitet. Die Auseinandersetzung mit koordinativ herausfordernden Bewegungsaufgaben erhöht nicht nur das Niveau koordinativer Kompetenz, welches sich wiederum positiv auf den Verlauf des motorischen Lernprozesses auswirkt, sondern begünstigt auch die konzentrierte Aufnahme und Verarbeitung theoretischer Inhalte. Besonders im Setting Schule, im Unterricht Bewegung und Sport sowie in anderen Lerngegenständen, ist die Thematisierung des Konstruktes „koordinativer Fähigkeiten“ und die praktische Umsetzung fordernder und fördernder Inhalte daher von hoher Bedeutung. Eine genaue Faktorenanalyse dieses komplexen Wirkungszusammenhangs ist allerdings bislang noch nicht gegeben und wird in den nächsten Jahren erwartet.

## **ABSTRACT**

Coordination as crucial and basic component of every action plays an important role in investigating the general relationship between motion and cognition. Numerous models, concepts and theoretical positions are currently looking at the issue of coordination from different perspectives, trying to make this phenomenon accessible and comprehensible for practice. However, the rather complex and latent nature of coordination itself complicates and delays the agreement on a universal, scientifically valid and practically valuable characterization. Critically discussing the presentation of various approaches of coordination and providing an insight into neurobiological processes of (motor and cognitive) learning by means of hermeneutic analysis of recent publications in the field of neuroscience and sports science, the theoretical construct of coordinative abilities and their impact on and relevance for learning processes as well as suitable promotion measures for school are uncovered. The performance of coordinative demanding motor tasks does not only increase the level of coordinative ability, which positively influences motor learning, but also facilitates the focused intake and processing of theoretical input. Hence, their thematization in sports and other curricula subjects is of prime importance. Nevertheless, a concise analysis of factors that contribute to this complex interconnection is still missing and would require further research.

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>9</b>
1.1 Hinführung zur Fragestellung .....	9
1.2 Methode der Bearbeitung .....	13
1.3 Gliederung der Arbeit.....	16
<b>2 DAS LATENTE KONSTRUKT DER KOORDINATIVEN FÄHIGKEITEN .....</b>	<b>18</b>
2.1 Was sind koordinative Fähigkeiten? .....	18
2.2 Theorien und Konzepte koordinativer Fähigkeit.....	24
2.2.1 Das Fähigkeitskonzept für den Leistungssport.....	26
2.2.2 Komponenten koordinativer Fähigkeiten für den Schulsport .....	29
2.2.2.1 Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit .....	30
2.2.2.2 Räumliche Orientierungsfähigkeit .....	31
2.2.2.3 Gleichgewichtsfähigkeit.....	32
2.2.2.4 Komplexe Reaktionsfähigkeit .....	34
2.2.2.5 Rhythmusfähigkeit .....	36
2.2.3 Neuere Tendenzen.....	38
2.3 Zusammenfassung.....	44
<b>3 NEUROBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR INFORMATIONSSPEICHERUNG UND -VERARBEITUNG UND -SPEICHERUNG – oder: WO UND WIE WIR LERNEN .....</b>	<b>46</b>
3.1 Anatomisch-physiologische Strukturen der Informationsverarbeitung.....	46
3.2 Neuronen als Lernagenten.....	53
3.2.1 Aufbau und Funktion von Neuronen.....	54
3.2.2 Neuronale Repräsentationen.....	56
3.2.3 Neuroplastizität: Sich ändernde Repräsentationen .....	59
3.3 Emotionen, Lernen und Erinnern – Das limbische System.....	64
3.4 »Das« Gedächtnis gibt es nicht – Abstrakte Modellvorstellung der Informationsspeicherung .....	68
3.4.1 Informationsspeicherung auf Zeit .....	69
3.4.2 Informationsspeicherung nach inhaltlichen Gesichtspunkten .....	70
3.4.3 Erkenntnisse über den Sitz des Gedächtnisses .....	73
3.5 Zusammenfassung.....	74

<b>4 LERNEN – EIN MULTIMODALES PHÄNOMEN.....</b>	<b>77</b>
4. 1 Unterschiedliche Arten des Lernens.....	77
4.1.1 Auswendiglernen – ein passiver Vorgang?!	78
4.1.2 Mentale Visualisierung als Lernhilfe .....	79
4.1.3 Nachahmung und Imitation als elementare Formen des Lernens .....	81
4.1.4 Lernen durch Ausprobieren.....	83
4.1.5 Lernen durch Einsicht – Ein Licht geht auf .....	84
4.2 Den Lernprozess allgemein beeinflussende Faktoren .....	85
4.2.1 Aufmerksamkeit und Konzentration .....	85
4.2.2 Emotionen und Motivation.....	90
4.3 Motorisches Lernen.....	93
4.3.1 Phasen und Stadien des motorischen Lernens.....	94
4.3.2 Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf den motorischen Lernprozess .....	102
4.4. Mentales Lernen.....	104
4.4.1 Auswirkung motorischer Aktivität auf Gehirnstrukturen.....	105
4.4.2 Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf den mentalen Lernprozess .....	110
4.5 Zusammenfassung.....	116
<b>5 SCHULUNG KOORDINATIVER FÄHIGKEITEN.....</b>	<b>119</b>
5.1 Verankerung und Darstellung der koordinativen Fähigkeiten im Lehrplan für Bewegung und Sport .....	119
5.1.1 Lehrplan der Volksschule für Bewegung und Sport .....	119
5.1.2 Lehrpläne der Sekundarstufe I und II für Bewegung und Sport .....	122
5.1.3 Fazit.....	123
5.2 Entwicklung, Trainierbarkeit und Schulung koordinativer Fähigkeiten .....	124
5.3 Vital4Brain und andere koordinative Bewegungsprogramme außerhalb des Unterrichts Bewegung und Sport .....	134
5.4 Zusammenfassung.....	139
<b>6 SCHLUSSBETRACHTUNG UND FAZIT.....</b>	<b>142</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>147</b>
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>159</b>
<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>161</b>

## 1 EINLEITUNG

In diesem allerersten Kapitel erfolgt zunächst eine theoretische Hinführung zu der behandelnden Thematik, wovon die zu erarbeitenden Fragestellungen abgeleitet werden. Anschließend daran wird die Methode der Bearbeitung kurz charakterisiert und ein Überblick über den inhaltlichen Aufbau der vorliegenden Arbeit gegeben.

### 1.1 Hinführung zur Fragestellung

Immer wieder wird in den Medien aufgezeigt, dass Kinder und Jugendliche zunehmend motorisch ungeschickter, unsportlicher und allgemein unaufmerksamer wären als früher. In solch meist überzeichneten Darstellungen klagen VolksschullehrerInnen etwa, dass ihre SchülerInnen einfachste Übungen wie beispielsweise einen Hampelmann nicht mehr könnten und durch scheinbar Belangloses leicht abgelenkt seien. Zugeschrieben wird dies vor allem verschiedensten Umweltfaktoren des modernen Lebensstils - allen voran dem zunehmenden Einfluss digitaler Medien und dem damit verbundenen Bewegungsmangel sowie der einhergehenden negativen Beeinflussung neurobiologisch-kognitiver Prozesse (Spitzer, 2012, S. 15). Aber auch die steigende Urbanisierung und die Zunahme des Straßenverkehrs schränken die Möglichkeiten der Kinder ein, „sich in ihrem Wohnumfeld selbstständig und unbeaufsichtigt zu bewegen, [und] zu spielen“ (Limbourg & Reiter, 2003, S. 72). Unabhängig davon, was die genauen Gründe dieser bestätigten, negativen Entwicklung (vgl. Kastner & Petermann, 2010; Stich, 2009; Müller et. al., 2008; Barth, 2006; Graf et. al. 2003; Eggert et. al., 2000; u.v.m.) sein mögen, kommt dem Bewegungs- und Sportunterricht in der Schule wohl eine entscheidende Rolle zu, mit einem vielfältigen und variablen Bewegungsangebot diesem Trend entgegenzuwirken.

Als motorisch „ungeschickt“ oder „tollpatschig“ werden landläufig vor allem jene Kinder und Jugendliche bezeichnet, welche scheinbar ohne Grund stolpern oder stürzen, sich salopp formuliert im Allgemeinen eher unkoordiniert bewegen und Probleme bei der Umsetzung neuer Bewegungsaufgaben haben. Soll beispielsweise beim Fangenspielen anderen MitspielerInnen ausgewichen werden, so müssen zunächst Informationen der Umgebung und Situation aufgenommen und im Gehirn verarbeitet werden, ehe eine entsprechend zeitlich, räumlich als auch situativ-adäquat möglichst koordinierte motorische Aktion gesetzt werden kann. Für die Umsetzung motorischer Abläufe sind daher nicht nur physiologische Voraussetzungen wie Muskelkraft und

Ausdauer, sondern auch Informationsaufnahme und –verarbeitungsprozesse im Gehirn von wesentlicher Bedeutung (Meinel & Schnabel, 2007, S. 68). Kurz gesagt, stellt die Umsetzung verschiedenster motorischer Aktivitäten der Alltags- und Sportpraxis vielfältige zu bewältigende Anforderungen an den Menschen, welche es durch den Einsatz diverser konditioneller und koordinativer Fähigkeiten zu bewältigen gilt. „Tollpatschige“ oder motorisch „ungeschickte“ Kinder und Jugendliche, welche ihre physischen Bewegungen nicht optimal koordinieren können und somit Defizite in den Bereichen der Grob- und Feinmotorik aufweisen, scheint es daher an gut ausgeprägten koordinativen Fähigkeiten zu mangeln (Kastner & Petermann, 2010, S. 26). Was kann allerdings unter dem Begriff koordinative Fähigkeiten verstanden werden und welche Komponenten koordinativer Fähigkeit gibt es?

Auf dem Weg in das Berufsleben steht in der Schule zunächst die Vermittlung einer umfassenden Allgemeinbildung vor dem Aufbau eines differenzierten Spezialwissens im Vordergrund und weder Eltern, noch Bildungspolitiker würden es wahrscheinlich auch nur ansatzweise als sinnvoll erachten, diese Reihenfolge umzukehren. Ähnliches muss daher grundsätzlich auch für den motorischen Bereich gelten. Auch hier sollte zunächst eine allgemeine, möglichst breite Grundlage geschaffen werden, auf welcher im Laufe der Zeit aufgebaut und zurückgegriffen werden kann. Diese Forderung nach einer umfassenden guten und breiten motorischen Grundlagenausbildung, welche durch eine reiche Bewegungserfahrung der SchülerInnen gekennzeichnet ist, wird vor allem mit der Schulung koordinativer Fähigkeiten beziehungsweise mit einer allgemeinen Koordinationsschulung verbunden (Roth, 2007, S. 85).

Koordinative Fähigkeiten scheinen also mit der Koordination beziehungsweise Abstimmung von (Teil-) Bewegungen im Hinblick auf eine räumlich, zeitlich und situativ möglichst angepasste, optimale motorische Aktivität zu tun zu haben. Einleuchtend erscheint daher, dass dem Bewegungs- und Sportunterricht bei der Ausprägung und Vervollkommnung koordinativer Fähigkeiten, als bedeutende Komponente motorischer Leistung, eine entscheidende Rolle zukommt. Es stellt sich allerdings die Frage, wie genau koordinative Fähigkeiten beziehungsweise koordinative Kompetenz im Bewegungs- und Sportunterricht geschult werden können / kann. Weiters ist es aufgrund ihrer allgemeinbildenden Bedeutung im motorischen Bereich nicht minder interessant zu hinterfragen, wie die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten mit dem Erlernen neuer motorischer Bewegungen in Zusammenhang steht.

Ausgehend von der anfänglich aufgegriffenen medialen Darstellung, welcher zufolge Kinder und Jugendliche nicht nur immer ungeschickter, sondern gleichzeitig auch zunehmend unaufmerksamer seien, scheint es die moderne Gesellschaft mit einem zweigleisigen Problem zu tun zu haben. Auf den ersten Blick sieht es nämlich so aus, als hätte die motorische Ungeschicklichkeit nichts mit der zunehmenden Unaufmerksamkeit der Kinder und Jugendlichen zu tun. Verschiedenste Studien (vgl. Kastner & Petermann, 2010; Barth, 2006; Heimann et. al., 2005) konnten allerdings einen Zusammenhang zwischen koordinativen Defiziten und kognitiven Beeinträchtigungen beziehungsweise Lernschwierigkeiten nachweisen. So zeigten Dewey et. al. (2002) in ihrer Untersuchung beispielsweise, dass Kinder mit koordinativen Defiziten neben Problemen mit der Grob- und Feinmotorik auch ein erhöhtes Maß an Aufmerksamkeitsproblemen aufweisen. Besonders interessant in Bezug auf die Darstellung der Relevanz der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten im Bewegungs- und Sportunterricht ist daher, dieser Verbindung nachzugehen und zu hinterfragen, ob und in welcher Art und Weise die Förderung koordinativer Fähigkeiten kognitive (Lern-) Prozesse beeinflusst und wie ein möglicher Zusammenhang zustande kommt. Zur Bearbeitung dieser Fragestellung ist allerdings ein grundlegendes Verständnis von neurophysiologischen Vorgängen der Verarbeitung und Speicherung von Informationsinhalten ebenso wie die Auswirkung körperlicher Aktivität auf strukturelle und funktionelle Mechanismen des Gehirns notwendig. Im Allgemeinen wird dem Zusammenhang zwischen Motorik und Kognition schon seit jeher nachgegangen. Neue bildgebende Verfahren ermöglichen allerdings erst seit einigen Jahren Einblicke in die Arbeitsweise des menschlichen Gehirns während und nach körperlicher Aktivität (Hollmann et. al., 2003, S. 467). So kann mittlerweile relativ sicher behauptet werden, dass körperliche Aktivität nicht nur einen positiven Einfluss auf den Bewegungsapparat, sondern auch auf verschiedenste Gehirnstrukturen und kognitive Prozesse hat (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2013; Hollmann et. al., 2003).

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das Konstrukt „koordinative Fähigkeiten“ zu ergründen und deren Bedeutung für das (motorische und mentale) Lernen im Setting Schule hervorzuheben. Die Zusammenführung verschiedenster wissenschaftlicher Ausarbeitungen soll zunächst einen Überblick über das breite Feld der (Bewegungs-) Koordination und ihrer bedeutendsten Komponenten geben, um eine wissenschaftlich fundierte Grundlage für die weitere Auseinandersetzung mit dieser Thematik zu schaffen. Da aktuell verschiedenste theoretische Modelle und Positionen zur

(Bewegungs-) Koordination vorliegen, welche allesamt versuchen, dieses Phänomen bestimmenden Eigenschaften für die Praxis auf unterschiedlichste Art und Weise greifbar zu machen, wird zunächst eine allgemeine Begriffsbestimmung der Bezeichnung „koordinative Fähigkeiten“ vorgenommen. Durch die nähere Betrachtung und Analyse diverser Modelle und Positionen zur (Bewegungs-) Koordination wird zu klären versucht, was hinter dem Konstrukt „koordinative Fähigkeiten“ steht. Weiters wird die Verankerung der koordinativen Fähigkeiten in den österreichischen Lehrplänen der Sekundarstufe I und II untersucht, um einen Einblick in den gesetzlich vorgeschriebenen Stellenwert ihrer Thematisierung zu bekommen. Auch Möglichkeiten und Maßnahmen ihre Förderung im Unterrichtsgegenstand Bewegung und Sport betreffend sowie Bewegungsprogramme mit Hauptaugenmerk auf koordinativ herausfordernde Bewegungsaufgaben für den Einsatz in Bewegungspausen werden vorgestellt.

Ein weiteres explizites Ziel dieser Arbeit ist es zudem, den Zusammenhang zwischen koordinativen Fähigkeiten und motorischen sowie mentalen Lernprozessen auf Grundlage aktueller neurowissenschaftlicher Erkenntnisse und verschiedenster, aktuell durchgeführter Untersuchungen aufzuzeigen, um so die Bedeutung ihrer Thematisierung für das Setting Schule hervorzuheben. Der Fokus liegt somit nach ausführlicher Auseinandersetzung mit dem Konstrukt „koordinativer Fähigkeiten“ zunächst auf der Klärung und Definition grundlegender neurobiologischer Grundlagen, die Strukturen und Prozesse von Lernen und Gedächtnis betreffend. Um Lernen als multimodales und komplexes Phänomen verstehen zu können, werden neben neurowissenschaftlichen Erkenntnissen auch psychologische Ansätze und den Lernprozess im Allgemeinen beeinflussende Faktoren herangezogen. Ausgehend davon wird der motorische Lernprozess näher charakterisiert und anhand der gewonnenen Einsichten sowie auf Grundlage von Untersuchungsergebnissen der Frage nachgegangen, ob und wie das motorische Lernen durch die Ausbildung und Schulung koordinativer Fähigkeiten beeinflusst wird. Da neben dem motorischen Lernen aber auch besonders im Setting Schule das mentale Lernen, welches primär auf die Aneignung von Wissen sowie geistigen Fähig- und Fertigkeiten gerichtet ist, von Bedeutung ist, wird in dieser Arbeit auch dem Zusammenhang zwischen der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten und dem mentalen Lernprozess nachgegangen. Ausgehend von Auswirkungen allgemeiner körperlicher Aktivität auf neurobiologischer Ebene, welche auch für die Ausübung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen als eine von vielen Formen körperlicher Betätigung zutreffen, werden aktuelle

Forschungsergebnisse sowie bereits aufgezeigte neurowissenschaftliche und lernpsychologische Zusammenhänge zur Beantwortung dieser Frage herangezogen.

### 1.2 Methode der Bearbeitung

Die oben aufgezeigten Fragestellungen werden mithilfe der Methode der Hermeneutik bearbeitet. Ausgangspunkt der hermeneutischen Bearbeitung formt zunächst eine breit angelegte inhaltliche Recherche, um einen groben Überblick über die zu behandelnde Thematik zu bekommen, gefolgt von einer spezifischen Suche nach aktueller und relevanter Literatur. Was allerdings kann konkret unter „hermeneutischer Bearbeitung“ beziehungsweise „Hermeneutik“ verstanden werden?

Etymologisch lässt sich das Wort „Hermeneutik“ auf das griechische Verb „hermeneúein“, was so viel wie „aussagen“, „auslegen“ oder „übersetzen“ heißt, zurückführen. Es kann unter Hermeneutik im Allgemeinen daher die „*Kunst der Auslegung*“ verstanden werden, durch die „etwas zum Verstehen gebracht werden“ soll (Danner, 1998, S. 31). Die Hermeneutik als Methode des Verstehens von Texten hat eine lange Tradition. Im Laufe der Zeit wurde die hermeneutische Methode für unterschiedlichste Zwecke verwendet, so etwa zur Interpretation von Orakelsprüchen und literarischen Texten, zur Auslegung juristischer Gesetzestexte oder auch zur Exegese der Heiligen Schrift (Widmer, 1977, S. 42). Erst die Arbeit der Historischen Schule im 19. Jahrhundert brachte eine allgemeine Hermeneutik hervor, welche bis heute in den Geistes- und Bildungswissenschaften als methodische Herangehensweise von zentraler Bedeutung ist (vgl. Danner, 1998, S. 33; Schischkoff, 1982, S. 274; Widmer, 1977, S. 42). Eine einheitliche und allgemein anerkannte Theorie der Hermeneutik gibt es allerdings trotzdem nicht, da sich je nach Vertreter divergierende Ansätze ergeben. Danner (1998, S. 32) betont jedoch, dass Hermeneutik niemals nur als reine „Textauslegung“ allein verstanden werden darf, da hermeneutisches Verstehen vielmehr „überall dort [geschieht], wo ein Mensch auf einen anderen Menschen oder auf menschliche Erzeugnisse trifft.“

Im Mittelpunkt der Hermeneutik steht, unabhängig des Betrachtungsansatzes jedoch, immer das Verstehen als zentraler Begriff. Dilthey (1961, S. 318; in: Danner, 1998, S. 39) definiert „Verstehen“ als den „Vorgang, in welchem wir aus Zeichen, die von außen sinnlich gegeben sind, ein *Inneres* verstehen“.

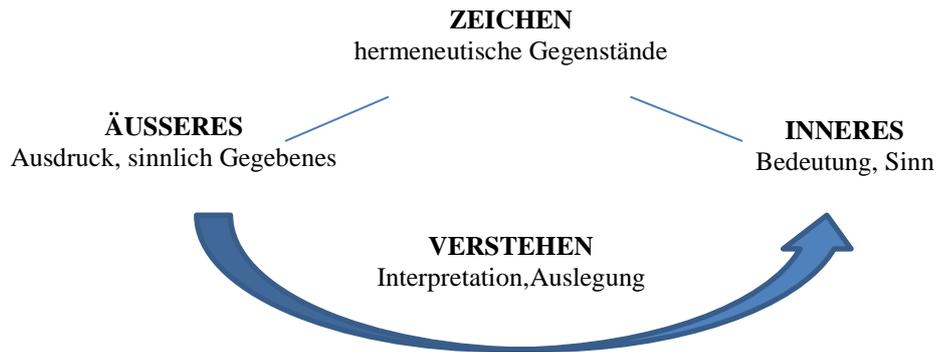


Abb. 1: Verstehen nach Dilthey (nach Danner, 1998, S. 41)

Nach Dilthey`s (1961, S. 318; in: Danner, 1998, S. 39) Auffassung bestehen „Zeichen“ demnach aus zwei Aspekten – einem Äußeren und einem Inneren, welche erst durch den Vorgang des Verstehens miteinander in Verbindung gebracht werden können (Abb. 1). Das Winken mit der Hand als äußerlich sichtbares Zeichen beispielsweise kann nur dann als Geste des Grußes wahrgenommen werden, wenn ihr Inneres, die Bedeutung des Winkens als Gruß, verstanden wird.

Danner (1998, S. 41) fasst daher zusammen: „Das Verstehen kann als *Interpretation und Auslegung* – insbesondere von Texten – verstanden werden. Das «Innere» zeigt sich als *Sinn und Bedeutung*, während das »Äußere« als *Ausdruck* jenes Sinnes verstanden werden kann“. Nach Dilthey (1961; in: Danner, 1998, S. 44) kann das Verstehen als solches allerdings in eine elementare und eine höhere Komponente aufgegliedert werden. Als elementares Verstehen werden Vorgänge bezeichnet, die mit einer gewissen Selbstverständlichkeit passieren, den alltäglichen Umgang miteinander regeln und meist ohne bewusstes Reflektieren passieren. Für die Hermeneutik als wissenschaftliche Methode ist allerdings primär ein höheres Verstehen anzustreben. Dieses baut auf dem elementaren Verstehen auf und versucht einen „*individuellen* oder einen *allgemeinmenschlichen* (Lebens-) *Zusammenhang*“, also vorrangig komplexe Zusammenhänge durch bewusste Denkvorgänge herzustellen (Danner, 1998, S. 45).

Grundlage für das höhere Verstehen ist ein „objektiver Geist“, eine „Gemeinsamkeit *aller* Lebensbezüge“ (Danner, 1998, S. 49), also ein kultur- und zeitabhängiges (Vor-) Verständnis, wodurch versucht werden soll, einzelne Elemente als Teile des Ganzen zu verstehen und das Ganze aus seinen Teilen zu begreifen (Widmer, 1977, S. 43). Dieser Vorgang des höheren Verstehens kann als eine „wiederkehrende Bewegung“, „*eine Art Kreisbewegung*“ beschrieben werden, welche im Allgemeinen als „hermeneutischer Zirkel“ bekannt ist (Danner, 1998, S. 56).

Dieser kann wie in Abbildung 2 grafisch dargestellt werden:

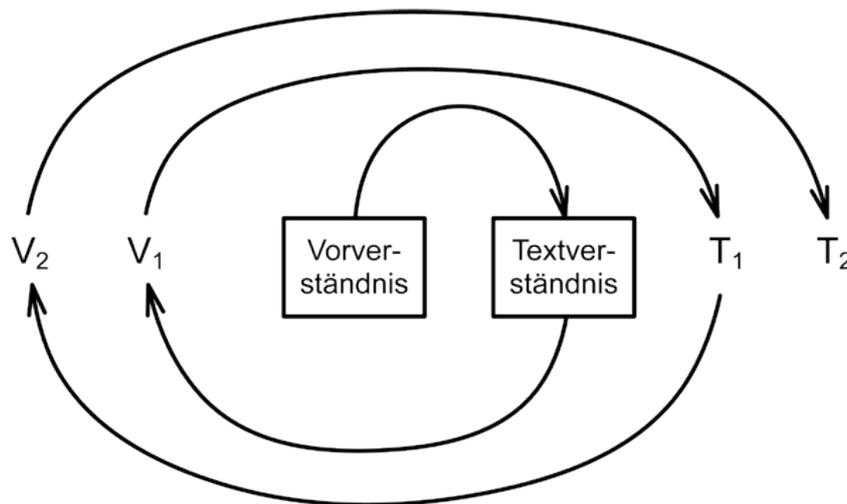


Abb. 2: Hermeneutischer Zirkel (Zugriff am 16.05.2014 unter <https://www.uni-due.de/~gev020/studweb/einwaller-stuhlmacher-hermeneutik5.htm>)

Wie die obige Abbildung (Abb. 2) zeigt, verläuft der Vorgang des höheren Verstehens in kreisförmigen Bahnen. Aus dem Vorverständnis entwickelt sich beispielsweise durch das Lesen eines Textes ein erstes Textverständnis, welches zu einem erweiterten Vorverständnis (V1) führt. Dieses führt bei weiterer Auseinandersetzung mit dem Text zu einem erweiterten, korrigierten Textverständnis (T1), was wiederum zu einem veränderten Vorverständnis (V2) führt. Durch diese hermeneutische Kreisbewegung, die streng genommen eher als „Spirale“ bezeichnet werden müsste, kommt es zunehmend zu einer Verringerung der „hermeneutischen Differenz zwischen dem Verstehendem und dem vom Autor Gesagtem“ (Danner, 1998, S. 58). Paradox am hermeneutischen Zirkel ist allerdings, dass das, was verstanden werden soll, vorher schon irgendwie verstanden worden sein muss (Danner, 1998, S. 57f).

Der hermeneutische Zirkel ist allerdings nicht nur auf die Textauslegung beschränkt, welche von Danner (1998, S. 32) als wichtiger „Spezialfall der Hermeneutik“ bezeichnet wird, sondern bezieht sich vielmehr auf das „*Menschliche* insgesamt“ (Danner, 1998, S. 65). Die Kreis- oder Spiralbewegung der Hermeneutik kann daher generell zwischen „einem *Teil* oder einem *Ganzen* oder zwischen einem Besonderen oder Allgemeinen“ betrachtet werden (Danner, 1998, S. 59). Widmer (1977, S. 46) beschreibt den Vorgang des hermeneutischen Arbeitens daher folgendermaßen:

Vom Erfassen vorerst unbestimmter Teile wird fortgeschritten zu dem Versuch, den Sinn des Ganzen zu erfassen, abwechselnd mit dem Versuch, die Teile fester zu bestimmen, und das solange, bis der ganze Sinn ausgeschöpft ist, der in den Lebensäußerungen enthalten ist.

In diesem Sinne versucht diese Arbeit zunächst einen Überblick über das Konstrukt der koordinativen Fähigkeiten, unterschiedlichste Lern- und Gedächtnisvorgänge und ihren zugrunde liegenden neurobiologischen Prozessen zu geben, um durch ihre Gesamtheit und Zusammenführung ein erweitertes Verständnis für die Relevanz der Thematisierung koordinativer Bewegungsinhalte beziehungsweise die Förderung koordinativer Fähigkeiten im Bewegungs- und Sportunterricht zu schaffen. Der letzte Abschnitt der vorliegenden Arbeit widmet sich in Folge theoretischen Ansätzen zur Vermittlung koordinativer Fähigkeiten und Gestaltung koordinativ herausfordernder Bewegungsaufgaben.

### **1.3 Gliederung der Arbeit**

Da diese Arbeit versucht, einen Überblick über die verschiedensten theoretischen Modelle und Positionen koordinativer Fähigkeiten und Möglichkeiten ihrer Förderung zu geben sowie ihren Stellenwert im Zusammenhang mit dem Einfluss auf unterschiedlichste Lernprozesse darzulegen, gilt es zunächst ein Verständnis für das latente Konstrukt der koordinativen Fähigkeiten geschaffen werden. Genauer gesagt wird in *Kapitel 2 (S. 18-44)* umrissen, was unter dem Begriff der koordinativen Fähigkeiten zu verstehen ist, ehe verschiedenste Ansätze, Modelle und Positionen näher beleuchtet und miteinander verglichen werden, die versuchen, die (Bewegungs-) Koordination und die dieses Phänomen bestimmenden Eigenschaften auf unterschiedlichste Art und Weise für die Praxis greifbar zu machen.

In *Kapitel 3 (S. 45-74)* der vorliegenden Diplomarbeit wird auf die neurobiologischen Grundlagen der Informationsverarbeitung und -speicherung näher eingegangen, um einen Einblick in die komplexen neurophysiologischen Vorgänge des Lernens und der Gedächtnisbildung zu bekommen. Dabei werden zunächst relevante anatomische Strukturen der Informationsverarbeitung kurz dargestellt, um die für unterschiedlichste Lernvorgänge zentralen neurophysiologischen Prozesse näher beleuchten und besser verstehen zu können.

*Kapitel 4 (S. 75-115)* widmet sich schließlich dem Zusammenhang von (koordinativ anspruchsvoller) Bewegung und Kognition. An unterschiedlichsten Arten und Formen des Lernens und der kurzen Charakterisierung allgemeiner Einflussfaktoren auf den Lernprozess wird aufgezeigt, wie eng motorische und kognitive Fähigkeiten miteinander verbunden sind, sodass im Anschluss daran der Einfluss der koordinativen Fähigkeiten sowohl auf das motorische als auch auf das mentale Lernen dargelegt

werden kann. Dabei werden neueste Forschungsergebnisse und das Wissen um die neurophysiologischen Vorgänge während des Lernens kombiniert, wodurch die Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten hervorgehoben wird.

Den inhaltlichen Abschluss der Arbeit bildet die Zusammenschau von Möglichkeiten, wie sich koordinative Fähigkeiten im Unterricht Bewegung und Sport am besten schulen lassen. In *Kapitel 5 (S. 116-137)* wird zunächst die aktuelle Verankerung der koordinativen Fähigkeiten im Lehrplan dargestellt, bevor allgemeine Aspekte und Methoden zur Konzipierung von koordinationsfördernden Übungen aus der Literatur vorgestellt werden. Auf die Möglichkeiten zur Schulung und Förderung koordinativer Fähigkeiten im Rahmen des Unterrichts Bewegung und Sport folgt die Charakterisierung einiger koordinativer Bewegungsprogramme, mithilfe welcher koordinativ herausfordernde Bewegungen zur Steigerung der Effizienz nachfolgender Lern- und Arbeitsphasen und Förderung koordinativer Kompetenz auch in anderen Unterrichtsfächern erreicht werden kann.

Zusammenfassend werden die wichtigsten Erkenntnisse und Ergebnisse dieser Diplomarbeit noch einmal in verdichteter Form dargelegt, um einen Überblick über die wesentlichen Inhalte der geleistete Arbeit zu geben.

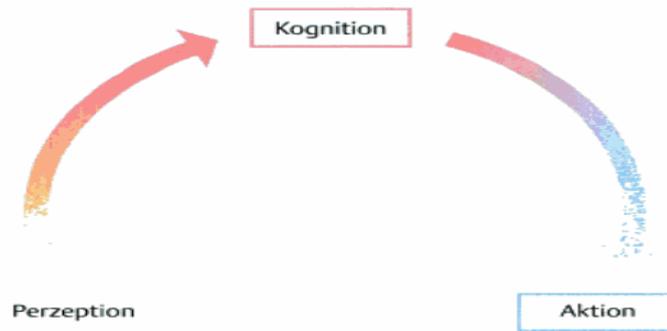
## 2 DAS LATENTE KONSTRUKT DER KOORDINATIVEN FÄHIGKEITEN

Im folgenden Kapitel werden nach einer anfänglich allgemeinen Begriffsbestimmung relevante Strukturierungs- und Klassifizierungsansätze zu den koordinativen Fähigkeiten näher beleuchtet, um ausgehend davon die fünf für das Unterrichtsfach Bewegung und Sport bedeutendsten koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985) genauer zu charakterisieren. Weiters sollen neuere Ansätze und Konzepte beleuchtet werden, welche versuchen, das Phänomen Koordination zu durchdringen.

### 2.1 Was sind koordinative Fähigkeiten?

Meinel und Schnabel (2007, S. 32) charakterisieren (Bewegungs-) Koordination als die „Abstimmung aller Teilprozesse des motorischen Akts im Hinblick auf das Ziel“. Es geht also um die Fertigkeit, Bewegungen und ihre zugrunde liegenden inneren, psychophysischen Prozesse auf ein bestimmtes Ziel hin auszurichten. Dies äußert sich beispielsweise in Bewegungen, welche als rhythmisch, flüssig, ökonomisch, präzise, ästhetisch und gekonnt beschrieben werden können.

Für die Qualität der (Bewegungs-) Koordination maßgeblich verantwortlich sind neurophysiologische Prozesse der Bewegungssteuerung und -kontrolle, welche das muskuläre Zusammenspiel optimieren und somit eine zeitlich, räumlich als auch situativ-adäquat möglichst koordinierte Bewegung ermöglichen (Simonek, 2013, S. 95). Die Steuerung und Kontrolle von Bewegungen unterliegt allerdings einem komplexen, (neuro-) physiologischen und kognitiven Prozess von Informationsaufnahme, -verarbeitung, -speicherung und -abgabe, auf welchen der unterschiedliche Ausprägungsgrad koordinativer Fähigkeiten Einfluss nimmt. Dem Gehirn, als informationsverarbeitende Zentrale, kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Koordinierte Bewegungen sind demnach immer Ausdruck der Güte der Perzeption und der kognitiven Verarbeitung dieser aufgenommenen Informationen (Abb. 3).



**Abb. 3: Die drei grundlegenden Funktionen von Bewegung (Bertram & Laube, 2008, S. 71)**

Um nun den anspruchsvollen Anforderungen der Sport- und Alltagspraxis gerecht zu werden, bedarf es daher bestimmten Eigenschaften beziehungsweise Fähigkeiten, die das Wesen der (Bewegungs-) Koordination ausmachen.

Im Unterschied zu Fertigkeiten, die von Loosch (1999, S. 220) als „durch Üben erworbene operationalisierte und automatisierte Teilhandlungen innerhalb einer komplexen Tätigkeit“ definiert werden, stellen Fähigkeiten latente, mehr oder weniger generalisierte, verfestigte, individuelle Voraussetzungen zur Ausführung bestimmter Tätigkeiten dar (Meinel & Schnabel, 2007, S. 213; Weineck, 2010, S. 793).

Demnach lassen sich konkrete Bewegungshandlungen, wie Schwimmen oder Skifahren, in einzelne beobachtbare Fertigkeiten, wie etwa das Gleiten im Wasser oder das Fortbewegen auf unterschiedlichen Schneebedingungen, differenzieren, die darauf ausgerichtet sind, das übergeordnete Ziel der Tätigkeit zu erreichen. Auf diese Fertigkeiten haben wiederum mehrere unterschiedliche, nicht direkt beobachtbare Fähigkeiten Einfluss. Diese können sich aufgrund ihres latenten Charakters nur in der Beobachtungsebene von Fertigkeiten ausdrücken.

Werden Fähigkeiten unter anderem auch durch das Üben und Ausführen verschiedenster Fertigkeiten beeinflusst (Hirtz, 2002, S. 42), so gilt jedoch grundsätzlich, dass sich Fertigkeiten und Fähigkeiten „nicht eindeutig“ zueinander verhalten und somit nicht von einer klaren wechselseitigen Beziehung ausgegangen werden darf (Loosch, 1999, S. 220). Während eine Fertigkeit durch mehrere Fähigkeiten in unterschiedlichem Ausmaß beeinflusst wird, hat eine einzelne Fähigkeit wiederum Auswirkungen auf mehrere verschiedene Fertigkeiten (Abb. 4).

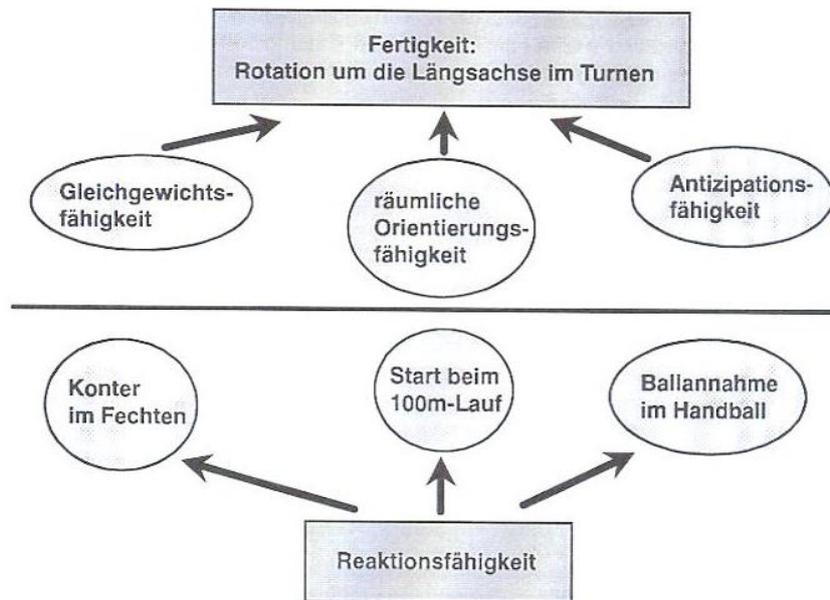


Abb. 4: Die Beziehung zwischen Fertigkeiten und Fähigkeiten (Loosch, 1999, S. 220)

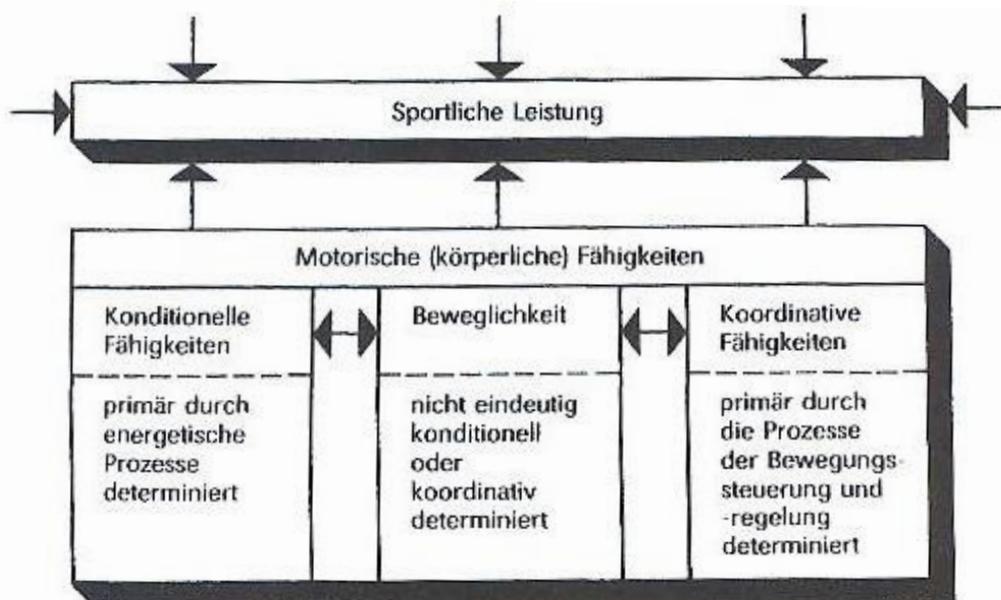
Mannigfaltige Faktoren beeinflussen und bestimmen das komplexe Zusammenspiel zwischen Fertigkeiten und Fähigkeiten, sodass beispielsweise eine Person mit grundsätzlich gut ausgeprägten Fähigkeiten nicht immer in der Lage dazu ist, diese in gerichtete Fertigkeiten beziehungsweise sportliche Leistung umzusetzen (Loosch, 1999, S. 220). Aber auch menschliche Fähigkeiten wirken niemals isoliert, sondern stehen immer in wechselseitiger Verknüpfung zu anderen Fähigkeiten und beeinflussen sich gegenseitig (Meinel & Schnabel, 2007, S. 231).

Zur näheren Spezifizierung und Charakterisierung der motorischen Fähigkeiten des Menschen, welche allesamt Einfluss auf die sportliche Leistung des Menschen nehmen, werden diese nach einem Vorschlag Gundlachs (1968) grundsätzlich in konditionelle und koordinative Fähigkeiten unterteilt. Meinel und Schnabel (2007, S. 213) definieren dieser Einteilung zufolge die koordinativen Fähigkeiten als primär auf die Bewegungssteuerung und -regelung ausgelegte Prozesse, welche im Komplex wirkend mit den energetischen Prozessen der konditionellen Fähigkeiten die sportliche Leistung bestimmen. Zwischen den konditionellen und koordinativen Fähigkeiten herrscht also in Verknüpfung mit mannigfaltigen anderen Faktoren ein komplexer Wirkungszusammenhang, welcher die sportliche Leistung des Menschen maßgeblich beeinflusst. Gegen Ende eines laufintensiven Fußballspiels kann beispielsweise bei SpielerInnen, die im Ausdauerbereich eher schlecht trainiert sind, häufig beobachtet werden, dass die Anzahl der Fehlpässe und fehlerhaften Ballbehandlungen zunimmt. Dies wirkt sich auf das psychische Befinden der SpielerInnen aus, welches wiederum einen Einfluss auf koordinative Leistungen, wie etwa den differenzierten Krafteinsatz

bei unterschiedlich langen Pässen, hat. Obgleich beide Fähigkeitskomplexe für die sportliche Leistung gleichermaßen von Bedeutung sind, wird im Verlauf der Arbeit aufgrund der leitenden Forschungsfragen allerdings nur auf die koordinativen Fähigkeiten näher eingegangen.

Unter Berücksichtigung der Gliederung nach Gundlach (1968) wären Kraft-, Ausdauer- und Schnelligkeitsfähigkeiten demnach eher den konditionellen Fähigkeiten zugeordnet, wobei eine eindeutige Zuordnung bei Letzterer durch entsprechend hohe koordinative Anteile nicht vertretbar erscheint. Die Unterteilung der allgemeinen motorischen Fähigkeiten des Menschen in Fähigkeitsgruppen ist daher nicht als absolute Separierung mit scharfer Abgrenzung zueinander, sondern vielmehr als eine Akzentuierung zu verstehen, die auf einer idealtypischen Differenzierung von dominanten Elementen beruht (Meinel & Schnabel, 2007, S. 212).

In der folgenden Abbildung (Abb. 5), die einen kurzen bildlichen Überblick über diese grundlegende Gliederung der motorischen Fähigkeiten geben soll, ist neben den konditionellen und koordinativen Fähigkeiten die Beweglichkeit als ein weiterer elementarer Bestandteil der motorischen Fähigkeit angeführt, die aufgrund ihrer energetischen und koordinativen Komponenten sowohl im Sport als auch im Alltag von großer Bedeutung ist.



**Abb. 5: Übersicht zu den die Leistung mitbestimmenden motorischen Fähigkeiten (Meinel & Schnabel, 2007, S. 213)**

Ausgehend von dieser elementaren Unterteilung der motorischen Fähigkeiten in unterschiedliche Fähigkeitsbereiche, gibt es kaum nennenswerte Meinungsunterschiede, wenn es gilt, das Feld der koordinativen Fähigkeiten definitorisch einzugrenzen.

Meinel und Schnabel (2007, S. 213) verstehen unter den koordinativen Fähigkeiten eine „Klasse motorischer Fähigkeiten, die vorrangig durch die Prozesse der Bewegungsregulation bedingt sind und relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten dieser Prozesse darstellen“. Dieser Begriffsdefinition schließen sich Zimmermann und Blume (Zimmermann et. al., 2002, S. 25) an. Auch Hirtz (2002, S. 39) definiert das Feld der koordinativen Fähigkeiten ähnlich und bezeichnet diese als „Leistungsvoraussetzungen [...] für eine bestimmte Klasse von Bewegungshandlungen, die durch spezifische und relativ hohe Anforderungen an die Steuerung und Regelung der Bewegungstätigkeit gekennzeichnet sind“.

Roth (2007, S. 87) fasst in seiner Definition die mannigfaltigen, einander jedoch stark ähnelnden Begriffsbestimmungen, das Feld der koordinativen Fähigkeiten betreffend, folgendermaßen zusammen: „Die koordinativen Fähigkeiten werden als generelle, bewegungs- und sportartübergreifende Leistungsvoraussetzungen angesehen, die das Niveau wesentlicher Vorgänge bei der Steuerung und Regelung menschlicher Willkürbewegungen charakterisieren“. Dabei akzentuiert er im Besonderen den wesensbestimmenden allgemeinen Charakter der koordinativen Fähigkeiten. Darunter ist zu verstehen, dass dieselben koordinativen Fähigkeiten in unterschiedlichen Situationen von Bedeutung sind, da sie aufgrund ihres Verallgemeinerungscharakters auf andere, ähnliche Gegebenheiten transferiert werden können. Sie stellen somit für „eine ganze Reihe von Bewegungshandlungen grundlegende Leistungsvoraussetzungen dar“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 215). Auch Bernstein (1991, S. 20; in: Meinel & Schnabel, 2007, S. 212) betont den universellen Charakter der koordinativen Fähigkeiten. Laut ihm stehen sie *über* den motorischen Fertigkeiten - wie ein „Trumpf, der alle anderen Karten sticht“. Koordinative Fähigkeiten sind von den jeweiligen motorischen Handlungen und den zugrunde liegenden Steuerungsprozessen losgelöst, somit frei übertragbar auf weitere Bewegungshandlungen und die Voraussetzung für ganze Klassen sportlicher Handlungen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 214).

Ihr Ausprägungsgrad ist sowohl für das Tempo und die Art und Weise des Erlernens motorischer Fertigkeiten, als auch für deren situationsadäquate Anwendung entscheidend. Sie müssen daher von den motorischen Bewegungsfertigkeiten unterschieden werden, obgleich sie in enger Beziehung zueinander stehen, da beide

Leistungsvoraussetzungen sind, die durch Prozesse der Bewegungssteuerung und -regelung bedingt werden und am Erlernen von Bewegungsabläufen beteiligt sind (Meinel & Schnabel, 2007, S. 215).

Dass koordinative Fähigkeiten aber keineswegs nur als bewegungs- und sportartübergreifende Leistungsvoraussetzungen angesehen werden dürfen, weswegen sie einen wichtigen Stellenwert im Bereich des motorischen Lernens einnehmen, sondern auch für die Ausübung jeglicher genereller Bewegungen von Bedeutung sind, wird bereits aus Roths Definition ersichtlich. Koordinative Fähigkeiten sind demnach „generelle [...] Leistungsvoraussetzungen“ (Roth, 2007, S. 87), die für die Bewältigung motorischer Arbeits- und Alltagsanforderungen sowie für die allgemeine Lebensbefähigung und Gesundheit des Menschen von großem Wert sind (Meinel & Schnabel, 2007, S. 215).

Weineck (2010, S. 1046) beispielsweise spricht von einer Reduktion des Unfallrisikos durch gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten, da eine bessere Reaktion auf wechselnde Bedingungen und Überraschungssituationen, wie etwa den kurzzeitigen Verlust des Gleichgewichts aufgrund von Stolpern oder Ausrutschen erfolgt. Dordel und Kunz (2005, S. 37) kommen in einer Metaanalyse verschiedenster Studien und Literatur ebenfalls zu dem Schluss, dass unter anderem gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten das Unfallrisiko von Kindern und Jugendlichen deutlich verringern. Ähnliche Schlüsse zieht auch Greier (2011, S. 272) aus der Analyse von Schneesportverletzungen von SchülerInnen und legt fest, dass neben dem Erkennen und Reduzieren von potenziellen Risikofaktoren auch ein sportartspezifisches Fitness- und Koordinationstraining eine zielführende Präventivmaßnahme zur Reduktion der Verletzungen wäre. In Zusammenhang mit der Unfallhäufigkeit von Kindergartenkindern und der Schulung koordinativer Fähigkeiten konnte dies von Kambas et. al. (2004, S. 44ff) bereits nachgewiesen werden. Bei 71 Kindergartenkindern, welche in einem Zeitraum von 7 Monaten zweimal wöchentlich an einem Bewegungsprogramm mit primär koordinativen Inhalten teilnahmen, konnte die Unfallhäufigkeit im Vergleich zur Kontrollgruppe deutlich gesenkt werden.

Des Weiteren ermöglichen gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten eine ökonomische und funktionell angepasste Bewegungskörperausführung von motorischen Alltagsanforderungen und halten somit übermäßige Belastungen des Halte- und Bewegungsapparates sowie Abnutzungserscheinungen in Grenzen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 215).

### 2.2 Theorien und Konzepte koordinativer Fähigkeit

Gibt es bezüglich der generellen definitorischen Begriffsbestimmung der koordinativen Fähigkeiten in der Literatur kaum abweichende Ansichten (siehe 2.1), so sind die Herangehensweisen, wenn es darum geht, aus den vermuteten allgemeinen Steuerungs- und Regelungsprozessen konkrete koordinative Lösungsfähigkeiten abzuleiten, umso vielfältiger und heterogener.

Unter anderem ist dies sicherlich darauf zurückzuführen, dass die koordinativen Fähigkeiten als verallgemeinerte, grundlegende Leistungsvoraussetzungen, so wie alle anderen menschlichen Fähigkeiten, nicht direkt beobachtbar sind, sondern sich lediglich in der Beobachtungsebene von Fertigkeiten ausdrücken können. Ob ihrer nicht direkten Beobachtbarkeit sind diese daher als ein latentes Konstrukt zu verstehen, um das Phänomen (Bewegungs-) Koordination für die Praxis greifbar zu machen. Unter dem Begriff „Konstrukt“ wird ein Gedankengerüst verstanden, die Phänomene, Zustände oder Vorgänge beschreibt und erklärt, welche nicht direkt beobachtet, sondern nur aus ihren Wirkungen und Folgen erschlossen werden können (Köck & Ott, 1994, S. 308). Ein Konstrukt fungiert sozusagen als „gedankliche Hilfskonstruktion für die Beschreibung erschlossener Phänomene“ (Drosdowski et. al., 1997, S. 440). Genau diese Beschreibung trifft auf den Charakter der koordinativen Fähigkeiten zu. Die dem Phänomen der (Bewegungs-) Koordination zugrunde liegenden Komponenten, sogenannte koordinative Eigenschaften beziehungsweise Fähigkeiten, welche die Sporttreibenden befähigen sollen, koordinativ herausfordernde Anforderungen zu bewältigen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 212), können nämlich nicht direkt beobachtet, sondern in deren Gestalt und Anzahl lediglich hypothetisch angenommen werden. Dies soll allerdings nicht heißen, dass diese nicht existieren, sondern nur, dass sie aus messbaren Sachverhalten und Merkmalen erschlossen werden müssen. In Hinblick auf die koordinativen Fähigkeiten formuliert Hirtz (2002, S. 39) daher treffend: „Es gibt keine koordinativen Fähigkeiten ‚an sich‘, sondern nur ‚für etwas‘.“

Als hypothetisches Konstrukt zur Beschreibung und Erklärung des Phänomens der (Bewegungs-) Koordination sind die Ansätze und Herangehensweisen daher mannigfaltig, wenn es darum geht, die genaue Gestalt und Anzahl koordinativer Fähigkeiten zu bestimmen. Dies wird in der folgenden Tabelle (Tab. 1) ersichtlich, welche einige aktuelle Begriffsbeispiele, das Konstrukt „koordinative Fähigkeiten“ betreffend, aus der Literatur aufgreift. Diese Liste erhebt jedoch keinesfalls den

Anspruch auf Vollständigkeit, sondern könnte vielmehr problemlos um das Doppelte oder Dreifache erweitert werden.

Adaptionsfähigkeit	Motorische Lernfähigkeit
Anpassungsvermögen	Motorische Speicherungsfähigkeit
Antizipationsfähigkeit	Motorische Vorstellungsfähigkeit
Auge-Hand-Koordination	Muskelentspannungsfähigkeit
Balancefähigkeit	Orientierungsvermögen
Beweglichkeit	Präzision
Bewegungsphantasie	Raumgefühl
Dynamische Flexibilität	Reaktionsvermögen
Elastizität	Regelungsfähigkeit
Geschicklichkeit	Regulationsfähigkeit
Gewandtheit	Rhythmisierungsfähigkeit
Gleichgewichtsvermögen	Steuerungvermögen
Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit	Umstellungsfähigkeit
Kombinationsvermögen	Wendigkeit
Kopplungsfähigkeit	Zeitgefühl

Tab. 1: Zur Begriffsvielfalt im Bereich der koordinativen Fähigkeiten (Roth, 2007, S. 88)

Die Betrachtung der (Bewegungs-) Koordination aus unterschiedlichen Blickwinkeln und Perspektiven und die Auseinandersetzung mit denen ihr zugrunde liegenden Eigenschaften führt zu verschiedenen deduktiv und induktiv abgeleiteten koordinativen Anforderungsklassen, aus welchen wiederum auf unterschiedliche koordinative Lösungsfähigkeiten geschlossen wird. Es finden sich in der Literatur daher unzählige Klassifizierungs- und Strukturierungsansätze, um das Phänomen der (Bewegungs-) Koordination praktisch greifbar machen zu können. Sie reichen von der Unterscheidung zwischen elementaren und komplexen/spezifischen koordinativen Fähigkeiten bis hin zu neueren Tendenzen, die einen Perspektivenwechsel hin zu den Anforderungen motorischer Aufgabenstellungen postulieren. Gegenwärtig kann daher „nicht von einem einheitlichen, allgemeingültigen, wissenschaftlich abgesicherten Strukturkonzept“ ausgegangen werden (Meinel & Schnabel, 2007, S. 220). Es muss deswegen vielmehr von einem unvollständigen Mosaik gesprochen werden, da die genaue Anzahl, Struktur und die genauen Zusammenhänge zwischen den koordinativen Teilkomponenten bis heute nicht inhaltlich geklärt werden konnte.

Die vorliegende Arbeit kann und wird allerdings keine vollständige Auflistung dieser unzähligen veröffentlichten Systematiken und den dazugehörigen abgeleiteten koordinativen Fähigkeiten bieten. Dennoch erscheint es sinnvoll, einige Modelle und Positionen aus der Literatur anzuführen, um das Verständnis der koordinativen Fähigkeiten als latentes Konstrukt zu erweitern. Die im deutschsprachigen Raum

wesentlichsten Theorien und Ansätze werden daher herausgegriffen und Komponenten koordinativer Fähigkeiten beschrieben.

### 2.2.1 Das Fähigkeitskonzept für den Leistungssport

Der fähigkeitsorientierte Ansatz hat innerhalb der Sportwissenschaft eine lange Tradition. So löste Schnabel bereits 1973 den Komplex der Gewandtheit, der im Sport lange Zeit als die einzige koordinative Fähigkeit geführt wurde, jedoch als universelle Bezeichnung der enormen Vielgestaltigkeit und Unterschiedlichkeit motorischer Handlungen nicht gerecht werden konnte, ab und unterschied mehrere koordinative Fähigkeiten voneinander (Hirtz, 1997, S. 21). Ausgehend von der Theorie der Bewegungskoordination und den dort angenommenen gesetzmäßig aufeinanderfolgenden Lernphasen (Grobkoordination, Feinkoordination und variable Verfügbarkeit) gliedert Schnabel die koordinativen Fähigkeiten in drei allgemeine koordinative Grundfähigkeiten (Steuerungs-, Anpassungs- und Umstellungsfähigkeit sowie motorische Lernfähigkeit) und elf spezielle koordinativen Fähigkeiten (Geschicklichkeit, Gleichgewichts-, Kombinations-, Rhythmus-, Reaktions-, Orientierungs-, Antizipations- und Muskelentspannungsfähigkeit sowie motorische Vorstellungsfähigkeit, motorische Speicherungsfähigkeit und kinästhetische Differenzierungsfähigkeit) (Roth, 2007, S. 88). Problematisch bezüglich dieses Differenzierungsansatzes erscheint es allerdings, dass diese Begriffe zu abstrakt gewählt und somit für die Praxis nur schwer greifbar sind.

Blume und Leipziger Koordinationsforscher (1978; in: Meinel & Schnabel, 2007, S. 220f) leiten aus den empirischen Untersuchungen bezüglich der Steuerungs- und Regelungsanforderungen in verschiedensten Sportarten und Disziplinen wiederum folgende sieben koordinative Fähigkeiten ab, die sich bereits teilweise in Schnabels ursprünglicher Einteilung von 1973 finden lassen:

- Differenzierungsfähigkeit
- Gleichgewichtsfähigkeit
- Kopplungsfähigkeit
- Orientierungsfähigkeit
- Reaktionsfähigkeit
- Rhythmisierungsfähigkeit
- Umstellungsfähigkeit

Bei diesem besonders für den Nachwuchsleistungssport entwickelten Arbeitskonzept wird zwar nicht zwischen allgemeinen und speziellen koordinativen Fähigkeiten unterschieden, es wird aber angemerkt, dass alle sieben Fähigkeiten sowohl allgemeine, als auch bewegungsartspezifische Komponenten aufweisen. Meinel und Schnabel (2007, S. 221) schließen sich dieser Strukturierungssystematik später an, fügen aber hinzu, dass diese Teilkomponenten in enger Wechselbeziehung zueinander stehen, sich gegenseitig beeinflussen und in ihrer Kombination die Basis für die komplexen koordinativen Fähigkeiten, die mit dem Erlernen, der Steuerung sowie der Anpassung und Umstellung von motorischen Fertigkeiten zu tun haben, bilden. Zimmermann et. al. (2002, S. 25) sehen dies ähnlich und nennen neben den sieben koordinativen Fähigkeiten drei allgemeine Fähigkeiten, welche eine höhere Generalisierungsebene verkörpern (Abb. 6).

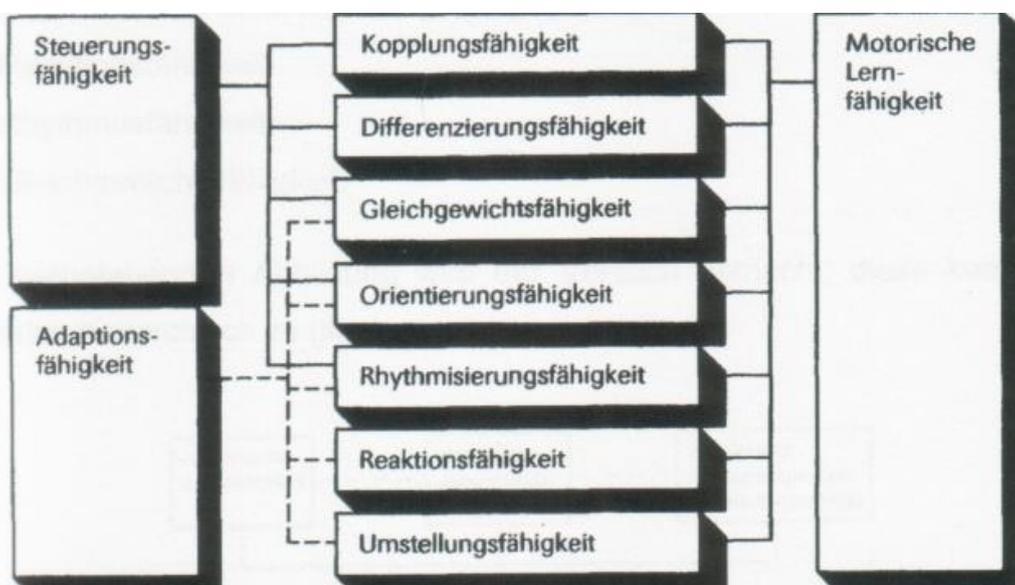


Abb. 6: Strukturelles Gefüge koordinativer Fähigkeiten (Zimmermann et. al., 2002, S. 33)

In der obigen Abbildung wird die Beziehung zwischen den einzelnen koordinativen Fähigkeiten und deren Zugehörigkeit zu den komplexen, primär koordinativ bedingten Fähigkeiten deutlich. Während die Umstellungs- und Reaktionsfähigkeit die dominierenden Anteile des Komplexes der Adaptionsfähigkeit darstellen, beeinflussen die Kopplungs- und Differenzierungsfähigkeit vorrangig den Komplex der Steuerungsfähigkeit. Rhythmus-, Orientierungs- und Gleichgewichtsfähigkeit können wiederum beiden Komplexen in gleichem Ausmaß zugeordnet werden. Die motorische Lernfähigkeit, welche ebenfalls als Fähigkeitskomplex zu verstehen ist, wird von allen sieben koordinativen Fähigkeiten in unterschiedlichster, sportartspezifischer Zusammensetzung bestimmt. „Es muss deshalb angenommen werden, dass die Ursache

für eine mehr oder weniger gut ausgeprägte Lernbefähigung in unterschiedlichen koordinativen Leistungsvoraussetzungen liegt“ (Zimmermann et. al., 2002, S. 32).

Die Einteilung in sieben (Blume, 1978) beziehungsweise fünf koordinative Fähigkeiten (Hirtz, 1985) hat sich laut Zimmermann et. al. (2002, S. 28) „als nützliche und praktikable Orientierung bewährt“, da sie einerseits Gültigkeit für mehr oder weniger alle sportlichen Tätigkeiten besitzt und andererseits der Inhalt der einzelnen koordinativen Fähigkeiten anschaulich und klar bestimmt ist. So sind vor allem in der methodisch ausgerichteten Literatur anschauliche und umfangreiche Übungssammlungen zu finden, welche auf das Modell der koordinativen Fähigkeiten zurückgreifen (Lange, 2010, S. 167). Auch Weineck (2010, S. 795) verwendet diesen Ordnungsansatz in seinen Ausführungen, weist allerdings darauf hin, dass es keine endgültige Klarheit über die Zahl, Struktur und Zusammenhänge der einzelnen Teilkomponenten gibt und diese demnach nur als Orientierungshilfe für die Erfassung und Schulung des Komplexes der koordinativen Fähigkeiten zu verstehen sind.

Dennoch gibt es noch viele weitere Ordnungsansätze, welche wiederum andere koordinative Fähigkeiten in den Mittelpunkt stellen. Pöhlmann (1977; in: Hirtz, 1997, S. 21) geht beispielsweise von einer Wechselbeziehung und Parallelität zwischen Handlungen und Fähigkeiten aus und postuliert ein mehrdimensionales Modell psychomotorischer Fähigkeiten. Aufgrund handlungspsychologischer Prämissen unterscheidet er zwischen Orientierungs-, Ausführungs- und Antriebsregulation, wobei sich die psychomotorischen Fähigkeiten aus dem Orientierungs- und Ausführungsteil rekrutieren, wodurch sie der Sensorik und Effektorik zugeordnet werden können (Abb. 7).

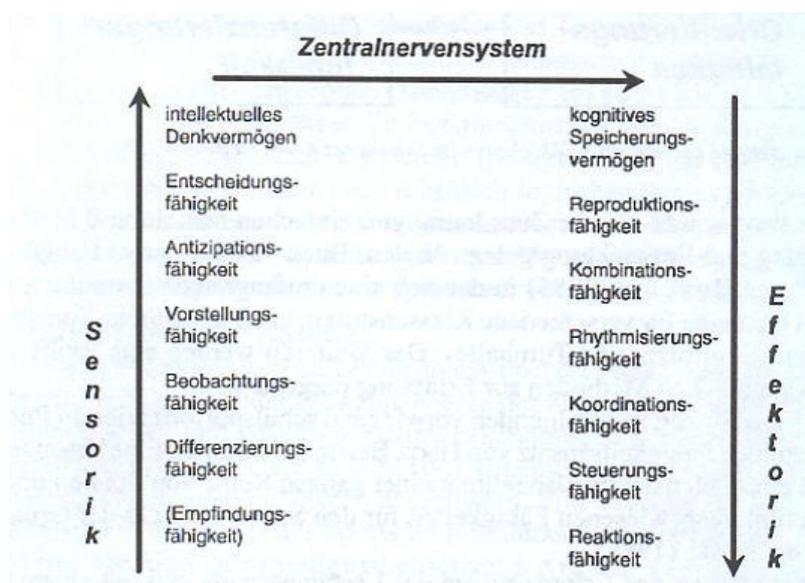


Abb. 7: Handlungspsychologische Fähigkeitsklassifikation (Pöhlmann et. al., 1979, S. 900; in: Loosch, 1999, S. 218)

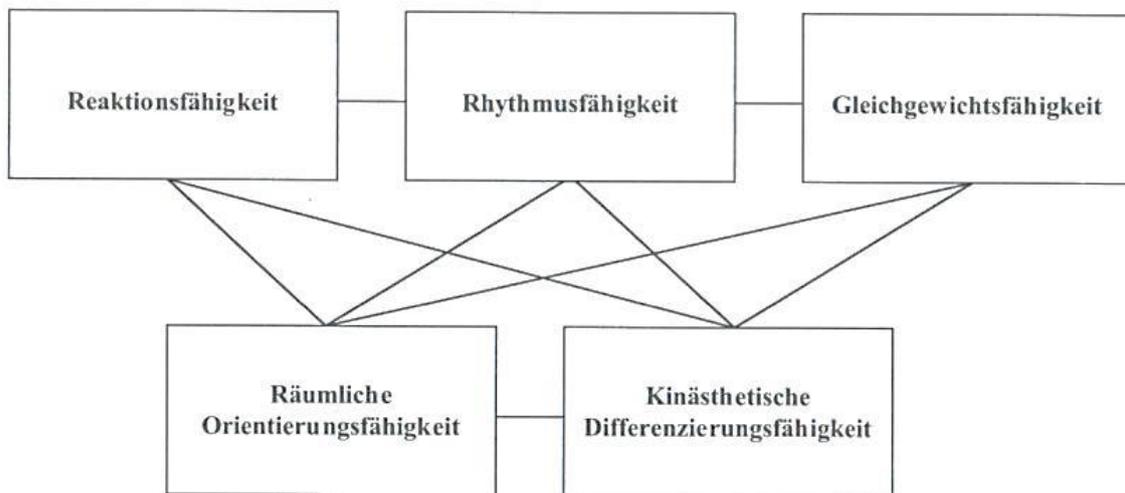
Voelcker-Rehage et. al. (2010) wiederum gehen in ihren Untersuchungen neben einer kardiovaskulären von einer motorischen Fitness aus, welcher unter anderem die Fähigkeiten Beweglichkeit, Geschwindigkeit, Gleichgewicht und Feinkoordination zugeordnet werden.

### 2.2.2 Komponenten koordinativer Fähigkeiten für den Schulsport

Aus didaktisch-methodischen Gründen, jedoch im Bewusstsein darüber, dass durchaus auch noch weitere koordinative Fähigkeiten existieren, beschränkt Hirtz (1985) seine Auswahl ganz bewusst nur auf die fünf koordinativen Fähigkeiten: kinästhetische Differenzierungsfähigkeit, räumliche Orientierungsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit, komplexe Reaktionsfähigkeit und Rhythmusfähigkeit (Abb. 8). Er begründet seine Selektion damit, dass bereits eine Ausprägung und Vervollkommnung dieser fünf fundamentalen koordinativen Fähigkeiten „mit großer Sicherheit und Erfolgswahrscheinlichkeit die [...] koordinativ-motorische Leistungsfähigkeit der Kinder und Jugendlichen“ erhöht (Hirtz, 1985, S. 35). Aber auch für die Lebensqualität älterer Menschen werden diese fünf grundlegenden koordinativen Fähigkeiten als zentral angesehen (Wiacek et al., 2009, S. 212).

Nicht zuletzt deswegen, weil diese Einteilung in der Literatur weit verbreitet und besonders für den Schulsport von Bedeutung ist, werden nachfolgend die fünf fundamentalen koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985) näher beschrieben, um einen Einblick in deren Charakter zu geben. Dabei werden Hirtz‘ Betrachtungsweisen

immer wieder durch die anderer Autoren ergänzt, sodass eine möglichst umfassende und verständliche Darstellung gegeben wird.



**Abb. 8: Fundamentale koordinative Fähigkeiten für den Schulsport (nach Hirtz, 1985; in: Dordel 2003, S. 273)**

### 2.2.2.1 Kinästhetische Differenzierungsfähigkeit

Hirtz (1985) hebt die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit sowohl aufgrund ihrer Bedeutung für die Steuerung von Bewegungen, als auch als wichtige Komponente in der Stabilisierungsphase motorischer Lernprozesse aus dem Komplex der sensorischen Differenzierungsfähigkeiten besonders hervor. Er beschreibt die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit als „relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten der Realisierung von genauen und ökonomischen Bewegungshandlungen aufgrund einer feindifferenzierten und präzisierten Aufnahme und Verarbeitung vorwiegend kinästhetischer Informationen“ (Hirtz, 1985, S. 33).

Unter kinästhetischer Differenzierungsfähigkeit ist also die Fähigkeit gemeint, die es ermöglicht, eine Bewegungshandlung aufgrund der vom Bewegungsapparat durch Rezeptoren an Sehnen, Muskeln, Bändern und Gelenken eingelangten Rückmeldungen hinsichtlich ihrer Qualität zu beurteilen und in der Folge angemessen dosieren und kontrollieren zu können. Durch sehr fein aufeinander abgestimmte Prozesse der Steuerung und Abstimmung der Muskelaktivität zeichnet sich diese Fähigkeit durch ein hohes Maß an Bewegungspräzision und -ökonomie aus, weshalb sie in den meisten Sportarten leistungsbestimmend ist (Weineck, 2010, S. 797).

Im Gegensatz zu Hirtz (1985) heben Meinel und Schnabel (2007, S. 221) die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit nicht aus dem Bereich der

Differenzierungsfähigkeiten hervor, sondern sprechen von einer allgemeinen motorischen Differenzierungsfähigkeit im Sinne einer „Fähigkeit zum Erreichen einer hohen Feinabstimmung einzelner Bewegungsphasen und Teilkörperbewegungen“, weshalb diese koordinative Fähigkeit auch als Grundlage für die Gleichgewichts- und Rhythmusfähigkeit gehandelt wird.

Die mit der Differenzierungsfähigkeit verbundene Feinabstimmung von Bewegungen wird allgemein oft als „Gespür“ (Kosel, 2005, S. 57) oder (Bewegungs-) „Gefühl“ (Bertram & Laube, 2008, S. 78) bezeichnet. Auch die als „Geschicklichkeit“ bekannte Fähigkeit, die sich in feinmotorischen Bewegungen der Hände, Füße und des Kopfes äußert, kann als eine Seite der Differenzierungsfähigkeit verstanden werden (Meinel & Schnabel, 2007, S. 222).

Kirchis (1977, S. 65f; in: Meinel & Schnabel, 2007, S. 222) nimmt innerhalb der Differenzierungsfähigkeit eine weitere Klassifizierung der Ausdrucksformen nach vier Ordnungskriterien vor. Er unterscheidet zwischen Art der Bewegungsausführung, Art der Bewegungsparameter (Zeit, Raum, Kraft), agierende Körperteile und Art der Umweltbedingungen (Medien, Gegner/Partner, Geräte), mit denen sich die Sportler konfrontiert sehen.

### 2.2.2.2 Räumliche Orientierungsfähigkeit

Wie bereits die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit aus dem Komplex der sensorischen Differenzierungsfähigkeiten hervorgehoben wurde, so nimmt Hirtz (1985) ebenfalls die räumliche Orientierungsfähigkeit aus dem Bereich der Orientierungsfähigkeiten heraus, da auch diese von fundamentaler Bedeutung für den motorischen Lernprozess und die Bewegungssteuerung ist.

Hierunter versteht Hirtz (1985, S. 34) „relativ verfestigte generalisierte Verlaufsqualitäten der Bestimmung und zieladäquaten Veränderung der Lage und Bewegung des Körpers als Ganzes im Raum“. Die aktive Wahrnehmung von räumlichen Bedingungen zur Ausführung und Steuerung einer Bewegungshandlung, wie etwa das Erkennen von Hindernissen und Begrenzungen sowie das Abschätzen von Abständen, steht dabei im Vordergrund.

Der Stellenwert der räumlichen Orientierungsfähigkeit für die Sportpraxis rührt vor allem daher, dass sich der Mensch als „Augentier“ (Spitzer, 2012, S. 167) bei beinahe allen Bewegungshandlungen vordergründig auf optische Informationen stützt. Besonders in der Aneignungsphase des motorischen Lernprozesses dominieren visuelle

Eindrücke und fordern somit eine adäquate Ausbildung der räumlichen Orientierungsfähigkeit (Loosch, 1999, S. 191f).

Da sich die raumorientierte Steuerung auch in aufgabengerechten und situativ angepassten Krafteinsätzen dokumentiert, besteht eine relativ enge Beziehung zu der kinästhetischen Differenzierungsfähigkeit. Durch die Notwendigkeit der Aufnahme und Verarbeitung optischer Informationen über die Stellung des Körpers im Raum und eine adäquate Bewegungssteuerung wird der Voraussetzungscharakter der räumlichen Orientierungsfähigkeit für die Reaktions-, Gleichgewichts- und Rhythmusfähigkeit ersichtlich (Hill, 1991, S. 6).

Meinel und Schnabel (2007, S. 225) sehen hingegen wiederum von einer Hervorhebung der räumlichen Orientierungsfähigkeit aus dem Komplex der Orientierungsfähigkeiten ab und verstehen darunter die „Fähigkeit zur Bestimmung und zieladäquaten Veränderung der Lage und Bewegung des Körpers in Raum und Zeit“.

Hierbei fällt auf, dass im Gegensatz zu Hirtz' Definition (1985) nicht nur ausschließlich der Raum, in welchem agiert wird, im Vordergrund steht, sondern additiv ein zeitlicher Aspekt integriert wird. Weineck (2010, S. 796) schlägt daher eine Unterteilung in räumliche und zeitliche Orientierungsfähigkeit vor, wobei diese sowohl gekoppelt, als auch getrennt voneinander in Erscheinung treten können. Besonders in Spielsportarten, wo meist mehrere Orientierungspunkte (räumliche Positionierung der Gegen- und MitspielerInnen, des Balles, der eigenen Stellung und der Lage des Zieles/Tores) gleichzeitig realisiert werden müssen, um eine erfolgreiche Spielaktion durchführen zu können, ist eine gute räumliche Orientierungsfähigkeit (peripheres Sehen) und zeitliche Orientierungsfähigkeit (Timing der Aktion) von großer Bedeutung (Zimmermann et. al., 2002, S. 30).

### 2.2.2.3 Gleichgewichtsfähigkeit

Hirtz (1985, S. 34) definiert die Gleichgewichtsfähigkeit als „relativ gefestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten des Haltens beziehungsweise Wiederherstellen des Gleichgewichts bei wechselnden Umweltbedingungen, der zweckmäßigen Lösung motorischer Aufgaben auf kleinen Unterstützungsflächen oder bei sehr labilen Gleichgewichtsverhältnissen.“

Die Fähigkeit, das Gleichgewicht in beinahe jeder Position oder Aktion aufrechterhalten zu können und somit eine zielgerichtete Bewegungshandlung zu ermöglichen, ist nicht nur für die Ausübung beinahe jeder Sportart essenziell, sondern ist ebenfalls für die

Bewältigung motorischer Alltagsanforderungen von fundamentaler Bedeutung. Die Gleichgewichtsfähigkeit ist daher nicht nur im Sinne sportlicher Leistungsfähigkeit relevant, sondern leistet einen wesentlichen Beitrag im Sinne der Verletzungsprophylaxe (Weineck, 2010, S. 1046).

Besonders bei älteren Menschen oder aufgrund von Bewegungsmangel lässt die Ausbildung dieser Fähigkeit allerdings nach, wodurch sich die Zunahme an Stürzen und den damit verbundenen oftmals ernstesten Verletzungen erklären lässt (Thornby, 1995, S. 37).

Die wesentliche Basis für Gleichgewichtsleistungen jeglicher Art findet sich in einer effektiven Interaktion des statico-dynamischen mit dem optischen und kinästhetischen Analysators bei der Aufnahme und Verarbeitung von Informationen (Hahn et. al., 1999, S. 15). Darin ist auch die enge Beziehung der Gleichgewichtsfähigkeit zu der kinästhetischen Differenzierungs- und der räumlichen Orientierungsfähigkeit begründet. Informationen, die über das Auge, das Gleichgewichtsorgan im Innenohr und über Rezeptoren an Muskeln, Gelenken oder der Haut wahrgenommen werden, werden an das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet. Die im Gehirn ablaufenden Prozesse, welche zur Verarbeitung der empfangenen Informationen führen, resultieren schließlich in einer Reaktion der Muskeln, sodass das Gleichgewicht aufrechterhalten oder wiederhergestellt werden kann (Zimmermann et. al., 2002, S. 30).

Meinel und Schnabel (2007, S. 225) verstehen unter Gleichgewichtsfähigkeit „die Fähigkeit den gesamten Körper im Gleichgewichtszustand zu halten oder während und nach umfangreicher Körperverschiebungen diesen Zustand beizubehalten beziehungsweise wiederherzustellen.“

Auch sie sprechen, wie auch Hirtz (1985), von einer Fähigkeit, die es dem Menschen ermöglicht, den eigenen Körper im Gleichgewicht zu halten oder bei Verlust des Gleichgewichts dieses wiederherzustellen. Meinel und Schnabel (2007, S. 225f) gliedern diese koordinative Fähigkeit jedoch noch weiter auf und unterscheiden zwischen zwei Teilkomponenten: das statische und das dynamische Gleichgewicht. Die Fähigkeit, die es ermöglicht, den Körper in relativer Ruhestellung oder bei langsamen Bewegungen im Gleichgewicht zu halten, wird als statisches Gleichgewicht bezeichnet und gilt als Grundlage für alle motorischen Bewegungshandlungen. Unter dem dynamischen Gleichgewicht ist im Gegensatz dazu die Fähigkeit zu verstehen, die den Körper auch bei großräumigen und schnellen Lageveränderungen im Gleichgewicht belässt beziehungsweise dieses wiederherstellt.

Hirtz et. al. (2005, S. 55) erweitern diese Einteilung mit einer Unterscheidung in Stand-, Balancier-, Dreh- und Fluggleichgewicht als weitere Arten des Körpergleichgewichts.

Meinel und Schnabel (2007, S. 226) weisen außerdem darauf hin, dass neben dem für die Ausführung sportlicher Bewegungshandlungen dominanten personenbezogenen Teilbereich der Gleichgewichtsfähigkeit, der sowohl den Gleichgewichtserhalt als auch die Wiederherstellung des Gleichgewichts des eigenen Körpers beinhaltet, auch eine objektbezogene Komponente des Gleichgewichts existiert. Diese kommt beispielsweise beim Balancieren von Gegenständen zum Tragen und darf in der Auseinandersetzung mit der Gleichgewichtsfähigkeit nicht übersehen werden.

Diese Unterteilung in verschiedene Teilkomponenten des Gleichgewichts schlug auch Fetz (1989, S. 258; in: Weineck, 2010, S. 796), wie in folgender Abbildung ersichtlich, vor:

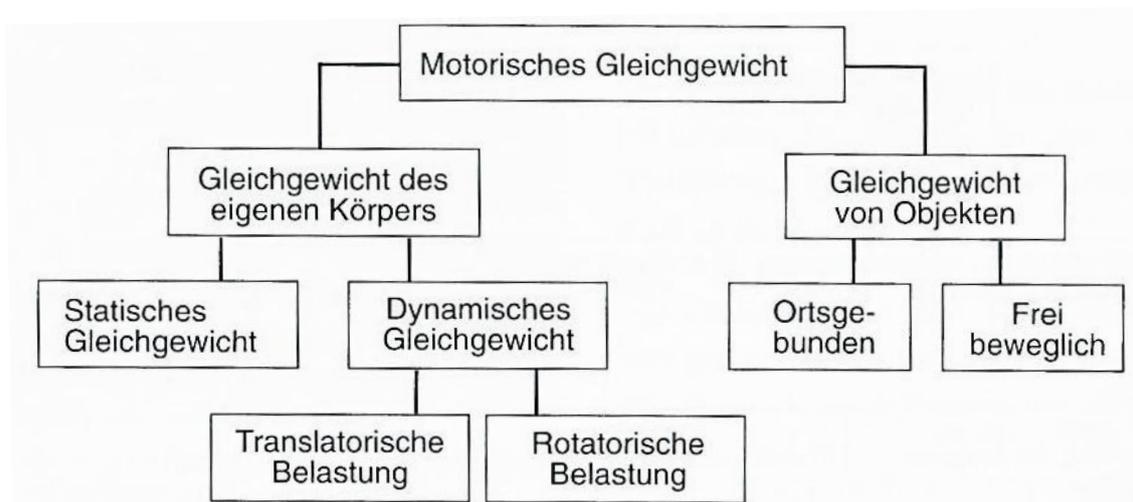


Abb. 9: Arten des Gleichgewichts (Fetz 1989, S. 258; in: Weineck, 2010, S. 796)

### 2.2.2.4 Komplexe Reaktionsfähigkeit

Unter der komplexen Reaktionsfähigkeit versteht Hirtz (1985, S. 34) „relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten einer schnellen und zweckentsprechenden (aufgabengemäßen) Einleitung und Ausführung kurzzeitiger, ganzkörperlicher Bewegungshandlungen auf mehr oder weniger komplizierte Signale oder vorausgehende Bewegungshandlungen beziehungsweise aktuelle Reizsituationen.“

Die Bedeutung der komplexen Reaktionsfähigkeit ergibt sich aus der Notwendigkeit, die Zeit zwischen Reizaufnahme, Weiterleitung, Verarbeitung von Informationen und der motorischen Antwort, sowohl bei Sport- als auch bei Alltagshandlungen, möglichst gering zu halten. Ist die komplexe Reaktionsfähigkeit für die Alltags- und

Arbeitsmotorik von fundamentaler Bedeutung, um für die verschiedenartigsten Anforderungen des Straßenverkehrs beispielsweise mit situationsadäquaten und rechtzeitigen motorischen Antworten zu reagieren, so kommt ihr auch im Sport ein großer Stellenwert zu (Hill, 1991, S. 13).

Meinel und Schnabel (2007, S. 223) definieren die Reaktionsfähigkeit als „Fähigkeit zur schnellen Einleitung und Ausführung zweckmäßiger motorischer Aktionen auf mehr oder weniger komplizierte Signale“. Der einzig relevante Unterschied im Vergleich zu Hirtz‘ Definition (1985) ist daher, dass sie sich nicht auf kurzzeitige, ganzkörperliche Bewegungshandlungen beschränkt. Auch hier steht das maximal schnelle Reagieren mit aufgabenadäquaten motorischen Aktionen auf diverse Signale im Vordergrund. Diese Signale können, wie auch die Bedingungen, in welchen sie auftreten, sehr vielgestaltig sein und auf akustischem, optischem, taktilem oder kinästhetischem Weg übermittelt werden (Meinel & Schnabel, 2007, S. 223).

Ebenso unterschiedlich wie die Signale und Bedingungen, in denen diese auftreten, können auch die darauffolgenden motorischen Reaktionen sein. Meinel und Schnabel (2007, S. 224) sowie Bertram und Laube (2008, S. 80) unterscheiden demnach, ob mit einer vorher festgelegten motorischen Handlung (Start beim Schwimmen, Sprinten etc.) auf ein Signal reagiert wird oder ob erst eine von mehreren möglichen erfolgsversprechenden, situativ zweckmäßigen Bewegungshandlungen (Sportspiel, Zweikampf etc.) ausgewählt werden muss, bevor diese ausgeführt werden kann. Bezüglich der letztgenannten Wahlreaktion sind daher oft mehrere Faktoren und Signalkonstellationen abzuwägen, um die aufgabenadäquateste motorische Antwort zu finden.

Weineck (2010, S. 798) spricht ebenfalls von einer einfachen Reaktionsfähigkeit, wie sie beispielsweise bei leichtathletischen Sprints zum Tragen kommt, und von einer komplexen Form dieser koordinativen Fähigkeit, der in kleinen sowie in großen Sportspielen eine überragende Bedeutung zukommt. Des Weiteren weist er darauf hin, dass die Reaktionsfähigkeit zwar eine eigenständige koordinative Fähigkeit und somit Komponente der motorischen Fähigkeit darstellt, sie jedoch auch als Bestandteil der primär konditionellen Eigenschaft „Schnelligkeit“ eine bedeutende Rolle einnimmt.

Auch Brisswalter et. al. (1997, S. 1019) heben den Zusammenhang der Reaktionsfähigkeit mit anderen, die motorische Leistung mitbestimmenden Faktoren hervor. Anders als Wineck (2010) betonen sie jedoch die Abhängigkeit der Reaktionsfähigkeit von physischer Belastung. Ihre Studie ergab, dass Individuen unter

physischer Belastung eine deutlich verminderte Reaktionsleistung zeigen, während dies mit zunehmendem Fitnesslevel nicht mehr beobachtet werden konnte.

### 2.2.2.5 *Rhythmusfähigkeit*

Hirtz (1985, S. 34) versteht unter Rhythmusfähigkeit, die unter anderem auch als Rhythmisierungsfähigkeit bezeichnet wird, „relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten, des Erfassens (Wahrnehmens), Speicherns und Darstellens einer vorgegebenen beziehungsweise im Bewegungsablauf enthaltenen zeitlich-dynamischen Gliederung“.

Die Bedeutung dieser koordinativen Fähigkeit ergibt sich aus der Tatsache, dass jede Bewegungshandlung ihren eigenen Rhythmus hat, der zunächst einmal erfasst und anschließend motorisch umgesetzt werden muss. Ein relativ hohes Niveau dieser Fähigkeit unterstützt demnach zum einen den motorischen Lernprozess maßgeblich und ist zum anderen auch für die Erhöhung beziehungsweise Festigung der Bewegungsqualität nahezu aller sportlichen Bewegungshandlungen von enormer Bedeutung. Die Annahme, Rhythmusfähigkeit sei nur eine Voraussetzung für motorische Aufgaben, welche eine ästhetische Interpretation der durch die musikalische Umrahmung vorgegebenen Rhythmen verlangen, ist demnach grundlegend falsch.

Weiters steht die Rhythmusfähigkeit in relativ engem Zusammenhang zu weiteren Fähigkeiten wie beispielsweise der kinästhetischen Differenzierungsfähigkeit, der Muskelentspannungsfähigkeit sowie den konditionellen, intellektuellen und musischen Fähigkeiten (Hill, 1991, S. 16).

Hockey und Collinson (2007, S. 119) beispielsweise setzen die Fähigkeit, einzelne Teilbewegungen zeitlich-dynamisch zu koordinieren, in Beziehung mit einem weiter gefassten Verständnis von Rhythmus. „The shape or flow of sporting action is then organized by rhythm, and at the same time it constitutes a part of that very rhythm“ (Hockey & Collinson, 2007, S. 119). Sie sprechen von der Fähigkeit (Teil-) Bewegungen nicht nur zeitlich aufeinander abzustimmen beziehungsweise zu koordinieren, sondern die gesamte Bewegungsausführung, im Hinblick auf eine Situation, möglichst optimal zu timen.

Meinel und Schnabel (2007, S. 227) wiederum definieren Rhythmisierungsfähigkeit ihrerseits als die Fähigkeit, „einen von außen vorgegebenen Rhythmus zu erfassen und motorisch zu reproduzieren sowie den ‚verinnerlichten‘, in der eigenen Vorstellung existierenden Rhythmus einer Bewegung in der eigenen Bewegungstätigkeit zu

realisieren“. Mit dieser Definition wird neben der auch von Hirtz (1985) betonten zeitlich-dynamischen Gliederung einer Bewegung aufgrund eines von außen vorgegebenen Rhythmus auch der intern selbstorganisierte Rhythmus für den Vollzug motorischer Bewegungen relevant. Das bedeutet, dass neben äußeren, die zeitlich-dynamische Gliederung einer Bewegungsausführung beeinflussenden Faktoren, auch der in der eigenen inneren Vorstellung existente Rhythmus einer Bewegung für die Ausführung eines Bewegungsablaufes von Bedeutung ist. Dieses verinnerlichte Leitbild einer Bewegungsvorstellung kann personenbezogen variieren und somit auch zu einer individuell zweckmäßigen, zeitlich-dynamischen Gliederung führen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 227).

Des Weiteren weisen Meinel und Schnabel (2007, S. 228) darauf hin, dass die Rhythmusfähigkeit keineswegs bei einzelnen SportlerInnen endet, sondern auch für das Zusammenwirken im Team wesentlich ist. Sie sprechen hier von dem Vermögen, sich dem Bewegungsrhythmus anderer SportlerInnen anzupassen beziehungsweise sich einem Gruppenrhythmus unterordnen zu können. Dies würde nach Weinecks (2010, S. 797) Verständnis in eine Rhythmisierungsfähigkeit im weiteren Sinne fallen. Er unterscheidet nämlich zwischen einer Rhythmisierungsfähigkeit im engeren und weiteren Sinne. Die koordinative Fähigkeit, musische Begleitrhythmen in Bewegung umzusetzen (Tanzen) sowie eine motorische Bewegungshandlung flüssig und rhythmisch ausführen zu können (Dribbeln, Diskuswurf, Anlauf, etc.), bezeichnet er als Rhythmisierungsfähigkeit im engeren Sinne. Im Gegensatz dazu versteht er die Rhythmisierungsfähigkeit im weiteren Sinne als die Fähigkeit, die es einem Team oder IndividualsportlerInnen erlaubt, eine gewisse Regelmäßigkeit über den gesamten Spielbeziehungsweise Wettkampfverlauf aufzubauen.

In jeder Hinsicht jedoch hat die Rhythmusfähigkeit in allen Sportarten einen leistungsbestimmenden Charakter.

Während in den bisher genannten theoretischen Positionen zur (Bewegungs-) Koordination von konkreten koordinativen Fähigkeiten ausgegangen wird und somit die Fähigkeitsdimension im Zentrum steht, bieten neuere Modelle eine differenzierte Betrachtungsweise auf die Komponenten dieses komplexen Phänomens an.

### 2.2.3 Neuere Tendenzen

Neuere Ansätze und Tendenzen zweifeln vor allem an dem generalisierenden und transferierenden Charakter koordinativer Fähigkeiten und üben Kritik am altbewährten Fähigkeitskonzept, da die komplexe Wechselwirkung zwischen den einzelnen Fähigkeiten zu wenig berücksichtigt wird (Lange, 2010, S. 167). Nach Roth (2002, S. 19) ist die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise „insgesamt noch weit von der Bereitstellung allgemein akzeptierter, empirisch wie theoretisch abgesicherter *Merkmalsysteme* entfernt“. Nichtsdestotrotz erscheint das Fähigkeitskonzept aber weiterhin immer noch Existenzberechtigung zu besitzen, da es aufgrund des derzeitigen Erkenntnisstandes „vor allem für die Sportpraxis nach wie vor erforderlich [ist], auf bislang bewährte, praktisch sofort anwendbare, umsetzbare Strukturansätze zurückzugreifen“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 220). So wird sowohl in Studien (vgl. Kittel et. al., 2008; Bös, 2003; Graf et. al., 2003 u.v.m.) als auch in aktueller trainingswissenschaftlicher (vgl. Weineck, 2010) und gesundheitsfördernder Literatur (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2013; Vogt et. al., 2007) von ebendiesen koordinativen Fähigkeiten ausgegangen, welche sich auf das Konstrukt der motorischen Fähigkeiten beziehen.

Dennoch wird zum einen die Bestrebung deutlich, an einer stark vereinfachten Fähigkeitsstruktur festzuhalten, sodass die Konzentration auf einige wenige Fähigkeiten gerichtet ist, um ein überschaubares Konzept für die Praxis anbieten zu können. In der Literatur finden sich daher immer wieder Hinweise auf die Existenz von koordinativen Grundfähigkeiten. Bereits 1982 unterschied Roth aufgrund psychologischer und physiologischer Modellvorstellungen zur motorischen Kontrolle zwischen einer Fähigkeit zur schnellen motorischen Steuerung und einer Fähigkeit zur präzisen motorischen Steuerung. Auch Zimmer (1984; in: Zimmermann & Rostock, 2002, S. 65) präsentiert ihre Forschungsergebnisse und differenziert dabei zwischen einer Fähigkeit zur Bewegungsregulation bei Ablaufkonstanz und einer solchen Fähigkeit bei Ablaufvariation. Diese Unterscheidung in „Koordination unter Zeitdruck“ und „Koordination bei Präzisionsdruck“ trifft auch Bös (2003). Hirtz (1994; in: Zimmermann & Rostock, 2002, S. 65) kommt ebenfalls dem Bestreben nach weiterer Vereinfachung nach und schlägt in dieselbe Kerbe, indem er

- die Fähigkeit zur präzisen Bewegungsregulation,
- die Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck und

- die Fähigkeit zur motorischen Anpassung und Umstellung

als Basisfähigkeiten klassifiziert. Zimmermann und Rostock (2002, S. 65) greifen diesen Ansatz auf und leiten in idealtypischer Differenzierung die drei grundlegenden Komplexfähigkeiten „Fähigkeit zur Koordination unter Zeitdruck“, „Fähigkeit zur Koordination unter Präzisionsdruck“ und „Fähigkeit zur Koordination unter Variabilitätsdruck“ ab. Durch diesen Modellansatz erhoffen sie sich Einfachheit, Überschaubarkeit und Allgemeingültigkeit sowie umsetzbare Ableitungen für die Ausbildungspraxis.

In der Ableitung dieser drei koordinativer Grundfähigkeiten lässt sich ein weiterer Trend erkennen, wenn es darum geht, das Phänomen (Bewegungs-) Koordination greifbar zu machen. Vermehrt wird ein Perspektivenwechsel weg von der Orientierung am Individuum hin zu den komplexen Anforderungen der unterschiedlichen Bewegungsaufgaben gefordert. Die erfolgreiche und weitverbreitete Heidelberger Ballschule etwa, versucht mit einem spielerisch-situations- und kompetenzorientierten Ansatz einen Metaphernwechsel von Fähigkeiten hin zu sogenannten Bausteinen oder Modulen zu bewerben. Auch Hossner (2002, S. 77) postuliert solch einen Modulansatz, um die strukturellen Eigenschaften von Aufgaben übergreifenden Leistungsvoraussetzungen stärker zu akzentuieren. Der Modulbegriff orientiert sich stärker an der Person-Umwelt Interaktion und ähnelt damit dem Kompetenzbegriff, welcher von Hotz (2002) gefordert wird. Nach ihm sind koordinative Kompetenzen „im Sinne eines erstrebenswert-wirkungsvollen Funktionspotenzials des Handelnden“ mehr als nur motorische Fähigkeiten (Hotz, 2002, S. 86).

Neumaier und Mechling (1995) fordern ebenfalls einen Perspektivenwechsel hin zu den Anforderungen. Ihr Strukturierungsvorschlag beinhaltet folgende koordinative Anforderungskategorien:

- Genauigkeit bzw. Präzisionsdruck
- verfügbare Bewegungszeit bzw. Zeitdruck
- Bewegungskomplexität und -organisation bzw. Komplexitätsdruck
- Umweltanforderung bzw. Variabilitätsdruck
- Belastung/Beanspruchung bzw. Belastungsdruck

In ihrem Modell des koordinativen Anforderungsprofils stehen also nicht mehr die Leistungsvoraussetzungen der SportlerInnen im Vordergrund, sondern die Leistungsanforderungen der motorischen Aufgabenstellungen selbst. Zimmermann und

Rostock (2002, S. 66) weisen jedoch darauf hin, dass sich auch anhand dieser identifizierten motorisch-koordinativen Druckbedingungen grundlegende koordinative Fähigkeiten ableiten lassen würden.

Dem Bestreben nach Vereinfachung für die Praxis nachkommend, unterbreiten Neumaier und Mechling (1995) zusammengefasst in Roth (2007), schließlich einen pragmatischen Vorschlag für die Praxis. Im Rahmen einer breiten Grundlagenausbildung sollen sich mithilfe des *Vereinigungsmodells* (Abb. 10) möglichst vielfältige koordinative Aufgabenstellungen ableiten lassen, die für die Praxis des Koordinationstrainings von Bedeutung sind.

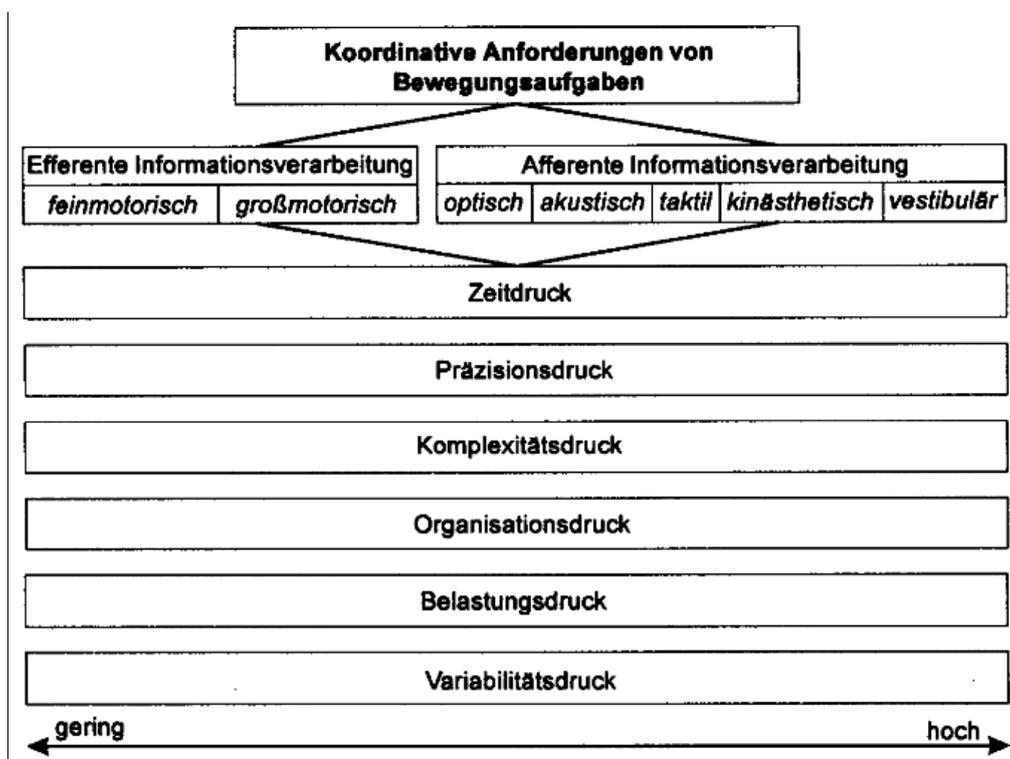


Abb. 10: Vereinigungsmodell (Roth, 2007, S. 90)

Roth (2007, S. 89) gibt allerdings zu bedenken, dass die Verknüpfung unterschiedlicher Konzeptionen ihren theoretischen Preis hat. Das Vereinigungsmodell gibt dementsprechend nur einen Überblick auf die Aufgaben des Koordinationstrainings, es darf aber „keinesfalls fähigkeitsorientiert interpretiert werden“ (Roth, 2007, S. 89). Es wird daher auf den Fähigkeitsbegriff verzichtet und nur von koordinativen Anforderungsklassen gesprochen.

Im oberen Teil der Darstellungen werden die efferenten und afferenten Informationsanforderungen angegeben. Während die efferente Seite Anforderungen an den Umfang der einzubeziehenden Muskelgruppen stellt, ergeben sich auf der

afferenten Seite Anforderungen im Hinblick auf den Einsatz von Sinnesorganen beziehungsweise Analysatoren, die während der Bewegungsausführung aktiv sind. Im unteren Teil erfolgt eine Auflistung der Druckbedingungen, unter denen die Koordinationsleistungen im Sport zu erbringen sind.

Diese motorisch-koordinativen Druckbedingungen werden von Roth (2007, S. 91) wie folgt definiert:

<i>Zeitdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf Zeitminimierung / Geschwindigkeitsmaximierung ankommt
<i>Präzisionsdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf höchstmögliche Genauigkeit ankommt
<i>Komplexitätsdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf eine Bewältigung vieler hintereinandergeschalteter (sukzessiver) Anforderungen ankommt
<i>Organisationsdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf eine Bewältigung vieler gleichzeitiger (simultaner) Anforderungen ankommt
<i>Belastungsdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf die Bewältigung von Anforderungen unter physisch-konditionellen Belastungsbedingungen ankommt
<i>Variabilitätsdruck</i>	= Aufgabenstellungen, bei denen es auf die Bewältigung von Anforderungen unter wechselnden Umgebungs- / Situationsbedingungen ankommt.

Abb. 11: Motorisch-koordinative Druckbedingungen (Roth, 2007, S. 91)

Mithilfe dieses Modells lassen sich unzählige, facettenreiche, koordinativ herausfordernde Aufgabenstellungen konstruieren. Aus jeweils einer herausgegriffenen efferenten und afferenten Anforderung sowie einer Druckbedingung lassen sich nämlich schon 60 Dreierkombinationen entwickeln (Roth, 2007, S. 90f). Auf die Relevanz und Bedeutung des Vereinigungsmodells für die Schulung von allgemeinen koordinativen Leistungsvoraussetzungen soll allerdings an dieser Stelle auf einen späteren Zeitpunkt (siehe 5.2) verwiesen werden.

Eine didaktisch-akzentuierte Interpretation der etablierten Fähigkeitsansätze bietet das Modell der koordinativen Funktionen nach Hotz (1992), in welchem die klassischen koordinativen Fähigkeiten als Prozessabschnitte verstanden werden, die in stetiger Verbindung zueinanderstehen und als Akzente im Verlauf der Bewegungsausführung identifiziert werden können. Die Bewegungskoordination selbst wird als eine zusammenhängende Beziehung (Funktion) verstanden, welche durch das Aufeinandertreffen objektiver Anforderungen der Sachlage und den individuellen

Bewegungserfahrungen der SportlerInnen konstituiert wird. Der Fokus liegt somit weder auf den objektiven Anforderungen der Sachlage, noch auf den subjektiven Fähigkeiten der Person, sondern auf dem, was dazwischen liegt. So beschreibt Hotz (1992; in: Lange, 2010, S. 176) fünf koordinative Funktionen (Abb. 12), welche sich als Akzente von Koordinationsprozessen abzeichnen, sich gegenseitig beeinflussen, niemals isoliert auftreten und den Bezugsrahmen koordinativer Fitness beziehungsweise koordinativer Kompetenz bilden.

Die vier grundlegenden Funktionen des *Sich Orientierens*, *Differenzierens*, *Reagierens* und *Rhythmisierens* wirken dabei auf den Zustand der fünften koordinativen Funktion des *Im (Un-) Gleichgewicht Seins* ein (vgl. Lange, 2010).

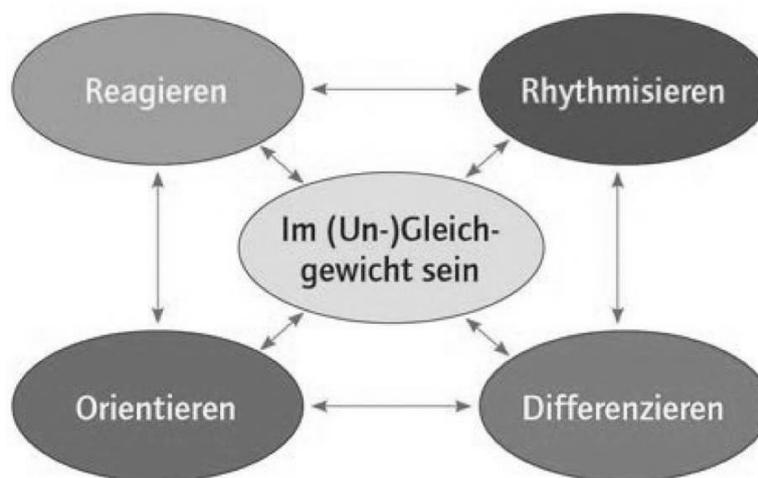


Abb. 12: Koordinative Funktionen (vgl. Lange, 2010, S. 176)

Diese koordinativen Funktionen haben in ihrer Begrifflichkeit, wie bereits erwähnt, Ähnlichkeit mit den fundamentalen koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985). Das Modell der koordinativen Funktionen orientiert sich allerdings nicht nur an den subjektiv-individuellen Voraussetzungen der Person, sondern versucht, die Wechselwirkung und das Verhältnis zwischen subjektiven Fähigkeiten und objektiven Anforderungen aufzuzeigen (Lange, 2010, S. 175f).

Nach diesem Modell gilt es zunächst, beim Ausführen einer Bewegung eine bestimmte Situation wahrzunehmen und sich in dieser zurechtfinden zu können. Dieser erste Abschnitt des Prozesses, der Annäherung von objektivierbaren Anforderungen und subjektiven Fähigkeitsvoraussetzungen, wird als Akzent des *Orientierens* beschrieben. Die so wahrgenommenen Aspekte des Orientierens werden durch bereits gemachte Bewegungserfahrungen *differenziert* verarbeitet und in den Erfahrungsschatz integriert, sodass die Bewegung nach angestrebten Ansprüchen ausgerichtet werden kann. Durch

ständige Orientierungs- und Differenzierungsleistungen wird die Bewegungssituation „schließlich mehr oder weniger sicher erkannt, sie wird beherrschbar und der sich bewegende Sportler befindet sich schließlich in einem situativen Gleichgewichtszustand“ (Lange, 2010, S. 176). Sich ändernde Situationen fordern allerdings ein *Reagieren*, worauf die erreichte Gleichgewichtssituation für ein attraktives Ziel oder aus einer Drucksituation heraus kurzzeitig aufgegeben, sogleich aber wieder angestrebt wird. Auch der Akzent des *Rhythmisierens* geht mit dem Aufgeben des situativen Gleichgewichtszustandes einher, worauf das Gleichgewicht erst wieder erreicht wird, wenn sich die Kompetenz, innerhalb eines äußeren Taktes selbstbestimmt über den eigenen Rhythmus und die Abfolge der Handlungen zu verfügen, entwickelt hat (Lange & Baschta, 2013, S. 126f; Lange, 2010, S. 175f).

Lange (2010, S. 177) zeigt am Beispiel des Fangspiels „Jäger und Hase“ (Abb. 13) wie die koordinativen Funktionen vorkommen und miteinander verbunden sind. Das Spiel ist geprägt von offenen Momenten, in welchen durch das Wechselspiel zwischen Raumbeherrschung des Jägers und Flüchten-Können des Hasens eine ständige Annäherung an einen Gleichgewichtszustand stattfindet, was wiederum auf den Funktionen des Orientierens (Raumerfassung) und Differenzierens (Gestaltung der Laufwege) beruht. Das heißt, dass sowohl Jäger und Hase im Sinne der Orientierung ständig feststellen müssen, wo sich der jeweils andere gerade befindet, um die Schnelligkeits- und Krafteinsätze im Laufen situativ-adäquat abstimmen und ausdifferenzieren zu können. Weiters versuchen sowohl Jäger, als auch Hase durch taktisches Verhalten dem Gegenüber ganz bestimmte Laufwege oder Räume aufzudrücken und den / die jeweils anderen / andere so an den eigenen Rhythmus zu binden. Gelingt dies, so bleibt dem Gegenüber nur noch die Möglichkeit des Reagierens, um durch eine treffende Reaktion dieser defensiven Situation zu entkommen (Lange, 2010, S. 177ff).

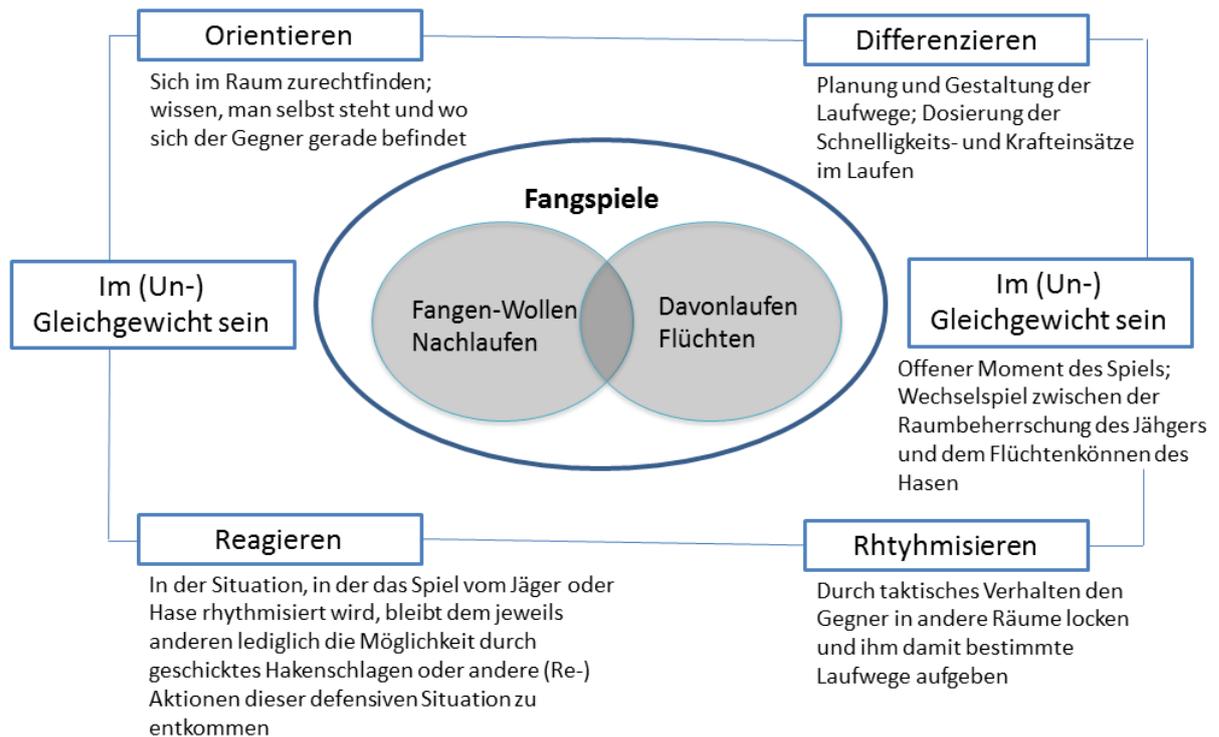


Abb. 13: Koordinative Funktionen von Fangspielen (vgl. Lange, 2010, S. 177)

### 2.3 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde zunächst der Begriff „koordinative Fähigkeiten“ näher beleuchtet, ehe auf relevante Strukturierungs- und Klassifizierungsansätze sowie neuere Modelle zur (Bewegungs-) Koordination eingegangen wurde.

Generell sind Fähigkeiten als latente, generalisierte Voraussetzungen zur Ausführung bestimmter Tätigkeiten zu verstehen, welche erst auf Ebene bestimmter Fertigkeiten beobachtbar sind. Koordinative Fähigkeiten, welche das Individuum zur Bewältigung koordinativ anspruchsvoller Anforderungen der Sport- und Alltagspraxis befähigen und somit grundlegende Komponenten der (Bewegungs-) Koordination sind, werden daher allgemein hin „als generelle, bewegungs- und sportartübergreifende Leistungsvoraussetzungen angesehen, die das Niveau wesentlicher Vorgänge bei der Steuerung und Regelung menschlicher Willkürbewegungen charakterisieren“ (Roth, 2007, S. 87). Als zentrales Element des Fähigkeitskonzeptes, eines von mehreren theoretischen Modellen zur Erklärung und Beschreibung des Phänomens der (Bewegungs-) Koordination, sind die koordinativen Fähigkeiten aufgrund ihres latenten Charakters allerdings als hypothetisches Konstrukt anzusehen. Darin resultiert auch die Vielfalt an Strukturierungs- und Klassifizierungsansätzen und theoretischen Positionen, wenn es um die konkrete Anzahl und Benennung ebendieser Fähigkeiten geht. Um allerdings ein

grundlegendes Verständnis für das Konstrukt „koordinative Fähigkeiten“ zu schaffen und einen Einblick in deren Charakter zu bekommen, wurden die fünf für das Unterrichtsfach Bewegung und Sport bedeutendsten koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985) herausgegriffen und näher beschrieben.

Neben den unterschiedlichen Ausformungen des Fähigkeitskonzepts wurden auch andere Modelle und Positionen aufgezeigt, welche sich durch unterschiedliche Perspektiven und Sichtweisen auszeichnen. So geht das Modell des koordinativen Anforderungsprofils nicht von globalen Leistungsvoraussetzungen (koordinativen Fähigkeiten) der SportlerInnen aus, sondern stellt die Anforderungen motorischer Aufgaben in den Vordergrund. Eine didaktisch-akzentuierte Interpretation des Fähigkeitsansatzes wiederum liefert das Modell der koordinativen Funktionen, welches die koordinativen Fähigkeiten als fünf interagierende Prozessabschnitte versteht.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass unterschiedlichste Modelle und Positionen vorliegen, welche allesamt versuchen, das Phänomen der (Bewegungs-) Koordination für die Praxis greifbar zu machen. Welcher Theorieansatz zur (Bewegungs-) Koordination jedoch für die Praxis am relevantesten erscheint, lässt sich anhand dieser Darstellung nicht beantworten. Vielmehr tragen die vielfältigen theoretischen Positionen und Modelle durch unterschiedliche Sichtweisen auf ein und dasselbe Phänomen dazu bei, dieses in seiner Komplexität verstehen zu können.

Obgleich also differenzierte Ordnungs- und Strukturansätze sowie verschiedenste Koordinationskonzepte vorliegen, so scheint, ungeachtet dessen, die gewohnte Terminologie der „koordinativen Fähigkeiten“ in der Literatur am weitesten verbreitet und bis heute noch immer Bestand zu haben (siehe 5.1).

Auch in dieser Arbeit wird daher von koordinativen Fähigkeiten gesprochen – wohl wissend allerdings, dass sich hinter diesem Begriff ein hypothetisches Konstrukt verbirgt, welches in seiner Komplexität verstanden werden muss und bislang wissenschaftlich nicht abgesichert ist.

### **3 NEUROBIOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR INFORMATIONSVERRARBEITUNG UND -SPEICHERUNG – oder: WO UND WIE WIR LERNEN**

Bevor über den Zusammenhang der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten und die Bedeutung ihres Charakters für den motorischen und mentalen Lernprozess gesprochen werden kann, ist es zunächst notwendig, neurobiologische Grundlagen zur Informationsverarbeitung und -speicherung zu erläutern.

Im folgenden Kapitel wird daher das menschliche Gehirn als wesentlicher Bestandteil des zentralen Nervensystems und dessen für die Motorik und Kognition relevanten Abschnitte näher beleuchtet. Davon ausgehend werden die dem Nervensystem zugrunde liegenden elementaren Signaleinheiten, die Neuronen sowie weitere bedeutende Strukturen des Cerebrums genauer charakterisiert, um einen Einblick in den Ablauf von Lern- und Gedächtnisvorgängen des menschlichen Gehirns zu bekommen.

#### **3.1 Anatomisch-physiologische Strukturen der Informationsverarbeitung**

Das Gehirn, der im Kopf gelegene Teil des zentralen Nervensystems, kann durchaus als ein Luxusorgan des menschlichen Körpers bezeichnet werden. Obwohl es mit einer Masse von ungefähr 1,4 Kilogramm nur rund 2 Prozent des Körpergewichts eines erwachsenen Menschen ausmacht, verbraucht es unwahrscheinliche 20 Prozent der gesamten Körperenergie. Es geht somit etwa ein Fünftel jeglicher Nahrung, die vom Menschen aufgenommen wird, direkt an das Gehirn. Dafür ist das menschliche Gehirn aber extrem leistungsfähig, flexibel und anpassungsfähig. Ein komplexes Netzwerk von Milliarden von Nervenzellen ermöglicht es dem Menschen, sich auf verschiedenste Umgebungen, Aufgaben und Probleme einzustellen. Kurz: Das menschliche Gehirn ist Weltmeister im Lernen (Spitzer, 2003, S. 13f).

Die Einteilung des Gehirns kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten vorgenommen werden und erfolgt daher nicht einheitlich. Je nach Ordnungsansatz werden verschiedene Begrifflichkeiten verwendet, wodurch es zunächst schwer fällt, einen groben Überblick über dieses komplex arbeitende Organ zu bekommen. Im Folgenden wird demnach grob zwischen den vier Hauptbereichen Großhirn, Kleinhirn, Zwischenhirn und Hirnstamm – eine Gliederung, wie sie auch bei Menche (2007,

S.134) (Abb. 14) zu finden ist – unterschieden und deren wichtigsten Funktionen in Bezug auf Bewegung, Kognition und Lernen dargelegt.

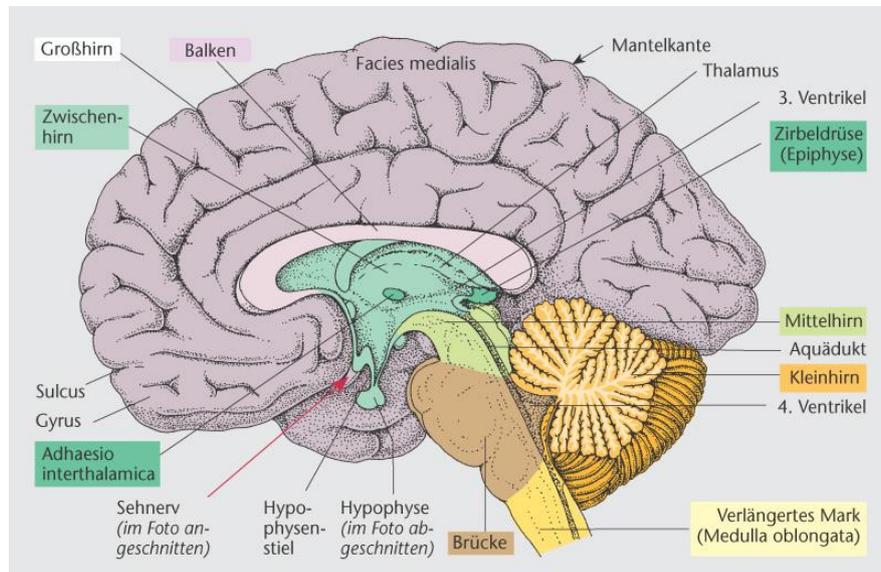


Abb. 14: Querschnitt durch das Gehirn (Menche, 2007, S. 134)

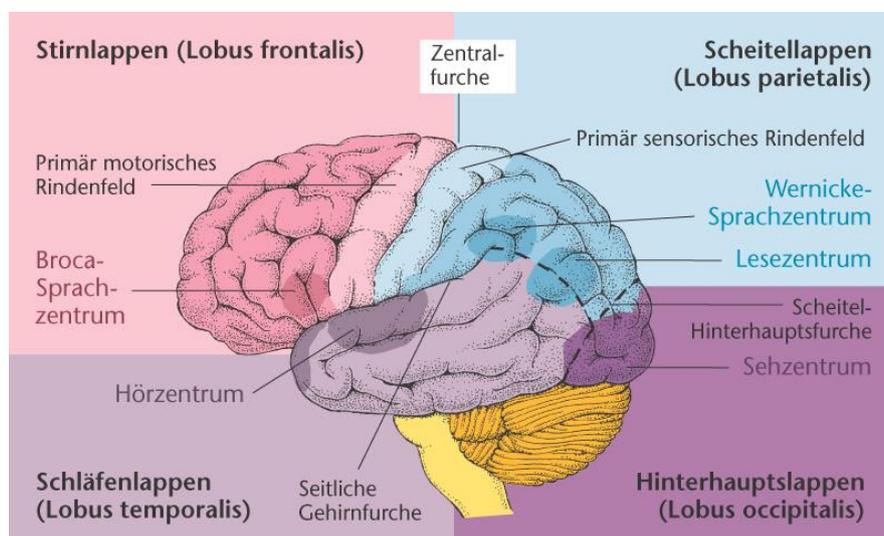
Der größte Teil des menschlichen Gehirns wird vom sogenannten Großhirn (Telencephalon) gebildet, welches direkt unter der knöchernen Schädelkalotte liegt (Menche, 2007, S. 135).

Die Oberfläche des Großhirns, die sogenannte Großhirnrinde (Kortex), ist eine dünne Schicht grauer Substanz<sup>1</sup>, in der sich etwa 70 Prozent aller Neuronen des Gehirns befinden. Das äußere Erscheinungsbild des Kortex ist durch zahlreiche Windungen, Erhebungen und Furchen geprägt. Eine besonders tiefe und somit auffällige, von vorne nach hinten verlaufende Längsfurche teilt das Gehirn in etwa zwei gleich große Hälften, die auch als Hemisphären bezeichnet werden. Während die linke Gehirnhälfte eher für abstraktes, logisches Denken und komplexe Willkürbewegungen zuständig ist, repräsentiert die rechte Hemisphäre Emotionalität, Kreativität und Bewegung in räumlichen Mustern. Die Wahrnehmung der in den Hemisphären zu verarbeitenden Informationsinhalte wird dabei allerdings von der gegenüberliegenden Körperseite gesteuert. Die beiden Gehirnhälften sind jedoch in der Tiefe mit einem Balken (Corpus callosum) miteinander verbunden, wodurch eine integrative Arbeitsweise ermöglicht wird (Dordel, 2003, S. 146).

<sup>1</sup> Als graue Substanz bezeichnet man Gebiete, die vorwiegend aus Nervenzellkörpern bestehen. Im Gegensatz dazu steht die weiße Substanz, welche primär Nervenfasern enthält (Markowitsch, 2002, S. 181). Nähere Informationen zum Aufbau der Nervenzelle finden sich unter 3.2.1.

Nach Dennison (1996, S. 143), dem Begründer der Edu-Kinesiologie, sollen daher sogenannte Überkreuzbewegungen (Bewegungen einer Körperhälfte, welche die Mittellinie des Körpers überqueren) das optimale Zusammenwirken der linken und rechten Gehirnhälfte unterstützen. Damit sollen beide Gehirnhälften gezielt aktiviert werden, sodass ihr gemeinsames Potenzial für die Informationsverarbeitung genutzt werden kann.

Neben der das Gehirn in zwei Hälften teilenden Längsfurche, gibt es weitere Furchen, welche die beiden Gehirnhälften in jeweils vier Großhirnlappen unterteilen (Abb. 15). Diese Lappen werden entsprechend ihrer Lage als Stirn- (Frontal-), Schläfen- (Temporal-), Scheitel- (Parietal-) und Hinterhaupts- (Okzipital-)lappen bezeichnet. In jedem dieser Lappen sind ganz spezielle Funktionen des menschlichen Gehirns lokalisiert. Der Stirnlappen ist die oberste Steuerzentrale für die Planung künftiger Aktionen und für die Bewegungskontrolle. Der Scheitellappen kontrolliert das Tastgefühl und die Körperwahrnehmung, im Hinterhauptsappen werden visuelle Eindrücke verarbeitet und der Schläfenlappen spielt für das Hören sowie für das Erinnerungsvermögen eine große Rolle (Gassen, 2008, S. 30).



**Abb. 15: Hirnlappen des Großhirns mit ihren primären und sekundären sensorischen und motorischen Rindenfeldern (Menche, 2007, S. 136)**

Verbände von Neuronen mit ähnlichen Funktionen liegen dicht beieinander. Daher können innerhalb der Gehirnlappen sogenannte motorische und sensorische Rindenfelder sowie Assoziationsfelder, welche die verschiedenen Rindenfelder miteinander verknüpfen und somit die Basis für höhere Hirnfunktionen bilden, voneinander unterschieden werden (Abb. 15). Diese können zwar äußerlich nicht

voneinander abgegrenzt werden, haben jedoch unterschiedliche Funktionen. Das primär sensorische Rindenfeld befindet sich im Bereich der hinteren Zentralwindung des Scheitellappens. Hier werden Sinneseindrücke, die von den Sinnesrezeptoren bis zum Gehirn weitergeleitet werden, verarbeitet. Das primäre motorische Rindenfeld, welches im Bereich der vorderen Zentralwindung des Stirnlappens lokalisiert ist, sendet Impulse zur willkürlichen Steuerung und Feinabstimmung von Einzelbewegungen an die Skelettmuskulatur. Beide Rindenfelder sind somatotopisch gegliedert. Das heißt, dass die gesamte Körperoberfläche neuronal repräsentiert ist<sup>2</sup>. Dem primären motorischen Rindenfeld benachbart liegt der sogenannte sekundäre motorische Kortex, welcher für die Programmierung von Willkürbewegungen, die Koordination beidhändiger Bewegungen sowie für das motorische Gedächtnis von Bedeutung ist. Weitere wichtige Rindenfelder sind beispielsweise die Sehrinde im Bereich des Hinterhauptlappens, das Hörzentrum im Schläfenlappen, das Broca- sowie das Wernicke-Sprachenzentrum (Dordel, 2003, S. 148f).

Korte (2009, S. 66) weist jedoch darauf hin, dass diese Einteilung des Großhirns nicht so verstanden werden darf, dass alle diese einzelnen Bereiche isoliert voneinander existieren und arbeiten. Denn ganz im Gegenteil dazu müssen in den meisten Lernsituationen unterschiedliche Systeme in einem komplexen Zusammenspiel aufeinander abgestimmt werden, um zu dem erwünschten Resultat zu gelangen (Korte, 2009, S. 66).

Eine Darstellung (Abb. 16) diverser Funktionen des Großhirns nach Kleist (in: Waldeyer & Mayet, 1993, S. 304) soll jedoch einen Überblick darüber geben, wo in etwa die vielfältigen Aufgaben zu lokalisieren sind:

---

<sup>2</sup> Siehe dazu 3.2.1.



Das Kleinhirn, welches direkt unterhalb des Hinterhauptlappens des Großhirns liegt, bildet den zweitgrößten Teil des menschlichen Gehirns. Wie auch das Großhirn besteht es aus zwei Hemisphären, deren Oberfläche durch Furchen und Windungen erheblich vergrößert ist, welche von der Kleinhirnrinde aus grauer Substanz bedeckt werden. Es ist durch auf- und absteigende Bahnen mit dem Rückenmark, dem Mittelhirn, und über die Brücke mit dem Großhirn und dem Gleichgewichtsorgan verbunden (Menche, 2007, S. 142).

Sensorische Daten aus dem Rückenmark, motorische Informationen aus der Großhirnrinde und Mitteilungen aus dem Gleichgewichtsorgan erlauben dem Kleinhirn die Beteiligung an Bewegungsplanung, -programmierung, -kontrolle und wenn notwendig, auch Bewegungskorrektur. Neben der Koordination von Kopf- und Augenbewegungen, Regulation von Kraft und Ausmaß einer Bewegung sowie Sicherung des Gleichgewichts und der Körperhaltung macht das Kleinhirn situativ angepasste, räumlich-zeitlich koordinierte, präzise, geschmeidige Bewegungen möglich. Als koordinativ-motorisches Zentrum ist es somit beim motorischen Lernprozess von fundamentaler Bedeutung. Aber auch an kognitiven Leistungen hat das Kleinhirn einen enormen Anteil (Gassen, 2008, S. 38).

Diamond (2000, S. 50) verweist in diesem Zusammenhang auf bildgebende Studien, welche nachweisen, dass dem Kleinhirn nicht nur eine bewegungssteuernde Funktion zukommt, sondern es auch im Rahmen kognitiver Prozesse einen bedeutenden Stellenwert einnimmt. So beeinflusst es etwa auch Aufmerksamkeit, Arbeitsgedächtnis und Lernen (Budde et. al., 2008, S. 220).

Ebenfalls für die Steuerung und Modulation von Bewegungen zuständig ist eine weitere Ansammlung grauer Substanz, die jedoch nicht an der Oberfläche, sondern vielmehr in der Tiefe des Groß- und Zwischenhirns zu finden ist - die Basalganglien. Die Basalganglien sind tief gelegene Kerngebiete, die sowohl an der motorischen, als auch an der emotionalen Kontrolle beteiligt sind (Menche, 2007, S. 138).

Sie bilden gemeinsam mit ihren Nervenfasersystemen ein komplexes Netz an Verbindungen aus und können daher mit einer Steuerzentrale verglichen werden. Sie integrieren Informationen aus allen Teilen des Kortex und gelten als das Bindeglied zwischen dem assoziativen und primären motorischen Kortex. Da hier die Umformung von Bewegungsplanung in ein räumlich und zeitlich strukturiertes Bewegungsprogramm erfolgt, haben die Basalganglien einen bedeutenden Einfluss auf die

Koordination und allgemeine Ausführung von Bewegungshandlungen (Gassen, 2008, S. 33).

Unter dem Großhirn verborgen und somit den untersten Gehirnabschnitt bildend, finden sich die Strukturen des Hirnstamms, welcher an dieser Stelle nur der Vollständigkeit wegen erwähnt werden soll. Dieser entwicklungsgeschichtlich ältere Gehirnteil wird in Mittelhirn, Brücke und verlängertes Mark gegliedert und verbindet das Großhirn mit dem Kleinhirn und Zwischenhirn sowie mit dem Rückenmark. Ein netzartiges Gebilde aus Neuronen (Formatio reticularis) überwacht im Hirnstamm lebenswichtige Körperfunktionen, wie etwa den Wach-Schlaf-Rhythmus, den Blutdruck und die Herzfrequenz sowie Aufmerksamkeit und Bewusstseinszustände. Der Hirnstamm erweist sich weiters entscheidende Steuerzentrale bei fundamentalen Reflexen wie Schlucken, Brechen, Niesen oder Husten (Menche, 2007, S. 139f).

Das Zwischenhirn (Diencephalon) als Schaltstelle zwischen Großhirn und Hirnstamm liegt zwischen dem Mittelhirn und den beiden Hemisphären des Großhirns unterhalb des Balkens. Es ist aus drei untereinanderliegenden Schichten, dem Epithalamus, dem Thalamus und dem Hypothalamus aufgebaut und gilt als zentrale Schaltstelle und Regulator hormoneller Funktionen, wodurch es für alle Lernprozesse zu einem wichtigen Gehirnareal wird (Gassen, 2008, S. 34).

Der Thalamus stellt eine Verbindungsstation dar und ist mit unendlich vielen Informationskanälen, wie etwa der Hirnrinde, dem Kleinhirn, Hirnstamm und den Sinnesorganen, verbunden. Die im Thalamus zusammenlaufenden Verbände von Nervenzellen haben teils sensorische, motorische, emotionale, kognitive, aber auch aufmerksamkeits- und bewusstseinspezifische Aufgaben. Aus der Umwelt aufgenommene Informationen werden zunächst über aufsteigende Bahnen zum Thalamus geleitet, ehe sie dort gesammelt und miteinander verknüpft werden. Über die Projektionsbahnen werden sie weitergeleitet, um schließlich als Teil bewusster Empfindungen wahrgenommen zu werden. Der Thalamus wird daher auch häufig als „Tor zum Bewusstsein“ bezeichnet und schützt den Organismus vor einer Flut an Informationen (Menche, 2003, S. 139).

Der Hypothalamus, der den untersten Teil des Zwischenhirns bildet, steuert im Gegensatz dazu wichtige physische und psychische Lebensvorgänge. Zum einen ist er die Steuerzentrale des vegetativen Nervensystems, indem er Kreislauf, Körpertemperatur, Sexualverhalten, Nahrungs- und Flüssigkeitshaushalt kontrolliert,

zum anderen geschieht die Steuerung des Hypothalamus auch hormonell über den Blutweg, indem Realising-, Inhibiting- und sogenannte Effektorhormone produziert werden, welche wiederum auf die Hypophyse, welche die oberste Drüse in der Hormonkaskade darstellt, wirken. Der Hypothalamus kann daher als ein bedeutendes Bindeglied zwischen Hormon- und Nervensystem bezeichnet werden (Gassen, 2008, S. 35).

### **3.2 Neuronen als Lernagenten**

Der menschliche Körper besteht aus Milliarden von Zellen, die sich in mehr als 210 verschiedene Typen unterteilen lassen (Gassen, 2008, S. 49). Im Herzen beispielsweise verrichten die Herzmuskelzellen die Arbeit, in der Niere die Nierenzellen, im Magen die Magenzellen, im Blut die Blutkörperchen und in der Haut die Hautzellen.

Grundsätzlich besitzen jedoch alle Zellen die Fähigkeit auf Umwelteinflüsse, wie Hitze und Kälte, Berührungen oder auf bestimmte chemische Stoffe zu reagieren. Dies führt zu einer Änderung der Durchlässigkeit der Zellmembran für Ionen und damit verbunden zu einer Potenzialveränderung, welche sich über die ganze Länge der Zelle ausbreitet. Im Laufe der Evolution kristallisierte sich ein Zelltyp, der sich durch eine besonders hohe Erregbarkeit und Leitfähigkeit auszeichnet, heraus. Dieser auf die Speicherung und Verarbeitung von Informationen spezialisierte Zelltyp ist das Neuron (Spitzer, 2000, S. 19).

Im Gehirn befinden sich bereits schon von Geburt an ungefähr 100 Milliarden Nervenzellen, die im Vergleich zu anderen Körperzellen mit bis zu 80 Jahren eine relativ lange Lebensdauer haben. Das bedeutet, dass die Anzahl der Neuronen bei Neugeborenen und Erwachsenen etwa gleich hoch ist. Anders als andere Organe des menschlichen Körpers, wächst, und entwickelt sich das Gehirn im Laufe des Lebens also nicht dadurch, dass sich seine Zellen teilen. Es ist vielmehr die zunehmende Anzahl an Verdrahtungen zwischen den Neuronen, sogenannten Nervenfasern sowie deren Dicke, die eine Vergrößerung des Gehirnvolumens und eine Zunahme der Leistungsfähigkeit bewirken (Spitzer, 2003, S. 52).

1873 experimentierte der italienische Arzt Camillo Golgi mit Silbersalzen, um Hirnhäute einzufärben. Ein sehr geringer Anteil an Zellen – etwa jede Hundertste – des angrenzenden Nervengewebes zeigte unter dieser Behandlung die Eigenart, sich mit all

ihren feinen Verästelungen schwarz zu färben. Die von Golgi entwickelte Silberfärbemethode, die auf der bis heute nicht völlig geklärten Ursache der sporadischen Anfärbung einzelner Neuronen beruht, machte eine bis dahin unerreichte detaillierte Visualisierung von Nervenzellen möglich (Abb. 17). Dies machte sich der Spanier Santiago Ramón y Cajal zunutze und entdeckte kleine Zwischenräume zwischen den Enden von Nervenfortsätzen und anderen Nervenzellen. Er forderte einen Umstoß der von Golgi vertretenen These, dass das Nervensystem eine verschmolzene Struktur sei, und schlussfolgerte, dass das Nervensystem vielmehr aus einzelnen Nervenzellen besteht, welche über Kontaktstellen miteinander verbunden sind. Obwohl Golgi und Cajal damals erbitterte Gegner waren, teilten sie sich im Jahre 1906 gemeinsam den Nobelpreis für ihre Leistungen (Spitzer, 2000, S. 3f).

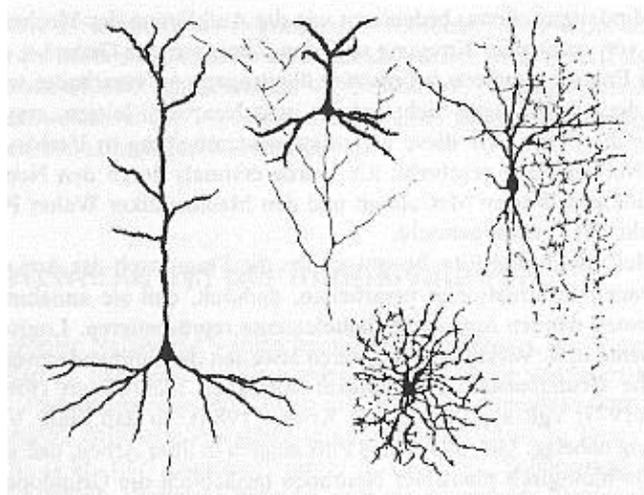


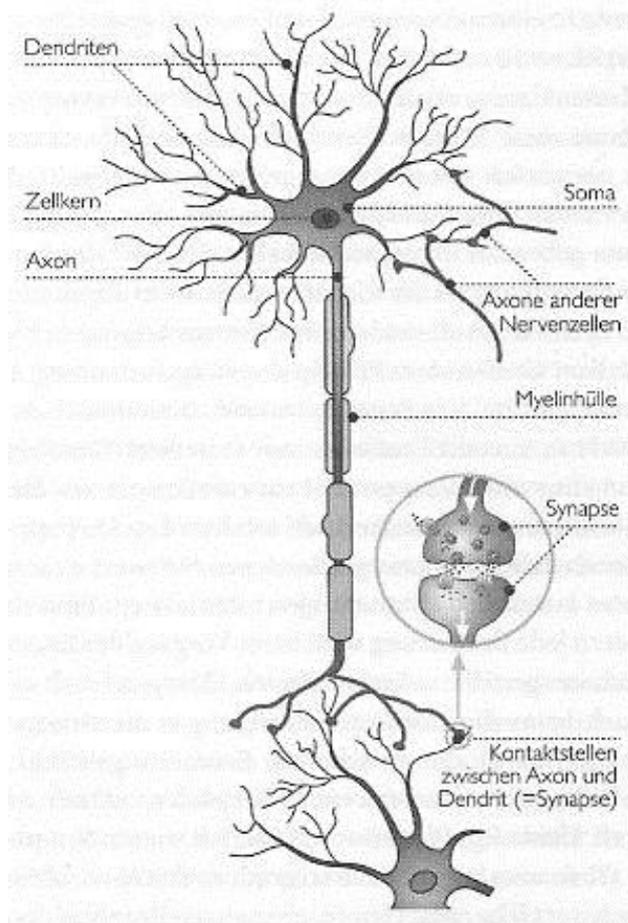
Abb. 17: Nervenzellen, wie sie von Ramón y Cajal nach Färbung und mikroskopischer Betrachtung gezeichnet wurden (Spitzer, 2000, S. 5)

Im vorigen Jahrhundert konnte man Neuronen also zwar schon im Mikroskop sichtbar machen, aber man wusste weder wie sie arbeiten, noch was von ihnen bearbeitet wird (Spitzer, 2000, S. 4).

### 3.2.1 Aufbau und Funktion von Neuronen

Die unzähligen Nervenzellen im menschlichen Körper weisen alle ein gemeinsames anatomisches Bauprinzip auf (Abb. 18).

Nervenzellen bestehen jeweils aus einem kugelförmigen Zellkörper (Soma) mit Zellkern, der als Steuerzentrale und Stoffwechselzentrum der Nervenzelle alle, für neuronale Funktionen wichtige Stoffe produziert und die notwendige Energie zur Verfügung stellt. Die Signal aufnehmenden, fadenförmigen Fortsätze des Zellkörpers



(Dendriten) bilden ein baumartiges System aus, welche die von anderen Nervenzellen empfangen Impulse, auch Aktionspotenziale genannt, in Richtung Zellkörper weiterleiten. Das Axon, welches den Zellkörper wie ein langes Kabel verlässt, macht als Faser rund 90 % der Nervenmasse aus und leitet die am Zellkörper oder an den Dendriten empfangenen Signale in Form von elektrischen Impulsen zu anderen Nervenzellen weiter. Verantwortlich für eine hohe Leitungsgeschwindigkeit entlang des Axons ist die Myelinschicht, die von sogenannten Oligodendrogliazellen gebildet wird. Sie isoliert das Axon und führt zu einer Verdickung der

, 2007, S. 76)

Nervenfasern, was dazu führt, dass Impulse 30 bis 40 mal schneller weitergeleitet werden können. Knopfartige Verdickungen (Synapsen) stellen den Signal abgebenden Teil des Neurons und das Ende des Axons dar. An diesen Endungen werden Signale mittels chemischer Botenstoffe (Neurotransmitter) auf die Nachbarzelle übertragen. Die Synapse ist somit die Kontaktstelle, über die ein Neuron mit einer anderen Nerven-, Muskel- oder Drüsenzelle kommunizieren kann. Bis zu einhunderttausend neuronale Fortsätze können mit einer Zielzelle Synapsen ausbilden und ermöglichen somit eine ökonomische und schnelle Steuerung komplexer Leistungen wie Fühlen und Denken (Gassen, S. 48ff).

Nervenzellen, die miteinander in Kontakt stehen, bilden sozusagen eine Art „Datennetz“ aus, sodass sie mit anderen Neuronen ständig im Informationsaustausch stehen (Korte, 2009, S. 78).

Ob die Übertragung eines Nervenimpulses von einer Nervenzelle zur anderen jedoch einen großen oder kleinen Effekt auf die Erregung des nachfolgenden Neurons hat, hängt von der Stärke der synaptischen Verbindung ab. Der gleiche Impuls kann also an

unterschiedlichen Synapsen ganz verschiedenartige Wirkungen erzielen (Spitzer, 2003, S. 42f).

Der Charakter der Neuronen ermöglicht es, ihre synaptischen Verbindungen und deren Stärke, aufgrund der im Laufe des Lebens gesammelten vielfältigen Erfahrungen, langsam zu ändern. Diese Veränderungen werden auf neurowissenschaftlicher Ebene als Neuroplastizität bezeichnet und bilden die Grundlage für jede Art von Lernen (Spitzer, 2003, S. 75).

### 3.2.2 Neuronale Repräsentationen

Jeder Gedanke, jede Bewegung, jeder Sinneseindruck und jede Erfahrung aktiviert Nervenzellen und wird durch deren Erregungen in der Hirnrinde abgebildet. Es entstehen bleibende Spuren der flüchtigen Eindrücke, Handlungen und Gedanken, – sogenannte neuronale Repräsentationen – welche die Basis des Lernens und Gedächtnisses bilden (Speckmann & Wittkowski, 2006, S. 143). Auch Spitzer (2003, S. 12) betont, dass Neuronen besonders auf die Verarbeitung von Informationen spezialisiert sind und daher kontinuierlich Repräsentationen in Abhängigkeit der physischen und psychischen Umgebung ausbilden und diese verändern.

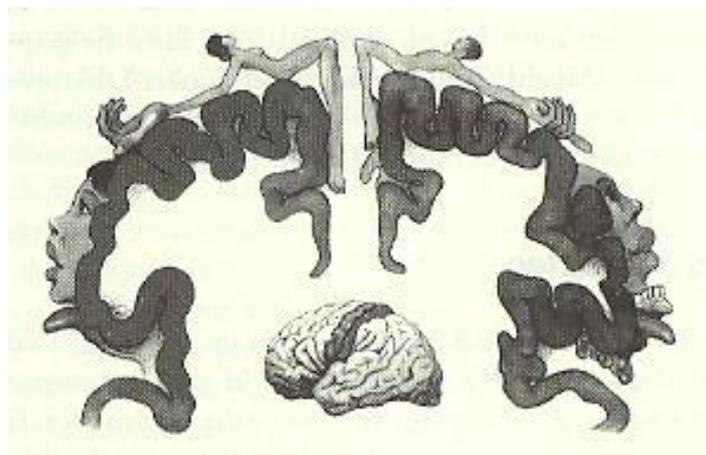
Eine neuronale Repräsentation ist eine ganz bestimmte Synapsenstärke an der eingehenden Verbindung des Neurons, die dafür sorgt, dass die Nervenzelle immer dann aktiviert wird, wenn das entsprechende Muster als Input vorliegt (Spitzer, 2003, S. 79). Zur Verdeutlichung gibt Spitzer (2003 S. 80) folgendes Beispiel: Wenn ein bestimmtes Wort gehört, gesagt oder auch nur in Gedanken ausgesprochen wird, dann wird unmittelbar auch jenes Neuron aktiviert, welches dieses Wort repräsentiert. Es wird somit aus einer „schlafenden Repräsentation“ eine aktive, sodass der entsprechende Inhalt verarbeitet werden kann. Wird ein Neuron durch einen bestimmten Input also aktiviert, so repräsentiert es diesen (Spitzer, 2003, S. 49).

So wie Wörter für deren Bedeutung stehen, repräsentieren Nervenzellen im Gehirn bestimmte Strukturen und Charakteristika der Umwelt in Form von unterschiedlichen Synapsenstärken. Nervenzellen repräsentieren somit bestimmte Aspekte der Umwelt, indem sie aktivierbar werden, wenn es gilt, diese zu verarbeiten.

Neuronale Repräsentationen bestehen allerdings nicht nur aus einer einzigen Nervenzelle, sondern es tragen immer mehrere Neuronen dazu bei, sodass interne

Repräsentationen relativ robust sind. Zu groß wäre nämlich das Risiko, dass ein Neuron - und damit verbunden die Repräsentation der Umwelt - Schaden nimmt oder gänzlich unbrauchbar wird. Wichtig zu verstehen ist ebenfalls, dass es sich bei Repräsentationen keineswegs nur um ein internes Abbild der Außenwelt handelt. Fakten, Orte, Eigenschaften, Regeln, Handlungen, Werte, Ziele, Gedanken, emotionale Zustände und vieles mehr werden im Gehirn nämlich neuronal repräsentiert (Spitzer, 2003, S. 80).

Auch die menschliche Körperoberfläche ist in der Großhirnrinde landkartenförmig repräsentiert. Immer dann, wenn ein Input an den Sinnesorganen wahrgenommen wird, werden die entsprechenden Neuronen zur weiteren Informationsverarbeitung aktiviert. Durch die wiederholte Darbietung von Eingangssignalen mit ähnlichem Charakter wird deren allgemeine Struktur im Kortex repräsentiert. Die Neuronen, welche durch ein ähnliches Inputmuster aktiviert werden, liegen in nächster Nähe zueinander und bilden sogenannte plastische Karten aus (Spitzer, 2003, S. 99).



**Abb. 19: Motorischer (links) und sensorischer (rechts) Penfieldscher Homunkulus (modifiziert nach Posner & Raichle, 1996; in: Spitzer, 2003, S. 101)**

Der über den Kortex abgebildete Homunkulus soll die landkartenförmigen Repräsentationen der Körperoberfläche im somatosensorischen und motorischen Kortex vereinfacht darstellen. Wie Abbildung 19 verdeutlicht, entspricht die Größe der neuronalen Repräsentation der Körperoberfläche im Kortex nicht der tatsächlichen Größe der Körperoberfläche. Für den flächenmäßig beispielsweise großen Bereich des Rumpfes ist nur ein relativ geringer Anteil an Gehirnrinde vorgesehen, während der Lippe ein eher großes Stück an Kortex zur Verfügung steht. Bear et. al. (2009, S. 445) erklären, dass die Größe des für einen bestimmten Körperabschnitt zuständigen Areals

des Kortex mit der Dichte der Sensoren an den betreffenden Körperteilen zusammenhängt.

Die Konnektivität zwischen den einzelnen kortikalen Karten betreffend, spricht Spitzer (2003, S. 118) davon, dass bei bestimmten geistigen Leistungen, wie sprechen, studieren, musizieren und bewegen, mehrere kortikale Landkarten gleichzeitig aktiviert werden und zusammenarbeiten. Dabei erhalten die meisten kortikalen Areale ihren Input nicht von den Sinnesorganen selbst, sondern wiederum von anderen kortikalen Arealen. Diese hohe interne Verschaltung zwischen den einzelnen Landkarten ermöglicht eine parallele Informationsverarbeitung in beide Richtungen und somit das Erfüllen komplexer Anforderungen (Spitzer, 2003, S. 118).

Um mehr über neuronale Repräsentationen und deren Zusammenhang zu Lernprozessen herauszufinden, implantierten Wilson und McNaughton (1993; in Spitzer, 2003, S. 24ff) im Hippokampus von Ratten winzige Elektroden. Anhand des Aktivitätsmusters der Neuronen konnte darauf geschlossen werden, in welchem Bereich des Käfigs sich das Tier gerade befand. Weiters zeigte sich, dass die Arbeit der Lokalisation nicht nur von einem einzelnen Neuron übernommen wird, sondern im Aktivitätsmuster vieler Neuronen codiert ist. Als die Ratten in eine für sie noch unbekannte Umgebung geschickt wurden, konnte anhand der an den Elektroden durch die Neuronen ausgelösten Aktivitätsmuster beobachtet werden, dass der Aufenthaltsort der Ratte nicht durch die Aktivität der Neuronen im Hippokampus vorhergesagt werden konnte. Das lag daran, dass die Anzahl der Neuronen, die einen bestimmten Ort in der neuen Umgebung codierten, noch relativ gering war. Nach zehn Minuten und ausreichender Möglichkeit die neue Umgebung auszukundschaften, war allerdings die Anzahl der Ortszellen angestiegen, sodass die Zahl der Vorhersagefehler fiel. Es sind im Hippokampus also nach wenigen Minuten neue, neuronale Repräsentationen beziehungsweise Neuronen entstanden, die nur bei ganz bestimmtem Input feuern und auf diesen spezialisiert sind (Spitzer, 2003, S. 24ff).

Ganz ähnlich wie bei dem Versuch mit den Ratten bat man auch Patienten, unzusammenhängende Wortpaare auswendig zu lernen. Es zeigte sich auch hier, dass anhand der Aktivität der hippokampalen Neuronen und somit den neuronalen Repräsentationen vorhergesagt werden konnte, ob die Versuchsperson ein bestimmtes Wort zu einem anderen Wort in Verbindung setzen konnte oder nicht. Neu gelernte

Inhalte werden somit im Hippokampus innerhalb kürzester Zeit repräsentiert (Spitzer, 2003, S. 33f).

Im Laufe eines Lernprozesses verändern sich neuronale Repräsentationen somit, um sich an neue Anforderungen anzupassen, was eindeutige, strukturelle Veränderungen im Gehirn mit sich bringt. Dieser Vorgang wird auf neurowissenschaftlicher Ebene als Neuroplastizität bezeichnet.

### 3.2.3 Neuroplastizität: Sich ändernde Repräsentationen

Vor ungefähr 30 Jahren war die allgemeine Lehrmeinung, dass Gehirnstrukturen in der Kindheit ausgebildet werden und während des gesamten Erwachsenenlebens dann in dieser Form bestehen bleiben. Die damals gängige Meinung war, dass bis zu der Pubertät der Entwicklungsprozess innerhalb des Gehirns abschlossen sei und die Neuronen danach langsam aber kontinuierlich absterben würden. Es wurde somit davon ausgegangen, dass das Gehirn ein relativ statisches Organ ist. Erst seit einigen Jahren weiß man es besser. Das Gehirn ist Weltmeister im Lernen. Es ist ein plastisches Gebilde, das schon vor der Geburt beginnt, Verbindungen zwischen den einzelnen Nervenzellen zu knüpfen und ist von da an ständig im Umbau, um sich an neue Gegebenheiten und Bedingungen der Umgebung zeitlebens anpassen zu können. Verbindungen zwischen den einzelnen Neuronen sind nicht für die Ewigkeit bestimmt, sondern befinden sich ständig im Auf-, Um- und Abbau (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 20).

Diese Anpassungsvorgänge des Zentralnervensystems im Laufe des Lebens werden auf neurowissenschaftlicher Ebene ganz allgemein als Neuroplastizität bezeichnet. Es geht dabei um die Umorganisation von Neuronen oder auch ganzen Hirnarealen (Korte, 2009, S. 70). Abhängig vom betrachteten System spricht man entweder von synaptischer Plastizität oder von kortikaler Plastizität. „Es gibt aber auch einen ganz einfachen Namen dafür: *Lernen*“ (Spitzer, 2012, S. 52).

Spitzer (2003, S. 11) schreibt: „*Unser Gehirn lernt immer. [...] Wer lernt, ändert sich. Wenn wir wirklich Neues lernen, bleiben wir nicht genau dieselben, nur eben mit etwas mehr gelerntem Material im Kopf, sondern wir verändern uns.*“

Lernen verändert jedoch nicht nur das Wesen, die Identität des Menschen selbst, sondern auch die strukturelle Beschaffenheit des Gehirns. Durch das Knüpfen und

Trennen von Verbindungen zwischen Neuronen beziehungsweise das Stärken und Schwächen von bereits vorhandenen Verbindungen verändert sich nämlich tatsächlich auch die Struktur des Gehirns (Korte, 2009, S. 75).

Im Jahr 1997 konnte bei erwachsenen Mäusen erstmals nachgewiesen werden, dass neue Nervenzellen im Hippokampus gebildet werden, wenn das Individuum mit kognitiv anspruchsvollen Aufgaben konfrontiert ist und sich in einer reizreichen Lernumgebung befindet (Kempermann et. al., 1997, S. 493). Bereits ein Jahr später konnte die Neurogenese, wie die Neubildung von Nervenzellen in der Fachsprache genannt wird, im Hippokampus bei erwachsenen Menschen nachgewiesen werden (Eriksson et. al., 1998, S. 1313). Eriksson et. al. (1998, S.1313) berichten, dass in diesem Gehirnareal offenbar ein ganzes Leben lang neue Nervenzellen, sogenannte Vorläuferzellen, entstehen können, die zu voll funktionstüchtigen Neuronen heranwachsen können. Seither wird deren Rolle bei Lernprozessen diskutiert.

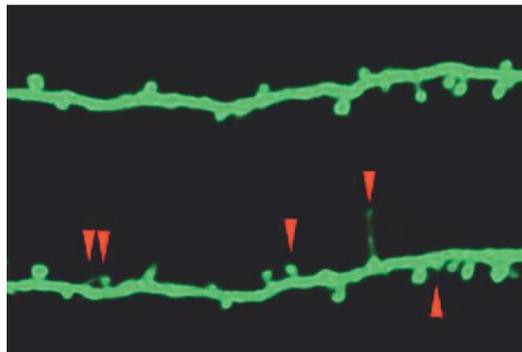
Shors et. al. (2001) verhinderten in einem Experiment die Neurogenese im Hippokampus von Ratten mittels radioaktiver Bestrahlung. Das Resultat war, dass die basalen Lernfähigkeiten von Ratten, die das Überleben sichern, mit wenigen oder keinen neuen Neuronen relativ unbehindert waren, während die Tiere große Probleme hatten, neue Verbindungen und komplexe Zusammenhänge zu lernen (Shors et. al., 2001, S. 374). Es wurde daher von Shors et. al. (2001, S. 374) geschlussfolgert, dass neue Neuronen nur dann für Lernprozesse notwendig sind, wenn Situationen eine gewisse geistige Anstrengung erfordern.

Spitzer (2012, S. 58) erklärt, dass diese neu gebildeten Nervenzellen besonders lernfähig sind. Allerdings können sie nur durch die Auseinandersetzung mit komplizierten Lernaufgaben, wie etwa dem Reagieren auf aktuelle Signale in Kombination mit bereits erworbenen Wissen, am Leben gehalten werden. Neu gebildete Neuronen können also nur dann als zusätzliche Komponente der Informationsverarbeitung genutzt werden, wenn sie durch interne Verschaltung in ein bereits bestehendes neuronales Netzwerk eingegliedert werden. Ganz nach dem Prinzip: „Use-it-or-lose-it“ (Blakemore & Frith, 2006, S. 194).

Lernen bedeutet daher, dass sich die Verbindung zwischen den einzelnen Neuronen verändert – genauer gesagt ist Lernen durch eine Veränderung der synaptischen Übertragungsstärke bedingt (Spitzer, 2003, S. 146). Wie ein Muskel, der sich bei

regelmäßigem Training entwickelt, dicker wird und an Kraft zunimmt, verändern sich auch Synapsen je nachdem, ob sie häufig beansprucht werden oder nicht.

Die Gehirnforschung der vergangenen Jahre macht deutlich, wie sehr Synapsen ständig auf-, um-, abgebaut oder gänzlich neu gebildet werden, um die Neuronen untereinander zu vernetzen und somit das Informationsverarbeitungssystem Gehirn den neuen Anforderungen anzupassen. Einer Maus wurde beispielsweise eine Glasplatte in den visuellen Cortex implantiert, um die synaptischen Veränderungen, die dem Lernprozess zugrunde liegen, sichtbar machen zu können (Abb. 20).



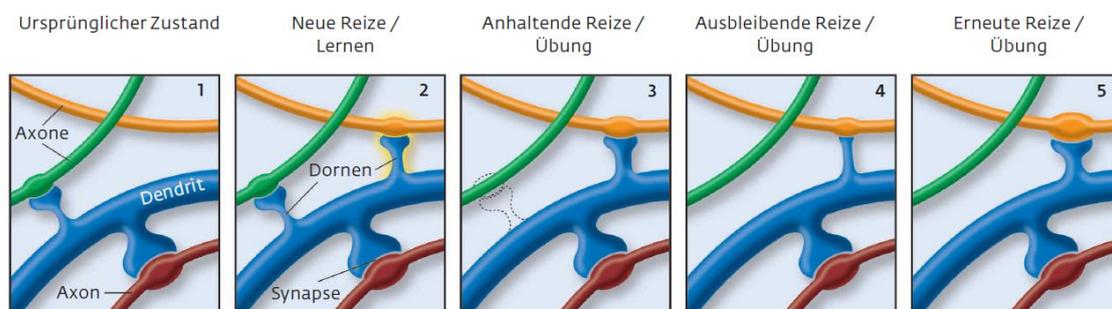
**Abb. 20: Lernvorgänge lassen neue dendritische Dornen entstehen (Rösch, 2013, S. 23)**

Zunächst wurde sichtbar, dass es einen permanenten Auf- und Abbau von dendritischen Dornen, kleine Auswüchse auf einem Dendrit, die den Empfängeranteil der Synapsen tragen, gibt. Damit war der Versuch aber noch nicht zu Ende. Über mehrere Wochen hinweg beobachteten die Forscher, was passiert, wenn ein Auge mehrere Tage lang geschlossen bleibt. Wurden normalerweise nur sehr wenige dendritische Dornen auf- und abgebaut, so verdoppelte sich die Zahl der neu gebildeten Dornen (rote Pfeile) innerhalb weniger Tage. Dies zeigt, wie sich Gehirnregionen umorganisieren und lernen, auf neue ankommende Informationen zu reagieren, um den gestellten Herausforderungen gewachsen zu sein. Das Gehirn verändert also seine synaptischen Verschaltungen, um neue Reize entsprechend verarbeiten zu können. Trotz dieses ständigen Umbaus im Gehirn gibt es allerdings synaptische Verbindungen, die ein Leben lang stabil bleiben. Dies sind vor allem jene, die häufig beansprucht werden, dadurch an Größe zunehmen und somit als „Trampelpfade“ bezeichnet werden können. Ebenso blieben die im Experiment bei einem geschlossenen Auge gebildeten Dornen weitgehend bestehen. Sie schrumpften lediglich ein bisschen, wurden allerdings bei neuerlichem Verschluss eines Auges wieder aktiviert und begannen sich weiter

auszubilden. Dies erklärt auch, warum bereits einmal Gelerntes nach der zweiten Wiederholung leichter im Gedächtnis bleibt (Rösch, 2013, S. 24).

Synapsen können sich also ein Leben lang verändern und immer wieder verschiedene Nervenzellen miteinander zu einem umfangreichen Datennetz verknüpfen. Präsentiert sich allerdings ein neuer Reiz über längere Zeit, so kommt es nicht nur zur Ausbildung einer neuen synaptischen Verbindung, sondern auch zu einer Verstärkung dieser synaptischen Verschaltung zwischen den Neuronen, da diese durch ihre mehrmalige Benützung an Größe zunimmt und somit leichter von Impulsen beschritten werden kann. Bleibt dieser Reiz danach wieder aus, so bildet sich der synaptische Dorn wieder zurück und die Stärke der synaptischen Verbindung nimmt ab. Ein einmal gemachter Weg bleibt im Netzwerk allerdings eingeschrieben und wird für nachfolgende Signale gleichen Typs in Zukunft leichter zu beschreiten sein. Wiederholte Aktivierung oder Übung führt daher dazu, dass die synaptischen Verbindungen stärker werden und Informationen schneller abgerufen oder verarbeitet werden können (Rösch, 2013, S. 25).

Folgende Abbildung soll die durch das Lernen bedingte Veränderung an der Synapse noch einmal verdeutlichen:



**Abb. 21: Wie Lernen die Synapse verändert (Rösch, 2013, S. 25)**

So konnte nachgewiesen werden, dass bei Probanden, die innerhalb von 40 Minuten eine schwer zu koordinierende Bewegung übten, die beteiligten Hirnareale des motorischen Kortex durch das Lernen stärker miteinander kommunizierten. Dies lässt sich durch die Ausbildung und Verstärkung der synaptischen Verschaltungen sowie durch eine Verdickung der Zellkörper erklären. Auch nach einem sechswöchigen Gleichgewichtstraining (Balancieren auf einer Wippe) konnten ebenfalls Vergrößerungen der zuständigen Gehirnregionen (präfrontaler und temporalen Kortex) nachgewiesen werden (Witte, 2013, S. 30f).

Spitzer (2000, S. 148) weist allerdings darauf hin, dass die Umorganisation von Nervenzellen und somit ganzen Hirnarealen mit zunehmenden Alter immer mehr an Geschwindigkeit verliert. Auch Rösch (2013, S. 26) bestätigt, dass die Fähigkeit, neue Verbindungen einzugehen, mit steigendem Alter sinkt. Das kindliche Gehirn lernt daher im Vergleich zu einem älteren Gehirn besonders leicht. Nichtsdestotrotz ist aber auch das Gehirn eines Erwachsenen keinesfalls starr und unflexibel (Rösch, 2013, S. 25). Spitzer (2012, S. 159) erklärt, dass Kinder und Erwachsene unterschiedlich lernen. Während kleine Kinder lernen, indem sie primär neue interne Strukturen ausbilden, nutzen Jugendliche und Erwachsene bereits vorhandene Strukturen und docken neue Sachverhalte an bereits Gelerntem an (Spitzer, 2012, S. 159). Bereits existierendes Wissen wird dafür genutzt, um neues Wissen zu integrieren und mit bereits vorhandenen Inhalten in Verbindung zu bringen (Spitzer, 2003, S. 283). Auch Korte (2009, S. 79) argumentiert, basierend auf der Tatsache der Veränderung der Synapsenstärke bei Lern- und Gedächtnisvorgängen, dass Neues am einfachsten gelernt wird, indem es mit bereits Bekanntem verknüpft wird. Durch das Bilden von Assoziationen und das Verknüpfen von Inhalten miteinander, wird nicht nur das Einspeichern von Informationen erleichtert, sondern die so entstehenden Knotenpunkte des Wissens vereinfachen auch das Abrufen von Gedächtnisinhalten (Korte, 2009, S. 80).

Neben der Veränderbarkeit von synaptischen Verbindungen zwischen Neuronen und dem Nachwachsen von Neuronen im Hippokampus, kann man Neuroplastizität auch auf kortikaler Ebene betrachten.

Zwischen den Neuronen werden Impulse durch synaptische Verbindungen weitergeleitet und laufen an den einzelnen Nervenzellen zur Informationsverarbeitung entlang. Langfristig bildet sich so eine Statistik der Benutzung ab und es entstehen gebrauchtsabhängige kortikale Karten. Diese werden gebildet, wenn die Gehirnrinde Inputmuster verarbeitet und die so im Netzwerk entstandenen neuronalen Repräsentationen nach den Prinzipien der Ähnlichkeit und Häufigkeit geordnet werden (Spitzer, 2003, S. 103). Es ist bekannt, dass diese landkartenförmigen Repräsentationen im Kortex nicht nur erfahrungsabhängig entstehen, sondern auch einer ständigen gebrauchtsabhängigen Umorganisation unterliegen, sodass letztendlich Informationen gespeichert werden können (Spitzer, 2003, S. 105).

Beim Vergleich von Hirnbildern von Geigern und Cellisten mit Gehirnbildern von Nichtmusikern beispielsweise stellten Thomas Elbert und seine Kollegen von der Universität Konstanz fest, dass die Finger der linken Hand bei Streichern im Vergleich zu den Nichtmusikern fünfmal so groß repräsentiert waren, während die kortikalen Areale für die Finger der rechten Hand keine Unterschiede aufwiesen (Elbert et. al., 1995; in: Spitzer, 2000, S. 177). Bear et. al. (2009, S. 449) erklären dies dadurch, dass die Finger der linken Hand bei Streichern kontinuierlich die Saiten berühren, während die Finger der rechten Hand, die den Bogen halten, deutlich weniger Berührungsreize empfangen, was somit ungefähr dem Reizinput von Nichtmusikern entspricht.

Eine weitere Studie von WissenschaftlerInnen der Universität Regensburg und Jena wies ebenfalls strukturelle Veränderungen des menschlichen Erwachsenengehirns nach. Die Probanden mit einem Durchschnittsalter von 22 Jahren sollten in drei Monaten die Jonglage mit drei Bällen erlernen. Das „In-der-Luft-halten“ der Bälle stellt allerdings eine extreme Herausforderung an die koordinativen Fähigkeiten dar. Untersuchungen im Kernspintomographen konnten zeigen, dass sich die Hirnareale, die vor allem für das visuelle Erfassen und Umsetzen von Bewegungsabläufen zuständig sind, erheblich vergrößerten. Nach einer Trainingspause allerdings schrumpften diese Regionen wieder auf ihre ursprüngliche Größe zurück (Draganski et. al., 2004, S. 311f).

Eine ähnliche Studie von Pascual-Leone & Torres (1993; in: Spitzer, 2003, S. 106) zeigte, dass sich bei Menschen, die die Blindenschrift (Braille) erlernen, jenes Areal im Kortex vergrößert, welches für die Fingerkuppe des rechten Zeigefingers zuständig ist. Im Gegensatz dazu schrumpft das betreffende kortikale Areal, wenn aufgrund einer Amputation Eingangssignale ausbleiben.

Spitzer (2000, S. 155) erklärt diesbezüglich, dass je häufiger der Input bewusst wahrgenommen und je wichtiger er angesehen wird, desto mehr Fläche bekommt er im Kortex zugewiesen. Dies lässt bereits vermuten, dass Aufmerksamkeit eine große Auswirkung auf den Lernprozess hat.

Für die Steuerung der Aufmerksamkeit in Verbindung mit emotional-motivationalen Prozessen und somit für Lern- und Gedächtnisvorgänge von besonderer Bedeutung ist vor allem das limbische System (Dordel, 2003, S. 151).

### **3.3 Emotionen, Lernen und Erinnern – Das limbische System**

Das limbische System ist kein klar abgegrenztes einheitliches Gebiet, sondern eine ringförmige Ansammlung von Strukturen des Groß-, Zwischen- und Mittelhirns, welche als funktionelle Einheit die Kerngebiete des Hirnstamms und den Balken ummanteln. Den Strukturen des limbischen Systems wird unter anderem der Mandelkern, der Hippocampus sowie auch Teile des Hypothalamus zugeordnet. Das limbische System gilt daher auch als Verbindung zwischen Hirnrinde und Hirnstamm. Als Steuerzentrale vegetativer und hormoneller Vorgänge spielt das limbische System eine bedeutende Rolle für die Entstehung von Gefühlen und für das Gedächtnis (Korte, 2009, S. 66; Menche, 2007, S. 138; Dordel, 2003, S. 151).

Markowitsch (2002, S. 22) erklärt, dass im Grunde alle Strukturen des limbischen Systems mit der Verarbeitung von Informationen, insbesondere aber mit der Verarbeitung von Emotionen, beschäftigt sind. Gassen (2003, S. 38) spricht daher von dem limbischen System als „emotionales Gehirn“, welches Wahrnehmungen und Gedanken mit einer emotionalen Färbung bedenkt und somit die Aufmerksamkeit auf gerade Bedeutsames legt. Die emotionale Evaluation einkommender Information entscheidet nämlich darüber, ob Lernvorgänge stattfinden und Informationen längerfristig abgespeichert werden oder nicht (Voelker-Rehage et. al., 2013, S. 26). Auch Roth (1999, S. 197) hebt hervor, dass das limbische System als Bewertungssystem des Gehirns fungiert und unmittelbar mit dem Gedächtnis verbunden ist, da „Gedächtnis [...] ohne Bewertung nicht möglich“ sei. Besonders wichtig hierbei erscheint der Papez'sche Schaltkreis, einer von vielen Schaltkreisen, welche die vielen Strukturen des limbischen Systems untereinander verbinden.

Der Papez'sche Kreis, benannt nach dem US-amerikanischen Neurologen James Papez, welcher diesen Schaltkreis in den 1930er Jahren entdeckte, verbindet den Hippokampus über einen Faserstrang (Fornix) mit den Mamillarkörpern und läuft über den Thalamus zum Gyrus cinguli, der wiederum zurück zum Hippokampus projiziert, sodass der Kreis geschlossen wird (Abb. 22) (Markowitsch, 2002, S. 22).

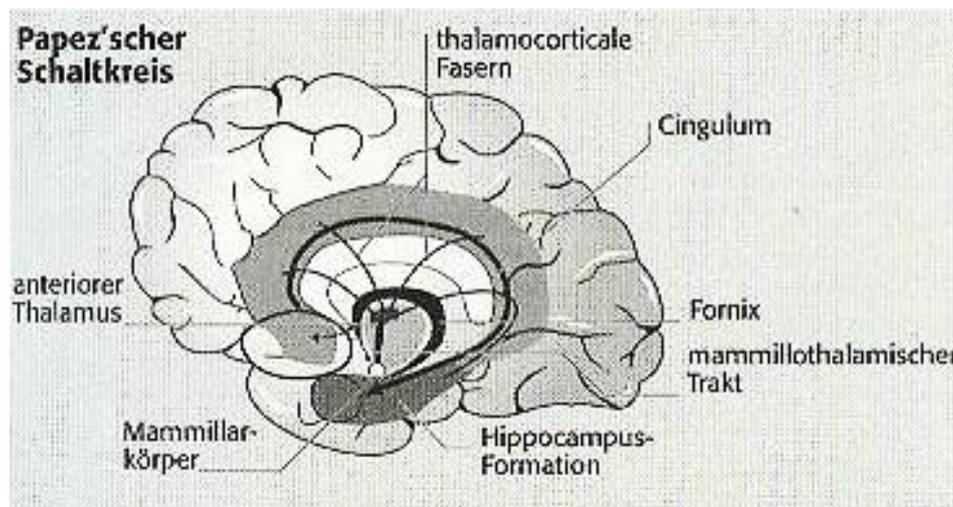


Abb. 22: Papez'scher Schaltkreis (Markowitsch, 2002, S. 22)

Wurde früher angenommen, dass der Papez'sche Schaltkreis der Sitz der Emotionen ist, so geht man heute davon aus, dass die Vorgänge wesentlich komplexer sind. Grundsätzlich ist der Papez-Kreis für die eher kognitiven Aspekte der Informationsauswahl von Bedeutung, während der basolaterale limbische Kreis, eine weitere wichtige, mit dem Papez'schen Schaltkreis verbundene, Neuronenkette des limbischen Systems für die emotionale Selektion von zu speichernden Informationen zuständig ist. Durch seine komplexen Verschaltungen macht der Papez'sche Neuronenkreis eine Informationsübertragung vom Kurzzeitgedächtnis zur Ablagerung im Langzeitgedächtnis möglich. Er ist somit für die Einspeicherung von Informationsinhalten und deren Weiterverarbeitung und Übertragung zu festen, langfristigen Ablagerungen von Bedeutung. Läsionen, die zu Ausfällen einzelner Komponenten führen, resultieren in einer Unfähigkeit zur Abspeicherung von neuen Gedächtnisinhalten. Man spricht hierbei von einer sogenannten „anterograden Amnesie“, einem Ausfall des Gedächtnisses ab dem Zeitpunkt der Schädigung. Dies kann beispielsweise beim Korsakow-Syndrom, einer der häufigsten Folgekrankheiten übermäßigen Alkoholgenusses, die durch die Zerstörung der Mamillarkörper bedingt ist, beobachtet werden. Das limbische System stellt also eine Art Flaschenhals dar, durch den die zu speichernde Informationsinhalte erst einmal in das Innere der Flasche und somit zur langfristigen Speicherung vordringen müssen (Markowitsch, 2002, S. 23f).

Wichtiger Bestandteil des Papez-Kreises und somit für jegliche Art von Lern- und Gedächtnisvorgängen von zentraler Bedeutung ist der Hippokampus (Voelcker-Rehage et.al., 2013, S. 26). Der Hippokampus, oder genauer gesagt die hippocampale

Formation, liegt im inneren Bereich des Schläfenlappens der menschlichen Großhirnrinde. An ein „Seepferdchen“, wie die griechische Bezeichnung dieses Hirnareals übersetzt heißt, erinnert seine tatsächliche Form allerdings nur mit sehr viel Phantasie (Spitzer, 2003, S. 22).

In der vorliegenden Arbeit wurde bereits gezeigt, dass jegliche Informationsinhalte in Form von neuronalen Repräsentationen, bestimmten synaptischen Verbindungsstärken, gespeichert sind. Jeder Informationsverarbeitungsvorgang beeinflusst die Vernetzung der Neuronen untereinander und ändert langsam deren synaptische Verbindungsstärke. Diese graduelle Umorganisation führt dazu, dass sich das Gehirn den Eingangsreizen anpasst und deren allgemeine Struktur abbildet (kortikale Karten). Das menschliche Gehirn lernt also einerseits langsam, indem es Allgemeines beziehungsweise implizite Inhalte im Kortex neuronal repräsentiert. Andererseits finden sich aber neue Sachverhalte beziehungsweise Einzelereignisse, wie etwa die Lokalisation im Raum oder Wortpaare, sehr schnell im Hippokampus repräsentiert<sup>3</sup>. Es scheint daher der Hippokampus eine zentrale Funktion einzunehmen, wenn es darum geht, Informationsinhalte kurzfristig aufzunehmen und abzuspeichern.

„Soll ein neuer Sachverhalt gelernt werden, so muss er erst einmal vom Hippokampus aufgenommen werden“ (Spitzer, 2003, S. 22).

Wann immer also Ereignisse und deklaratives Wissen gelernt werden sollen, ist der Hippokampus von fundamentaler Bedeutung. Ob seiner Funktion wird er auch als „Neuigkeitsdetektor“ bezeichnet. Er bewertet eintreffende Erfahrungen in Zusammenarbeit mit weiteren Strukturen des Gehirns und bildet sehr zeitnah neuronale Repräsentationen von ihnen aus, wenn diese als neu und interessant bewertet wurden (Spitzer, 2003, S. 34).

In einer Studie von Wilson und McNaughton (1993; in Spitzer, 2000, S. 220) wurde gezeigt, dass die neuronalen Assoziationen des Hippokampus, die während der Wachphase entstehen, im Schlaf erneut aktiviert werden. Immer dann, wenn im Hippokampus Neuronen aktiv sind, wird dieses Inputmuster auch auf die restliche Großhirnrinde übertragen. Da der Kortex relativ langsam durch das Verarbeiten repetitiver Reize lernt, fungiert der Hippokampus somit in gewisser Weise als Trainer des Kortex. Was beim Erlernen von Fertigkeiten durch mehrmaliges Üben durch den

---

<sup>3</sup> siehe 3.3.1

Menschen selbst geleistet werden muss, wird für neue Einzelereignisse vom Hippokampus übernommen (Spitzer, 2000, S. 221).

Ist der Hippokampus nicht intakt, so kommt es daher zu einer Unfähigkeit, neue Ereignisse zu lernen. Dies heißt aber gleichzeitig nicht, dass nicht gar nicht mehr gelernt werden kann.

Weltweite Berühmtheit erlangte in diesem Zusammenhang der Fall des Patienten H.M., dem beide Hippokampi operativ entfernt werden mussten. Während ihn dieselben Neuigkeiten in einer bereits mehrmals gelesenen Zeitung immer wieder aufs Neue überraschten oder sich seine behandelnden Ärzte immer wieder bei ihm namentlich vorstellen mussten, lernte er das Schreiben in Spiegelschrift ebenso rasch wie ein Gesunder. Bei Läsionen oder Entfernung beider Hippokampi kommt es somit zwar zu einer massiven Beeinträchtigung beim Behalten von Einzelereignissen, nicht jedoch beim Erlernen von Fertigkeiten oder allgemeinen Regeln (Spitzer, 2000, S. 216f).

Dies verdeutlichen auch die Fälle von drei Jugendlichen, die schon früh ohne Hippokampus aufwuchsen. Sie wiesen eine nahezu normale Sprachentwicklung auf und zeigten auch sonst keine Auffälligkeiten. Lediglich beim Bewältigen von bereits mehrmals gegangenen Wegen hatten sie Probleme mit der Orientierung (Spitzer, 2003, S. 36).

Nicht zuletzt aufgrund dieser Befunde wird in der Lernpsychologie zwischen verschiedenen Arten von Lern- und Gedächtnisvorgängen differenziert.

### **3.4 »Das« Gedächtnis gibt es nicht – Abstrakte Modellvorstellung der Informationsspeicherung**

Unter Gedächtnis verstehen wir die lernabhängige Speicherung ontogenetisch erworbener Information, die sich phylogenetischen neuronalen Strukturen selektiv artgemäß einfügt und zu beliebigen Zeitpunkten abgerufen, d. h. für ein situationsangepasstes [!] Verhalten verfügbar gemacht werden kann. Allgemein formuliert, handelt es sich um konditionierte Veränderungen der Übertragungseigenschaften im neuronalen ‚Netzwerk‘, wobei unter bestimmten Bedingungen den Systemmodifikationen (Engramme) entsprechende neuromotorische Signale und Verhaltensweisen vollständig oder teilweise reproduziert werden können.

Diese Definition des Gedächtnisses von Rainer Sinz (1979, S. 19) konnte bis heute nicht übertroffen werden. Aus ihr wird ersichtlich, dass Gedächtnis im Laufe des Lebens erst

erworben werden muss, artspezifisch verschieden ausgeprägt ist und auf Veränderungen des neuronalen Netzwerkes beruht.

Allgemein gesagt ist das Gedächtnis die Fähigkeit zum Aufnehmen, Behalten und Wiedergeben von Inhalten (Konecny & Leitner, 2006, S. 76).

Ein Gedächtnis zu haben, um sich an bereits Vergangenes erinnern zu können, ist für die meisten Menschen eine Selbstverständlichkeit. Das Gedächtnis ermöglicht dem Menschen in seinem Lebensraum selbstständig zu bestehen, auf allgemeines Wissen zurückzugreifen und dieses weitergeben zu können. Es ist die Voraussetzung für jeglichen Lernprozess (Markowitsch, 2002, S. 19).

Dennoch: „«Das» Gedächtnis gibt es nicht“ (Korte, 2009, S. 61). Vielmehr geht man von unterschiedlichen Gedächtnissystemen aus, die sich nach zeitlichen, inhaltlichen und funktionellen Kriterien einteilen lassen.

#### 3.4.1 Informationsspeicherung auf Zeit

Das Gedächtnis ermöglicht dem Menschen zum einen, sich an bereits Vergangenes zu erinnern (retrospektives Gedächtnis), zum anderen können die bereits abgespeicherten Inhalte dazu genutzt werden, Überlegungen für die Zukunft anzustellen (prospektives Gedächtnis). Wie sehr das Gedächtnis also in Verbindung mit dem Zeitbegriff steht, wird auch durch die Einteilung nach zeitlichen Gesichtspunkten deutlich. Man spricht vom sogenannten Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis (Markowitsch, 2002, S. 19).

Ein Teil des Kurzzeitgedächtnisses wird funktionell auch als *Arbeitsgedächtnis* bezeichnet. Bereits im ersten Lebensjahr beginnt sich dieses Gedächtnissystem zu entwickeln und ist fundamental für die Speicherung unmittelbar wichtiger Informationsinhalte. Ein intaktes Kurzzeitgedächtnis ermöglicht es etwa sechs bis acht Chunks für wenige Sekunden online zu halten und mit ihnen zu arbeiten, sodass es etwa möglich wird, Zwischensummen bei komplizierten Rechnungen im Kopf zu behalten, diesen Satz zu lesen oder kurz zuvor gesehene Telefonnummern zu wählen (Blakemore & Frith, 2006, S. 204).

Die Speichermenge des Arbeitsgedächtnisses erhöht sich jedoch immer dann, wenn die Elemente in sinnvolle Einheiten zusammengefasst werden können (Konecny & Leitner, 2006, S. 79).

Während sich kleine Kinder lange Zeit nur ein oder zwei Elemente merken können, steigt diese Fähigkeit im zwölften Lebensjahr auf ungefähr fünf Informationseinheiten an, bevor das Arbeitsgedächtnis erst mit etwa 25 Jahren die optimale Leistungsfähigkeit erreicht (Korte, 2009, S. 67). Im Zuge der Alterungsvorgänge nimmt diese Kapazität ab dem 50. Lebensjahre allerdings wieder ab. Dies hängt mit dem altersbedingten Abbau von Dendriten zusammen, auf welchen sich in milliardenfacher Anzahl kleine Dornfortsätze (Spines) befinden, welche den Ort des Kurzzeitgedächtnisses darstellen (Hollmann & Strüder, 2000, S. 953).

Sollen die Informationen noch länger zur Verfügung stehen, so ist ein Übergang in das Langzeitgedächtnis unabdingbar.

Während das Arbeitsgedächtnis in seiner Kapazität stark limitiert ist, verfügt das *Langzeitgedächtnis* über eine nahezu unbegrenzte Speicherkapazität und kann große Datenmengen wenige Minuten bis lebenslang zur Verfügung stellen. Berechnungen deuten darauf hin, dass etwa der Inhalt von zwei Millionen CDs im menschlichen Langzeitgedächtnis abgelegt werden könnte (Korte, 2009, S. 67f).

Spitzer (2003, S. 6) hebt besonders die Verarbeitungstiefe für das Behalten von Informationsinhalten in den Vordergrund. Der Übergang von Informationsinhalten vom Kurzzeit- in das Langzeitgedächtnis geht laut ihm nicht passiv vonstatten. Vielmehr müssen die zu speichernden Informationsinhalte mit Aufmerksamkeit versehen und bearbeitet werden. Je öfter und intensiver mit bestimmten Inhalten hantiert wird, desto tiefer werden sie im Gehirn von verschiedenen Arealen bearbeitet und desto besser werden sie behalten.

So bilden sich relativ feste und starke synaptische Verbindungen aus, welche ein umfangreiches Datennetzwerk entstehen lassen. „[D]ie anfänglich noch holprigen Feldwege unseres Denkens und Fühlens [werden] allmählich zu Straßen und unter Umständen sogar zu breiten Highways“ (Hüther, 2013, S. 63f).

#### 3.4.2 Informationsspeicherung nach inhaltlichen Gesichtspunkten

Neben der Einteilung des Gedächtnisses nach zeitlichen Kriterien ist auch die Einteilung in inhaltliche Langzeitgedächtnisformen von Bedeutung. Grundsätzlich werden beim Menschen vier hierarchisch aufeinander aufbauende Gedächtnissysteme unterschieden, welche entweder dem expliziten oder dem impliziten Gedächtnis

zugeordnet werden können und an denen je unterschiedliche Gehirnstrukturen beteiligt sind (Abb. 23).

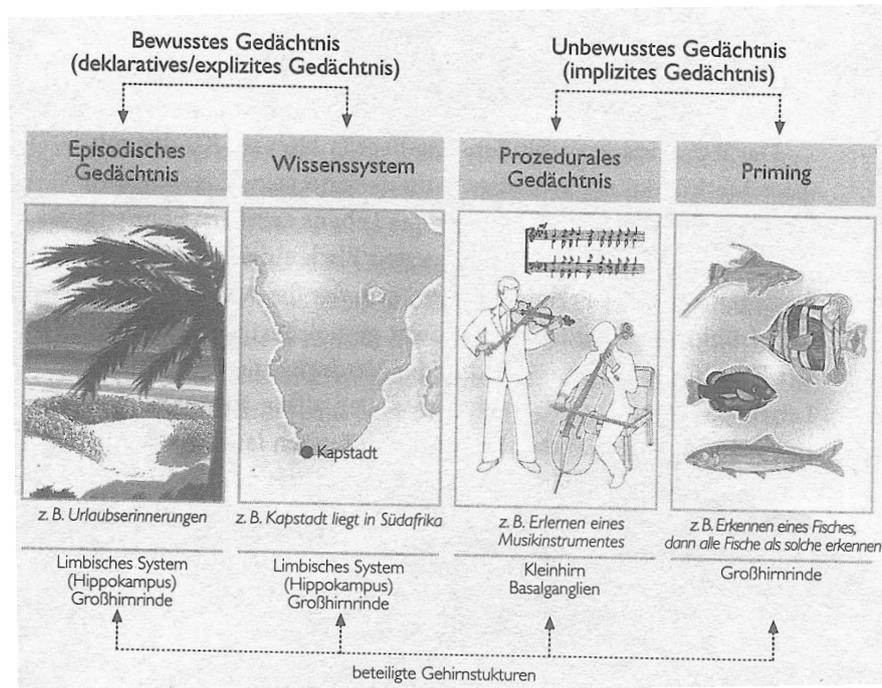


Abb. 23: Gedächtnissysteme des menschlichen Gehirns (Korte, 2006, S. 60)

Innerhalb des expliziten oder *deklarativen Gedächtnisses* wird zwischen dem episodisch-autobiographischen und dem Wissenssystem (Faktengedächtnis) unterschieden.

Das episodische Gedächtnis ist das höchststehende und komplexeste Gedächtnissystem des menschlichen Gehirns (Markowitsch, 2002, S. 88). Singuläre Ereignisse, die im Laufe des menschlichen Lebens gesammelt werden, werden so eingelagert, dass diese zeitlich und örtlich spezifiziert werden können. Das episodische Gedächtnis liefert also „Informationen darüber, wann etwas mit wem und wo geschah“ (Korte, 2009, S. 62). Notwendigerweise ist das episodisch-autobiographische Gedächtnis daher mit bewusstem Reflektieren verbunden, wodurch man immer dann einen Blick in die Vergangenheit werfen kann, wenn dies gewünscht wird (Markowitsch, 2002, S. 88). Es kann so zum Beispiel über den ersten Schultag, den letzten Urlaub oder die Geburtstagsparty zum x-ten Jubeltag berichtet werden.

Das Faktengedächtnis oder auch Wissenssystem genannt, speichert allgemeines Wissen über die Welt, das klassische Schulwissen sowie semantisch-grammatikalische Kenntnisse, weshalb es auch als semantisches Gedächtnis bezeichnet wird (Korte, 2009, S. 62).

Innerhalb des *impliziten Gedächtnisses* existieren unabhängig davon zwei weitere Gedächtnissysteme. Das prozedurale Gedächtnis, welches Abläufe und Fertigkeiten wie Laufen, Radfahren, Skifahren, Schwimmen etc. umfasst, und das Priming.

Besonders für motorische Fertigkeiten ist das prozedurale Gedächtnis von Bedeutung. Markowitsch (2002, S. 88) und Korte (2009, S. 62) weisen aber darauf hin, dass auch Abläufe, wie etwa das Spielen eines Musikinstruments, Lesen oder die aktive Beteiligung an einem Kartenspiel, das prozedurale Gedächtnis beanspruchen. Die Basis des prozeduralen Gedächtnisses wird von den Basalganglien gebildet, die bei Säuglingen bereits ab drei Monaten voll funktionstüchtig sind (Blakemore & Frith, 2006, S. 199). Ohne bewusstes Reflektieren werden von da an Informationen grundsätzlich implizit, d. h. unbewusst, aufgenommen und verarbeitet (Markowitsch, 2002, S. 88). Für das Lernen einiger prozeduraler Gedächtnisinhalte, wie beispielsweise das Spielen der Geige oder das Ausführen eines Hüftaufschwunges am Reck, kann es allerdings vorteilhaft sein, wenn das implizite oder prozedurale Wissen explizit gemacht wird (Blakemore & Frith, 2006, S. 200). Im Gegensatz zu explizitem Wissen, das sehr sprunghaft einsetzt und schnell gelernt wird, entwickelt sich das implizite Können im Vergleich dazu eher langsam (Spitzer, 2003, S. 65).

Daneben existiert das als Priming bezeichnete Gedächtnissystem, welches bereits bei Kleinkindern ausgebildet ist und von der Reifung der Großhirnrinde abhängt. Bahnung, wie Priming oftmals ins Deutsche übersetzt bezeichnet wird, erleichtert das Lernen ähnlicher Aufgaben, wenn das grundlegende Prinzip erst einmal verstanden wurde. Diese Lern- und Gedächtnisform bezieht sich auf eine höhere Wahrscheinlichkeit bereits einmal wahrgenommene Reizmuster wiederzuerkennen, ebenso wie auf die Einordnung von Ereignissen auf Basis von früheren, vergleichbaren Inhalten (Korte, 2009, S. 62). Neurowissenschaftlich kann dies dadurch erklärt werden, dass durch die einmalige Beschreitung eines Weges bereits synaptische Verbindungen gebildet werden, durch welche jede nachfolgende Beschreitung erleichtert wird (Rösch, 2013, S. 25).

Markowitsch (2002, S.88) bringt dieses Gedächtnissystem mit der Grundidee der Fernsehwerbung in Verbindung. Zunächst wird das Produkt einer Firma in einem etwas längeren Fernsehspot vorgestellt, bevor der Effekt des Primings ausgenutzt und die Produktwerbung in kürzerer Form nach einiger Zeit im selben Werbeblock noch einmal wiederholt wird. Dadurch wird erreicht, dass das Produkt beim zweiten Mal bereits als

bekannt eingestuft wird, was unter anderem dazu führt, dass sich die Kunden beim Einkauf bestimmt für dieses Produkt anstatt für ein anderes entscheiden werden, ohne die Gründe genau zu wissen (Blakemore & Frith, 2006, S. 200).

### 3.4.3 Erkenntnisse über den Sitz des Gedächtnisses

Wie Korte (2006, S. 61) richtigerweise feststellt, ist eine der wichtigsten Erkenntnisse aus Psychologie und Neurowissenschaft, dass »das« Gedächtnis nicht existiert. Die Einteilung des Gedächtnisses in verschiedene Gedächtnissysteme ist nur als abstrakte Modellvorstellung zu verstehen, um die komplexen Lern- und Gedächtnisvorgänge verständlich darstellen zu können (Spitzer, 2003, S. 4).

Welche Strukturen des Gehirns für die verschiedenen Gedächtnisformen zuständig sind, konnte bis heute noch nicht vollständig geklärt werden. Die bereits angeführte Abbildung (Abb. 23), welche die vier Gedächtnissysteme des Menschen darstellt, teilt den verschiedenen Gedächtnisformen die jeweils angenommenen beteiligten Gehirnstrukturen zu, sodass ein Überblick über den Ort des Gedächtnisses gewonnen werden kann.

Über die Sinnessysteme des menschlichen Körpers aufgenommene oder durch die Umstrukturierungsvorgänge auf neuronaler Ebene erzeugte Informationen gelangen in kortikale Regionen, welche mit der kurzzeitigen (Online-) Verarbeitung betraut sind. Dieser Speicher - das Arbeitsgedächtnis - befindet sich wahrscheinlich im Gebiet des linken Scheitellappens und Teilen des linken Stirnhirns. Episodische Informationsinhalte und Elemente des Wissenssystems werden dann an das limbische System weitergeleitet und dort hinsichtlich sozialer und biologischer Relevanz bewertet. Werden die neuen Informationsinhalte als bedeutend erkannt, so werden sie mit bereits vorhandenen Inhalten in Verbindung gebracht und hemisphärenspezifisch auf neokortikaler Ebene in Form von neuronalen Netzen gelagert. Diese Ablagerung von Informationsinhalten in der Großhirnrinde stellt gleichzeitig den Übergang zum Langzeitgedächtnis dar. Während neuronale Netze der rechten Hemisphäre eher episodisch, affektiv besetzte Informationen abspeichern, sind die linkshemisphärisch gelegenen Netze eher für die Ablagerung von Faktenwissen zuständig (Markowitsch, 2002, S. 105).

Zusammenfassend ist daher festzuhalten, dass die langfristige Einspeicherung von episodischen Informationsinhalten oder Wissensinformation also zunächst über das limbische System erfolgt, von welchem diese anschließend vorwiegend in neokortikalen Netzen abgelagert werden, sodass ein Abruf zu einem späteren Zeitpunkt ermöglicht wird. Anders verläuft dies bei prozeduralen Inhalten, welche von der Einspeicherung bis zum Abruf an Kleinhirn und Basalganglien gebunden sind (Markowitsch, 2002, S. 103).

In der folgenden Abbildung (Abb. 24) soll nochmals ein modellhafter Überblick über die Informationsverarbeitung und -speicherung im menschlichen Gehirn gegeben werden:

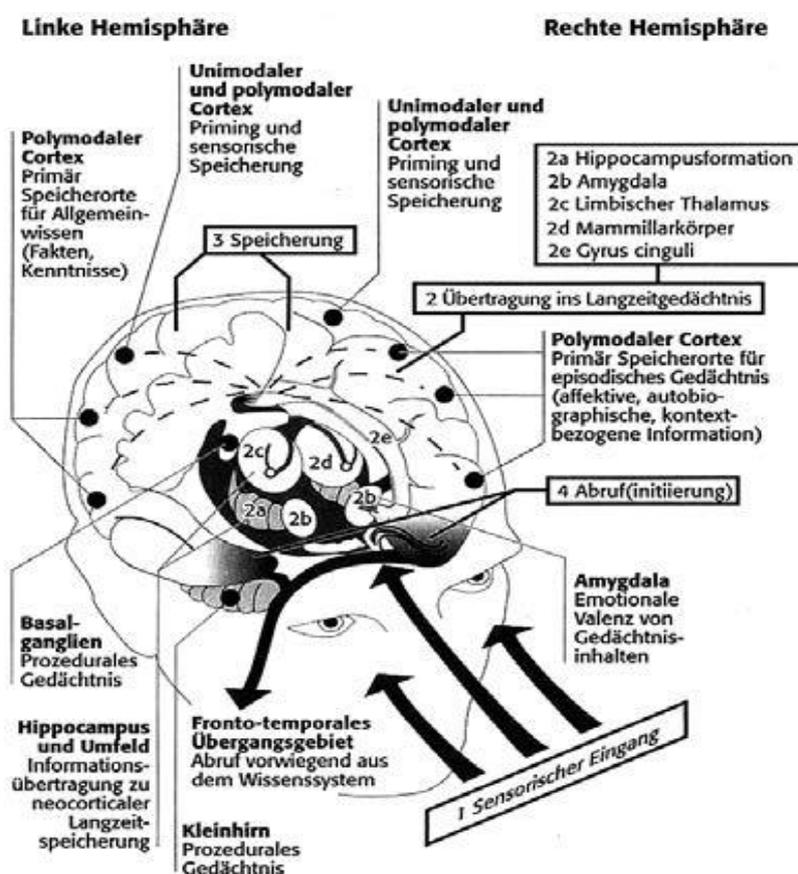


Abb. 24: Modellvorstellung der Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn (Markowitsch, 2002, S. 104)

### 3.5 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel erfolgte Betrachtung der dem Lernprozess zugrunde liegenden neurobiologischen Grundlagen hat gezeigt, dass Lernen keinesfalls als passiver Vorgang verstanden werden darf, sondern ganz im Gegenteil viel Energie und Aktivität benötigt. Gelernt wird im Prinzip zu jeder Uhrzeit – selbst und gerade im Schlaf. Auch wenn es dem Individuum vielleicht nicht immer bewusst ist, so lernt das Gehirn ständig, indem

es sich gemäß den situativen Anforderungen zeitlebens umbaut. Abhängig davon, welche Inhalte es zu verarbeiten gilt und in welcher Art und Weise diese Inhalte gelernt werden, werden einige Gehirnareale mehr beansprucht als andere.

Ausgehend von einem Überblick über die wichtigsten neurobiologischen Strukturen, deren Funktionen und Besonderheiten, wurden die für das Lernen zuständigen Zellen und deren Arbeitsweise näher charakterisiert.

Zum Zeitpunkt der Geburt bereits in hoher Anzahl vorhanden, fungieren Nervenzellen als Lernagenten des menschlichen Gehirns. In ihrer Gesamtheit bilden sie ein komplexes neuronales Netzwerk aus, das die Fähigkeit besitzt, sich zeitlebens aufgrund unterschiedlicher Erfahrungen umzubauen. Dieser Umbau, der in der Fachsprache auch als Neuroplastizität bezeichnet wird, erfolgt an den Synapsen, welche die Verbindungsstelle zwischen den einzelnen Nervenzellen darstellen. An den Synapsen findet also ein ständiger Auf-, Um- und Abbau statt, sodass sich der Mensch das gesamte Leben lang an neue Anforderungen anpassen, sprich lernen, kann. Jeder Gedanke, jede Bewegung, jeder Sinneseindruck, jede Erfahrung aktiviert Nervenzellen und wird durch deren Erregungen in der Hirnrinde in Form von neuronalen Repräsentationen, bestimmten synaptischen Verbindungsstärken, abgebildet. Es entstehen so bleibende Spuren der flüchtigen Eindrücke, Handlungen und Gedanken – sogenannte neuronale Repräsentationen (Spitzer, 2003, S. 94ff).

Während wenig gebrauchte Verbindungen zwischen den einzelnen Zellen schrumpfen und reduziert werden, bilden sich jene weiter aus, die häufig beansprucht werden. Es entstehen so im Laufe der Zeit sogenannte „Trampelpfade“ (Rösch, 2013, S. 24). Lernen kann daher neurowissenschaftlich als eine Veränderung der Stärke synaptischer Verbindungen beschrieben werden (Spitzer, 2003, S. 146). Was einmal in das neuronale Netzwerk eingeschrieben wurde, kann durch ähnliche Reize wieder leicht aktiviert werden, da sich die synaptischen Dornen zwar zurückbilden, aber nie vollständig verschwinden (Rösch, 2013, S. 24).

Inhalte, die durch eigenständiges Handeln, Beobachten oder bewusste kognitive Auseinandersetzung präsent sind, werden auf diese Art und Weise gelernt und im Gedächtnis verankert. »Das« Gedächtnis als abgegrenzter Bereich im menschlichen Gehirn existiert allerdings nicht wirklich (Korte, 2009, S. 61). Die in diesem Kapitel angeführten zeitlichen und inhaltlichen Modellvorstellungen können daher nur einen Überblick über die Komplexität der Informationsspeicherung geben.

Abhängig davon, welche Art von Informationsinhalten gelernt werden soll, kommen unterschiedliche Gehirnstrukturen zum Tragen. Der Hippokampus als wichtiger Bestandteil des limbischen Systems gilt als Neuigkeitsdetektor, der für das Speichern von Ereignissen und deklarativem Wissen unabdinglich ist. Ihm kommt daher im Lernprozess eine besondere Bedeutung zu. Werden Informationsinhalte vom Hippokampus in Zusammenarbeit mit anderen Gehirnstrukturen als wichtig und interessant bewertet, so bilden sich relativ zeitnah neuronale Repräsentationen aus (Spitzer, 2003, S. 33f).

Im Schlaf oder durch bewusstes, wiederholtes Darbieten werden diese aktiviert und übertragen ihr Inputmuster auf die restliche Großhirnrinde. Der Hippokampus fungiert also in gewisser Weise als Trainer des Kortex, da er deklarative Inhalte sowie Wissensinhalte in neokortikalen Netzen ablegt, von wo sie wieder abgerufen werden können. Er übernimmt für neue, als interessant bewertete Einzelereignisse somit das, was beim Erlernen von prozeduralen Inhalten durch mehrmaliges Üben durch den Menschen selbst geleistet werden muss. Diese werden nämlich vorwiegend im Kleinhirn und in den Basalganglien verarbeitet und abgelagert (Spitzer, 2000, S. 221).

## 4 LERNEN – EIN MULTIMODALES PHÄNOMEN

Bereits vertraut mit den der Informationsverarbeitung und -speicherung zugrunde liegenden neurobiologischen Prozessen und Strukturen, wird im nachfolgenden Kapitel besonders der Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf unterschiedliche Lern- und Gedächtnisprozesse beleuchtet.

Zunächst wird ein Überblick über verschiedene Arten des Lernens gegeben, wobei besonders der Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition verdeutlicht werden soll. Weiters sollen allgemeine, den Lernprozess beeinflussende Faktoren näher erläutert und kurz charakterisiert werden. Davon ausgehend wird anschließend die Bedeutung koordinativer Fähigkeiten sowohl für den motorischen, als auch für den mentalen Lernprozess aufgezeigt, sodass sich die Relevanz ihrer Thematisierung im Bewegungs- und Sportunterricht herauskristallisiert.

### 4.1 Unterschiedliche Arten des Lernens

Wie bereits ausführlich erörtert, ist das menschliche Gehirn aufgrund seiner Struktur und Arbeitsweise für das Lernen optimiert. Mit anderen Worten: Es „kann nichts besser und tut nichts lieber“ als zu lernen (Spitzer, 2003, S. 14).

„Unter Lernen versteht man den absichtlichen (intentionales Lernen) und den beiläufigen (inzidentelles und implizites Lernen), individuellen oder kollektiven Erwerb von geistigen, körperlichen, sozialen Kenntnissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten“ (Konrad, 2011, S. 15). Die Grundlage für diesen lebenslangen Prozess ist die Möglichkeit zur Gedächtnisbildung, d. h. zur Einspeicherung und Lagerung von aufgenommenen Informationsinhalten (Speckmann & Wittkowski, 2006, S. 144).

Sowohl die Unterteilung des menschlichen Gedächtnisses in unterschiedliche Gedächtnissysteme, als auch die Definition des Lernbegriffs nach Konrad (2011) lässt darauf schließen, dass Lernen verschiedene Formen annehmen kann, je nachdem wie und für welchen Zweck gelernt wird beziehungsweise welche Informationsinhalte es zu verarbeiten gilt.

Jene Lernprozesse, die primär auf die Aneignung von Wissen sowie geistigen Fähigkeiten und Fertigkeiten gerichtet sind, werden unter dem Begriff „mentales Lernen“ zusammengefasst, während das „motorische Lernen“ die Ausbildung motorischen Könnens zum Ziel hat (Meinel und Schnabel, 2007, S. 149). Jegliche Lernvorgänge des

Menschen können auf verschiedenste Art und Weise stattfinden, abhängig davon, wodurch diese Prozesse ausgelöst werden.

Nachfolgend werden daher unterschiedliche Arten des Lernens nach Blakemore und Frith (2006, S. 213ff) sowie nach Klix (1973; in: Loosch 1999, S. 172ff) vorgestellt, welche an gekennzeichneten Stellen durch die Betrachtungen anderer Autoren ergänzt werden. Diese Anführung stellt allerdings keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll lediglich die für das mentale und motorische Lernen relevanten Aspekte aufzeigen. In der Literatur finden sich noch eine Reihe anderer Lernformen, wie beispielsweise die Habituation (Klix, 1973; in: Loosch, 1999, S. 172ff) oder die klassische und instrumentelle Konditionierung (Konecny & Leitner, 2006, S. 107ff).

### 4.1.1 Auswendiglernen – ein passiver Vorgang?!

Das Auswendiglernen stellt eine der beliebtesten Lernmethoden dar und ist vor allem im Schulbereich weit verbreitet. Das Lernen von Vokabeln beispielsweise basiert weitestgehend auf dieser Art des Lernens. Aber auch für das Lernen eines Textes in einem Theaterstück oder für eine Rede ist das Auswendiglernen sicherlich sehr effektiv. Meist basiert das Auswendiglernen auf disparaten Einzelinformationen, wodurch die Rolle dieser Lernmethode in Erziehung und Unterricht umstritten ist. Oftmals können die auswendig eingepprägten Informationsinhalte zwar wortwörtlich wiedergegeben werden, allerdings ohne zwangsweise etwas von deren Bedeutung zu verstehen. Bildgebende Verfahren konnten zeigen, dass das Auswendiglernen mit einer Aktivität im prämotorischen Kortex und im inferioren Frontalkortex der linken Gehirnhälfte einhergeht. Diese Gehirnareale sind vor allem auch für die Sprachproduktion von Bedeutung. Dass beim Sprechen als auch beim Auswendiglernen dieselben Gehirnpartien aktiv sind, liegt in der Vorgangsweise des Auswendiglernens begründet. Die Basis dieser Lernmethode besteht nämlich im Wesentlichen aus dem wiederholten stummen (in Gedanken) oder lauten Vorsprechen der zu lernenden Informationsinhalte. Soll beispielsweise eine Reihe von scheinbar wahllos aneinandergereihten Zahlen innerhalb einer Minute eingepragt und dann aus dem Gedächtnis auswendig wiedergegeben werden, so wird diese Zahlenreihe in Gedanken oder laut ständig wiederholt (Blakemore & Frith, 2006, S. 213ff).

Lernen, und selbst das Auswendiglernen, darf daher nicht als passiver Vorgang verstanden werden, bei dem Inhalte einfach so in den Kopf eindringen, sondern erfordert eine aktive Auseinandersetzung mit den zu lernenden Elementen (Spitzer,

2003, S. 2). Darin begründet liegt auch die Bedeutung der Aufmerksamkeit und ihr allgemein anerkannter Status als bedeutender Einflussfaktor auf den Lernprozess (siehe 4.2).

Nach einem intensiven Auseinandersetzen mit einer Zahlenreihe stehen dem Kurzzeitgedächtnis für etwa 15 bis 20 Sekunden ungefähr sieben Informationseinheiten zur Verfügung. Gelingt es allerdings, der Zahlenreihe eine Bedeutung zu unterlegen, dass die scheinbar wahllose Aneinanderreihung von Zahlen einen Sinn ergibt, kann die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses erheblich erweitert werden. Beim Auswendiglernen von Dingen mit Bedeutung wird nämlich der linke inferiore präfrontale Kortex als zusätzliches Gehirnareal in die Informationsverarbeitung und -speicherung involviert (Blakemore & Frith, 2006, S. 214f).

Geuerich et. al. (2006, S. 201) empfehlen daher besonders Eselsbrücken und Assoziationen für das Einprägen von Informationsinhalten.

##### 4.1.2 Mentale Visualisierung als Lernhilfe

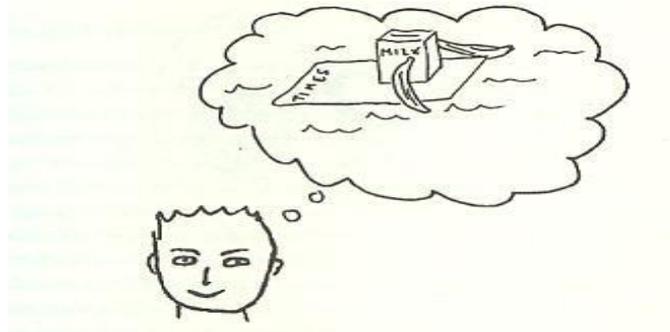
Wird einer scheinbar wahllos zusammengestellten Zahlenreihe Bedeutung verliehen, indem anhand der Zahlen eine einfache, mit dem geistigen Auge zu verfolgende Geschichte erstellt wird, so geht dies weit über das simple Auswendiglernen hinaus. Zum einen bringen Geschichten einzelne Informationsinhalte in einen größeren Zusammenhang, – nach Spitzer (2003, S. 35) ist es dieser Zusammenhang, der den Einzelheiten Bedeutung und Sinn verleiht, sie somit interessant macht und eine längerfristige Ablagerung ermöglicht – zum anderen helfen sie, die Informationsinhalte in Bilder umzuwandeln, sie zu visualisieren.

*Visualisierung* fällt den meisten Menschen leichter als pures Auswendiglernen und beinhaltet daher ein starkes Lernpotenzial. Der kanadische Psychologe Alan Paivio führte Ende der 1960er Jahre die Tatsache, dass konkrete Wörter leichter gelernt werden als abstrakte, darauf zurück, dass diese leichter vorstellbar sind. Er schlussfolgerte daraus, dass Visualisierung gezielt benutzt werden kann, um die Lernfähigkeit zu verbessern (Blakemore & Frith, 2006, S. 217).

Visualisierung wird daher oft eingesetzt, um Menschen mit unterdurchschnittlichem Erinnerungsvermögen beim Lernen zu helfen. Für den Einkauf von Milch, Bananen und einer Zeitung soll beispielsweise ein Milchkarton vor dem geistigen Auge visualisiert

werden, der auf der Zeitung sitzt und mit Bananen rudert – je witziger, desto besser (Abb. 25) (Blakemore & Frith, 2006, S. 217).

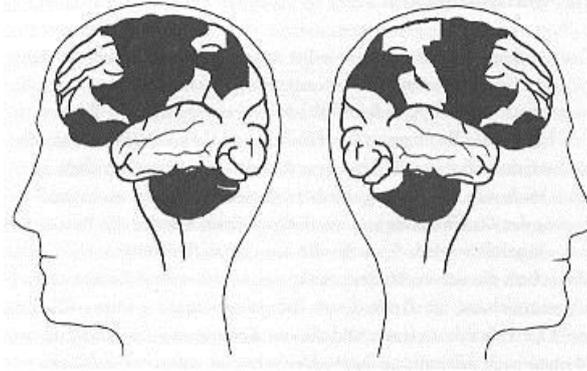
Denn die vermeintliche Antwort auf die Frage: «Wie kriege ich das nur in meinen Kopf?», lautet: „Je bunter bewegter, je lustiger und spielähnlicher, je interaktiver und leibhafter diese zu lernenden Inhalte dargeboten würden, desto besser würde gelernt“ (Spitzer, 2003, S. 2).



**Abb. 25: Disparate Einzelinformationen als witzige Visualisierung (Blakemore & Frith, 2006, S. 217)**

Liegt bei Menschen allerdings eine Schädigung der rückwärtigen, das Sehzentrum beinhaltenden Gehirnanreale vor, so gibt es Probleme mit dem visuellen Einprägen. Die Visualisierung als Hilfe zum Einprägen von Lerninhalten kann bei diesen Menschen nicht angewendet werden. Dies lässt darauf schließen, dass zur Visualisierung der temporoparietale Kortex benötigt wird. Untersuchungen, in denen bildgebende Verfahren angewendet wurden, konnten zeigen, dass bei der bloßen Visualisierung eines Objektes mindestens zwei Drittel jener Gehirnanreale aktiv werden, die auch beim tatsächlichen Sehen dieses Objekts betätigt sein würden. Weiters konnte nachgewiesen werden, dass allein durch das Vorstellen einer Situation, Emotionen und die damit verbundenen vegetativen und hormonellen Reaktionen hervorgerufen werden können (Blakemore & Frith, 2006, S. 219f).

Dies macht sich auch mentales Training zunutze, dessen Wert vor allem für das Erlernen von motorischen Fähigkeiten nachgewiesen ist (vgl. Gentili et. al., 2010; Shoenfelt & Griffith, 2008). Die generelle Wirkung des mentalen Trainings für die Leistungssteigerung in motorischen Aufgaben ist unbestritten (Erlacher, 2010, S. 69). Mithilfe von bildgebenden Verfahren konnte bestätigt werden, dass allein die visualisierte Bewegungsvorstellung dieselben Untergruppen von Gehirnanreale aktiviert, welche auch bei der tatsächlichen Bewegungsausführung beteiligt wären (Abb. 26) (Munzert et. al., 2009, S. 206).



**Abb. 26: Bei der Ausführung einer Bewegung (links) und bei der Visualisierung der Ausführung einer Bewegung (rechts) beanspruchte Hirnareale (Blakemore & Frith, 2006, S. 232).**

Diese „mentale Gymnastik“ hat nicht nur Einfluss auf den Prozess des motorischen Lernens indem Bewegungsabläufe verinnerlicht werden, sondern kann auch tatsächliche physische Anpassungserscheinungen mit sich bringen. Eine Studie konnte nachweisen, dass Probanden rein mit ihrer Vorstellungskraft die muskuläre Kraft erhöhen und über mehrere Monate aufrechterhalten konnten. Die automatische Aktivierung der betreffenden Gehirnareale stieg dabei parallel mit dem Grad der simulierten physischen Anstrengung während der visualisierten Bewegungsausführung (Ranganathan et. al., 2004, S. 944).

#### 4.1.3 Nachahmung und Imitation als elementare Formen des Lernens

Beobachten wie andere etwas machen, und dann versuchen es selber genauso oder ähnlich zu machen, ist ebenfalls eine bewährte Art des Lernens. Es ist nicht nur effizient, sondern brachte dem Menschen im Lauf der evolutionären Entwicklung erhebliche Vorteile ein (Loosch, 1999, S. 176).

Bereits kleine Babys können kurz nach ihrer Geburt manche kommunikative Gesten und Mimiken der Erwachsenen imitieren. Wird etwa zu einem neugeborenen Baby Blickkontakt aufgenommen, d. h. die Aufmerksamkeit des Kindes auf die eigene Person gelenkt, und dann die Zunge herausgestreckt, so wird dies vom Gegenüber nachgeahmt. Aber auch Erwachsene ahmen manchmal noch ganz unbewusst elementare Verhaltensweisen wie Mimiken und Gestiken nach. Dies kann besonders dann beobachtet werden, wenn sich zwei Menschen miteinander unterhalten. Ohne es bewusst zu bemerken, werden Gesichtsausdruck und Körperhaltung dem Gesprächspartner angeglichen, um ein stärkeres Gefühl von Verbundenheit zu erzeugen beziehungsweise um Sympathie auszudrücken. Bei einer anderen Form von

Nachahmung werden bewusst Einstellungen, Verhaltensweisen oder Merkmale von anderen Personen übernommen, wenn dies aufgrund subjektiver Bewunderung erwünschenswert erscheint. Bereits bei Kindern ist dieser hoch selektive Prozess der Nachahmung, welcher auch als Peer-Effekt bezeichnet wird, zu beobachten. Der Peer-Effekt besagt beispielsweise, dass Kinder häufig eher den Akzent und die Wortwahl ihrer Freunde als den Akzent ihrer Eltern imitieren, da es erstrebenswert ist, sich dieser Gruppe zugehörig zu zeigen (Blakemore & Frith, 2006, S. 225f).

Auch im Bereich des Sports kommt der Vorbildfunktion eine große Bedeutung zu. Erfolgreiche SportlerInnen oder sympathische Bewegungs- und SportlehrerInnen beispielsweise funktionieren als Nachahmungs- oder Identifikationsobjekte für Kinder und Jugendliche und haben somit einen bedeutenden Einfluss auf deren sozialen Entwicklungs- und Lernprozess. Die Spuren sozialer Lernprozesse lassen sich laut Loosch (1999, S. 176) aber „bis in Details des motorischen Lernprozesses verfolgen“, etwa wenn Kinder ein bestimmtes Merkmal sportlicher Bewegungsausführung von ihren LehrerInnen übernehmen.

Diese evolutionsbedingte elementare Veranlagung, Handlungen, Verhaltensweisen und vieles mehr nachzuahmen, kann daher auch im Unterricht genutzt werden. Das stark subjektdeterminierte Imitationslernen kann durch die Unterweisung autorisierter Personen zur Vermittlung von Fähigkeiten und Fertigkeiten ergänzt werden. So kann beispielsweise das bewusste Verfolgen und Nachvollziehen des Bewegungsmusters von Sport- oder TanzlehrerInnen mit verbalen Informationen unterstützt werden, um eine Bewegungshandlung zu erlernen (Blakemore & Frith, 2006, S. 226).

Bereits bei der Beobachtung einer Bewegung an einer anderen Person werden jene Gehirnareale aktiv, welche auch für die Bewegungsausführung von Bedeutung sind. Giacomo Rizzolatti hat in einer Studie mit Affen entdeckt, dass bestimmte Neuronen des prämotorischen Kortex immer dann aktiviert werden, wenn der Affe einen Menschen oder einen anderen Affen dabei beobachtet, wie ein Gegenstand ergriffen wird. Das Aktivierungsmuster der Nervenzellen, welches bei der puren Beobachtung entstand, entsprach dabei dem der eigentlichen motorischen Handlung. Da diese Neuronen das beobachtete Verhalten wie ein Spiegel abbilden, werden sie auch Spiegelneuronen genannt (Blakemore & Frith, 2006, S. 227).

Spiegelneuronen sind bestimmte Nervenzellen im motorischen und sensorischen Bereich der Hirnrinde, die sich dadurch auszeichnen, dass sie sowohl beim eigenen

Durchführen einer Bewegung oder eines Verhaltens, als auch bei der bloßen Beobachtung einer Handlung völlig identisch reagieren. Sie bilden die beobachteten und selbst durchgeführten Handlungen und Verhaltensweisen wie ein Spiegel durch neuronale Repräsentationen ab. Dadurch wird es dem Menschen ermöglicht, Einfühlungsvermögen auszubilden und durch das bloße Beobachten, Bewegungsmuster sowie soziales Verhalten intuitiv zu lernen. Grundlage für das Lernen durch Nachahmung ist, dass die von den Spiegelneuronen neuronal repräsentierten visuellen Informationen, die aus dem Beobachten gewonnen werden können, mit dem bereits gespeicherten Wissen abgeglichen und koordiniert werden (Stadler, 2012, S. 2ff).

### 4.1.4 Lernen durch Ausprobieren

Loosch (1999, S. 174) weist darauf hin, dass diese Art des Lernens, welche auch als Lernen durch Versuch und Irrtum bezeichnet wird, besonders im pädagogischen Vorgehen des motorischen Lehrens und Lernens in letzter Zeit immer wieder Beachtung findet, da ihr zugeschrieben wird, dass eine durch Ausprobieren erlernte Bewegungshandlung den Lernenden besonders gut im Gedächtnis bleibt. Durch die Misserfolge, welche naturgemäß durch das selbstständige Probieren entstehen, und durch die dadurch bedingte hohe Variabilität zu Beginn des Bewegungslernens soll die erfolgreiche Lösung des zu bewältigenden Bewegungsproblems besser gespeichert und behalten werden können. Schöllhorn et. al. (2009, S. 39) identifizieren ebenfalls variable, vielfältige Aufgabenstellungen und die damit verbundenen notwendigen Differenzen in der Bewegungsausführung als Grundlage für erfolgreiches motorisches Lehren und Lernen.

Bereits kleine Kinder probieren verschiedenste Verhaltensweisen und Bewegungshandlungen aus, um herauszufinden, wie das angestrebte Ziel am besten zu erreichen ist. Das Nichtvorhandensein einer bereits vorgefertigten Lösung eines (Bewegungs-) Problems fordert und fördert die Eigenaktivität der Lernenden. Das Ausprobieren und Lernen an Versuch und Irrtum stillt somit die typischen Bedürfnisse des Menschen, wie etwa Neugier, Reizhunger und Wissensdurst (Loosch, 1999, S. 175).

Dies stellt einen nicht gering einzuschätzenden Vorteil dieser Art des Lernens dar. Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt, werden neue Nervenzellen vor allem immer dann im Hippokampus gebildet, wenn sich das Individuum mit schwierigen, reizvollen Aufgaben konfrontiert sieht und sich in einer interessanten Lernumgebung befindet

(Spitzer, 2003, S. 31). Des Weiteren können diese neu gebildeten Neuronen ganz nach dem Prinzip „Use-it-or-lose-it“ (Blakemore & Frith, 2006, S. 194) nur dann Überleben, wenn eine Auseinandersetzung mit komplizierten Lernaufgaben erfolgt.

Ein weiterer Vorteil dieser Lernform für das motorische Lernen ist, dass bei dieser Art und Weise des Lernens der Leistungsgedanke nicht im Vordergrund steht. Daher können einzelne Facetten, wie etwa das innere Abbild einer Bewegung oder die kinästhetische Empfindungsfähigkeit, intensiver berücksichtigt werden, welche unter Leistungsdruck und anderen Lernformen oftmals zu kurz kommen (Loosch, 1999, S. 175).

##### 4.1.5 Lernen durch Einsicht – Ein Licht geht auf

Das Aha-Erlebnis, welches typisch für das Lernen durch Einsicht ist, tritt immer dann auf, wenn von einem auf den anderen Moment plötzlich Zusammenhänge und Hintergründe einleuchtend erscheinen. Die Entwicklung neuer komplexer Strategien und der Zugewinn an Erfahrung und Wissen sind aber nicht immer nur durch einen Kenntniserwerb von außen bedingt. Auch die neuartige Verschaltung von bereits im Gedächtnis verankerten Informationsinhalten kann zur Lösung eines (Bewegungs-) Problems beitragen und ist somit wichtiger Bestandteil des kognitiven Lernens. Ausgelöst wird solch ein Vorgang entweder durch kritische Punkte der Leistungsentwicklung, oder durch die mengenmäßige Zunahme an im Gedächtnis gespeicherten Kenntnissen. Aus der bereits vorhandenen Menge an Wissen wird sozusagen aus sich selbst neues Wissen kreiert (Loosch, 1999, S. 175).

Es sind also primär kognitive Vorgänge, wie wahrnehmen, vorstellen, denken etc., die zu einer Aneignung und Umstrukturierung von Wissen führen. Anders als beim Lernen durch Ausprobieren werden Versuch und Irrtum nicht in der Realität durchgeführt, sondern nur gedanklich verfolgt. Die sprunghafte Einsicht, der Aha-Effekt, das Erfassen der Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge, das Verstehen von Situationen und Sachverhalten führt unter anderem dazu, dass der Zugewinn an Erfahrung und Wissen auch auf Ähnliches übertragen werden kann (Tücke, 2003, S. 127f).

Diese Art des Lernens ist also nur durch die Fähigkeit des Gehirns, sich ständig verändern und anpassen zu können, möglich. Wäre das menschliche Gehirn nicht plastisch und könnte nicht immer wieder neue Verbindungen zwischen einzelnen

Bestandteilen neuronaler Netze ausbilden, so würde nie der Ausspruch: „Mir geht ein Licht auf!“, zu hören sein.

Auch im Sport ist diese Art und Weise des Lernens häufig anzutreffen. Das Zurückgehen von Leistungen ohne offensichtlichen Grund beispielsweise zwingt die AthlethInnen und deren BetreuerInnen gründlich über Trainingsmethoden, Techniken und Strategien nachzudenken, um in weiterer Folge neue und erfolgreiche Wege beschreiten zu können. Gute SportlehrerInnen und TrainerInnen zeichnen sich daher durch ihre besondere Flexibilität und ihren Hang zur Innovation aus. Ein nicht gering zu schätzender Faktor dieser Art des Lernens ist auch, dass die andersartigen Verknüpfungen zwischen bereits vorhandenen Gedächtnisstrukturen nicht nur zu Aha-Erlebnissen führen, sondern häufig auch die Art und Weise des zukünftigen Lernens maßgeblich beeinflussen. Es verändert sich sozusagen die Herangehensweise an neue Probleme und Lernsituationen beziehungsweise wird das Lernen selbst gelernt (Loosch, 1999, S. 175).

### **4.2 Den Lernprozess allgemein beeinflussende Faktoren**

Unterschiedliche Umstände, wie etwa Umweltbedingungen, die physische oder psychische Disposition eines Individuums und vieles mehr, nehmen Einfluss auf die Prozesse der Informationsverarbeitung und -speicherung. Diese Faktoren wirken sich je nach ihrem Ausmaß, ihrer Konstellation und ihrer Bedeutung für das Individuum eher günstig oder ungünstig auf das Lernen aus. So stellt Spitzer (2003, S. 139) fest, dass „[w]er beim Lernen aufmerksam, motiviert und emotional dabei ist, [...] mehr behalten“ wird. Markowitsch (2006, S. 157) und Dordel (2003, S. 436) sind ebenfalls der Meinung, dass neben Intelligenz, besonders Motivation, Aufmerksamkeit bzw. Konzentration und emotionale Grundtönung eine wichtige Rolle für die Lern- und Gedächtnisleistung eines Individuums spielen.

Im Folgenden sollen daher diese, in der Literatur hervorgehobenen, den Lernprozess im Allgemeinen beeinflussenden Faktoren näher beleuchtet werden.

#### 4.2.1 Aufmerksamkeit und Konzentration

Da das informationsverarbeitende System zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine gewisse Menge von einprasselnden Informationsinhalten verarbeiten kann, muss es notwendigerweise über einen Mechanismus verfügen, um aus der unglaublich hohen Anzahl an Informationen jene herauszufiltern, welche für eine Weiterverarbeitung

relevant genug erscheinen. Diesen Mechanismus bezeichnet man als Aufmerksamkeit. Es erscheint daher als völlig einleuchtend, dass je stärker die Aufmerksamkeit auf bestimmte Aufgaben und Informationsinhalte gelegt wird, desto mehr (Aufmerksamkeits-) Ressourcen woanders abgezweigt werden. Umgekehrt gilt allerdings auch, dass je schlechter konzentriert eine Sache beziehungsweise Lernangelegenheit verfolgt wird, desto besser verarbeitet werden irrelevante, ablenkende Stimuli (Korte, 2009, S. 49).

Die Begriffe Aufmerksamkeit und Konzentration werden im alltagssprachlichen Gebrauch allerdings nicht immer eindeutig voneinander unterschieden. Es ist daher notwendig, diese Begrifflichkeiten zunächst voneinander abzugrenzen.

Memmert und Weickgenannt (2006, S. 77) unterscheiden Aufmerksamkeit, welche primär auf das Wahrnehmen gerichtet ist, von Konzentration, die sich auf das (Ver-)Arbeiten bezieht. Sie sehen Konzentration daher als eine besondere Form der Aufmerksamkeit, die sich durch einen erhöhten Grad an Absichtlichkeit und Anstrengung auszeichnet (Memmert & Weickgenannt, 2006, S. 80). Auch Korte (2009, S. 51) sieht die Konzentration als eine Sonderform der allgemeinen Aufmerksamkeit, die durch die willkürliche Ausrichtung eben dieser auf einen begrenzten Abschnitt unter weitgehender Ausschaltung von Störfaktoren, also einer Koordination, Steuerung und Kontrolle von auf das Individuum einprasselnden Reizen, charakterisiert wird. Spitzer (2003, S. 141) erklärt den Zusammenhang beziehungsweise Unterschied zwischen unterschiedlichen Formen der Aufmerksamkeit anhand folgenden Beispiels: RednerInnen, welche das Publikum um ihre geschätzte Aufmerksamkeit bitten, erwarten zweierlei Sachen. Zum einen verlangen sie Aufmerksamkeit im Sinne eines wachen Publikums und zum anderen wird die Abwendung von anderen Sachverhalten und gleichzeitige Fokussierung und Hinwendung auf den folgenden Beitrag gefordert. Von der allgemeinen, längerfristigen Aufmerksamkeit im Sinne von Vigilanz ist daher die selektive/gerichtete Aufmerksamkeit oder auch Konzentrationsfähigkeit in diesem Beispiel zu unterscheiden.

Darüber hinaus sei aber auch auf weitere Formen der Aufmerksamkeit wie die längerfristige Aufmerksamkeit bei hoher Reizfrequenz (Daueraufmerksamkeit), die geteilte/distributive Aufmerksamkeit bei Verteilung der Aufmerksamkeit auf mehrere Sinnesmodalitäten und die ungerichtete, allgemeine Aufmerksamkeit (alertness) verwiesen (Sturm, 2004, S. 4).

Dass Lernen einen aufmerksamen, wachen Geist voraussetzt, erscheint einleuchtend. „Das Ausmaß des Behaltens von dargebotenem Material ist abhängig davon, wie sehr wir uns diesem Material zuwenden, d. h. von Aufmerksamkeitsprozessen“ (Spitzer, 2003, S. 155). Sowohl die Erhöhung der allgemeinen Wachheit, als auch die selektive Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ort oder Aspekt der Wahrnehmung wirken sich positiv auf den Lernprozess aus. Besonders bedeutend für die Steuerung von Aufmerksamkeit und Bewusstsein ist vor allem das limbische System, welches unter anderem durch emotionale Evaluation darüber entscheidet, welche Informationsinhalte in einer gewissen Situation relevant sind. Korte (2009, S. 52) stellt daher fest, dass es meist nur sehr wenig nützt, wenn Eltern ihre Kinder zur Konzentration ermahnen oder ihnen vorschreiben, wann und auf was sie sich konzentrieren sollen.

Je höher allerdings die allgemeine Aufmerksamkeit ist, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit, dass bestimmte Erlebnisse oder Fakten gespeichert werden (Korte, 2009, S. 48). Bereits eine erhöhte allgemeine Aufmerksamkeit beschleunigt die Prozesse der Informationsverarbeitung. Korte (2009, S. 47) verweist in diesem Zusammenhang auf das Gesetz von Yerkes und Dodson (1908) (Abb. 27), welches besagt, dass mit zunehmender Erregung die Leistungsfähigkeit der Wahrnehmung und des Lernvermögens zunimmt. Während ein gewisses Optimum an Erregung also notwendig ist, um zu lernen, ist zu viel Erregung (Stress) schädlich, da dadurch die Leistungsfähigkeit abnimmt.

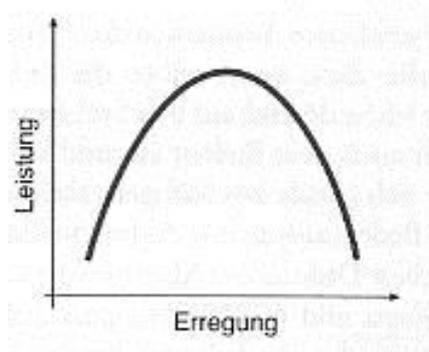


Abb. 27: Zusammenhang zwischen Erregung und Leistung - Gesetz nach Yerkes und Dodson (Spitzer, 2003, S. 142)

Die Darbietung eines Tonsignals beispielsweise aktiviert und erhöht die allgemeine Aufmerksamkeit, sodass nachfolgende einfache Unterscheidungs- und Reaktionszeitaufgaben weniger Zeit in Anspruch nehmen (Sturm, 2004, S. 4; Spitzer, 2003, S. 142). Spitzer (2003, S. 142) erklärt, dass das akustische Signal die Informationsverarbeitungsressourcen zwar nicht an einen bestimmten Ort führt, jedoch

das Gehirn im Allgemeinen aktiviert und dadurch eine Be- und Verarbeitung der nachfolgenden Informationsinhalte beschleunigt wird.

Korte (2009, S. 48) hebt besonders die Bedeutung der fokussierten oder auch selektiven Aufmerksamkeit für verschiedenste Lernprozesse hervor. Es ist damit die Fähigkeit gemeint, die es dem Menschen erlaubt, aus der Unmenge an Stimuli aktiv die in einer gewissen Situation relevant erscheinenden Reize herauszufiltern, um diese bevorzugt zu behandeln (Sturm, 2004, S. 47).

Posner et. al. (1980, S. 161) gehen daher den Vergleich mit einem Scheinwerfer ein, welcher als Feld des Bewusstseins die visuelle Aufmerksamkeit begrenzt. Damit soll verdeutlicht werden, dass es unmöglich ist, die Aufmerksamkeit gleichzeitig auf zwei räumlich voneinander entlegene Stellen zu richten. Dass die selektive Aufmerksamkeit allerdings nicht nur auf einem rein räumlichen Modell basiert, nach welchem die Verarbeitung von Informationen an einen bestimmten Ort des Gesichtsfeld gebunden ist, sondern auch an ein Objekt und dessen Weiterverarbeitung gebunden sein kann, konnte eine Studie von O'Craven et. al. (1999) zeigen. Mittels bildgebender Verfahren konnte gezeigt werden, dass sich beim Betrachten von räumlich überlagerten Bildern, bestehend aus Haus und Gesicht, wobei sich zusätzlich entweder das Gesicht oder das Haus bewegte, jeweils die Gehirnareale aktiviert wurden, welche für die Informationsverarbeitung jener Reize zuständig waren, auf welche gerade am stärksten geachtet wurde. Achtete ein Proband beispielsweise auf das Gesicht, so war das Gesichtsareal im Vergleich zum Hausareal aktiver. Achteten die Personen hingegen verstärkt auf die Bewegungen, so war das Bewegungsareal am stärksten aktiviert (O'Craven et. al., 1999, S. 584f).



**Abb. 28: Beispiel eines Stimulus (O'Craven et. al., 1999, S. 585)**

Diese Untersuchung zeigt nicht nur, dass das Bild des Scheinwerfers als Metapher der Aufmerksamkeit nur begrenzt verstanden werden darf, sondern verdeutlicht auch, dass

das Hinlenken der Aufmerksamkeit bestimmte Areale des Kortex aktiviert. Darin begründet sich unter anderem auch die Bedeutung der Aufmerksamkeit für das Lernen. „Während die Vigilanz die Aktivierung des Gehirns überhaupt betrifft, bewirkt die selektive Aufmerksamkeit die Zunahme der Aktivierung genau derjenigen Gehirnareale, welche die jeweils aufmerksam und damit bevorzugt behandelte Information verarbeiten“ (Spitzer, 2003, S. 155). Die vermehrte Aktivierung in einem bestimmten Areal bedeutet gleichzeitig damit auch erhöhte synaptische Aktivität (Spitzer, 2000, S. 159). Wie bereits im vorigen Kapitel erörtert, bedeutet Lernen neurowissenschaftlich gesehen eine Veränderung der synaptischen Verbindungen zwischen den Neuronen. Korte (2009, S. 51) und Spitzer (2000, S. 159) weisen in diesem Zusammenhang darauf hin, dass derartige Veränderungen allerdings immer nur an aktiven Synapsen stattfinden können. „Je aktiver ein neuronales Netzwerk ist, umso leichter können Informationen in ihm gespeichert werden“ (Korte, 2009, S. 51). Selektive Aufmerksamkeit bedeutet also eine Aktivierung der für die Informationsverarbeitung zuständigen Gehirnareale und resultiert in einer vermehrten synaptischen Tätigkeit, wodurch Lern- und Gedächtnisprozesse ermöglicht werden. „[V]ermehrte Aufmerksamkeit [bedeutet] im Endeffekt auch vermehrtes Lernen“ (Spitzer, 2000, S. 159).

Wie bedeutend die Hinwendung der Aufmerksamkeit auf die zu lernenden Informationsinhalte ist, konnte durch ein Experiment mit Affen gezeigt werden. Durch ein Frequenzdiskriminierungstraining, bei welchem den Affen sequenziell gereihete Töne dargeboten wurden, konnte festgestellt werden, dass die kortikale Repräsentation der Frequenzen zunahm. Dieser Effekt der Neuroplastizität konnte allerdings nur bei aufmerksamen Tieren beobachtet werden. Bei Affen, denen zwar dieselben akustischen Trainingsreize im gleichen Ausmaß zugekommen waren, die allerdings gleichzeitig mit einer anderen Aufgabe beschäftigt waren, konnte keine Vergrößerung der kortikalen Repräsentationsareale festgestellt werden (Recanzone et. al., 1993, S. 87ff).

Mangelnde Aufmerksamkeit ist daher ein Grund, warum es auch bei einem massiven Einstrom von Informationsinhalten nur zu einer geringen Aktivierung der Gehirnareale kommt, die für das Lernen der entsprechenden Inhalte zuständigen gewesen wären (Spitzer, 2003, S. 155). Es gilt daher, für möglichst viele aktive Synapsen in den für das Lernen wichtigen Arealen zu sorgen (Beer & Schwarz, 2012, S. 97).

Hier liegt vor allem die Bedeutung und der Ansatzpunkt von Bewegung im Allgemeinen als auch für koordinativ herausfordernde Bewegungen (siehe 4.2 und 4.3).

### 4.2.2 Emotionen und Motivation

Die emotionale Evaluation und dadurch bedingte Selektion von auf den Menschen einprasselnde Informationen hat nicht nur Auswirkung auf den für das Lernen so wesentlichen Aufmerksamkeitszustand, sondern stellt selbst einen bedeutenden Einflussfaktor auf Lern- und Gedächtnisvorgänge dar. „Interesse und Motiviertheit drücken sich im Aktivierungsgrad des noradrenergen Systems (Neugier, Belohnungserwartung) und des cholinergen Systems (gezielte Aufmerksamkeit, Konzentration) aus“ (Roth, 2004, S. 504).

Es ist vor allem also das Erwartungs- und Belohnungssystem, das den Menschen motiviert und unter anderem bestimmt, was gelernt wird. Das menschliche Gehirn ist ständig damit beschäftigt, vorherzusagen, was geschehen wird. Es berechnet sozusagen immer im Vorhinein, was demnächst eintreten wird. Aufgaben werden beispielsweise schon im Voraus danach bewertet, ob das Individuum glaubt, sie lösen zu können oder nicht. Sowohl eine zu schwierige als eine zu leichte Aufgabe haben dabei negative Auswirkungen auf das Erwartungs-Belohnungssystem. Auch wird vor dem Schmecken eines Getränks oder eines Essens beispielsweise versucht, dessen Geschmack und Wohlfühlwert schon vor dem Kosten zu erahnen. Stimmt das Erahnte mit dem überein, was tatsächlich eintritt, so wird es nicht weiter beachtet und somit auch nicht weiter verarbeitet. Für Lern- und Gedächtnisprozesse allerdings von Bedeutung sind Ereignisse, die sich von dem, was das Gehirn im Vorhinein berechnet hat, positiv abheben. Diese unerwartet positiven Sequenzen von Eindrücken oder Verhaltensweisen führen dazu, dass im Gehirn ein Signal erzeugt wird, welches dafür Sorge trägt, dass gelernt wird. Überraschendes und Positives haben daher einen hohen Rang, wenn es um das Lernen geht (Korte, 2009, S. 38f).

In einer Studie von Greene und Lepper (1974; in: Korte, 2009, S. 34f) wurden Volksschulkinder, die gerne malten, in drei Versuchsgruppen eingeteilt. Der ersten Gruppe wurde eine Belohnung für jedes gemalte Bild in Aussicht gestellt, während die zweite und dritte Gruppe ebenfalls gebeten wurde, etwas zu malen, ohne dass ihnen zuvor eine Belohnung versprochen wurde. Anders als zuvor abgesprochen wurde auch der zweiten Gruppe die gleiche Belohnung wie der ersten Gruppe gegeben. Lediglich die dritte Versuchsgruppe bekam zu keiner Zeit irgendeine Art von Belohnung. Nach zwei Wochen konnte festgestellt werden, dass die Kinder der ersten Gruppe weniger

Zeit mit dem Malen von Bildern aufwendeten als die Kinder der anderen beiden Gruppen und dass auch die Qualität ihrer Zeichnungen nachließ.

Korte (2009, S. 37) erklärt, dass die intrinsische Eigenmotivation der Kinder durch das in Aussichtstellen von Belohnung und dem Streben nach extrinsischer Belohnung quasi überschrieben wurde. Solche äußeren Anreize nützen sich jedoch relativ schnell ab, da im Belohnungssystem ein Gewöhnungseffekt entsteht. Spitzer (2003, S. 182) fasst daher zusammen, dass für optimales Lernen und der damit verbundenen Motivation „nicht der Absolutwert der Belohnung von Bedeutung ist, sondern deren Unerwartetheit“.

Verantwortlich dafür ist der Gehirnbotenstoff Dopamin, der in vielerlei Hinsicht die chemische Substanz ist, welche den Menschen antreibt. Dieser Neurotransmitter spielt, ob seiner vielfältigen Beteiligung an verschiedenen funktionellen Systemen im Gehirn, auch für das motorische System sowie für Belohnung und Motivation eine bedeutende Rolle. Die Dopamin produzierenden Nervenzellen sitzen vor allem im Mittelhirn (Area 10, Substantia nigra), wobei die Fasern in verschiedenste Hirngebiete, vor allem aber zum frontalen Kortex, das Striatum (Teil der Basalganglien) und in den Nucleus accumbens, der das Erwartungssystem mit dem Belohnungssystem verknüpft, verlaufen. Die dopaminergen Nervenfasern im Nucleus accumbens aktivieren ihrerseits wiederum Neuronen, welche Opioide produzieren und deren Fasern sich weit über den frontalen Kortex verzweigen. Führt also eine Verhaltensweise, bestimmte Handlungen oder Gedanken zu einer in dieser Form nicht erwarteten positiven Konsequenz, so wird das Dopamin-Belohnungssystem aktiviert, welches das Einprägen erleichtert und einen bedeutenden Einfluss auf die Motivation hat. Es wird nämlich zum einen festgehalten, dass belohnt wurde, warum belohnt wurde und in welchem Zusammenhang dies geschehen ist (Korte, 2009, S. 40ff).

Das Belohnungssystem, welches im Körper ein Gefühl der Euphorie erzeugt, stellt sich allerdings nicht nur bei Lernerfolg, sondern auch bei Drogenkonsum, sportlicher Betätigung (vgl. Kubesch & Spitzer, 1999), Verzehr von Schokolade (vgl. Small et. al., 2001), sozialen Erfolgserlebnissen (vgl. Kampe et. al., 2002), Musik (vgl. Blood & Zatorre, 2001) und vielem mehr ein.

Das Belohnungssystem kann seine Aktivierung daher auf unterschiedlichste Art und Weise erfahren. Neben dem Dopamin-Belohnungssystem können auch positiv besetzte Stimuli das Lernen fördern (Spitzer, 2003, S. 184).

Dass vor allem positiv Behaftetes leichter behalten und somit der emotionale Kontext einen bedeutenden Einfluss auf das Lernen hat, fand Erk et. al. (2003) in einer Studie mittels bildgebender Verfahren heraus. Probanden wurden Bilder präsentiert, die jeweils eine negative, positive oder neutrale Emotion hervorrufen, bevor ihnen jeweils ein neutrales Wort gezeigt wurde, welches sie in abstrakte oder konkrete Kategorien klassifizieren sollten. Es zeigte sich, dass die Wörter, welche in einem positiven emotionalen Kontext verarbeitet und eingespeichert wurden, am besten erinnert wurden (Tab. 2). Des Weiteren konnte festgestellt werden, dass je nachdem in welchem emotionalen Kontext die Wörter eingespeichert wurden, unterschiedliche Hirnregionen aktiviert waren. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen daher deutlich, wie eng Emotion und Kognition miteinander verbunden sind.

Subject	Words remembered <sup>a</sup>		
	Positive	Negative	Neutral
1	21 (6)	14 (4)	14 (4)
2	43 (12)	14 (4)	14 (4)
3	32 (9)	29 (8)	32 (9)
4	46 (13)	21 (6)	32 (9)
5	36 (10)	14 (4)	14 (4)
6	43 (12)	21 (6)	32 (9)
7	36 (10)	36 (10)	25 (7)
8	14 (4)	29 (8)	14 (4)
9	43 (12)	36 (10)	36 (10)
10	43 (12)	21 (6)	25 (7)
all	35.7	23.6	23.9

**Tab. 2: Darstellung der Ergebnisse der wiedergegebenen Wörter, geordnet nach dem emotionalen Kontext der Einspeicherung (Erk et. al., 2003, S. 443)**

Angst und andere primär negativ besetzte Emotionen bewirken zwar ebenfalls, dass rasch gelernt wird, sind jedoch, im Gegensatz zu positiven Konsequenzen, kognitiven Prozessen insgesamt nicht förderlich. Obwohl sich angstbesetzte Ereignisse in das menschliche Gedächtnis einzubrennen scheinen und daher oftmals, auch wenn dies gewollt wird, lange nicht vergessen werden können, verhindern sie jedoch genau das, was beim Lernen eigentlich erreicht werden soll (Spitzer, 2003, S. 161).

Beim Lernen geht es nach Spitzer (2003, S. 161) im Allgemeinen allerdings „nicht um ein einzelnes Faktum, sondern um die *Verknüpfung* des neu zu Lernenden mit bereits bekannten Inhalten und um die *Anwendung* des Gelernten auf viele Situationen und Beispiele“.

Werden die aus neurowissenschaftlichen Studien gewonnenen Einsichten über die den Lern- und Gedächtnisprozess im Allgemeinen beeinflussende Faktoren zusammengefasst, so sollte der Lernprozess also möglichst freudvoll gestaltet werden, da Gefühle

mächtige Motivatoren und Steuerelemente des Lernens sind. Denn nur wenn Lernsituationen als interessant und faszinierend empfunden werden, richtet sich die für das Lernen so fundamentale selektive Aufmerksamkeit auf Informationsinhalte und Tätigkeiten, die dem Gehirn wichtig erscheinen. Die Lernsituation muss den Lernenden also in irgendeiner Art und Weise als attraktiv erscheinen (Roth, 2004, S. 503). Außerdem bewertet das Gehirn ständig aktuelle, aber auch zukünftige Situationen, Inhalte und Verhaltensweisen, wodurch vor allem dem mit Neurotransmittern arbeitendem Erwartungs- und Belohnungssystem eine bedeutende Rolle zukommt. Nur wenn der Anspruch richtig dosiert ist, sodass Erfolg nicht zu Routine wird und somit vorhergesagt werden kann, funktioniert das Belohnungssystem optimal und begünstigt Lern- und Gedächtnisvorgänge. Es gilt daher, eine fördernde und zugleich fordernde Lernumgebung zu schaffen, um für das Verarbeiten und Speichern von Informationsinhalten optimale Voraussetzungen zu schaffen. Dies gilt natürlich auch für den Prozess des motorischen Lernens.

### **4.3 Motorisches Lernen**

Meinel und Schnabel (2007, S. 149) definieren das motorische Lernen als einen primär auf das Erlernen (Aneignen, Anpassen und Festigen) von Verhaltensweisen, Handlungen und Fertigkeiten gerichteten Prozess, welcher sich auf die motorische Leistung bezieht. Das motorische Lernen wird daher eher als prozedurales Lernen klassifiziert, obwohl sowohl implizite, als auch explizite, eher kognitive Komponenten mit diesem Lernprozess verbunden sind (Konczak, 2006, S. 625). Ziel dieses motorischen Lernprozesses ist immer die Bewältigung einer motorischen Aufgabenstellung durch die Steuerung und Koordination des Bewegungsverlaufs. Es geht also um den Erwerb, die Veränderung und den Erhalt von spezifischen, sensorischen, motorischen und kognitiven Funktionen, welche die Ausführung von konkreten Bewegungshandlungen in der Alltags- und Sportpraxis ermöglichen (Konczak, 2006, S. 625; Mechling, 1992, S. 323).

Motorische Fertigkeiten als zentrale Komponente des motorischen Könnens stehen daher im Vordergrund, während das Erlangen einer übergeordneten, allgemeinen motorischen Handlungsfähigkeit und die Komplettierung des motorischen Vermögens eher übergeordnete Ziele des motorischen Lernens darstellen. Nichtsdestotrotz wird der Prozess des motorischen Lernens erheblich von elementaren motorischen Fähigkeiten, wie etwa den koordinativen Fähigkeiten, beeinflusst (Meinel & Schnabel, 2007, S. 209).

### 4.3.1 Phasen und Stadien des motorischen Lernens

Im Grunde läuft die Entwicklung eines motorischen Lernprozesses in allen Bereichen des Sports gleich ab. In der Fachliteratur finden sich allerdings verschiedenste Einteilungen des motorischen Lernvorgangs in unterschiedliche Lernstufen oder Lernphasen, welche zumeist idealisiert dargestellt werden. Diese Heterogenität, wie sie bereits auch bei den unterschiedlichsten Strukturierungs- und Klassifizierungsansätzen koordinativer Fähigkeiten beobachtet werden konnte, resultiert primär aus differenzierten Betrachtungsweisen und Erklärungsansätzen der jeweiligen AutorInnen. Einen groben Überblick über die vielfältigen Phasenmodelle gibt die unten angeführte Tabelle, die allerdings nur ausgewählte Modelle des motorischen Lernens präsentiert.

Autor	Erklärungsansatz	Anzahl	Bezeichnung und Reihenfolge (n) der Phasen
Farfel (1960)	physiologisch	3	Irradiation (1), Konzentration (2), Automatisierung (3)
Fitts & Posner (1967)	psychologisch	3	cognitive (1), associative (2), autonomous (3)
Adams (1971)	psychologisch	2	verbal-motor (1), motor (2)
Gentile (1972)	psychologisch	2	getting the idea of the movement (1), fixation/diversification (2)
Meinel (1960)	morphologisch	3	Grobform (1), Feinform (2), Stabilisierung (3)
Fetz (1972)	verhaltensorientiert	3	naïve (1), Zuwendung (2), Feinform (3)
Mazničenko (1964)	trainingsmethodisch	5	erste Vorstellung (1), Grundfähigkeit (2), Präzisierung (3), Fertigkeit (4), variable Fertigkeit (5)
Lehnertz (1988)	trainingsmethodisch	2	Technikerwerb (1), Technikanwendung (2)

Tab. 3: Ausgewählte Phasenmodelle zum motorischen Lernen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 164)

Fitts und Posner (1976; in: Meinel & Schnabel, 2007, S. 164; Birklbauer, 2006, S. 337) gehen von einem psychologisch abgeleiteten Drei-Stufen-Modell aus, dessen Phasen während des motorischen Lernens sukzessiv durchlaufen werden. Nach diesem Modell versuchen die Lernenden in der ersten Phase zunächst einmal kognitiv zu verstehen, wie eine Bewegungsaufgabe gelöst werden kann. Die Bewegungsausführungen sind in dieser Phase noch sehr unsicher und instabil, da auf mehreren Wegen versucht wird, sich dem Ziel zu nähern. Da die Lernenden versuchen, die Aufgabe selbst zu verstehen beziehungsweise zu erkennen, was benötigt wird, um eine Bewegungsaufgabe zu lösen, können Kinder beim Bewegen oft bei Selbstgesprächen beobachtet werden. Adams (1971; in: Polatajko & Mandich, 2008, S. 28), der wiederum von einem Zwei-Stufen-Modell ausgeht, nennt diese Phase daher „verbal-motor stage“. In der zweiten,

assoziativen Phase wird die Konzentration von der Bewegungsauswahl auf die tatsächliche Bewegungsausführung verlagert. Adams (1971; in: Polatajko & Mandich, 2008, S. 28) spricht daher von der „motor stage“. In dieser Phase nimmt der Lernfortschritt zwar ab, die Bewegungen werden in ihrer Ausführung allerdings stabiler. In Fitts und Posners (1976) letzter Stufe des autonomen Stadiums werden die Bewegungen automatisiert, sodass sie trotz Störung gleichzeitig ablaufender Aktivitäten realisiert werden können. Das Bewegungsverhalten ist nunmehr konsistent und äußert sich in einem koordinierten und fließenden Bewegungsmuster.

Eine gewisse Ähnlichkeit in seinen Beschreibungselementen hat das Modell von Fitts und Posner (1976; in: Meinel & Schnabel, 2007, S. 164; Birklbauer, 2006, S. 337) daher mit der im deutschsprachigen Bereich wohl am weitesten verbreiteten und zitierten Einteilung des motorischen Lernprozesses nach Meinel und Schnabel (2007, S. 165ff). Sie differenzieren den Vorgang des Bewegungslernens dabei in drei Phasen:

- Entwicklung der Grobkoordination
- Entwicklung der Feinkoordination
- Stabilisierung der Feinkoordination und Entwicklung der variablen Verfügbarkeit

Die erste Lernphase beginnt beim ersten Kennenlernen, beim gedanklichen Erfassen des zu erwerbenden, neuen Bewegungsablaufs und reicht bis zu dem Stadium, in welchem die Bewegung bereits unter günstigen Bedingungen ausgeführt werden kann. Unter günstigen Bedingungen wird einerseits die Umwelt beziehungsweise das Umfeld, wie etwa das Erlernen des Skifahrens/Snowboardens auf gut präparierten, eher flachen und wenig frequentierten Pisten, und andererseits auf die persönliche Verfassung des Lernenden selbst verstanden. Motivation, Aufmerksamkeit und emotionaler Gemütszustand sowie andere den Lernprozess beeinflussende Faktoren sind in diesem Zusammenhang wichtige Faktoren. Es entsteht in dieser Phase also zunächst durch verbale Formulierung oder visuellen Input eine erste grobe und oft unvollständige Vorstellung vom Bewegungsablauf, auf die unmittelbar die ersten Bewegungsversuche folgen. Nach einigem Üben wird so das Stadium der Grobkoordination erreicht. Die Bewegungsausführung beziehungsweise die Technik der zu erlernenden neuen motorischen Bewegungshandlung ist in den Grundzügen zwar schon eindeutig erkennbar, weist allerdings noch erhebliche Mängel auf, da beispielsweise einzelne Teilbewegungen noch nicht richtig aufeinander abgestimmt werden können, ein

übermäßiger oder falscher Krafteinsatz dominiert und die Bewegung daher nicht flüssig erscheint. Die messbare Leistung schwankt im Stadium der Grobkoordination deshalb noch sehr stark. Die unzulängliche Bewegungskoordination, welche in dieser Phase typisch ist, wird vordergründig darauf zurückgeführt, dass sich der Vollzug der Bewegung hauptsächlich auf den äußeren Regelkreis (taktile, optische und akustische Wahrnehmung) stützt. Die groben Korrekturen, welche auf Basis dieser Informationen möglich sind, kommen allerdings meist zu spät (Meinel & Schnabel, 2007, S. 165ff).

Die Phase zwischen dem Stadium der Grobkoordination und dem annähernd fehlerfreien Ausführen der Bewegung wird als Entwicklung der Feinkoordination bezeichnet. Die Entwicklung von der Grob- zur Feinkoordination verläuft allerdings meist nicht in einem kontinuierlichen Prozess. Bei gewohnten und günstigen Übungsbedingungen kann die geforderte Bewegung nun bereits in vollem Ausmaß und mit Leichtigkeit durchgeführt werden. Die Technik entspricht weitestgehend ihrer Zielform und erfüllt den Bewegungszweck. In dieser Phase des motorischen Lernprozesses sind daher schon relativ beständige Leistungen unter gewohnt günstigen Umständen möglich. Treten jedoch Störeinflüsse auf, so stellen sich wieder gröbere Fehler ein, sodass Rückfälle in eben erst überwundene Mängel der Bewegungsausführung oder Fehlversuche verzeichnet werden müssen. Im Falle des Erlernens des Skifahrens oder Snowboardens bedeutet das, dass die Lernenden die Bewegungsausführung unter guten Umweltbedingungen und günstigen persönlichen Voraussetzungen (aufmerksam, motiviert) spielend leicht umsetzen können. Je größer und stärker die die Bewegungsausführung störenden Faktoren, wie beispielsweise Müdigkeit, schlechte Schnee- und Sichtverhältnisse, jedoch werden, umso fehlerhafter wird die Bewegungsausführung. Allerdings kann es auch ohne ersichtliche Gründe zu Rückschlägen oder einer Stagnation des motorischen Lernfortschritts kommen. Das Ergebnis dieser zweiten Phase im motorischen Lernprozess wird als Stadium der Feinkoordination bezeichnet. Es kommt zu einem optimalen und zweckmäßigen Zusammenspiel der Kräfte und Teilbewegungen, sodass die Bewegungsausführungen unter bekannten und günstigen Bedingungen als flüssig, harmonisch, präzise und konstant bezeichnet werden können. Dies erklärt sich vor allem durch die Vervollkommnung der Prozesse der Bewegungskoordination, welche auf die Präzisierung der Informationsaufnahme und -verarbeitung zurückzuführen sind, da in dieser Phase die Bewegungssteuerung schon weitgehend über den inneren Regelkreis

(vornehmlich kinästhetische Wahrnehmungen) verläuft (Meinel & Schnabel, 2007, S. 174ff).

In der dritten und letzten Lernphase dieses Modells nach Meinel und Schnabel (2007) soll die Feinkoordination der Bewegung stabilisiert und ihre variable Verfügbarkeit entwickelt werden. In dieser Phase wird das Ziel verfolgt, die Bewegung beziehungsweise die Technik gegen jegliche Art von Störeinflüssen zu festigen, um sie jederzeit, auch unter schwierigen Bedingungen, erfolgreich anwendbar zu machen. Der Fokus liegt hier primär auf dem Wettkampfbereich. Unter optimalen Bedingungen ist das äußere Erscheinungsbild dieser dritten Lernphase nämlich nicht von dem Erscheinungsbild der zweiten Lernphase zu unterscheiden. Erst bei der Bewegungsausführung unter erschwerten Bedingungen oder im Wettkampf heben sich die Lernenden dieser dritten Lernphase durch Bewegungspräzision und Bewegungskonstanz von denen der zweiten Lernphase ab. Diese dritte Phase der stabilisierten und variabel verfügbaren Feinkoordination von Bewegungen kann allerdings niemals restlos abgeschlossen werden, da stets weiteres Lernen erforderlich ist (Meinel & Schnabel, 2007, S. 187ff).

Kritik an dieser Phaseneinteilung nach Meinel und Schnabel (2007) basiert häufig auf der Feststellung, dass sich die Einteilung in unterschiedliche Stadien des motorischen Lernprozesses stark an äußeren Merkmalen der Bewegung orientiert und zu wenig auf die innere Entwicklung der Lernenden eingeht. Des Weiteren scheinen sich auch die Grenzen in diesem Phasenmodell nicht klar voneinander unterscheidbar zu sein, sodass die Übergänge zwischen den Stadien verschwimmen und sich eine Zuordnung von „übungsmethodischen Mitteln und Methoden“ als schwierig gestaltet (Loosch, 1999, S. 191).

Die Beschreibung der dritten Phase nach Meinel und Schnabel (2007) postuliert zudem, dass erst nach der Entwicklung der Grob- und Feinkoordination ein variables und situatives Üben einsetzen sollte. Dies steht allerdings im Gegensatz zu einer Reihe von anderen Konzepten, wie etwa dem Modell nach Roth (1990; in: Birklbauer, 2006, S. 343), welches sich auf die Schematheorie nach Schmidt beruft, und bereits für ein frühes variables Trainieren plädiert.

Roth (1990; in: Birklbauer, 2006, S. 343) gliedert den motorischen Lernprozess ebenfalls in einem dreistufigen Modell in drei Hauptformen:

- Neuerwerb von Bewegungen (Neulernen)
- Optimieren von Bewegungen I (Variationslernen)
- Optimieren von Bewegungen II (Präzisierung und Stabilisierung)

In der ersten Lernphase geht es um die Aneignung eines neuen motorischen Grundprogramms. „Dieses soll nur einige wenige invariante, unaustauschbare Elemente enthalten, die die interne Korrelate der angesteuerten äußeren Strukturmerkmale repräsentieren“ (Roth, 1990, S. 27; in: Birklbauer, 2006, S. 343). In der zweiten und dritten Phase dieses Modells sollen zusätzliche programmspezifische Schemaregeln in das Grundprogramm eingegliedert werden, damit eine variable, präzise und stabile Ausführung der Bewegung möglich wird. Dieses Konzept des motorischen Lernprozesses nimmt daher offensichtlich Bezug auf die Schematheorie nach Schmidt.

Schmidts (1994) Theorie basiert im Wesentlichen auf der Annahme, dass komplexe Bewegungen von zwei unabhängigen Arten des motorischen Gedächtnisses kontrolliert werden – dem Erinnerungsschema (recall-schema) und dem Wiedererkennungsschema (recognition-schema). Während das Recall-Schema jene Informationen beinhaltet, die vor Beginn einer Bewegung wichtig sind und durch open-loop Prozesse schnelle, kurz andauernde Bewegungen kontrolliert, umfasst das Recognition-Schema Informationen, welche die jeweilige Bewegungsausführung betreffen. Durch Abgleich mit zuvor gemachten Bewegungserfahrungen können daher durch closed-loop Mechanismen länger andauernde Bewegungen kontrolliert werden. Weiters geht Schmidt von motorischen Programmen aus, die durch die Korrelation der Invarianten (sequencing, relative timing, relative forces) situationsspezifisch angepasst werden können. Neue Bewegungen werden demnach durch das Anpassen und Verändern bereits bestehender Bewegungsmuster erlernt.

In Anlehnung an das Stufenkonzept von Meinel und Schnabel (2007) und beziehungsweise auf die Schema Theorie nach Schmidt, stellt Loosch (1999, S. 191ff) drei abgrenzbare Phasen des motorischen Lernens dar:

- Phase der Aneignung und Vollzugsorientierung
- Phase der Vervollkommnung und Individualisierung
- Phase der Perfektionierung und Leistungsorientierung

In der ersten Phase geht es nach Loosch (1999, S. 191) primär darum, das Interesse der Lernenden durch abwechslungsreiche Methoden und Mittel sowie bereits durch ein

variables Üben zu fördern und sie an regelmäßiges und systematisches Üben heranzuführen. Dabei sollte das freudvolle, aber dennoch zielbetonte Üben, unter weitestgehender Vernachlässigung des Leistungsaspektes, die Entwicklung einer qualitativ hochwertigen Technik begünstigen. Als besonders wichtige Hilfen und Ansatzpunkte in dieser Phase werden die Beobachtung der Lernenden und die Demonstration der Lehrenden angeführt. Obwohl die sportliche Leistung in dieser Phase noch relativ stark schwankt und die koordinative Abstimmung von Teilbewegungen noch mangelhaft ist, zeichnen sich dennoch sehr schnell Erfolge ab (Loosch, 1999, S. 191ff).

Nach und nach flacht die Lernkurve dann allerdings ab, da der Entwicklungsstand der Leistung bereits ein hohes Niveau erreicht und sich stabilisiert hat. Daher sollte der Leistungsaspekt in der Phase der Vervollkommnung und Individualisierung vermehrt als Motivationsschub herangezogen werden. Das Hauptaugenmerk in dieser Phase des motorischen Lernprozesses sollte, neben einer Eliminierung von Schwächen, vor allem auf das Herausbilden von persönlichen Stärken und somit die Individualisierung einer sportlich optimalen Bewegungsausführung gelegt werden. Wiederum sollte auch zu diesem Zeitpunkt des Bewegungslernens auf ein variables Üben geachtet werden, um die Ausformung motorischer Programme möglichst flexibel zu halten (Loosch, 1999, S. 193f).

Die dritte Phase der Perfektionierung und Leistungsorientierung ist vorwiegend dem Leistungssport oder dem sehr forcierten Freizeitsport vorbehalten. Das gesamte Lernen ist zu diesem Zeitpunkt auf die Zielleistung ausgerichtet, da hier vor allem die Optimierung und Perfektionierung leistungsbestimmender Faktoren im Vordergrund steht (Loosch, 1999, S. 194f).

Ogleich der unterschiedlichen Ansätze und Konzeptionen darüber, welche unterschiedlichen Stufen und Phasen während des motorischen Lernprozesses durchlaufen werden, herrscht allgemeine Übereinstimmung darüber, dass der Verlauf des motorischen Lernens keinen stetigen Prozess darstellt, welcher durch einen permanenten Leistungsanstieg charakterisiert ist, sondern vielmehr immer wieder stagniert, um danach wieder sprunghaft einzusetzen (Abb. 29) (Loosch, 1999, S. 177).

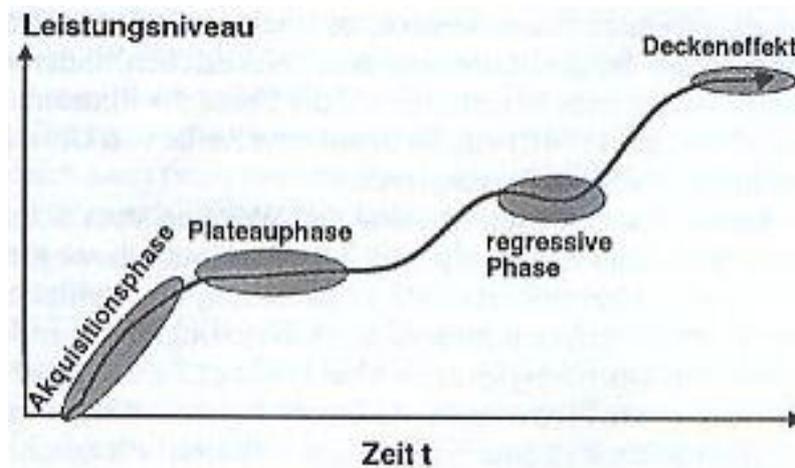


Abb. 29: Idealisierte Verlaufskurve eines Leistungskriteriums beim motorischen Lernen (Loosch, 1999, S. 177)

Charakteristisch für den motorischen Lernprozess ist, dass es bereits am Beginn des Erlernens einer nicht zu komplexen Aufgabenstellung recht schnell zu einem Anstieg der Verlaufskurve (Akquisitionsphase) kommt. In dieser Phase können die Lernenden im leichten und mittelschweren Anforderungsbereich sehr schnell Lernerfolge verzeichnen. So kann bereits schon nach wenigen Versuchen – natürlich in Abhängigkeit von der individuellen Ausprägung der motorischen Fähigkeiten, abgestimmt auf die Schwierigkeit der Lernaufgabe – die Grobform von Bewegungen ausgeführt werden. Es gilt daher dafür zu sorgen, dass eine Aufgabe weder zu leicht, noch zu schwer gestellt wird, sondern dem Entwicklungs- und Leistungsstand der SchülerInnen angepasst wird (Dordel, 2003, S. 437). Anders verhält es sich allerdings bei sehr komplexen motorischen Fertigkeiten, da in diesem Fall zunächst Grundlagen und Teilfertigkeiten geschaffen werden müssen, um die komplexe Bewegungshandlung in ihrer Grobform durchführen zu können. Der Anstieg der Verlaufskurve in der Akquisitionsphase von komplexen Fertigkeiten gestaltet sich daher verzögert, stufenförmig oder sprunghaft (Loosch, 1999, S. 177f).

Im weiteren Verlauf des Lernprozesses verlangsamen sich nach Loosch (1999, S. 178) schließlich meist die Zuwachsraten in der Leistung, sodass eine Stagnation (Plateaubildung) oder sogar eine Regression (regressive Phase) zu verzeichnen ist. Diese Phasen müssen nicht unbedingt zwingend, können allerdings auch öfter als nur einmal im motorischen Lernprozess vorkommen. Die Existenz solcher Lernplateaus ist allerdings bis heute durch Studien nicht eindeutig be- oder widerlegt worden, weshalb sie von Zimmermann und Kaul (2001, S. 136ff) auch als „Phantom“ bezeichnet werden. Meinel und Schnabel (2007, S. 175) erklären, dass selbst, wenn nach außen hin und für das subjektive Empfinden trotz gleichem oder höherem Übungsaufwand ein

Leistungszuwachs auszubleiben scheint oder die Leistung sogar stagniert, „der Lernprozess in den komplizierten neurophysiologischen Prozessen der sensomotorischen Koordination fortschreitet“. Es muss also angenommen werden, dass das bereits Gelernte und Gespeicherte umstrukturiert wird, um im Anschluss effektiver damit umgehen zu können (Loosch, 1999, S. 178).

Plateau- und regressive Phasen stellen vor allem in der Praxis eine große Herausforderung an die Lernenden und Lehrenden. Die Problematik liegt hierbei meist nicht in der technologischen Bewältigung dieser kritischen Entwicklungen im Laufe des motorischen Lernprozesses, sondern vor allem in der sozialpsychologischen und strategischen Begegnung. Lernende scheinen oft an genau solchen Punkten des Lernprozesses den Mut zu verlieren. Es ist daher wichtig, dass sich Lehrende über die nicht unerheblichen Chancen der Weiterentwicklung, welche auf Stagnation und Regression folgen können, bewusst sind und diese auch an die Lernenden weitervermitteln (Loosch, 1999, S. 177).

Festzustellen ist, dass je höher das Leistungsniveau der Bewegungslernenden bereits ist, desto langsamer kommt es zu Verbesserungen, bis schließlich das Maximum beziehungsweise der Grenzwert (Deckeneffekt) erreicht wird. Bei welcher Leistung Grenzwerte für die unterschiedlichen Leistungsparameter liegen, kann nicht für alle Individuen gleichermaßen vordefiniert werden. Das einzige Anzeichen dafür, dass das persönliche Limit erreicht wurde, ist die Stagnation der Leistung über einen langen Zeitraum. Selbst dann können allerdings noch, wie bereits oben beschrieben, Leistungssprünge durchaus vorkommen (Loosch, 1999, S. 179).

Während des motorischen Lernens gilt es zu beachten, dass es nach eingelegten Pausen häufig zu einer kurzfristigen Veränderung des Leistungsniveaus kommt, welche sich sowohl positiv als auch negativ gestalten kann. Tritt eine verminderte Leistungsfähigkeit nach einer Pause auf, sodass die Lernenden wieder etwas Zeit benötigen, um auf das Niveau zu gelangen, auf welchem die letzte Übungseinheit beendet wurde, so spricht Loosch (1999, S. 179) vom „Aufwärmeeffekt“. Dieser basiert meist nicht auf dem Vergessen des zuvor Geübten, sondern auf veränderten leistungsrelevanten Einstellungen (psycho-physisches und/oder muskulär). Der gegenteilige Vorgang, bei welchem es zu einem Anstieg der Leistung nach einer Pause kommt, wird als Reminiszenz bezeichnet. Dieser Effekt ist besonders auch in Bezug zum mentalen Lernen von Bedeutung, kann allerdings auch beim motorischen Lernen

beobachtet werden. Das Phänomen der Reminiszenz wird darauf zurückgeführt, dass neue Informationsinhalte, die zunächst nur im Kurzzeitgedächtnis gespeichert sind, einige Zeit benötigen, um sich zu strukturieren und in den Langzeitspeicher übernommen zu werden (Loosch, 1999, S. 179).

Dieser Vorgang geht allerdings keinesfalls passiv vonstatten. Nur durch die Beschäftigung mit den bereits eingelagerten Informationsinhalten (siehe 3.3 sowie 4.1.2) können diese verarbeitet, umstrukturiert und dauerhaft eingespeichert werden. Nach diesem aktiven Prozess der Verarbeitung und Umstrukturierung können die gespeicherten Informationen scheinbar besser abgerufen werden und es kommt zu einem Anstieg des Leistungsniveaus (Loosch, 1999, S. 179).

#### 4.3.2 Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf den motorischen Lernprozess

Bereits in der Beschreibung der einzelnen Lernphasen nach Meinel und Schnabel (2007, S. 165ff) zeigt sich, dass die (Bewegungs-) Koordination eine entscheidende Komponente im motorischen Lernprozess einnimmt. Sie stellt einen leistungsbestimmenden Faktor dar und ist somit ein wichtiges Kriterium für die Ausführung und Klassifizierung von Bewegungen. Sind die zu erlernenden Bewegungen anfänglich in ihrer Grobform durch einen eher mangelhaften Bewegungsrhythmus, eine unzureichende oder falsch ausgeprägte Kopplung von Teilbewegungen sowie einen schlechten Bewegungsfluss gekennzeichnet, so werden sie nach und nach, im weiteren Verlauf des motorischen Lernprozesses und Übergang zur Feinform, immer flüssiger, rhythmischer, ökonomischer, präziser und konstanter. Diese in der konkreten Bewegungsausführung beobachtbaren morphologischen Merkmale scheinen allein schon aufgrund ihrer Bezeichnung eng verbunden mit identifizierten koordinativen Fähigkeiten zu sein. Es mag daher auf der Hand liegen, dass eine Verbesserung der allgemeinen Bewegungskoordination und, damit verbunden, eine Ausbildung ihrer zugrunde liegenden Eigenschaften, den koordinativen Fähigkeiten und den Lernprozess in bedeutendem Ausmaß positiv beeinflusst.

Wie bereits schon im anfänglichen Kapitel zur Wesensbestimmung der koordinativen Fähigkeiten beschrieben, stehen motorische Fähig- und Fertigkeiten in engem Zusammenhang miteinander. Bös (2003, S. 85) merkt an, dass sich Fähigkeiten in beobachtbaren Fertigkeiten ausdrücken und rückwirkend wiederum durch das Üben eben dieser beeinflusst werden. Koordinative Fähigkeiten „entwickeln und verfestigen sich in der sportlichen Tätigkeit“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 215). Auch Hirtz (2002,

S. 42) betont, dass koordinative Fähigkeiten in allen Phasen des motorischen Lernprozesses wichtig sind und durch den Prozess des Erlernens, Stabilisierens und Anwendens gleichzeitig perfektioniert werden. Dies soll allerdings nicht bedeuten, dass die koordinativen Fähigkeiten nur durch das Erlernen und Üben motorischer Fertigkeiten ausgebildet werden. Für die systematische Schulung und Entwicklung sind demnach spezifische Methoden anzuwenden (Hirtz, 2002, S. 42).

Insgesamt gilt es allerdings als gesichert, dass das Erlernen von motorischen Fertigkeiten und der Ausprägungsgrad koordinativer Fähigkeiten untrennbar miteinander verbunden sind. Der jeweilige Entwicklungsstand der koordinativen Fähigkeiten ist daher mitbestimmend für das Tempo und den Verlauf beim Erwerb von Bewegungsfertigkeiten (Meinel & Schnabel, 2007, S. 216; Zimmermann et. al., 2002, S. 27).

Hirtz und Wellnitz (1985), welche schon vor etwa 30 Jahren den Zusammenhang zwischen der Ausprägung koordinativer Fähigkeiten und motorischem Lernprozess untersuchten, konnten im Schulsportbereich nachweisen, dass SchülerInnen, denen eine betont koordinative Ausbildung zuteilwurde, nach einer definierten Lernzeit bei der Ausführung neu gelernter Bewegungen bessere Ergebnisse als gleichaltrige VergleichsschülerInnen erzielen konnten. Zudem zeigte ein enormer Anstieg der Lernkurve bereits nach wenigen Übungsversuchen (38 % gegenüber 9 % bei den SchülerInnen der Vergleichsgruppe), dass vielseitige koordinative Befähigung den motorischen Lernprozess in starkem Maße verkürzen kann. Ergebnisse, welche einen Zusammenhang zwischen einer erhöhten koordinativen Leistungsfähigkeit und einer besseren motorischen Lernfähigkeit nachweisen, konnten auch durch andere ähnliche Studien erbracht werden (vgl. Hirtz & Starosta, 2000; Zimmermann & Nicklisch, 1981).

Dass der Grad der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten den Verlauf des motorischen Lernens derart positiv beeinflusst, ist vor allem auf eine größere Plastizität und Variabilität der Bewegungssteuerungsprozesse sowie einer größeren Bewegungserfahrung zurückzuführen (Hirtz, 2002, S. 42). Personen mit einer breiten koordinativen Basis können also im motorischen Lernprozess auf bereits gemachte Bewegungserfahrungen und somit vorhandene Bewegungsmuster der psychomotorischen Bewegungssteuerungsprozesse zurückgreifen, diese miteinander verknüpfen und an die neuartige Bewegungsaufgabe anpassen. Dies führt zu einem

effizienteren motorischen Lernen (Stark, 2010, S. 73; Weineck, 2010, S. 804; Zimmermann et. al., 2002, 32).

Die koordinativen Fähigkeiten bilden somit die Basis einer guten sensomotorischen Lernfähigkeit (Stark, 2010, S. 73). Gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten erleichtern nicht nur die Wahrnehmung von äußeren Bedingungen und Situationen, sondern sind auch dafür verantwortlich, dass die jeweiligen Bewegungen rascher an wechselnde äußere Zustände angepasst werden können. So tragen beispielsweise eine gute kinästhetische Differenzierungsfähigkeit, Gleichgewichtsfähigkeit und räumliche Orientierungsfähigkeit dazu bei, dass das Skifahren/Snowboarden nicht nur sehr rasch in der Grobform gelernt wird, sondern die Zielbewegung auch bei schlechteren Sicht- oder Schneebedingungen umgesetzt werden kann.

Markowitsch (2002, S. 173) betont daher, dass einer „möglichst vielfältigen Stimulation und Bildung in der Kindheit und Jugend die allergrößte Bedeutung“ zukommen muss. Dies trifft nicht nur für den Geist, sondern auch für den Körper zu. Denn eine Umgebung, die Kindern und Jugendlichen das Sammeln vielfältiger Bewegungserfahrungen und somit die Entwicklung ausgeprägter motorischer Fähigkeiten und Fertigkeiten ermöglicht, wirkt sich nicht nur positiv auf das motorische Lernen aus.

### **4.4. Mentales Lernen**

Von dem motorischen Lernen gilt es laut Meinel und Schnabel (2007, S. 149) das mentale Lernen zu unterscheiden, welches „vornehmlich auf die Aneignung von Wissen sowie von geistigen Fähigkeiten und Fertigkeiten“ gerichtet ist. Die beim geistigen Lernen verarbeiteten Informationsinhalte werden daher eher dem expliziten Wissenssystem und dem episodischen Gedächtnis zugeordnet.

Bereits in der griechischen Philosophie wurde der Beziehung zwischen Körper und Geist nachgegangen, wobei sich dabei der Dualismus und die holistische Sichtweise gegenüberstanden. Erst seit dem Schweizer Entwicklungspsychologen Jean Piaget (1936) wird von einem definitiven Zusammenhang zwischen motorischen und kognitiven Fähigkeiten ausgegangen. Dass Bewegung und Kognition somit eng verbunden sind, steht außer Frage. „[M]ental activity is embodied – though is always grounded in perception and action“ (Spencer et. al., 2006, S. 1529). Spitzer (2012, S. 167) schreibt, dass Menschen nicht nur Augetiere, sondern auch „Bewegungstiere“ sind, da insgesamt etwa zwei Drittel des menschlichen Gehirns dem Sehen und dem

Planen beziehungsweise Ausführen von Bewegungen gewidmet sind. Kempermann (2012, S. 700) schlägt in die gleiche Kerbe und führt vor Augen, dass sogar Gedanken den Körper nur durch motorische Äußerungen (Schreiben, Sprechen, Handeln) verlassen können. Das menschliche Gehirn kann daher gar nicht anders, als Bewegungen zu steuern.

Bezüglich des Wirkungszusammenhangs zwischen Bewegung und Kognition wird mittlerweile davon ausgegangen, dass Bewegung gut für das Lernen ist, da die Hirnfunktionen verbessert, die Stimmung aufgehellt und somit die Lernleistung gesteigert werden kann (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 24f; Spitzer, 2012, S. 323; Blakemore & Frith, 2006, S. 194). Es zeigt sich nämlich immer öfters, dass „echtes Jogging dem ‚Hirnjogging‘ überlegen“ ist (Kempermann, 2012, S. 698).

Folgend soll daher erörtert werden, was durch Bewegung im Gehirn konkret bewirkt wird und wie koordinative Fähigkeiten als bedeutende Komponenten motorischer Leistung den mentalen Lernprozess beeinflussen.

##### 4.4.1 Auswirkung motorischer Aktivität auf Gehirnstrukturen

Zahlreiche empirische Studien setzten sich bisher mit den Zusammenhängen zwischen motorischer Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit auseinander (vgl. Müller & Obier, 2001; Tremblay et. al., 2000; Shepard, 1997; Dwyer et. al., 1983). Es handelt sich dabei allerdings nur um Einzelstudien, die relativ markante Ergebnisse zum Vorschein brachten. Deshalb sei besonders auf die Meta-Analyse von Sibley und Etnier (2003) verwiesen, die zeigte, dass körperliche Aktivität beziehungsweise die Teilnahme an einem angebotenen Bewegungs- und Sportprogramm mit einer besseren kognitiven Leistungsfähigkeit, im Umfang von einem Viertel Standardabweichung, assoziiert werden kann. Was allerdings verändert sich im menschlichen Gehirn während körperlicher Aktivität, dass solch positive Auswirkungen auf den Informationsverarbeitungs- und Informationsspeicherungsprozess beobachtet werden können?

Durch unterschiedlichste Untersuchungen und Studien konnten vor allem folgende vier Effekte von Bewegung auf das menschliche Gehirn nachgewiesen werden:

- Steigerung der Gehirndurchblutung sowie Bildung neuer Blutgefäße
- Stimmungsaufhellung durch vermehrte Blutkonzentration chemischer Substanzen

- Stimulation der Ausbildung synaptischer Verbindungen (Plastizität)
- Neurogenese im Hippokampus

Lange Zeit wurde angenommen, dass sich die Anpassungserscheinungen regelmäßiger körperlicher Aktivität mehr auf die allgemeine Gesundheit beziehen würden, als auf neurobiologische Strukturen. Dass allerdings regelmäßige Bewegung nicht nur Skelettmuskeln, sondern auch das Gehirn trainiert, gilt erst seit einigen Jahren als gesichert (Blakemore & Frith, 2006, S. 194).

Hollmann und Strüder (2000, S. 950) konnten in Fahrradergometeruntersuchungen erstmals signifikant regionale Durchblutungssteigerungen im Gehirn von unterschiedlicher Intensität nachweisen. Bereits bei einer Belastungsstufe von 25 Watt, welche etwa einem langsamen Spaziergangstempo entspricht, zeigte sich bei den Probanden eine gesteigerte Gehirndurchblutung um 20 Prozent. Intensivere körperliche Aktivität mit einer Belastungsintensität von etwa 100 Watt (langsames Joggen) steigerte die Durchblutung um etwa 30 Prozent. Diese durch körperliche Aktivität bedingte gesteigerte Gehirndurchblutung bedingt eine bessere Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff und Nährstoffen und wirkt somit wie ein „Energiekick für das Denken“ (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 23).

Interessant erscheint zudem, dass neben körperlicher Aktivität in Form von Ausdauerbelastungen vor allem auch Bewegungen der Finger die Gehirndurchblutung erhöhen. Hollmann und Strüder (2000, S. 950) führen dies auf die Größe ihrer neuronalen Repräsentation zurück. Obwohl beide Hände nur ungefähr 2 Prozent der gesamten Körpermasse darstellen, sind sie in etwa 60 Prozent des Kortex neuronal repräsentiert. Dies ist die Ursache, warum auch Fingerbewegungen analog zum Klavierspielen eine Durchblutungssteigerung zwischen 20 und 30 Prozent in rund 60 Prozent des menschlichen Gehirns bewirken können. So sind kleine Fingerspiele, die Erwachsene mit ihren Kindern in aller Welt durchführen, keineswegs als altmodisch zu bezeichnen, sondern tragen wesentlich zu einer optimalen Gehirnentwicklung bei (Spitzer, 2012, S. 167f).

Langfristig gesehen bedingt die durch körperliche Aktivität gesteigerte Gehirndurchblutung auch eine Neubildung von Blutgefäßen im Gehirn. Wie im Herzen und anderen Skelettmuskeln führt regelmäßige Bewegung somit auch im Gehirn zu einer verstärkten Kapillarisation. Das wiederum ermöglicht eine verbesserte Sauer- und Nährstoffversorgung im Gehirn. In Tierstudien konnte herausgefunden werden,

dass spezielle Wachstumsfaktoren für die Entstehung neuer Blutgefäße im Gehirn verantwortlich sind. Diese sind der vaskulo-endotheliale Wachstumsfaktor (VEGF) und der „insuline-like growth factor“ (Cotman & Berchtold, 2002, S. 97) (IGF-1). Besonders bei körperlicher Aktivität werden diese beiden Wachstumsfaktoren vermehrt produziert, sodass die Bildung neuer Kapillaren im Gehirn begünstigt wird. Es besteht somit ein direkter Zusammenhang zwischen Bewegung, einer erhöhten Durchblutung und verstärkter Kapillarisation des Gehirns. Somit schaffen Menschen, die sich regelmäßig körperlich betätigen, günstigere (neuro-) physische Voraussetzungen für kognitive Leistungen (Voelcker-Rehage et. al, 2013, S. 24).

Aber nicht nur die Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff und Nährstoffen nimmt zu, sondern auch die Blutkonzentration chemischer Substanzen, welche die Stimmung beeinflussen, wird gesteigert (Blakemore & Frith, 2006, S. 193). Zahlreiche Menschen haben die positiven Effekte von Bewegung auf das Gemüt bereits am eigenen Leib verspürt und schwören auf diesen Stimmungsaufheller. Körperliche Aktivität wird daher mittlerweile gezielt bei der Behandlung von Depressionen und anderen psychischen Krankheiten als rehabilitative, prophylaktische oder therapeutische Maßnahme empfohlen (Kempermann, 2012, S. 698).

Hollmann und Strüder (2000, S. 951) etwa konnten im Rahmen ihrer Fahrradergometeruntersuchungen nachweisen, dass das Schmerzempfinden aufgrund einer erhöhten Endorphinausschüttung direkt nach einer erschöpfenden Belastung abnahm. In einer früheren Studie untersuchten sie mittels PET bei Fahrradergometerarbeit das Stoffwechselverhalten der Probanden und stellten fest, dass körperliche Betätigung die freien Fettsäuren im Blut ansteigen lässt, wodurch mehr Tryptophan von der gebunden in eine freie Form übergeht, durch einen Carrier in das Gehirn transportiert wird und dort in Serotonin, im Volksmund oft als „Glückshormon“ bezeichnet, umgewandelt wird (Strüder et. al., 1999, S. 538). Weiters steigt bei einer submaximalen körperlichen Tätigkeit die Blutkonzentration an Noradrenalin und Dopamin an, welche ebenfalls die Stimmung positiv beeinflussen (Hollmann & Strüder, 2000, S. 952). Zudem hat Noradrenalin eine enorm belebende Wirkung auf den Kortex und erhöht die allgemeine Aufmerksamkeit, was wiederum einen positiven Einfluss auf Lernprozesse jeglicher Art hat (Korte, 2009, S. 48).

„Körperliche Bewegung und Sport fördern nicht nur unsere [...] physische Verfassung, sondern haben auch direkten Einfluss auf das Lernen, und zwar auf der zellularen Ebene, indem sie das Potenzial des Gehirns verbessern, Dinge aufzunehmen und zu verarbeiten“ (Ratey & Hagermann, 2013, S. 49). „Das Gehirn reagiert im Grunde genau wie Muskeln: Sie wachsen durch Beanspruchung und schwinden durch Bewegungsarmut“ (Ratey & Hagermann, 2013, S. 12). Neben der gesteigerten Durchblutung, verbesserten Kapillarisation und Stimmungsaufhellung, hat regelmäßige Bewegung auch nachgewiesene Auswirkungen auf das Wachstum und die Verschaltung der Nervenzellen innerhalb des Gehirns. Wie bei der Neubildung von Blutgefäßen spielt in diesem Zusammenhang ebenfalls die vermehrte Produktion von Wachstumsfaktoren, bedingt durch körperliche Aktivität, eine bedeutende Rolle (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 25).

Studien an Ratten, die in Käfigen mit Laufrädern gehalten wurden, zeigten, dass mehrere Tage freiwilliger körperlicher Aktivität neben einer erhöhten IGF-1 Produktion auch die Produktion des brain-derived neurotropic factor (BDNF) förderten (Cotman & Engesser-Cesar, 2002, S. 295f). Ebenfalls konnte eine Erhöhung von NGF (nerve growth factor) und von FGF-2 (fibroblast growth factor) nachgewiesen werden (vgl. Gomez-Pinilla et. al., 1997; Neeper et. al., 1996). Diese Proteine fördern das Nervenwachstum und ermöglichen somit Lernen als Prozess der Veränderung der neuronalen Struktur des Gehirns. Bewegung unterstützt somit dem Lernen zugrundeliegende neurobiologische Prozesse. Mit anderen Worten: „Körperliche Aktivität ist [...] plastizitätsfördernd“ (Kempermann, 2012, S. 702).

Zum einen wird durch diese vermehrt produzierten Wachstumsfaktoren das Wachstum der Dendriten und damit die Neubildung von synaptischen Verschaltungen zwischen den Neuronen stimuliert. Dadurch werden die Verbindungen innerhalb neuronaler Netzwerke feiner verästelt beziehungsweise können neue Netzwerke entstehen, sodass das gesamte kognitive System des Menschen ausdifferenzierter und funktionsfähiger wird (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 25).

Zum anderen könnten diese Wachstumsfaktoren auch die Neubildung von Neuronen im Hippokampus modulieren (Gomez-Pinilla et. al., 2008). Die durch körperliche Aktivität bedingte Zunahme des Wachstumsfaktors BDNF im Hippokampus, welcher die Neubildung und das Überleben neu gebildeter Neuronen beeinflusst, konnte beispielsweise in einen direkten Zusammenhang mit einer verbesserten Lern- und

Gedächtnisleistung von Nagetieren gebracht werden (Vaynman et. al., 2004). Zahlreiche ForscherInnen (vgl. Kempermann, 2012, S. 703; Voelcker-Rehage, et al. 2013, S. 25; Cotman & Engesser-Cesar, 2002, S. 295) betonen daher die Bedeutung von körperlicher Aktivität für die Neurogenese.

In einer Studie mit Mäusen konnte gezeigt werden, dass bei jenen Tieren, die in Käfigen mit Laufrädern gehalten wurden und somit freiwillig Zugang zu Bewegung hatten, die Anzahl an neu gebildeten unreifen Vorläuferzellen im Hippokampus deutlich höher war als bei jenen Mäusen, die sich nicht körperlich betätigen konnten. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass bei jenen Mäusen, die zusätzlich durch eine reizreiche Umgebung kognitiv stimuliert wurden, das Überleben der durch die Bewegung im Überschuss produzierten unreifen Vorläuferzellen gefördert werden konnte (Kempermann et. al., 1997, S. 293ff).

Die durch körperliche Aktivität verstärkt gebildeten Neuronen müssen also durch kognitiv anspruchsvolle Aufgaben synaptische Verbindungen mit anderen Gehirnzellen eingehen können, um am Leben zu bleiben. Darin begründet sich auch ein weiterer Aspekt der Wichtigkeit der Förderung und Schulung koordinativer Fähigkeiten. Durch anspruchsvolle, koordinativ herausfordernde und vielfältige Bewegungsaufgaben, welche für die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten unabdinglich sind, werden neben der rein körperlichen Betätigung auch die verstärkte Nutzung kognitiver Ressourcen gefordert. Dies begründet sich darin, dass bei der Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen besonders viele Gehirnareale hoch aktiv sein und zusammenarbeiten müssen (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 25). Es wird durch Bewegungen, die ein hohes Maß an (Bewegungs-) Koordination voraussetzen, daher nicht nur die Neubildung, sondern gleichzeitig auch die synaptische Verschaltung und Eingliederung von neu gebildeten Nervenzellen gefördert.

Hollmann und Strüder (2000, S. 953f) konnten in ihrer Untersuchung die positiven Auswirkungen regelmäßiger körperlicher Betätigung beim Menschen durch bildgebende Verfahren sichtbar machen und eine positive Korrelation zwischen körperlicher Aktivität und kognitiver Leistungsfähigkeit nachweisen. Die Gedächtnisleistungen älterer Personen (ca. 69 Jahre), die sich zwei- bis dreimal wöchentlich über ein Jahr lang aktiv körperlich bewegten, waren nämlich ähnlich derer von jüngeren Probanden (ca. 24 Jahre). Die im Rahmen dieser Studie durchgeführten PET-Scans zeigen nachweislich, dass die älteren Personen nach dem einjährigen Bewegungsprogramm ihr Gehirn effektiver zum Lernen von Wortpaaren einsetzen

konnten. Während vor dem Training noch kleine Gehirnareale zum Einprägen der Wörter eingesetzt wurden, waren nach dem körperlichen Bewegungsprogramm größere Gehirnbereiche aktiv. Die umgekehrte Verhaltensweise zeichnete sich für das Abrufen der erlernten Wörter ab, sodass für das Abrufen bei gleicher Leistung nur noch kleinere Gehirnregionen aktiviert wurden. Diese Resultate verweisen besonders auf eine verbesserte interne Vernetzung aufgrund von Bewegung.

Zusammenfassend, soll Abbildung 30 nochmals einen Überblick über die möglichen Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Kognition geben, wobei auch beeinflussende Variablen wie Alter, Geschlecht etc. berücksichtigt werden.

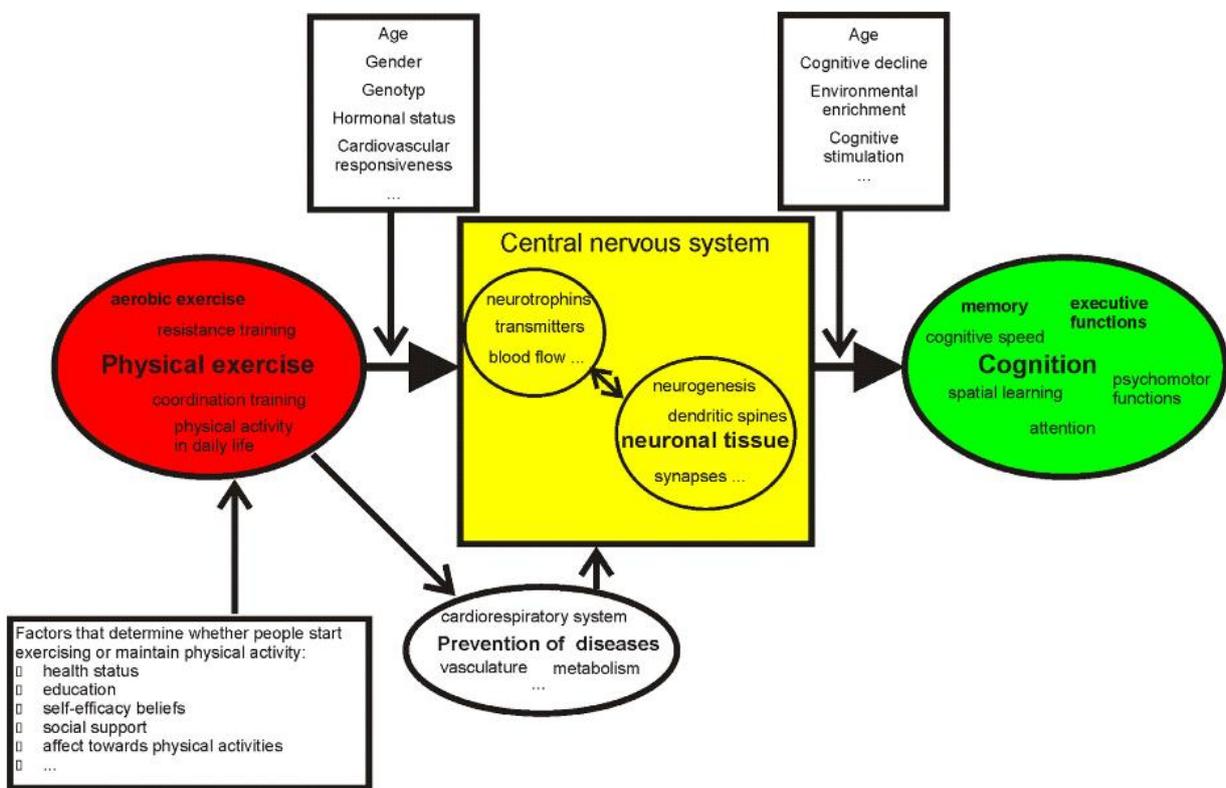


Abb. 30: Schematische Darstellung des möglichen Zusammenhangs körperlicher Aktivität und Kognition (Hötting & Röder, 2013, S. 2253)

#### 4.4.2 Einfluss koordinativer Fähigkeiten auf den mentalen Lernprozess

Durch unterschiedliche Studien konnte ein Zusammenhang zwischen koordinativen Defiziten und kognitiven Beeinträchtigungen beziehungsweise Lernschwierigkeiten nachgewiesen werden (vgl. Kastner & Petermann, 2010; Barth, 2006; Heimann et. al., 2005). So scheint also nicht nur allgemeine körperliche Aktivität, sondern besonders die Realisierung koordinativ herausfordernder Bewegungen, welche wiederum die

Ausbildung koordinativer Fähigkeiten fördern, den mentalen Lernprozess zu begünstigen.

Neben einer erhöhten Gehirndurchblutung und somit verbesserten Sauerstoff- und Nährstoffversorgung des Gehirns begünstigt das Training der koordinativen Fähigkeiten auch jegliche Art von Lernprozessen, da koordinative Bewegungen in hohem Maße plastizitätsfördernd zu sein scheinen (Budde et. al., 2008, S. 220). Über die genauen Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen der Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen und verbesserten mentalen Lernvorgängen liegen allerdings nur wenige Erkenntnisse vor. Dies mag unter anderem auch daran liegen, dass es bis heute deutlich mehr Studien gibt, welche die Auswirkungen kardiovaskulärer Fitness auf kognitive Prozesse untersuchen (vgl. Gomez-Pinilla et. al., 2008; Müller & Obier, 2001; Hollmann & Strüder, 2000; Tremblay et. al., 2000; Gomez-Pinilla et. al., 1997; Shepard, 1997; Neeper et. al., 1996; Dwyer et. al., 1983 u.v.m.).

Eine positive Korrelation zwischen Leistungen in koordinativen Tests und kognitiver Leistung konnte durch diverse Studien bereits festgestellt werden (Projekt „Schnecke – Bildung braucht Gesundheit“, 2007; Son & Meisels, 2006; Voelcker-Rehage, 2005; Graf et. al., 2003).

Im Zuge des Projekts „Schnecke – Bildung braucht Gesundheit“ (2007) beispielsweise wurde bei mehr als 8000 hessischen SchülerInnen aller Schulformen der Zusammenhang zwischen Gleichgewicht und Schulnoten in Deutsch, Mathematik und Bewegung und Sport untersucht. Die Auswertungen ergaben, dass die Fähigkeit der Kinder, das Gleichgewicht zu halten, in positiver Korrelation zu den vergebenen Noten stand. Dabei erzielten jene SchülerInnen mit Gleichgewichtsdefiziten deutlich schlechtere Leistungen in den Fächern Deutsch, Mathematik und Bewegung und Sport, als ihre MitschülerInnen mit gutem Gleichgewichtsvermögen. Das Gleichgewicht der Kinder wurde hierbei mittels Einbeinstand, unterschiedlichsten Balancieraufgaben und dem Stehversuch nach Romberg ermittelt. Eine ähnliche Studie von Bittmann et. al. (2005) zeigte ebenfalls eine positive Korrelation zwischen Gleichgewichtsfähigkeit und Schulleistungen auf. Auch Son und Meisels (2006) stellten einen Zusammenhang zwischen der Ausprägung koordinativer Fähigkeiten im Kindergartenalter und den Leistungen in Mathematik und Deutsch im ersten Schuljahr fest. Dies könnte vor allem auf eine erhöhte Konzentrationsfähigkeit zurückzuführen sein. In einer Untersuchung mit 724 Kindern im Alter von 5-9 Jahren konnte nämlich eine positive Korrelation zwischen Bewegungskoordination, gemessen durch den KTK (Körper-

koordinationstest), und Konzentrationsleistungen nachgewiesen werden (Graf et. al., 2003).

All diese Korrelations- und Querschnittsstudien sind allerdings mit Vorsicht zu genießen, da keine Vermutungen über die Richtung des Zusammenhangs angestellt werden können. Nur aufgrund der vorliegenden Studien kann daher nicht festgestellt werden, ob die fortgeschrittene Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten für die guten kognitiven Leistungen verantwortlich ist, oder ob das hohe kognitive Leistungsniveau die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen positiv beeinflusst (Windisch et. al., 2011, S. 308). Auch können andere, diese Korrelation eventuell mitbedingende Einflussfaktoren nicht vollständig ermittelt und ausgeschlossen werden. Zudem ist bei der Vielfalt an Studien nicht immer ersichtlich, von welchem der vielfältigen Konzepte zur (Bewegungs-) Koordination ausgegangen und wie dieses konkret getestet wurde.

Es sind daher Längsschnittstudien mit gezielter Intervention in einer oder mehreren Versuchsgruppe(n) von Nöten, um die Auswirkungen der Schulung koordinativer Fähigkeiten auf kognitive (Lern-) Prozesse explizit darstellen zu können.

Eine Untersuchung, welche jedoch bestätigen konnte, dass allein der koordinative Charakter der durchgeführten Bewegungen zu einer verbesserten konzentrierten Aufmerksamkeit und somit zu einer besseren kognitiven Leistungsfähigkeit führt, war jene Interventionsstudie von Budde et. al. (2008). Bei 99 SchülerInnen einer Elitesportschule zwischen 13 und 16 Jahren wurde der akute Einfluss einer 10-minütigen koordinativen Schulsportereinheit auf deren Konzentrationsleistung untersucht. Zunächst führte sowohl Versuchs- als auch Kontrollgruppe jeweils einen d2-Test durch, dessen Ergebnisse in keinem Zusammenhang mit dem IQ, sondern lediglich mit der selektiven, visuellen Aufmerksamkeitskapazität der SchülerInnen steht, um einen Ausgangswert zu erhalten. Während die Kontrollgruppe anschließend an einer normalen Sporteinheit mit moderater Intensität ohne koordinativen Schwerpunkt teilnahm, absolvierte die Versuchsgruppe einen Stationenbetrieb mit fünf ausgewählten Koordinationsübungen nach Schreiner (2000), deren Ausführung unterschiedlichste koordinative Fähigkeiten beansprucht. Bei einem abermaligen d2 Test nach der Intervention zeigte sich, dass jene SchülerInnen, welche kurz zuvor das Koordinationstraining absolviert hatten, ihre Konzentrationsleistungen signifikant mehr steigern konnten als die SchülerInnen der Kontrollgruppe. Da sich die mittlere Herzfrequenz der beiden Gruppen während der körperlichen Betätigung allerdings nicht

signifikant voneinander unterschied, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Leistungsunterschied primär auf den koordinativen Charakter der Übungen zurückführen lässt (Budde et. al., 2008, S. 221).

Dass die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen nicht nur zu einer kurzfristigen konzentrativen Leistungssteigerung führt, sondern durch deren regelmäßige Realisierung auch überdauernde positive Effekte erzielt werden können, belegte eine Studie von Voelcker-Rehage et. al. (2011). 44 TeilnehmerInnen zwischen 62 und 79 Jahren absolvierten über 12 Monate dreimal wöchentlich koordinativ anspruchsvolle Übungen mit dem Schwerpunkt auf Gleichgewicht, Auge-Hand und Arm-Bein Koordination sowie räumliche Orientierung und Reaktion. Die motorische und kognitive Leistung der Probanden wurde jeweils vor Interventionsbeginn, nach sechs Monaten und nach einem Jahr getestet. Bezüglich kognitiver Fähigkeiten wurde die selektive Aufmerksamkeit, die Qualität der exekutiven Kontrolle „(Auswahl an zielgerichteten Vorgängen, die die Selektion, Terminierung und Koordination von Verarbeitungsprozessen, die in Wahrnehmung, Gedächtnis und Handlung involviert sind, aufeinander abstimmt)“ (Hillmann & Schott, 2013, S. 34) mittels einer Abwandlung des Flanker-Tasks und die Wahrnehmungsgeschwindigkeit mithilfe einer visuellen Suchaufgabe bestimmt. Die koordinativen Leistungen der Probanden wurden mittels eines Stäbchenfall-Tests (Reaktionsfähigkeit) und Einbeinstand (Gleichgewichtsfähigkeit) ermittelt. Es zeigte sich, dass, während die kardiovaskuläre Fitness der TeilnehmerInnen durch die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Übungen nicht signifikant verbessert werden konnte, die Versuchspersonen eine deutlich verbesserte Aufmerksamkeitsleistung und Wahrnehmungsgeschwindigkeit aufwiesen. Dies mag auf eine erhöhte Aktivität des gyrus frontalis inferior im Frontallappen, welcher für Sprachproduktion und -verständnis sowie für Konzentration, Reaktion und Bewegungskoordination von Bedeutung ist, und auf eine stärkere Aktivierung des oberen Parietallappen und subkortikaler Strukturen wie Thalamus und Teile der Basalganglien zurückgeführt werden. Weiters konnte eine allgemein effizientere Nutzung des Gehirns festgestellt werden, da die Probanden für die schnelle und genaue Lösung von Aufmerksamkeitsaufgaben zunehmend weniger Gehirnkapazität benötigten. Diese positiven Auswirkungen und funktionellen Veränderungen des Gehirns aufgrund von regelmäßig durchgeführten koordinativ anspruchsvollen Bewegungen konnten auf neurophysiologischer Ebene mittels MRI nachgewiesen werden. Da während der gesamten Studie die positiven Veränderungen

einen nahezu linearen Verlauf zeigten und keine Plateaubildung ersichtlich war, kann darauf geschlossen werden, dass ein andauerndes Koordinationstraining in weiteren ähnlich positiven Effekten resultieren würde (Voelcker-Rehage et. al., 2011, S. 8ff).

Durch welche Mechanismen koordinativ anspruchsvolle Bewegungen allerdings genau Einfluss auf die Gehirnstruktur nehmen, um kognitive Prozesse positiv zu beeinflussen, konnte bis heute nicht vollständig geklärt werden. Die Vergleichbarkeit von bereits durchgeführten Studien (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2011; Budde et. al., 2008; Son & Meisels, 2006; Voelcker-Rehage, 2005; u.v.m.) ist ebenfalls nur bedingt möglich, da das Untersuchungsdesign bezüglich der Auswahl koordinativ anspruchsvoller Bewegungsaufgaben und der Testung kognitiver Leistungen variiert.

Voelcker-Rehage und Niemann (2013, S. 2269) gehen jedoch im Allgemeinen davon aus, dass die Realisierung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen von der kognitiven Beanspruchung her dem motorischen Lernen in der Akquisitionsphase entspricht: „[C]oordination training is highly variable using combinations of various movements and continuously challenging the cognitive system (similar to the acquisition phase of motor learning)“. Sowohl motorisches Lernen, als auch die Umsetzung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen beruhen nämlich auf einem komplexen Zusammenspiel aus Informationsaufnahme, -verarbeitung, -speicherung und -abgabe, welches, anders als bei bereits oft durchgeführten oder sogar automatisierten Bewegungen, eine hohe kognitive Aktivität voraussetzt und das Gehirn ständig fordert. Serrien et. al. (2007, S. 97) schlagen in dieselbe Kerbe und betonen, dass je komplexer die körperliche Aktivität ist, desto mehr müssen Gehirnareale aktiv an den erforderlichen Prozessen der Informationsverarbeitung beteiligt sein. So konnte beispielsweise nachgewiesen werden, dass die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen zu einer stärkeren Kommunikation der beteiligten Hirnareale sowie zu einer Vergrößerung des präfrontalen und temporalen Kortex führt (Witte, 2013, S. 30f).

Verschiedenste Gehirnregionen sind in ihrer funktionellen Wirkungsweise im Allgemeinen jedoch nicht eindeutig voneinander abzugrenzen, da sie sich überlappen und in komplexer Form zusammenarbeiten. Wie bereits erörtert, werden so zum Beispiel bereits beim Beobachten von Handlungen jene Gehirnareale aktiviert, welche auch für die Ausführung ebendieser zuständig sind. Studien an Menschen und Tieren allerdings konnten zeigen, dass besonders die neuronalen Strukturen des Kleinhirns und des Frontallappens sowohl für Bewegungsrealisation als auch für andere kognitive Prozesse von besonderer Bedeutung sind (vgl. Diedrichsen et. al., 2007; Sibley &

Etnier, 2003; Hernandez et. al., 2002). „Motorische und kognitive Aktivitäten scheinen ähnliche zentralnervöse Prozesse zu beanspruchen“ (Voelcker-Rehage, 2005, S. 358). Aufgrund der oben beschriebenen Studien kann daher darauf geschlossen werden, dass kognitive Leistungen mit der Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen in Zusammenhang stehen und von ebendiesen sogar positiv beeinflusst werden können (Voelcker-Rehage & Niemann, 2013, S. 2289). Auch Ratey und Hagermann (2013, S. 56) betonen, dass besonders immer dann, wenn körperliche Betätigung auf komplexen motorischen Bewegungen beruht, besonders viele Gehirnregionen aktiviert werden, welche ebenfalls für ein breites Spektrum an kognitiven Funktionen von Bedeutung sind. Dies könnte auf gemeinsame zerebrale Steuerungs- und Lernprozesse zurückgeführt werden. Vor allem der Zusammenhang zwischen koordinativ herausfordernden Bewegungen und verbesserten Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitsleistungen konnte durch unterschiedlichste Studien bislang erfolgreich aufgezeigt werden (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2011; Budde et. al., 2008). Budde et. al. (2008, S. 222) vermuten daher, dass es besonders bei der Ausführung koordinativ herausfordernder Bewegungen zu einer Art Voraktivierung neuronaler Netze des Kleinhirns und präfrontalen Kortex kommt, wodurch nachfolgende Lern- und Gedächtnisprozesse beschleunigt und erleichtert werden. Dies scheint einleuchtend, zumal Lernen als Veränderung synaptischer Übertragungsstärke nur an aktiven Synapsen (Spitzer, 2003, S. 159) stattfinden und die Aktivität von Synapsen mit selektiver Aufmerksamkeit beziehungsweise Konzentration gleichgesetzt werden kann (Beer & Schwarz, 2012, S. 97).

Im Vergleich zu kardiovaskulären Aufgaben scheinen koordinativ anspruchsvolle Bewegungen allerdings eher die Ausbildung von netzinternen synaptischen Verschaltungen zu begünstigen.

Während aerobe Übungen den Spiegel an Neurotransmittern erhöhen, neue Blutgefäße entstehen lassen, die Wachstumsfaktoren einleiten und zur Zellvermehrung beitragen, sorgen komplexe Aktivitäten dafür, dass all diese Dinge durch Stärkung und Erweiterung der Netzwerke aktiv genutzt werden. Je komplexer die Bewegungen, desto komplexer die synaptischen Verbindungen (Ratey & Hagermann, 2009, S. 73).

Black et. al. (1990) zeigten in einer Studie mit Mäusen, dass das Gehirn jener Mäuse, die eine Art Koordinationstraining absolvierten, deutlich mehr Synapsen pro Neuron aufwiesen, als jenes von Mäusen, die nur einem Ausdauertraining ausgesetzt waren. Durch das Ausdauertraining wurde lediglich eine stärkere Kapillarisation und somit verbesserte Sauerstoff- und Nährstoffzufuhr erreicht.

Die Verknüpfung von motorischen und kognitiven Anforderungen, welche den Charakter von koordinativ herausfordernden Bewegungen ausmacht, führt also nicht nur zu der durch die körperliche Aktivität bedingte Neurogenese von Nervenzellen, sondern aktiviert insbesondere die für das Lernen jeglicher Art wichtigen Gehirnareale. Dadurch wird die Ausbildung neuer synaptischer Verbindungen und somit die für das Lernen so wichtige Umorganisation neuronaler Netzwerke erleichtert.

Budde et. al. (2008, S.222) fordern daher, vermehrt kurze Sequenzen mit einem Fokus auf koordinativ anspruchsvolle Bewegungen in den (Schul-) Alltag einzubauen. Aber auch die längere, regelmäßige Durchführung koordinativ herausfordernder Bewegungen hat eine bewiesene, nachhaltige Wirkung auf kognitive Prozesse (Voelcker-Rehage et. al., 2011, S. 10f). Dem Bewegungs- und Sportunterricht kommt daher bei der Schulung koordinativer Fähigkeiten durch koordinativ anspruchsvolle Bewegungen nicht nur im Bezug auf die Motorik, sondern auch im Hinblick auf mentale Lernprozesse, eine bedeutende Rolle zu.

### **4.5 Zusammenfassung**

Durch die bisherigen Ausführungen wird deutlich, dass Lernen nur als multimodales Phänomen verstanden werden kann, welches sich über die gesamte Lebensspanne ausdehnt und von den damit verbundenen äußeren und inneren Bedingungen beeinflusst wird.

In diesem Kapitel wurden verschiedene Formen und Arten des motorischen und mentalen Lernens näher charakterisiert sowie allgemeine, jegliche, den Lernprozesse beeinflussende Faktoren erläutert. Spitzer (2003, S. 139) formuliert in diesem Zusammenhang treffend: „Wer beim Lernen aufmerksam, motiviert und emotional dabei ist, der wird mehr behalten“.

Weiters wurden verschiedenste Phasen und Stadien des motorischen Lernprozesses mit der Entwicklung koordinativer Fähigkeiten in Verbindung gebracht. Hierbei wurde deutlich, dass der Grad der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten den Verlauf des motorischen Lernens beeinflusst. Dies ist vor allem auf eine größere Plastizität und Variabilität der Bewegungssteuerungsprozesse sowie einer größeren Bewegungserfahrung zurückzuführen (Hirtz, 2002, S. 42). Gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten erleichtern die Umsetzung schwieriger, neu zu erlernender Bewegungen und führen somit zu einem schnelleren Lernerfolg.

In Bezug auf den mentalen Lernprozess und die Kognition wurde der Zusammenhang zwischen der Schulung und Ausbildung koordinativer Fähigkeiten aufgezeigt. Als Grundlage hierfür wurde zunächst die Wirkungsweise von körperlicher Aktivität auf kognitive Strukturen und Prozesse näher beleuchtet. Zusammenfassend kann an dieser Stelle daher festgehalten werden, dass körperliche Betätigung zu einer Steigerung der Gehirndurchblutung führt, die Neurogenese sowie die Ausbildung synaptischer Verbindungen stimuliert und die Stimmung aufhellt.

Bezüglich der Bedeutung koordinativer Fähigkeiten für den mentalen Lernprozess konnte durch Studien (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2011; Budde et. al., 2008) belegt werden, dass die Ausführung koordinativ herausfordernder Bewegungen die Konzentrationsleistung erhöht. Eine genaue Analyse über den Wirkungszusammenhang zwischen koordinativem Training und einer verbesserten kognitiven Leistung ist allerdings noch ausständig. Derzeit wird nur vermutet, dass koordinativ anspruchsvolle Bewegungen ob ihres hohen Anteils an kognitiven Elementen, verschiedenste für Lernprozesse fundamental wichtige Gehirnareale (vor-) aktivieren, sodass die Verarbeitung von nachfolgenden Informationsinhalten erleichtert wird (Budde et. al., 2008, S. 222). Je komplexer die auszuführenden Bewegungen nämlich sind, desto mehr Gehirnareale müssen sich am Informationsverarbeitungsprozess beteiligen (Serrien et. al., 2007, S. 97). Diese nachfolgenden Inhalte können allerdings sowohl mentaler (Faktenwissen), als auch motorischer Art sein, da die durch die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen erreichte Aktivierung verschiedenster Gehirnareale eine günstige Voraussetzung für jegliche Art von Lernvorgängen zu sein scheint. Zudem stellen koordinativ herausfordernde Bewegungen reizvolle und interessante Elemente dar, welche das Individuum motorisch sowie kognitiv fordern, sodass die im Hippokampus durch die körperliche Aktivität neu gebildeten Nervenzellen durch Eingliederung in das bereits bestehende neuronale Netzwerk am Leben gehalten werden können. Es scheint also, dass in Zusammenhang mit mentalen Lernprozessen nicht primär die koordinativen Fähigkeiten als solche den positiven Einfluss auf kognitive Prozesse bewirken, sondern dass es vielmehr die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen ist, durch welche mentale Lernvorgänge in günstiger Weise beeinflusst werden können. Einige Querschnittsstudien (vgl. Son & Meisels, 2006; Voelcker-Rehage, 2005; Graf et. al., 2003) konnten allerdings auch eine direkte positive Korrelation zwischen gut ausgeprägten koordinativen Fähigkeiten (z. B. Gleichgewichtsfähigkeit) und kognitiven Leistungen aufzeigen. Bei solchen Studien kann aber die Richtung des Zusammenhangs nicht interpretiert, sondern lediglich

vermutet werden. Da Fertigkeiten und Fähigkeiten aber in einer engen, wenn auch nicht immer eindeutigen Wechselbeziehung zueinanderstehen und sich gegenseitig beeinflussen, haben koordinative Fähigkeiten nicht nur Einfluss auf die Realisierung von Bewegungen, sondern werden zusätzlich durch die Ausübung ebendieser (weiter-) entwickelt (Meinel & Schnabel, 2007, S. 232). Die Durchführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen führt daher gezwungenermaßen zu einer Schulung und Weiterentwicklung der koordinativen Fähigkeiten, was wiederum für motorische Lernprozesse eine bedeutende Rolle spielt.

Eine positive Beeinflussung verschiedenster Lernprozesse durch die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten scheint daher unumstritten. Der Bewegungs- und Sportunterricht, welcher eine Ausbildung und Schulung koordinativer Fähigkeiten als Komponente motorischer Leistung vorsieht, kann somit durch die Integration von koordinativen Inhalten nicht nur zu einer verbesserten motorischen, sondern auch zu einer gesteigerten mentalen Lernfähigkeit beitragen.

Im nachfolgenden Kapitel soll daher die Rolle und Verankerung koordinativer Fähigkeiten im Lehrplan thematisiert sowie theoretische Überlegungen zu ihrer Entwicklung und Schulung angestellt werden.

### **5 SCHULUNG KOORDINATIVER FÄHIGKEITEN**

Nachdem der Zusammenhang zwischen Bewegung und Kognition dargestellt beziehungsweise die Bedeutung der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten sowie die Relevanz der Realisierung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen für verschiedenste Lernprozesse in den vorhergegangenen Kapiteln ausführlich erörtert wurde, ist es nun notwendig, über die Implementierung dieser Elemente in den Bewegungs- und Sportunterricht nachzudenken. Zunächst soll daher erst einmal ein Überblick über die derzeitige Verankerung und Darstellung des latenten Konstrukts der koordinativen Fähigkeiten im Lehrplan gegeben werden, bevor deren Entwicklung und Trainierbarkeit thematisiert werden. Neben praktischen Überlegungen bezüglich der Schulung koordinativer Fähigkeiten im Bewegungs- und Sportunterricht sollen auch Bewegungsprogramme vorgestellt werden, welche versuchen, koordinativ herausfordernde Bewegungen in den gesamten Schulalltag zu integrieren.

#### **5.1 Verankerung und Darstellung der koordinativen Fähigkeiten im Lehrplan für Bewegung und Sport**

Die koordinativen Fähigkeiten stellen einen fundamentalen Bestandteil motorischer Fähigkeit dar und bilden somit gemeinsam mit dem Komplex der konditionellen Fähigkeiten die zentrale Basis für das Bewegungshandeln. Dass es somit ein Ziel des Bewegungs- und Sportunterrichts in der Schule sein sollte, dafür Sorge zu tragen, diese, nicht nur für die Sport-, sondern auch für die Alltagspraxis, elementaren Fähigkeiten auszubilden und zu fördern, liegt auf der Hand. Zudem konnte bereits aufgezeigt werden, welchen positiven Einfluss die Schulung koordinativer Fähigkeiten auf diverse Lernprozesse hat.

Nachfolgend wird daher die Verankerung und Darstellung der koordinativen Fähigkeiten im Lehrplan für Bewegung und Sport der Volksschule sowie im Lehrplan der Sekundarstufe I und II näher beleuchtet, um einen Eindruck über den durch den Lehrplan vermittelten Stellenwert ihrer Thematisierung zu gewinnen.

##### 5.1.1 Lehrplan der Volksschule für Bewegung und Sport

Prinzipiell lässt sich im Lehrplan für Bewegung und Sport an Volksschulen folgende Gliederung feststellen: Zu allererst wird die Bildungs- und Lehraufgabe des

Bewegungs- und Sportunterrichts kurz und bündig dargelegt, ehe Erfahrungs- und Lernbereiche für die Grundstufe I und II mit den jeweils zu erreichenden Kompetenzen in übersichtlicher Tabellenform präsentiert werden. Die Erfahrungs- und Lernbereiche umfassen, ähnlich wie im Lehrplan für Bewegung und Sport der Sekundarstufe I und II, die Bereiche „motorische Grundlagen“, „Spielen“, „Leisten“, „Wahrnehmen und Gestalten“, „Gesund leben“ sowie „Erleben und Wagen“. Jeder Bereich wird nachfolgend mit klaren Lehrinhalten und besonderen didaktischen Grundsätzen, die es bei der Unterrichtsgestaltung und Umsetzung des jeweiligen Lehrstoffes zu beachten gilt, konkretisiert. Abschließend werden ganz allgemeine didaktische Grundsätze und Leitvorstellungen zur Unterrichtsorganisation sowie Gesundheit und Sicherheit angeführt, die im Bewegungs- und Sportunterricht bedacht werden sollten.

Bereits auf der ersten Seite des Volksschullehrplans für Bewegung und Sport (2012) wird die Bedeutung motorischer Grundlagen als „wichtige Voraussetzung für den Erwerb von Alltagsmotorik, sportlichem Bewegungskönnen, Spielfähigkeit und Bewegungssicherheit“ hervorgehoben. Somit stehen „das Verbessern der Wahrnehmungsfähigkeit, das Erweitern der Körper- und Bewegungserfahrung, das Weiterentwickeln der koordinativen und konditionellen Fähigkeiten sowie der Aufbau eines umfangreichen Bewegungsschatzes im Mittelpunkt“ (BGBl. II Nr. 303/2012, S. 2).

Dementsprechend sind unter dem Bildungs- und Lehrbereich der motorischen Grundlagenausbildung Kompetenzen formuliert, die auf den fünf fundamentalen koordinativen Fähigkeiten des Schulsports nach Hirtz (1985) beruhen:

Lernerwartungen: Grundstufe I	Lernerwartungen: Grundstufe II
Die Schülerinnen und Schüler	Die Schülerinnen und Schüler
- können bei einfachen Bewegungsanforderungen die einzelnen Bewegungselemente aufeinander abstimmen	- können bei komplexen Bewegungsanforderungen die einzelnen Bewegungselemente räumlich und zeitlich aufeinander präzise abstimmen
- können einfache Gleichgewichtsaufgaben lösen (zB Rückwärtsgehen auf der Turnbank, Stab balancieren)	- können statische und dynamische Gleichgewichtsanforderungen bei der Lösung von Bewegungsaufgaben erfüllen und Gegenstände in Balance halten
- können sich bei einfachen Bewegungsaufgaben situationsgerecht orientieren	- können sich bei komplexeren Bewegungsaufgaben hinsichtlich Raum, Zeit, Partner und Gruppe (zB „Linienlauf“, „Nummernball“) situationsgerecht orientieren
- können Bewegungsrhythmen aufnehmen und umsetzen	- können den für sportliche Bewegungen typischen Rhythmus situationsgemäß anwenden (zB Absprungbewegungen; richtiges Atmen beim Brustschwimmen)
- können auf Signale schnell reagieren	- können auf Signale mit unterschiedlichen Bewegungsausführungen schnell reagieren

Tab. 4: Ein Auszug der Lernerwartungen im Erfahrungs- und Lernbereich „motorische Grundlagen“ (BGBl. II Nr. 303/2012, S. 2)

Lernerwartungen, wie das möglichst schnelle Reagieren auf Signale mit unterschiedlichen Bewegungshandlungen oder das Umsetzen von Bewegungsrhythmen, sind beispielsweise aus der Reaktions- und Rhythmusfähigkeit abgeleitet.

Die Notwendigkeit der Ausbildung der *kinästhetischen* Differenzierungsfähigkeit lässt sich durch diese Kompetenzdarstellung allerdings nur erahnen, da der Fokus primär auf die Abstimmung einzelner Teilkomponenten einer Bewegung gelegt und somit die allgemeine Differenzierungsfähigkeit in den Vordergrund gestellt wird. Allerdings finden sich im Erfahrungs- und Lernbereich „Wahrnehmen und Gestalten“ durchaus Lernerwartungen, deren praktische Erarbeitung im Bewegungs- und Sportunterricht eine Entfaltung der kinästhetischen Differenzierungsfähigkeit fördert:

Lernerwartungen: Grundstufe I	Lernerwartungen: Grundstufe II
Die Schülerinnen und Schüler	Die Schülerinnen und Schüler
- können den eigenen Körper, Personen, Gegenstände, (Bewegungs-)Räume wahrnehmen und Wahrnehmungsunterschiede erkennen	- können komplexere sensomotorische Anforderungen bewältigen (zB Auge-Hand Koordination; Lage im Raum)

Tab. 5: Ein Auszug der Lernerwartungen im Erfahrungs- und Lernbereich „motorische Grundlagen“ (BGBl. II Nr. 303/2012, S. 4)

Zur Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten als wichtige Kompetenzen im Erfahrungs- und Lehrbereich „motorische Grundlagen“ werden neben den konkreten Lehrinhalten auch didaktisch-methodische Ratschläge, Hinweise und praktische

Umsetzungsvorschläge angeboten. So wird beispielsweise bezüglich der Ausformung der Gleichgewichtsfähigkeit das Gehen, Hüpfen und Drehen auf stabilen und instabilen Unterstützungsflächen sowie das Balancieren unterschiedlicher Geräte mit verschiedensten Körperteilen als praktische Anregung für die Gestaltung des Bewegungs- und Sportunterrichts gegeben. Weiters wird darauf hingewiesen, dass die koordinativen Fähigkeiten (Differenzierung, Gleichgewicht, Orientierung, Reaktion, Rhythmus) über konkrete Übungen (Fertigkeiten) auszubilden seien, wobei jedoch einzelne Fähigkeitsbereiche nie isoliert, sondern immer nur in Verbindung miteinander geschult werden können (BGBl. II. Nr. 303, 2012, S. 6).

### 5.1.2 Lehrpläne der Sekundarstufe I und II für Bewegung und Sport

Grundsätzlich gliedern sich die Lehrpläne für den Unterrichtsgegenstand Bewegung und Sport sowohl in der Sekundarstufe I, als auch in der Sekundarstufe II in ähnlicher Art und Weise.

In beiden Lehrplänen wird zunächst die Bildungs- und Lehraufgabe des Bewegungs- und Sportunterrichts definiert, bevor der Bildungsbeitrag dieses Unterrichtsfaches zu den Aufgaben- und Bildungsbereichen der Schule im Allgemeinen in Beziehung gesetzt wird. Danach finden sich wichtige didaktische Grundsätze, welche für die Durchführung und Vermittlung bewegungsbezogener Unterrichtsinhalte von besonderer Bedeutung sind. Schließlich wird der zu vermittelnde Lehrstoff, sowohl im Lehrplan der Sekundarstufe I als auch im Lehrplan für die Sekundarstufe II, den Erfahrungs- und Lernbereichen „Grundlagen zum Bewegungshandeln“, „könnens- und leistungsorientierte Bewegungshandlungen“, „spielerische Bewegungshandlungen“, „gesundheitsorientierte - ausgleichende Bewegungshandlungen“, „gestaltende und darstellende Bewegungshandlungen“ sowie „erlebnisorientierte Bewegungshandlungen“ zugeordnet.

Im Lehrplan für das Unterrichtsfach Bewegung und Sport in der Sekundarstufe I wird, neben der Weiterentwicklung und Ausbildung der konditionellen Grundlage, besonders die Entfaltung der koordinativen Fähigkeiten als zentrale Basis für ein erfolgreiches Bewegungshandeln im Alltag und Sport als erstgenanntes Ziel des Bewegungs- und Sportunterrichts angeführt (BGBl. II Nr. 133/2000, S. 1).

Die Bestrebung nach der bestmöglichen Entfaltung der koordinativen Fähigkeiten als elementare Komponente motorischer Aktivität findet sich daher in der Verteilung des Lehrstoffes wieder. So beinhaltet der Kernbereich des Bewegungs- und Sportunterrichts

der 1. und 2. Klasse die „Stabilisierung der koordinativen Fähigkeiten: Gleichgewicht, Raumwahrnehmung & Orientierung, Rhythmusfähigkeit, Reaktionsfähigkeit und kinästhetische Differenzierungsfähigkeit“ (BGBl. II Nr. 133/2000, S. 3).

Die Formulierung dieses Lerninhaltes zeigt hier die Bedeutung des Bewegungs- und Sportunterrichts und der damit verbundenen elementaren Schulung der koordinativen Fähigkeiten in der Volksschule auf. Es ist nämlich nicht möglich, etwas zu stabilisieren, was davor noch gar nicht existent war. Wird im Lehrplan für Bewegung und Sport der Sekundarstufe I also von einer „Stabilisierung“ gesprochen, so kann dies nur erfolgen, wenn mit einer elementaren Schulung und Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten bereits in der Volksschule begonnen wurde.

Des Weiteren fällt auf, dass auch in diesem Lehrplan wieder auf die fünf für den Schulsport fundamentalen koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985) zurückgegriffen wurde, um den Komplex der koordinativen Fähigkeiten für die Praxis greifbar zu machen.

Ebenfalls der Lehrplan für das Unterrichtsfach Bewegung und Sport in der Sekundarstufe II gibt das „Ausbilden und Verbessern der motorischen Grundfähigkeiten“ (BGBl. II Nr. 284/2006, S. 1) als wichtige Bildungs- und Lehraufgabe vor und meint damit unter anderem die „Verbesserung und Stabilisierung der koordinativen Fähigkeiten [...] hinsichtlich Bewegungsqualität und Bewegungsökonomie“ (ebd. S. 4). Unter den zu stabilisierenden koordinativen Fähigkeiten werden wiederum die von Hirtz (1985) genannten fünf für den Schulsport fundamentalen koordinativen Fähigkeiten verstanden.

Neben der konkreten Auflistung der Lehrinhalte unter der Rubrik „Lehrstoff (9. – 12./13. Schulstufe)“ werden auch exemplarisch zu verstehende Beispiele für die zu vermittelnden Lehrinhalte des Bewegungsbereiches gegeben. So wird beispielsweise Jonglieren, Balancieren und das Absolvieren von Hindernisparcours angeführt, um die koordinativen Fähigkeiten im Bewegungs- und Sportunterricht angemessen zu festigen.

### 5.1.3 Fazit

Die nähere Auseinandersetzung mit der Repräsentation und Verankerung der koordinativen Fähigkeiten in den Lehrplänen für Bewegung und Sport der Volksschule (Grundstufe I und II) sowie der Sekundarstufe I und II zeigt, dass diese, wie auch in der Literatur (Weineck, 2010, S. 793ff; Meinel & Schnabel, 2007, S. 212ff; Dordel, 2003,

S. 265ff) beschrieben, als fundamentale Bestandteile der Grundlage zum Bewegungshandeln verstanden werden.

Besonders im Lehrplan der Volksschule wird die Wichtigkeit der motorischen Grundlagenausbildung und ihre Bedeutung für die Alltags- als auch die Sportmotorik hervorgehoben. Gemeinsam mit dem Aufbau eines reichen Bewegungsschatzes und umfangreicher Möglichkeiten zum Sammeln von Körper- und Bewegungserfahrungen wird der Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten eine enorme Bedeutung in der Entwicklung einer umfassenden bewegungs- und sportbezogenen Handlungskompetenz zugesprochen. Die einzelnen koordinativen Fähigkeiten nach Hirtz (1985) werden relativ detailliert angeführt und durch praxisrelevante Umsetzungsvorschläge wird versucht, diese für LehrerInnen greifbar zu machen. Zudem werden methodisch-didaktisch wertvolle Hinweise zur Unterrichtsgestaltung und Implementierung der verbindlichen Integration von Lehrinhalten zur Förderung koordinativer Fähigkeiten angeboten, wodurch die inhaltliche Gestaltung des Bewegungs- und Sportunterrichtes erleichtert wird.

Aber auch in den Lehrplänen der Sekundarstufe I und II kristallisiert sich die Wichtigkeit der Thematisierung der koordinativen Fähigkeiten als Grundlage zum Bewegungshandeln deutlich heraus. Neben fünf weiteren Erfahrungs- und Lehrbereichen kommt der Stabilisierung und Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten im Sinne einer motorischen Grundlagenausbildung für Bewegung, Spiel und Sport eine wesentliche Bedeutung zu.

Erwähnenswert ist außerdem, dass in allen Lehrplänen für Bewegung und Sport auf den Ordnungsansatz nach Hirtz (1985) und den damit verbundenen fünf fundamentalen Fähigkeiten zurückgegriffen wird, um den Komplex der koordinativen Fähigkeiten für die Praxis transparent zu halten.

Es wird somit der Forderung nach einer gezielten, systematischen Ausbildung der koordinativen Fähigkeiten (Hirtz, 2002, S. 42; Dordel, 2003, 436f) zumindest theoretisch Rechnung getragen und ihre Eingliederung als gleichwertiger Bestandteil in allen Formen und Stufen des Sportunterrichts durch die Lehrpläne postuliert.

### **5.2 Entwicklung, Trainierbarkeit und Schulung koordinativer Fähigkeiten**

Ausgehend von der motorischen Entwicklung des Menschen und den damit verbundenen physischen und psychischen Veränderungen als Voraussetzung zum Bewegungshandeln, wurde davon ausgegangen, dass es sogenannte „sensible Phasen“

geben muss, welche gewissen Altersabschnitten eine höhere Sensibilität des Organismus für bestimmte Erfahrungen zuschreiben und somit postulieren, dass bestimmte konditionelle und koordinative Fähigkeiten nicht in jedem Alter in gleichem Maße trainierbar sind (Israel, 1976, S. 501ff). Sie werden somit als „begrenzte Zeiträume im Entwicklungsprozeß [!] von Lebewesen [verstanden], in denen diese auf bestimmte Umweltreize intensiver mit entsprechenden Entwicklungseffekten reagieren als zu anderen Zeiten“ (Martin, 1982, S. 269).

Hirtz und Starosta (2002, S. 125) konnten beispielsweise nachweisen, „dass zwischen dem 8. und 10. Lebensjahr deutlich größere Effekte einer in Inhalt, Umfang und Intensität etwa gleichen (koordinativ betonten) Intervention erreicht werden konnten als z. B. in der beginnenden Pubeszenz“. Ausgehend also vom Konzept der sensiblen Phasen, gibt Hirtz (1978; in: Weineck, 2004, S. 381) einen Überblick über die Trainierbarkeit der einzelnen koordinativen Fähigkeiten für den Bewegungs- und Sportunterricht in der Schule. In dieser Darstellung (Abb. 31) werden nicht nur hinsichtlich der Schulstufe, sondern auch in Bezug auf das Geschlecht der SchülerInnen Differenzierungen im Hinblick auf die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten getroffen:

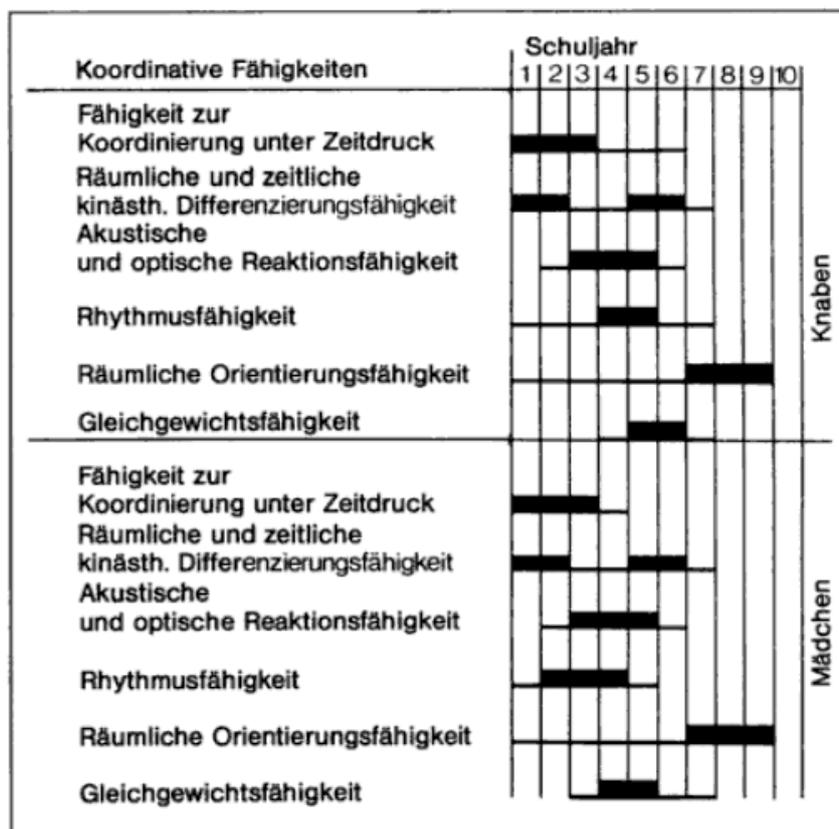


Abb. 31: Schwerpunktmäßige Vervollkommnung koordinativer Fähigkeiten der Klassen 1-10 (Hirtz, 1978; in: Weineck, 2004, S. 381)

Martin et al. (1999, S. 152) unterbreiten ebenfalls ein Modell zur Trainierbarkeit unterschiedlichster Fähigkeiten bei Kindern und Jugendlichen:

Fähigkeiten	Kindheit		Jugend	
	6/7-9/10	10/12-12/13	12/13-14/15	14/15-16/18
Fertigkeits-/Techniklernen	***	****		***
Reaktionsfähigkeit	****			
Gleichgewichtsfähigkeit	****	****		
Orientierungsfähigkeit	***		***	****
Differenzierungsfähigkeit	****	****		
Schnelligkeitsfähigkeit	****	****		
Maximalkraft			****	****
Schnellkraft	***	****		
Aerobe Ausdauer	***	***	***	***
Anaerobe Ausdauer		**	***	****

Abb. 32: Modell sensibler Phasen der Trainierbarkeit (nach Martin et. al., 1999, S. 152)

Das Konzept der „sensiblen Phasen“, welches eindeutig abgrenzbare, altersgebundene, invariante Zeitabschnitte für die Entwicklung bestimmter Fähigkeiten postuliert, wird allerdings zunehmend als umstritten angesehen, da konkrete empirische Untersuchungen weitgehend fehlen, eine Orientierung primär am biologischen Alter erfolgt und somit die interindividuelle Variabilität der motorischen Entwicklung wenig bis gar keine Berücksichtigung findet (Willimczik et. al., 1999, S. 43ff). Die in der Literatur dennoch meist sehr konkrete Zuordnung von Inhalten zu bestimmten Zeitfenstern in Anlehnung an die motorische Entwicklung, sind daher als praktische Empfehlungen und Tendenzen anzusehen, welche es immer an die individuellen Gegebenheiten anzupassen gilt.

„Obwohl man heute nicht mehr unbedingt davon ausgeht, daß [!] es [...] so etwas wie altersgebundene, invariante Zwangsläufigkeiten (sensible Phasen) gibt, kann es dennoch als gesichert gelten, daß [!] gerade die allgemeinen koordinativen Fähigkeiten ‚von klein auf‘ lohnend trainierbar sind“ (Roth, 2007, S. 85). Stark (2010, S. 93) betont in diesem Zusammenhang, dass es daher sicherlich „keinen zu frühen Trainingsbeginn der koordinativen Fähigkeiten [...], sondern lediglich nicht der Entwicklung der Kinder angepasste Methoden“ gibt.

Roth und Winter (2002, S. 98) illustrieren die interindividuelle Ähnlichkeit der über verschiedene Einzelfähigkeiten hinweg, hoch verallgemeinerten Entwicklung des koordinativen Fähigkeitsniveaus im Lebensverlauf, anhand einer Kurve und betonen damit ebenfalls, dass die koordinativen Fähigkeiten sicherlich schon sehr früh gefördert werden können bzw. sollen.

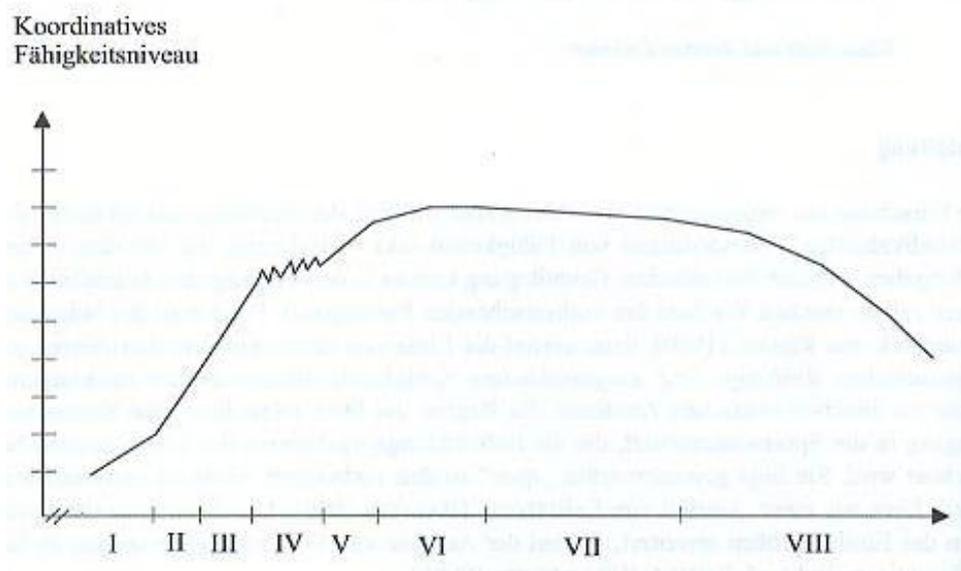


Abb. 33: Entwicklung der koordinativen Grundfunktion (Roth & Winter, 2002, S. 98)

Diese grob verallgemeinerte Verlaufskurve soll allerdings nicht vermitteln, dass eine Schulung koordinativer Fähigkeiten im Erwachsenenalter (VI, VII, VIII) nicht mehr möglich ist. Ganz im Gegenteil, dem durch die Alterung des Gewebes und der Organe, die geringere Beweglichkeit der Gelenke und den altersbedingten Abbau der Nervenzellen verursachten Leistungsrückgang sollte sogar mit koordinativ anspruchsvollen Bewegungen entgegengewirkt werden (Voelcker-Rehage, 2013, S. 19). Im Allgemeinen lässt sich allerdings feststellen, dass die koordinativen Fähigkeiten besonders im Kindesalter (I, II, III) einen großen Entwicklungsschub erhalten. Weineck (2010, S. 794) führt dies auf die schnelle Reifung des zentralen Nervensystems und die hohe Plastizität der Informationsaufnahme- und Informationsverarbeitungsprozesse zurück. Vor allem die Reaktionsfähigkeit, die Differenzierungsfähigkeit sowie die Orientierungsfähigkeit sind in diesem Alter besonders gut trainierbar, wobei aber auch die anderen koordinativen Fähigkeiten im Sinne einer allgemeinen Grundlagenausbildung nicht vernachlässigt werden sollten (Stark, 2010, S. 93).

In der Pubeszenz (IV), welche auch als eine Phase der „Instabilität und Neuanpassung“ (Roth & Winter, 2002, S. 98) bezeichnet wird, kann ein diskontinuierlicher Entwicklungsverlauf des koordinativen Leistungszuwachses, verbunden mit

sprunghaften Anstiegen und Stagnationen, beobachtet werden. Dies kann auf eine nur geringfügige Weiterentwicklung der morphologisch-physiologischen Grundlagen der Bewegungskoordination und die durch den Wachstumsschub bedingten erheblichen Veränderungen der Proportionen zurückgeführt werden (Roth & Winter, 2002, S. 99). Es leiden daher vor allem Bewegungen, welche ein hohes Ausmaß an Präzision und Feinsteuerung erfordern. In dieser Phase kann allerdings zumeist eine sprunghafte Verbesserung der konditionellen Fähigkeiten, wie beispielsweise Kraft und Ausdauer, verzeichnet werden (Stark, 2010, S. 94).

In der Adoleszenz (V) findet meist nochmals ein markanter Anstieg der Ausprägung der koordinativen Fähigkeiten statt, sodass mit dem Eintritt in das Erwachsenenalter (VI) das koordinative Niveau jeweils den individuellen Höhepunkt erreicht. Dieser wird je nach Art, Intensität und Umfang der bewegungsgerichteten Aktivität bestimmt, sodass sich eine persönliche „koordinative Handschrift“ abzeichnet (Roth & Winter, 2002, S. 99).

Auch wenn also nicht von strengen „sensiblen Phasen“, sondern nur von Tendenzen ausgegangen werden kann, so gilt dennoch als gesichert, dass es besonders vom Vorschulalter bis hin zum frühen Erwachsenenalter zu einem markanten Zuwachs der Gesamtkörperkoordination kommt, wobei enorme Zuwächse der Gesamtkörperkoordination besonders im Kinder- und Jugendalter beobachtet werden können (Roth & Winter, 2002, S. 98). Dordel (2003, S. 274) betont daher, dass besonders einer frühzeitigen, umfangreichen und vielseitigen Förderung der Entwicklung koordinativer Fähigkeiten besonderes Augenmerk zukommen sollte. Buschmann et. al. (2002, S. 15) sprechen ebenfalls dem Zeitraum zwischen Kindesalter und Pubeszenz für die Durchführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen und Ausbildung koordinativer Fähigkeiten eine wichtige Bedeutung zu. Da koordinative Fähigkeiten im Rahmen einer allgemeinen Grundlagenausbildung nicht nur für die Sport-, sondern auch für die Alltagspraxis von Bedeutung sind und die zu ihrer Schulung verwendeten koordinativ herausfordernden Bewegungsaufgaben erwiesenermaßen positive Auswirkungen auf jegliche Art von Lern- und Gedächtnisprozessen haben, kann dem sicherlich zugestimmt werden. Dies soll allerdings nicht bedeuten, dass die Schulung koordinativer Fähigkeiten und die Ausübung koordinativ herausfordernder Bewegungen gleichsam nicht auch in allen anderen Altersperioden erfolgen kann / soll.

Aufgrund des engen, wenn auch nicht eindeutigen Zusammenhangs zwischen Fähigkeiten und Fertigkeiten wird geschlussfolgert, dass das Hauptmittel zur Förderung koordinativer Fähigkeiten primär körperliche Aktivität sein muss. Denn „[d]urch das Erlernen und Vervollkommen von Bewegungsabläufen erhöht sich natürlich auch das Niveau der [zugrunde liegenden] koordinativen Fähigkeiten“ (Meinel & Schnabel, 2007, S. 232). Durch die Durchführung einer Körperübung kann eine bestimmte koordinative Fähigkeit allerdings niemals allein oder isoliert geschult werden, da Fähigkeiten immer in einem Wirkungskomplex an der Bewegungskonzeption beteiligt sind (Zimmermann, et. al., 2002, S. 27; Hirtz, 2002, S. 42). Vielmehr gilt es daher, je nach Schwerpunktsetzung und Ziel des Koordinationstrainings, durch eine gezielte Auswahl von koordinativ anspruchsvollen Übungen jeweils eine koordinative Fähigkeit betont in den Vordergrund zu stellen (Stark, 2010, S. 97f; Meinel & Schnabel, 2007, S. 233; Kosel, 2005, S. 10).

Sollen also gezielte Komponenten koordinativer Fähigkeit vorrangig geschult werden, so gilt es, bezüglich der Ausprägung und Vervollkommnung fundamentaler Fähigkeiten, einige Überlegungen anzustellen. Folgende Aspekte wurden dabei großteils aus Kosel (2005) und Ludwig et. al. (2002) übernommen:

Die *räumliche Orientierungsfähigkeit* wird vor allem durch Übungen verbessert, bei denen eine genaue Informationsaufnahme und -verarbeitung räumlicher Gegebenheiten und Bewegungen von Nöten ist. Besonders ständig wechselnde Spielsituationen, welche das Erkennen von Hindernissen (GegnerIn), Räumen und Begrenzungen fordern, stellen ausgezeichnete Mittel zur Verbesserung der räumlichen Orientierungsfähigkeit dar. Aber auch das Abstimmen der eigenen Bewegungstätigkeit auf feste oder sich verändernde räumliche Gegebenheiten (Geländelauf, variantenreiches Rollen um Körperlängs- und -querachse, Zielwurf- und -sprungübungen etc.) tragen, oft in engem Zusammenhang mit der Verbesserung der Differenzierungsfähigkeit, zur Ausprägung der räumlichen Orientierungsfähigkeit bei.

Jene Übungen, welche eine möglichst schnelle und situativ-angepasste Bewegungsantwort auf ein bestimmtes Signal verlangen, eignen sich besonders zur Schulung der *Reaktionsfähigkeit*. Dabei können die Signalgebungen und die damit verbundenen Aufgaben variiert werden. Lauf- und Fangspiele (Schwarz-Weiß, Nummernwettlauf, Jäger & Hase etc.) sind daher besonders für die Reaktionsschulung geeignet.

Zur Schulung und Verbesserung der *Gleichgewichtsfähigkeit* werden vor allem Übungen eingesetzt, welche komplizierte Bedingungen für den Erhalt oder die Wiederherstellung des Gleichgewichts mit sich bringen. Unterschiedliche Bewegungsaufgaben auf schmalen, mit Hindernissen versehenen oder labilen Stützflächen sowie das Ausschalten eines Analysators oder Balancierübungen mit PartnerInnen eignen sich hierfür besonders.

Bei Übungen zur Verbesserung der *Rhythmusfähigkeit* sollen Bewegungen beispielsweise an einen vorgegebenen Rhythmus (Seilspringen mit Musik, durch ein von anderen SchülerInnen gedrehtes Seil springen, verschiedenste Synchronübungen etc.), an eine vorgegebene Geräteaufstellung angepasst werden (Hürdenlauf) oder ein Rhythmus einer Bewegungsausführung erfasst und umgesetzt werden.

Bei der Schulung der *kinästhetischen Differenzierungsfähigkeit* werden vor allem Übungen eingesetzt, welche das genaue Aufnehmen und Verarbeiten von kinästhetischen Informationen voraussetzen. Verschiedenste Variationen von Zielwerfen, An- und Entspannungsübungen sowie Schwingen und Klettern stellen für die Ausprägung der kinästhetischen Differenzierungsfähigkeit geeignete Übungen dar.

Weiters kann sich der Einsatz zusätzlicher Mittel ohne die primär aktive Ausführung körperlicher Tätigkeit ebenfalls positiv auf die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten auswirken. Sitzt ein Kind beispielsweise auf einem Drehstuhl, welcher von einer anderen Person angedreht wird, so kommt es zwangsläufig zur Adaption der Vestibulärfunktionen, was sich wiederum positiv auf die Gleichgewichtsfähigkeit auswirkt (Meinel & Schnabel, 2007, S. 232).

Voelcker-Rehage (2013, S. 39) hebt zusammenfassend besonders folgende methodische Aspekte eines wirkungsvollen Koordinationstrainings hervor:

- vom Leichten zum Schwierigen – vom Einfachen zum Komplexen
- variantenreiche und vielfältige Gestaltung
- Anforderungen an Präzision, Zeitdruck und Komplexität
- schwierige und herausfordernde Übungen, sodass TeilnehmerInnen optimal gefordert werden

Methodisch geht es bei der Schulung koordinativer Fähigkeiten vor allem also um vielseitige, abwechslungsreiche, variable und herausfordernde Inhalte, da es immer nur dann Anpassungserscheinungen im Hinblick auf die Entwicklung koordinativer Fähigkeiten gibt, wenn neue, koordinativ anspruchsvolle Reize gesetzt und in der

Bewegungsausführung bewältigt werden müssen (Weineck, 2010, S. 804). „[D]enn eine Fähigkeit entwickelt sich nur in der Tätigkeit, in der sie gefordert wird. Koordinativ anspruchsvoll sind entweder neue, ungewohnte Übungen, komplizierte, schwierige oder ‚knifflige‘ Übungen sowie auch einfache Bewegungshandlungen, die durch Variation und Kombination koordinativ ‚erschwert‘ werden“ (Ludwig et. al., 2002, S. 189).

Ludwig et. al. (2002, S. 194), Dordel (2003, S. 437) sowie Meinel und Schnabel (2007, S. 234f) stellen zur konkreten Ausbildung koordinativer Fähigkeiten die methodische Maßnahme des variierten Übens in den Mittelpunkt (Abb. 34).

<i>Maßnahmen zur Variation der Bewegungsausführung</i>	<i>Maßnahmen zur Variation der Übungsbedingungen</i>
Veränderung der Ausgangs- und Endstellungen	Üben unter ungewohnten Bedingungen
Veränderung der Bewegungsrichtung und des Bewegungstempos	Üben nach konditioneller Belastung Üben unter eingeschränkter optischer Kontrolle
Variation des Krafteinsatzes	Üben nach Reizung des Vestibularanalysators
Spiegelbildliches, beidseitiges Üben	Zusätzliche Bewegungsaufgaben während des Übens
Kombination von Übungen	Verwenden von Handgeräten
Rhythmisch akzentuiertes Üben	
Üben nach vorgegebenen Rhythmen, (Partner Gruppe, Musik)	Variation von Entfernungen/Abständen Variieren von Geräten
Veränderung des Bewegungsumfangs	Veränderung der Stützfläche (Verkleinerung, Neigung, Erhöhung), Üben mit Gegenwirkung durch Partner, Üben unter Zeitdruck

Abb. 34: Methode des variablen Übens (Ludwig et. al., 2002, S. 194)

Hierbei werden Maßnahmen zur Variation der Bewegungsausführung von Maßnahmen zur Variation der Übungsbedingungen voneinander unterschieden, sodass immer wieder neue, koordinativ anspruchsvolle Situationen und Bewegungsaufgaben entstehen, welche die gezielte Ausbildung von koordinativen Fähigkeiten fördern sollen. Anders als beim motorischen Lernen werden die Veränderungen der Bewegungsausführung und der Übungsbedingungen nicht im Sinne von Vereinfachungsstrategien dazu verwendet, um die Bewegungsausführungen zu erleichtern, sondern um koordinativ herausfordernde Bewegungsaufgaben zu kreieren. So wird beispielsweise durch die Variation des Krafteinsatzes beim Zielwerfen durch unterschiedlich schwere Bälle primär die kinästhetische Differenzierungsfähigkeit geschult, während die Veränderung von Abständen und Entfernungen auf die Ausbildung der räumlichen Orientierungsfähigkeit abzielt. Durch diese methodische Maßnahme können so aus bereits beherrschten Bewegungsfertigkeiten koordinativ anspruchsvolle Bewegungen

abgeleitet werden, welche zur zielgerichteten Ausbildung unterschiedlichster koordinativer Fähigkeiten beitragen.

Ausgehend vom Vereinigungsmodell, welches auf die fähigkeitsorientierte Strukturierung verzichtet, um sich an koordinativen Anforderungsklassen zu orientieren, reduziert Roth (2007, S. 92) das Grundprinzip der Schulung allgemeiner koordinativer Leistungsvoraussetzungen auf die einfache Grundformel:

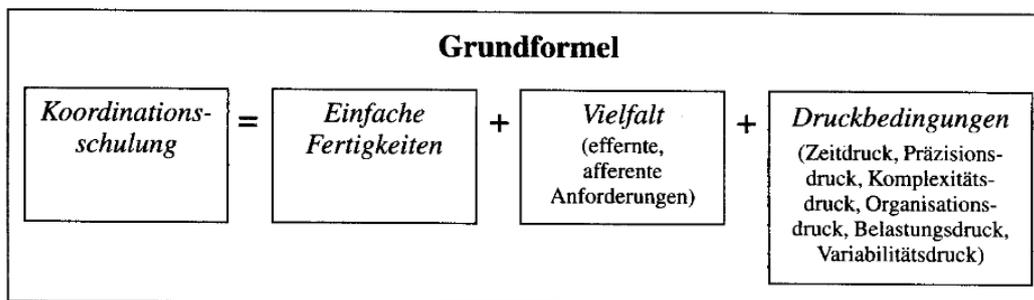


Abb. 35: Grundformel der Koordinationsschulung (Roth, 2007, S. 92)

Roth's (2007, S. 92) Formel liest sich dabei wie ein Kochrezept, welches neue, frische Koordinationsübungen entstehen lässt. „Die entscheidenden ‚Zutaten‘ der Koordinationsschulung sind [...] jeweils stabil beherrschte motorische Fertigkeiten, die informationell-variabel mit den [...] Druckbedingungen ‚gewürzt‘ werden.

Unter *einfachen Fertigkeiten* versteht Roth (2007, S. 93) dabei elementare motorische Fertigkeiten wie Gehen, Laufen, Hüpfen, Werfen, Schaukeln, Kriechen etc., welche von allen SchülerInnen stabil und problemlos beherrscht werden. Das heißt gleichzeitig aber auch, dass sich mit zunehmender Erfahrung und dem damit verbundenen Erwerb von Kompetenzen, das Feld der einfachen Fertigkeiten nach und nach erweitert, sodass auch fortgeschrittene Techniken der jeweiligen Sportarten die Basis der Koordinationsschulung bilden können.

Die Vielfalt der koordinativen Übungen ergibt sich erst durch die Kombination mit der *Vielfalt* an efferenten und afferenten Anforderungen der Informationsverarbeitung. Während efferente Anforderungen auf den Umfang der einzubeziehenden Muskelgruppen gerichtet sind, ergeben sich die afferenten Anforderungen im Hinblick auf den Einsatz von Sinnesorganen beziehungsweise Analysatoren, die während der Bewegungsausführung aktiv sind. Das Hauptaugenmerk kann beispielsweise auf feinmotorisch-visuelle Anforderungen (Zielwürfe, Jonglieren, etc.) oder aber auf eine großmotorisch-vestibuläre akzentuierte Informationsverarbeitung (Drehbewegungen,

ganzkörperliche Gleichgewichtsübungen) gelegt werden (Roth, 2007, S. 90f). So können zahlreiche koordinative Aufgabenstellungen abgeleitet werden, welche sich aus einfachen Fertigkeiten, gepaart mit unterschiedlichen Informationsverarbeitungsanforderungen, ergeben.

Zu guter Letzt gehört noch eine entscheidende Zutat der Koordinationsschulung in den Topf – die *Druckbedingungen*. Erst die Realisierung der Bewegungsaufgaben unter einer oder zwei der sechs motorisch-koordinativen Druckbedingungen verleiht dem Ganzen die richtige Würze. Besonders Spielformen sind für das Koordinationstraining unter anderem sehr geeignet, da sie neben Zeitdruck auch noch Anforderungen an Präzision, Variabilität und Komplexität stellen (Roth, 2007, S. 96).

Da sich sowohl die Informationsanforderungen, als auch die Druckbedingungen zwischen den Polen „hoch“ und „niedrig“ einstellen lassen, können Bewegungsaufgaben hinsichtlich ihrer koordinativen Schwierigkeit differenziert angeboten werden. Je nach Konstellation des sogenannten Koordinations-Anforderungs-Reglers kann die Komplexität der koordinativen Anforderung und somit der koordinative Schwierigkeitsgrad auch bei einfachen Bewegungen variiert und individuell abgestimmt werden (Lange, 2010, S. 169).

Mithilfe dieser Grundformel der Koordinationsschulung können innerhalb einzelner Unterrichtssequenzen Schwerpunkte gesetzt werden, sodass „koordinative Profilbildungen möglich“ werden (Roth, 2007, S. 94). Dazu muss nur eine der Zutaten der Koordinationsschulung konstant gehalten und die anderen beiden Zutaten variiert werden. So ergeben sich drei Perspektiven der Akzentuierung (Roth, 2007, S. 94):

1. Koordinationstraining mit Akzent auf einer *Elementarfertigkeit* unter variablen Informationsverarbeitungs- und Druckbedingungen
2. Koordinationstraining mit Akzent auf einem *Analysator* unter variablen Elementarfertigkeiten sowie Druckbedingungen
3. Koordinationstraining mit Akzent auf einer *Druckbedingung* unter variablen Elementarfertigkeiten und Informationsverarbeitungsbedingungen

Es wäre ebenfalls denkbar, eine gemischte Schwerpunktsetzung unter Konstanthaltung zweier Zutaten der Grundformel für Koordinationsschulung durchzuführen.

### 5.3 Vital4Brain und andere koordinative Bewegungsprogramme außerhalb des Unterrichts Bewegung und Sport

Aufgrund des wachsenden Bewusstseins über die Bedeutung körperlicher Betätigung für kognitive Prozesse wird zunehmend versucht, mehr Bewegung in die Gestaltung des Schulalltages zu integrieren. So soll nicht nur im Bewegungs- und Sportunterricht, sondern auch in anderen Bereichen der Schule einer bewegungsarmen Lebensweise des modernen Lebensstils entgegengewirkt und körperliche Aktivität als wichtiger Faktor des Überlebens verstärkt akzentuiert werden (Ratey & Hagermann, 2013, S. 10). Zahlreiche Initiativen, Programme und Projekte sind daher im Laufe der Zeit entstanden, welche allesamt zu einer „Bewegten Schule“<sup>4</sup> beitragen wollen.

Ein Bewegungsprogramm, welches allerdings vor allem koordinativ herausfordernde Bewegungsaufgaben in den Mittelpunkt stellt und so Bewegung in den Klassenraum bringen will, ist *Vital4Brain*. Dieses koordinative Bewegungsprogramm, bestehend aus 150 Übungen, wurde von Dr. Werner Schwarz und LehrerInnen des Bundesrealgymnasiums Wiener Neustadt Zehnergasse entwickelt und kann grundsätzlich in jede Unterrichtsstunde eingebaut werden. Die im Bewegungsprogramm *Vital4Brain* vorgestellten Übungen wurden dabei zum Teil aus bereits bestehenden Übungsprogrammen (z.B. *Brain-Gym* von Dennison) übernommen und neu entwickelt. Eine regelmäßige Integration des Bewegungsprogrammes soll die „Konzentrationsleistung verbessern, die koordinativen Fähigkeiten als wichtigen Faktor der motorischen Fähigkeiten trainieren und Bewegung, Aktivierung und Anregung unmittelbar in die Unterrichtsstunde in der Klasse bringen“ (Schwarz, 2012, S. 6). Eine *Vital4Brain*-Einheit, welche idealtypisch sieben bis 13 Minuten dauern sollte, gliedert sich dabei immer in vielfältige Übungen, zusammengestellt aus drei Modulen, Aktivierung (Aerobix), Koordination (Koordix) und Überleitung (Relaxix), dem methodischen Aufbau einer Sporeinheit folgend. Sechs solch fertig zusammengestellten Einheiten werden von den Autoren auf einer frei zu erwerbenden DVD präsentiert. Zunächst sollen durch drei bis neun aktivierende Übungen das Herz-Kreislaufsystem angekurbelt, Muskeln aktiviert und Gelenke mobilisiert werden, ehe sieben bis 15 koordinativ anspruchsvolle Bewegungen umgesetzt werden und somit den

---

<sup>4</sup> In der Literatur findet sich keine allgemein gültige Definition für das Konzept der „Bewegten Schule“. Geprägt wurde der Begriff allerdings maßgeblich vom Schweizer Sportpädagogen Urs Illi, welcher unter dem Konzept der „Bewegten Schule“ Aspekte wie bewegtes Lernen, bewegtes Sitzen, bewegliches Schulmobilar und bewegte Pause verstand. Je nach Autor werden diese Aspekte übernommen, weggelassen oder neue hinzugefügt, sodass verschiedenste Ideen ein neues Schulkonzept thematisieren, welches mehr Bewegung in die Schule bringen soll und eine ganzheitliche schulische Erziehung fordert.

zeitlich größten Teil einer Einheit einnehmen. Die koordinativ herausfordernden Bewegungen wurden dabei nach den Kriterien Steuerungs-, Rhythmus- und Dimensionswechsel sowie Bewegungsantwort ausgewählt (siehe Tab. 6). Weiters wird betont, dass Übungen aus dem Modul „Koordix“ vor allem immer dann variiert werden sollten, wenn diese auch unter Druckbedingungen mehrmals erfolgreich wiederholt werden können. Am Ende der Bewegungsintervention im Unterricht stehen dann vor allem entspannende und beruhigende Übungen, welche auf den unmittelbar folgenden Unterricht überleiten und vorbereiten sollen. Je nach Schwerpunktsetzung und Intention können sowohl einzelne als auch mehrere Übungen eines Moduls ausgewählt und praktisch umgesetzt werden (Schwarz, 2012, S. 10f).

<b>Kriterien und Gesichtspunkte zur Auswahl koordinativ herausfordernder Übungen</b>	
<b>Steuerungswechsel</b>	Eine diagonal-wechselseitige Bewegungsausführung wird ohne Unterbrechung des Bewegungsflusses von einer lateral-gleichseitigen Ausführung abgelöst und dann wieder zurück ohne Bewegungsunterbrechung in die diagonal-wechselseitige Ausführung gebracht.
<b>Rhythmuswechsel</b>	Rhythmusvorgaben von schnell und langsam, Taktvorgaben und Wechsel von zyklischen und azyklischen Bewegungsausführungen
<b>Dimensionswechsel</b>	Kombination von Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen, von Seitwärtsbewegungen nach links und rechts sowie von Hoch- und Tiefbewegungen.
<b>Bewegungsantwort</b>	Es gilt entweder auf eine vorgegebene Bewegung oder auf eine gestellte Frage motorisch schnell zu reagieren und die richtige Bewegungsantwort auszuführen.

Tab. 6: Kriterien und Gesichtspunkte zur Auswahl koordinativ herausfordernder Übungen des Moduls "Koordix" (nach Nikl & Schwarz, 2013, S. 12).

Für den Bewegungs- und Sportunterricht könnten aus dem Modul „Koordix“ dieses Bewegungsprogrammes ebenfalls koordinativ anspruchsvolle Übungen verwendet werden, um die koordinative Kompetenz der SchülerInnen zu verbessern und ihr Gehirn großflächig zu stimulieren.

Einige Übungsbeispiele aus dem Modul „Koordix“ sollen daher zur Verdeutlichung im Folgenden auszugsweise angeführt werden (Nikl & Schwarz, 2013, S. 20ff):

- „*Flaggensignal*“ – Vorgegebene Armbewegungen sollen jeweils auf einen Doppelschritt durchgeführt werden.

Takt 1: Beide Arme werden senkrecht in die Höhe gestreckt.

Takt 2: Arme werden seitlich nach unten geführt, sodass die Oberarme waagrecht stehen und die Unterarme mit rückwärts zeigenden Daumen senkrecht stehen.

Takt 3: Die Unterarme werden durch eine Drehung im Schultergelenk bei rechtwinkelig gebeugtem Ellbogen waagrecht nach vorne geführt, sodass die Daumen nach oben zeigen.

Takt 4: Während die Arme in der Waagrechten bleiben, werden die Handflächen zur Brust geführt.

Varianten: Coach- und Schülerbewegungen sind um einen Takt verschoben;  
Phasenversetzung – ein Arm ist genau um einen Takt vor dem anderen;  
Arm in der Bewegungsausführung (ohne/mit Standschritten);



Abb. 36: Abfolge des Flaggsignals mit phasenversetzten Armbewegungen (Schulverein Vital4Brain, 2012)

- „*Beinpendel/Armkreis*“ – Im Einbeinstand pendelt das Spielbein mit gestrecktem Knie vor und zurück. Die Arme werden vor den Körper gestreckt und zeichnen einen Kreis in die Luft, während das Bein weiterhin vor und zurück pendelt.

Varianten: Beinkreis/Armpendel; Beinkreis/Armachter; Beinachter/Armpendel;  
mit offenen/geschlossenen Augen

- „*Fingerklavier*“ – Ähnlich wie beim Klavierspielen werden die Finger bewegt, wobei der Daumen eine Klaviertaste darstellt. Zunächst sollen die Finger der rechten und linken Hand gleichzeitig beginnend mit dem Zeigefinger über den Mittelfinger bis zum kleinen Finger zum Daumen geführt werden und diesen berühren.

Varianten: Finger befinden sich (nicht) im Sichtfeld;

Bei der linken Hand beginnt der Zeigefinger mit der Übungsausführung, während bei der rechten Hand der kleine Finger beginnt.

Ausführung des Fingerklaviers im Einbeinstand;

Ausführung des Fingerklaviers mit unterschiedlichsten Beinbewegungen koppeln;



Abb. 37: Abfolge der Übung „Fingerklavier“ (Schulverein Vital4Brain, 2012)

- „Hand auf's Ohr“/„Hand auf die Nase“ – Aus einer aufrechten Sitzposition werden die Hände auf den Oberschenkel gelegt und anschließend die Ohren / ein Ohr und die Nase mit überkreuzten Armen berührt.

Varianten: Arme werden beim Berühren der Oberschenkel überkreuzt geführt; ein vorgegebener Rhythmus wird mit den Beinen mitmarschiert;

Die Wirksamkeit des koordinativen Bewegungsprogrammes *Vital4Brain* konnte in der Studie „BrainMove – bewege dich schlau“ (Beer et. al., 2012), welche ebenfalls am Bundesrealgymnasium Wiener Neustadt Zehnergasse durchgeführt wurde, nachgewiesen werden. Nach sechs Wochen, in welchen drei *Vital4Brain* Einheiten wöchentlich über zwölf Minuten durchgeführt wurden, kam es bei den SchülerInnen der Interventionsgruppe tatsächlich zu einer nachhaltigen Steigerung der Konzentrationsfähigkeit um etwa 3 Prozent im Vergleich zum Ausgangsniveau, unabhängig vom Effekt der Testwiederholung des d2 Tests. Eine kurzfristige Steigerung der Aufmerksamkeits- und Konzentrationsleistung durch eine einmalige Bewegungsintervention konnte allerdings nicht bestätigt werden. Zwar konnten Tendenzen in diese Richtung festgestellt werden, welche allerdings nicht signifikant genug waren, um den Zufall als Erklärungsursache ausschließen zu können (Beer et. al., 2012, S. 112).

Zahlreiche Schulen, wie beispielsweise die Wirtschaftsmittelschule in Ybbs oder die neue niederösterreichische Mittelschule Persenbeug, versuchen daher derzeit das koordinative Bewegungsprogramm *Vital4Brain* langfristig in ihren Schulalltag zu integrieren. Denn durch die leicht in den Unterricht zu integrierenden Übungen, wie etwa das „Fingerklavier“, werden die für verschiedenste Lernprozesse bedeutsamen

Gehirnareale aktiviert, sodass nachfolgende Lerninhalte mit gesteigerter Aufmerksamkeit bearbeitet werden können (Beer et. al., 2012, S. 107).

In eine ganz ähnliche Richtung geht das Bewegungsprogramm *Brainfitness*, welches im Rahmen der Initiative «Tut gut!» des Landes Niederösterreich und der Teilnahme am Projekt »Gesunde Schule« im Schuljahr 2009/10 an der Musik-Kreativ-Mittelschule Korneuburg ins Leben gerufen wurde. Durch die kognitiv und körperlich ansprechende Gestaltung von Bewegungspausen mithilfe der *Brainfitness* Übungssammlung soll eine Effizienzsteigerung der nachfolgenden Arbeitsphase bewirkt werden. Für diesen Zweck wurden 76 Bewegungsübungen von LehrerInnen zusammengetragen, welche die Konzentrationsfähigkeit und Lernbereitschaft der SchülerInnen erhöhen sowie Unruhe während des Unterrichts großteils vermeiden sollen. Neben aktivierenden, koordinativ herausfordernden und entspannenden Bewegungen – ähnlich wie sie auch im Bewegungsprogramm *Vital4Brain* zu finden sind – wurden auch Bewegungsaufgaben aus den Bereichen Kräftigung und Beweglichkeit in das Programm *Brainfitness* integriert, welche eine allgemeine Haltungsverbesserung der SchülerInnen bedingen sollen. Auf einer DVD und in einer Übungskartei werden diese *Brainfitness* Übungen vorgezeigt beziehungsweise beschrieben, sodass möglichst viele SchülerInnen erreicht werden können. Weiters werden an der Musik-Kreativ-Mittelschule Korneuburg SchülerInnen auf freiwilliger Basis zu *Brainfitness*-Coaches ausgebildet, welche für die regelmäßige und richtige Anwendung der Übungen im Unterricht eintreten sollen.

Ogleich seitens der Programmentwickler betont wird, dass diese Übungen körperliche und geistige Abwechslung bringen, Müdigkeit und Verspannung vorbeugen, die Konzentration und das Lernen positiv beeinflussen, so wurde die tatsächliche Wirksamkeit dieses Bewegungsprogramms bislang noch durch keine Studie untersucht und bestätigt. Der aktuelle Wissensstand und die Studie von Beer et. al. (2012) lassen allerdings vermuten, dass diese Behauptungen gerechtfertigt sind und tatsächlich zutreffen.

Das Bewegungsprogramm des Schweizer Bundesamts für Sport *Schule bewegt* versucht ebenfalls mit unterschiedlichsten Modulen, welche leicht in den Unterricht integriert werden können, Bewegung in den Schulalltag zu bringen. Bei Teilnahme an diesem Bewegungsprogramm, welches 20 Minuten zusätzliche Bewegung in den Schulalltag zu integrieren versucht, können Lehrpersonen aus einer breiten Palette an Modulen wählen. Neben Modulen zur Erarbeitung verschiedenster Lerninhalte und sozialer Kompetenzen

durch Bewegung und „Begreifen“ im wahrsten Sinne des Wortes, wird unter anderem auch auf koordinativ herausfordernde Bewegungen zur Unterstützung des Lernprozesses gesetzt. Im Modul „Bewegungs- und Lernstationen“ finden sich beispielsweise koordinativ herausfordernde Bewegungen, wie etwa das Balancieren auf einem Rola-Rola oder die Jonglage, welche als eigene Bewegungsstationen während des Unterrichts eingesetzt oder mit einer Lernstation kombiniert werden können. Auch das Modul „Bewegungspausen“, welches während des Unterrichts auf die Steigerung der Konzentrationsfähigkeit und Erhöhung der nachfolgenden Lerneffizienz zielt, bietet koordinativ anspruchsvolle Bewegungsübungen an. Auf sogenannten Modulkärtchen werden diese beschrieben und bildlich dargestellt (Abb. 38):



Abb. 38: Modulkärtchen "Bewegungspause" Ohr- und Nasenklemme (Zugriff am 24.04.2014 unter [http://www.sport.admin.ch/schulebewegt/modulkarten/ohr\\_nasenklemme\\_de.jpg](http://www.sport.admin.ch/schulebewegt/modulkarten/ohr_nasenklemme_de.jpg))

Leider sind aber nur Schweizer und Liechtensteiner Schulklassen jeder Stufe zur Teilnahme am Bewegungsprogramm zugelassen, sodass nicht jede Schule im deutschsprachigen Raum von dem umfangreichen Angebot von *Schule bewegt* profitieren kann. Die hier exemplarisch vorgestellte Bewegungsübung „Ohr- und Nasenklemme“ findet sich allerdings beispielsweise unter dem Namen „Hand auf's Ohr“/„Hand auf die Nase“ im österreichischen Bewegungsprogramm *Vital4Brain* wieder.

### 5.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde zunächst die Verankerung der Thematisierung des Konstrukts „koordinative Fähigkeiten“ im Unterrichtsfach Bewegung und Sport durch eine Analyse der Lehrpläne für die Volksschule sowie für die Sekundarstufe I und II dargelegt. Die Ausbildung, Weiterentwicklung und allgemeine Förderung koordinativer Fähigkeiten

wird dabei als fundamentaler Bestandteil und Grundlage der Befähigung zum Bewegungshandeln verstanden. Dabei bedienen sich die Lehrpläne durchgängig am Modellansatz nach Hirtz (1985) und den darin für den Schulsport hervorgehobenen fünf fundamentalen koordinativen Fähigkeiten. Weiters sollen konkrete methodisch-didaktische Hinweise und Bewegungsaufgaben die Implementierung des Konstrukts „koordinative Fähigkeiten“ für die Praxis transparent halten.

Des Weiteren wurde die Entwicklung und Trainierbarkeit koordinativer Fähigkeiten kritisch betrachtet. Diesbezüglich gilt es festzuhalten, dass für die zielgerichtete Entwicklung bestimmter koordinativer Fähigkeiten zwar günstige Zeitfenster, bedingt durch den Verlauf der motorischen Entwicklung, existieren, grundsätzlich aber eine vielseitige, variable, dem Alter angepasste, allgemeine Koordinationsschulung schon sehr früh erfolgen kann/soll (Stark, 2010, S. 93). Auch können koordinative Fähigkeiten durch die Ausübung koordinativ herausfordernder motorischer Fertigkeiten niemals isoliert voneinander geschult werden, da sie in einem Wirkungskomplex miteinander die Ausführung einer Bewegungshandlung bedingen (Hirtz, 2002, S. 42). So kann eine bestimmte koordinative Fähigkeit lediglich durch die Akzentuierung einer Ausführungskomponente in den Vordergrund gestellt werden (Kosel, 2005, S. 10).

Zur Förderung koordinativer Fähigkeiten und der damit verbundenen Erstellung von koordinativ anspruchsvollen Bewegungsaufgaben wurden in diesem Kapitel daher die Methode des variablen Übens und die Formel der Koordinationsschulung nach Roth (2007) vorgestellt. Unter Berücksichtigung der in diesen Methoden vorgestellten Aspekte können immer wieder neue, koordinativ herausfordernde Bewegungsaufgaben zur Entwicklung und Förderung der koordinativen Fähigkeiten im Unterricht Bewegung und Sport erstellt werden.

Neben praktischen Überlegungen bezüglich der Schulung koordinativer Fähigkeiten im Bewegungs- und Sportunterricht wurden in diesem Kapitel auch Bewegungsprogramme vorgestellt, welche versuchen, koordinativ herausfordernde Bewegungen in den gesamten Schulalltag zu integrieren. Die Entwicklung und das Vorhandensein von koordinativen Bewegungsprogrammen wie *Vital4Brain*, *Brainfitness* und Bewegungsmodule aus der Schweizer Initiative *Schule bewegt* verdeutlichen zudem auch die Bedeutung des Konstrukts „koordinative Fähigkeiten“ für das mentale Lernen im Setting Schule.



### 6 SCHLUSSBETRACHTUNG UND FAZIT

In der vorliegenden Diplomarbeit wurde versucht, mithilfe der hermeneutischen Arbeitsweise einen Überblick über den Stellenwert, die Modelle und Positionen koordinativer Fähigkeiten sowie über Möglichkeiten ihrer Förderung zu geben.

In der Literatur finden sich aufgrund der von WissenschaftlerInnen differenzierend eingenommenen Betrachtungsperspektiven unzählige Klassifizierungsansätze und Modelle, welche allesamt versuchen, das Phänomen der (Bewegungs-) Koordination durch unterschiedliche Zugänge für die Praxis greifbar zu machen. Dabei werden je nach Position verschiedene Aspekte in den Vordergrund gerückt, sodass sich den interessierten LeserInnen ein buntes Mosaik unterschiedlichster Koordinationskomponenten erschließt. In der Literatur bis heute am weitesten verbreitet ist allerdings das Konzept und die Terminologie der koordinativen Fähigkeiten. Auch hier sind jedoch diverse Ordnungsansätze zu finden, sodass gegenwärtig „nicht von einem einheitlichen, allgemein gültigen, wissenschaftlich abgesicherten Strukturkonzept“ ausgegangen werden kann (Meinel & Schnabel, 2007, S. 220).

Als bedeutende Komponente sportlicher Leistung nehmen die koordinativen Fähigkeiten vor allem im Zusammenhang mit dem motorischen Lernprozess und der motorischen Entwicklung einen hohen Stellenwert ein. Durch Studien (vgl. Hirtz & Starosta, 2000; Wellnitz & Hirtz, 1983; Zimmermann & Nicklisch, 1981) ist belegt, dass der Grad ihrer Ausbildung neben vielen anderen Einflussfaktoren, mitbestimmend für das Tempo und den Verlauf beim Erwerb von Bewegungsfertigkeiten ist. Eine breite sportliche Grundlagenausbildung mit dem Ziel der Schulung koordinativer und konditioneller Fähigkeiten als Basis des motorischen Handelns und das Ermöglichen des Sammelns vielfältiger Bewegungserfahrung durch herausfordernde und ansprechende Bewegungsaufgaben sollte somit vor oder zumindest zeitgleich mit der Ausbildung von Spezialwissen erfolgen (Roth, 2007, S. 85). Diese Tendenz zeichnet sich ebenfalls in den Lehrplänen des Unterrichtsfaches Bewegung und Sport ab, wo die motorische Grundlagenausbildung und in diesem Zusammenhang die Schulung koordinativer Fähigkeiten in ihrer Bedeutung für die Alltags- und Sportpraxis hervorgehoben wird. Eine höhere Plastizität und Variabilität der Bewegungssteuerungsprozesse, bedingt durch koordinative Kompetenz als Resultat vielfältiger Bewegungserfahrung und gleichzeitiger Schulung koordinativer

Fähigkeiten, beeinflusst den Verlauf des motorischen Lernprozesses insofern, als dass der gewünschte Lernerfolg schneller erzielt wird (Stark, 2010, S. 73; Weineck, 2010, S. 804; Zimmermann et. al., 2002, 32). Gut ausgeprägte koordinative Fähigkeiten verhelfen den SportlerInnen allerdings nicht nur dazu, eine neue Bewegung in ihrer Grundform leichter und schneller umzusetzen, sondern diese im weiteren Lernverlauf auch bei wechselnden und erschwerten Umweltbedingungen erfolgreich umzusetzen.

Während die Bedeutung der koordinativen Fähigkeiten für den Verlauf motorischer Lernprozesse gut dokumentiert ist (vgl. Hirtz & Starosta, 2000; Wellnitz & Hirtz, 1983; Zimmermann & Nicklisch, 1981), gibt es bislang nur wenige Untersuchungen, die sich mit dem Zusammenhang zwischen der Ausbildung koordinativer Fähigkeiten und mentalen Lernprozessen auseinandersetzen. Der Beziehung zwischen Bewegung und Kognition wird allerdings schon lange nachgegangen. Menschen als „Bewegungstiere“ können gar nicht anders, als sich mit dem Sehen, Planen und Ausführen von Bewegungen zu beschäftigen, da etwa zwei Drittel des Gehirns diesem Zweck gewidmet sind (Spitzer, 2012, S. 167).

Die dargestellten neurobiologischen Studienergebnisse zeigen, dass körperliche Bewegung in engem Zusammenhang mit gesteigerter geistiger (Lern-) Leistung steht, da die Hirnfunktionen verbessert und die Stimmung aufgeheitert wird. Durch körperliche Tätigkeit kann das Gehirn, ähnlich wie ein Muskel trainiert werden (Ratey & Hagermann, 2013, S. 12). Durch Bewegung erhöht sich die Blutkonzentration chemischer Substanzen, welche sich positiv auf die Stimmung auswirken (Blakemore & Frith, 2006, S. 193) und das durch körperliche Tätigkeit verstärkt durchblutete Gehirn wird besser mit Sauerstoff und anderen Nährstoffen versorgt (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 23). Verschiedene Wachstumsfaktoren, die bei Bewegung verstärkt produziert werden, sorgen für eine verbesserte Kapillarisation des Gehirns, fördern das für das Lernen notwendige Wachstum der Dendriten und somit die Neubildung von synaptischen Verschaltungen (Voelcker-Rehage et. al., 2013, S. 24) und modulieren die Neurogenese im Hippokampus (vgl. Gomez-Pinilla et. al., 1997). Diese durch Bewegung neu gebildeten Nervenzellen müssen allerdings durch herausfordernde (Bewegungs-) Aufgaben in das bereits bestehende neuronale Netzwerk integriert werden, um nicht wieder abzusterben. Obgleich schon viele Untersuchungen und Forschungsergebnisse zur Auswirkung von kardiovaskulärer Bewegung auf kognitive Prozesse vorliegen und dieses Feld somit relativ gut erforscht ist, liegen bis heute nur relativ wenige Studien vor, welche konkret den Einfluss koordinativ anspruchsvoller

Bewegungen auf neurophysiologische Strukturen und Vorgänge untersucht haben. Einige Querschnittsstudien (vgl. Son & Meisels, 2006; Voelcker-Rehage, 2005; Graf et. al., 2003) konnten zwar bereits eine direkte positive Korrelation zwischen gut ausgeprägten koordinativen Fähigkeiten und kognitiven Leistungen aufzeigen, jedoch kann die Richtung des Zusammenhangs dabei nicht eruiert werden. Interventions- und Verlaufsstudien (vgl. Voelcker-Rehage et. al., 2011; Budde et. al., 2008) konnten allerdings ebenfalls bestätigen, dass sich die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungshandlungen positiv auf kognitive Prozesse auswirkt. Die Ergebnisse dieser Studien weisen vor allem auf eine erhöhte Aufmerksamkeit hin. Eine genaue Analyse über den Wirkungszusammenhang zwischen koordinativem Training und einer verbesserten kognitiven Leistung ist jedoch noch ausständig. Derzeit wird nur vermutet, dass koordinativ anspruchsvolle Bewegungen, ob ihres hohen Anteils an kognitiven Elementen, verschiedenste, für Lernprozesse fundamental, wichtige Gehirnareale (vor-) aktivieren, sodass die Verarbeitung von nachfolgenden Informationsinhalten erleichtert wird (Budde et. al., 2008, S. 222). Diese nachfolgenden Inhalte können sowohl mentaler (Faktenwissen), als auch motorischer Art sein, da die durch die Ausführung koordinativ anspruchsvoller Bewegungen erreichte Aktivierung verschiedenster Gehirnareale eine günstige Voraussetzung für jegliche Art von Lernvorgängen zu sein scheint. Da Lernen nur an aktiven Synapsen erfolgen kann (Spitzer, 2003, S. 159), scheinen koordinativ anspruchsvolle Bewegungen, neben den durch die körperliche Betätigung ohnedies eintretenden positiven Effekten, somit hervorragend dafür geeignet zu sein, für jene Aktivität in denen für das Lernen wichtigen Arealen zu sorgen. Zur Erlangung einer vertieften Einsicht in diese Thematik und der Erfassung der genauen Zusammenhänge zwischen Gehirn und Kognition sind allerdings noch weitere Untersuchungen notwendig.

Diese Zusammenhänge betonen den Stellenwert der Thematisierung koordinativ herausfordernder Bewegungsinhalte im Unterrichtsfach Bewegung und Sport zum einen sowie die Wichtigkeit ihrer Integration in Bewegungspausen in anderen Unterrichtsfächern zum anderen. Neben Möglichkeiten zur Gestaltung des Unterrichts in Bewegung und Sport für die Vermittlung koordinativer Kompetenz, wurden deshalb auch allgemeine Bewegungsprogramme vorgestellt, welche vielfältige koordinative Bewegungsaufgaben zur Unterstützung des Lernprozesses anbieten. Natürlich kann damit kein Rezept abgeliefert werden, welches, sofern strikt befolgt, zu einem optimalen (Lern-) Ergebnis führt. Vielmehr liegt es im Ermessen jeder Lehrperson,

unter Berücksichtigung der individuellen Voraussetzungen, Stärken und Lernfelder eines jeden Schülers und einer jeden Schülerin die richtige Dosierung, den richtigen Zeitpunkt und die richtige Übungsauswahl für einen vielseitigen, abwechslungsreichen, ansprechenden, herausfordernden und freudvollen Unterricht zu finden, der die SchülerInnen in ihrer persönlichen Entwicklung fördert und fordert.

## LITERATURVERZEICHNIS

---

**LITERATURVERZEICHNIS**

- Adams, J. (1971). A closed-loop theory of motor behavior. *Journal of Motor Behaviour*, 3, 111-149.
- Barth, K. (2006). Früherkennung und Prävention von Lernstörungen. *Frühförderung Interdisziplinär*, 25, 169-186.
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2009). *Neurowissenschaften. Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Beer, G. & Schwarz, W. (2012). Lernen und Bewegung – Schlaglichter auf den aktuellen Forschungsstand. *Erziehung und Unterricht*, 1-2, 87-102.
- Beer, G., Nikl, D. & Schwarz, W. (2012). Studie „BrainMove-bewege dich schlau“. *Erziehung und Unterricht*, 1-2, 103-113.
- Bernstein, N. A. (1991). *O lovkosti iee razvitii*. Moskva: Fizkul'tura i Sport.
- Bertram, A.M. & Laube, W. (2008). *Sensomotorische Koordination. Gleichgewichtstraining auf dem Kreisel*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Birklbauer, J. (2006). *Modelle der Motorik: Eine vergleichende Analyse moderner Kontroll-, Steuerungs- und Lernkonzepte*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Bittmann, F. et. al. (2005). Über den funktionellen Zusammenhang zwischen posturaler Balanceregulation und schulischen Leistungen. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 56 (10), 348-352.
- Black, J. E. et. al. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis in cerebellar cortex of adult rats. *Proceedings of the National Academy of Science*, 87, 5568-5572.
- Blakemore, S.-J. & Frith, U. (2006). *Wie wir lernen*. München: Verlagsgruppe Random House.
- Blood, A.J. & Zatorre, R.J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *PNAS*, 98 (20), 11817-11823.
- Blume, D.D. (1978). Zu einer wesentlichen theoretischen Grundposition für die Untersuchung der koordinativen Fähigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 27 (1), 29-36.

- Bös, K. (2003). Motorische Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen. In Schmidt, W., Hartmann-Tews, I. & Brettschneider, W.-D. (Hrsg.), *Erster Deutscher Kinder- und Jugendsportbericht* (S. 185-207). Schorndorf: Hofmann.
- Brisswalter, J. et. al. (1997). Influence of physical activity on simple reaction time: effect of physical fitness. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 1019-1027.
- Budde, H. et. al. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441, 219-223.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (Hrsg.). (2000). *Lehrplan der allgemeinbildenden höheren Schulen (AHS Unterstufe) – Bewegung und Sport*. BGBl. II Nr. 133/2000.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (Hrsg.). (2006). *Lehrplan für Bewegung und Sport ab der 9. Schulstufe*. BGBl. II Nr. 284/2006.
- Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur (Hrsg.). (2012). *Lehrplan der Volksschule - Bewegung und Sport*. BGBl. II Nr. 303/2012.
- Buschmann, J., Bussmann, H. & Pabst, K. (2002). *Koordination. Das neue Fußballtraining*. Aachen: Meyer & Meyer.
- Cotman, C. W. & Berchtold, N. C. (2002). Exercise: a behavioral intervention to enhance brain health and plasticity. *Trends in Neurosciences*, 25 (6), 295-301.
- Cotman, C.W. & Engesser-Cesar, C. (2002). Exercise enhances and protects brain function. *Exercise Sports Science Review*, 30 (2), 75-79.
- Danner, H. (1998). *Methoden geisteswissenschaftlicher Pädagogik* (4., überarbeitete Auflage). Basel: E. Reinhardt.
- Dennison, P. (1996). *Befreite Bahnen*. Freiburg: Verlag für angewandte Kinesiologie.
- Diamond, A. (2000). Close Interrelation of Motor Development and Cognitive Development and of the Cerebellum and Prefrontal Cortex. *Child Development*, 71, 44-56.
- Diedrichsen, J., Criscimagna-Hemminger, S.E. & Shadmehr, R. (2007). Dissociating timing and coordination as functions of the cerebellum. *Journal of Neuroscience*, 27, 6291-6301.
- Dilthey, W. (1961). Der Aufbau der geschichtlichen Welt in den Geisteswissenschaften. *Gesammelte Schriften Band VII*. Stuttgart.
- Dordel, S. (2003). *Bewegungsförderung in der Schule. Handbuch des Sportförderunterrichtes* (4., überarbeitete und erweiterte Aufl.). Dortmund: Verlag Modernes Lernen.

- Dordel, S. & Kunz, T. (2005). *Bewegung und Kinderunfälle: Chancen motorischer Förderung zur Prävention von Kinderunfällen*. Eine Expertise im Auftrag der Bundesarbeitsgemeinschaft Mehr Sicherheit für Kinder e.V. Zugriff am 25.05.2014 unter [http://www.schulsport-nrw.de/fileadmin/user\\_upload/sicherheits\\_und\\_gesundheitsfoerderung/pdf/SI\\_8074.pdf](http://www.schulsport-nrw.de/fileadmin/user_upload/sicherheits_und_gesundheitsfoerderung/pdf/SI_8074.pdf).
- Draganski, B. et. al. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311-312.
- Drowsdowski, G., Scholze-Stubenrecht, W. & Wermke, M. (1997). *Duden Fremdwörterbuch*. Wien: Dudenverlag.
- Dwyer, T. et. al. (1983). An Investigation of the Effects of Daily Physical Activity on the Health of Primary School Students in South Australia. *International Journal for Epidemiology*, 12, 308-313.
- Eggert, D., Brandt, K, Jendrizki, H. & Küppers, B. (2000). Verändert sich die motorischen Kompetenzen von Schulkindern? Ein Vergleich zwischen den Jahren 1985 und 1995. *Sportunterricht*, 49 (11), 350-355.
- Elbert, T. et. al. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270, 305-307.
- Eriksson, P.S. et. al. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4 (11), 1313-1317.
- Erlacher, D. (2010). Mentales Training als Simulation. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 17 (3), 69-77.
- Erk, S. et. al. (2003). Emotional context modulates subsequent memory effect. *Neuroimage*, 18 (2), 439-447.
- Fetz, F. (1989). *Bewegungslehre der Leibesübungen*. Bad Homburg: Limpert.
- Fitts, P.M. & Posner, M.I. (1967). *Human performance*. Oxford: Brooks & Cole.
- Gassen, H. G. (2008). *Das Gehirn*. Darmstadt: Primus.
- Gentili, R. et. al. (2010). Motor Learning Without Doing: Trial-by-Trial Improvement in Motor Performance During Mental Training. *Journal of Neurophysiology*. 104 (2), 774-783.
- Gomez-Pinilla, F., Dao, L. & So, V. (1997). Physical activity induces fibroblast growth factor in the hippocampus, *Brain Research*, 764 (1-2), 1-8.

- Gomez-Pinilla, F., Vaynman, S., Ying, Z. (2008). Brain-derived neurotrophic factor functions as a metabotropic to mediate the effects of exercise on cognition. *The European Journal of Neuroscience*, 28, 2278-2287.
- Graf, C., Koch, B. & Dordel, S. (2003). Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und Konzentration im Kindesalter – Eingangsergebnisse des CHILT-Projektes. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 54 (9), 242-246.
- Greene, D. & Lepper, M. (1974). Effects of Extrinsic Rewards on Children's Subsequent Intrinsic Interest. *Child Development*, 45, 1141-1145.
- Greier, K. (2011). Schneesportverletzungen im Schulsport. Möglichkeiten der Prävention. *Sport Orthopädie Traumatologie*, 27 (4), 267-273.
- Gundlach, H. (1968). Systembeziehungen körperlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 17, 198-205.
- Hahn, T. et. al. (1999). One-leg standing balance and sports activity. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 9 (1), 15-19.
- Heimann, K., Heubrock, D. & Petermann, F. (2005). Diagnostik von Entwicklungsauffälligkeiten im Kindesalter. *Monatsschrift Kinderheilkunde*, 153, 871-877.
- Hernandez, M.T. et. al. (2002). Deficits in executive functions and motor coordination in children with frontal lobe epilepsy. *Neuropsychologia*, 40, 384-400.
- Hill, Rudolf. (1991). Schulung koordinativer Fähigkeiten. Wien: ÖDISP.
- Hillmann, C.H. & Schott, N. (2013). Der Zusammenhang von Fitness, kognitiver Leistungsfähigkeit und Gehirnzustand im Schulkindalter: Konsequenzen für die schulische Leistungsfähigkeit. *Zeitschrift für Sportpsychologie*, 20 (1), 33-41.
- Hirtz, P. & Sarosta, W. (2000). Sensible und kritische Perioden in der Entwicklung der Bewegungskoordination und das „beste motorische Lernalter“. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 123-127). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Hirtz, P. & Wellnitz, I. (1985). Hohes Niveau koordinativer Fähigkeiten führt zu besseren Ergebnissen im motorischen Lernen. *Körpererziehung*, 35, 151-154.
- Hirtz, P. (1985). *Koordinative Fähigkeiten im Schulsport*. Berlin: Volk und Wissen.
- Hirtz, P. (1994). Motorische Handlungskompetenz als Funktion motorischer Fähigkeiten. In Hirtz, P., Kirchner, G. & Pöhlmann, R. (Hrsg.). *Sportmotorik* (S. 117-148). Kassel: Universität-Gesamthochschule.

- Hirtz, P. (1997). Von der Gewandtheit zu den koordinativen Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 20-24). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Hirtz, P. (2002). Was sind koordinative Fähigkeiten? Begriffs- und Wesensbestimmung. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 39-43).
- Hirtz, P., Hotz, A. & Ludwig, G. (2005). *Gleichgewicht* (2., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Hockey, J. & Collinson, J.A. (2007). Grasping the Phenomenology of Sporting Bodies. *International Review for the Sociology of Sport*, 42 (2), 115-131.
- Hollmann, W. & Strüder, H.K. (2000). Gehirn, Psyche und körperliche Aktivität. *Der Orthopäde*, 11, 948-956.
- Hollmann, W., Strüder, H.K. & Tagarakis, C.V.M. (2003) Körperliche Aktivität fördert Gehirngesundheit und –leistungsfähigkeit. *Nervenheilkunde*, 22 (9), 467-474.
- Hossner, E.-J. (2002). Module als vernetzte koordinative Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 77-83). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Hötting, K. & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37, 2243-2257.
- Hotz, A. (1992). Kindliches Bewegungslernen als Welterfahrung. In: Altenberger, H. & Maurer, F. (Hrsg.), *Kindliche Welterfahrung in Spiel und Bewegung. Sportpädagogische Perspektiven* (S. 95-118). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Hotz, A. (2002). Dank koordinativer Kompetenz mehr Leistungseffizienz! In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 84-90). Kassel: Gesamtschul-Bibliothek.
- Hüther, G. (2013). *Bedienungsanleitung für ein menschliches Gehirn - Die Macht der inneren Bilder - Biologie der Angst*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Israel, S. (1976). Die Bewegungskoordination frühzeitig ausbilden. *Körpererziehung*, 27 (1). 1-5.
- Kambas, A. et. al. (2004). Unfallverhütung durch Schulung der Bewegungskoordination bei Kindergartenkindern. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 55 (2), 44-47.

- Kampe, K.K.W. et al. (2001). Reward value of attractiveness and gaze. *Nature*, 413, 598.
- Kastner, J. & Petermann F. (2010). Entwicklungsbedingte Koordinationsstörungen: Zum Zusammenhang von motorischen und kognitiven Defiziten. *Klin Padiatr*, 222, 26-34.
- Kempermann, G. (2012). Körperliche Aktivität und Hirnfunktion. *Der Internist*, 6, 689-704.
- Kempermann, G., Huhn, H.G. & Gage, F.H. (1997). More hippocampal neurons in adult mice living in an enriched environment. *Nature*, 386 (6624), 493-495.
- Kirchheis, D. (1977). *Die motorische Differenzierungsfähigkeit – eine wesentliche koordinative Leistungsvoraussetzung*. Dissertation, Deutsche Hochschule für Körperkultur Leipzig.
- Kittel, R., Nitsch, J., Höhne, J. & Wick, D. (2008). Entwicklungsstand motorischer Fähigkeiten im Grundschulalter. In: Knoll, M. & Bös, K. (Hrsg.), *Sport und Gesundheit in der Lebensspanne* (S. 136-141). Hamburg: Czwalina.
- Klix, F. (1973). *Information und Verhalten*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Köck, P. & Ott, H. (1994). *Wörterbuch für Erziehung und Unterricht*. Donauwörth: Verlag Ludwig Auer.
- Konczak, J. (2006). Motorisches Lernen. In: Karnath, H.-O. & Thier, P. (Hrsg.) *Neuropsychologie*. Heidelberg: Springer.
- Konecny, E. & Leitner, M.-L. (2006). *Psychologie* (9., Auflage). Wien: Braumüller.
- Konrad, K. (2001). *Wege zum erfolgreichen Lernen. Ansatzpunkte, Strategien, Beispiele*. Weinheim: Beltz Juventa.
- Korte, M. (2009). *Wie Kinder heute lernen. Was die Wissenschaft über das kindliche Gehirn weiß*. München: Deutsche Verlag-Anstalt.
- Kosel, A. (2005). *Schulung der Bewegungskoordination. Übungen und Spiele für den Sportunterricht der Grundschule* (7., unveränderte Aufl.). Schorndorf: Hofmann.
- Kubesch, S. & Spitzer, M. (1999). Sich laufend wohlfühlen. Aerobes Ausdauertraining bei psychisch Kranken. *Nervenheilkunde*, 18, 363-370.
- Lange, H. & Baschta, M. (2013). *Fitness im Schulsport*. Aachen: Meyer & Meyer Verlag.
- Lange, H. (2010). Bewegungskoordination – Koordinationslernen. In Lange, H. & Sinning, S. (Hrsg.), *Handbuch Methoden im Sport* (S. 165-181). Balingen: Spitta.

- Limbourg, M.; Reiter, K. (2003). Die Gefährdung von Kindern im Straßenverkehr. In: Podlich, C.; Kleine, W. (Hrsg.), *Kinder auf der Straße: Bewegung zwischen Begeisterung und Bedrohung* (S. 64–91). Sankt Augustin: Academia-Verlag.
- Loosch, E. (1999). *Allgemeine Bewegungslehre*. Wiebelsheim: Limpert.
- Ludwig, G.; Hirtz, P. & Arens, I. (2002). Didaktisch-methodische Konzeption zur Vervollkommnung koordinativer Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 188-197). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Markowitsch, H.-J. (2002). *Dem Gedächtnis auf der Spur. Vom Erinnern und Vergessen*. Darmstadt: Primus Verlag.
- Martin, D. (1982). Zur sportlichen Leistungsfähigkeit von Kindern. *Sportwissenschaft*, 12, 255-274.
- Martin, D. et. al. (1999). *Handbuch Kinder- und Jugendtraining*. Schorndorf: Hoffmann.
- Mechling, H. (1992). Motorisches Lernen. In Röthig, P. et. al. (Hrsg.). *Sportwissenschaftliches Lexikon* (S. 323-327). Schorndorf: Hoffmann.
- Meinel, K. & Schnabel, G. (2007). *Bewegungslehre Sportmotorik. Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt* (11., überarbeitete und erweiterte Aufl.). Aachen: Meyer & Meyer.
- Memmert, D. & Weickgenannt, J. (2006). Zum Einfluss sportlicher Aktivität auf die Konzentrationsleistung im Kindesalter. *Spectrum der Sportwissenschaft*, 18, 77-99.
- Menche, N. (Hrsg.) (2007). *Biologie, Anatomie, Physiologie* (6., überarbeitete Aufl.). München: Elsevier GmbH.
- Müller, C. & Obier, M. (2001). Lernen durch und beim Bewegen. In Zimmer, R. & Hunger, I. (Hrsg.), *Kindheit in Bewegung* (S. 206-208). Schorndorf: Hoffmann.
- Müller, E., Fastenbauer, V. & Redl, S. (2008). *Klug & Fit online: Projektbericht*. Bundesministerium für Unterricht, Kunst und Kultur: Universität Salzburg. Zugriff am 23.05.2014 unter: [http://www.klugundfit.at/dokumente/kuf\\_bericht08\\_web.pdf](http://www.klugundfit.at/dokumente/kuf_bericht08_web.pdf).
- Munzert, J., Lorey, B., & Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Review*, 60, 306-326.
- Neeper, et. al. (1996). Physical activity increases mRNA for brain-derived neurotrophic factor and nerve growth factor in rat brain. *Brain Research*, 726, 49-56.

- Neumaier, A. & Mechling, H. (1995). Taugt das Konzept „koordinativer Fähigkeiten“ als Grundlage für sportartspezifisches Koordinationstraining? In Blaser, P., Witte, K. & Stucke, C. (Hrsg.), *Steuer- und Regelvorgänge der menschlichen Motorik* (S. 207-212). St. Augustin.
- Nickl, D. & Schwarz, W. (2012). *Vital4Brain: Programmstruktur und Vital4Brain Übungen*. Eigenverlag Schulverein Vital4Brain.
- O’Craven, K.M.; Downing, P.E. & Kanwisher, N. (1999). fMRI evidence for objects as the units of attentional selection. *Nature*, 401, 584-587.
- Pascual-Leone, A. & Torres, F. (1993). Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain*, 116, 39-52.
- Piaget, J. (1936) *Origins of intelligence in the child*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Pöhlmann, R. (1977). 5 Thesen zum Fähigkeitssystem der Sportmotorik im handlungspsychologischen Bezug. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 26 (7), 513-518.
- Pöhlmann, R., Kirchner, G. & Wohlgefahrt, K. (1979). Der psychomotorische Fähigkeitskomplex – seine Kennzeichnung und seine Vervollkommnung. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 28, 898-907.
- Polatajko, H.J. & Mandich, A. (2008). *Ergotherapie bei Kindern mit Koordinationsstörungen: der CO-OP Ansatz*. Stuttgart: Thieme Verlag.
- Posner, M.I.; Snyder, C.R. & Davidson, B.J. (1980). Attention and the Detection of Signals. *Journal of Experimental Psychology*, 109 (2), 160-174.
- Ranganathan, V.K. et. al. (2004). From mental power to muscle power – gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia*, 42 (7), 944-956.
- Ratgey, J.J. & Hagerman, E. (2013). *Superfaktor Bewegung: Das Beste für Ihr Gehirn!* Kirchzarten: VAK.
- Recanzone, G.H.; Schreiner, C.E. & Merzenich, M.M. (1993). Plasticity in the frequency representation of primary auditory cortex following discrimination training in adult owl monkeys. *The Journal of Neuroscience*, 13, 87-103.
- Rösch, H. (2013). Das Gedächtnis hinterlässt Spuren [Elektronische Version]. *Max Planck Forschung*, 1, 20-26.
- Roth, G. (1999). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*. Frankfurt: Suhrkamp.
- Roth, G. (2004). Warum sind Lehren und Lernen so schwierig? *Zeitschrift für Pädagogik*, 50 (4), 496-506.

- Roth, K. & Winter, R. (2002). Entwicklung koordinativer Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 97-103). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Roth, K. (1982). *Strukturanalyse koordinativer Fähigkeiten. Empirische Überprüfung koordinations-theoretischer Konzepte*. Bad Homburg: Limpert.
- Roth, K. (1990). Ein neues „ABC“ für das Techniktraining im Sport. *Sportwissenschaft*, 20 (1), 9-26.
- Roth, K. (2002). Die fähigkeitsorientierte Betrachtungsweise der Sportmotorik und die koordinativen Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig, B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 13-19). Kassel: Gesamtschul-Bibliothek.
- Roth, K. (2007). Wie verbessert man koordinative Fähigkeiten? In Bielefelder Sportpädagogen (Hrsg.), *Methoden im Sportunterricht* (S. 85-102). Schorndorf: Hoffmann.
- Schischkoff, G. (Hrsg.). (1982). *Philosophisches Wörterbuch [begründet von Schmidt, H.]* (21., neu bearbeitete Auflage). Stuttgart: Kröner.
- Schmidt; R.A. (1994). Eine Schematheorie über das Lernen diskreter motorischer Fertigkeiten. In Kaul, P. & Zimmermann, K.W. (Hrsg.), *Psychomotorik in Forschung und Praxis*, 2. Kassel: Gesamthochschulbibliothek.
- “Schnecke – Bildung braucht Gesundheit” (2007). Hessisches Kultusministerium in Zusammenarbeit mit den Hochschulen in Aalen und Bochum (Hrsg.). Zugriff am 25.05.2014 unter: [http://www.bildung-kommt-ins-gleichgewicht.de/index\\_htm\\_files/ErgebnisSchnecke1.pdf](http://www.bildung-kommt-ins-gleichgewicht.de/index_htm_files/ErgebnisSchnecke1.pdf)
- Schöllhorn, W.I., Beckmann, H., Janssen, D. & Michelbrink, M. (2009). Differenzielles Lehren und Lernen im Sport. Ein alternativer Ansatz für einen effektiven Sportunterricht. *sportunterricht*, 58 (2), 36-40.
- Schreiner, P. (2000). Koordinationstraining Fußball. Hamburg: Rowohlt.
- Schulverein Vital4Brain (Hrsg.). (2012). Vital4Brain – Bewusst bewegen; Besser lernen. DVD.
- Schwarz, W. (2012). *Vital4Brain: Idee zum Programm und Umsetzung in der Schule*. Eigenverlag Schulverein Vital4Brain.
- Serrien, D.J., Ivry, R.B. & Swinnen, S.P. (2007). The missing link between action and cognition. *Progress in Neurobiology*, 82, 95-107.

- Shepard, R. (1997). Curricular Physical Activity and Academic Performance. *Pediatric Exercise Science*, 9, 113-126.
- Shoenfelt, E.L. & Griffith, A.U. (2008). Evaluation of mental skills program for serving for an intercollegiate volleyball team. *Perceptual Motor Skills*, 107 (1), 293-306.
- Shors, T. et. al. (2001). Neurogenesis in the adult is involved in the formation of trace memories. *Nature*, 410, 372-375.
- Sibley, B.A. & Etnier, J.L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15, 243-256.
- Simonek, J. (2013). Speed and coordination improvement by means of agility training. *Sport Science*, 6 (1), 95-98.
- Sinz, R. (1979). *Neurobiologie und Gedächtnis*. Stuttgart: Gustav Fischer.
- Small, D.M. et. al. (2001). Change in brain activity related to eating chocolate. From pleasure to aversion. *Brain*, 124, 1720-1733.
- Son, S.H. & Meisels, S.J. (2006). The Relationship of young children's motor skills to later school achievement. *Merrill Palmer Quarterly*, 52 (4), 755-778.
- Speckmann, E.-J., Wittkowski, W. (2006). *Praxishandbuch Anatomie. Bau und Funktion des menschlichen Körpers*. Erfstadt: Area Verlag.
- Spencer et. al. (2006). Moving Toward a Grand Theory of Development: In Memory of Ester Thelen. *Child Development*, 77 (6), 1521-1538.
- Spitzer, M. (2000). *Der Geist im Netz. Modelle für Lernen, Denken und Handeln*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Spitzer, M. (2003). *Lernen. Gehirnforschung und die Schule des Lebens*. Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Spitzer, M. (2012). *Digitale Demenz. Wie wir uns und unsere Kinder um den Verstand bringen*. München: Droemer.
- Stadler, F. (2012). Die Macht der Spiegelneuronen. Lernen und Wissen – der Lehrwert des Zusehens – unsere innere Haltung. *WIFI Wien* (S. 1-16). Zugriff am 23.05.2014 unter: <http://www.wifiwien.at/images/download/Spiegelneuronen.pdf>.
- Stark, S. (2010). *Fußball und Koordination: Effektives Jugendtraining im Bereich der Motorik*. Hamburg: Diplomica Verlag GmbH.
- Stich, H. (2009). Teilleistungsstörungen bei Einschulungskindern. *Kinder- und Jugendmedizin*, 9 (1), 42-48.
- Strüder, H.K. et. al. (1999). Influence of moderate and excessive endurance training on the serotonergic system. *International Journal of Sports Medicine*, 20, 538.

- Sturm, W. (2004). *Aufmerksamkeitsstörungen*. Göttingen: Hogrefe Verlag.
- Thornby, M.A. (1995). Balance and falls in the frail older person. A review of the literature. *Geriatrics Rehabilitation, 11* (2), 35-43.
- Tremblay, M.S.; Inman, J.W. & Willms, J.D. (2000). The Relationship Between Physical Activity, Self-Esteem, and Academic Achievement in 12-Year-Old Children. *Pediatric Exercise Science, 12*, 312-323.
- Tücke, M. (2003). *Grundlagen der Psychologie für (zukünftige) Lehrer*. Münster: LIT Verlag.
- Vaynman, S., Ying, Z. & Gomez-Pinilla, F. (2004) Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience, 20*, 1030-1034.
- Voelcker-Rehage, C. & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 37*, 2268-2295.
- Voelcker-Rehage, C. (2005). Der Zusammenhang zwischen motorischer und kognitiver Entwicklung im frühen Kindesalter - Ein Teilergebnis der MODALIS-Studie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 56* (10), 358-359.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B. & Staudinger, U.M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience, 31*, 167-176.
- Voelcker-Rehage, C., Godde, B. & Staudinger, U.M. (2011). Cardiovascular and coordination training differentially improve cognitive performance and neural processing in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience, 5* (26), 1-12.
- Voelcker-Rehage, C., Tittlbach, S., Jasper, B. M. & Regelin, P. (2013). *Gehirntraining durch körperliche Bewegung. Wie körperliche Aktivität das Denken fördert*. Frankfurt: Meyer & Meyer Verlag.
- Vogt, L., Neumann, A. & Bürklein, M. (2007). *Sport in der Prävention. Handbuch für Übungsleiter, Sportlehrer, Physiotherapeuten und Trainer*. Köln: Deutscher Ärzte Verlag.
- Waldeyer, A. & Mayet, A. (1993). *Anatomie des Menschen 2* (16. Auflage). Berlin: de Gruyter.
- Weineck, J. (2004). *Grundlagen Sportwissen*. Balingen: Spitta.

- Weineck, J. (2010). *Optimales Training. Leistungsphysiologische Trainingslehre unter besonderer Berücksichtigung des Kinder- und Jugendtraining*. Balingen: Spitta.
- Wiacek, M. et. al. (2009). Deterioration of basic coordinative parameters defines life quality of elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 49 (2), 212-214.
- Widmer, K. (1977). *Sportpädagogik. Prolegomena zur theoretischen Begründung der Sportpädagogik als Wissenschaft* (2., erweiterte und verbesserte Auflage). Schorndorf: Hoffmann.
- Willimczik, K., Meierarend, E.-M., Pollmann, D. & Reckerweg, R. (1999). Das beste motorische Lernalter. *Sportwissenschaft*, 29 (1), 42-61.
- Wilson, M.A. & McNaughton, B.L. (1993). Dynamics of the hippocampal ensemble code for space. *Science*, 261, 1055-1058.
- Windisch, C., Voelcker-Rehage, C. & Budde, H. (2011). Förderung der geistigen Fitness bei Schülerinnen und Schüler durch koordinative Übungen. *Sportunterricht*, 10, 307-311.
- Witte, F. (2013). Baustelle im Kopf [Elektronische Version]. *Max Planck Forschung*, 1, 28-34.
- Yerkes, R.M. & Dodson, J.D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-485.
- Zimmer, H. (1984). *Zur Struktur der koordinativen Leistungsfähigkeit jüngerer trainierender Erwachsener und Möglichkeiten ihrer Erfassung. Ein Beitrag zur Theorie koordinativer Fähigkeiten*. Dissertation, Deutsche Hochschule für Körperkultur, Leipzig.
- Zimmermann, K. & Nicklisch, R. (1981). Die Ausbildung koordinativer Fähigkeiten und ihre Bedeutung für technische bzw. technisch-taktische Leistungsfähigkeit der Sportler. *Theorie und Praxis der Körperkultur*, 30 (10), 764-768.
- Zimmermann, K. & Rostock, J. (2002). Koordinationskriterien und koordinative Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 65-69). Kassel: Gesamthochschul-Bibliothek.
- Zimmermann, K., Schnabel, G. & Blume, D.-D. (2002). Koordinative Fähigkeiten. In Ludwig G. & Ludwig B. (Hrsg.), *Koordinative Fähigkeiten – koordinative Kompetenz* (S. 25-33). Kassel: Gesamtschul-Bibliothek.
- Zimmermann, K.W. & Kaul, P. (2001). Einführung in die Psychomotorik. In Kaul, P. & Zimmermann, K.W. (Hrsg.). *Psychomotorik in Forschung und Praxis*, 30. Kassel: Gesamthochschulbibliothek.

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Verstehen nach Dilthey (nach Danner, 1998, S. 41) .....	14
Abb. 2: Hermeneutischer Zirkel (Zugriff am 16.05.2014 unter <a href="https://www.uni-due.de/~gev020/studweb/einwaller-stuhlmacher-hermeneutik5.htm">https://www.uni-due.de/~gev020/studweb/einwaller-stuhlmacher-hermeneutik5.htm</a> ) .....	15
Abb. 3: Die drei grundlegenden Funktionen von Bewegung (Bertram & Laube, 2008, S. 71) .....	19
Abb. 4: Die Beziehung zwischen Fertigkeiten und Fähigkeiten (Loosch, 1999, S. 220).....	20
Abb. 5: Übersicht zu den die Leistung mitbestimmenden motorischen Fähigkeiten (Meinel & Schnabel, 2007, S. 213) .....	21
Abb. 6: Strukturelles Gefüge koordinativer Fähigkeiten (Zimmermann et. al., 2002, S. 33) .....	27
Abb. 7: Handlungspsychologische Fähigkeitsklassifikation (Pöhlmann et. al., 1979, S. 900; in: Loosch, 1999, S. 218) .....	29
Abb. 8: Fundamentale koordinative Fähigkeiten für den Schulsport (nach Hirtz, 1985; in: Dordel 2003, S. 273) .....	30
Abb. 9: Arten des Gleichgewichts (Fetz 1989, S. 258; in: Weineck, 2010, S. 796) .....	34
Abb. 10: Vereinigungsmodell (Roth, 2007, S. 90).....	40
Abb. 11: Motorisch-koordinative Druckbedingungen (Roth, 2007, S. 91).....	41
Abb. 12: Koordinative Funktionen (vgl. Lange, 2010, S. 176).....	42
Abb. 13: Koordinative Funktionen von Fangspielen (vgl. Lange, 2010, S. 177) .....	44
Abb. 14: Querschnitt durch das Gehirn (Menche, 2007, S. 134) .....	47
Abb. 15: Hirnlappen des Großhirns mit ihren primären und sekundären sensorischen und motorischen Rindenfeldern (Menche, 2007, S. 136) .....	48
Abb. 16: Lokalisation der Funktionen des Großhirns nach Kleist (Waldeyer & Mayet, 1993, S. 304) .....	50
Abb. 17: Nervenzellen, wie sie von Ramón y Cajal nach Färbung und mikroskopischer Betrachtung gezeichnet wurden (Spitzer, 2000, S. 5) .....	54
Abb. 18: Nervenzelle (Korte, 2007, S. 76).....	54
Abb. 19: Motorischer (links) und sensorischer (rechts) Penfieldscher Homunkulus (modifiziert nach Posner & Raichle, 1996; in: Spitzer, 2003, S. 101).....	57
Abb. 20: Lernvorgänge lassen neue dendritische Dornen entstehen (Rösch, 2013, S. 23) .....	61
Abb. 21: Wie Lernen die Synapse verändert (Rösch, 2013, S. 25).....	62
Abb. 22: Papez'scher Schaltkreis (Markowitsch, 2002, S. 22).....	66
Abb. 23: Gedächtnissysteme des menschlichen Gehirns (Korte, 2006, S. 60) .....	71
Abb. 24: Modellvorstellung der Informationsverarbeitung im menschlichen Gehirn (Markowitsch, 2002, S. 104).....	74

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

Abb. 25: Disparate Einzelinformationen als witzige Visualisierung (Blakemore & Frith, 2006, S. 217) .....	80
Abb. 26: Bei der Ausführung einer Bewegung (links) und bei der Visualisierung der Ausführung einer Bewegung (rechts) beanspruchte Hirnareale (Blakemore & Frith, 2006, S. 232). .....	81
Abb. 27: Zusammenhang zwischen Erregung und Leistung - Gesetz nach Yerkes und Dodson (Spitzer, 2003, S. 142) .....	87
Abb. 28: Beispiel eines Stimulus (O'Craven et. al., 1999, S. 585).....	88
Abb. 29: Idealierte Verlaufskurve eines Leistungskriteriums beim motorischen Lernen (Loosch, 1999, S. 177) .....	100
Abb. 30: Schematische Darstellung des möglichen Zusammenhangs körperlicher Aktivität und Kognition (Hötting & Röder, 2013, S. 2253).....	110
Abb. 31: Schwerpunktmäßige Vervollkommnung koordinativer Fähigkeiten der Klassen 1-10 (Hirtz, 1978; in: Weineck, 2004, S. 381) .....	125
Abb. 32: Modell sensibler Phasen der Trainierbarkeit (nach Martin et. al., 1999, S. 152).....	126
Abb. 33: Entwicklung der koordinativen Grundfunktion (Roth & Winter, 2002, S. 98).....	127
Abb. 34: Methode des variablen Übens (Ludwig et. al., 2002, S. 194) .....	131
Abb. 35: Grundformel der Koordinationsschulung (Roth, 2007, S. 92) .....	132
Abb. 36: Abfolge des Flaggensignals mit phasenversetzten Armbewegungen (Schulverein Vital4Brain, 2012) .....	136
Abb. 37: Abfolge der Übung „Fingerklavier“ (Schulverein Vital4Brain, 2012) .....	137
Abb. 38: Modulkärtchen "Bewegungspause" Ohr- und Nasenklemme (Zugriff am 24.04.2014 unter <a href="http://www.sport.admin.ch/schulebewegt/modulkarten/ohr_nasenklemme_de.jpg">http://www.sport.admin.ch/schulebewegt/modulkarten/ohr_nasenklemme_de.jpg</a> ) .....	139

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1: Zur Begriffsvielfalt im Bereich der koordinativen Fähigkeiten (Roth, 2007, S. 88) .....	25
Tab. 2: Darstellung der Ergebnisse der wiedergegebenen Wörter, geordnet nach dem emotionalen Kontext der Einspeicherung (Erk et. al., 2003, S. 443).....	92
Tab. 3: Ausgewählte Phasenmodelle zum motorischen Lernen (Meinel & Schnabel, 2007, S. 164).....	94
Tab. 4: Ein Auszug der Lernerwartungen im Erfahrungs- und Lernbereich „motorische Grundlagen“ (BGBl. II Nr. 303/2012, S. 2).....	121
Tab. 5: Ein Auszug der Lernerwartungen im Erfahrungs- und Lernbereich „motorische Grundlagen“ (BGBl. II Nr. 303/2012, S. 4).....	121
Tab. 6: Kriterien und Gesichtspunkte zur Auswahl koordinativ herausfordernder Übungen des Moduls "Koordix" (nach Nikl & Schwarz, 2013, S. 12). .....	135

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit einzuholen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.



## **Eidesstattliche Erklärung**

Hiermit erkläre ich an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Zuhilfenahme der ausgewiesenen Hilfsmittel angefertigt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die im Wortlaut oder dem Sinn nach anderen gedruckten oder im Internet verfügbaren Werken entnommen sind, habe ich durch genaue Quellenangaben kenntlich gemacht.

Wien, 2014

---

Lisa Pfneisl



# **LEBENS LAUF**

## **Angaben zur Person**

*Name* Lisa Pfneisl  
*E-Mail* lisa.pfneisl@gmail.com

## **Ausbildung**

*seit 2010* Studium an der Universität Wien  
Lehramt Bewegung & Sport, Englisch  
*2002-2010* G/RG Sachsenbrunn - sprachlicher Zweig  
*1997-2002* Volksschule Ober-Aspang

## **Weiterbildung & besondere Kenntnisse**

*2012* Trainerin Hochseilgarten Mönichkirchen  
*2010* Österreichischer Rettungsschwimmerschein  
*2009* Führerschein B  
*2006* ECDL Core Certificate  
*2005* VAW International Basic Windsurf-Licence