



fhg – Zentrum für Gesundheitsberufe Tirol GmbH

FH-Master-Studiengang - Pädagogik in Gesundheitsberufen

Autobiographische Erinnerung und motorische Imagination als Lernmittel in der Rehabilitation

Masterarbeit

Verfasserin: Susanne Wopfner, Dipl. Physiotherapeutin

Betreuer: Dr. med., Dipl. Phys. ETHZ Fabio Mario Conti

Innsbruck, im Mai 2015

Dank

Zu Beginn dieser Arbeit möchte ich Danke sagen, denn viele Personen haben Anteil daran, dass ich dieses Studium absolvieren und diese Masterarbeit schreiben konnte. Der erste Dank gebührt dem Betreuer meiner Masterarbeit, Dr. med., Dipl. Phys. ETHZ Fabio Mario Conti. Seit vielen Jahren darf ich von ihm lernen und von seiner Erfahrung profitieren. Er hat mich beim Schreiben der Arbeit professionell und feinfühlig betreut, hat alle meine Fragen sehr schnell und ausführlich beantwortet und mir äußerst hilfreiche Tipps gegeben. Dank gebührt auch dem Lehr- und Forschungspersonal der Fachhochschule Gesundheit, allen Referentinnen und Referenten und besonders dem Studiengangs-Leiter, Mag. Manfred Nagele, MSc, der mich immer wieder durch so manchen methodologischen Wink zurück zum richtigen Weg geführt hat. Recht herzlich bedanken möchte ich mich auch bei meinen Studienkolleginnen und Studienkollegen, die mir durch spannende Gespräche während der Vorlesungen oder auch beim Kaffee in den Pausen interessante Inputs gegeben haben. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meiner Studienkollegin Andrea Rainer, die mir während der ganzen Studienzeit zur Seite stand und mir über so manche Schwierigkeit hinweggeholfen hat. Sie ist zur echten Freundin geworden. Großer Dank gebührt auch meinen Geschwistern Maria, Stefan, Theresa und Verena und meinen Eltern, Barbara und Michael Kuhn, die alle großes Verständnis für diese besondere Herausforderung gezeigt haben und die mich während meiner gesamten Studienzeit mit Rat und Tat unterstützt haben. Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei meinen wundervollen Söhnen, Fabian und Simon. Sie haben nicht nur so manchen Verzicht tapfer ertragen, sondern auch durch ihre neugierigen Fragen und durch ihre junge, moderne Sichtweise mein pädagogisches Denken erweitert. Aber sie haben auch durch ihr Lächeln und ihre Umarmungen psychische Tiefs schnell verschwinden lassen. Der größte Dank gebührt meinem Mann, Thomas, der mir seit 22 Jahren seine Liebe schenkt und mir während der gesamten Studienzeit aufopfernd den Rücken frei gehalten hat. Ihm ist es zu verdanken, dass ich dieses Studium überhaupt begonnen habe, denn er hat mir den Mut gegeben dieses Unterfangen zu wagen. Als Pädagoge und Germanist war er mir nicht nur beim Entwickeln und Schreiben diverser Arbeiten eine große Hilfe, sondern auch, dass meine Masterarbeit in dieser Form entstehen konnte, ist ihm zu verdanken.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	6
1.1 Motivation.....	6
1.2 Problemstellung.....	7
1.3 Ziel der Arbeit.....	9
1.4 Methodik.....	9
1.4.1 Forschungsleitende Fragen.....	9
1.4.2 Literaturrecherche	10
1.4.3 Aufbau	11
2 Gedächtnis	12
2.1 Begriffsbestimmung Gedächtnis	12
2.2 Funktionsweise des Gedächtnisses.....	14
2.3 Das limbische System und die Bedeutung der Emotion.....	18
2.4 Merkmale autobiographischer Erinnerungen	21
2.5 Das neuronale Netzwerk bei autobiographischen Erinnerungen.....	24
2.5.1 Ergebnisse einer Meta-Analyse	25
2.5.2 Die Bedeutung der Emotionalität und der Bewertung	29
2.5.3 Bi- oder unilaterale Aktivierung	32
2.5.4 Precuneus: ein Bindeglied zwischen Imagination und Erinnerung?	34
2.6 Funktion des autobiographischen Gedächtnisses.....	38
3 Imagination	41
3.1 Die Geschichte der Imaginationsforschung	41
3.1.1 Die visuelle Imagination	41
3.1.2 Die motorische Imagination.....	45
3.2 Das neuronale Netzwerk bei motorischer Imagination	58
3.2.1 Prämotorische Aktivierung bei motorischer Imagination.....	61
3.2.2 Aktivierung des primär motorischen Kortex bei motorischer Imagination.....	61
3.2.3 Aktivierung des Parietalkortex bei motorischer Imagination	63
3.2.4 Fronto-parietales Netzwerk bei motorischer Imagination.....	64
3.2.5 Die Funktion der motorischen Imagination.....	65
3.3 Bedeutende Aspekte der motorischer Imagination	67
3.3.1 Visuelle versus kinästhetische motorische Imagination	67
3.3.2 Motorische Imagination von komplexen Alltagsbewegungen	71
3.3.3 Die „Vividness“ der motorischen Imagination.....	74
3.4 Die Anwendung der motorischen Imagination	79
4 Schlussfolgerungen aus der Literaturrecherche	84
4.1 Neuronaler Vergleich: Imagination / autobiographische Erinnerung.....	84
4.2 Vor- und Nachteile der autobiographischen Erinnerung.....	90
4.3 Modell zur Wirkweise der autobiographischen Erinnerung	100
4.4 Mögliches Modell für die Praxisanwendung.....	105
5 Resümee	109
6 Literaturverzeichnis	111
7 Anhang	115

Abstract

Autobiographical memory and motor imagery as a learning tool in rehabilitation

Author: Susanne Wopfner, Qualified Physiotherapist

Supervisor: Dr. med., Dipl. Phys. ETHZ Fabio Mario Conti

Master Course: Educational Theory for Health Professions

Keywords: autobiographical memory, motor imagery, process of motor learning, rehabilitation, learning tool.

Background: During the process of motor learning in the rehabilitation, sometimes it poses a problem to transfer the abilities patients have acquired in therapy into their daily lives. Frequent incorrect movements in daily routine implement in people's memory both the pathologic program and the pathologic sense of movement so that they become predominant. These patients cannot memorize successfully enough the correct sense of movement perceived in their therapy sessions to recall it in daily life when necessary. The present literature study deals with the question if autobiographical memory as a special form of motor imagery could be a suitable learning tool to face those troubles.

Interrogations: The study analyses and clarifies the following questions:

1. In which respect does the neuronal activation during the mental representation of a movement within an autobiographical memory differ from a motor imagery in a therapy setting?
2. Which advantages and drawbacks does the autobiographical memory have compared with the traditional motor imagery concerning the process of motor learning?
3. Which characteristics must autobiographical memory have to be helpful for the process of motor learning?

Method: These questions have been dealt with based on systematic literature studies in relevant national and international databases (PRIMO, PUBMED, CDSR, RVKO, DOAJ, MEDPILOT, GOOGLE SCHOLAR) and in the libraries of the University of Innsbruck and the University of Applied Sciences Tyrol.

Results: The application of autobiographical memory as a special form of motor imagery seems to be appropriate in rehabilitation because the sequences of movement and consequently as well the sense of movement are still physiologically stored within these memories. The complex neuronal network and the emotional content of these memories make it easier to recall these representations and to relive them intensively. They contain many details, which are experienced as a multisensory unity. Additionally they activate all motor-relevant neural areas if autobiographical memories containing components of movement are activated.

Conclusion: Autobiographical memories seem to be adequate as a learning tool for motor rehabilitation. Consequently, patient and functional neuroimaging studies should follow up to quantify the effectivity and to check the processes in the CNS.

Zusammenfassung

Autobiographische Erinnerung und motorische Imagination als Lernmittel in der Rehabilitation

Verfasserin: Susanne Wopfner, Dipl. Physiotherapeutin

Betreuer: Dr. med., Dipl. Phys. ETHZ Fabio Mario Conti

FH-Master-Studiengang - Pädagogik in Gesundheitsberufen

Schlüsselwörter: autobiographische Erinnerung, motorische Imagination, motorischer Lernprozess, Rehabilitation, Lernmittel;

Ausgangslage: Beim motorischen Lernprozess tritt immer wieder die Problematik auf, dass einige Personen Schwierigkeiten haben, das in der Rehabilitation Gelernte in den Alltag zu transferieren. Durch die häufige unkorrekte Bewegungsausführung im Alltag haben sich das dazugehörige pathologische Bewegungsprogramm und damit auch das pathologische Bewegungsgefühl im Gedächtnis fest verankert, sodass diese sehr dominant werden. Diesen PatientInnen gelingt es zu wenig, das in der Therapie wahrgenommene korrekte Bewegungsgefühl abzuspeichern und bei Bedarf im Alltag wieder aus dem Gedächtnis abzurufen. Die vorliegende Literaturstudie geht der Frage nach, ob die autobiographische Erinnerung als besondere Form der motorischen Imagination ein geeignetes Lernmittel sein könnte, um diesen Schwierigkeiten zu begegnen.

Fragestellungen: Die Studie untersucht und klärt folgende Fragestellungen:

1. Inwiefern unterscheidet sich die neuronale Aktivierung bei der mentalen Repräsentation einer Bewegung innerhalb einer autobiographischen Erinnerung von einer motorischen Imagination im Therapie-Setting?
2. Welche Vor- und Nachteile hat die Erinnerung aus dem autobiographischen Gedächtnis gegenüber der herkömmlichen motorischen Imagination hinsichtlich des motorischen Lernprozesses?
3. Welche Merkmale muss eine autobiographische Erinnerung haben, damit sie für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte?

Methode: Die Fragestellungen wurden auf der Basis systematischer Literaturrecherchen in relevanten nationalen und internationalen Datenbanken (PRIMO, PUBMED, CDSR, RVKO, DOAJ, MEDPILOT, GOOGLE SCHOLAR) und in den Bibliotheken der Universität Innsbruck und der Fachhochschule für Gesundheit Tirol bearbeitet.

Ergebnisse: Die Anwendung der autobiographischen Erinnerung als besondere Form der motorischen Imagination scheint als Lernmittel in der Rehabilitation geeignet, da innerhalb dieser Erinnerungen die Bewegungsabläufe und damit auch das Bewegungsgefühl noch physiologisch abgespeichert sind. Durch das sehr umfangreiche neuronale Netzwerk und den emotionalen Gehalt dieser Erinnerungen sind diese Repräsentationen im Gehirn leichter abrufbar, intensiv wiedererlebbar und enthalten viele Details, die als multisensorische Einheit wahrgenommen werden. Diese aktivieren zudem alle bewegungsrelevanten neuronalen Areale, wenn autobiographische Erinnerungen aktiviert werden, die auch Bewegungskomponenten enthalten.

Schlussfolgerung: Autobiographische Erinnerungen scheinen als Lernmittel für die motorische Rehabilitation geeignet, daher sollten Patientenstudien aber auch bildgebende Gehirnstudien folgen, um die Effektivität quantifizieren und die Vorgänge im ZNS überprüfen zu können.

1 Einleitung

Die demographische Alterung, also die wachsende Zahl und der steigende Anteil alter und betagter Menschen in unserer Gesellschaft bringen mit sich, dass mehr Personen unter einer kurzfristigen, langandauernden oder chronischen Bewegungsstörung leiden (vgl. Statistik Austria 2007). Auch das immer aktivere Freizeitverhalten unserer Gesellschaft führt dazu, dass die Zahl der Freizeitunfälle auf hohem Niveau langsam, aber kontinuierlich zunimmt (vgl. Kuratorium für Verkehrssicherheit 2011). Sowohl altersbedingte Bewegungseinschränkungen, wie z.B. nach einem Schlaganfall, als auch Bewegungsstörungen, die durch einen Freizeitunfall verursacht wurden, führen zu funktionellen Beeinträchtigungen und dadurch häufig auch zu psychischen Belastungen.

Auf der anderen Seite wird dank besserer bildgebender Techniken, wie der funktionellen Magnetresonanztomographie oder der Positronen-Emissions-Tomographie, das Gehirn immer besser verständlich. Funktionsabläufe, die vor einer Bewegung im Gehirn stattfinden, können so bildgebend dargestellt werden. Auch plastische Veränderungen im zentralen Nervensystem (ZNS), bedingt durch periphere oder zentrale Läsionen, aber auch bedingt durch einen gezielten Lernprozess, können immer besser erforscht werden. Ebenso ist das Verständnis für das Gedächtnis, das die Grundlage des Lernprozesses darstellt, dank verfeinerter Forschungsmethoden detaillierter, sodass daraus Erkenntnisse für den expliziten Lernprozess gewonnen werden können.

PhysiotherapeutInnen sind einerseits immer mehr mit PatientInnen konfrontiert, die auf Grund von länger andauernden Bewegungsstörungen pathologische Bewegungsmuster aufweisen, und die durch einen gezielten Lernprozess wieder zu einem physiologischen Bewegungsverhalten finden müssen. Andererseits bieten viele Erkenntnisse aus der Neurophysiologie und der Neuropsychologie wertvolle Hinweise, wie der motorische Lernprozess noch effektiver gestaltet werden kann. Diese Erkenntnisse in die Tat umzusetzen, ist die Herausforderung heutiger PhysiotherapeutInnen.

1.1 Motivation

Da ich seit vielen Jahren als Physiotherapeutin mit PatientInnen arbeite, die wieder physiologische Bewegungsabläufe erlernen müssen, und andererseits auch als Dozentin an Fachhochschulen und Fortbildungsinstituten SchülerInnen und TherapeutInnen unterrichte und zudem als Mama von zwei wunderbaren Söhnen deren Lernprozesse begleiten darf, spielt das Lehren und Lernen in meinem beruflichen wie privaten Leben eine große Rolle.

Ich bin nun seit 25 Jahren als Therapeutin im neurologischen Bereich tätig und daher interessiert mich das Gehirn ganz besonders. Viele spannende Erkenntnisse aus der Neurophysiologie und der Neuroanatomie regen mich an, immer noch genauer und detaillierter die Funktionsweise des ZNS zu erkunden. Auch die faszinierende Möglichkeit als Therapeutin auf die Arbeitsweise des Gehirns einwirken zu können, hat mich zum Thema dieser Masterarbeit geführt.

Neben den Vorgängen im ZNS ist die Pädagogik, die direkt mit diesen Prozessen zusammenhängt, ein weiteres persönliches Steckpferd. Es ist mein Interesse, den motorischen Lernprozess der PatientInnen so effektiv wie möglich zu gestalten. Nicht oder nur halb gelungene Lernprozesse motivieren mich dazu, die Fachliteratur zu studieren und darüber nachzudenken, wieso dieser Lernprozess nicht optimal verlaufen ist und was man als Lehrende das nächste Mal besser machen sollte, um dem Patienten oder der Patientin zu einem optimalen Lernerfolg zu verhelfen. Das eigene Lernen darf beim Lehren nie außer Acht gelassen werden und spornt bei Problemsituationen geradezu an, das bisherige Tun zu überdenken und neue Wege zu gehen.

Aus diesen Gründen werden in meiner Masterarbeit Vorgänge im ZNS detailliert analysiert, um daraus Rückschlüsse für das pädagogische Vorgehen als Physiotherapeut/in gewinnen zu können.

1.2 Problemstellung

Bei motorischen Lernprozessen in der neurologischen aber auch orthopädisch-chirurgischen Rehabilitation tritt immer wieder die Problemsituation auf, dass PatientInnen eine motorische Fertigkeit nur im Lernsetting oder nur mit Hilfe der verbalen Instruktionen des Therapeutenteams korrekt durchführen können. Jedoch die sukzessive Übernahme und damit die allmähliche Automatisierung dieser Fertigkeit im Alltag, wie sie bei vielen PatientInnen vonstattengeht, misslingen.

Dieses „Scheitern“ ist mit Frustration auf beiden Seiten verbunden. Einerseits sind PatientInnen darüber enttäuscht, dass sie die motorische Fertigkeit scheinbar nur im Beisein von TherapeutInnen zustande bringen. Andererseits ist es auch für den Lehrenden bzw. die Lehrende eine enttäuschende Situation, wenn der Lerneffekt zwar jedes Mal hergestellt werden kann, aber der Lernprozess immer wieder neu gestartet werden muss.

Es stellt sich daher die Frage, wieso einige PatientInnen das im Therapieraum Gelernte Schritt für Schritt gut in den Alltag transferieren können und andere nicht. Was läuft im ZNS unterschiedlich ab?

Die Reflexion dieser Erfahrungen führte zu folgenden Überlegungen: Durch die häufige Wiederholung von pathologischen Bewegungsabläufen im Alltag hat sich das pathologische Bewegungsprogramm und damit auch das veränderte Bewegungsgefühl fest im Gedächtnis verankert. Diese pathologischen Bewegungsmuster und die damit in Verbindung stehenden Empfindungen werden bei manchen PatientInnen äußerst dominant und lassen die Empfindungen, die von normalen Bewegungen ausgehen, in den Hintergrund rücken. Damit werden das Erlernen einer physiologischen Bewegung und damit auch die Übernahme dieser Fertigkeit in den Alltag erschwert. Die pathologische Bewegungsausführung und das veränderte Bewegungsgefühl sind verinnerlicht. Wenn diese PatientInnen an eine Bewegung denken, wird sofort der Neuronenkreislauf der pathologischen Bewegung aktiviert und damit auch wieder das pathologische Bewegungsgefühl. Mit gewisser Hilfestellung des Therapeutenteams gelingt es zwar immer wieder, eine physiologische Bewegungsplanung zu aktivieren und damit die Bewegung korrekt auszuführen. Dabei erfahren die PatientInnen auch ein korrektes Bewegungsgefühl. Dennoch überwiegt bei manchen das pathologische Bewegungsgefühl, wodurch das sukzessive Sicher-werden in der Ausführung der physiologischen Bewegung nicht oder kaum stattfindet und damit die Übernahme in den Alltag unterbleibt. Diesen PatientInnen gelingt es zu wenig, das korrekte Bewegungsgefühl, das sie im Therapieraum gespürt haben, abzuspeichern und bei Bedarf im Alltag wieder zu aktivieren, um dadurch eine korrekte Bewegung ausführen zu können. Im Grunde geht es darum, das neu erarbeitete Bewegungsprogramm, und damit das im Therapieraum wahrgenommene korrekte Bewegungsgefühl, dauerhaft aus dem Gedächtnis abrufbar zu machen.

Die Überlegung lautet nun folgendermaßen: Damit diese PatientInnen das korrekte Bewegungsprogramm besser im Alltag aktivieren können, sollen sie das Bewegungsgefühl, das sie im Therapieraum wahrgenommen haben, mit einer persönlichen Erinnerung verbinden. Diese Erinnerung sollte eine autobiographische Episode sein, die vor dem Geschehen (z.B. Schlaganfall, Blutung, Knochenfraktur etc.) stattfand, also in einer Zeit, als der Patient bzw. die Patientin sich noch völlig korrekt bewegen konnte, um so Erinnerungen zu aktivieren, innerhalb dieser die Bewegungen aber das Bewegungsgefühl noch korrekt abgespeichert sind. Diese autobiographische Erinnerung sollte zudem gleiche oder ähnliche Bewegungskomponenten enthalten, wie die, die im momentanen Lernprozess im Mittelpunkt stehen. Wenn PatientInnen also während der

Physiotherapie immer wieder das Gefühl, das sie bei der Übung gerade wahrgenommen haben, mit einer autobiographischen Erinnerung vergleichen, wo sie ein ähnliches Gefühl erlebt haben, kommt es dann zu einer „Verschmelzung“ der beiden Repräsentationen und können sie dann die korrekte Bewegungsplanung auch im Alltag abrufen?

1.3 Ziel der Arbeit

Um die oben genannte Problemsituation in Zukunft besser lösen zu können, wird in dieser Masterarbeit der aktuelle wissenschaftliche Stand bezüglich „motorische Imagination“ und „autobiographische Erinnerung“ erhoben. Insbesondere wird die neuronale Aktivierung bei einer motorischen Imagination und bei einer autobiographischen Erinnerung ermittelt und gegenübergestellt, um daraus Schlussfolgerungen ableiten zu können, inwieweit die Benutzung der autobiographischen Erinnerung als besondere Form der motorischen Imagination dazu beitragen kann, die wieder erlernte Fähigkeit besser und dauerhaft aktivierbar zu machen.

Das Ziel dieser Masterarbeit besteht darin, tentative Schlussfolgerungen für die Praxis abzuleiten und ein mögliches Modell für die Praxisanwendung zu konstruieren.

1.4 Methodik

1.4.1 Forschungsleitende Fragen

Im Rahmen dieser Masterarbeit werden folgende Forschungsfragen erörtert und beantwortet:

1. Inwiefern unterscheidet sich die neuronale Aktivierung bei der mentalen Repräsentation einer Bewegung innerhalb einer autobiographischen Erinnerung von einer motorischen Imagination im Therapie-Setting?
2. Welche Vor- und Nachteile hat die Erinnerung aus dem autobiographischen Gedächtnis gegenüber der herkömmlichen motorischen Imagination hinsichtlich des motorischen Lernprozesses?
3. Welche Merkmale muss eine autobiographische Erinnerung haben, damit sie für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte?

1.4.2 Literaturrecherche

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit werden durch Erkenntnisse aus der Fachliteratur, die durch eine intensive Literaturrecherche eingeholt wurden, erörtert und beantwortet. Von Mai 2014 bis Jänner 2015 wurde in den Datenbanken PRIMO (Suchportal der Universitäts- und Landesbibliothek Innsbruck), PUBMED, CDSR (Cochrane Database of Systematic Reviews), RVKO (Regensburger Verbundklassifikation), DOAJ (Directory of Open Access Journals), MEDPILOT (Suchportal für medizinische Fachliteratur) und GOOGLE SCHOLAR mittels Schlüsselwörtern geeignete Literatur gesucht. Am Beginn der Recherche wurden die Schlüsselwörter „motor imagery“ und „autobiographical memory“ und auch die jeweiligen deutschen Bezeichnungen als Mesh-Term in allen genannten Suchportalen eingegeben. Mit Ausnahme von Google Scholar gab es bei allen anderen Suchportalen keinen einzigen Treffer. Bei Google Scholar gab es 240 Treffer. Diese wurden überprüft. Anhand der Titel bzw. der Abstracts mussten die meisten schon ausgeschlossen werden. Über das Herausheben der zwei Suchbegriffe im Volltext hat sich darüber hinaus oft herausgestellt, dass einer der beiden Suchbegriffe erst in der Bibliographie auftaucht. Letztendlich fand sich auch unter diesen 240 Arbeiten keine passende. Diese erste Recherchephase endete mit der Erkenntnis, dass bisher noch niemand die motorische Imagination innerhalb einer autobiographischen Erinnerung untersucht hat.

In einer zweiten Recherchephase wurden die Literaturbereiche „motorische Imagination“ und „autobiographische Erinnerung“ ebenfalls in den oben genannten Suchportalen getrennt voneinander durchsucht. Zusätzlich wurde in den Bibliotheken der Universität Innsbruck und der Fachhochschule für Gesundheit Tirol nach relevanter Literatur gesucht. Die Bibliographien der jeweiligen ausgewählten Bücher und Artikel wurden sorgfältig gelesen, um dadurch im Sinne einer Schneeballsuche weitere passende Literatur zu finden. Einschlusskriterien waren deutsch- und englischsprachige Literatur, Studien mit neuronal bildgebenden Verfahren und Untersuchungen an erwachsenen ProbandInnen oder PatientInnen. Bevorzugt wurden Review-Studien oder Meta-Analyse-Studien. Ausgeschlossen wurden Studien zu psychiatrischen/psychischen Erkrankungen oder zu Amnesien und Studien an Kindern.

Neben Basisliteratur wurde für den Themenbereich „motorische Imagination“ 31 Studien bzw. Review-/Metaanalysestudien und drei Fachbücher und für den Themenbereich „autobiographische Erinnerung“ wurden 10 Studien bzw. Review-/Metaanalysestudien und 5 Fachbücher ausgewählt und verwertet.

1.4.3 Aufbau

Nach der Einleitung, die den Leser zur Thematik hinführen soll, ist das folgende Kapitel dem Gedächtnis gewidmet. Zuerst werden wichtige Begriffe bezüglich des Gedächtnisses erklärt. Anschließend werden die momentanen Erkenntnisse bezüglich der Funktionsweise des Gedächtnisses und bezüglich der Bedeutung des limbischen Systems für den Erinnerungsprozess erläutert. Die besonderen Merkmale, die Funktion und das neuronale Netzwerk des autobiographischen Gedächtnisses komplettieren dieses Kapitel. Das dritte Kapitel befasst sich mit der motorischen Imagination. Neben der Geschichte der Imaginationforschung werden jene Aspekte der motorischen Imagination näher besprochen, die besondere Bedeutung für den motorischen Lernprozess haben. Zudem werden die bisherigen Anwendungsmöglichkeiten der motorischen Imagination erläutert. Wie beim zweiten Kapitel wird auch für die motorische Imagination das neuronale Netzwerk im Detail dargelegt. Im vierten Kapitel werden die Schlussfolgerungen aus dem Literaturstudium erörtert. Zu Beginn werden die neuronalen Netzwerke bei der motorischen Imagination und bei der autobiographischen Erinnerung gegenübergestellt und bedeutende Fakten für die mögliche Anwendung der autobiographischen Erinnerung als motorisches Lernmittel besprochen. Im Anschluss wird die mögliche Wirkweise der autobiographischen Erinnerung als Lernmittel diskutiert und ein mögliches Modell für die Praxisanwendung vorgestellt. Die Arbeit endet mit dem Resümee und einem Forschungsausblick.

2 Gedächtnis

*Alles Wissen ist Erinnerung.
(Thomas Hobbes, 1588-1679)*

Jedes Lernen benötigt Gedächtnis. Ohne die Fähigkeit, Informationen kodieren, einspeichern und gezielt wieder abrufen zu können, ist kein Lernprozess möglich. Die Fähigkeit zur Gedächtnisbildung wird durch die Plastizität des neuronalen Systems ermöglicht und alle gespeicherten Informationen sind das Ergebnis von bewussten oder unbewussten Lernprozessen. Da das Ziel dieser Arbeit darin besteht, zu erforschen, ob ein bestimmter Bereich des Gedächtnisses, nämlich die autobiographische Erinnerung, für den motorischen Lernprozess nutzbar gemacht werden kann, ist es sinnvoll zuerst zu klären, was man unter Gedächtnis versteht und wie das Gedächtnis funktioniert. Das wird in den nächsten zwei Abschnitten erläutert. In den Unterkapiteln 3 und 4 wird näher auf das limbische System, die Bedeutung der Emotion und die Merkmale autobiographischer Erinnerungen eingegangen. Im anschließenden Kapitel werden die derzeitigen Kenntnisse bezüglich des neuronalen Netzwerkes der autobiographischen Erinnerung und spezielle diesbezügliche Aspekte dargelegt. Am Ende dieses Kapitels wird erläutert, welche Funktionen bis dato für das autobiographische Gedächtnis beschrieben worden sind.

2.1 Begriffsbestimmung Gedächtnis

Das „Gedächtnis (zählt) zu den komplexesten Gegenständen der psychologischen und neurowissenschaftlichen Wissenschaften. Gedächtnis ist keine Einheit und ist kein statisches Gebilde“ (Markowitsch 2002a: 171), denn es verändert sich ständig durch die Umwelt und durch unser sich wandelndes Selbst. Dieses Wandlungskontinuum macht das lebenspraktische Paradox erklärbar, denn wir bleiben uns ein Leben lang gleich, obwohl wir uns unablässig verändern (vgl. Markowitsch/Welzer 2005: 240). "All unser Wissen, das wir je erworben haben, all unsere Erfahrungen, alle Menschen, die wir kennen, unsere Sprache, unsere motorischen Fähigkeiten, unsere Gefühle, Ideen, Vorstellungen und Wünsche - alles basiert auf dem, was wir „Gedächtnis“ nennen." (Pohl 2007: 13)

Was aber ist nun das Gedächtnis? Der griechischen Philosoph Platon (427-347 v. Chr.) verwendete für die Beschreibung des Gedächtnisses eine bis heute bekannte Metapher. Er verglich das Gedächtnis mit einer Wachstafel, in die eine mehr oder weniger dauerhafte Erinnerung eingedrückt wird. Die Vorstellung, dass das Erinnern auf

irgendeine Art von ‚Spur‘ bzw. Gravur (Engramm) beruht, hat sich bis heute gehalten. (Vgl. Pohl 2007: 14f.)

Das Gedächtnis ist auch mit dem Computer verglichen worden, da über verschiedene Wege (Tastatur, CD, Scanner, Internet etc.) Informationen aufgenommen, durch die 0/1-Kodierung gespeichert und über verschiedene Ordnungswege wieder abgerufen werden können. Jedoch gibt es einen entscheidenden Unterschied zum menschlichen Gedächtnis. Der Computer ist eine reine passive Ablage, während im menschlichen Gehirn die Informationen vielschichtige Prozesse durchlaufen, die diese Informationen permanent verändern können. (Vgl. Pohl 2007: 16)

Hinsichtlich der Einteilung des Gedächtnisses gibt es zwei Faktoren, die zur Einteilung verwendet werden: der zeitliche Faktor und der inhaltliche Faktor. „Die zeitliche Unterteilung bezieht sich auf die gängige Differenzierung in Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Kurzzeitgedächtnis bezieht sich auf die Menge an Informationen, die man unmittelbar nach Aufnahme wieder abrufen kann („Zahlenspanne“, z.B. eine Telefonnummer), Langzeitgedächtnis auf alles darüber hinausgehende und damit auch auf lebenslang (zu) behaltende Information.“ (Markowitsch 2002b: 187f.) Im Kurzzeitgedächtnis werden demnach Informationen nur für Sekunden und Minuten behalten, während im Langzeitgedächtnis Informationen auch noch nach Stunden und Jahren wieder aktiviert werden können (vgl. Pohl 2007: 17).

Inhaltlich gibt es verschiedene Systeme der Gedächtniseinteilung. Ein System, das allgemein anerkannt ist, unterteilt das Gedächtnis in das implizite oder nicht-deklarative Gedächtnis und in das explizite oder deklarative Gedächtnis. Das nicht-deklarative oder auch prozedurale Gedächtnis, speichert automatisierte Handlungsabläufe bzw. Fertigkeiten, die man gelernt und geübt hat und die dann ohne nachzudenken (also implizit) abgerufen und ausgeführt werden. „Genau wie das Primingsystem ist es ein grundsätzlich ohne bewusstes Reflektieren ablaufendes System. Priming (das auch zu den nicht-deklarativen Gedächtnissystemen gezählt wird) bezieht sich auf eine höhere Wahrscheinlichkeit des Wiedererkennens von Reizen, die man zu einem früheren Zeitpunkt unbewusst wahrgenommen hat.“ (Markowitsch 2002a: 88)

Das deklarative Gedächtnis wird wiederum in ein semantisches und in ein episodisches/autobiographisches Gedächtnis unterteilt. Das semantische Gedächtnis entspricht grob dem generellen Wissen über die Welt ohne autobiographischen Kontext. Das episodische oder autobiographische Gedächtnis kommt bei der Speicherung und dem Erinnern von zuvor erfahrenen Ereignissen zum Einsatz. Diese Gedächtnisart hat

einen autobiographischen Bezug, da es die Erinnerung von jenen Informationen ermöglicht, die persönlich erfahren wurden. (Vgl. Cavanna/Trimble 2006: 574)

Eine andere Einteilung bezieht sich auf den Grad der Bewusstheit einer erinnerten Information. Demnach wird das episodische Gedächtnis als selbstbewusst (autonoetisch), das semantische als bewusst (noetisch) und das prozedurale als unbewusst (anoetisch) definiert (vgl. Pohl 2007: 22).

Da in dieser Arbeit der gezielte Abruf autobiographischer Erinnerungen für den motorischen Lernprozess untersucht werden soll, wird im Weiteren nur auf das deklarative Gedächtnis eingegangen, dessen Funktionsweise im folgenden Kapitel erläutert wird.

2.2 Funktionsweise des Gedächtnisses

Hinsichtlich der Funktionsweise des Gedächtnisses gibt es zwei gegensätzliche Modelle. Nach der lokalisationistischen Gedächtnisvorstellung gibt es „Gedächtnisschubladen“, die einzelne Informationen getrennt und lokal aufnehmen. Nach diesem Modell ist die Information über ein Objekt, eine Person oder auch eine Idee in einer Nervenzelle gespeichert. „Man sprach beispielsweise vom ‚Großmutterneuron‘ und meinte damit eine Nervenzelle, die selektiv nur auf das Erscheinen oder auf die Erinnerung an die eigene Großmutter aktiv werden würde.“ (Markowitsch 2002a: 75)

Im Kontrast dazu steht das Anti-lokalisationsistische Gedächtnismodell, das das Gedächtnis eher als netzwerkartiges System ansieht. Markowitsch erklärt, dass man nach dieser Sichtweise annimmt, „dass (a) eine Reihe von Nervenzellen in verschiedenen Orten des Gehirns immer gleichzeitig aktiviert werden müssen, um die Erinnerung an einen bestimmten Gegenstand (etc.) zu reaktivieren, dass es dabei (b) nicht auf die Aktivität einzelner Neurone innerhalb dieses Netzwerks ankomme, sondern nur auf die Gesamtaktivität zu einem gegebenen Zeitpunkt.“ (ebd. 2002a: 75) Dieses zweite Denkmodell wird heutzutage eher präferiert, jedoch gibt es auch Argumente gegen das extreme Anti-Lokalisationsmodell, denn nicht alle Gehirnregionen sind „äquipotent“ (vgl. ebd. 2002a: 75), also funktionell gleichwertig.

Spricht man vom Gedächtnis, so muss man die verschiedenen Funktionen des Gedächtnisses klären. Mit Hilfe des Gedächtnisses werden Informationen in verschiedenen Prozessen verarbeitet. Man unterscheidet dabei fünf Prozessabschnitte:

Informations - Aufnahme, - Einspeicherung, - Ablagerung, - Konsolidierung, - Abruf.

Bei der *Informationsaufnahme* werden Informationen entweder von außen über die fünf Sinnesorgane aufgenommen oder intern durch Umstrukturierung auf neuronalem Niveau erzeugt. Insbesondere die von außen kommenden Reize müssen dabei in einen neuronalen Kode übersetzt werden. (Vgl. Markowitsch 2002a: 102)

Die *Informationseinspeicherung* der frisch aufgenommenen Informationen erfolgt zuerst im Kurzzeit- oder Arbeitsspeicher. Dieser Prozess erfolgt wahrscheinlich im präfrontalen Kortex. Vom diesem aus werden die Informationen über mehrere Nervenbahnen in das limbische System weitergeleitet, wo sie analysiert, mit bereits vorhandenen Informationen verglichen und hinsichtlich ihrer sozialen und biologischen Bedeutsamkeit überprüft werden. Werden die Informationen als relevant eingestuft, so werden sie neokortikalen Netzen zugeordnet, die für die *Informationsablagerung* zuständig sind. (Vgl. Markowitsch 2002a: 102; Pohl 2007: 30)

Hinsichtlich der Einspeicherung und Übertragung vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis stellt der Hippocampus, der ein Teil des limbischen Systems darstellt, eine zentrale Struktur dar. Der Fall H.M. zeigte die Bedeutung des Hippocampus für die Einspeicherung von neuen Informationen in eindrücklicher Weise. An diesem Patienten wurde eine beidseitige Resektion des medialen Temporallappens wegen damaliger therapieresistenter epileptischer Anfälle vorgenommen. In beiden Hirnhälften wurden die Hippocampusformationen und beide Amygdala weitgehend entfernt. Nach der Operation bis zu seinem Tode im Jahre 2008 zeigte er eine hochgradige anterograde Amnesie bei ansonsten erhalten gebliebener Intelligenz und Persönlichkeit. Er konnte keine neuen Erinnerungen mehr abspeichern. Zum Beispiel konnte er zehn Minuten nach dem Mittagessen nicht mehr sagen, was er gerade zu sich genommen hatte. Er wusste nicht einmal mehr, dass er überhaupt gegessen hatte. Die Erinnerungen vor der Operation waren erhalten. H.M. konnte sich z.B. an den Zweiten Weltkrieg und an das Haus seiner Eltern erinnern, aber er war in dieser Vergangenheit gefangen. Selbst Jahrzehnte später glaubte er immer noch, dass man das Jahr 1953 (das Jahr seiner Operation) schreibe und dass er 27 Jahre alt wäre. Wenn er in den Spiegel schaute, blickte ihn ein viel zu alter Mann an. H.M. selbst konnte keine neuen Erinnerungen mehr formen, aber in der Welt der Wissenschaft hat er bleibende Spuren hinterlassen, denn durch sein Schicksal konnte die Erkenntnis gefestigt werden, dass der Hippocampus eine bedeutende Rolle beim Transfer vom Kurzzeitgedächtnis ins Langzeitgedächtnis spielt. (Vgl. Markowitsch 2002a: 29ff.)

Die *Informationskonsolidierung* (=Festigung) ist ein dynamischer, wahrscheinlich mehrstufiger Prozess, bei dem es durch Wiederholung von immer wieder aktivierten

und umstrukturierten Gedächtnisinhalten zur Festigung und damit zur dauerhaften Speicherung der Information kommt. In dieser Phase findet eine verstärkte Verknüpfung von Synapsen und die Ausbildung von neuronalen Netzwerken statt. In der Konsolidierungsphase wird die Information vom Arbeitsgedächtnis in das Langzeitgedächtnis übertragen. (Vgl. Habermann & Kolster 2009: 650)

Der *Abruf* der Gedächtnisinhalte wird durch den präfrontalen Kortex und den Hippocampus ermöglicht, die als "Trigger"-Regionen agieren und die in den kortikalen Netzwerken gespeicherten Informationen wieder reaktivieren und somit dem Abruf zuführen (vgl. Markowitsch 2002a: 102).

Bezüglich des Alters der Gedächtnisinhalte gibt es zwei verschiedene Konsolidierungsmodelle. Das Standard-Konsolidierungs-Modell (SKM) besagt, dass der Hippocampus eine zeitlich begrenzte Funktion bei der Speicherung und beim Abruf von autobiographischen Gedächtnisinhalten hat. Entsprechend diesem Modell wären die Erinnerungen nach der Konsolidierungsphase unabhängig vom Hippocampus und abhängig von neokortikalen Arealen, wo die Erinnerungen abgespeichert sind. Im Gegensatz dazu besagt die Multiple-Trace-Theory (MTT), dass der Hippocampus eine dauerhafte Rolle beim Abruf von detaillierten und lebendigen Erinnerungen hat. (Vgl. Cabeza et al. 2007: 222) Laut dieser Theorie ist der hippocampale Komplex für das episodische Gedächtnis notwendig, und zwar so lange wie es existiert, indem dieser Bereich als Zeigestab oder als Inhaltsregister für detaillierte Informationen dient, die im Neokortex gespeichert sind. Bildgebende Studien über das autobiographische Gedächtnis liefern Beiträge zu dieser Debatte, indem Aktivierungsmuster von älteren und jüngeren Erinnerungen gegenübergestellt werden. Die bisher gefundenen Daten scheinen nach Svoboda et al. ausgeglichen zu sein, d.h., einige Studien entdeckten eine Aktivierung im hippocampalen Areal sowohl bei jüngeren als auch bei älteren Erinnerungen, andere Studien fanden eine stärkere Aktivierung dieses Areals bei jüngeren Erinnerungen. Svoboda et al. erläutern weiter, dass in diesen Studien die hippocampale Beteiligung oder Nicht-Beteiligung mit dem Alter der Erinnerung in Zusammenhang gebracht wird. Jedoch können dafür auch andere Faktoren eine Rolle spielen, wie zum Beispiel phänomenologische Merkmale wie die Lebhaftigkeit („vividness“) der Erinnerung, die Anzahl der Details und die Emotionalität des hervorgerufenen Ereignisses - diese Elemente haben bei jüngeren Erinnerungen oft einen höheren Score als bei älteren Erinnerungen. Daher wäre es möglich, dass diese Faktoren unabhängig vom Alter der Erinnerung Einfluss auf die Gehirnaktivität haben. Einige Studien konnten dies schon nachweisen. Svoboda et al. erläutern, dass, wenn in Studien die persönliche Bedeutung und die Lebhaftigkeit einer Erinnerung mit ausgewiesen wurden, das Alter der Er-

innerung keinen Einfluss mehr auf die Aktivität des hippocampalen Bereiches hatte. Sie fassen zusammen, dass die Ergebnisse darauf hindeuten, dass verschiedene Faktoren, wie persönliche Bedeutung, Lebhaftigkeit, Menge der Details und Emotionalität des hervorgerufenen Ereignisses, die hippocampale Beteiligung bei dem Hervorrufen von jungen und alten Erinnerungen beeinflussen. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2197ff.)

Zusammenfassend nimmt man an, dass die Rekonstruktionsprozesse für eine autobiographische Erinnerung folgendermaßen ablaufen (siehe Abbildung 1).

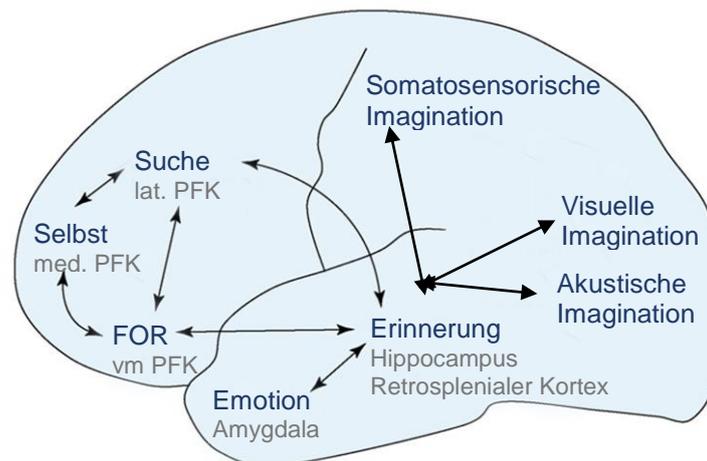


Abbildung 1: Rekonstruktionsprozesse autobiographischer Erinnerungen (Diagramm nach Cabeza/Jacques 2007: 226 (abgewandelt))

Laut Cabeza et al. beginnt die Erinnerung mit der Gedächtnissuche und kontrollierten Abrufprozessen im lateralen präfrontalen Kortex, die von selbstbezüglichen Prozesse im medialen präfrontalen Kortex begleitet sind. Dies führt zu einem Abruf eines räumlich und zeitlich spezifischen Ereignisses. Die Erinnerung, die durch den Hippocampus und den retrosplenialen Kortex vermittelt wird, wird durch emotionale Prozesse in der Amygdala und modalitätsspezifischen Imaginationen erweitert, die je nach Auslöser-Reiz visuelle, akustische oder somatosensorische Assoziationsareale im Kortex aktivieren. Gleichzeitig wird überprüft, ob die aufgerufene autobiographische Erinnerung passend und korrekt ist. Diese sogenannten „feeling-of-rightness“-Prozesse (FOR) erfolgen höchstwahrscheinlich im ventromedialen präfrontalen Kortex. Cabeza et al. meinen, dass, obwohl je nach Gewichtung der autobiographischen Erinnerungen verschiedene andere Gehirnregionen involviert sind, die oben genannten Areale das Herzstück des neuronalen Netzwerkes der autobiographischen Erinnerung darstellen. (Vgl. Cabeza et al. 2007: 225f.)

Im folgenden Kapitel wird erläutert, welche Bedeutung das limbische System und Emotionen für die Einspeicherung und den Abruf von Informationen haben.

2.3 Das limbische System und die Bedeutung der Emotion

Die Frage ist nun, welche Informationen werden vom Kurzzeitgedächtnis zu kortikalen Netzwerken transferiert und damit ins Langzeitgedächtnis verlagert und welche Gehirnstrukturen spielen dabei eine Rolle. Dieses Kapitel widmet sich dieser Fragen.

Informationsverarbeitung besteht zum großen Teil darin, Informationen auf ihre individuelle Bedeutung hin zu überprüfen, zu vergleichen, zu selektieren und dann zu speichern, sofern die Information als bedeutsam interpretiert wird. Markowitsch und Welzer meinen diesbezüglich: „Menschliche Gehirne verarbeiten aber nicht nur Informationen, also reaktionsauslösende Wahrnehmungsreize, sondern vor allem Wahrnehmungen, die *Bedeutung* haben. [...] Sich zu erinnern, sich etwas vorzustellen, etwas zu bewerten, etwas zu planen – all das setzt nicht Daten voraus, sondern Bedeutung.“ (ebd. 2005: 35) Das Gedächtnis kann unter diesem Gesichtspunkt als emotionsbezogene Informationsverarbeitung gesehen werden (Markowitsch 2002a: 25).

Eine besondere Rolle bei der Zuweisung der jeweiligen Bedeutung spielt das limbische System, innerhalb dessen es zur Bewertung aller Informationen kommt, im Speziellen auch zur Bewertung von Emotionen. Nur das, was als bedeutsam gedeutet wird, wird auf bewusster und unbewusster Ebene in das Langzeitgedächtnis transferiert. Insofern kann das limbische System auch als zentraler Einspeicherkomplex verstanden werden (vgl. Markowitsch 2002a: 110). Die wichtigsten Komponenten des limbischen Systems (siehe Abbildung 2) sind der Gyrus cinguli (1), der Hippocampus (2), der sich zum einen unterhalb des Corpus callosum als Fornix (3) und zum anderen dorsal des Balkens als Indusium griseum (4) fortsetzt, die Amygdala (5), der Corpus mammillare (6), der Gyrus parahippocampalis (7) und die Septumregion (8). (Vgl. Trepel 2012:214)

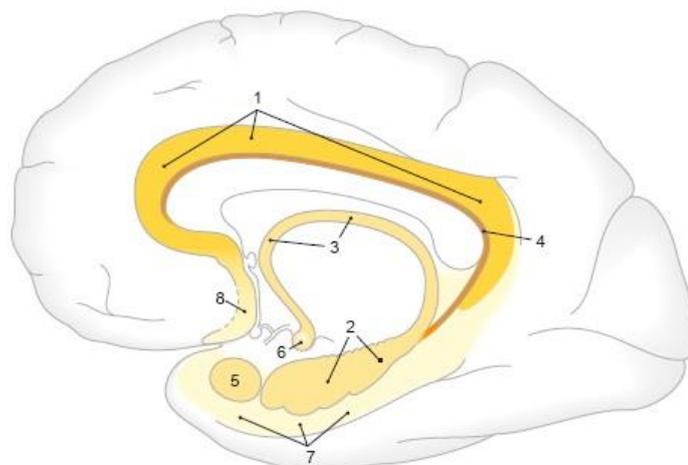


Abbildung 2: Das limbische System (Trepel 2012: 214)

Viele Strukturen des limbischen Systems sind untereinander durch Schaltkreise verbunden, wodurch die zu bewertenden Reize mehrere Stationen, teilweise auch mehrfach, durchlaufen. Die wichtigsten sind der sogenannte Papez'sche Schaltkreis und der basolaterale limbische Kreis.

Der vom Hirnforscher James Papez 1937 erstmals beschriebene Papez'sche Schaltkreis (Abbildung 3), geht vom Hippocampus (1) aus und zieht über den Fornix (2) zum Corpus mammillare (3), verläuft von dort über den mammillothalamischen Trakt (4) zum Thalamus (5), von dort über den Gyrus cinguli (6) und dem Cingulum zur Area entorhinalis (8) im Gyrus parahippocampus zurück zum Hippocampus. Damit ist der Kreis geschlossen. Dieser Schaltkreis ist grundsätzlich für die eher kognitiven Aspekte der Informationsselektion und -auswahl zuständig und wird als essentiell für die Übertragung von Informationen in das Langzeitgedächtnis betrachtet. (Vgl. Trepel 2012: 216)

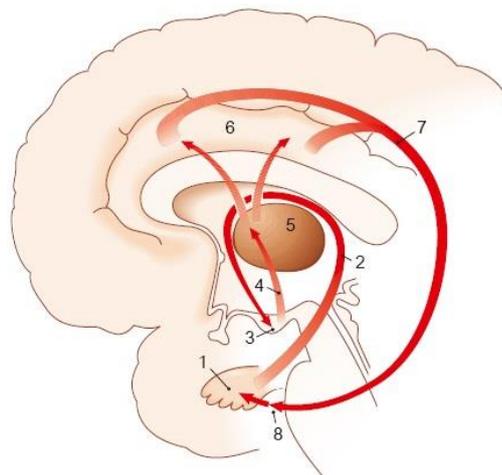


Abbildung 3: Papez'sche Schaltkreis (Trepel 2012: 216)

Der basolaterale limbische Kreis (siehe Abbildung 4) verläuft ausgehend von der Amygdala zum mediodorsalen Thalamus, von dort zum basalen Vorderhirn und zurück zur Amygdala. Dieser Kreislauf liefert die emotionale Bewertung der aufgenommenen Information und entscheidet damit über die Wertigkeit für eine Übertragung ins Langzeitgedächtnis. (Vgl. Markowitsch 2002a: 23)

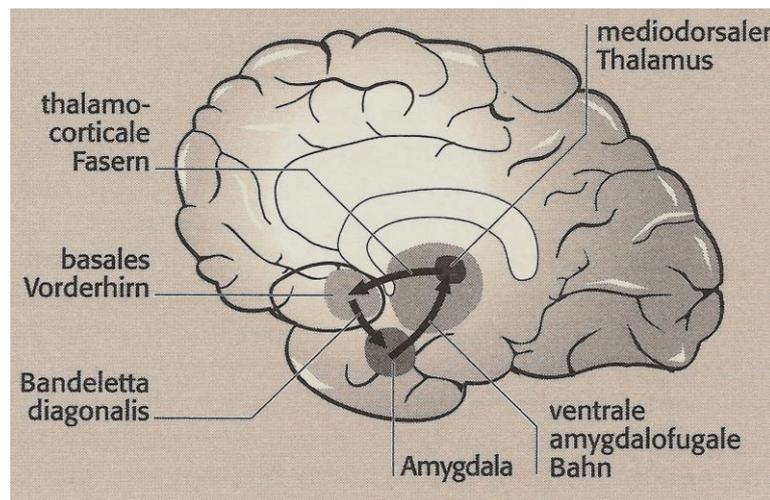


Abbildung 4: Basolaterale limbische Kreis (Markowitsch 2002a: 22)

Besonders hervorzuheben ist die Bedeutung der Amygdala, denn sie spielt bei der Verarbeitung von Emotionen eine entscheidende Rolle. Sie erhält aus allen Sinnessystemen vorverarbeitete Informationen, die sie moduliert und bewertet und dadurch in hohem Maße zur Speicherung oder Nichtspeicherung der jeweiligen Information beiträgt. (Vgl. Markowitsch 2002a: 176)

Der Amygdala wird aber nicht nur für die Speicherung von Informationen eine zentrale Rolle zugeschrieben, sondern auch für den Abruf bestimmter Erinnerungen. Markowitsch stellt sich die Funktionsweise der Amygdala beim Abruf folgendermaßen vor:

„Die Bedeutung der Amygdala für den emotional besetzten Gedächtnisabruf ist aber nicht dahingehend zu interpretieren, dass sie über Jahrzehnte die emotionalen Anteile des kognitiven Altgedächtnisses speichert oder lagert, sondern als ein „re-charging“-Mechanismus, ähnlich dem Wiederaufladen einer Batterie. Die Vorstellung ist also, dass interne oder externe Reize als Anstoßreize zur Aktivierung primär neocorticaler Netzwerke dienen, die den Kerninhalt der Information speichern. Deren Aktivierung zieht dann - sofern es sich um eine affektbesetzte Episode handelt - die Aktivierung (das „re-charging“) der Amygdala (und weiterer Emotionen verarbeitender Strukturen) nach sich. Auf diese Weise kommt es dann nachfolgend zu einer kompletten Ekphorierung [=Wiederaktivierung] der einstmals gespeicherten Information.“ (Markowitsch 2002a: 120)

Welche Bedeutung die emotionale Bewertung für das Gedächtnis spielt, erläutert Markowitsch anschaulich, indem er den Fall einer Patientin schildert, die an der Urbach-Wiethe-Krankheit leidet. Diese Patientin erwähnt in der Nacherzählung einer Geschichte mit einem Mord nicht den Mord, sondern das Muster des Kleides der Frau. „Dieses Beispiel zeigt, dass Lernen und Erinnerung wesentlich an Emotionen gebunden sind,

und dass dann, wenn die emotionale Bewertung nicht mehr adäquat geschieht, das Gedächtnis beträchtlich darunter leidet.“ (ebd. 2002a: 27)

Lernen und Erinnern hängt also stark mit Emotionen zusammen. Dementsprechend spielt für alle Gedächtnisprozesse das limbische System eine wichtige Rolle. Gerade durch den basolateralen limbischen Kreislauf, und die damit verbundene Aktivität der Amygdala, bekommen all jene Informationen, die von Emotionen begleitet sind, einen besonderen Stellenwert, denn emotional besetzte Informationen sind leichter erinnerbar als affektlose Informationen. Wie dieser Umstand für den motorischen Lernprozess genutzt werden könnte, wird in Kapitel 4.2 diskutiert.

Im folgenden Kapitel werden die besonderen Merkmale autobiographischer Erinnerungen erläutert, die auch für den motorischen Lernprozess relevant sind.

2.4 Merkmale autobiographischer Erinnerungen

Das autobiographische Gedächtnis unterscheidet sich deutlich vom rein semantischen Gedächtnis, weil es durch besondere Merkmale gekennzeichnet ist.

Laut Svoboda und KollegInnen, die eine umfangreiche Meta-Analyse-Studie hinsichtlich des autobiographischen Gedächtnisses durchgeführt haben, ist das autobiographische Gedächtnis das Produkt einer Anzahl von Prozesskomponenten, die zusammen das Wiedererleben einer phänomenologisch reichen und strukturierten Vergangenheit ermöglichen. Es erlaubt mentale Zeitreisen, die gekennzeichnet sind durch ein subjektives *Ich-Erleben*, ein Prozess, der für das semantische Gedächtnis nicht erforderlich ist. Insofern unterscheidet sich das semantische Gedächtnis vom episodischen Gedächtnis. (Vgl. ebd. 2006: 2203)

Autobiographische Erinnerungen haben nicht nur einen Ich-Bezug, sondern sie sind auch „*autonoetisch*“, das heißt, man erinnert sich nicht nur, sondern man ist sich auch dessen bewusst, dass man sich erinnert (vgl. Markowitsch/Welzer 2005: 11). Gerade der Ich-Bezug und die autonoetische Eigenschaft sind wichtige Merkmale des autobiographischen Gedächtnisses, die sich erst mit der Zeit entwickeln. Markowitsch und Welzer erklären dies eindrücklich: „Das autobiographische Gedächtnis ist dann erwacht, wenn ein dreijähriges Kind davon berichten kann, daß (sic) es gestern im Kindergarten vom Stuhl geknallt ist und sich dabei wehgetan hat.“ (ebd. 2005: 198) Der bewusst erlebte Ich-Bezug hat dabei eine große funktionelle Bedeutung, denn um sinnvoll genutzt werden zu können, müssen die Erinnerungen als selbst erlebt wahrgenommen werden (vgl. ebd. 2005: 11).

Die dritte herausragende Eigenschaft des autobiographischen Gedächtnisses ist die *Emotionalität* dieser Erinnerungen. Gerade die Emotionalität eines erinnerten Ereignisses wird von vielen Autoren als ein zentrales Merkmal autobiographischer Erinnerungen angesehen. Diese haben also einen emotionalen Index, d.h., sie sind jeweils mit einem positiv oder negativ bewerteten Gefühl verknüpft. Diese besondere emotionale Note von autobiographischen Erinnerungen ermöglicht ein intensives Wiedererlebensgefühl (reliving, re-experiencing). (Vgl. Pohl 2007: 45)

„Das Phänomen besteht demnach darin, dass bei der Erinnerung an ein früheres Erlebnis die damaligen Emotionen wieder geweckt und jetzt erneut durchlebt werden. Im Fall positiver Emotionen kann so die damalige Freude wiederholt erlebt werden, im Fall negativer Emotionen natürlich ebenso die damaligen Ängste oder ähnliches. Dies geschieht nicht nur passiv [...], sondern kann auch aktiv genutzt werden, um die aktuelle Stimmungslage zu beeinflussen.“ (Pohl 2007: 46)

Welche große Bedeutung Emotionen haben können, und wie sehr diese dazu beitragen, eine Episode wieder mit allen Details erleben zu können, und zwar nicht nur visuell sondern auch körperlich, zeigt folgender Dialog. Diesen Dialog führte ich mit einem Patienten, der bedingt durch einen schweren Schlaganfall im Alltag immer wieder durch starke Spasmen am betroffenen Bein beeinträchtigt ist:

Therapeutin: „Können Sie sich an ein persönliches Ereignis erinnern, bei dem es zu einer fließenden, weichen Beinbewegung wie jetzt bei der Übung gekommen ist?“ Patient nach einer gewissen Zeit des Nachdenkens: „Ja, da geht es mir gut, weil ich frei von allen Sorgen bin. Da war ich in einem Pool, wobei die (das Hotel) drei gehabt haben, ich meine jetzt aber einen bestimmten Pool, weil da ist es so wunderbar leicht zu gehen gewesen, der Pool wurde allmählich tiefer.“ Beschreiben Sie mir, wie es Ihnen jetzt geht? „Ja, da geht es mir wunderbar. Weil ich mich an die sorglose Zeit erinnere. Weil ich es angenehm empfunden habe und *noch immer empfinde* - bei der Erinnerung - der allmähliche Übergang vom Gehen im Wasser zum Schwimmen - dann habe ich mich treiben lassen - am Rücken - da ist alles wunderbar leicht – das Gehen ist wunderbar leicht.“

Durch die positive Emotion, die der Patient damals empfunden hat, kam es zu einer guten Einspeicherung dieser Episode und auch der Abruf gelingt dank dieser Emotion leichter. Die Erinnerung ist durch ein starkes Wiedererleben der damaligen Emotion gekennzeichnet, aber auch durch eine gefühlte Lebendigkeit, die auch körperliche Empfindungen miteinschließt. Auch Schacter meint, „daß (sic) die Gedächtnisgenauigkeit oft in direkter Beziehung zur emotionalen Erregung steht, die ein Erlebnis auslöst, unabhängig davon, ob positiv oder negativ.“ (ebd. 2001: 338)

Die emotionale Note und die gefühlte Lebendigkeit werden als Kerneigenschaften von autobiographischen Erinnerungen im Vergleich zu rein semantischen Erinnerungen angesehen. Die Emotionalität bei autobiographischen Erinnerungen wird, wie schon erwähnt, mit der Aktivierung der Amygdala in Zusammenhang gebracht, die zum limbischen System gezählt wird. (Vgl. Cabeza 2007: 220).

Neben dem Selbstbezug, der hohen Emotionalität und dem autoethischen Bewusstsein von autobiographischen Erinnerungen ist die hohe *Relevanz*, die hohe *multimodale Komplexität* und der *Raum-Zeit-Kontext* kennzeichnend für diese Art der Erinnerung, d.h., autobiographische Erinnerungen enthalten mehr Einzelheiten, die auf vielfältigere Weise miteinander verbunden sind. (Vgl. Pohl 2007: 46) Diese multimodale Komplexität hat auch hohe funktionelle Bedeutung, denn durch die hohe Vernetzung der Inhalte, die bei der multisensorischen Reizung beim Erleben des Ereignisses entstanden sind, reicht ein Teilaspekt des Erlebten als Hinweisreiz (sogenannter „Cue“), um den gesamten Gedächtnisinhalt auszulösen (vgl. Birbaumer/Schmidt 2010: 629).

Diese multimodale Komplexität von autobiographischen Erinnerungen bewirkt, dass diese meist viel lebendiger erlebt werden, da sie im Vergleich zu anderen Gedächtnisprozessen *reicher an sensorischen Details* sind. In Studien werden häufig beim Abruf von autobiographischen Erinnerungen visuelle Imaginationen ausgelöst bedingt durch Hinweisreize, die mehr visuelle Inhalte aktivieren. Cabeza et al. betonen jedoch, dass - obwohl entsprechende Studien noch fehlen - bei autobiographischen Erinnerungen, die starke taktile oder kinästhetische, akustische oder Geschmacksempfindungen involvieren, auch Aktivierungen in den jeweiligen sensorischen Regionen zu finden sein sollten. (Vgl. Cabeza et al. 2007: 222)

Da autobiographische Erinnerungen durch Emotionen und durch eine sensorische Vielfalt gekennzeichnet sind, kann man sich nun fragen, ob beim Gedächtnisabruf diese Merkmale gleichzeitig auftreten oder sich zu verschiedenen Zeitpunkten des Gedächtnisabrufes bemerkbar machen. Cabeza et al. erwähnen diesbezüglich eine Studie, bei der die Probandinnen nicht nur anzeigen sollten, wann sie eine passende autobiographische Erinnerung gefunden haben (im Durchschnitt nach 12 sec.), sondern dann auch noch weiter fortfahren sollten, die Erinnerung zu bilden. Es zeigte sich, dass es zu einem sehr frühen Zeitpunkt des Erinnerungsprozesses zu einer Aktivierung in der Amygdala kommt und erst später zu einer okzipitalen Aktivierung (bei primär visuellen autobiographischen Erinnerungen). Diese Ergebnisse zeigen, dass Emotionen zum Abruf von autobiographischen Inhalten beitragen, noch bevor ereignis-spezifische Erinnerungen vollständig gebildet sind, während sich die sensorische Lebendigkeit all-

mählich entwickelt, als reflexiver Prozess durch wiederhergestellte Imaginationen. (Vgl. Cabeza 2007: 222)

Diese Erkenntnisse sind auch bei der praktischen Anwendung der autobiographischen Erinnerung zu beobachten. Wenn PatientInnen aufgefordert werden, zu dem momentanen motorischen Lernprozess eine passende autobiographische Erinnerung zu suchen, und sie finden eine persönliche Erinnerung, dann ist im ersten Moment oft eine Emotion vorherrschend, wie Freude, Glück, Freiheitsgefühl. Erst mit weiteren Erinnerungsprozessen werden immer mehr sensorische Details wahrnehmbar. Auch Cabeza et al. haben festgestellt, dass eine längere Abrufzeit zu spezifischeren autobiographischen Erinnerungen führt (vgl. ebd. 2007: 222). Daher wäre es wichtig, wenn man die autobiographische Erinnerung als Lernmittel einsetzen möchte, den PatientInnen genügend Zeit zu geben, um ihre Erinnerung in allen Details reaktivieren zu können.

Zusammenfassend kann man sagen, dass autobiographische Erinnerungen sich deutlich von rein semantischen Erinnerungen unterscheiden, da sie gekennzeichnet sind durch einen Ich-Bezug, ein autoethisches Bewusstsein, hohe Emotionalität, hohe Relevanz für die jeweilige Person und vielen lebendigen sensorischen Details. Welche Bedeutung dieser Merkmale für den motorischen Lernprozess haben, wird im Kapitel 4.2 beschrieben.

Im folgenden Kapitel wird dargestellt, welche Areale im ZNS während einer autobiographischen Erinnerung aktiviert werden und welche Faktoren einen Einfluss auf das neuronale Aktivierungsmuster haben können.

2.5 Das neuronale Netzwerk bei autobiographischen Erinnerungen

Will man das autobiographische Gedächtnis für den motorischen Lernprozess nutzen, so ist eine der entscheidenden Fragen, wie das ZNS beim Abruf einer autobiographischen Erinnerung aktiviert wird. In diesem Kapitel werden daher die derzeitigen Kenntnisse bezüglich des neuronalen Netzwerkes des autobiographischen Gedächtnisses dargelegt und erörtert und der Einfluss von Emotionen auf dieses neuronale Aktivierungsmuster besprochen. Darüber hinaus wird die wissenschaftliche Debatte, welche Gehirnhemisphäre bei autobiographischen Erinnerungen aktiviert wird, dargelegt. Am Ende dieses Kapitels wird ein Bereich des ZNS, der Precuneus, näher besprochen, da dieser Bereich möglicherweise ein Verbindungsglied zwischen dem autobiographischen Gedächtnis und der motorischen Imagination sein könnte.

2.5.1 Ergebnisse einer Meta-Analyse

Um den derzeitigen Stand der Forschung hinsichtlich der neuronalen Aktivierung beim autobiographischen Gedächtnis einzuholen, ist es sinnvoll, das Ergebnis einer Meta-Analyse-Studie heranzuziehen, da dabei die Ergebnisse vieler Studien zusammengefasst werden und nur die in den Studien übereinstimmenden Resultate als Ergebnis gewertet werden. Es wird sozusagen der kleinste gemeinsame Nenner als Ergebnis präsentiert. Mit dieser Vorgehensweise verringert sich die Fehleranfälligkeit.

Svoboda und KollegInnen haben 2006 so eine Meta-Analyse-Studie durchgeführt, und sie betonen gleich zu Beginn, dass die Untersuchung des autobiographischen Gedächtnisses weitaus komplexer ist als die Untersuchung der anderen Gedächtnisbereiche, die rein die Enkodierung und den Abruf von experimentell generierten Reizen abverlangt. Bei der Erforschung des autobiographischen Gedächtnisses hingegen rufen die Teilnehmer Ereignisse ihrer eigenen Geschichte hervor, die eindeutiger sind und eine größere persönliche Bedeutung als die Laborreize haben. Dies erfordert das subjektive Wiedererleben von Emotionen, von sensorischen Merkmalen und von zeitlichen, räumlichen und perzeptiven Kontexten der Ereignisse. Die Schwierigkeit liegt also darin, in der Laborsituation die ProbandInnen in eine Situation zu versetzen, die es möglich macht, eine Erinnerung abzurufen, die genau diese Merkmale enthält. (Vgl. ebd. 2006: 2190)

Welchen Wert die, durch funktionelle Bildgebung erhobenen Daten haben, ist abhängig von der Gezieltheit der Abrufhinweise und davon, ob vom Untersucher nachgefragt wurde, wie die Qualität der wieder-erinnerten Erfahrung war. Die Spannweite der Abrufhinweise für das Hervorlocken von autobiographischen Erinnerungen geht von sehr geringer Genauigkeit, wo ProbandInnen einfach aufgefordert werden, eine autobiographische Erinnerung hervorzurufen, zu beliebigen Worthinweisen (wie „Freude“, „Trauer“ etc.), bis hin zu einer höheren Genauigkeit, wo Stichworte von Interviews, die vor der Bildgebung durchgeführt wurden und wo ProbandInnen über persönliche Ereignisse aus ihrem Leben berichteten, ausgewählt und als Abrufreize verwendet werden. Das ist nach Svoboda et al. die häufigste Methode. Jedoch auch diese Methode wurde kritisiert, da durch den zweimaligen Abruf viel an Emotionalität und Multimodalität verlorengehen kann. Eine kleine Anzahl an Studien hat Fotos oder Audioaufzeichnungen als Abrufreize verwendet. Zudem verwendeten einige der in der Meta-Analyse untersuchten Studien qualitative Bemessungsgrößen (Fragebogen), um den Effekt der persönlichen Bedeutung, die Menge der hervorgerufenen Details und die Lebendigkeit der Erinnerungen zu bewerten. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2190)

Svoboda et al. weisen darauf hin, dass, bedingt durch die multi-modale Natur beim Abruf von autobiographischen Gedächtnisinhalten, verschiedene funktionelle Bereiche beansprucht werden, sodass keine einzige Studie das gesamte Netzwerk, das bei der autobiographischen Erinnerung involviert ist, erfassen kann. Darüber hinaus ist laut Svoboda et al. die Interpretation dieser Arbeiten durch die Uneinheitlichkeit der Vorgaben und der Referenzaufgaben erschwert. Trotzdem meinen sie, dass die Anzahl der Studien so weit angestiegen ist, dass es durch eine Meta-Analyse möglich wird, gemeinsame Gehirnaktivierungsmuster beim Abruf von autobiographischen Gedächtnisinhalten zu erkennen und den Einfluss verschiedener Aufgabenvariablen auf das Aktivierungsmuster zu untersuchen. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2190)

In ihrer Meta-Analyse-Studie analysierten sie den gegenwärtigen Corpus an PET- und fMRI-Studien hinsichtlich des autobiographischen Gedächtnisses. Es wurden 24 veröffentlichte Studien ausgewertet. Nur statistisch signifikante Aktivierungen oder Deaktivierungen wurden in den Tabellen und Abbildungen inkludiert. Es wurden Brodmann Areale (BA) verwendet, um regionale Aktivierungen anzugeben. Bei Studien, die nicht Brodmann Areale als Bezeichnungen verwendeten, wurden die Koordinaten auf dem Talairach-Tournoux Atlas aufgetragen, um eine vergleichbare Information zu erzielen. (Vgl. Svoboda 2006: 2191)

Jede Studie hatte mindestens ein Kontrastelement miteinbezogen, also eine Referenzaufgabe (z.B. Ruhephase oder semantisches Gedächtnis), die mit der Autobiographischen-Erinnerungs-Kondition verglichen wurde. Dies ist unbedingt notwendig, denn die Schwierigkeit dieser Forschung liegt darin, wie Svoboda et al. meinen, dass nicht einzelne Areale untersucht werden sollen. Denn es ist klar, dass das Gedächtnis durch die funktionelle Interaktion verschiedener Areale innerhalb eines Netzwerkes ermöglicht wird, weniger durch isoliert arbeitende Areale. Jedoch zum momentanen Zeitpunkt ist, laut Svoboda et al., noch nicht ganz klar, wie diese Regionen tatsächlich interagieren, um ein Erinnern zu ermöglichen. Zudem stellt es eine Herausforderung dar, unterscheiden zu können, welche Aktivierungen nun der autobiographischen Erinnerung zugeschrieben werden können, und welche Aktivierungen anderen begleitenden kognitiven Prozessen, wie z.B. der gerichteten Aufmerksamkeit, zugeschrieben werden müssen. Die gängige Standardmethode bei bildgebenden Studien ist daher die Aktivierungsunterschiede zwischen der Zielaufgabe und der Referenzaufgabe festzumachen. Das kann aber auch dazu führen, dass bestimmte Areale, die sowohl bei der Referenzaufgabe als auch bei der Zielaufgabe aktiviert werden, durch die Subtraktionsanalyse aus der Bewertung für das autobiographische Gedächtnis herausgenommen werden und daher nicht weiter beachtet werden, obwohl sie vielleicht für das autobiogra-

phische Gedächtnis relevante Areale wären. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2202f.) Daher ist bei der Interpretation der Daten immer Vorsicht geboten, und die Schlüsse daraus sollten mit Bedacht gezogen werden.

Svoboda et al. konnten durch den Vergleich der 24 Studien eine durchgehende beidseitige Aktivierung im medialen (BA 9, 10) und ventrolateralen (BA 45, 44, 47) präfrontalen Kortex, im medialen (Hippocampus, BA 34, 27, 28, 35, 36/37) und lateralen (BA 21) temporalen Kortex, im temporoparietalen (BA 39) Übergang, sowie im retrosplenialen/posterioren cingulären Kortex (BA 29, 30, 23, 31) und im Kleinhirn feststellen. Sie nannten diese Regionen das Herzstück des autobiographischen Gedächtnisses (siehe Abbildung 5).

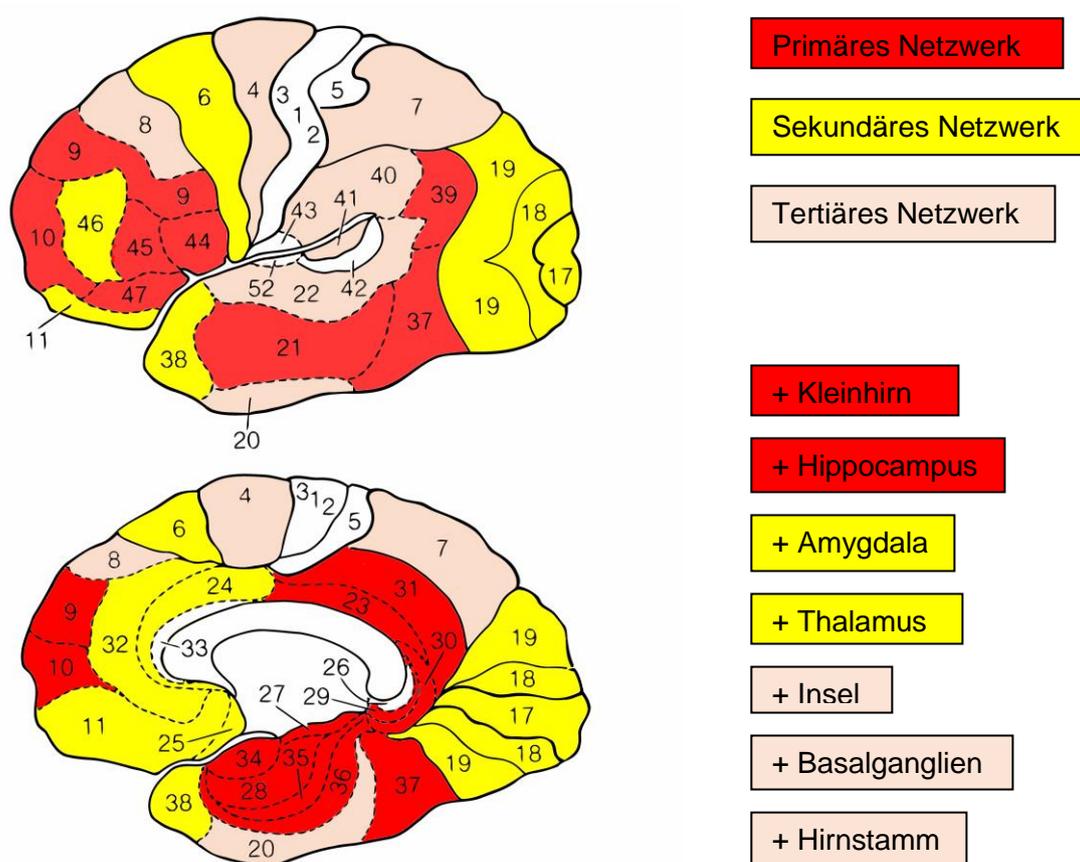


Abbildung 5: Die primären, sekundären und tertiären Aktivierungsareale des autobiographischen Gedächtnisses (nach Svoboda et al. 2006: 2192f.)

Svoboda et al. betonen jedoch weiter, dass Aktivierungen in verschiedenen zusätzlichen Arealen beobachtet wurden, jedoch weniger konsistent. Da diese Regionen bei annähernd einem Viertel bis einem Drittel der überprüften Studien nachweisbar waren, wurden diese Areale als "sekundäre" Areale des autobiographischen Gedächtnisses gewertet. Laut Svoboda inkludierten diese Areale im Frontallappen den orbitofrontalen Kortex (BA 11, 13), den dorsolateralen präfrontalen Kortex (BA 9, 46), den oberen me-

dialen und lateralen prämotorischen Kortex (BA 6) und den anterioren cingulären Kortex (BA 25, 32, 24), im Temporallappen den temporalen Pol (BA 38), die Amygdala und den Thalamus und im Okzipitallappen den okzipitalen Pol (BA 17, 18, 19,) (siehe Abbildung 5).

Svoboda und KollegInnen berichten auch über weitere Aktivierungen beim Abruf von autobiographischen Erinnerungen, die weniger häufig entdeckt wurden. Dazu gehören im Frontallappen das Augenzentrum (BA 8), der primär motorische Kortex (BA 4), im Parietallappen der mediale Bereich (Precuneus - BA 7 medial) und der laterale Bereich (BA 7 lateral, 40), im Temporallappen der Gyrus fusiformis (BA 37 - Gesichtserkennung) und der laterale Temporalbereich (BA 22, 41, 20) sowie die Inseln, die Basalganglien und der Hirnstamm. Svoboda et al. nannten diese Regionen "tertiäre" Areale des autobiographischen Gedächtnisses (siehe Abbildung 5). (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2192f.)

Svoboda et al. meinen hinsichtlich des nachgewiesenen Netzwerkes bei der Aktivierung autobiographischer Erinnerungen, dass das großflächige Aktivierungsmuster, das quer durch die Studien beobachtet werden konnte, auf die Aktivierung von domänenspezifischen Prozessen hinweist, die eigentümlich für das phänomenologische Wiedererleben sind. Zu diesen domänenspezifischen Prozessen gehören Wahrnehmungsprozesse, emotionale Prozesse, sowie domänenspezifische Basisprozesse, die notwendig für den erfolgreichen Gedächtnisabruf sind, wie das Arbeitsgedächtnis, Aufmerksamkeit und mnemonische Basisprozesse. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2195)

Es gibt also ein Herzstück des autobiographischen Gedächtnisses hinsichtlich seiner neuronalen Aktivierung, das bei autobiographischen Erinnerungen immer aktiviert wird. Daneben gibt es aber auch Aspekte, die einen modulierenden Effekt auf die neuronale Aktivierung haben, wie die Emotionalität der Erinnerung, die persönliche Bedeutung, die Anzahl der hervorgerufenen Details und die Lebhaftigkeit der Erinnerung. Welcher dieser Aspekte zum Tragen kommt, hängt wesentlich von den Umständen bei der Erinnerung ab, also im Wesentlichen von der Art des Abrufreizes, aber auch vom Kontext. Da diese Aspekte eine entscheidende Rolle beim neuronalen Aktivierungsmuster spielen, werden diese in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

2.5.2 Die Bedeutung der Emotionalität und der Bewertung

Zwei der wichtigsten modulierenden Aspekte für das Aktivierungsmuster bei autobiographischen Erinnerungen sind die Emotionalität der Erinnerung und die persönliche Bedeutung dieser Erinnerung. Die Forschungsarbeit von Anne Botzung und KollegInnen hat diese Faktoren untersucht. Das Ziel ihrer Forschungsarbeit war es, herauszufinden, ob affektive Eigenschaften von komplexen, sozial relevanten Ereignissen die Gedächtnisprozesse im Gehirn verändern bzw. wie die neuronalen Korrelate von hoch emotionalen Erinnerungen aussehen (vgl. ebd. 2010: 2130).

Dazu untersuchten sie 23 männliche "Hardcorefans" von zwei stark rivalisierenden College-Basketballteams. Vor der bildgebenden Untersuchung schauten sich die Teilnehmer innerhalb einer Woche dreimal ein Basketballspiel der rivalisierenden Teams an. Alle Teilnehmer haben schon mehrfach Spiele in jener Halle erlebt, die in dem Video zu sehen ist. Während der funktionellen MRI-Aufnahme sahen sie 64 verschiedene Spielauszüge, die kurz vor dem Ballwurf gestoppt wurden. Nach jedem Ausschnitt mussten die Teilnehmer entscheiden, ob der Ball in den Korb ging oder nicht. Nur richtige Entscheidungen wurden später in die Analyse miteinbezogen. Nach jeder Gedächtnisentscheidung mussten die Probanden zudem die Sicherheit ihrer Entscheidung (1 = "sehr niedrig" bis 8 = "sehr hoch") und den emotionalen Stellenwert beurteilen (für negative Ereignisse von -1 bis -4, für positive Ereignisse von +1 bis +4). Die Ausschnitte wurden so gewählt, dass entsprechend der Perspektive des jeweiligen Fans die Hälfte (n=32) der Videoclips positive waren (guter Ausgang für das Team) und die andere Hälfte negative Clips (schlechter Ausgang für das Team). Durch dieses Studiendesign konnten die AutorInnen den Einfluss von emotionaler Intensität und Wertigkeit auf autobiographische Erinnerungen untersuchen, hatten aber dennoch kontrollierbare einheitliche Cues. (Vgl. Botzung et al. 2010: 2131) Die AutorInnen weisen darauf, dass bei vielen vorherigen autobiographischen Untersuchungen kein modulierender Effekt durch emotionale Intensität festgestellt werden konnte, da meist rein akustische Stichworte während der fMRI-Untersuchung gegeben wurden, die bei einem früher stattgefundenen Interview bezüglich persönlicher Ereignisse gesammelt wurden. Diese Stichworte scheinen ihrer Meinung nach die beim erstmaligen Erinnern empfundene emotionale Intensität nicht genügend zu reproduzieren (vgl. ebd. 2010: 2134).

Wie von Botzung et al. prognostiziert, haben sie in ihrer Untersuchung eine verstärkende Wirkung auf die neuronale Aktivierung bei hoch emotionalen Erinnerungen entdeckt. Im Detail verstärkte hohe Emotionalität im Vergleich zu niedriger Emotionalität die Aktivierung in Arealen, die beim Abruf von Erinnerungen (präfrontalen Kortex, tem-

poralen Lappen - Hippocampus), bei emotionalen Prozessen (medialer präfrontaler Kortex, Amygdala), bei selbstbezüglichen Prozessen und/oder sozial bedeutenden Reizen (anterior-medialer präfrontale Kortex, hinterer zingulärer Kortex, temporoparietaler Übergang, Striatum [=Teil der Basalganglien], Präguncus) involviert sind, als auch in Regionen, die visuelle (Cuneus, Präguncus) und motorische (sensomotorischer Kortex, Kleinhirn, Nucleus Ruber) Repräsentationen enthalten. Die letztgenannten Areale deuten auf die Aktivierung von motorischen Imaginationen und von motorischen Gedächtnisprozessen hin. (Vgl. ebd. 2010: 2132f.)

Auch Svoboda et al. haben in ihrer Meta-Analyse-Studie den modulierenden Einfluss von Emotionen untersucht. Sie weisen darauf hin, dass autobiographische Erinnerungen grundsätzlich durch emotionale Inhalte charakterisiert sind, dass jedoch die Intensität der Emotion oft sehr unterschiedlich ist. Dies hat Einfluss auf das Aktivierungsmuster. Svoboda et al. mussten bei ihrer Meta-Analyse feststellen, dass die meisten von ihnen untersuchten Studien die Gefühlszustände beim Abruf emotionaler Ereignisse nicht gesondert ausgewiesen haben. Es haben nur fünf der 24 Arbeiten speziell den Abruf emotionaler autobiographischer Ereignisse untersucht. Trotzdem offenbaren schon diese wenige Studien faszinierende Ergebnisse hinsichtlich der neuronalen Grundlage von emotionalen Erinnerungen. Die Resultate zeigen ein Netzwerk, das mit den "Standard-autobiographischen-Gedächtnisstudien" übereinstimmend ist, jedoch gibt es zusätzliche Aktivierungen in emotions-spezifischen Arealen. Die verstärkte Aktivierung bei emotionalen Erinnerungsprozessen war in der Amygdala zu beobachten, die bei der Kodierung und beim Abruf von emotionalen Ereignissen aktiv ist, in der Inselrinde, die auf eine ganze Bandbreite an emotionalen Reize reagiert, und im orbitofrontalen Kortex, der mit dem Belohnungssystem in Verbindung steht. Und im Gegensatz zur eher linkslastigen Aktivierung bei den Standard-Studien zum autobiographischen Gedächtnis, riefen die emotionalen autobiographischen Erinnerungen großteils bilaterale Aktivierungen hervor. Da von den 24 Studien nur 5 auf den emotionalen Inhalt der Erinnerung Wert gelegt haben, wird nun verständlich, wieso Svoboda et al. Bereiche wie die Amygdala und den orbitofrontalen Kortex nur zum sekundären Netzwerk bzw. die Insel zum tertiären Netzwerk rechnen konnten. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2201)

Bei Studien, die gezielt auf die Aktivierung von emotionalen Bewegungserinnerungen ausgerichtet sind, wie die Studie von Botzung und KollegInnen, zeigt sich, dass neben den von Svoboda et al. entdeckten emotions-spezifischen Arealen auch Bereiche aktiviert werden, die für die motorische Planung und Ausführung von Bedeutung sind, wie der motorische Kortex (BA 4), der Präguncus und die Basalganglien, die bei Svoboda

et al. nur zum tertiären Netzwerk des autobiographischen Gedächtnisses gezählt werden oder der sensorische Kortex, der im, von Svoboda et al. beschriebenen, Netzwerk gar nicht aufscheint. Hat die Erinnerung jedoch einen hohen emotionalen Gehalt und einen Bezug zu einer motorischen Handlung, müssten auch diese Areale zum neuronalen Netzwerk des autobiographischen Gedächtnisses gezählt werden.

Ein weiterer wichtiger modulierender Aspekt ist die Wertigkeit einer Erinnerung, d.h., ob die Erinnerung für die jeweilige Person neben dem emotionalen Gehalt eine positive oder negative Bedeutung hat. Bei positiv bewerteten Ausschnitten konnten Botzung et al. sowohl eine verhaltensmäßige Veränderung als auch einen Unterschied in der Gehirnaktivität feststellen. Von den richtig erinnerten Videoausschnitten war ein signifikant höherer Anteil positiv anstatt negativ, das heißt, positive Ereignisse werden besser erinnert als negative. Positive Ereignisse wurden von den Teilnehmern zudem mit einer höheren Entscheidungssicherheit bewertet und waren emotional intensiver als negative. Bezüglich der Gehirnaktivität wurde bei positiv bewerteten im Vergleich zu negativ bewerteten Ereignissen mehr ein fronto-zingulär-parietales Netzwerk aktiviert. Im Detail wurden bei positiven Ausschnitten im Vergleich zu negativen mehr der prämotorische Kortex (BA 6) und der obere präfrontale Kortex (BA 9), sowie der sensorische Kortex (BA 3) und der untere parietale Lobus (BA 40), sowie der vordere Gyrus zinguli (BA 24) aktiviert. Die Aktivierung dieses Netzwerkes schreiben die AutorInnen der größeren Aufmerksamkeitsverteilung und der möglichen Aktivierung von sensomotorischen kortikalen Repräsentationen zu. Sie betonen zudem, dass diese Aktivierung die von Barbara L. Fredrickson vorgestellte "Broaden-and-build-Theory" unterstützt, die besagt, dass Emotionen das Wahrnehmungs- und Verhaltensmuster beeinflussen können, und dass positive Emotionen eine fördernde Wirkung auf die Person haben. (Vgl. Botzung et al. 2010: 2135f.) Positive Emotionen wären demnach ein „Vehikel“ für das individuelle Wachstum und den sozialen Anschluss und hätten demnach lang anhaltende Folgen (vgl. Fredrickson 2001: 224). Zusammenfassend meinen Botzung et al., dass emotionale Erinnerungen von erfreulichen Sportereignissen nicht nur die schon bekannten Erinnerungsfunktionen der Amygdala und des Hippocampus offenbaren, sondern auch sozial-kognitive und sensomotorische Netzwerke aktivieren (vgl. ebd. 2010: 2136).

Die Untersuchung von Botzung et al. hat also gezeigt, dass sehr emotional und positiv erlebte Erinnerungen gedächtnisrelevante und aufmerksamkeitsabhängige Areale, aber ebenso sensorische und motorische Bereiche aktivieren - in Summe also ein sehr umfangreiches Aktivierungsmuster. Wenn die autobiographische Erinnerung als motorisches Lernmittel Verwendung finden soll, wäre es demnach sinnvoll, den Patienten / die Patientin dabei zu unterstützen, eine emotional positiv erlebte Erinnerung zu finden.

2.5.3 Bi- oder unilaterale Aktivierung

Neben der Erforschung, welche Areale bei autobiographischen Erinnerungen aktiviert werden, steht zudem die Frage, welche Gehirnhemisphäre stärker bei diesen Erinnerungen aktiv ist, im Mittelpunkt des Forschungsinteresses. Diesbezüglich gibt es sehr kontroverse Belege.

Markowitsch meint dazu:

„Die Speicherorte für episodische und allgemein deklarative Information werden im Neokortex vermutet. Hierbei ist es wahrscheinlich, dass vorwiegend rechtshemisphärisch gelegene Netze eher die episodische, affekt-besetzte Information speichern und vorwiegend linkshemisphärisch gelegene Netze sich eher mit neutralem Welt- und Allgemeinwissen befassen. Gleiches - was die Hirnhälften betrifft - gilt für den Abruf: Hier kann man grundsätzlich festhalten, dass eine Konstellation aus Teilen des rechten Stirnhirns und des rechten vorderen Schläfenlappenbereichs als "Trigger"-Region agieren, die die in den corticalen Netzwerken gespeicherte episodisch-autobiographische Information wieder reaktiviert und somit dem Abruf zuführt. Eine analoge linkshemisphärische Regionenkonstellation aktiviert die Inhalte des [semantischen] Wissenssystems.“ (ebd. 2002a: 102f.)

Auch Fink und KollegInnen gingen 1996 der Frage nach, ob autobiographische Erinnerungen eine hemisphären-spezifische Aktivierung haben. Sie führten eine PET-Untersuchung durch, um die neuronale Aktivierung bei affekt-beladenen autobiographischen Erinnerungen zu untersuchen. Während der bildgebenden Untersuchung gab es drei verschiedene Bedingungen: Neben einer Ruhephase gab es eine ‚unpersönliche‘ Phase, bei der die ProbandInnen Sätze mit autobiographischen Inhalten einer fremden Person hörten, und schließlich die ‚persönliche‘ Phase, bei der die ProbandInnen Sätze hörten, die Inhalte ihrer persönlichen Vergangenheit enthielten. Sowohl der Vergleich der persönlichen Bedingung mit der Ruhephase, als auch der Vergleich der persönlichen Bedingung mit der unpersönlichen Bedingung, zeigte eine überwiegend rechtshemisphärische Aktivierung. Die Autoren meinen daher, dass das rechtshemisphärische temporale Netzwerk, zusammen mit hinteren zingulären und präfrontalen Arealen, für den Abruf von affekt-beladenen autobiographischen Erinnerungen verantwortlich sein könnte. (Vgl. ebd. 1996: 4275)

Maddock et al. führten 2001 eine fMRI-Studie durch, bei der sie eine mehr linkshemisphärische Aktivierung bei autobiographischen Erinnerungen entdeckten. Ihr Ziel war es, das neuronale Netzwerk bei möglichst natürlich hervorgerufenen autobiographischen Erinnerungen zu untersuchen, denn sie sind davon ausgegangen, dass sich Erinnerungen, die durch standardisierte Abrufreize hervorgerufen werden, deutlich von natürlich hervorgerufenen autobiographischen Erinnerungen unterscheiden und dass

diese auch eine andersartige neuronale Aktivierung zeigen. Die ProbandInnen hörten während der bildgebenden Untersuchung Namen von Angehörigen und engen Freunden. Die stärkste Aktivierung zeigte sich im hinteren zingulären Kortex, überwiegend linksseitig. Zudem kam es zur Aktivierung in primär linkshemisphärischen parietalen Arealen (unterer Parietalkortex, Precuneus, Cunes) und in linksseitigen frontalen Arealen (orbitomedialen und anterio-medial) und interessanterweise auch im präzentralen Kortex rechtsseitig. Die Autoren schließen daraus, dass Verbindungen zwischen dem hinteren zingulären Kortex und den genannten frontalen und parietalen Arealen Teil eines Netzwerkes darstellen, das für die Erinnerungen an vertraute Personen verantwortlich sein könnte. (Vgl. ebd. 2001: 667) Bei diesem Studiendesign ist aber zu hinterfragen, ob das Hören der Namen von vertrauten Personen wirklich eine autobiographische Erinnerung hervorruft oder nur die Erinnerung an die Person, denn ob der Ich-Bezug, der ein wichtiges Merkmal autobiographischer Erinnerungen darstellt, vorhanden ist, ist sehr fraglich. Insofern ist das von den AutorInnen gefundene Netzwerk nicht repräsentativ für das autobiographische Gedächtnis.

Auch Vandekerckhove et al. führten 2005 eine Untersuchung bezüglich autobiographisches Gedächtnis durch, um herauszufinden, ob die rechte Gehirnhemisphäre stärker zum Abruf von autobiographischen Erinnerungen beiträgt oder nicht. Sie untersuchten 16 Personen, die am Morgen vor der bildgebenden Untersuchung verschiedenste positive, negative, stressvolle oder neutrale Erinnerungen aktivieren sollten. Als Auslöser für die Erinnerungen fungierte eine Wortliste (z.B. „glücklicher Moment“, „traurige Situation“, „stressige Situation“, „Mittagessen“ etc.). Während der fMRI-Aufnahme mussten die Teilnehmer jeweils 25 Sekunden lang ihre am Morgen hervorgerufene Erinnerung wieder aktivieren, nachdem sie die jeweiligen Stichwörter gehört haben. In der Ruhephase sollten sie sich eine vorher gesehene „7“ vorstellen. (Vgl. ebd. 2005: 204) Die AutorInnen konnten keinen Unterschied in der neuronalen Aktivierung bei den emotional unterschiedlichen autobiographischen Erinnerungen (positiv, negativ, stressvoll, neutral) entdecken (vgl. ebd. 2005: 206). Jedoch Botzung et al. haben schon darauf hingewiesen, dass eine zweimalige Erinnerung oft dazu führt, dass die Intensität der Emotion nachlässt (vgl. ebd. 2010: 2134). Dies ist wahrscheinlich der Grund, weshalb sie keinen modulierenden Effekt bei emotionalen Erinnerungen gefunden haben. Allerdings konnten Vandekerckhove et al. ein gemeinsames und zu großen Teilen bilaterales Aktivierungsmuster bei den unterschiedlichen autobiographischen Erinnerungen feststellen. Im Vergleich zur Ruhephase aktivierten sich großteils bilaterale Anteile des mittleren und oberen temporalen Lappens (BA 21, 38), des Hippocampus und des Parahippocampus, des dorsolateralen, mittleren und oberen präfrontalen Kortex (BA 47,

46, 10, 9), des vorderen und hinteren zingulären Gyrus (BA 32, 23), des unteren und hinteren parietalen Lobus einschließlich des Precuneus (BA 39, 7) und Teile des Kleinhirns. (Vgl. ebd. 2005: 206)

Zusammenfassend meinen Vandekerckhove et al., dass die Sichtweise für eine strikte Aufteilung von semantischen Erinnerungen für die linke Hemisphärenaktivierung und autobiographischen Erinnerungen für die rechte Hemisphärenaktivierung modifiziert werden müsse. Ihrer Meinung nach wäre das autobiographische Gedächtnis eher ein bi-hemisphärisches neuronales Netzwerk, das für die Suche und Auswahl, aber auch für die Wiederherstellung von momentan inaktiven perzeptuellen Repräsentationen zuständig ist. Dadurch könnten multimodale und emotional gefärbte Inhalte und Wahrnehmungen aktiviert werden. Dies würde die funktionelle und dynamische Interaktion beider Gehirnhälften notwendig machen. (Vgl. ebd. 2005: 209)

Aus heutiger Sicht ist also eher anzunehmen, dass autobiographische Erinnerungen eine bi-hemisphärische neuronale Aktivierung hervorrufen, demnach ein sehr umfangreiches und viele Bereiche des ZNS involvierendes neuronales Netzwerk.

Der folgende Abschnitt ist einem speziellen Bereich des ZNS, dem Precuneus, gewidmet, da er sowohl für die motorische Imagination als auch für die autobiographische Erinnerung bedeutend zu sein scheint.

2.5.4 Precuneus: ein Bindeglied zwischen Imagination und Erinnerung?

In diesem Kapitel wird ein Areal des Kortex, der Precuneus, näher beleuchtet, da dieses Areal ein wichtiges Verbindungsglied zwischen persönlichen Erinnerungen und bewegungsrelevanten Prozessen sein könnte. Cavanna und Trimble haben 2006 bezüglich des Precuneus eine Metaanalyse-Studie durchgeführt, bei der sie nicht nur unterschiedliche wissenschaftliche Arbeiten analysierten, sondern in ihrer Studienauswahl auch Arbeiten unterschiedlicher Forschungsdomänen miteinbezogen haben (vgl. ebd. 2006: 564).

Der Precuneus hat seinen Namen durch seine topographische Nähe zu der dreieckförmigen Windung des Cuneus (cuneus = lat. Keil). Der Precuneus umfasst den hinteren Teil des parietalen Kortex, und zwar den medialen Anteil, der von außen nicht sichtbar, noch zugänglich ist, weshalb dieser Bereich lange Zeit unbeachtet blieb. Anders ausgedrückt ist der Precuneus der mesiale Anteil des Brodmann-Areals 7. Der Precuneus gehört damit zu den assoziativen Kortexarealen, die die Integrationszentren der Wahrnehmung darstellen und schon die Vielzahl seiner anatomischen Verbindun-

gen zeigt die Besonderheit dieses Areals. Der Precuneus unterhält verschiedenste reziproke Verbindungen zu anderen Bereichen des Parietallappens, wie zum hinteren zingulären Kortex und zum retrosplenialen Kortex, oder auch zum unteren und oberen Parietallappen und zum hinteren parietalen Operculum. Die bedeutendsten extraparietalen kortiko-kortikalen Verbindungen des Precuneus bestehen mit dem Frontallappen. Es gibt umfangreiche Verbindungen zwischen Precuneus und dem präfrontalen Kortex, dem dorsalen prämotorischen Areal, dem supplementär motorischen Areal und dem vorderen zingulären Kortex. Diese parieto-frontalen Verbindungen sind reziprok und scheinen eine zentrale Rolle bei der visuell-räumlich geleiteten Bewegungskontrolle zu spielen. Auf diesen Aspekt wird später noch näher eingegangen. Der Precuneus hat aber auch Verbindungen zum medialen prästriaten Kortex und zum oberen temporalen Sulcus, bekannt als temporo-parieto-okzipitaler Kortex (TPO). Der TPO-Kortex ist ein heteromodales, assoziatives, kortikales Netzwerk, das bei der Integration von auditiven, somatosensorischen und visuellen Informationen beteiligt ist. Der Precuneus hat zudem zahlreiche reziproke Verbindungen zu subkortikalen Strukturen, wie Thalamus und Claustrum, sowie efferente Bahnen zum Nucleus caudatus und zum Putamen, sowie zu verschiedenen Bereichen des Hirnstamms und zu multiplen zerebellären Kreisläufen. Insgesamt sind die Verbindungen des Precuneus breit gestreut und umfassen kortikale und subkortikale Assoziationsfelder. Es wurden keine direkten Verbindungen zu primär sensorischen Regionen gefunden, sodass vermutet wird, dass der Precuneus in einem umfangreichem Netzwerk aus kortikalen und subkortikalen Strukturen involviert ist, das eher für die Bildung von hoch integrierten und assoziativen Informationen verantwortlich ist, als für die direkte Verarbeitung von externen Reizen. Diese Integration umfasst sowohl externe als auch intern erzeugte Informationen. Die anatomische Lage und die Verbindungen des Precuneus lassen daher vermuten, dass dieser eine relevante Rolle bei der Umsetzung von höher geordneten kognitiven Funktionen spielt. (Vgl. Cavanna/Trimble 2006: 567f.)

Um diesen Funktionen auf den Grund zu gehen, haben Cavanna und Trimble verschiedenste bildgebende Studien analysiert. Diese Studien stammen aus unterschiedlichen Forschungsdomänen und untersuchten verschiedene Aspekte der kognitiven Funktionen, die von den oben genannten Autoren willkürlich in vier Kategorien eingeteilt wurden: visuell-räumliche Imagination, episodischer Gedächtnisabruf, selbstbezügliche Prozesse und Bewusstsein. Bei all diesen Prozessen spielt der Precuneus eine Rolle, die im Folgenden näher erläutert wird.

Precuneus und visuell räumliche Imagination: Zusammen mit lateralen parietalen Arealen bildet der Precuneus die Information hinsichtlich der egozentrischen und allozentri-

schen Relationen. Diese Information ist bei allen visuell-räumlich geleiteten Körperbewegungen notwendig, wie beim Zeigen, beim Ergreifen oder beim Agieren mit zwei Extremitäten. Der Precuneus scheint aber mehr Bedeutung in der Planungsphase als in der Ausführungsphase zu haben, denn Cavanna und Trimble berichten von Arbeiten, die gezeigt haben, dass der Precuneus während der motorischen Imagination stärker aktiviert wurde als während der realen Bewegungsausführung. Der Informationsaustausch zwischen prämotorischen und parietalen Arealen scheint für die Bildung von egozentrischen und allozentrischen räumlichen Informationen notwendig. Der Precuneus ist damit bei der Generierung der räumlichen Information, die einen wichtigen Teil der Bewegungsplanung darstellt, beteiligt. (Vgl. Cavanna /Trimble 2006: 572f.)

Precuneus und episodischer Gedächtnisabruf: Der Precuneus ist auch beim Abruf von episodischen Erinnerungen involviert. Cavanna und Trimble berichten, dass ein direkter Vergleich vom episodischen und semantischen Gedächtnis gezeigt hat, dass speziell bei episodischen Erinnerungen eine bilaterale Aktivierung des Precuneus und des rechten präfrontalen Kortex zu beobachten ist. Insbesondere hat sich gezeigt, dass die Aktivierung des hinteren Anteils des Precuneus mit dem erfolgreichen Abruf von gespeicherten Ereignissen in Zusammenhang gebracht werden kann und die Aktivierung des vorderen Anteils mit dem Erinnerungsmodus (z.B. bei multimodaler Imagination). Zusammenfassend kann man also sagen, dass der Precuneus sowohl beim erfolgreichen Abruf von autobiographischen Erinnerungen als auch bei mentalen Imaginationsstrategien beteiligt ist. (Vgl. Cavanna /Trimble 2006: 574f.)

Precuneus und selbstbezügliche Prozesse: Der Precuneus scheint auch eine entscheidende Rolle bei den selbstbezüglichen Prozessen zu spielen, ermöglicht durch mentale Imaginationsstrategien. Das heißt, die Einnahme einer Ersten-Person-Perspektive und damit die Interpretation einer Handlung als selbst gesteuert und nicht als fremdgesteuert werden scheinbar durch die Aktivierung des Precuneus ermöglicht. Cavanna und Trimble berichten, dass die miteinander verbundenen Regionen des medialen präfrontalen Kortex und des Precuneus wahrscheinlich ein Netzwerk darstellen, das die Ich-Identität und vergangene persönliche Erfahrungen miteinander verbindet. Dies stellt einen besonders wichtigen Faktor dar, denn wenn persönliche Erinnerungen hilfreich für den motorischen Lernprozess sein sollen, ist der Ich-Bezug ein essentieller Faktor. (Vgl. Cavanna /Trimble 2006: 575f.)

Precuneus und Bewusstsein: Erstaunlicherweise hat sich bei verschiedenen bildgebenden Studien gezeigt, dass die Aktivierung des Precuneus im bewussten Ruhezustand im Vergleich zu jenen Momenten sogar zunimmt, wo die ProbandInnen ver-

schiedene kognitive oder visuelle Aufgaben lösen mussten. Eine mögliche Erklärung dafür ist folgende: Wenn eine Person wach, aufmerksam und nicht mit einer bestimmten kognitiven Aufgabe beschäftigt ist, dann verstärkt der Precuneus zusammen mit dem hinteren zingulären Kortex und dem medialen präfrontalen Kortex die ununterbrochene Informationssammlung und die Repräsentation des Ich's und der externen Welt. In diesen Momenten des bewussten Ruhezustandes werden demnach intern gespeicherte Informationen weiterverarbeitet. Dieser Prozess ist bedeutend für die Konsolidierung und den Abruf von episodischen Erinnerungen und für die bewusste Repräsentation von Informationen in Form von mentalen Bildern und spontanen Gedanken, und damit auch für die Problemlösung und die Planung. Man kann also sagen, dass die bisherigen Daten vermuten lassen, dass das weit vernetzte, multimodale, assoziative Areal des Precuneus zu einem neuronalen Netzwerk gehört, das der Selbstwahrnehmung und der bewussten Erfahrung dient. (Vgl. Cavanna/Trimble 2006: 577f.)

Zusammenfassend weisen Cavanna und Trimble darauf hin, dass eine Aktivierung des Precuneus durchgehend bei Untersuchungen zu episodischem Gedächtnis, zu visuell-räumlicher Imagination und zu selbstbezüglichen Prozessen gefunden wurde. Jedoch bei den meisten bildgebenden Studien wurde die gefundene Precuneus-Aktivierung nur hinsichtlich der eigenen Forschungsdomäne interpretiert. Bei Studien hinsichtlich des episodischen Gedächtnisses wurde dessen Aktivierung den Prozessen des episodischen Gedächtnisses zugeschrieben. Bei Studien zur visuell-räumlichen Repräsentation wurde dessen Aktivierung visuell-räumlichen Prozessen zugeschrieben usw. Diese domänen-spezifische Interpretation ist natürlich sinnvoll, um Hypothesen weiterzuentwickeln. Dennoch erlauben diese Interpretationen nicht die Entwicklung von generellen Theorien. Laut Cavanna und Trimble könnte ein vereinigender Faktor darin bestehen, dass der Precuneus bei der Integration von multiplen neuronalen Systemen involviert ist, die eine bewusste Selbstwahrnehmung, also die mentale Repräsentation des Ich's im Raum, erzeugen. Abschließend meinen die Autoren, dass der Precuneus damit eine zentrale Rolle bei der Modulation von bewussten Prozessen haben könnte. (Vgl. ebd. 2006: 579)

Wenn es also gelingt, autobiographische Erinnerungen hervorzurufen, die einen starken Selbstbezug haben, multimodal sind und eine visuell-räumliche Vorstellung aktivieren, dann kann man davon ausgehen, dass damit auch der Precuneus aktiviert wird. Die Aktivierung dieses multiplen neuronalen Netzwerkes macht Veränderungen der bewussten Prozesse möglich, und damit kann auch motorisches Lernen beginnen.

Im folgenden Kapitel wird auf die aktuellen Erkenntnisse bezüglich der Funktionen des autobiographischen Gedächtnisses eingegangen. Diese Erkenntnisse geben auch Hinweise für eine mögliche Funktion hinsichtlich des motorischen Lernprozesses.

2.6 Funktion des autobiographischen Gedächtnisses

Bei der Erforschung des autobiographischen Gedächtnisses ist eine Frage von besonderer Bedeutung: Welche Funktion hat das autobiographische Gedächtnis? In diesem Kapitel wird dieser Frage nachgegangen.

Pillemer erläutert in seiner Arbeit die Zweckmäßigkeit und die adaptive Funktion des autobiographischen Gedächtnisses (vgl. ebd. 2003: 193). Er weist darauf hin, dass zu Beginn der Gedächtnisforschung nur Themen wie die Struktur, die Organisation oder die Genauigkeit des Gedächtnisses im Mittelpunkt des Forschungsinteresses stand. Erst mit der Erforschung des autobiographischen Gedächtnisses rückte zunehmend mehr die Funktion dieser geistigen Leistung in den Vordergrund. Konzeptuelle Analysen und empirische Studien des autobiographischen Gedächtnisses haben eine Reihe an möglichen Funktionen entdeckt. Die bis dato identifizierten Funktionen können in drei Kategorien eingeteilt werden.

Das autobiographische Gedächtnis hat demnach eine Ich-bezugsfunktion (intrapersonell, psychodynamisch) sowie eine soziale (interpersonell, kommunikativ) und eine direktive (Problemlösung) Funktion (vgl. Pillemer 2003: 193). Auch wenn die Gedächtnisfunktionen in diese drei Kategorien unterteilt wurden, überlappen sich diese häufig in realen Situationen. Jedoch stellt sich die Frage nach der relativen Bedeutung dieser drei Funktionsebenen. Viele Erforscher des autobiographischen Gedächtnisses stellen die Ich-bezugsfunktion und die soziale Funktion in den Mittelpunkt. Pillemer hingegen betont die entwicklungsmäßige Bedeutung und die praktische Wichtigkeit der direktiven Funktion (vgl. ebd. 2003: 194).

Ganz gleich, welche Bedeutung man welcher Funktion zuschreibt, alle drei Funktionen sind Teil unseres Lebens. Die Ich-bezugsfunktion wird gelebt, wenn sich eine Person ausgelöst durch ein Ereignis fragt, ob bewusst oder unbewusst, was dieses Ereignis für die eigene Person bedeutet, wie man sich nach diesem Ereignis sieht und inwieweit die Identität dadurch Veränderungen erfährt. Die soziale Funktion wird beim Wiedererzählen eines erlebten Ereignisses evident, denn durch das Erzählen kommt es zu Interaktionen mit anderen Menschen, zu Mitgefühl und zu emphatischen Äußerungen und Handlungen. Autobiographische Erinnerungen können damit eine sehr verbindenden-

de Funktion haben. Die direktive Funktion besteht darin, dass zukünftige Handlungen geleitet werden und dass entsprechend der Erinnerungen eine Handlungsart ausgewählt wird.

Besonders bewusst erlebt werden diese drei Funktionen nach einem traumatischen Erlebnis, wie einem Terroranschlag oder einem Unfall. Aber auch nach alltäglichen Ereignissen kann das autobiographische Gedächtnis leitende, soziale und Ich-bezugsfunktionen haben, die dann aber nicht mehr auf so bewusster Ebene erlebt werden. Pillemer betont, dass im Fall der leitenden Funktion Erinnerungen dann getriggert werden, wenn die vergangenen und die gegenwärtigen Umstände strukturelle Ähnlichkeiten aufweisen. Dabei ist häufig keine bewusste zielgerichtete mentale Arbeit oder Gedächtnissuche notwendig, sondern die Erinnerung kommt genau dann, wenn sie für das weitere Vorgehen den höchsten Nutzen hat. Diese Blitzlichterinnerungen sind äußerst sinnvoll und funktionell zweckmäßig. (Vgl. ebd. 2003: 199) Es spricht aber nichts dagegen, die direktive Funktion des autobiographischen Gedächtnisses bewusst und zielgerichtet zu benutzen. Bedeutend dabei ist nur, dass eine strukturelle Gemeinsamkeit zwischen gegenwärtiger und vergangener Situation vorhanden besteht.

Die Nutzung der leitenden Funktion des autobiographischen Gedächtnisses kann bedeutende Auswirkungen auf die Gegenwart haben. Pillemer betont, dass die leitende Funktion in ihrer Bedeutung nicht zweitrangig zu den sozialen und Ich-bezugsfunktionen ist, sondern dass ihre Wirkung weitreichend und breit anwendbar ist (vgl. ebd. 2003: 194). Auch Pohl diskutiert die mögliche Funktion des autobiographischen Gedächtnisses. Er berichtet über eine Studie, bei der autobiographische Erinnerungen zu 30,4% für direktive Funktionen, zu 7,1% für intrapersonelle Funktionen, zu 12,4% (6,6% Beziehungspflege / 5,8% Beziehungsherstellung) für soziale Funktionen verwendet wurden. Daher meint Pohl, dass „die direktiven Funktionen deutlich im Vordergrund der Nutzungen (standen).“ (ebd. 2007: 126)

Dass auch Bewegungsabläufe und Körperwahrnehmungen durch autobiographische Erinnerungen geleitet werden können, wird durch die Definition von persönlichen Erinnerungen verständlich, die Pillemer liefert: "A personal event memory represents a pinpointed event that happened at a particular time and place, and it includes the rememberer's unique circumstances at that time, with associated sensory images and feelings." (Pillemer 2003: 194) Pillemer betont damit auch die multimodale Qualität autobiographischer Erinnerungen, denn diese Erinnerungen sind immer mit "sensorischen Bildern und Empfindungen" assoziiert. Gerade das normale Bewegungs- und Körpergefühl von autobiographischen Erinnerungen, das viele PatientInnen durch die wieder-

holte Durchführung von pathologischen Bewegungen verloren haben, könnte leitende Bedeutung für den motorischen Lernprozess haben. Wie nun diese leitende Funktion der autobiographischen Erinnerung aktiviert und eingesetzt werden könnte, wird in Kapitel 4.4 erörtert.

Mit dieser Erläuterung zur möglichen Funktion des autobiographischen Gedächtnisses schließt sich ein erklärender Kreis: Ausgangspunkt dieses Kapitels waren Begriffe und die Funktionsweise des Gedächtnisses. Im Anschluss wurden die besonderen Merkmale des autobiographischen Gedächtnisses erläutert, um schließlich über die Erklärung des neuronalen Netzwerkes zur Funktion des autobiographischen Gedächtnisses zu gelangen. Damit wurden die bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnisse hinsichtlich der Abläufe aber auch hinsichtlich eventueller Nutzungsmöglichkeiten von autobiographischen Erinnerungen dargelegt.

Damit die autobiographische Erinnerung als besondere Form der motorischen Imagination eingesetzt werden kann, werden im kommenden Kapitel grundlegende Erkenntnisse und relevante Details der motorischen Imagination offenbart und erörtert.

3 Imagination

Wenn man an eine Bewegung denkt, sich also eine Bewegung vorstellt, wie dies geschieht bei der motorischen Imagination, dann stellt dieser Gedanke eine Erinnerung dar. Es ist eine Erinnerung, da das, bei der vielfachen Bewegungsausführung wahrgenommene Bewegungsgefühl im Gedächtnis gespeichert wurde. Stellt man sich nun eine Bewegung vor, kommt es zum Abruf dieser Erinnerung, die einen starken Ich-Bezug hat, denn es wird das Bewegungsgefühl der eigenen Bewegung gespeichert. Obwohl die motorische Imagination eine Erinnerung ist, hat sie in der Forschungsdomäne „Gedächtnis“ noch keine Beachtung gefunden. Jedoch gibt es einen, von der Medizin abgeleiteten Forschungsbereich, der die motorische Imagination eingehend erforschte und nach wie vor erforscht. Da das Ziel dieser Masterarbeit darin liegt, autobiographische Erinnerungen als eine besondere Art der motorischen Imagination zu nutzen, ist es notwendig, zuerst die Imagination als solches und auch die Mechanismen, die dabei ablaufen, näher zu analysieren und zu verstehen. Schließlich müssen die bisherigen Erkenntnisse der Imaginationsforschung aus dem Gesichtspunkt der autobiographischen Erinnerung bewertet werden. Diese Fragen werden in den kommenden Unterkapiteln erläutert.

3.1 Die Geschichte der Imaginationsforschung

Erste Arbeiten der motorischen Imaginationsforschung reichen schon fast 80 Jahre zurück (vgl. Vandell et al. 1943: 243ff.), doch hat sich in den letzten 30 Jahren das Interesse dafür stark intensiviert. Die Anzahl der Forschungsarbeiten nahm in dieser Zeit so stark zu, dass heute schon ein Überblick über dieses Thema schwer fällt. Es wird versucht, die für diese Arbeit relevanten Meilensteine der Imaginationsforschung zu skizzieren, um einen Überblick ihrer Bedeutung und ihrer Anwendung zu geben.

3.1.1 Die visuelle Imagination

Weg bereitend für das Interesse an der motorischen Imagination war die Erforschung der visuellen Imagination, die viele Erkenntnisse sowohl für die motorische Imagination (MI) allgemein als auch für die Anwendung der MI in der Rehabilitation brachte.

Einer der Ersten, der sich intensiv mit der visuellen Imagination beschäftigte, war Stephen M. Kosslyn. In seiner Arbeit „Seeing and Imagining in the Cerebral Hemispheres: a Computational Approach“ von 1987 beschreibt er die visuelle Imagination als die Er-

fahrung des Sehens in Abwesenheit des entsprechenden sensorischen Inputs (vgl. ebd. 1987: 149). Er meint treffend, dass eine visuelle mentale Vorstellung die bewusste Erfahrung des Sehens produziert, „but with the „mind`s eye“ rather than with the real ones.“ (ebd.) Kosslyn erläutert, dass die Ziele der visuellen Imagination zum großen Teil jenen des Sehens entsprechen, nämlich dem Erkennen und Interpretieren von Objekten, dem Navigieren durch den Raum und der Objektverfolgung. Hinsichtlich dem Erkennen von Objekten würde die Imagination dazu dienen, eine Information, die implizit also unbewusst im Gedächtnis gespeichert ist, explizit zu machen. Kosslyn meint weiter, dass die Imagination dann beim Abruf aus dem Gedächtnis benutzt wird, wenn die gesuchte Information eine subtile visuelle Eigenschaft ist, die vorher nicht bewusst berücksichtigt wurde und die nicht leicht von anderen Fakten abgeleitet werden kann. (Vgl. ebd. 1987: 149)

Das in dieser Arbeit untersuchte Lerntool, die autobiographische Erinnerung, verfolgt als Erstes genau dasselbe Ziel. Durch den Abruf bestimmter autobiographischer Erinnerungen sollen Elemente bewusst gemacht werden, die vorher nicht explizit waren. Zum Beispiel haben PatientInnen, wie schon erwähnt, auch schon nach kurzer Zeit nach der Entstehung einer Lähmung große Probleme, das Bewegungsgefühl von früher, also vor der Läsion, hervorzurufen. Das Gefühl des momentanen, pathologischen Bewegungsmusters ist zu dominant. Die Bewegungsabläufe vor der Läsion wurden meist automatisch durchgeführt, jedoch können durch das Aktivieren von autobiographischen Erinnerungen Elemente explizit gemacht werden, die vorher implizit waren, genauso wie Kosslyn es beschreibt. Zum Beispiel kann durch eine persönliche Erinnerung das Gefühl der Kniestreckung beim Vorschwingen des Beines bewusst gemacht werden, was vorher völlig automatisiert und damit unbewusst erfolgte.

Hinsichtlich des zweiten Ziels der visuellen Imagination, also der Navigation und Objektverfolgung, meint Kosslyn, dass die Imagination eine Art von Antizipation hinsichtlich dem wäre, was passieren würde, wenn eine Person oder ein Objekt bewegt werden würde (vgl. ebd. 1987: 149). Diese Definition zielt schon sehr in Richtung motorischer Imagination, wo die Antizipation von dem, wie sich die Bewegung und der daraus resultierende Kontakt anfühlen wird, das entscheidende Element ist.

Schließlich spricht Kosslyn deutlich die funktionelle Bedeutung der Imagination an. Er meint, dass die (visuelle) Imagination generell im Dienste des Denkens und Lernen benutzt werden kann, indem die Imagination als Hilfe für das Gedächtnis dienen kann und damit implizites Wissen abrufbar wird, das dann auch mit anderen Repräsentationen assoziiert werden kann (vgl. ebd. 1987: 149). Wenn PatientInnen autobiographi-

sche Szenen aus dem Gedächtnis abrufen, ist häufig im ersten Moment nur die Emotion dieses Ereignissen für die PatientInnen spürbar. Zum Beispiel als es darum ging, den Bewegungsablauf beim Aufstehen zu verbessern, erinnerte sich eine Patientin an ihre standesamtliche Hochzeit und daran, wie sie und ihr Ehemann vom Standesbeamten aufgefordert worden sind, aufzustehen, um sich gegenseitig die Ringe anzustecken und den Moment mit einem Kuss zu krönen. Die wahrgenommene Freude bei der Erinnerung dieser Szene war der Patientin im Gesicht abzulesen. Im Vordergrund stand also zuerst die Emotion. Jedoch ist diese erste explizite Erinnerung assoziiert mit vielen anderen Repräsentationen, die in einem zweiten Schritt leicht bewusst gemacht werden können, indem man z. B. fragt: „Wie hat sich der Körper im Moment des Aufstehens angefühlt? War das Aufstehen langsam und schwerfällig oder schwungvoll und leicht?“

In einer weiteren Studie ein Jahr später hat Kosslyn jene Prozesse untersucht, die bei der Bildung einer visuellen Imagination durchlaufen werden (vgl. ebd. 1988: 1621). Obwohl es so erscheint, als ob das visuelle Bild bei der Imagination auf einmal als Ganzes auftaucht, konnte Kosslyn nachweisen, dass es zwei unterschiedliche Prozesse gibt, die zur Bildung einer visuellen Vorstellung führen – einerseits der Prozess, der gespeicherte Formen aktiviert, und andererseits der Prozess, der gespeicherte räumliche Relationen verwendet, um die Formen zu einem einheitlichen Bild zu gestalten. Laut Kosslyn kann das Gruppieren der Formen über zwei Prozesse erfolgen – einmal stärker über die linke Gehirnhälfte, wenn kategoriale Informationen verarbeitet werden müssen und einmal mehr über die rechte Gehirnhälfte, wenn Koordinateninformationen notwendig sind. (Vgl. ebd. 1988: 1626) Kosslyn konnte damit nachweisen, dass nicht allein die rechte Gehirnhälfte der Sitz der Imaginationsbildung ist, wie man lange glaubte, sondern dass die visuelle Imagination durch multiple Prozesse zustande kommt, die sowohl die linke wie die rechte Gehirnhälfte involvieren (vgl. ebd. 1988: 1626.). Diese Erkenntnisse, wie später noch näher erläutert wird, gelten auch für die motorische Imagination.

Schon 1985 haben Roland und Friberg durch Messung des regionalen zerebralen Blutflusses (englisch: rCBF) nachweisen können, dass unterschiedliche mentale Aktivitäten verschiedene kortikale Areale aktivieren (vgl. ebd. 1985: 1219). Eine rein akustische mentale Aufgabe führt zu einer rCBF-Steigerung im mittleren temporalen Kortex rechts, während die mentale visuelle Routensuchaufgabe visuelle Assoziationsareale und Bereiche im oberen Okzipital-, hinteren Temporal- und hinteren Parietalkortex aktiviert (vgl. ebd. 1985: 1219). Roland und Friberg haben damit als eine der ersten bewiesen, dass durch unterschiedliche mentale Aufgaben gezielt Gehirnareale aktiviert werden

können und waren damit Wegbereiter für das Imaginationstraining gerade im Bereich der neurologischen Rehabilitation.

Schon lange wurde vermutet, dass für das visuelle Erkennen zwei unterschiedliche Bahnen verantwortlich sind, die 1982 von Ungerleider und Mishkin sehr genau erforscht wurden (vgl. ebd. 1982: 549). Demnach gibt es eine ventrale oder okzipitotemporale Bahn, die auf Objektwahrnehmung spezialisiert ist. Innerhalb dieser Bahn wird also identifiziert, um welches Objekt es sich handelt, dementsprechend wird sie auch die „Was“-Bahn genannt. Die dorsale oder okzipitoparietale Bahn ist spezialisiert auf die räumliche Wahrnehmung. Dort wird analysiert, wo sich ein Gegenstand befindet, und daher wird sie auch die „Wo“-Bahn genannt (vgl. ebd. 1982: 549). 1985 haben Levine und KollegInnen in einem Fallbericht zwei Patienten beschrieben, die durch bilaterale Läsionen unterschiedliche visuelle Defizite hatten (vgl. Levine et al. 1985: 1010). Der eine Patient zeigte eine visuelle Desorientierung und auch in der visuellen Vorstellung hatte er Schwierigkeiten räumliche Relationen zu beschreiben. Der zweite Patient zeigte eine Prosopagnosie und eine Achromatopsie, also Gesichtsbblindheit und Farbenblindheit und auch dieser Patient hatte dieselben Schwierigkeiten bei der visuellen Imagination. Er hatte also Probleme aus dem Gedächtnis Objekte und im Speziellen Gesichter, Tiere und Farben zu beschreiben (vgl. ebd. 1985: 1010). Diese zwei Patienten hatten also Störungen in den zwei verschiedenen Sehbahnen, der erste im Bereich der „Wo“-Bahn und der zweite im Bereich der „Was“-Bahn. Interessant ist, dass sie dieselben Probleme bei der visuellen Imagination zeigten. Diese Entdeckung war äußerst interessant, denn eine wichtige Aufgabe der Imaginationsforschung war und ist es zu klären, was die Imagination überhaupt darstellt. Ist sie eine reine Begleiterscheinung oder hat sie etwas mit der zentralen Organisation zu tun? Man kann annehmen, dass, wenn das visuelle Erleben und die visuelle Vorstellung identisch sind, auch deren Organisation identisch sein müsste. Demnach könnte man durch mentales Training jene zentrale Organisation aktivieren, die auch bei der visuellen Wahrnehmung abläuft.

Schon 1978 haben Bisiach und Luzzatti eine Patientin und einen Patienten beschrieben, die die vorher genannte Hypothese unterstreichen. Die Patientin und der Patient hatten nach einem Insult eine linksseitige Hemiparese, starke Hemihypästhesien, Anosognosien und eben einen visuellen Neglect. Als die zwei Personen, die den Piazza del Duomo in Mailand sehr gut kannten, aufgefordert wurden, diesen zu beschreiben, haben beide den vom vorgegebenen Standpunkt aus rechten Teil beschrieben. Als sie aufgefordert wurden, den Platz von der gegenüberliegenden Seite aus zu beschreiben, haben sie wieder den von ihrer jetzigen Position aus rechten Teil beschrieben. (Vgl. ebd. 1978: 1289) Diese zwei sehr schönen Falldarstellungen zeigen, dass der gesamte

Platz nach wie vor im Gedächtnis gespeichert war, dass aber in der visuellen Imagination genauso wie beim realen Sehen die linke Seite ignoriert wurde. Der Neglect war also auch in der Imagination vorhanden, womit die vorher genannte Hypothese, dass bei der visuellen Imagination dieselben Mechanismen ablaufen wie beim realen Sehen, untermauert werden konnte.

Die Erkenntnisse der visuellen Imaginationsforschung führten in Folge zur genaueren Erforschung der motorischen Imagination, deren Ergebnisse im folgenden Kapitel erläutert werden.

3.1.2 Die motorische Imagination

Die gefundenen Parallelen zwischen visueller Wahrnehmung und visueller Imagination führten zu der Überlegung, ob es auch zwischen realer Bewegung und vorgestellter Bewegung Parallelen gibt, und zu der verlockenden Idee, dass die motorische Imagination der bewusst gemachte Teil der motorischen Bewegungsplanung sein könnte.

Ein erster Schritt, um diese Frage zu beantworten, bestand darin, zu definieren, was eine motorische Imagination ist. Was unterscheidet die motorische Imagination von der visuellen Imagination?

Decety war einer der ersten, der die motorische Imagination sehr treffend definiert hat:

„Motor imagery can be defined as a dynamic state during which a subject mentally simulates a given action. This type of phenomenal experience implies that the subject feels himself performing a given action. It corresponds to the so called internal imagery (or first perspective) of sport psychologists.” (ebd. 1996: 87)

Decety nennt hier die drei wichtigen Eigenschaften, die eine Imagination haben sollte, um zu einer motorischen Imagination zu werden: Es muss ein dynamischer Zustand sein, das vorgestellte Körpergefühl soll im Vordergrund stehen und alles soll in der Ersten-Person-Perspektive erlebt werden. Weil das Gefühl der Bewegung der große Unterschied zur visuellen Imagination darstellt, nennen einige Autoren die Vorstellung einer Bewegung „kinästhetische Imagination“ (KI). Guillot et al. beschreiben die Unterschiede zwischen „kinästhetischer“ und visueller Imagination (VI) sehr genau: sie verstehen unter kinästhetischer Imagination eine Imagination, die es erforderlich macht, dass man eine ‚Bewegung fühlt‘ und dass man dabei auch Muskelkontraktionen und Dehnungen spürt. Hingegen bei der VI sollte man während der Imagination entweder in Erster-Person-Perspektive seine Extremität sehen, die sich bewegt, als ob man auf dem Kopf eine Kamera hätte, oder in Dritter-Person-Perspektive wie eine Art Beobach-

ter sich oder eine andere Person sehen, die eine Bewegung ausführt (vgl. ebd. 2009: 2158). Stinear et al. wählen für die motorische und visuelle Imagination ganz ähnliche Definitionen, verwenden aber etwas irreführend für beide den Begriff „motor imagery“ und ergänzen diesen jeweils mit den Begriffen „kinästhetisch“ und „visuell“. Laut Stinear et al. beinhaltet die „kinästhetisch motorische Imagination“ (KMI) die Vorstellung des Gefühls, dass man eine Zielhandlung ausführt, während die „visuell motorische Imagination“ (VMI) die Vorstellung involviert, sich selbst zu sehen, wie man eine vorgegebene Handlung ausführt (vgl. ebd. 2006: 158). Der Begriff „motorisch“ bezieht sich in diesem Fall rein auf Bewegung, ob nun gesehen oder gefühlt. Auch Porro et al. klären zu Beginn ihrer Arbeit, dass es zwei Arten der mentalen Repräsentation der motorischen Handlung gibt: einerseits einen „internen“ oder Erste-Person-Perspektive-Prozess, bei welchem die Person sich selbst spürt, wie sie eine Handlung ausführt, und andererseits einen „externen“ oder Dritte-Person-Perspektive-Prozess, der eine visuelle Repräsentation der Handlung involviert. Die interne (oder kinästhetische) motorische Imagination wäre meist durch eine sehr lebhaftere mentale Repräsentation gekennzeichnet. (Vgl. Porro et al. 1996: 7688) Auch hier liegt im Grunde die Unterscheidung darin, ob man die Bewegung fühlt oder sieht.

Da innerhalb der Imaginationsforschung das Hauptinteresse meist darin besteht, zu klären, ob die mentale Repräsentation einer Bewegung der kortikalen Bewegungsplanung entspricht, hat sich größtenteils die Bezeichnung „motor imagery“ für eine Imagination durchgesetzt, bei der man in Erster-Person-Perspektive sich selbst fühlt, eine Handlung auszuführen, wie wenn man eine Handlung real durchführen würde.

Da nun geklärt war, was eine motorische Imagination ist, wurden in Folge viele Untersuchungen durchgeführt, die zeigen sollten, welche Parameter bei der realen Ausführung und bei der mentalen Ausführung einer Bewegung identisch sind.

❖ **Mentale Chronometrie**

Der zweite Schritt bei der Erforschung der motorischen Imagination bestand also darin, mit möglichst vielen Parametern die aktive und die mentale Bewegung zu vergleichen. Decety war einer der ersten, die sich intensiv mit der motorischen Imagination auseinandergesetzt haben. In einem seiner ersten Experimente 1989 wurde die mentale Chronometrie, also die zeitliche Übereinstimmung, zwischen aktiver und mentaler Bewegung überprüft (vgl. Decety/Michel 1989a: 87). ProbandInnen wurden aufgefordert, sowohl real als auch rein mental einen Satz zu schreiben bzw. einen Würfel zu zeichnen, sowohl mit der rechten wie mit der linken Hand (vgl. ebd. 1989a: 91). Die Resulta-

te zeigten, dass die Zeit für die Bewegung sowohl bei der realen wie bei der mentalen Ausführung fast exakt gleich und auch von Versuch zu Versuch sehr stabil war. Die Autoren schlussfolgern daraus, dass die zeitliche Organisation der mentalen Bewegung jener der aktiven Bewegung entspricht und sie vermuten daher, dass bei beiden Arten dasselbe Planungsprogramm aktiviert wird (vgl. ebd. 1989a: 87).

Decety startete mit KollegInnen einen weiteren Versuch, da die Kritik aufkam, die ProbandInnen hätten ein stilles Wissen über die Dauer einer Handlung bzw. hätten sich die Zeit bei der realen Ausführung gemerkt und dann „kopiert“ (vgl. Decety et al. 1989b: 35). Bei dieser Versuchsanordnung mussten die ProbandInnen zuerst mit verbundenen Augen eine vorher begutachtete Strecke von entweder 5, 10 oder 15 Metern gehen oder sich vorstellen diese unterschiedlichen Strecken zu gehen. Die Gehzeit verlängerte sich bei beiden Bedingungen mit zunehmender Distanz und wieder war die Gehzeit bei der realen und mentalen Ausführung nahezu identisch (vgl. ebd. 1989b: 37). Um zu beweisen, dass die Zeitdauer bei der mentalen Ausführung nicht nur „kopiert“ wurde, haben Decety und KollegInnen die Versuchsanordnung dahingehend verändert, dass die ProbandInnen entweder mental oder real bei den unterschiedlichen Gehstrecken ein 25kg schweres Gewicht auf den Schultern tragen mussten. Sie vermuteten, dass diese externe Nebenbedingung nur auf die reale Ausführung einen Effekt ausüben würde. Erstaunlicherweise blieb die Gehzeit bei der realen Ausführung trotz Gewicht gleich, während es zu einer signifikanten Steigerung bei der mentalen Ausführung kam (vgl. ebd. 1989b: 39). Decety et al. sahen dieses Ergebnis als Beweis dafür, dass die ProbandInnen bei der mentalen Ausführung nicht bloß jene Zeit kopierten, die sie bei der realen Ausführung erfuhren, sondern dass es bei der mentalen Durchführung jeweils zu einer eigenen Bewegungsprogrammierung gekommen ist, und dass bei dieser Programmierung das zu erwartende Gewicht weniger als zusätzlicher Kraftaufwand kodiert wurde, sondern mehr als Verlängerung der Handlungsdauer (vgl. ebd. 1989b: 41). Decety führte schließlich eine dritte Versuchsreihe durch, um zu testen, ob das Fitts'sche Gesetz bzw. ein „speed-accuracy-trade-off“ auch bei einer mentalen Bewegung gilt, ob also auch in der Imagination mehr Zeit benötigt wird, wenn das Ziel weiter weg und/oder das Zielobjekt kleiner ist. Die TeilnehmerInnen mussten abwechselnd entweder real oder mental über verschiedene Balken gehen, die jeweils dieselben Längen hatten, aber unterschiedlich breit waren. Die Balkendicke wurde demnach als Schwierigkeitsfaktor angesehen, je dünner der Balken, desto schwieriger die Aufgabe. Und tatsächlich benötigten die ProbandInnen für die Gehstrecke über die dünneren Balken länger, und zwar sowohl bei der realen wie bei der mentalen Ausführung. (Vgl. ebd. 1996: 89)

Diese Erkenntnisse von Decety et al. haben große funktionelle Bedeutung sowohl für die Anwendung der motorischen Imagination, als auch für die Anwendung der autobiographischen Erinnerung. Die Zeitdauer der Imagination bzw. der Erinnerung ist ein Kriterium, um von außen beurteilen zu können, ob der Patient bzw. die Patientin gerade eine Imagination oder auch eine autobiographische Erinnerung reaktiviert oder nicht. Dauert dies sehr kurz, also kürzer als die reale Ausführung der Handlung, kann man davon ausgehen, dass die Person keine korrekte Imagination bzw. Erinnerung aktiviert hat.

❖ **Antwort des vegetativen Nervensystems**

Weitere sehr interessante Parameter, um reale Bewegung und vorgestellte Bewegung miteinander zu vergleichen, sind Veränderungen des autonomen Nervensystems, da diese Parameter nicht direkt oder kaum willentlich beeinflussbar sind. Decety und KollegInnen haben 1991 die Herz- und Atemtätigkeit von ProbandInnen gemessen, während sie auf einem Laufband mit unterschiedlicher Geschwindigkeit gegangen sind bzw. auf einem Laufband stehend und die Geräusche des Laufbandes hörend sich das Gehen vorgestellt haben (vgl. ebd. 1991: 1). Die Herztätigkeit wurde über eine digitale Elektrokardiographie gemessen, während mittels einer Atemmaske die respiratorischen Parameter, Lungenventilation (in Liter pro Minute) und Sauerstoffverbrauch (in Liter pro Minute), gemessen wurden (vgl. ebd. 1991: 2). Decety et al. stellten fest, dass sowohl die Herzfrequenz als auch die Lungenventilation während der mentalen Imagination des Gehens angestiegen sind, und zwar proportional zur vorgestellten Gehgeschwindigkeit. Dass dieser Effekt nicht durch mögliche unentdeckte muskuläre Kokontraktionen und damit durch periphere metabolische Erfordernisse begründet sein kann, zeigt die Tatsache, dass zwar die Lungenventilation hoch signifikant angestiegen ist, dass aber der Sauerstoffverbrauch gleich geblieben und die Sauerstoffaufnahme sogar gesunken ist. Decety et al. meinen daher, dass die Veränderungen der vegetativen Aktivität zum großen Teil zentralen Ursprungs sein müssten. Zentrale Programmierungsstrukturen würden also den Bedarf für die energetische Mobilisierung, die durch die geplante Bewegung notwendig wird, antizipieren und daher würde es zu diesen vegetativen Veränderungen kommen (vgl. ebd. 1991: 4).

Um zu testen, ob nicht doch periphere Faktoren für die Effekte auf Herz und Atmung während der mentalen Simulation verantwortlich sein könnten, haben Decety und KollegInnen zwei Jahre später einen ähnlichen Versuch durchgeführt, bei dem die ProbandInnen mit dem rechten Bein gegen ein Gewicht von 15 bzw. 19 kg drücken und wieder loslassen mussten, einerseits real und dann rein mental (vgl. ebd. 1993: 549).

Neben Puls und Atmung wurde diesmal auch eine NMR-Spektroskopie (Nuclear-magnetic-resonance Spektroskopie) durchgeführt, um den muskulären Stoffwechsel, also mögliche unbewusste Muskelaktivitäten, aufzudecken. Während der mentalen Durchführung kam es zu keiner Veränderung der NMR-Parameter und demnach auch zu keiner Muskelaktivität (vgl. ebd. 1993: 558). Jedoch konnte wieder eine Pulssteigerung festgestellt werden, die zwar 25% geringer als die Pulssteigerung bei der realen Durchführung war, aber dennoch sofort bei Beginn der motorischen Imagination einsetzte und proportional zum gedachten Gewicht war. Über eine thermosensitive Vorrichtung am Nasenloch wurde die Dauer der Ausatmung gemessen und daraus auf die Atemfrequenz rückgeschlossen. Decety et al. konnten belegen, dass sich die Atemfrequenz bei der mentalen Durchführung sogar stärker steigerte als bei der realen Ausführung (vgl. ebd. 1993: 555). Sie schlussfolgern daraus, dass diese Effekte eben nicht durch Veränderungen des muskulären Metabolismus zustande kamen, sondern durch die Aktivierung eines Bewegungsprogramms. Die mentale Simulation würde also dieselben Mechanismen wie die bei einer realen Bewegung involvieren, nur würden bei der motorischen Imagination die ausführenden Mechanismen abgeblockt werden (vgl. ebd. 1993: 561).

Diese Erkenntnisse sind sehr hilfreich bei der Anwendung der motorischen Imagination in der Rehabilitation, aber auch bei der Anwendung der autobiographischen Erinnerung für den motorischen Lernprozess. Wie Decety et al. nachweisen konnten, steigert sich die Atmung bei einer rein mentalen Ausführung einer Bewegung oft mehr als bei der realen Ausführung (vgl. ebd. 1993: 555). Das ist häufig auch bei PatientInnen sehr gut von außen zu sehen. Wenn sie aufgefordert werden, sich eine Bewegung in gefühlter Erster-Person-Perspektive vorzustellen, sieht man oft, dass die PatientInnen verstärkt zu atmen beginnen bzw. tiefer atmen. Das ist ein sehr hilfreiches äußeres Merkmal, um zu erkennen, ob die Person nun wirklich eine motorische Imagination aktiviert oder nicht. Decety und KollegInnen erklären zudem, dass die Lebendigkeit der Imagination das Ausmaß und die Art der vegetativen Aktivität bestimmt (vgl. ebd. 1991: 4). Da autobiographische Erinnerungen per se, weil sie eben autobiographisch sind, immer eine starke Lebendigkeit haben, sind die efferenten Auswirkungen, wie Puls- und Atemsteigerung, oft noch deutlicher als bei motorischen Imaginationen ohne persönlichen Bezug. Zusätzlich sind autobiographische Erinnerungen neben Veränderungen des autonomen Nervensystems aus Erfahrung oft noch begleitet von Mimik-Veränderungen, die zusammen einen wichtigen Faktor ergeben, um als TherapeutIn feststellen zu können, ob die zu behandelnde Person wirklich gerade eine autobiographische Erinnerung erlebt. Zu beachten ist natürlich, dass die Therapeutin bzw. der Therapeut der zu behan-

delnden Person hilft, eine positive, angenehme Erinnerung wie z.B. die Erinnerung an einen Strandurlaub zu finden, denn angstvolle, negative Erinnerungen lösen auch starke vegetative Veränderungen aus, die aber verständlicherweise nicht erwünscht sind.

❖ **Veränderung des regionalen zerebralen Blutflusses**

Die Ausgangshypothese, dass die motorische Imagination dieselben neuronalen Mechanismen benutzt, die für die Vorbereitung und Programmierung einer realen Bewegung verantwortlich sind, wurde also von der mentalen Chronometrie und den Antworten des vegetativen Systems unterstützt. Das Ziel war es nun, eine weitere Bestätigung dieser Hypothese mit Hilfe von funktionellen Kartierungen des regionalen zerebralen Blutflusses (rCBF) zu bekommen, da dies als Index für neuronale Aktivität angesehen wird. Die Frage war also: Aktivieren sich bei vorgestellter und ausgeführter Bewegung die gleichen oder ähnliche zerebrale Regionen oder nicht?

Ingvar und Philipson sprachen noch nicht von motorischer Imagination, sondern von „motor ideation“. Sie haben 1977 zum ersten Mal den rCBF an Personen gemessen, die aufgefordert wurden, sich entweder rhythmische Faustschlussbewegungen vorzustellen oder diese auszuführen. Bei der mentalen Simulation der Bewegung entdeckten sie eine signifikante Veränderung des Blutflusses, vor allem in den prämotorischen und frontalen Regionen. Bei der realen Ausführung der Bewegung kam es vor allem zu einer Blutflusssteigerung im primär motorischen Kortex (M1). Ingvar und Philipson fanden also nur geringe Übereinstimmung zwischen den neuronalen Netzwerken der gedachten und der ausgeführten Handlung. (Vgl. ebd. 1977: 230)

1980 haben Roland und KollegInnen ebenfalls den rCBF an 28 Personen gemessen, einmal bei der „Planung“ von gelernten, schnellen Fingerbewegungen und einmal bei der willentlichen Ausführung dieser. Sie fanden bei der rein mentalen Ausführung der Bewegungssequenz eine signifikante und lokalisierte rCBF-Veränderung hauptsächlich im supplementär motorischen Areal (SMA). Bei der aktiven Ausführung der Bewegungssequenz fanden sie neben der Aktivierung im SMA auch noch eine rCBF-Steigerung im primär motorischen Kortex. Die Autoren schließen daraus, dass das SMA eine wichtige Rolle bei der internen Programmierung und Simulation von komplexen Bewegungssequenzen spielt, und dass die Ausführung dann über das primär motorische Areal läuft. (Vgl. Roland et al. 1980: 118)

1988 haben Decety und KollegInnen ProbandInnen bei der Durchführung oder Vorstellung von graphischen Bewegungen (das Schreiben von „eins“, „zwei“, „drei“ etc.) un-

tersucht, indem der rCBF durch 133 Xenon-Inhalationstechnik und einer Gamma Kamera gemessen wurde. Während der Imagination wurden die ProbandInnen aufgefordert, sich die Bewegung in der Ersten-Person-Perspektive vorzustellen und zu versuchen, ihre schreibende Hand zu fühlen. Während der motorischen Imagination wurden signifikante bilaterale Aktivierungen im präfrontalen Kortex, im supplementär-motorischen Areal und im Kleinhirn entdeckt. Bei der realen Ausführung der Bewegung wurden dieselben Regionen aktiviert, jedoch mit der zusätzlichen Aktivierung in den Rolandischen Arealen, also im primär motorischen Kortex und im primär sensorischen Kortex. (Vgl. Decety et al. 1988: 33)

Es folgte eine Reihe von Studien zu diesem Thema. Das Ergebnis dieser ersten Forschungsphase bezüglich motorischer Imagination (MI) lautete, dass bei der MI verschiedene bewegungsrelevante Regionen, wie das supplementär motorische Areal, lateral frontale (prämotorische) Areale und das Kleinhirn aktiviert werden, aber es gab keine Belege für eine Aktivität im primär motorischen und sensorischen Kortex (vgl. Porro et al. 1996: 7688). Mögliche Gründe für das Nicht-Auffinden einer Aktivität im primär motorischen und sensorischen Kortex bei verschiedensten Studien werden weiter unten diskutiert. Das Ziel der Studie von Porro und KollegInnen war es daher, mit einer höheren Auflösung des fMRI mögliche Aktivitäten in den perirolandischen Arealen während der mentalen Repräsentation von sequentiellen Fingerbewegungen aufzuspüren. 14 Rechtshänder wurden untersucht, die neben einer visuellen Imaginationsaufgabe als Kontrollbedingung eine Bewegungsaufgabe und eine motorische Imaginationsaufgabe absolvieren mussten. Bei der aktiven Bewegungsaufgabe mussten sie Finger-zu-Daumen-Oppositionsbewegungen in der Reihenfolge 2-3-4-5-2-3-4-5 mit der rechten Hand durchführen und dabei jeweils einen Kontakt mittleren Drucks zwischen den jeweiligen Fingern herstellen. Bei der motorischen Imagination sollten sie sich dieselben Bewegungen vorstellen, wobei sie aufgefordert wurden, dabei die Empfindungen zu fühlen, die mit diesen Bewegungen verbunden sind. (Vgl. ebd. 1996: 7689) Die Resultate dieser Studie zeigen, dass bei der motorischen Imagination sowohl die vorderen wie die hinteren Bereiche des präzentralen Gyrus wie auch der postzentrale Gyrus aktiviert wurden, wenn auch geringer als bei der aktiven Ausführung der Bewegung (vgl. ebd. 1996: 7693). Das heißt, sowohl die Bereiche, die zum primär motorischen Kortex als auch jene die zum prämotorischen Kortex gezählt werden, wurden durch die motorische Imagination aktiviert. Beim Großteil der ProbandInnen kam es auch zu einer Aktivierung im postzentralen Gyrus, also im primär sensorischen Kortex. Wahrscheinlich auch deshalb, weil die ProbandInnen aufgefordert wurden, sich in der Imagination besonders das Gefühl der Finger- und damit Gelenksbe-

wegungen vorzustellen, aber auch das Gefühl der Berührung. Damit kam es zur Vorstellung von taktil-kinästhetischen Informationen und damit auch zur Aktivierung im primär sensorischen Kortex. Zusammenfassend meinte Porro et al., dass der primär motorische Kortex bei der mentalen Repräsentation einer Handlung eine Rolle zu spielen scheint und dass die bewusste Vorstellung einer Bewegung zu Aktivitätsveränderungen in den perirolandischen kortikalen Arealen führt. (Vgl. Porro et al. 1996: 7696) Das Ergebnis von Porro et al. unterstützt also die Hypothese, dass die motorische Imagination und die motorische Ausführung überlappende neuronale Netzwerke benutzen. Die genauere Analyse der kortikalen Aktivierung bei einer motorischen Imagination wird in Kapitel 3.2 erörtert und im Unterkapitel 3.2.2 wird die bis heute kontrovers diskutierte Beteiligung des primär motorischen Kortex bei der MI erläutert.

❖ **Muskelkräftigung durch motorische Imagination**

Yue und Cole haben schon 1992 eine aufsehenerregende Studie hinsichtlich der möglichen Kraftsteigerung durch rein mentale Muskelkontraktion durchgeführt. Es war schon länger bekannt, dass bei einem normalen Krafttraining eine Kraftsteigerung in der ersten Phase zu beobachten ist, obwohl noch keine muskuläre Hypertrophie vorhanden ist. Die Autoren wollten herausfinden, ob die Ursache für diese Kraftsteigerung gänzlich peripher, also in der besseren Kontrahierbarkeit des Muskels liegt, oder in der besseren Aktivierbarkeit der spinalen Motoneuronen bzw. der absteigenden Bahnen oder ob diese Kraftsteigerung doch von Veränderungen der zentralen Programmierung ausgeht. (Vgl. ebd. 1992: 1114) Um diese Frage zu beantworten, wurden drei Gruppen a 10 ProbandInnen verglichen. Die Kontraktionsgruppe führte vier Wochen lang fünf Sitzungen pro Woche eine maximale isometrische Abduktion des kleinen Fingers durch. Die Imaginationsgruppe führte die isometrische Kontraktion nur mental aus. Dass diese ProbandInnen keine realen Kontraktionen durchführten, wurde durch EMG-Aufzeichnungen kontrolliert. Die Kontrollgruppe wurde nur aufgefordert jedes physische oder mentale Training der Hypothenarmuskulatur in dieser Zeit zu vermeiden. (Vgl. ebd. 1992: 1115f.) Erstaunlicherweise erreichte sowohl die Kontraktionsgruppe einen Kraftgewinn von 29,7% und als auch die Imaginationsgruppe einen Kraftgewinn von 22%, womit eine ähnliche signifikante Kraftsteigerung festgestellt werden konnte. Die Kontrollgruppe zeigte keinen signifikanten Kraftgewinn (3,7%). Selbst die nicht trainierte rechte Hand zeigte bei der Abduktion des kleinen Fingers eine Kraftsteigerung, und zwar sowohl bei der Kontraktionsgruppe (14%) als auch bei der Imaginationsgruppe (10%). Yue und Cole schließen daraus, dass diese Veränderungen sehr unwahr-

scheinlich auf Veränderungen des exekutiven Systems zurückzuführen sind. Vielmehr wäre diese mit der Kontraktionsgruppe vergleichbare Kraftsteigerung durch Veränderungen der zentralen motorischen Programmierung bzw. Planung erklärbar, was auch den Transfer des Effektes auf die kontrolaterale Hand begründen würde. (Vgl. ebd. 1992: 1117ff.) Dieser Crossing-Effekt ist schon länger bekannt. Dabei „profitiert“ die nicht trainierte Extremitäten-Seite vom aktiven und, wie nun bewiesen, auch vom mentalen Training auf der anderen Seite, indem durch zentrale Anpassungen motorische Programmierungen auf beiden Seiten modifiziert werden. Die Autoren haben also bewiesen, dass eine an der Peripherie messbare Veränderung der Muskelfunktion durch rein mentales Training möglich ist.

2004 haben Ranganathan und KollegInnen eine ähnliche Studie mit dem passenden Namen „From mental power to muscle power“ durchgeführt, bei der nicht nur eine mögliche Muskelkräftigung durch mentales Training überprüft wurde, sondern auch mögliche kortikale Impulse, die zu dieser Kraftsteigerung führen könnten (vgl. ebd. 2004: 944). Jeweils acht Personen haben 12 Wochen lang fünf Mal pro Woche für 15 Minuten ein mentales Training absolviert, die erste Gruppe eine mentale Abduktion des kleinen Fingers und die zweite Gruppe eine mentale Ellbogenbeugung. Die dritte Gruppe war die Kontrollgruppe, die keine Aufgabe zu erfüllen hatte. Die Autoren wollten herausfinden, ob der mentale Trainingseffekt, den Yue und Cole schon bei der Hypothenarmuskulatur zeigen konnten, auch für größere Muskeln gilt, da distale und proximale Muskeln sich in der Größe der kortikalen Repräsentation, im Ausmaß der monosynaptischen kortikalen Projektionen und in der Größe der Motoneuron-Einheiten unterscheiden. Ein Oberflächen-EMG zeigte bei allen Trainingseinheiten, dass während des mentalen Trainings keine aktive Muskelkontraktion durchgeführt wurde. Wieder kam es bei beiden mentalen Trainingsgruppen zu einer signifikanten Kraftsteigerung. Die Abduktionskraft des kleinen Fingers steigerte sich nahezu linear und erzielte nach Ende des mentalen Trainings eine Steigerung von 35% und erreichte eine maximale Steigerung von 40% vier Wochen nach Beendigung des mentalen Trainings. Die Ellbogenflexionskraft zeigte eine maximale Verbesserung von 13,5%. Die Kontrollgruppe zeigte keinerlei signifikanten Veränderungen, weder bei der Fingerabduktion noch bei der Ellbogenflexion. Der geringere Kraftgewinn bei der Ellbogenflexion im Vergleich zur Fingerabduktion durch das mentale Training wurde damit erklärt, dass diese Muskelgruppe durch den üblichen häufigen Gebrauch im Alltag schon „hoch trainiert“ ist und dass dadurch ein geringeres Verbesserungspotential als bei der Fingerabduktion gegeben ist. (Vgl. Ranganathan et al. 2004: 948f.) Zusätzlich wurden vier Mal (vor dem Training, 6 Wochen nach Beginn, am Ende des Trainings und 12 Wo-

chen nach dem Trainingsende) EEG-Daten entnommen, um kortikale Signale, die zur maximalen Kontraktion der zwei untersuchten Muskelbereiche führen könnten, zu quantifizieren. EEG-Elektroden wurden auf der Kopfhaut im Bereich der SMA, der kontralateralen und ipsilateralen sensomotorischen Regionen und im Bereich des präfrontalen Kortex angebracht. Bei den vier EEG-Untersuchungen mussten die ProbandInnen 30 Mal eine Fingerabduktion bzw. Ellbogenflexion mit maximaler Kraft durchführen, um motorisch evozierte kortikale Potentiale zu erhalten. Die Ergebnisse zeigten, dass es bei beiden mentalen Trainingsgruppen zu einer signifikanten Steigerung der motorisch evozierten kortikalen Potentiale gekommen ist. Da die jeweiligen erhaltenen kortikalen Potentiale zeitgleich zu den einzelnen maximalen Muskelkontraktionen waren, wurde dies als direkter Bezug zur Planung und Ausführung der Muskelkontraktionen gesehen. Die ansteigende Amplitude der motorisch evozierten kortikalen Potentiale nach einem mentalen Training kann, laut Ranganathan et al., dementsprechend als direkter Hinweis auf eine Verstärkung des absteigenden Impulses zum Zielmuskel gesehen werden. Die Kontrollgruppe hingegen zeigte keinerlei Veränderungen. (Vgl. ebd. 2004: 947f.) Zusammenfassend meinen Ranganathan et al., dass es unklar ist, welche Form der neuronalen Adaptation stattgefunden hat und auf welcher Höhe des ZNS. Sie halten es jedoch für unwahrscheinlich, dass diese neuronalen Anpassungen in subkortikalen Zentren erfolgt sind, da kein Signal hinunter bis zur Muskelebene gelangt ist, wie die EMG Aufzeichnungen gezeigt haben. Sie gehen also davon aus, dass die mentale Übung höher geordnete motorische kortikale Regionen anregte. Folglich könnten diese kortikalen Zentren stärkere Signale zum primär motorischen Kortex und dem Motoneuronen-Pool erzeugen. Die wahrscheinlichsten kortikalen Areale, die bei der mentalen Kontraktion angeregt wurden, sind laut Ranganathan et al. supplementär motorische Areale und präfrontale Areale. (Vgl. ebd. 2004: 953) Die Ergebnisse ihrer Studie zeigen auch, dass diese neuronalen Adaptationen einen langanhaltenden bzw. beständigen Effekt haben, denn das Kraftausmaß kehrte nach Beendigung des mentalen Trainings nicht auf den Ausgangslevel zurück, sondern war z.B. für die Fingerabduktion selbst 18 Wochen nach Trainingsende noch signifikant höher als die Basislinie. Ranganathan et al. betonen zudem, dass in ihrer Studie sogenannte „interne“ Imaginationen hervorgerufen wurden, die signifikant stärkere physiologische Effekte wie Blutdruckveränderungen, Puls- und Atemsteigerung erzeugen als „externe“ Imaginationen, bei welchen nur das visuelle Bild einer motorischen Handlung vorgestellt wird. Dieser Unterschied hat große Bedeutung, denn Ranganathan und KollegInnen konnten in einer eigenen Studie zeigen, dass ein mentales Training mit „externer“ Imagination zu keiner Kraftsteigerung führte. (Vgl. ebd. 2004: 954)

Interne, in erster Person vorgestellte maximale Muskelkontraktionen führen also zu einer Optimierung der zentralen motorischen Programmierung. Diese Optimierung ist als beständiger Effekt anzusehen und hat damit eine anhaltende Wirkung auf das periphere System. Der Ursprung der in der Peripherie messbaren Veränderung liegt also in der zentralen Veränderung, die aber nur dann erreicht wird, wenn die Person lebhaft, gefühlte Bewegungsvorstellungen kreiert.

Autobiographische Erinnerungen könnten diesbezüglich Vorteile zu herkömmlichen Bewegungsvorstellungen ohne persönlichen Bezug haben, denn wie schon in Kapitel 2 erläutert kennzeichnen sich autobiographische Erinnerungen gerade durch ein hohe „vividness“ aus. Wenn man die Meinung gelten lässt, je lebendiger die Vorstellung, desto stärker die Beeinflussung der zentralen Programmierung, so bekommt die autobiographische Erinnerung auch durch die emotionale Verstärkung eine hohen Wirkungsgrad. In der Rehabilitation spielt, anders als in der Sportphysiotherapie, die maximale Muskelkraft selten eine Rolle. In diesem Bereich geht es mehr darum, sehr geschwächte Muskeln besser aktivierbar zu machen bzw. plegische Muskelbereiche überhaupt wieder aktivierbar zu machen, um eine Handlung zu erlauben. Gerade im neurologischen Bereich ist die Rekrutierbarkeit verschiedener Muskelbereiche oft sehr unterschiedlich. Zum Beispiel bei einer durch hämorrhagischen oder ischämischen Infarkt verursachten Hemiparese gibt es häufig einen großen zeitlichen Unterschied hinsichtlich der Rekrutierbarkeit bestimmter Muskelgruppen – die Fingerextensoren zeigen im Unterschied zu den Fingerflexoren sehr lange ein starkes Rekrutierungsdefizit, manchmal besteht dieses ein Leben lang. Auch im proximalen Bereich gibt es zwischen Schultergelenksaußenrotatoren und Innenrotatoren dieses Ungleichgewicht bei der Aktivierbarkeit der Muskulatur. Dadurch dass, der M. subscapularis sehr schnell willkürlich aktivierbar ist und häufig auch einen erhöhten Eigenreflex zeigt, die Gegenspieler (M. Supraspinatus, M. Infraspinatus, MM. Rhomboidei und M. Teres major und minor) aber oft sehr lange plegisch bzw. paretisch sind, kommt es häufig zu Verschiebungen bis hin zu Subluxationen des Humeruskopfes nach vorne mit den daraus resultierenden möglichen Folgeschäden. Die mentale Muskelkontraktion könnte gerade in der vollplegischen Phase der Hemiplegie eine Möglichkeit sein, um die funktionellen motorischen Netzwerke der Muskelrepräsentationen soweit zu beeinflussen, dass die genannten Muskelbereiche schneller zumindest minimal aktivierbar werden. Nach einer ersten Lernphase könnten die PatientInnen dann das mentale Training selbstständig durchführen. Mit Bewegungsvorstellungen, die eingebunden sind in einen persönlichen Kontext, dürfte dieses mentale Training um einiges leichter fallen und würde dadurch wahrscheinlich konsequenter durchgeführt werden.

❖ **Veränderungen auf kortikaler Ebene**

1995 führten Pascual-Leone et al. eine vielbeachtete Studie durch, mit dem Ziel die unterschiedlichen Effekte von mentalem und physischem Training beim Erlernen einer neuen feinmotorischen Fähigkeit zu untersuchen. Zudem wollten sie die möglichen Veränderungen jener kortikalen motorischen Areale erkunden, die zu den notwendigen Muskeln projizieren (vgl. ebd. 1995: 1037). Verglichen wurde eine Gruppe von ProbandInnen, die 5 Tage lang, 2 Stunden täglich am Klavier eine Fünf-Finger-Tastenabfolge übte, mit einer rein mental übenden Gruppe und einer Kontrollgruppe, die keine motorische Aufgabe absolvieren musste. Durch EMG-Aufzeichnungen im Bereich der Fingerflexoren und –extensoren konnte überprüft und nachgewiesen werden, dass die mental übende Gruppe tatsächlich keine Fingerbewegungen beim mentalen Training durchführte. Bei allen drei Gruppen wurde der Lerneffekt täglich überprüft, indem die ProbandInnen einmal eine 20-fache Wiederholung der Tastenabfolge am Computer durchführten, was eine Kontrolle der Bewegungsgenauigkeit ermöglichte. Die Kontrollgruppe zeigte keine signifikante Verbesserung der Fünf-Finger-Übung, während die mentale Gruppe eine kontinuierliche signifikante Verbesserung der motorischen Leistung hervorgebracht hat, obwohl die Leistungssteigerung geringer war als bei der praktisch übenden Gruppe. Am 5. Tag zeigte die mentale Gruppe die Leistungsfähigkeit, die die physisch übende Gruppe am 3. Tag hervorbrachte. Jedoch mit nur einer zusätzlichen Trainingseinheit von 2 Stunden am 5. Tag hatte die mentale Gruppe die gleiche Leistungsfähigkeit erreicht wie die physisch übende Gruppe nach fünf Tagen Training. Durch TMS (transcranial magnetic stimulation) wurde zusätzlich täglich bei allen drei Gruppen sowohl die, über die Kopfhaut gemessene, Aktivierungsreizschwelle für die Fingerextensoren und Fingerflexoren überprüft, als auch das Ausmaß der kortikalen Repräsentation der zwei Muskelbereiche. (Vgl. ebd. 1995: 1038) Parallel zur Verbesserung bei der Ausführung sank bei der mentalen Gruppe die Aktivierungsreizschwelle für die Fingerflexoren und Fingerextensoren innerhalb der fünf Tage kontinuierlich, und zwar im selben Ausmaß wie bei der physischen Gruppe. Gleichzeitig hat die Größe der kortikalen Repräsentation für beide Muskelgruppen zugenommen, bei der mentalen Gruppe in gleicher Weise wie bei der physischen Gruppe, während die Kontrollgruppe keine Veränderung zeigte. Mentales Üben in Kombination mit nur einer physischen Übungseinheit hat also zu denselben plastischen Veränderungen im kortikalen motorischen System geführt wie das wiederholte physische Üben. (Vgl. Pascual-Leone et al. 1995: 1041) Pascual-Leone et al. mutmaßen, dass diese nach nur fünf Tagen erfolgte rasche kortikale Veränderung durch eine Demaskierung von bestehenden neuronalen Verbindungen zustande gekommen sein könnte, entweder durch die

Verminderung der Inhibition oder durch eine gesteigerte synaptische Effizienz. Zusammenfassend meinen Pascual-Leone et al., dass die Kombination aus mentalem und physischem Training zu einer größeren Leistungssteigerung führt als physisches Training alleine. Sie betonen auch, dass das mentale Vorstellen von Bewegung die Effekte des physischen Trainings hinsichtlich der Anpassungen im zentralen motorischen System nachbildet und dass die Imagination daher ein wichtiger Zusatz nicht nur für das Erlernen von neuen motorischen Fähigkeiten sein könnte, sondern auch für die Erhaltung von motorischen Fertigkeiten bei temporär immobilisierten PatientInnen oder in der Rehabilitation bei PatientInnen mit neurologischen Störungen. (Vgl. ebd. 1995: 1042f.)

❖ **Bedeutung der motorischen Imagination**

Alle Ergebnisse dieser ersten Forschungsphase bezüglich der motorischen Imagination führten auch zu der Frage, welche Funktion die motorische Imagination haben könnte.

1996 untersuchte Berthoz die neuronalen Mechanismen von vorgestellten versus ausgeführten Augen-Sakkadenbewegungen und fand heraus, dass das Gehirn dieselben Mechanismen für die Imagination wie für die Ausführung einer Bewegung benutzen kann (vgl. ebd. 1996: 101). Seine Untersuchungen mit Hilfe von PET (Positronen-Emissions-Tomographie)-Aufzeichnungen haben zusätzlich gezeigt, dass bei der vorgestellten wie bei der aktiven Bewegung dieselben Strukturen aktiviert wurden. Ausgehend von diesen Erkenntnissen geht Berthoz der Frage nach, welche Funktion die Imagination haben könnte. Er meint diesbezüglich: „We have also proposed the idea that the brain is not a machine which responds to external stimuli but a machine which formulates hypothesis based upon internally generated simulations of movements and of the corresponding expected states of the sensory receptors.“ (ebd. 1996: 102) Seiner Meinung nach ist also die motorische Imagination eine Antizipation, die das Gehirn von den zukünftigen Konsequenzen einer jeden Handlung kreiert. Dementsprechend wäre es nicht verwunderlich, wenn dieselben neuronalen Netzwerke bei der vorgestellten wie bei der ausgeführten Bewegung involviert werden (vgl. ebd. 1996: 110). Diese Hypothese entspricht vollkommen den Ideen des Neurologen Perfetti, der als der Begründer der Neurokognitiven Rehabilitation gilt (vgl. ebd. 2007: 15; 2008: 86). Lange bevor die motorische Imagination Thema der Scientific Community war, sprach Perfetti schon von der perzeptiven Hypothese. Bei der Erklärung einer neurokognitiven Übung beschreibt er die Rolle des Patienten bzw. der Patientin folgendermaßen: „Die Aufgabe des Patienten besteht nun darin, ausgehend von der visuellen Analyse eine Vorhersa-

ge darüber zu machen, was er taktil-kinästhetisch zu spüren bekommen wird, d.h. sich vorzustellen, wie sich das Gesehene anfühlen wird.“ (Perfetti 2007: 28). Mit der Erforschung der motorischen Imagination wurde die Gemeinsamkeit von perzeptiver Hypothese und motorischer Imagination offensichtlich (vgl. ebd. 2007: 35). Berthoz meint diesbezüglich, dass die motorische Imagination nicht ein spezieller Prozess wäre, sondern nur die Manifestation einer normalen internen Simulation, welche die Planung und Ausführung von Bewegungen begleitet (vgl. ebd. 1996: 110). Seiner Meinung nach gibt es keine einfache Dichotomie zwischen vorgestellter und ausgeführter Handlung, sondern eine hierarchische Organisation, die die Inhibition als Hauptmechanismus benutzt, um die Ansteuerung für die Bewegungsausführung auf verschiedenen Ebenen ihrer Organisation hemmen zu können (vgl. ebd. 1996: 110). Die Imagination wäre also die nicht zugelassene aktive Bewegung, und dementsprechend wären die Mechanismen für die vorgestellte Bewegung und die der zugelassenen und damit ausgeführten Bewegung identisch.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass zahlreiche Forschungsarbeiten gezeigt haben, dass es eine weitgehende zeitliche Übereinstimmung zwischen aktiver und vorgestellter Bewegung gibt, dass die mentale Ausführung einer Bewegung zu vegetativen Veränderungen, zu Veränderungen der regionalen zerebralen Durchblutung, zur Muskelkräftigung und auch zu plastischen kortikalen Veränderungen führen kann. Eine menschliche Fähigkeit, die so eine Durchschlagskraft hat, muss demnach eine funktionelle Bedeutung haben. Dies wird in Kapitel 3.2.5 diskutiert.

Ausgehend von verschiedensten Studien wird nun im folgenden Kapitel, wie schon für die autobiographische Erinnerung das neuronale Netzwerk der motorischen Imagination erläutert.

3.2 Das neuronale Netzwerk bei motorischer Imagination

Um eine gewichtige Aussage darüber machen zu können, welche Gebiete des zentralen Nervensystems bei einer motorischen Imagination aktiviert werden, wurde wieder wie schon bei der Analyse der autobiographischen Erinnerung eine Meta-Analyse-Studie herangezogen, da dabei die Erkenntnisse von vielen Studien zusammengetragen und verglichen werden und die daraus gewonnenen Erkenntnisse so zu sagen die Quintessenz aller verwendeten Studien sind. Je mehr Studien mit hoher Qualität dabei verglichen werden, desto höher ist die Aussagekraft der Meta-Analyse-Studie.

Hétu und KollegInnen haben 2013 eine solche Studie durchgeführt, bei der sie 75 wissenschaftliche Arbeiten zum Thema motorische Imagination verglichen haben (vgl. Hétu et al. 2013: 930). Das Ziel ihrer Arbeit war eine Karte jener Regionen zu erstellen, die bei jeder motorischen Imagination involviert sind. Ein zweiter wichtiger Schwerpunkt ihrer Arbeit war, die modulierenden Effekte verschiedener methodologischer Variablen (z.B. Modalität der Imagination, Art der motorischen Aufgabe) zu beurteilen. Hétu et al. geben zu bedenken, dass nur wenige Studien alle Variablen beachtet haben und dass noch geringe Klarheit darüber besteht, inwieweit diese Variablen die Gehirnaktivität während der motorischen Imagination beeinflussen. Da jede Studie für sich meist nur eine geringe Stichprobe beurteilt, ermöglicht die Meta-Analyse die modulierenden Variablen in einem viel größeren Umfang zu beurteilen und gleichzeitig die Erkenntnisse von verschiedenen Arbeiten zu analysieren. (Vgl. ebd. 2013: 931)

Die Auswahl der beurteilten Arbeiten erfolgte im September 2011 über die Pubmed Datenbank mit den Suchbegriffen „fMRI“ or „PET“ and „motor imagery“. Alle ausgewählten Artikel mussten

1. entweder fMRI oder PET-Aufzeichnungen verwenden,
2. die Ergebnisse einer MI-Aufgabe präsentieren,
3. die berichteten Aktivierungen in stereotaktischen Koordinaten angeben und
4. die Ergebnisse von gesunden ProbandInnen darstellen.

Zudem wurden nur Arbeiten ausgewählt, die die Ergebnisse des gesamten Gehirns beurteilten und nicht nur vorausgewählte Bereiche.

Zuerst wurde eine generelle Meta-Analyse aller 75 ausgewählten Studien durchgeführt, das heißt nur jene Areale, dessen Aktivierung bei allen untersuchten Arbeiten gefunden wurde, sind in das weiter unten beschriebene neuronale Netzwerk aufgenommen worden. Hétu et al betonen jedoch, dass Faktoren, wie der in der Bewegung involvierte Körperteil, die Modalität der MI (mehr kinästhetisch oder mehr visuell) oder die Art der Aufgabe während der MI (Bewegungssequenzen oder einfache Bewegung etc.) einen Einfluss auf das neuronale Netzwerk zu haben scheinen. Je nach Studiendesign wurden daher neben dem Standard-Netzwerk weitere Aktivierungen entdeckt. Hétu et al. weisen darauf hin, dass zukünftige Studien einheitliche methodologische Vorgaben erfüllen sollten, um eventuell noch vorhandene Störvariablen auszuschließen. (Vgl. Hétu et al. 2013: 930)

Von den 75 Studien verwendeten 12 eine PET-Untersuchung, die restlichen eine fMRI-Untersuchung, die durchschnittliche Probandengröße war 12 (5-60). (Vgl. Hétu et al. 2013: 932)

Die Meta-Analyse von Héту et al. offenbarte während der motorischen Imagination eine konstante Aktivierung in große Areale, die beide Hemisphären umfasste (Abbildung 6). Im Detail konnten sie folgende Aktivierungen in allen 75 Arbeiten feststellen:

Im Frontallappen jeweils bilateral:

- Gyrus frontalis inferior (einschließlich pars opercularis)
- Gyrus präzentralis
- Gyrus frontalis medius
- SMA (Supplementär Motorisches Areal)
- Regionen des vorderen Inselbereiches

Im Parietallappen jeweils bilateral:

- Lobus parietalis superiorer
- Gyrus supramarginalis
- Lobus parietalis inferior (mehr links)

Im subkortikalen Bereich:

- Putamen
- Thalamus
- Pallidum
- Vermis und die Area VI des Kleinhirns (bds.) (Vgl. Héту et al. 2013: 933ff.)

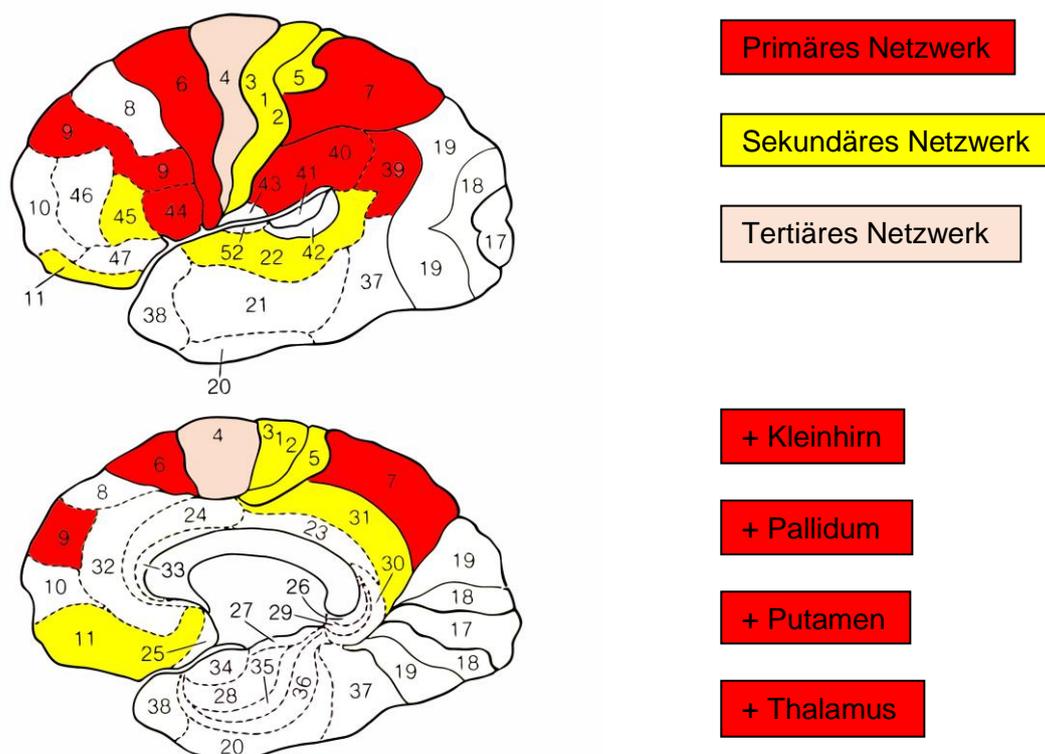


Abbildung 6: neuronales Netzwerk bei motorischer Imagination (nach Héту et al. 2013: 934)

3.2.1 Prämotorische Aktivierung bei motorischer Imagination

Die prämotorischen Regionen, wie der inferiore frontale Gyrus und das SMA, die bekannt dafür sind, dass sie bei der motorischen Ausführung involviert sind, werden auch bei der MI konstant aktiviert (vgl. Héту et al. 2013: 941). Man nimmt an, dass der prämotorische Kortex bei der Planung, Vorbereitung und Ausführung einer motorischen Handlung eine Rolle spielt. Die konstante Aktivierung der prämotorischen Areale bei der MI unterstützt also die Hypothese, dass die motorische Imagination mit der Bewegungsplanung zu tun haben könnte. Die sehr durchgängige Aktivierung des SMA bei der MI könnte, laut Héту et al., mit der Verarbeitung von komplexen Informationen bezüglich des Bewegungsbeginns bzw. der Bewegungssequenz und/oder der visuell-räumlichen Transformation von bewegungsrelevanten Informationen in Zusammenhang stehen. (Vgl. ebd. 2013: 942)

3.2.2 Aktivierung des primär motorischen Kortex bei motorischer Imagination

Die Frage, ob der primär motorische Kortex bei der MI aktiviert wird oder nicht, ist schon eine lang andauernde Debatte. Oft werden in Übersichtsstudien Studien, bei denen eine Aktivierung des primär motorischen Kortex (M1) nachgewiesen werden konnte, anderen Studien gegenübergestellt, die keine Aktivierung im M1 feststellen konnten. Héту et al. meinen, dass damit implizit suggeriert wird, dass es eine äquivalente Anzahl an Artikeln für die jeweilige Position gäbe. Jedoch stellte sich bei ihrer quantitativen Meta-Analyse heraus, dass nur 22 von insgesamt 122 Experimenten (in 75 Studien) eine Aktivierung des primär motorischen Kortex nachweisen konnten, also nur 18% der Studien (vgl. ebd. 2013: 943). Héту et al. betonen aber, dass ihr Resultat nicht beweist, dass der primär motorische Kortex während der MI absolut nicht involviert ist, sondern dass die Aktivierung des primär motorischen Kortex bei den derzeitigen fMRI- und PET-Studien nicht durchgehend nachweisbar ist. Héту et al. berichten, dass zahlreiche TMS-(transcranial magnetic stimulation)-Studien nachweisen konnten, dass die MI die Erregbarkeit des primär motorischen Kortex erhöhen kann. Diese höhere Erregbarkeit wird der, bei der MI nachgewiesenen Aktivierung des prämotorischen Kortex und der Parietalregionen zugeschrieben, die zum Areal M1 projizieren (vgl. ebd. 2013: 943).

Héту und KollegInnen geben jedoch vier Gründe an, wieso möglicherweise die Beteiligung des primär motorischen Kortex bei der Aktivierung einer motorischen Imagination teilweise nicht nachgewiesen werden konnte:

1. Eine Möglichkeit, wieso es zwar einerseits zu einer Steigerung der Erregbarkeit im primär motorischen Kortex kommt, andererseits aber nicht zu einer Steigerung der BOLD- („blood oxygenation level dependent“ = Blutsauerstofflevel abhängige)-Signale, könnte darin liegen, dass die fMRI und PET-Technologien nicht sensitiv genug sind, um feine Veränderungen in den exzitatorischen und inhibitorischen Prozessen erfassen zu können, die aber mit TMS sehr wohl bewertet werden können. Hétu et al. geben weiter zu bedenken, dass alle 75 Studien, die sie in ihrer Meta-Analyse-Studie beurteilt haben, eine Gesamtgehirnanalyse benutzt haben. Diese ist natürlich weniger sensitiv als ROI-(regions of interest)-Analysen, bei der die fMRI Techniken auf ein kleines Areal hin korrigiert werden, sodass man dieses besser beurteilen kann. Mit dieser Methode wurde sehr wohl Aktivität im primär motorischen Kortex bei MI entdeckt, wie schon Porro 1996 bewiesen hat (vgl. ebd. 1996: 7688). Die Aktivitätsveränderungen im primär motorischen Kortex bei MI sind wahrscheinlich zu gering, um sie mit fMRI/PET-Analysemethoden erfassen zu können. (Vgl. Hétu et al. 2013: 943)
2. Ein weiterer Grund für die nicht konsistente Aktivierung des primär motorischen Kortex bei motorischer Imagination könnten die Unterschiede sein, die ProbandInnen hinsichtlich der Imaginationsfähigkeit aufweisen. Studien wie z.B. die von Guillot et al., die durch Vortests jene ProbandInnen mit guter bzw. sehr guter Imaginationsfähigkeit auswählten, konnten eine Aktivierung im primär motorischen Kortex bei MI nachweisen (vgl. ebd. 2008: 1471). Neben der Imaginationsfähigkeit könnten, laut Hétu et al., auch das motorische Können und die Erfahrung Auswirkungen auf die Beteiligung des primär motorischen Kortex bei der motorischen Imagination haben. Dieser Faktor ist aber von der wissenschaftlichen Community noch zu wenig erforscht worden. (Vgl. Hétu et al. 2013: 943)
3. Die Instruktionen, die den ProbandInnen gegeben werden, könnte ein weiterer methodologischer Faktor für das Auftreten oder Nicht-Auftreten einer M1-Aktivierung bei motorischer Imagination sein. Hétu et al. berichten von Daten, die mittels TMS ermittelt wurden, die belegen, dass die kinästhetische MI die Erregbarkeit des primär motorischen Kortex mehr steigern kann als die visuelle MI. Demnach hätte die Imaginationsart einen Einfluss auf das Ausmaß der M1 Aktivierung. Selbst wenn ProbandInnen instruiert worden sind, eine kinästhetische motorische Imagination zu aktivieren, also eine Imagination in Erster-Person-Perpektive, die primär körperliche Gefühle hervorrufen soll, ist dennoch die Frage, wie exakt diese Instruktionen gegeben worden sind. Bedeutend ist auch, ob über das Beschreiben-lassen, welche körperlichen Empfindungen während der Imagination aufgetaucht sind, kontrolliert wur-

de, ob die ProbandInnen verstanden haben, was eine kinästhetische Imagination ist und ob sie dazu auch in adäquatem Maße fähig waren. (Vgl. Hétu et al 2013: 944) Das wirklich körperliche Gefühl bei der motorischen Imagination scheint also ein wichtiger Faktor zu sein, um damit auch eine Aktivierung im primär motorischen Kortex hervorzurufen.

4. Hétu et al. geben schließlich zu bedenken, dass unentdeckte Muskelkontraktionen zur Aktivierung des primär motorischen Kortex geführt haben könnten. Dies ist sehr relevant, denn motorische Imagination ist nicht länger Imagination sobald Muskulatur aktiviert wird. Motorische Imagination ist ein kognitiver Prozess, der eine Vielzahl an supraspinalen Strukturen involviert, ohne irgendeine abgehende Aktivität vom spinalen Motoneuronenpool. Der goldene Standard für die Kontrolle von Muskelaktivität ist die Messung der elektromyographischen (EMG) Aktivität. Jedoch ist es wegen des elektromagnetischen Lärms, bedingt durch den Magneten, schwierig, verwertbare EMG-Daten im Scanner zu bekommen. Daher gibt es sehr wenige Studien, die die Muskelaktivität bei der MI durch das EMG kontrollierten. Dennoch wurde bei allen Studien aktive Muskeltätigkeit kontrolliert, entweder über visuelle Kontrolle oder über Handschuhe mit Bewegungssensoren oder über bewegungsaufzeichnende Tasten. Jedoch können diese Herangehensweisen nur Bewegung an sich messen, nicht aber Muskelkontraktionen ohne Bewegung. Zudem sind diese Kontrollen weniger reliabel als EMG-Aufzeichnungen. Um sicher zu gehen, dass Aktivierungen im primär motorischen Kortex nicht von unentdeckten aktiven Muskelkontraktionen herrühren, müsste man laut Hétu et al. zukünftig rigorosere Methoden zur Kontrolle von aktiven Muskelkontraktionen während einer motorischen Imagination verwenden. Damit könnte man die Rolle des primär motorischen Kortex bei der motorischen Imagination präzisieren. (Vgl. ebd. 2013: 944)

3.2.3 Aktivierung des Parietalkortex bei motorischer Imagination

Hétu et al. berichten, dass Parietalregionen, wie der Lobus parietalis inferior, der Lobus parietalis superior (einschließlich Precuneus) und der Gyrus supramarginalis, durchgehend bei MI aktiviert werden (vgl. ebd. 2013: 942). Die Frage, die auftaucht, ist, welche Funktionen haben diese Parietalregionen normalerweise bei aktiver Bewegungsausführung und welche Funktionen haben sie bei der Aktivierung einer motorischen Imagination. Wie schon Cavanna und Trimble für den Precuneus, einen Teil des Lobus parietalis superior äußerten (vgl. ebd. 2006: 564) betonen auch Hétu et al., dass der parietale Kortex einen wichtigen sensorischen Integrationsknotenpunkt darstellt und dass seine verschiedenen Subregionen, die zu unterschiedlichen Gehirnarealen, wie dem

prämotorischen Kortex und dem motorischen Kortex, projizieren, eine wichtige Rolle bei der motorischen Ausführung spielen (vgl. Héту et al. 2013: 942).

Der hintere Parietalkortex sei auch bedeutend für visuelle Transformationsprozesse, wenn eine Extremität im dreidimensionalen Raum zu einem Ziel hin gesteuert werden muss. Insbesondere der posteriore parietale Kortex, der am Ozipitallappen angrenzt und der auch Teile des Lobus parietalis superior und des Lobus parietalis inferior umfasst, ist bei visuell-motorischen Transformationsprozessen involviert und daher besonders für die visuelle Führung einer motorischen Aufgabe von Bedeutung. (Vgl. Héту et al. 2013: 942; Cavanna et al. 2006: 568ff.) Das Einbeziehen des Zielobjektes und des Kontextes, sind wichtige Faktoren bei der Bewegungsplanung und Bewegungsausführung. Der diesbezügliche Vorteil der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zur klassischen motorischen Imagination wird in Kapitel 4.2 erörtert.

Neben der Bedeutung bei visuell geführten motorischen Aufgaben werden dem Parietallappen neuerdings auch höhere kognitive Funktionen zugeschrieben. Héту et al. bemerken, dass dem linken Parietalkortex eine Rolle bei den motorischen Aufmerksamkeitsprozessen zugeschrieben wird, wie z.B. der Vorbereitung und Neuausrichtung einer Bewegung oder der Bewegungsintention. Sie schließen daraus, dass die konstante Aktivierung des Parietalkortex bei MI sehr wahrscheinlich auch diese höheren kognitiven Funktionen widerspiegeln. (Vgl. ebd. 2013: 942)

Laut Héту et al. gebe es zudem Hinweise darauf, dass der Lobus parietalis inferior verschiedene motorische Repräsentationen beinhalte und dass diese nicht nur dann aktiviert werden, wenn die Bewegungen willentlich ausgeführt werden, sondern auch, wenn diese Bewegungen beobachtet werden. Diese motorischen Repräsentationen im Parietalkortex werden also auch durch externe (visuelle) Reize während der Beobachtung einer Handlung aktiviert. Héту et al. schlussfolgern daraus, dass die bei allen Studien durchgehend entdeckte Aktivierung des Parietalkortex während der MI der internen Aktivierung dieser motorischen Repräsentationen entsprechen könnte. (Vgl. ebd. 2013: 942)

3.2.4 Fronto-parietales Netzwerk bei motorischer Imagination

Die fronto-parietalen Regionen, die in der Meta-Analyse-Studie von Héту et al. identifiziert wurden, scheinen ein Netzwerk zu bilden. Héту et al. berichten von Studien an Affen, die zeigen, dass etliche dieser Regionen miteinander verbunden sind und dass diese bei der motorischen Ausführung eine funktionelle Einheit bilden. Es wurden Verbindungen zwischen Lobus parietalis inferior und dem Gyrus frontalis inferior und Ver-

bindungen zwischen dem Lobus parietalis superior und dem dorsalen prämotorischen Kortex (BA 6) entdeckt. Hétu et al. berichten zudem von einer Studie, die gezeigt hat, dass beim Menschen diese Regionen funktionell verbunden sind, und zwar nicht nur bei der motorischen Ausführung, sondern auch während der kinästhetischen MI. (Vgl. ebd. 2013: 942) Daher meinen sie abschließend: „These different results suggest that the fronto-parietal regions identified by our meta-analysis do not work in isolation but form a functional network during MI.“ (Hétu et al. 2013: 942)

3.2.5 Die Funktion der motorischen Imagination

Die Identifikation der aktivierten kortikalen Areale bei der MI und der Vergleich der Aktivierungsmuster zwischen aktiver und vorgestellter Bewegung dienen im Grunde dazu, eine Frage zu beantworten: Welche Rolle hat die MI bei der zentralen Organisation bzw. welche Funktion hat die motorische Imagination?

Hétu et al. kommen zu dem Schluss, dass die theoretische Sichtweise, dass die MI vom motorischen System unterstützt wird, die maßgebliche Meinung darstellt. Das ist auch nicht weiter überraschend, denn Hétu et al. fragen sich richtigerweise, wieso wir ein völlig unterschiedliches Netzwerk für die Bewegungssimulation haben sollten, wenn es schon ein perfektes für die Ausführung dieser gibt. Sie weisen weiter darauf hin, dass die Annahme tief in unserer persönlichen Erfahrung mit der MI verankert ist: Jeder der versucht, sich eine Handlung vorzustellen, kann die Ähnlichkeit zwischen der vorgestellten und der realen Bewegung ‚fühlen‘. Ihre Meta- Analyse verstärkt also die in großer Zahl empirisch unterstützte Meinung, dass es ein gemeinsames Netzwerk für die MI und die motorische Ausführung gibt. (Vgl. ebd. 2013: 943)

Die motorische Imagination ist demnach nicht eine Begleiterscheinung, sondern ein Prozesselement bei der Planung einer Bewegung. Hétu et al. kommen zum folgenden Schluss:

„By combining the results from more than 80 experiments (from 75 papers) and showing that regions known to play a role during motor execution are consistently activated during MI, we provide strong evidence that MI is performed by accessing and processing motor representations in various parts of the motor system.“ (Hétu et al. 2013: 943)

Die Studie von Hétu et al. liefert also die erste quantitative Karte jener Strukturen, die während der MI aktiviert werden. Es konnte ein funktionelles Netzwerk ausfindig gemacht werden, das bewegungsrelevante neuronale Areale involviert, einschließlich

fronto-parietaler Areale und subkortikaler Strukturen. Dies unterstützt die Idee, dass die MI und die motorische Ausführung sehr ähnliche Prozesse sind. (Vgl. Héту et al. 2013: 946)

Héту et al. betonen zudem, dass die Karte dieses Netzwerkes, welches bei der MI aktiviert wird, relativ konstant ist (fronto-parietale und subkortikale Regionen), dass jedoch die relative Bedeutung ihrer Komponenten von verschiedenen Faktoren, wie der Art der Bewegung, die vorgestellt werden soll, der Modalität der MI und die Instruktionen, die den ProbandInnen gegeben werden, abhängt. Genauso wie die Literatur zur Bewegungsausführung gerade erst von einer groben Beschreibung des motorischen Netzwerkes zu einem tieferen Verständnis für verschiedene beeinflussende Faktoren gekommen ist, muss die MI-Forschung einen genaueren Blick auf die Faktoren werfen, die höchst wahrscheinlich einen Einfluss darauf haben, wie unser Gehirn arbeitet, wenn es sich Bewegungen vorstellt. (Vgl. Héту et al. 2013: 946) Héту et al. sind von der großen wissenschaftlichen und funktionellen Bedeutung der MI-Forschung überzeugt und meinen abschließend: „Indeed, research on MI offers a unique window into how humans can intentionally recruit and manipulate internal representations.“ (Héту et al. 2013: 946)

Die Anwendung der motorischen Imagination in der Rehabilitation ist auf Grund dieser Erkenntnisse sehr zu empfehlen und sollte als Lernmittel genutzt werden. Die Frage ist nur, in welcher Form die motorische Imagination eingesetzt werden sollte – durch die Aufforderung eine bezugslose Bewegungsvorstellung zu kreieren oder durch die Aufforderung, sich eine Bewegung innerhalb einer persönlichen Erinnerung vorzustellen. In Kapitel 4.2 wird erläutert, welche Schwierigkeiten PatientInnen bei der Aktivierung einer herkömmlichen Imagination haben können und wie diese Schwierigkeiten möglicherweise durch die autobiographische Erinnerung überwunden werden können.

Im folgenden Kapitel werden bestimmte Aspekte der motorischen Imagination näher beleuchtet, da sie große Bedeutung für die Anwendung der MI als Lernmittel haben. Diese Faktoren sind ebenso zu beachten, wenn die motorische Imagination innerhalb einer autobiographischen Erinnerung aktiviert und so als Lernmittel benutzt wird.

3.3 Bedeutende Aspekte der motorischer Imagination

Da nun durch viele Studien bestätigt werden konnte, dass die motorische Imagination und die motorische Ausführung gemeinsame neuronale Netzwerke beanspruchen, lautet die, daraus resultierende, Frage, ob es Faktoren gibt, die das neuronale Aktivierungsmuster während einer motorischen Imagination verändern bzw. beeinflussen können. In den folgenden Kapiteln werden solche Faktoren beleuchtet. Dabei werden unterschiedliche Bedingungen gegenübergestellt: visuelle versus kinästhetische MI, Einzelbewegung versus Alltagsbewegung und unbewusste MI versus MI, die willentlich zum Bewusstsein gerufen wurde.

3.3.1 Visuelle versus kinästhetische motorische Imagination

Wie schon in Kapitel 3.1.1 erläutert unterscheiden viele Autoren zwischen der sogenannten visuell motorischen Imagination (VMI) und der kinästhetisch motorischen Imagination (KMI) (vgl. Guillot et al. 2009: 2158). In diesem Kapitel wird mehr auf die Auswirkungen einer mehr kinästhetischen oder einer rein visuell motorischen Imagination eingegangen.

Guillot und KollegInnen wollten herausfinden, ob beide Bedingungen – also die KMI und die VMI – das gleiche neuronale Netzwerk aktivieren oder ob man Unterschiede im Aktivierungsmuster erkennen kann.

Sie bemängeln nämlich, dass bei den klassischen Studien zur motorischen Imagination die Compliance der ProbandInnen zu wenig kontrolliert wird. Auch wenn die TeilnehmerInnen spezielle Instruktionen erhalten und diese auch verstanden wurden, ist es laut dieser Autoren noch nicht gesichert, ob die ProbandInnen den Unterschied einer Imagination unter visueller Kontrolle oder unter kinästhetischer Kontrolle verstanden haben. Um diesem Problem zu begegnen, wurden bei ihrer Studie sowohl subjektive also auch objektive Messverfahren herangezogen, sodass die individuelle Genauigkeit der jeweiligen Imagination beurteilt werden konnte. Dazu wurden fünfzig gesunde Rechtshänder (24 Männer, 26 Frauen) einer Vorstudie unterzogen, um jene ProbandInnen herauszufiltern, die eine sehr gute bis ausgezeichnete MI-Fähigkeit aufweisen. Vier etablierte Messverfahren wurden angewendet (Hautwiderstandmessung, Movement Imagery Questionnaire, Selbstbewertungsbogen, mentale Chronometrie). 13 Personen (6 Männer, 7 Frauen) erwiesen sich für das Experiment geeignet, d.h., sie zeigten eine gute bis ausgezeichnete motorische Imaginationsfähigkeit. Die ausgewählten ProbandInnen mussten unter fMRI-Kontrolle eine gelernte Sequenz von Fingerbewe-

gungen durchführen und anschließend diese Bewegungssequenz sich entweder visuell oder kinästhetisch vorstellen. Diese Aufgaben waren jeweils durch eine 12 Sekunden dauernde Instruktionsphase unterbrochen. Die physikalische Ausführung wurde durch ein Vier-Tasten-Keyboard kontrolliert. Bei der visuellen Imaginationsausführung hatten die ProbandInnen die Augen geschlossen, das Nicht-Ausführen einer Bewegung wurde durch die Keyboard-Tasten überprüft. (Vgl. Guillot et al. 2009: 2160f.)

Die Untersuchung von Guillot et. al. ergab, dass die kinästhetische Imagination im Vergleich zur visuellen Imagination zum Teil gleiche Areale aktiviert, dass man aber trotzdem Unterschiede im neuronalen Netzwerk feststellen kann. Im Detail zeigte sich, dass der primär motorische Kortex (BA 4) gleichermaßen bei KI und VI von komplexen Fingerbewegungen aktiviert wurde. Das supplementär motorische Areal (SMA) und die pre-SMA wurden ebenfalls bei beiden Imaginationsformen aktiviert, genauso wie die präfrontalen Bereiche BA 46 und 45. Im Bereich des Parietallappens wurden gleichermaßen der superiore (BA 5, 7) und der inferiore (BA 40 - Gyrus supramarginalis) Parietalbereich aktiviert, auch wenn die letztgenannte Aktivierung bei der VI mehr posterior war und bei der KI mehr lateral und anterior.

Dennoch gab es Unterschiede: Ausschließlich bei der visuellen Imagination kam es zu einer Aktivierung im Okzipitallappen, und zwar im primär visuellen Areal (BA 17) und den prestriaten Arealen (BA 18, 19). Zudem war das Precuneus-Areal nur bei der VI aktiv.

Hingegen das ventrale prämotorische Kortexareal 44 wurde nur bei der KI aktiviert. Ebenso waren die Areale im primär sensorischen Kortex (BA 1, 3, 2) nur bei der KI aktiv. Bilaterale Basalganglienaktivierungen (Putamen, Nucleus caudatus) und Kleinhirnaktivitäten waren ebenfalls nur bei der KI zu beobachten. (Vgl. Guillot et al. 2009: 2163)

Guillot und KollegInnen kommen zu dem Schluss, dass diese zwei Arten der MI doch einige Unterschiede aufweisen. Sie sind der Meinung, dass ihre Studie den Beweis dafür liefert, dass Personen in der Lage sind, bei der mentalen Repräsentation einer Bewegung eine Sinnesmodalität zu bevorzugen. Die motorische Imagination aktiviert also ein sehr umfangreiches neuronales Netzwerk, wenn dessen Bildung gleichzeitig auf kinästhetischen und visuellen Elementen beruht. Jedoch können je nach Lernphase und je nach Merkmal der motorischen Aufgabe die VI oder die KI separat aktiviert werden. (Vgl. Guillot et al. 2009: 2169)

Auch Stinear und KollegInnen wollten klären, ob die kinästhetische und die visuell motorische Imagination unterschiedliche Beteiligungen des ZNS aufweisen oder nicht (vgl.

ebd. 2006: 157). In ihrem Fall untersuchten sie die Veränderung der kortikomotorischen Erregbarkeit bei visueller oder kinästhetischer Imagination bei einer Daumenbewegungsaufgabe. Da es widersprüchliche Evidenzen bezüglich der Beteiligung des primär motorischen Kortex (M1) während der motorischen Imagination gibt, wollten sie herausfinden, ob die Aktivität oder Nicht-Aktivität von M1 von der Sinnesmodalität der Imagination abhängt. Stinear et al. vermuteten, dass nur bei der KMI und nicht bei der VMI oder bei den Kontrollphasen evozierte Potentiale im Musculus abductor pollicis brevis (APB) feststellbar sein würden. Sie vermuteten auch, dass diese Antwort auf den APB beschränkt und nicht am Kontrollmuskel, dem M. abductor digiti minimi, zu beobachten sein würde. (Vgl. Stinear et al. 2006: 158)

Zur Kontrolle von möglichen unbewussten Muskelaktivitäten wurden ein Oberflächen-EMG des M. Abductor pollicis brevis und des Kontrollmuskels aufgezeichnet. Um die erwarteten motorisch evozierte Potentiale (MEPs) am M. Abductor pollicis brevis und die erwartete Nichtantwort des M. Abductor digiti minimi zu untersuchen, wurde in optimaler lotrechter Position zum Sulcus centralis eine transcranial magnetische Stimulation (TMS) oberhalb des kontralateralen Motorkortex (M1) angewendet. Die Untersuchung von Stinear et al. umfasste vier verschiedene Abschnitte, die pseudo-randomisiert dargeboten wurden: Neben einer Ruhephase, bei der die ProbandInnen an nichts Besonderes denken sollten und einer statischen visuellen Imaginationsphase, bei der sich die TeilnehmerInnen die Ansicht vor ihrem Haus als statisches Bild vorstellen sollten, gab es die VMI-Phase und die KMI-Phase, die die eigentlichen Interessengebiete der ForscherInnen darstellten. Bei der visuell motorischen Imaginationsbedingung wurden die TeilnehmerInnen aufgefordert, sich vorzustellen zu sehen, wie sich ihr Daumen im Takt des Metronoms bewegt. Hingegen bei der kinästhetisch motorischen Imaginationsphase erhielten die ProbandInnen die Aufforderung, sich vorzustellen, ihren Daumen im Takt des Metronoms zu bewegen und sich dabei auch das Gefühl vorzustellen, das diese Bewegung hervorruft. (Vgl. Stinear et al. 2006: 159)

Die Aufzeichnung der Amplituden der motorisch evozierten Potentiale zeigte einen signifikanten Zusammenhang zwischen Muskel, Aufgabe und Phase ($P < 0.01$). Bei der geplanten ON-Phase zeigte sich während der KMI beim M. Abductor pollicis brevis ein signifikanter Unterschied in der Amplitude ($P < 0.001$), aber kein signifikanter Unterschied bei der VMI ($P > 0.1$). Die Amplituden der motorisch evozierten Potentiale des Kontrollmuskels (M. Abductor digiti minimi) zeigten sowohl bei der KMI als auch bei der VMI keinen signifikanten Unterschied ($P > 0.4$). (Vgl. ebd. 2006: 160)

Die Studie von Stinear et al. hat also gezeigt, dass kinästhetische und visuelle Imaginationsstrategien unterschiedliche Effekte auf die kortikospinale Erregbarkeit haben. Die Erregbarkeit von kortikomotorischen Bahnen wird muskel-spezifisch und zeitlich angepasst nur in der KMI-Phase verändert, während die VMI-Phase keinen Effekt zeigte. Sie konnten zudem durch die Messung der EMG-Aktivität feststellen, dass es zu keiner erkennbaren Veränderung der Erregbarkeit auf spinaler Ebene kommt, d.h., die KMI verändert die Erregbarkeit hauptsächlich auf supraspinaler Ebene. Die Studie unterstützt also die Behauptung, dass der primär motorische Kortex (M1) durch kinästhetische Imaginationsstrategien aktiviert wird, nicht aber durch visuelle Imaginationsstrategien. (Vgl. Stinear et al. 2006: 161)

Hinsichtlich der praktischen Bedeutung dieser Erkenntnisse weisen Stinear et al. darauf hin, dass zur Wiederherstellung der Funktionen des primär motorischen Kortex eher die kinästhetische motorische Imagination als andere Formen der motorischen Imagination angewendet werden sollte. Stinear et al. betonen diesbezüglich, dass die Therapeutin bzw. der Therapeut darauf achten muss, korrekte Instruktionen zu geben, um möglichst eine kinästhetische motorische Imagination hervorrufen zu lassen und nicht nur eine visuelle. Werden diese Kriterien beachtet, dann kann die kinästhetische motorische Imagination ein effektives Mittel sein, um gezielt kortikomotorische Bahnen zu erregen. (Vgl. ebd. 2006: 163)

Diese Erkenntnisse haben große Bedeutung für die praktische Umsetzung der motorischen Imagination als Lernmittel: Das Wissen, durch unterschiedliche Imaginationen unterschiedliche Areale aktivieren zu können, ist sehr hilfreich. Also nur wenn der Patient bzw. die Patientin die Bewegung während der Imagination als Gefühl erlebt, nur dann wird höchstwahrscheinlich auch der primär motorische Kortex aktiviert. Hat also die zu behandelnde Person Bewegungsdefizite, muss es das Ziel sein, mit Hilfe der Imagination auch den primär motorischen Kortex zu aktivieren.

Andererseits sind auch die visuellen Informationen bedeutsam – auch für die motorische Organisation. Gelingt es eine mentale Repräsentation zu aktivieren, die sowohl interne, körperliche Informationen enthält als auch visuelle Informationen, dann kann, laut den Erkenntnissen von Guillot und Stinear (vgl. Guillot et al. 2009: 2169; Stinear et al. 2006: 159), ein noch umfangreicheres Neuronennetz angeregt werden. Es entsteht eine multisensorische Repräsentation.

Autobiographische Erinnerungen haben gewöhnlicher Weise genau diese Merkmale. Man nimmt vieles gleichzeitig wahr. Neben der Bewegung, die vom Bewusstsein her oft nebenbei abläuft, sieht man etwas, man hört etwas oder man führt ein Gespräch.

Und wie die Studien von Guillot und Stinear gezeigt haben, kann man bestimmte Aspekte aus einer Repräsentation mehr in den Vordergrund rücken und diese bewusster wahrnehmen. Wie schon erwähnt, ist im ersten Moment der Aktivierung einer autobiographischen Erinnerung häufig das damals wahrgenommene emotionsgeprägte Gesamt ereignis erinnerbar. In Folge werden sensorische Details klarer wahrnehmbar. Man erinnert sich daran, was man dabei gesehen, gehört, gerochen aber auch körperlich gefühlt hat. Man kann sogar gezielt, wie Stinear und Guillot gezeigt haben, bestimmte Aspekte in die bewusste Ebene verschieben. So konnte sich z.B. ein Patient mit Hemiparese an ein Fußballspiel als kleiner Junge erinnern, das über fünfzig Jahre zurücklag. Das Spiel fand in einem großen Wiener Stadion während der Pause eines internationalen Spieles mit tausenden Zuschauern statt. Das macht erklärbar, warum die Freude darüber auch noch nach so vielen Jahren vorhanden war. Zu Beginn war also nur die mit der Erfahrung verbundene Emotion erinnerbar. Doch schon nach wenigen weiteren Erinnerungsversuchen, die verbal geleitet wurden, konnte der Patient sehr genau beschreiben, was er gesehen hat, wie die Stimmung im Stadion war aber auch wie sich die Rasenfläche im Unterschied zur Fläche der Laufbahn anfühlte. Das Gefühl des Kontaktes zwischen Ferse und Boden war auch nach so vielen Jahren wieder aktivierbar. Der Patient konnte also eine multisensorische Repräsentation aktivieren, die auch körperliche Informationen enthielt.

Im folgenden Abschnitt wird erläutert, ob es neuronale Unterschiede zwischen der Vorstellung von Einzelbewegungen und komplexen Alltagsbewegungen gibt und welche möglichen Konsequenzen diese Erkenntnisse für die Anwendung der MI als Lernmittel haben.

3.3.2 Motorische Imagination von komplexen Alltagsbewegungen

2007 führten Szameitat und KollegInnen eine fMRI-Studie durch, um herauszufinden, ob die bisherigen Erkenntnisse der Imaginationsforschung, die hauptsächlich die neuronale Aktivierung bei sehr einfachen Bewegungen untersuchte, auch für komplexe Alltagshandlungen gelten. Ausgangspunkt ihrer Arbeit war die durch die bisherige Imaginationsforschung unterstützte Hypothese, dass es beim mentalen Training und bei der motorischen realen Ausführung zu einer äquivalenten neuronalen Aktivierung kommt und dass dadurch Veränderungen in den motorischen Organisationssystemen hervorgerufen werden, die vergleichbar sind mit den Veränderungen beim realen Training. (Vgl. ebd. 2007: 702)

Bei ihrer Untersuchung mittels fMRI mit 15 ProbandInnen gab es drei Situationen: die Ruhephase, die Imagination von Bewegungen der oberen Extremität (OE) und die Imagination von Ganzkörperbewegungen (GK). Die Bewegungen für die Imagination der oberen Extremitäten waren (1) Essen mit Messer und Gabel, (2) die Fingernägel mit einer Schere schneiden, (3) auf einem Blatt Papier mit einem Stift schreiben, (4) Karten mischen und austeilen, (5) Schuhbänder binden, (6) die Haare kämmen / büstern, (7) Knopf an einem Hemd / einer Bluse zumachen. Die Ganzkörperbewegungen waren (1) Schwimmen, (2) eine schwere Schachtel vom Boden auf den Tisch heben, (3) rennen (zum Bus, beim Sport), (4) tanzen (in der Disco, im Ballraum), (5) Bälle werfen, (6) ein Loch mit einer Schaufel graben und (7) einen Staubsauger benutzen. Den ProbandInnen wurden Instruktionen gegeben, sodass sie möglichst eine kinästhetische Erste-Person-Perspektive während der Imagination einnehmen sollten, d.h. sie wurden aufgefordert, sich vorzustellen, selbst eine Handlung auszuführen. Um sicherzustellen, dass die Lebhaftigkeit der Imagination zwischen den Oberen-Extremitäten-Bewegungen und den Ganzkörperbewegungen vergleichbar war, füllten die ProbandInnen direkt nach der Bildgebung einen kurzen Fragebogen aus. Dabei mussten sie jede vorgestellte Bewegung mit Hilfe einer Skala von 1 ("schlecht / schwer vorzustellen") bis zu 7 ("perfekte / sehr lebhaft und lebendige Vorstellung") bewerten. Es zeigte sich, dass beide Bewegungsarten (OE und GK) hinsichtlich der Lebhaftigkeit identisch waren (Median: OE: 6, GK: 6) und dass jede einzelne Bewegung in einer hohen Qualität vorgestellt werden konnte (Bandbreite: OE: 5.5-7; GK: 6-7). Dies zeigt, dass der Abruf von Alltagsbewegungen aus dem Gedächtnis gut und sicher gelingt, sodass sich diese Bewegungen auch für das mentale Training sehr eignen. (Vgl. Szameitat et al. 2007: 703f.)

Im Vergleich der Aktivierungsmuster zwischen der Ruhephase und der Imaginationsphase von beiden Imaginationsarten zeigte sich eine beidseitige Aktivierung in den medialen und lateralen prämotorischen Kortexbereichen, im speziellen eine ausgedehnte Aktivierung in der Area 6, also auch im Bereich des supplementär-motorischen Kortex (SMA) und der Prä-SMA. Zudem zeigte sich eine Aktivierung im linken frontalen Operculum und im Bereich der Insel. Diese frontalen Aktivierungen waren begleitet von parietalen Beteiligungen links (BA 7/40) und Basalganglienaktivierungen, wie der Aktivierung des Putamen, des Pallidum und des Nucleus caudatus. Die Befunde decken sich weitgehend mit den Resultaten von Hètu et al., die in ihrer Meta-Analyse auch die MI des Gehens untersuchten (vgl. ebd. 2013: 937). Zusammengefasst zeigen diese Resultate, dass die MI von Alltagsbewegungen jenes kortikale Netzwerk beansprucht,

das bislang als das Aktivierungsmuster für die Vorbereitung und Durchführung von einfacheren Bewegungen beschrieben wurde. (Vgl. Szameitat et al. 2007: 706)

Bei einem direkten Vergleich OE- und Ganzkörper-Imagination konnten Unterschiede im Aktivierungsmuster festgestellt werden: Kortikale Areale, die bei der Ganzkörper-Imagination mehr aktiviert wurden als bei OE-Imagination, waren hauptsächlich im medialen Bereich des Brodmann-Areal 4 bis hin zum SMA und ein kleiner Bereich des linken lateralen Sulcus zentralis (BA 4/6) bis hin zu linken Teilen des postzentralen Gyrus und des intraparietalen Sulcus (BA 5/7). Im Gegensatz dazu, waren kortikale Areale, die sich bei der Imagination von OE-Bewegungen mehr aktivierten als bei den Ganzkörper-Imaginationen, begrenzt auf laterale Bereiche der Hemisphären, vom unteren Bereich des Sulcus zentralis bis hin zum postzentralen Gyrus (BA 4/1/2/3), bis hin zu Bereichen des intraparietalen Sulcus (BA 5/7/40). Zusammengefasst haben Szameitat et al. bei der MI von Ganzkörper-Bewegungen eine Aktivierung vorwiegend in den medialen und oberen lateralen motorischen Kortextbereichen gefunden, während die MI von OE-Bewegungen vorwiegend untere laterale motorische Kortextbereiche aktivierte. (Vgl. ebd. 2007: 707f.)

Die Studie von Szameitat et al. konnte also die empirische Basis für die Vermutung liefern, dass die Imagination von Alltagsbewegungen ein kortikales Netzwerk beansprucht, das vergleichbar ist zu jenem, das bei MI von einfachen Finger/Handbewegungen gefunden wurde. Das zweite Ziel der Studie war es herauszufinden, ob verschiedene Bewegungsarten (OE, Ganzkörper) zu verschiedenen Aktivierungsmustern führen oder nicht. Es konnte festgestellt werden, dass die zwei unterschiedlichen Bewegungsarten (OE, Ganzkörper) sehr wohl zu differenzierten Aktivierungsmustern im sensomotorischen Kortex geführt haben, nicht aber in den anderen kortikalen Arealen. Das heißt, es konnte einerseits eine gewisse Generalisierung nachgewiesen werden, d.h. das Neuronen-Netzwerk für einfache Bewegungen entspricht weitgehend jenem für komplexe Alltagsbewegungen. Andererseits konnten Unterschiede im Aktivierungsmuster festgestellt werden, wenn es sich um sehr unterschiedliche Bewegungen handelte, die verschiedene Extremitäten involvierten. (Vgl. Szameitat et al. 2007: 708f.)

Zusammenfassend meinen Szameitat et al., dass ihre Untersuchungsergebnisse einen ersten empirischen Beweis für die Idee liefern, dass mentales Training effektiv motorische Fertigkeiten verbessert, und zwar durch die selben Mechanismen wie beim realen Üben, d.h. durch die wiederholte Aktivierung jener kortikalen Areale, die der jeweiligen Bewegung zugrunde liegen. Sie betonen, dass der Vorteil von Alltagsbewegungen für

die Forschung und die praktische Anwendung darin liegt, dass jeder damit vertraut ist und dass daher leichter eine lebendige und lebhaftere Erste-Person-Imagination möglich ist. (Vgl. Szameitat et al. 2007: 711)

Die Untersuchung von Szameitat et al. hat also gezeigt, dass die Vorstellung von komplexen Alltagsbewegungen möglich ist und dass dabei ebenso die entsprechenden bewegungsbezogenen neuronalen Areale aktiviert werden wie bei einfachen, abstrakten Bewegungen. Das heißt, mentales Training ist auch für komplexe Alltagsbewegungen möglich, teilweise ist dieses sogar noch leichter durchführbar als bei einfachen Einzelbewegungen, da die Vorstellung häufig noch intensiver und lebendiger ist.

Welche Bedeutung die Lebendigkeit einer Vorstellung für die neuronale Aktivierung und damit auch für die Anwendung als Lernmittel hat, wird im nächsten Abschnitt erläutert.

3.3.3 Die „Vividness“ der motorischen Imagination

Nachdem mehrfach bewiesen wurde, dass mentales Üben mit motorischer Imagination die Ausführung und das motorische Lernen verbessern kann und dass das neuronale Aktivierungsmuster während einer motorischen Imagination vergleichbar ist mit dem Aktivierungsmuster, das bei einer aktiven Bewegungsausführung zu beobachten ist, wollten Guillot und KollegInnen 2008 erstmals herausfinden, ob es zwischen Personen mit sehr guter Imaginationsfähigkeit und Personen mit einer schlechteren Imaginationsfähigkeit Unterschiede in der neuronalen Aktivierung gibt. Um Personen mit einer guten bzw. einer schlechteren Imaginationsfähigkeit herausfiltern zu können, wurden vier Untersuchungsmethoden verwendet, wodurch jeder Proband / jede Probandin einen globalen Imaginationsscore erhielt. Neben dem schon oft angewandten Bewegungsimaginationsfragebogen („Movement Imagery Questionnaire - revised: MIQ-R“), einem Selbstbewertungsbogen mit einer Vier-Punkte-Skala und der mentalen Chronometrie-messung wurden nun erstmals Parameter des autonomen Nervensystems gemessen, die nicht-bewusste physiologische Mechanismen von mentalen Prozessen darstellen. Dazu wurde eine Hautwiderstandsmessung durchgeführt, und zwar sowohl hinsichtlich des allgemeinen Widerstandslevels während der gesamten Imaginationssitzung, als auch hinsichtlich der spezifischen Antworten auf den jeweiligen Imaginationsbeginn. Es nahmen schließlich 13 ProbandInnen mit guter Imaginationsfähigkeit, die einen mittleren Score von 53.4 Punkten aufwiesen, und 15 Personen mit einer schlechteren Imaginationsfähigkeit und einem mittleren Score von 33.9 Punkten teil. Nachdem alle TeilnehmerInnen eine Bewegungssequenz der Finger 2 bis 5 der linken Hand gelernt hat-

ten, wurde eine fMRI-Untersuchung durchgeführt, während die ProbandInnen mit einem jeweiligen Abstand von 10 Sekunden die Bewegungssequenz entweder ausführten oder sich diese in Erster-Person-Perspektive vorstellten oder als Kontrollbedingung bewegungslos verschieden hohe Töne hörten. (Vgl. Guillot et al. 2008: 1472f.)

Zum Erstaunen von Guillot und KollegInnen war das neuronale Aktivierungsmuster sowohl bei der realen Ausführung als auch der Imagination jener ProbandInnen mit der schlechteren Imaginationsfähigkeit umfangreicher, jedoch zeigte die Gruppe mit der guten Imaginationsfähigkeit eine stärkere Aktivierung in den motorischen Arealen (vgl. ebd. 2008: 1478).

Im Detail stellte sich heraus, dass bei der realen Ausführung der Bewegung die ProbandInnen mit der guten Imaginationsfähigkeit im Vergleich zu denen mit einer schlechten Imaginationsfähigkeit sehr fokussiert Areale des motorischen Systems und sensomotorische Regionen des Putamens aktivierten. Guillot et al. betonen, dass dieses Aktivierungsmuster oft bei gut eintrainierten Bewegungssequenzen beobachtet wurde und dass dies darauf schließen lässt, dass Personen mit einer guten Imaginationsfähigkeit schon in einer frühen Lernphase eine genauere Repräsentation einer Bewegungssequenz kreieren können als Personen mit einer schlechteren Imaginationsfähigkeit. (Vgl. ebd. 2008: 1480)

Die ProbandInnen mit der guten Imaginationsfähigkeit zeigten bei der Imaginationsphase eine stärkere bilaterale Aktivierung in den oberen Parietallappen und den lateralen Bereichen des jeweiligen prämotorischen Kortex, sowie eine Aktivierung des zingulären Kortex links und eine rechtsseitige Aktivierung des unteren Parietallappens und der präfrontalen Region. Im Gegensatz dazu zeigten die ProbandInnen mit der schlechten Imaginationsfähigkeit zusätzlich eine Aktivierung in den hinteren zingulären und orbito-frontalen Kortexbereichen sowie in den vorderen und hinteren Kleinhirnbereichen. Guillot et al. betonen, dass die verstärkte Aktivierung in der frontopolaren Region, welche beim Gedächtnisabruf involviert ist, und im zingulären Kortex, welcher reziproke Verbindungen zum parahippocampalen Kortex hat, auf Gedächtnisprozesse zurückgeführt werden können, die beim Einüben einer neuen Bewegungssequenz notwendig sind. Diese Ergebnisse zeigen, dass, sobald eine Bewegungssequenz sehr gut gelernt und verinnerlicht ist, der Rückgriff auf gedächtnisrelevante Kortexbereiche nicht mehr notwendig ist - und dies selbst bei der reinen Bewegungsvorstellung. Daher war das Aktivierungsmuster bei den ProbandInnen mit der guten Imaginationsfähigkeit geringer als bei denen, die eine schlechtere Imaginationsfähigkeit hatten. Je ungenauer die Bewegungsvorstellung und damit die Bewegungsrepräsentation sind, desto eher

ist das System gezwungen, auf gedächtnisrelevante Kortextbereiche zurückzugreifen. (Vgl. Guillot et al. 2008: 1480)

Dasselbe Prinzip gilt für die Kleinhirnaktivierung. Wie Guillot et al. betonen, gibt es eine Fülle an Nachweisen, dass das Kleinhirn im motorischen Lernprozess eine wichtige Rolle spielt, jedoch speziell in der Anfangsphase eines Lernprozesses, und dass die Aktivierung des Kleinhirns nicht mehr in dem Ausmaß notwendig ist, sobald eine Sequenz gut gelernt ist. Dies zeigte sich auch beim Vergleich der ProbandInnen mit der guten und der schlechten Imaginationsfähigkeit. Die TeilnehmerInnen mit guter Imaginationsfähigkeit zeigten eine geringere Aktivierung im Kleinhirn, und damit, dass sie nicht mehr das gesamte kortiko-zerebelläre System aktivieren müssen, um motorische Engramme zu rekrutieren. Auch hier gilt also, je unklarer der Bewegungsablauf und damit die Bewegungsvorstellung ist, desto stärker muss das Kleinhirn aktiviert werden. (Vgl. ebd. 2008: 1481)

Auch Lotze und Halsband führten eine ähnliche Untersuchung durch, bei der sie während der Imagination mit der Geige ein Musikstück zu spielen das neuronale Aktivierungsmuster von professionellen Geigern mit jenem von Amateur-Geigern verglichen. Sie konnten feststellen, dass bei den professionellen Musikern die zerebrale Aktivierung auf einige wenige Areale fokussiert war, während sich bei den Amateuren ein weit verbreitetes Aktivierungsmuster zeigte. Diese fokussierte Aktivierung in der SMA, im prämotorischen Kortex, im ipsilateralen Kleinhirn und in den bilateralen oberen Parietalbereichen zeigt laut Lotze und Halsband die effizientere Rekrutierung von gespeicherten sensomotorischen Engrammen während der motorischen Imagination. (Vgl. Lotze et al. 2006: 390)

Die Erkenntnisse von Guillot und Lotze/Halsband haben große theoretische und praktische Bedeutung für das motorische Lernen und für die Neurorehabilitation. Es hat sich herausgestellt, dass, wenn eine Bewegungsrepräsentation noch nicht klar und vollständig vorhanden ist, das System auf weitere vor allem gedächtnisrelevante kortikale aber auch subkortikale Bereiche wie das Kleinhirn zurückgreift, um dennoch eine korrekte Bewegung hervorbringen zu können. Denn es zeigte sich in der Studie von Guillot et al., dass die ProbandInnen mit der schlechteren Imaginationsfähigkeit bei der motorischen Ausführung nicht schlechter waren als die ProbandInnen mit der guten Imaginationsfähigkeit. (Vgl. Guillot et al. 2008: 1481) Durch die Erkenntnisse von Guillot et al. wird der Therapeutin bzw. dem Therapeuten ein indirekter Blick ins Innere des Gehirns gewährt. Sollte die Bewegungsvorstellung der Patientin bzw. des Patienten ungenau, unklar und nicht sehr lebhaft sein, ist davon auszugehen, dass es noch kein

exaktes Bewegungsengramm gibt, und dass ein umfangreicheres kortikales und subkortikales Aktivierungsfeld notwendig ist. Erleben hingegen die PatientInnen eine sehr intensive und lebendige Bewegungsvorstellung, kann die Therapeutin bzw. der Therapeut annehmen, dass es zu einer fokussierten kortikalen Aktivierung in den motorischen Arealen gekommen ist. Guillot et al. stellen die Hypothese auf, dass gerade durch das Imaginationstraining PatientInnen mit einer schlechten Vorstellungskraft diese Fähigkeit verbessern könnten und damit auf dasselbe neuronale Aktivierungsmuster kommen müssten wie Personen mit guter Imaginationsfähigkeit. Abschließend weisen Guillot et al. darauf hin, dass die motorische Imagination als therapeutisches Tool auch für die Erhaltung von gut funktionierenden Strukturen eingesetzt werden kann, um nach einer Läsion das Entstehen von pathologischen Bewegungsmustern und damit von falschen neuronalen Aktivierungskreisläufen zu verhindern. (Vgl. ebd. 2008: 1481)

Lorey et al. haben 2011 eine ähnliche fMRI-Studie wie Guillot et al. durchgeführt. Auch in diesem Fall ging es um die sogenannte ‚vividness‘ der motorischen Imagination, also um die Lebendigkeit, Klarheit, Lebhaftigkeit bzw. Deutlichkeit der motorischen Imagination. In vielen Imaginationsstudien wird die ‚vividness‘ der Imagination durch spezielle Fragebögen abgeklärt. Diese subjektiven Berichte sollen die Klarheit und die Realitätsnähe der jeweiligen Imaginationserfahrung widerspiegeln. Eine häufig geübte Kritik gegenüber diesen Untersuchungsverfahren ist ihre Subjektivität, da nur das persönliche Gefühl erhoben werde, aber kein Bezug zur Art der kortikalen Aktivierung bestünde. Jedoch schon Guillot et al. (vgl. ebd. 2008: 1471) konnten untermauern, dass es einen Zusammenhang zwischen der Qualität einer Imagination und der Art der kortikalen Aktivierung gibt. Die erlebte ‚vividness‘ einer Imagination spiegelt also wider, wie gut die neuronale Repräsentation einer bestimmten Bewegung ist. Lorey und KollegInnen interessierten sich nun dafür, ob innerhalb einer Person unterschiedlich intensive Imaginationen zu unterschiedlichen Aktivierungsmustern führen. Dazu wurde an 22 TeilnehmerInnen ein funktionelles MRI durchgeführt, während sich diese 6 verschiedene Handbewegungen vorstellen sollten, die in der notwendigen Zielgenauigkeit, in der Anzahl der Wiederholungen und im Vorhandensein oder Nicht-Vorhandensein eines Objektes variierten. Die TeilnehmerInnen wurden instruiert eine motorische Imagination zu kreieren, indem sie aufgefordert wurden, in der Vorstellung sich selbst bei der Ausführung einer Bewegung zu fühlen. Nach jedem Imaginationsdurchlauf bewerteten die TeilnehmerInnen die wahrgenommene ‚vividness‘ der jeweiligen Vorstellung mit Hilfe einer 7-Stufen Skala. (Vgl. Lorey et al. 2011: 7f.)

Lorey et al. kamen zu den gleichen Ergebnissen wie Guillot et al.. Bei einer weniger intensiven Imagination kam es zu einer umfangreicheren neuronalen Aktivierung als bei

einer sehr klaren Bewegungsvorstellung. Neben bewegungsrelevanten Arealen kam es zusätzlich zur Aktivierung im fronto-orbitalen und temporalen Lappen beider Seiten und zu einer verstärkten Aktivierung im Kleinhirn. Hingegen bei einer sehr lebhaft erlebten Imagination wurde intensiver das Herzstück der motorischen Programmierung aktiviert, also die parieto-prämotorischen Regionen. (Vgl. Lorey et al. 2011: 2)

Lorey et al. konnten also zeigen, dass es einen Zusammenhang zwischen der wahrgenommenen ‚vividness‘ der motorischen Imagination und der Aktivierung innerhalb von parieto-prämotorischen Regionen gibt, und zwar nicht nur interindividuell, so wie es Guillot et al. zeigen konnten, sondern auch intraindividuell. Das heißt, von Versuch zu Versuch kann eine Person Unterschiede in der ‚vividness‘ der Imagination und damit auch im Aktivierungsmuster aufweisen. Diese Ergebnisse verdeutlichen auch, dass subjektive Daten, die durch psychologische Bewertungsverfahren erhoben werden, klar in Zusammenhang mit objektiven Daten der neuronalen Aktivierung, erhoben mittels fMRI-Untersuchung, stehen.

Diese Erkenntnisse haben große Bedeutung für das behandelnde Therapeutenteam, denn durch die Schilderungen der aktivierten Imaginationen und durch Mimik-Veränderungen können Rückschlüsse auf die Lebhaftigkeit der Imagination und damit auf die Art der kortikalen Aktivierung gezogen werden. Lorey et al. meinen dazu treffend: „The more vivid the motor image, the higher the neural activation within motor and motor-associated areas.“ (Lorey et al. 2011: 4) Nimmt man diese Erkenntnis ernst, so muss das Ziel der TherapeutInnen darin liegen, bei den PatientInnen eine möglichst lebhafteste Imagination hervorzurufen - je lebhafter, desto intensiver die kortikale Aktivierung in bewegungsbezogenen Arealen. Diesbezüglich wird der Vorteil der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zur motorischen Imagination, die im Therapie-setting entwickelt wurde, offensichtlich. Autobiographische Erinnerungen sind Repräsentationen, die durch eine Fülle und Vielfalt an Informationen charakterisiert sind, die sehr deutlich und klar erlebt werden. Das heißt, die ‚vividness‘ bei autobiographischen Erinnerungen ist im Durchschnitt um einiges intensiver als die ‚vividness‘ einer klassischen motorischen Imagination. Es ist daher auch davon auszugehen, dass, wenn eine Patientin oder ein Patient innerhalb einer autobiographischen Erinnerung eine Bewegung sehr bewusst erlebt, es dabei zu einer intensiven und fokussierten Aktivierung in bewegungsrelevanten Arealen kommt.

Im folgenden Kapitel werden die bisherigen Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendung der motorischen Imagination als Lernmittel in der Rehabilitation dargelegt.

3.4 Die Anwendung der motorischen Imagination

Die derzeitig verfügbaren Studien bezüglich der motorischen Imagination beziehen sich zum größten Teil auf Untersuchungen an ProbandInnen oder an SportlerInnen. Dennoch gibt es einige wenige Studien, die die MI als Lernmittel bei PatientInnen untersuchten, hauptsächlich bei neurologischen PatientInnen. Diese Arbeiten können Hinweise darauf geben, wie in der Rehabilitation autobiographische Bewegungserinnerungen eingesetzt werden könnten.

Page et al. führten 2001 eine randomisierte, kontrollierte Fallserienstudie durch, die das Ziel hatte, die Durchführbarkeit und die Effizienz eines Kombinationsprogrammes von Imagination und Bewegungstherapie mit einer reinen Bewegungstherapie bei subakuten PatientInnen mit Hemiparese zu vergleichen. Page et al. gingen von der Annahme aus, dass Imagination teilweise zerstörte motorische Netzwerke aktivieren kann und dies möglicherweise zu einer Unterstützung der funktionellen Reorganisation und zu einer Beschleunigung der Funktionswiederherstellung führt. 13 subakute ambulante PatientInnen, deren Schlaganfall zwischen vier Wochen und maximal ein Jahr zurücklag, und die eine Hemiparese an der oberen Extremität mit stabilen Defiziten zeigten, nahmen an der Studie teil. Alle PatientInnen erhielten für sechs Wochen drei Mal die Woche eine einstündige Therapie von ErgotherapeutInnen und PhysiotherapeutInnen. Nach der Bewegungstherapie hörten alle PatientInnen einen zehnminütigen gesprochenen Text, der aufgezeichnet worden war. Die reine Therapiegruppe hörte dabei Informationen über Schlaganfall, während die ‚Therapie und Imaginationsgruppe‘ (TI) dabei aufgefordert wurde, sich vorzustellen, verschiedene Bewegungen auszuführen und diese imaginären Bewegungen auch zu fühlen. Die TI-Gruppe hörte zu Hause diese Aufzeichnung zusätzlich zwei Mal pro Woche. Als Messinstrumente wurden der Fugl-Meyer-Test (Assessment of Motor Recovery) und der ARA-Test (Action Research Arm Test) eingesetzt. Die randomisiert zugeteilten TeilnehmerInnen der Imaginationsgruppe zeigten deutlichere Verbesserungen als TeilnehmerInnen ohne Imaginations-einsatz. Beim Fugl-Meyer-Test konnten die TeilnehmerInnen der TI-Gruppe eine Verbesserung von 13.8 Punkten erreichen und im ARA-Test eine Verbesserung von 16.4 Punkten. Die reine Therapiegruppe erreichte eine geringe Verbesserung von 2.9 bzw. 0.7 Punkten. Damit konnte ein deutlicher Unterschied zwischen den zwei Gruppen festgestellt werden. Page et al. folgern daraus, dass die Imagination eine klinisch praktikable und kostengünstige Ergänzung zur Bewegungstherapie ist, die den Lernfortschritt im Vergleich zur reinen Bewegungstherapie erhöht. (Vgl. Page et al. 2001: 233ff.)

Um die Effektivität des Imaginationstrainings bei chronischen PatientInnen zu überprüfen, führten Page et al. 2007 eine weitere randomisierte, kontrollierte Fallserienstudie durch, die für einen 5% Signifikanzlevel und einen 69% Power Level eine passende Stichprobengröße hatte. 32 chronische SchlaganfallpatientInnen, deren Geschehen im Mittel 3.6 Jahre zurücklag, erhielten sechs Wochen lang zweimal die Woche eine 30-minütige Therapiebehandlung, während der vorwiegend Aktivitäten des täglichen Lebens geübt wurden. Die randomisiert zugeteilten TeilnehmerInnen der ‚mental practice‘ (MP)-Gruppe hörten wieder im Anschluss an die Therapie eine 30-minütige Audiokassette mit Anregungen zu gefühlten Bewegungsvorstellungen in Erster-Person-Perspektive und zwar für dieselben Handlungen, die während der Therapie geübt wurden. Die Kontrollgruppe hörte ebenfalls eine 30-minütige Audiokassette mit einem Entspannungsprogramm. Als Messinstrumente wurden wieder der ARA-Test und der Fugl-Meyer-(FM)-Test angewendet. Sowohl die behandelnden TherapeutInnen als auch die Personen, die die Bewertung durchführten, waren verblindet und es gab keine vorbestehenden Gruppenunterschiede. Wie bei der Studie mit subakuten PatientInnen zeigte sich auch hier ein deutlicher Unterschied zwischen mental-übender Gruppe und der Kontrollgruppe, denn die mental-übende Gruppe erzielte im Mittel eine Verbesserung von 7.81 Punkten beim ARA-Test und 6.72 Punkten beim FM-Test. Hingegen die Kontrollgruppe erreichte im Mittel eine geringe Veränderung von 0.44 und 1.0 Punkten. Durch das mentale Üben konnte also eine signifikante Reduktion der Armdefizite und eine signifikante Steigerung der Armfunktion (für beide $P < 0.0001$) erreicht werden. (Vgl. Page et al. 2007: 1293ff.)

Sharma et al. führten 2006 eine systematische Review durch, um die Durchführbarkeit und den möglichen Nutzen der motorischen Imagination als Lernmittel bei SchlaganfallpatientInnen zu überprüfen. Die motivierenden Ergebnisse bei gesunden ProbandInnen, die zeigten, dass die motorische Imagination ein vergleichbares kortikales Aktivierungsmuster in Gang setzt wie die aktive Bewegung, waren der Auslöser für die Überlegungen der AutorInnen. Die motorische Imagination könnte eine faszinierende neue "Hintertür"-Methode sein, um einen Zugang zum motorischen System zu ermöglichen und um die Wiederherstellung in allen Rehabilitationsphasen nach einem Schlaganfall zu fördern. Gerade in Phasen, wo PatientInnen zu keiner oder nur minimalen aktiven Bewegungen fähig sind, könnte laut Sharma et al. die motorische Imagination ein Ersatz für die ausgeführte Bewegung sein und damit ein Mittel, um das motorische Netzwerk zu aktivieren. (Vgl. Sharma et al. 2006: 1942)

Um die Effektivität der motorischen Imagination als Lernmittel zu untersuchen, wurde im Suchportal Pubmed nach Studien gesucht, die die Wirkung eines motorischen Ima-

ginationstrainings auf die Wiederherstellung der Funktion der oberen Extremität nach Schlaganfall erforschten. Trotz einer großen Anzahl an Arbeiten fanden Sharma et al. nur fünf passende Studien. Sie stellten fest, dass innerhalb der Studien einerseits die Zeit seit dem Schlaganfall sehr variierte, andererseits Läsionsort und klinische Einstufungen der PatientInnen spärlich bis gar nicht angegeben waren und auch motorische Funktionen nicht immer ausreichend beschrieben wurden. Aus diesem Grund können keine allgemein gültigen Schlussfolgerungen gezogen werden. Sharma et al. betonen jedoch, dass alle durchleuchtenden Studien zu dem Schluss kamen, dass motorisches Imaginationstraining ermutigende Effekte auf motorische Funktionen im Vergleich zu den Kontrollbedingungen hat (Vgl. Sharma et al. 2006: 1945) und, dass motorisches Imaginationstraining eine vielversprechende Intervention ist, um die motorische Funktion nach einem Schlaganfall zu verbessern. (Vgl. ebd. 2006: 1948)

Auch Lotze und Halsband liefern in ihrer Arbeit einen Überblick über die derzeitigen Erkenntnisse hinsichtlich des mentalen Training und der Anwendung von motorischer Imagination bei Athleten, Musikern und während der Rehabilitation (vgl. Lotze/Halsband 2006: 386).

Zur Kernfrage ihrer Arbeit, also welchen Effekt das mentale Training mit motorischer Imagination hat und wer davon profitieren kann, meinen Lotze und Halsband, dass mentales Üben sowohl bei Sportlern als auch bei Musikern die Performance verbessert und dass das mentale Training eine ergänzende Technik zum ausführenden Training sein kann. Diese Überlegungen wären auch für die Rehabilitation interessant. Sie führen weiter aus, dass das mentale Training nicht als Ersatz für das ausführende Training benutzt werden sollte, denn vergleicht man gesunde Personen, die nur ein ausführendes Training absolvieren, mit Personen, die ein rein mentales Training durchführen, so ist der Trainingseffekt bei der ausführenden Gruppe größer. Allerdings erreicht die mentale Gruppe, sobald sie zusätzlich ein ausführendes Training absolviert, schneller den entsprechenden Qualitätslevel in der Ausführung der Bewegung. Das heißt, die Kombination von mentalen und ausführenden Training wäre sowohl bei Sportlern als auch bei Musikern ideal. Lotze und Halsband berichten zudem von Untersuchungen, die gezeigt haben, dass, je besser die Qualität der Imagination ist - gemessen auch über Puls, Atmung, Hautleitfähigkeit -, desto besser ist die Performance. „The better the imaging the better the training effect of mental practice,“ (ebd. 2006: 390), wie sie treffend meinen.

Lotze und Halsband meinen, dass auch in der Rehabilitation eine Kombination von mentalem und ausführendem Training einen zusätzlichen Trainingseffekt ermöglichen

würde. Man könnte das Training früher, auch schon im plegischen Zustand, in dem PatientInnen also unfähig sind Willkürbewegungen zu generieren, beginnen und es stünde eine Trainingsmethode zu Verfügung, die die PatientInnen nach einigen Instruktionen auch alleine durchführen könnten. Sofern noch keine aktiven Bewegungen möglich sind und dementsprechend das somatosensorische Feedback fehlt, das ansonsten durch das ausführende Training zustande kommen würde, empfehlen Lotze und Halsband ein Feedback über geführte Bewegungen. Sie meinen, Bewegungsbeobachtung, somatosensorisches Feedback und Bewegungsimaginationen haben einen zusätzlichen Effekt für das Training. (Vgl. ebd. 2006: 389f.)

Lotze und Halsband berichten auch von Untersuchungen an 9 QuerschnittpatientInnen, wovon 6 bei Bewegungsimagination eine M1-Aktivierung und 8 eine Aktivierung im SMA und im prämotorischen Kortex zeigten. Sie schließen daraus, dass höchstwahrscheinlich trotz einer Deafferentation die Bewegungsrepräsentation erhalten bleibt. Einschränkend erläutern sie jedoch, dass bei den meisten PatientInnen, die für Jahrzehnte eine Rückenmarksdurchtrennung haben, der M1 bei Imagination nicht mehr aktiviert werden konnte, obwohl das M1-Areal beim realen Bewegungsversuch aktiviert wurde. Lotze und Halsband schließen daraus, dass der Zugriff auf den primär motorischen Kortex während der MI nur dann möglich ist, wenn eine aktuelle kinästhetische Vorstellung für die Extremitäten-Bewegung lebhaft vorhanden und noch nicht verblasst ist. (Vgl. ebd. 2006: 391f.)

Abschließend meinen Lotze und Halsband, dass Imagination einerseits für die Forschung von großem Nutzen sein kann, da mit Hilfe der Imagination Bewegungsabläufe wie Gehen oder Laufen bildgebend untersucht werden können, was sonst nicht möglich wäre. Imagination könnte darüber hinaus das Bewegungstraining bei gesunden ProbandInnen und bei PatientInnen verbessern. Hinsichtlich der Rehabilitation meinen die AutorInnen, dass das mentale Üben bei PatientInnen mit unterschiedlichen Bewegungsdefiziten untersucht werden sollte, damit Strategien für selektive Therapien mit mentalen Übungen entwickelt werden können. (Vgl. Lotze/Halsband 2006: 392).

Die Ergebnisse dieser Studien sind sehr ermutigend und können daher als Aufforderung verstanden werden, die motorische Imagination routinemäßig in der Rehabilitation als zusätzliches Lernmittel einzusetzen. Dennoch ist die Heterogenität der Studien, wie auch Sharma et al. (vgl. ebd. 2006: 1945) anmerken, so groß, dass noch keine abschließenden Rückschlüsse gezogen werden können. Eine Erkenntnis zieht sich jedoch durch alle Studien: je lebhafter und intensiver eine motorische Imagination ist, desto intensiver werden die bewegungsrelevanten Areale im Kortex aktiviert und desto

effektiver wirkt die motorische Imagination als Lernmittel. Doch gerade in diesem Bereich weisen gerade die PatientInnenstudien häufig eine Lücke auf, denn es wird – im Unterschied zu ProbandInnenstudien - meist nicht kontrolliert, wie lebhaft und vor allem wie exakt die Bewegungsvorstellung der PatientInnen ist. Denn die praktische Anwendung der MI bei neurologischen PatientInnen zeigt oft, dass die Bewegungsvorstellung für die hemiplegische Körperseite anders ist als die Bewegungsimagination für die gesunde Seite, und dass die veränderten Bewegungsvorstellungen eben jene Pathologien aufweisen, die die PatientInnen bei der realen Bewegungsausführung zeigen. Dies ist auch nicht weiter verwunderlich, hat sich doch herausgestellt, dass die MI zumindest ein Teil der Bewegungsplanung ist. Durch die Läsion ist häufig die Bewegungsprogrammierung gestört oder zumindest verändert, wodurch auch die Bewegungsausführung anders abläuft als auf der gesunden Seite. Je häufiger PatientInnen Bewegungen auf der hemiplegischen Körperseite pathologisch ausführen, desto mehr festigt sich diese pathologische Bewegungsprogrammierung und damit auch die pathologische Bewegungsvorstellung. Werden nun beim mentalen Training PatientInnen aufgefordert, sich eine bestimmte Bewegung auf der betroffenen Seite vorzustellen, ohne dass kontrolliert wird, ob die zu behandelnde Person eine korrekte Imagination aktiviert, ist die Wahrscheinlichkeit groß, dass sich die jeweilige Patientin bzw. der jeweilige Patient genau jene Bewegung vorstellt, die sie bzw. er auch in der Realität ausführt, nämlich eine Bewegung mit pathologischen Elementen. Jedoch nur wenn ein physiologisches Bewegungsmuster imaginiert wird, hat die Imagination einen Lerneffekt. Die Bestrebungen müssen also dahin gehen, eine Strategie zu entwickeln, die es den PatientInnen ermöglicht, eine korrekte und lebhaftige Imagination zu aktivieren. Die Anwendung der autobiographischen Erinnerung könnte eine solche Strategie sein. Anstatt die PatientInnen aufzufordern, sich eine bestimmte Bewegung, abstrakt und ohne weiteren Bezug vorzustellen, könnte man sie auffordern, sich an eine besondere (und daher erinnerbare) Situation vor ihrer Erkankung zu erinnern, in der sie besagte Bewegung ausgeführt haben. Wenn die zu behandelnde Person eine passende persönliche Episode findet, dann ist dies meist eine sehr lebhaftige Erinnerung, die keine pathologischen Bewegungselemente enthält – genau jene Imagination, die beim mentalen Training zur Verbesserung beiträgt.

In kommenden Kapitel werden die gesammelten die Ergebnisse aus der Forschungsdomäne „Gedächtnis“ und der Forschungsdomäne „motorische Imagination“ gegenübergestellt, Gemeinsamkeiten herausgearbeitet und relevante Elemente für die mögliche Anwendung der autobiographischen Erinnerung als Lernmittel erläutert.

4 Schlussfolgerungen aus der Literaturrecherche

In Ermangelung einer verbindenden Studie zwischen den Themen „motorische Imagination“ und „autobiographische Erinnerung“ werden nun zu Beginn dieses Kapitels die Ergebnisse unterschiedlicher Studien hinsichtlich der neuronalen Aktivierung während einer motorischen Imagination und einer autobiographischen Erinnerung verglichen und Unterschiede aber auch Gemeinsamkeiten herausgearbeitet. Somit kann die erste Fragestellung dieser Masterarbeit, nämlich inwiefern unterscheidet sich die neuronale Aktivierung bei der mentalen Repräsentation einer Bewegung innerhalb einer autobiographischen Erinnerung von der neuronalen Aktivierung bei einer herkömmlichen motorischen Imagination beantwortet werden. Im Anschluss werden die Vorteile, aber auch die möglichen Schwierigkeiten und damit Nachteile der autobiographischen Erinnerung hinsichtlich der Benutzung als motorisches Lernmittel kritisch beleuchtet und diskutiert. Dieser Abschnitt stellt die Beantwortung der zweiten Fragestellung dar. Hinsichtlich der dritten Fragestellung, nämlich welche Merkmale muss eine autobiographische Erinnerung haben, damit sie für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte, werden erste wichtige Elemente im ersten Abschnitt dieses Kapitels erörtert und die abschließende Beantwortung im zweiten Abschnitt vorgenommen. Im dritten Abschnitt dieses Kapitels werden drei Lernmodelle vorgestellt, die die Anwendung der autobiographischen Erinnerung aus psychologischer Sicht beleuchten. Den Abschluss dieses Kapitels bildet die Vorstellung eines Modells für die praktische Anwendung der autobiographischen Erinnerung als Lernmittel.

4.1 Neuronaler Vergleich: Imagination / autobiographische Erinnerung

Sowohl in der Forschungsdomäne „motorische Imagination“ als auch in der Forschungsdomäne „autobiographisches Gedächtnis“ hat die Zahl der Studien einen Level erreicht, der es möglich macht, eine Karte hinsichtlich der neuronalen Aktivierung bei motorischer Imagination bzw. bei einer autobiographischen Erinnerung zu erstellen. Diese Karten können aber nur Modelle darstellen, da in beiden Forschungsdomänen klar wurde, dass es Faktoren gibt, die einen modulierenden Effekt auf die neuronale Aktivität haben und es konnte in beiden Forschungsdomänen noch nicht zur Gänze geklärt werden, in welchem Ausmaß und in welche Richtung diese Variablen die Gehirnaktivität beeinflussen. Es wird daher weitere Forschungsarbeit notwendig sein, um den Einfluss dieser einzelnen Variablen noch genauer bestimmen zu können. Zu den bisher näher beleuchteten beeinflussenden Variablen zählen innerhalb der For-

schungsdomäne „motorische Imagination“ die Art der Bewegung, die Modalität der Imagination (visuell oder kinästhetisch), die Art der Imaginationsaufgabe und auch die Instruktionen, die den ProbandInnen bzw. PatientInnen gegeben werden. Innerhalb der Forschungsdomäne „autobiographisches Gedächtnis“ wurden als beeinflussende Faktoren die persönliche Bedeutung, die Anzahl der Details, die „vividness“ und die Emotionalität der Erinnerung, als auch das Alter der Erinnerung identifiziert. (Vgl. Hètu et al. 2013: 946; Svoboda et al. 2006: 2189)

Besonders die Erforschung des autobiographischen Gedächtnisses stellt die Wissenschaft vor große methodologische Herausforderungen, denn es sollen persönlich erlebte Ereignisse wiedererinnert werden. Dies erfordert das subjektive Wiedererleben von Emotionen und von sensorischen Merkmalen des Ereignisses, die in der Laborsituation während der fMRI-Aufnahme nicht immer leicht re-aktivierbar sind (vgl. Svoboda et al. 2006: 2190). Dies mag einer der Gründe sein, weshalb es doch deutliche Unterschiede im, von Svoboda et al. vorgestellten, primären, sekundären und tertiären Netzwerk des autobiographischen Gedächtnisses gibt. Ein weiterer Grund für diese Unterschiede liegt möglicherweise im Inhalt der aktivierten autobiographischen Erinnerung. Wenn man sich z.B. an eine Tiefschneeabfahrt oder an ein Musikkonzert oder an einen schönen Sonnenuntergang zurückerinnert, so sind völlig unterschiedliche sensorische Informationen im Vordergrund des Bewusstseins, die dementsprechend durch völlig unterschiedliche sensorische Assoziationsareale aktiviert werden.

Ein weiterer wichtiger Faktor bei der Beurteilung dieser neuronalen Netzwerke sind die Referenzbedingungen. Um beurteilen zu können, welches neuronale Netzwerk für die Aktivierung einer motorischen Imagination bzw. einer autobiographischen Erinnerung zuständig ist, benötigt es Referenzbedingungen, die das Gehirn mit anderen Aufgaben konfrontiert, durch die der Unterschied zwischen Zielaufgabe und Referenzaufgabe ausgemacht werden kann. Daher muss sehr genau überlegt werden, welche Referenzaufgabe gewählt wird, denn wenn Referenz- und Zielaufgabe ähnliche Prozesse verlangen, so kann es passieren, dass bestimmte Areale sowohl bei der Referenzaufgabe als auch bei der Zielaufgabe aktiviert werden, und dass bei der Subtraktionsanalyse die Bewertung dieser Areale herausgenommen wird, obwohl sie vielleicht für die autobiographische Erinnerung bzw. für die motorische Imagination relevante Areale wären (vgl. Svoboda et al. 2006: 2202f.).

Auch das methodologische Analyseverfahren ist bei der Interpretation der neuronalen Netzwerke zu bedenken. Beide Meta-Analyse-Studien, die in dieser Arbeit ausgewertet wurden, verwendeten die Gesamthirnanalyse, die den Vorteil hat, Aktivitäten im ge-

samten Gehirn erkunden zu können. Sie hat jedoch den Nachteil, weniger sensitiv als die ROI (regions of interest) Analyse zu sein. (Vgl. Héту et al. 2013: 943) Aus diesem Grund wurden für diese Arbeit neben den Gesamthirnanalyse-Studien auch Studien verwertet, die einzelne Gehirnareale im Detail analysierten.

Die Ergebnisse beider Forschungsdomänen führten zudem zu der Erkenntnis, dass sowohl die Aktivierung einer motorischen Imagination als auch der Abruf einer autobiographischen Erinnerung weniger durch die isolierte Arbeit einzelner Gehirnareale möglich wird, sondern durch ein neuronales Netzwerk hervorgebracht wird (vgl. Svoboda et al. 2006: 2202; Héту et al. 2013: 942). Die Gemeinsamkeit dieser Erkenntnis ist nicht weiter verwunderlich, denn eine motorische Imagination ist aus dem Gedächtnis „hergeholt“ und kann dementsprechend als Erinnerung definiert werden und die autobiographische Erinnerung ist eine erlebte Imagination, die, wenn sie auch Bewegungskomponenten enthält, motorische Imagination genannt werden kann - auch wenn die einzelnen Forschungsdomänen nie die jeweils andere Bezeichnung benutzt haben.

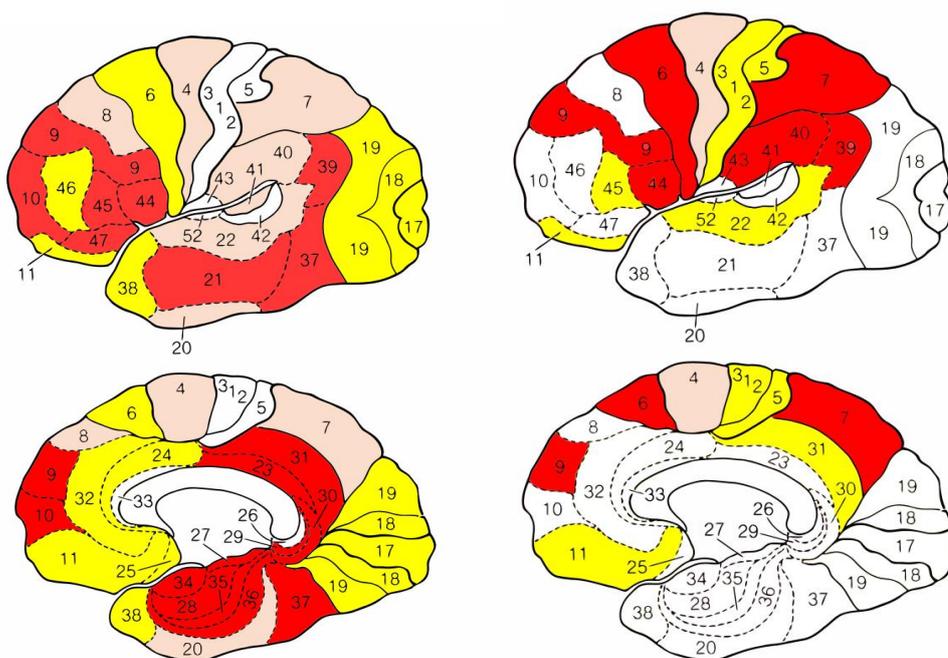


Abbildung 7: Vergleich der beiden neuronalen Netzwerke: autobiographische Erinnerung (li) - motorische Imagination (re)

Vergleicht man die beiden neuronalen Aktivierungskarten, so fällt sofort auf, dass das neuronale Netzwerk der autobiographischen Erinnerung deutlich umfangreicher ist. Dieses großflächige Aktivierungsmuster ist bedingt durch die Interaktion verschiedener Prozesse, die eigentümlich für das phänomenologische Wiedererleben sind. Dadurch wird verständlich, dass nur bei einer autobiographischen Erinnerung der laterale prä-

rontale Kortex, der Temporallappen mit dem Hippocampus und der retrospleniale Kortex aktiviert werden, die für den Abruf einer Erinnerung des Erlebten zuständig sind. Da autobiographische Erinnerungen im Unterschied zu klassisch motorischen Imaginationen gewöhnlicherweise stark emotional gefärbt sind, wird erklärbar, dass nur bei der autobiographischen Erinnerung emotionsspezifische Areale aktiviert werden, wie Bereiche des limbischen Systems, z.B. der Gyrus zinguli, der mediale präfrontale Kortex (zum Teil auch bei motorische Imagination aktiv) und vor allem die Amygdala, die eine entscheidende Rolle bei der Verarbeitung von Emotionen spielt. (Vgl. Svoboda et al. 2006: 2195; Botzung et al. 2010: 2132)

Die entscheidende Frage ist nun, ob eine autobiographische Erinnerung auch bewegungsrelevante Areale aktiviert, denn wenn das autobiographische Gedächtnis für den motorischen Lernprozess genutzt werden soll, wäre diese Aktivierung eine notwendige Voraussetzung. Vergleicht man die beiden neuronalen Karten von Svoboda et al. und Héту et al., so erkennt man, dass Teile des präfrontalen Kortex (die Area 9 und die Area 44) und des prämotorischen Kortex (Area 6 – beim autobiographischen Gedächtnis zumindest im „sekundären“ neuronalen Netzwerk) gleichermaßen aktiviert werden. Man nimmt an, dass diese Areale bei der Planung und Vorbereitung einer motorischen Handlung eine Rolle spielen (vgl. Héту et al. 2013: 941; Svoboda et al. 2006: 2193).

Weitere wichtige Gehirnregionen für die Bewegungsplanung sind Bereiche im Parietallappen, wie der Lobus parietalis inferior, der Lobus parietalis superior (einschließlich Precuneus) und der Gyrus supramarginalis (gesamt BA 7, 39, 40). Dieser Bereich stellt einen wichtigen Teil für die Bewegungsplanung dar, da er ein wichtiger sensorischer Integrationsknotenpunkt ist, der verschiedene motorische Repräsentationen enthält (vgl. Héту et al. 2013: 942) und der verschiedenen Gehirnarealen, wie dem prämotorischen Kortex oder dem motorischen Kortex, bewegungsrelevante Informationen liefert (vgl. Héту et al. 2013: 942). Diese Areale werden bei der motorischen Imagination konstant aktiviert. Bei der autobiographischen Erinnerung werden diese Areale nach Svoboda et al. nur zum „tertiären“ Netzwerk gezählt, mit Ausnahme der Area 39 (Gyrus angularis, heteromodaler Assoziationskortex), die zum primären Netzwerk gehört. Gründe dafür könnten in der Art der angewendeten Hinweisreize liegen. Da in der Forschungsdomäne „autobiographische Erinnerung“ in der Regel den motorischen Lernprozessen keine Beachtung geschenkt wird, werden üblicherweise zum Auslösen einer Erinnerung keine Hinweisreize gegeben, die eine Erinnerung mit Bewegungselementen auslösen. Anders gestaltete sich dies bei der schon erwähnten Studie von Botzung et al., bei der sich „Hardcorefans“ einer Basketballmannschaft an bestimmte Ballwürfe während eines Spiels ihrer Mannschaft erinnern sollten. Bei diesen Erinnerungen sind

Bewegung und Details der Bewegungsausführung im Hauptfokus der Erinnerung. Und tatsächlich kam es bei diesen Erinnerungen zur Aktivierung motorisch relevanter Areale, nämlich zur Aktivierung im temporoparietalen Übergang (BA 39/40), im Precuneus (BA 7), im Cuneus (BA 18) und im hinteren zingulären Kortex (BA 30). Zudem kam es neben den sonstigen Aktivierungen bei autobiographischen Erinnerungen noch zu einer Aktivierung der, zum motorischen Assoziationskortex gehörenden, Area 8, die im präfrontalen Kortex liegt, sowie im sensorischen (BA 3, 5) wie motorischen Kortex (BA 4). Darüber hinaus kam es zu Aktivierungen im Kleinhirn und in Basalganglienkerneln, wie dem Nucleus Ruber, dem Globus Pallidus und dem Putamen. (Vgl. Botzung et al. 2010: 2133) Alle diese Bereiche spielen eine große Rolle bei der Planung und Durchführung einer Bewegung. Insofern kann man sagen, dass diese ProbandInnen sowohl eine autobiographische Erinnerung als auch eine motorische Imagination aktivierten. Die Aktivierung in den bewegungsrelevanten Arealen wäre wahrscheinlich sogar noch deutlicher gewesen, hätten sich die Teilnehmer an eigene Ballwürfe erinnert und nicht nur an Ballwürfe, die sie von anderen Personen gesehen haben.

Bei der sehr bewegungsbezogenen Studie von Botzung et al. kam es auch zu Aktivierung im primär motorischen Kortex (BA 4) (vgl. ebd. 2010: 2133). Die Aktivierung dieses Areals wird sowohl bei der autobiographischen Erinnerung nur zum „tertiären“ neuronalen Netzwerk gezählt (Svoboda et al. 2006: 2193), als auch bei der motorischen Imagination konnten Héту et al. nur bei 18% der von ihnen untersuchten Studien ein Aktivierung im primär motorischen Kortex feststellen. Wie schon in Kapitel 3.2.2 erläutert, könnte es für das nicht konstante Auffinden einer M1-Aktivierung technische wie methodologische Ursachen geben. Wie Héту et al. erläutern, bedeutet ein häufiges Nicht-Auffinden einer Aktivierung im primär motorischen Kortex nicht, dass dieses Areal während einer motorischen Imagination bzw. einer „motorischen“ Erinnerung nicht involviert wird, sondern dass die Aktivierung des primär motorischen Kortex derzeit nicht durchgehend nachweisbar ist (vgl. Héту et al. 2013: 943). Der Zugriff auf den primär motorischen Kortex während einer motorischen Imagination bzw. einer autobiographischen Erinnerung scheint zudem dann leichter möglich, wenn eine lebhaftere, kinästhetische Imagination bzw. Erinnerung aktiviert wird (vgl. Lotze et al. 2006: 392).

Auffallend ist zudem, dass im von Svoboda et al. aufgestellten neuronalen Netzwerk der autobiographischen Erinnerung der primär sensorische Kortex weder im primären, noch im sekundären noch im tertiären Netzwerk aufscheint (vgl. Svoboda et al. 2013: 2193). Hingegen konnte in der Meta-Analyse-Studie von Héту et al. bei einer motorischen Imagination eine Aktivierung im primär sensorischen Kortex festgestellt werden, zwar nicht konstant in allen Studien, aber doch immer wieder, sodass es vergleichbar

mit dem von Svoboda et al. definierten sekundären Netzwerk ist. Ein Grund für das Nicht-Auffinden einer Aktivierung im primär sensorischen Kortex bei autobiographischen Erinnerungen könnte darin liegen, dass das autobiographische Gedächtnis schon hoch integrierte und assoziative Informationen benutzt, und weniger Informationen, die durch die direkte Verarbeitung von externen Reizen entstehen. Andererseits spricht die Untersuchung von Botzung et al. gegen diese Vermutung, denn in ihrer Studie konnte eine Aktivierung sowohl des primär sensorischen Kortex (BA 3) als auch des sekundär sensorische Kortex (BA 5) nachgewiesen werden (vgl. Botzung et al. 2010: 2133). Liegt die Hauptaufmerksamkeit einer autobiographischen Erinnerung auf Bewegungselementen, scheinen demnach auch Informationen hinsichtlich des Bewegungsgefühls im Vordergrund zu stehen, und zwar sowohl schon höher verarbeitete sensorische Informationen aus den Assoziationsarealen, als auch Basisinformationen bezüglich des Körpergefühls aus dem primär sensorischen Kortex.

Auch die Wertigkeit einer Erinnerung hat sich als beeinflussende Variable auf das neuronale Aktivierungsmuster herausgestellt. Wie Botzung et al. zeigen konnten, wird bei positiv bewerteten Erinnerungen das fronto-zingulär-parietale Netzwerk noch stärker aktiviert als bei negativ bewerteten Erinnerungen. Genau jene Areale, die für die Bewegungsplanung notwendig sind, werden dabei besonders stark aktiviert, nämlich der prämotorische Kortex (BA 6), der obere präfrontale Kortex (BA 9), sowie der sensorische Kortex (BA 3) und der untere parietale Lobus (BA 40), sowie zusätzlich der vordere Gyrus zinguli (BA 24), wahrscheinlich wegen der emotionalen Komponente der Erinnerung. Die Aktivierung dieses Netzwerkes schreiben die AutorInnen der möglichen Aktivierung von sensomotorischen kortikalen Repräsentationen zu. Durch diese Arbeit konnten die Erinnerungsfunktionen der Amygdala und des Hippocampus bestätigt werden, aber zudem wurde erkannt, dass bei autobiographischen Erinnerungen, die gewisse Bewegungskomponenten miteinschließen, ein ausgedehntes sozial-kognitives und sensomotorisches Netzwerk aktiviert wird. (Vgl. Botzung et al. 2010: 2135f.)

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine autobiographische Erinnerung ein sehr umfangreiches neuronales Netzwerk aktiviert, das bedingt durch den hohen Vernetzungsgrad den Zugriff auf viele Repräsentationen gestattet. Autobiographische Erinnerungen aktivieren in jedem Fall wichtige bewegungsrelevante Areale, wie Teile des präfrontalen (BA 9, 44) und des prämotorischen (BA 6) Kortex und das Kleinhirn (vgl. Svoboda et al. 2006: 2193). Weitere bewegungsrelevante Areale (im Parietallappen: BA 3, 5, 39, 40, 7; im Frontallappen BA 4; Basalganglien; Kleinhirn (vgl. Botzung et al. 2010: 2133)) werden nur dann im ausreichenden Maße aktiviert, wenn auch die Abrufreize auf die Aktivierung einer bewegungsrelevanten Erinnerung abzielen.

Ausgehend von der Analyse der neuronalen Aktivierung kann daher festgestellt werden, dass die autobiographische Erinnerung für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte, vorausgesetzt, die aktivierte autobiographische Erinnerung enthält gewisse Bewegungskomponenten. Dies ist einer der wichtigsten Aspekte hinsichtlich der dritten Forschungsfrage, nämlich welche Merkmale eine autobiographische Erinnerung haben muss, damit sie für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte.

Das folgende Kapitel erörtert die Vorteile und auch die möglichen Nachteile der autobiographischen Erinnerung hinsichtlich des motorischen Lernprozesses und klärt damit die zweite Fragestellung.

4.2 Vor- und Nachteile der autobiographischen Erinnerung

Forschungsarbeiten bezüglich der motorischen Imagination haben gezeigt, dass es eine Chronometrie zwischen vorgestellter und ausgeführter Handlung gibt (Decety et al. 1989:37) und dass das Hervorrufen einer motorischen Imagination nicht nur zu Veränderungen im vegetativen Nervensystem führt (vgl. Decety et al. 1993: 561), sondern auch zu Veränderungen auf peripherer Ebene (Muskelkraft) (vgl. Yue & Cole 1992: 1117f.; Ranganathan et al. 2004: 954) und auf zentraler Ebene (Pascual-Leone et al. 1995: 1041). Zudem haben viele Forschungsarbeiten belegt, dass die motorische Imagination ein identisches bzw. ähnliches neuronales Netzwerk aktiviert, wie die reale Ausführung der Bewegung (vgl. Porro et al. 1996: 7696; Hetú et al. 2013: 946). Die oben genannten Effekte und die Parallelität im Aktivierungsmuster sind bei kinästhetisch (vgl. Stinear et al. 2006: 163; Guillot et al. 2009: 2169) und lebendig erlebten (vgl. Guillot 2008: 1478; Lorey et al. 2011: 2) motorischen Imaginationen ausgeprägter. Zudem konnte in einigen wenigen Studien gezeigt werden, dass der Einsatz der motorischen Imagination auch bei PatientInnen einen positiven Effekt zeigt und dass die motorische Imagination eine vielversprechende Intervention darstellt, sodass sie in der Rehabilitation genutzt werden sollte (vgl. Page et al. 2001: 233ff.; Page et al. 2007: 1293ff.; Sharma et al. 2006: 1948; Lotze & Halsband 2006: 389f.).

Demnach könnte man meinen, dass man sich auf die herkömmliche motorische Imagination beschränken kann und dass der Einsatz der autobiographischen Erinnerung als Lernmittel nicht notwendig ist. Dennoch gibt es Vorteile, die den Einsatz der autobiographischen Erinnerung rechtfertigen und sinnvoll erscheinen lassen. Im Folgenden werden nicht nur diese Vorteile erläutert, sondern auch mögliche Schwierigkeiten, und damit Nachteile, bei der Anwendung der autobiographischen Erinnerung als Lernmittel diskutiert.

Die Merkmale, die die autobiographische Erinnerung charakterisieren, erweisen sich schon als Vorteil gegenüber der herkömmlichen motorischen Imagination. Autobiographische Erinnerungen sind durch ein subjektives Ich-Erleben gekennzeichnet (vgl. Svoboda 2006: 2203). Dies hat große funktionelle Bedeutung, denn nur, wenn man die erinnerte Situation mit einem Ich-Bezug erlebt, wird man die motorische Fertigkeit verändern können. Auch motorische Imaginationen im herkömmlichen Sinne sollten einen Ich-Bezug haben, wenn es gelingt eine kinästhetische motorische Imagination zu aktivieren (vgl. Decety 1996: 87). Die Erfahrung zeigt aber, dass PatientInnen häufig eine rein visuelle Imagination bilden, die keine gefühlten, körperlichen Komponenten enthält. Diese Imagination aktiviert zu wenig bewegungsrelevante Areale im ZNS (vgl. Guillot et al. 2009: 2163). Die Schilderung eines Patienten erläutert recht anschaulich die Problematik, eine wirklich gefühlte und korrekte Imagination bilden zu können: „Ja, als Bild kann ich mir die Bewegung (Unterarm-Supination) recht gut vorstellen, aber als gefühltes Bild spüre ich dabei immer die Verkrampfung der Finger.“ Als visuelle Imagination (ohne Ich-Bezug) gelingt es diesem Patienten eine physiologische Bewegung zu sehen, so wie er es auf seiner gesunden Körperseite gesehen hat. Wenn er jedoch versucht, eine, in Erster-Person-Perspektive gefühlte, motorische Imagination zu aktivieren, dann kommt es zur Aktivierung jenes Bewegungsprogrammes, das er auch in der Realität zeigt, nämlich zu abnormen Irradiationen im Bereich der Fingerflexoren bei der aktiven Supinationsbewegung. Das ist auch verständlich, denn aus dem Gedächtnis werden am wahrscheinlichsten jene Elemente abgerufen, die vor kurzer Zeit aktiviert wurden. Wenn also PatientInnen, die gehäuft pathologische Bewegungsmuster aktivieren bzw. teilweise schon automatisiert haben, aufgefordert werden, sich eine Bewegung auf der betroffenen Seite vorzustellen, dann wird mit großer Wahrscheinlichkeit das unmittelbar spontan zur Verfügung stehende pathologische Bewegungsprogramm aktiviert und somit die pathologische „Imagination“ der Bewegung verstärkt. In den autobiographischen Erinnerungen sind die Bewegungsabläufe aber noch korrekt gespeichert und so wird es verständlich, wieso die Supinationsbewegung, um auf das Beispiel von vorhin zurückzukommen, korrekt vorstellbar war, als der Patient daran dachte, wie er eine besondere Videokassette in den Videorekorder schob, um sich das Video anzuschauen. Diese Situation war für ihn sehr emotional, da das Video seinen Sohn beim Fußballspielen zeigte. Die in dieser Situation notwendige Supinationsbewegung konnte er sich als flüssige Bewegung ohne Verkrampfung der Finger vorstellen. Das heißt, bei PatientInnen enthalten herkömmliche motorische Imaginationen häufig pathologische Elemente, während autobiographische Erinnerungen das Vorstellen von physiologischen Bewegungen ermöglichen. Dieser Unterschied stellt einen der größten

Vorteile der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zur herkömmlichen motorischen Imagination dar.

Auch ein weiteres Merkmal der autobiographischen Erinnerung kann sich als vorteilhaft für den Lernprozess erweisen: autobiographische Erinnerungen sind autoegetisch, d.h., man erinnert sich nicht nur, sondern man ist sich auch dessen bewusst, dass man sich erinnert (vgl. Markowitsch 2005: 11). PatientInnen können jederzeit bewusst an das Ereignis denken. Sie haben es in der Hand, wann sie diese Hilfe benutzen. Sie sind dabei völlig unabhängig von der Hilfe des Therapeuten bzw. der Therapeutin, denn diese phänomenologisch reiche und strukturierte Erinnerung, die korrekte Bewegungselemente enthält, steckt in ihnen. Bei der klassischen motorischen Imagination ist das insofern oft anders, da PatientInnen, wie oben berichtet, oft Schwierigkeiten haben, eine korrekte motorische Imagination zu aktivieren. Daher benötigen sie oft die Hilfe des Therapeuten bzw. der Therapeutin, um die pathologische Imagination in eine korrekte Vorstellung umzuwandeln. Mit der autobiographischen Erinnerung steht den PatientInnen also immer eine Lern- und Bewegungshilfe zur Verfügung.

Ein weiterer Vorteil der autobiographischen Erinnerung ist ihre hohe Emotionalität, denn diese hat große Bedeutung für den Erinnerungsprozess und damit für das Lernen. „Lernen und Erinnerung (sind) wesentlich an Emotionen gebunden“ (Markowitsch 2002a: 27), da alle Informationen, die beim ursprünglichen Erleben von Emotionen begleitet sind, einen besonderen Stellenwert bekommen und dadurch leichter erinnerbar sind, auch Informationen, die in der ursprünglichen Situation nicht bewusst erlebt wurden, wie z.B. die Supinationsbewegung beim Einschieben der Videokassette. Durch die Amygdala-Tätigkeit (vgl. Cabeza 2007: 220) und durch die besondere Verarbeitung der Emotionen mithilfe des basolateralen Kreislaufes (vgl. Markowitsch 2002a: 23) können autobiographische Erinnerungen immer wieder emotional erlebt werden. Es kommt dabei zu einem intensiven Wiedererlebens-Gefühl (vgl. Pohl 2007: 45). Dieses deutliche Wiedererleben hilft der Erinnerung und damit dem motorischen Lernprozess. PatientInnen „vergessen“ sehr schnell, wie sich ein normaler Bewegungsablauf anfühlt, da diese Erinnerung durch neue Erfahrungen, eben pathologische Bewegungsabläufe, in den Hintergrund gedrängt werden. Dadurch haben PatientInnen oft das Gefühl, die korrekte Bewegung vergessen zu haben. In Wahrheit ist diese Erinnerung nach wie vor im Gedächtnis verankert, jedoch von anderen, jüngeren Gedächtnisinhalten überlagert. Dank der hohen Emotionalität autobiographischer Erinnerungen werden diese alten Erinnerungen und damit auch das korrekte Bewegungsgefühl leichter abrufbar. Dieser Umstand hat zwei Vorteile: Einmal kann das korrekte Bewegungsgefühl eine „Führung“ bei der Ausführung der momentanen Bewegung sein, und zudem wird durch das Erle-

ben des korrekten Bewegungsgefühls ein Vergleich mit dem momentanen Bewegungsgefühl möglich. Damit können Unterschiede erkannt werden, und zwar nicht nur auf einer beschreibenden, kognitiven Ebene, sondern auch auf einer körperlich gefühlten Ebene. Dieser Vergleich erlaubt motorische Veränderungen. Somit haben Erinnern und Lernen sehr viel mit Emotion zu tun. Zudem ist zu bedenken, dass, wie schon in Kapitel 4.1 diskutiert, emotional positive Erinnerungen noch stärker das fronto-zingulär-parietale Netzwerk aktivieren als negativ erlebte Erinnerungen. Insofern sind Erinnerungen mit hoher positiver Emotionalität in zweierlei Hinsicht für den motorischen Lernprozess günstig. Erstens ist die Erinnerung durch die Emotionalität leichter abrufbar, und damit wieder erlebbar, und zweitens werden durch Erinnerungen mit positiven Emotionen wichtige bewegungsrelevante neuronale Areale aktiviert, und zwar stärker als bei Erinnerungen mit negativen Emotionen (vgl. Botzung et al. 2010: 2135f.).

Ein weiterer Vorteil der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zur herkömmlichen motorischen Imagination ist die hohe Gedächtnisgenauigkeit dieser Erinnerungen, die wiederum in direkter Beziehung zur Emotionalität der Erinnerung steht (vgl. Schacter 2001: 338). Denn häufig ist es besonders wichtig, ein Detail des Bewegungsablaufes bewusst wahrnehmen zu können, um die gesamte Handlung korrekt ausführen zu können. Zum Beispiel hatte eine Patientin große Schwierigkeiten, im Liegen das gebeugte Bein exzentrisch zu strecken. Bedingt durch ein Rekrutierungsdefizit im Bereich der MM. Ischiocrurales kam es am Ende der Bewegung zu einem „Fallen“ des Kniegelenkes Richtung Liege. Den Unterschied zur gesunden Körperseite konnte sie zwar sehen, aber nicht wahrnehmen. Durch die Erinnerung an einen schönen Strandurlaub, wo sie im Sand sitzend die Beine abwechselnd gebeugt und gestreckt und dabei mit den Fersen im Sand „gebuddelt“ hat, hat sie den Unterschied zur momentanen Situation empfunden und konnte dadurch die gesamte Extensionsbewegung exzentrisch ausführen.

Nicht nur die Gedächtnisgenauigkeit sondern auch die Menge an Informationen, die eine autobiographische Erinnerung enthält, erweist sich als Vorteil gegenüber herkömmlichen motorischen Imaginationen. Autobiographische Erinnerungen enthalten mehr Einzelheiten, die aber nicht nebeneinander als „Einzelnformationen“ bestehen oder erlebt werden, sondern sie sind auf vielfältige Weise miteinander verbunden (vgl. Pohl 2007: 46). Das hat den Vorteil, dass ein Teilaspekt als Hinweisreiz reicht, um den gesamten Gedächtnisinhalt auszulösen (vgl. Birbaumer/Schmidt 2010: 629). Dadurch werden diese Erinnerungen auf vielfältige Weise (akustisch, visuell, kinästhetisch, olfaktorisch etc.) zugänglich und damit leichter abrufbar. Andererseits wird diese multimodale Komplexität als Einheit erlebt. Wenn PatientInnen aufgefordert werden, sich

eine Bewegung / eine Handlung vorzustellen, besteht das Problem häufig darin, dass in der Vorstellung nur ein Teilaspekt der Bewegung aktivierbar ist, nicht die gesamte Bewegungskette und schon gar nicht das Umfeld, in dem die Handlung ausgeführt wird. Die Aussage eines Patienten verdeutlicht diese Schwierigkeit: „In der Vorstellung kommt nicht die ganze Bewegung. Wenn ich mich auf die Hand konzentriere, verschwindet die Schulter, und wenn ich mich auf den oberen Teil, die Schulter, konzentriere, verschwindet die Hand.“ Bei autobiographischen Erinnerungen werden alle Details gleichzeitig als Einheit erlebt. Ein Beispiel soll diesen Vorteil demonstrieren: Bei der Patientin, die die Erinnerung des Strandurlaubes als Lernhilfe benutzte, bestand das Problem darin, dass sie in der Therapiesequenz all ihre Aufmerksamkeit auf ihr betroffenes Bein lenkte. Das war zu Beginn auch notwendig, denn durch einen ausgeprägten Schlaganfall hatte sie deutliche Defizite erlitten. Mit der Zeit verringerten sich diese Defizite immer weiter. Jedoch ihre Strategie, die gesamte Aufmerksamkeit auf das Bein zu lenken, konnte sie nicht ändern, auch bedingt durch die Erinnerung an das plegische Bein. Im Alltag war diese Strategie, die gesamte Aufmerksamkeit auf das Bein zu lenken, verständlicherweise nicht durchgehend aktivierbar, sodass es deutliche Qualitätsunterschiede in der Bewegungskette zwischen Alltag und Therapieeinheit gab. Jedoch in der Schilderung ihrer Erinnerung des Strandurlaubes berichtete sie, dass sie „jedes einzelne Detail“, aber „alles gleichzeitig“ wahrnahm: das, was sie gesehen hatte (die Fischerboote; die Menschen am Strand etc.), das, was sie gehört hatte (das Kreischen der Möwen; das Rauschen des Meeres etc.), aber auch das, was sie gespürt hatte (der Sand um die Füße; die abwechselnden Bewegungen der Beine). Sie berichtete auch, dass sie bei der Erinnerung dieser Situation die Beinbewegungen zwar gut gespürt hat, dass aber diese Bewegungen „nebenbei abliefen“. Nachdem die Patientin aufgefordert wurde, noch einmal die Situation zu erleben, und dabei beide Beine abwechselnd zu beugen und zu strecken, so wie sie es damals gemacht hatte, zeigte sie beidseits gute exzentrische Extensionsbewegungen. Im Anschluss daran schilderte die Patientin, dass ihre Hauptaufmerksamkeit nicht auf die Bewegungen der Beine gerichtet war, sondern auf das Gespräch mit ihrem Mann – ein Detail, das sie in der vorherigen Schilderung nicht genannt hatte. Somit kann man vermuten, dass sie die Situation wirklich erlebte. Das simultane Wahrnehmen vieler Details ist somit ein großer Vorteil der autobiographischen Erinnerung.

Ein weiterer Vorteil der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zur Benutzung der klassischen motorischen Imagination steht ebenfalls im Zusammenhang mit der multimodalen Repräsentation autobiographischer Erinnerungen. Innerhalb dieser werden egozentrische und allozentrische Relationen emergent in die Vorstellung miteinbezo-

gen. Für die korrekte Planung und letztendlich Durchführung einer Handlung muss das ZNS nicht nur Relationen innerhalb des Körpers programmieren (z.B. in welcher räumlichen Relationen steht die Hand im Bezug zur Schulter und im Bezug zur anderen Hand), sondern es muss gleichzeitig auch körperexterne Relationen miteinbeziehen (z.B. wo steht der Gegenstand im Bezug zur ergreifenden Hand) (vgl. Cavanna/Trimble 2006: 572f.). Diese visuell-motorischen Transformationsprozesse verlangen die Integration von körperinternen und körperexternen Informationen (vgl. Héту et al. 2013: 942; Cavanna/Trimble 2006: 568ff.). Das Einbeziehen des Zielobjektes und des Kontextes sind also wichtige Faktoren bei der Bewegungsplanung und Bewegungskontrolle. Auch eine herkömmliche motorische Imagination aktiviert dementsprechend ein sehr umfangreiches neuronales Netzwerk, wenn dessen Bildung gleichzeitig auf kinästhetischen und visuellen Elementen beruht (vgl. Guillot et al. 2009: 2169; Stinear et al. 2006: 159). Die praktische Erfahrung in der Anwendung der motorischen Imagination hat aber gezeigt, dass PatientInnen oft Schwierigkeiten haben, sich sowohl die gefühlte Bewegung als auch den zu ergreifenden Gegenstand vorzustellen. Bei klassischen motorischen Imaginationen müssen diese Details erst sehr bewusst „hinzugedacht“ werden, was einen großen kognitiven Aufwand darstellt. Die PatientInnen schildern oft, dass sie entweder den Gegenstand oder die Bewegung imaginieren können. Jedoch in der Erinnerung von autobiographischen Szenen ist der ganze Kontext als wahrnehmbare Einheit enthalten, also der Körper, das Zielobjekt, der umgebende Raum, Geräusche, Gerüche etc. Diese Faktoren nehmen Einfluss auf die Bewegungsplanung und machen das Üben, wenn es in Gedanken an die damalige Episode passiert, sehr realitätsnah. Bei vielen autobiographischen Erinnerungen spielen solche Prozesse eine große Rolle, wenn also in der Erinnerung eine Szene auftaucht, bei der die Hand zu einem Objekt oder zu einem bestimmten Ziel hin bewegt wird. Das unterschiedliche Erleben der autobiographischen Erinnerung im Vergleich zum Erleben der herkömmlichen motorischen Imagination stellt einen großen Vorteil dar, denn im Alltag muss das ZNS genau diese Leistung vollbringen – die Integration von vielen internen und externen Relationen und Informationen.

Ein weiterer möglicher Vorteil der autobiographischen Erinnerung besteht darin, dass innerhalb dieser multisensorischen Repräsentation unterschiedliche Informationen bewusst gemacht werden können, auch Informationen, die beim ursprünglichen Erleben nicht bewusst berücksichtigt wurden. Es ist somit möglich, implizites Wissen, oder wie Kosslyn es nennt „stilles Wissen“, abrufbar zu machen, das dann auch mit anderen Repräsentationen assoziiert werden kann (vgl. Kosslyn 1987: 149). Kosslyn meinte schon 1987, dass die Imagination im Dienste des Denkens und Lernens benutzt wer-

den kann (vgl. ebd. 1987: 149), denn das vormals implizite Wissen, kann für eine jetzige Bewegungsplanung genutzt werden. Ein Beispiel soll diese Funktion näher erläutern: Bei der Patientin, die die Erinnerung der standesamtlichen Hochzeit aktivierte, um die derzeitige Planung und Durchführung des Aufstehens zu verbessern, ist es offensichtlich, dass der Bewegungsakt des Aufstehens damals unbewusst erfolgte. Ihre Aufmerksamkeit lag bei dem, was sie damals gesehen und gehört hat. Dennoch wurden die taktil-kinästhetischen Körperinformationen beim Aufstehen gespeichert. Dank der umfangreichen Informationsvernetzungen bei autobiographischen Erinnerungen konnten jene impliziten Informationen, die für die heutige Bewegungsplanung bedeutend sind, bewusst gemacht werden. Autobiographische Erinnerungen helfen demnach, jene Elemente aus dem Gedächtnis bewusst zu machen, die für die momentanen Situationen relevant sind. Somit kann man sagen: autobiographische Erinnerungen dienen dem Lernen.

Ein entscheidender Faktor, damit es zu einem andauernden Lerneffekt kommt, ist die Tatsache, dass jene aus dem Gedächtnis aktivierten Informationen mit anderen Repräsentationen assoziiert werden (vgl. Kosslyn 1987: 149). Die Ekphorierung, also die Reaktivierung von gespeicherten Informationen aus dem Langzeitgedächtnis, geschieht immer im Kontext der momentanen Situation. Dabei kommt es sowohl zur Veränderung der momentanen Situation, als auch zur Veränderung der aktivierten Erinnerung (vgl. Markowitsch 2002a:108, 113). Bezüglich der letztgenannten Veränderung meint Markowitsch, „dass jeder Abruf eine Neueinspeicherung (Re-Enkodierung) nach sich zieht, wodurch die erneut eingespeicherte „alte“ Information zwar einerseits gefestigt wird, andererseits aber auch modifiziert an gegenwärtige Gegebenheiten angepasst wird.“ (Markowitsch 2002a: 84)

Pohl spricht diesbezüglich vom sogenannten „elaborative-rehearsal“-Prozess, also elaborierenden Wiederholungsprozess, in Folge auch nur „Elaboration“ genannt. Er beschreibt diesen Prozess folgendermaßen:

„Elaboration beinhaltet im Grunde zwei Prozesse: zum einen wird die Information „angereichert“, um sie unterscheidbarer von anderen zu machen (Distinktivität), zum anderen wird sie mit anderen Informationen stärker vernetzt, um sie später leichter wiederzufinden (Organisiertheit). Beide Prozesse werden dadurch realisiert, dass man beispielsweise über das zu behaltende Material gezielt nachdenkt. Dabei fallen einem vielleicht vorher übersehene Details auf oder man schmückt es mit eigenen Ergänzungen aus. Wenn einem dabei Ähnlichkeiten und Unterschiede zu vorhandenem Wissen einfallen, werden entsprechende Verknüpfungen (Assoziationen) hergestellt. Elaboration führt demnach dazu, dass eine Information umfassender wird, d.h. aus mehr Details und Zugehörigem besteht, und dass sie

mit anderen Informationen im Gedächtnis verbunden wird. Beides erhöht die Chance, diese Information später wiederzufinden. Denn auch wenn einige Details oder einige der Zugangswege verblasst sind, bleiben genügend andere, um die Information wiederzufinden und sie auch als solche zu erkennen. Mit anderen Worten: Wir behalten eine Information am besten, wenn sie aus dem Rest hervorsticht und möglichst vielfältig mit anderen Informationen verknüpft ist.“ (Pohl 2007: 31)

Bei jedem neuerlichen Abruf einer Erinnerung wird diese also gefestigt, verändert sich aber auch und kann mit anderen Informationen assoziiert werden. Das heißt auch, dass bei mehrfachem Abruf einer Erinnerung bestimmte implizite Anteile nun zu dauerhaften expliziten Informationen der Erinnerung werden können. Zum Beispiel kann das Bewegungsgefühl beim Aufstehen im Standesamt, um zum vorherigen Beispiel zurückzukehren, zu einem bewussten und sehr vordergründigen Anteil der Erinnerung werden. Andererseits verändert sich durch den Vergleich mit der autobiographischen Erinnerung auch die jetzige, neu aktivierte Repräsentation. Wenn z.B. während der Therapieeinheit PatientInnen bestimmte Bewegungsabläufe mit Hilfe des Therapeuten bzw. der Therapeutin ausführen, so ist damit die Möglichkeit gegeben, eine physiologische Bewegung wahrzunehmen. Jedoch ist diese Repräsentation kaum vernetzt, da sie nur aus den wahrgenommenen Bewegungselementen besteht. Wenn nun PatientInnen aufgefordert werden, nochmals an das während der Übung wahrgenommene Bewegungsgefühl zu denken und dieses mit einer persönlichen Erinnerung zu vergleichen, die ähnliche Bewegungskomponenten enthält, so wird auch die jetzige Repräsentation verändert. Denn die jetzige motorische Imagination wird mit Informationen aus der autobiographischen Erinnerung angereichert, womit es zu einer stärkeren neuronalen Vernetzung kommt. Die Wahrscheinlichkeit ist groß, dass der Abruf dieser motorischen Repräsentation durch die stärkere Vernetzung nun auch im Alltag leichter gelingt. Jede Wiederaktivierung einer Erinnerung, ob nun ältere autobiographische Erinnerung oder frische Erinnerung, verändert also die Erinnerung. Das Ziel wäre demnach erreicht, wenn es zu einer „Verschmelzung“ der beiden Erinnerungen kommt.

Ausgehend von den bisher diskutierten Erkenntnissen erscheint die autobiographische Erinnerung ein wirksames Lern- und Lehrmittel für die motorische Rehabilitation zu sein. Dennoch ist es sinnvoll, einen kritischen Blick auf dieses Lern-/Lehrmittel zu werfen, um mögliche Schwierigkeiten bei dessen Anwendung aufzudecken und die daraus resultierenden Nachteile offenzulegen.

Es konnte nicht nur nachgewiesen werden, dass das aktivierte neuronale Netzwerk stark vom sogenannten „Cue“, also vom Hinweisreiz abhängt (vgl. Svoboda et al. 2006: 2190; Cabeza et al. 2007: 222), sondern auch, dass sehr emotionale (vgl. Botzung et

al. 2010: 2132f.; Svoboda et al. 2006: 2201), kinästhetisch (vgl. Guillot et al. 2009: 2169; Stinear et al. 2006: 161) und lebendig erlebte Erinnerungen (vgl. Guillot et al. 2008: 1480; Lorey et al. 2011: 2), die einen Bezug zu einer Bewegung haben (vgl. Botzung et al. 2010: 2132f.) und die eine positive Episode abgespeichert haben (vgl. Botzung et al. 2010: 2136), ein sehr umfangreiches, bilaterales neuronales Netzwerk (vgl. Vandekerckhove et al. 2005: 206; Héту et al. 2013: 933ff.) aktivieren. Sind diese Bedingungen gegeben, werden auch alle bewegungsrelevanten neuronalen Areale aktiviert. Dementsprechend ist es von großer Bedeutung, welche Hinweisreize der Therapeut bzw. die Therapeutin gibt. Aktiviert werden soll eine emotionale Erinnerung, die aber auch passende Bewegungselemente enthält. Die Erfahrung hat gezeigt, dass TherapeutInnen, die noch unerfahren in der Anwendung der autobiographischen Erinnerung sind, doch Schwierigkeiten haben, PatientInnen zu einer emotionalen und bewegungsrelevanten Erinnerung hinzuführen. Je häufiger die autobiographische Erinnerung angewendet wurde, desto leichter fanden die PatientInnen eine passende Erinnerung, was nur damit erklärt werden kann, dass die Hinweisreize des Therapeuten bzw. der Therapeutin geeigneter waren. Der anfängliche Fehler lag wahrscheinlich darin, dass die TherapeutInnen durch ihre Hinweisreize die Aufmerksamkeit zu sehr bzw. ausschließlich auf die Bewegung lenkten. PatientInnen beklagten daraufhin, dass sie keine Erinnerung finden würden, da sie die Bewegung vor ihrer Erkrankung nicht bewusst gemacht hätten. Mit zunehmender Erfahrung in der Anwendung der autobiographischen Erinnerung wurde klar, dass man PatientInnen primär helfen muss, eine emotionale, sehr lebendig erlebte Erinnerung zu finden, die zwar entsprechende oder ähnliche Bewegungselemente enthält, jedoch genügt es, wenn diese Bewegungskomponenten zu Beginn nur als „Hintergrundelement“ erlebt werden. Ist dieser Schritt erreicht, ist es durch mehrfachen Abruf nicht schwierig, die Bewegungskomponenten noch bewusster werden zu lassen (vgl. Kosslyn 1987: 149). Das heißt, es stellt natürlich einen Nachteil dar, wenn TherapeutInnen geschult sein müssen, um das Lehrmittel „autobiographische Erinnerung“ effektiv anwenden zu können. Doch dieser Nachteil trifft auf die meisten Lehrmittel zu, der wie gesagt durch vermehrte Erfahrung überwunden werden kann.

Ein weiterer möglicher Nachteil liegt in der Abnützung einer Erinnerung. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass das umfangreiche neuronale Netzwerk nur dann in optimaler Weise aktiviert wird, wenn die Erinnerung sehr lebendig erlebt (Botzung et al. 2010: 2132f.; Svoboda et al. 2006: 2201) und die Bewegung deutlich wahrgenommen wird (vgl. Guillot et al. 2008: 1478; Lorey et al. 2011: 2). Bei manchen PatientInnen konnte beobachtet werden, dass bei mehrmaliger Benutzung derselben Erinnerung die

Emotionalität während des Erinnerungsprozesses abnimmt oder teilweise nicht mehr vorhanden ist. Diese Problematik wurde auch in Forschungsarbeiten beschrieben, wenn Hinweisreize, die bei einem vorhergehenden Interview gesammelt wurden, Tage später während der fMRI-Aufnahme benutzt wurden (vgl. Botzung et al. 2010: 2134). An der Mimik, an der verbalen Beschreibung der Erinnerung und auch an der folgenden Motorik kann man erkennen, ob die Erinnerung noch emotional erlebt wird oder nicht. Das ist ein entscheidender Faktor, denn wenn die Erinnerung nicht mehr erlebt, sondern nur noch erzählt wird, wandelt sich diese von einer autobiographischen Erinnerung zu einer semantischen Erinnerung. Der gefühlte Unterschied kann leicht durch ein Beispiel erklärt werden: Wenn man aufgefordert wird, zu berichten, wie viele Fenster die eigene Wohnung bzw. das eigene Haus hat, so wird man mental durch die Räume schreiten und dabei die Fenster zählen. Es kommt zu einer erlebten visuellen und teilweise auch motorischen Imagination. Wenn man nach einem halben Tag oder auch nach mehreren Tagen gefragt wird, wie viele Fenster die eigene Wohnung bzw. das eigene Haus besitzt, dann kann man prompt die Antwort geben – sie ist zu einem semantischen Wissen geworden. Diese Art der Erinnerung ist für den motorischen Lernprozess wenig hilfreich. Wenn also die oben erwähnte Patientin gesagt hätte: „Ja, ich weiß, die Situation am Standesamt,“ und hätte dabei nicht emotionale Zeichen gezeigt, hätte sie eine rein semantische Erinnerung aktiviert. Dies war aber nicht der Fall. Diese Patientin zeigte immer wieder deutliche Emotionen, wenn sie aufgefordert wurde, die besagte Erinnerung wieder aufleben zu lassen. Andere PatientInnen zeigen Abnützungserscheinungen in der Emotionalität der aktivierten Erinnerung. Zukünftige Forschungsarbeit wird notwendig sein, um jene Faktoren zu bestimmen, die erklären können, wieso einige Personen eine autobiographische Episode immer wieder emotional erleben können und andere Personen das Wiedererleben einer Situation mit zunehmender Wiederholung immer weniger emotional erleben. In der Zwischenzeit muss ein Ausweg für diese Schwierigkeit gefunden werden. Einerseits kann es hilfreich sein, PatientInnen, die Schwierigkeiten beim Wiedererleben zeigen, aufzufordern, nicht nur die Erinnerung zu erzählen, sondern die Erinnerung neuerlich zu erleben. Man sollte ihnen auch signalisieren, dass sie sich dazu Zeit nehmen können und sollen. Diese Strategie hat oft dazu geführt, dass diese PatientInnen doch wieder die Erinnerung erleben konnten. Trifft dies nicht zu, ist es notwendig, dem Patienten bzw. der Patientin neuerlich zu helfen, eine andere passende Erinnerung zu finden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung der autobiographischen Erinnerung zwar etwas „Geschick“ seitens des Therapeuten bzw. der Therapeutin verlangt, dass aber die autobiographische Erinnerung bzw. Imagination so viele Vorteile

im Vergleich zur herkömmlichen motorischen Imagination bietet, dass die Anwendung dieses Lerntools in der motorischen Rehabilitation empfohlen werden kann. Die positiven Effekte der autobiographischen Erinnerung kommen aber nur dann zu Geltung, wenn die Erinnerung nicht nur erzählt, sondern auch erlebt wird und wenn die autobiographische Episode Bewegungselemente enthält. Damit konnte die dritte Forschungsfrage, nämlich welche Merkmale eine autobiographische Erinnerung haben muss, damit sie für den motorischen Lernprozess hilfreich sein könnte, geklärt werden.

Im folgenden Kapitel wird der mögliche Effekt der autobiographischen Erinnerung aus psychologischer Sicht erörtert.

4.3 Modell zur Wirkweise der autobiographischen Erinnerung

Um zu klären, welchen Effekt der Einsatz der autobiographischen Erinnerung bewirken könnte, ist es sinnvoll, diesen Prozess nicht nur aus neurophysiologischer Sicht zu beleuchten, also wie in Kapitel 4.1 erläutert, welche neuronalen Areale dabei aktiviert werden, sondern dieses Lerntool auch aus psychologischer Sicht zu analysieren. Da, wie schon zu Beginn dieser Arbeit erklärt, die autobiographische Erinnerung noch nicht als motorisches Lernmittel untersucht wurde, müssen verwandte Lernmodelle herangezogen und deren Übertragbarkeit auf die autobiographische Erinnerung diskutiert werden.

Jackson et al. stellen ein Modell vor, das die möglichen therapeutischen Effekte des mentalen Trainings im Vergleich zu anderen Trainingsformen in der neurologischen Rehabilitation genau erläutert (vgl. ebd. 2001: 1137). Es war ihr Ziel, ein Modell zu entwickeln, das die motorischen, kognitiven und motivationalen Prozesse vereint. Ihr Modell sieht drei unterscheidbare Lernprozesselemente vor, die beim Training einer Fertigkeit mitwirken und interagieren: das deklarative Wissen, die unbewussten Prozesse und die physische Ausführung. Laut Jackson et al. können entsprechend unterschiedlicher Trainingsansätze eine dieser Prozessebenen, zwei oder alle drei Ebenen benutzt werden. Für Jackson et al. wäre das Trainingsoutcome während dem physischen Üben optimal, da gewöhnlich alle drei Prozessebenen mit eingeschlossen sind und miteinander interagieren. Sie bemerken jedoch, dass das Ausmaß der einzelnen Prozessebenen je nach Lernphase variiert, und dass die Benutzung des deklarativen Wissens zu Beginn eines Trainings wichtiger sein kann als in einer Lernphase, in der die Fertigkeit schon recht gut beherrscht wird. Beim mentalen Training mit motorischer Imagination ist laut Jackson et al. der Wirkmechanismus, der zur Verbesserung führt, durch die Interaktion zwischen dem deklarativen Wissen und den unbewussten Pro-

zessen gegeben. Im Unterschied zu der Situation, in der eine motorische Aufgabe implizit durch physisches Üben gelernt werden kann, verlangt das mentale Training mit motorischer Imagination, dass die lernende Person das notwendige deklarative Wissen über die verschiedenen Komponenten der Aufgabe vor dem Üben besitzt. Jedoch das Erproben einer Tätigkeit mit motorischer Imagination kann auch den Zugang zu den unbewussten Prozessen ermöglichen, die beim Lernen einer Tätigkeit involviert sind. Jackson et al. betonen, dass gerade die, in verschiedenen Studien entdeckte Gemeinsamkeit der Kreisläufe von vorgestellter und ausgeführter Bewegung darauf hinweisen, dass das neuronale Netzwerk, das für die unbewussten Aspekte einer Tätigkeit eine Rolle spielt, mit dem mentalen Training aktiviert werden kann. Sie betonen auch, dass eine motorische Imagination, die in der Ersten-Person-Perspektive aktiviert wurde, wo das „kinästhetische Fühlen einer Bewegung“ im Vordergrund steht, am besten die verschiedenen unbewussten Prozesse aktivieren würde. Das mentale Training mit motorischer Imagination könnte laut Jackson et al. also ein „expliziter Zugang“ zu sonst unbewussten Lernprozessen sein. Wenn diese aktivierten Lernprozesse mit der physischen Ausführung und damit mit dem direkten Feedback vom ausführenden System kombiniert werden, sei das Lernen einer motorischen Fertigkeit am effektivsten. (Vgl. Jackson et al. 2001: 1137ff.)

Abschließend meinen Jackson et al. zum mentalen Training: „We believe that the main question is no longer whether mental practice can help in the rehabilitation of neurologic patients, but rather, what is the best way to implement this cost-efficient technique into current practice.“ (ebd. 2001: 1139)

Nimmt man das Lernmodell nach Jackson et al., ist es möglich, die Unterschiede der PatientInnen beim Transfer des Gelernten in den Alltag zu erklären. Manchen PatientInnen gelingt dieser Transfer mühelos und leicht, anderen PatientInnen gelingt dieser Transfer kaum oder nur teilweise. Entsprechend dem Modell von Jackson könnten manche Personen damit Schwierigkeiten haben, weil sie zu sehr im deklarativen Wissen verhaftet sind und weil sie die, beim Lernprozess notwendigen, unbewussten Prozesselemente zu wenig oder gar nicht aktivieren. Wie Jackson et al. richtigerweise erläutern, sind diese unbewussten Prozesse der verbalen Beschreibung nicht zugänglich, noch sind sie bewusst zu steuern. Dabei handelt es sich

- um feinste räumliche, zeitliche und intensitätsmäßige Abstimmungen von Agonisten und Antagonisten,
- um die räumliche und zeitliche Abstimmung von Gelenkbewegungen zu einem Bewegungsfluss,

- um das zeitlich korrekte Starten und Stoppen bzw. Verlangsamen und Beschleunigen einer Bewegung,
- und damit um das ständige Anpassen der Bewegung an die Umwelt.

Diese Elemente unterliegen nicht der bewussten Kontrolle, sondern werden dem Menschen als Gefühl vermittelt. Daher ist es das Ziel, PatientInnen wieder zu diesem normalen Bewegungsgefühl zu verhelfen. Dieses Unterfangen ist besonders bei PatientInnen komplex und langwierig, die schon über einen längeren Zeitraum pathologische Bewegungsmuster aktivieren und damit immer wieder ein pathologisches Bewegungsgefühl bekommen, das auch im Gedächtnis gespeichert wird. Wie schon weiter oben erläutert, rückt das normale Bewegungsgefühl immer mehr in den Hintergrund. Diese PatientInnen können sich also nicht mehr auf ihr Bewegungsgefühl, und damit auf die unbewussten Prozesse, verlassen. Stattdessen rückt, wie bei jedem neuen motorischen Lernprozess, das deklarative Wissen in den Vordergrund und gewinnt immer mehr an Bedeutung. Die unterstützenden Worte der Therapeutin bzw. des Therapeuten oder auch nur die Umgebung des Therapieraumes eröffnet ihnen immer wieder den Zugang zum deklarativen Wissen, wodurch diese PatientInnen dann, sehr verhaftet auf diese Wissens Elemente, bestimmte Bewegungsabläufe reproduzieren können. Ihnen fehlt aber die Selbstverständlichkeit und Leichtigkeit in der Ausführung der Fertigkeit, eben der Zugriff auf die unbewussten Elemente. Nur der ständige Rückgriff auf das deklarative Wissen ermöglicht die sehr bewusste Ausführung der Bewegung - ein Vorgang, der im Alltag niemals durchgängig reproduziert werden kann. Wie Jackson et al. berichten, ermöglicht das mentale Training mit motorischer Imagination den Zugriff und das Erleben dieser unbewussten Prozesse, indem die Bewegung während der motorischen Imagination in Erster-Person-Perspektive erlebt wird. Seit der Anwendung der motorischen Imagination als Mittel in der Rehabilitation hat sich aber gezeigt, dass nach einer peripheren oder zentralen Läsion sich nicht nur die Bewegung, sondern auch die Bewegungsvorstellung sehr schnell verändert, womit die schon sehr frühe Hypothese von Decety (vgl. ebd. 1996: 87), die motorische Imagination wäre die bewusst gemachte Bewegungsprogrammierung, untermauert wurde. Auffallend ist, dass Handlungen, die die PatientInnen auch nach ihrer Läsion durchführen, sehr schnell auch in der Vorstellung verändert sind. Dies zeigt, dass das vorher bestehende Bewegungsprogramm von einem veränderten Bewegungsprogramm überschrieben wurde, wodurch auch das physiologische Bewegungsgefühl und die physiologische Bewegungsvorstellung immer mehr in den Hintergrund rücken. Hingegen kann die korrekte Bewegungsvorstellung von Handlungen, die nach der Läsion nie mehr ausgeführt wurden, z.B. auf eine Leiter steigen, nach wie vor korrekt aktivierbar sein, da dieses Bewegungsprogramm nicht von einer pathologischen Bewegungsausführung überschrie-

ben wurde. Es stellt sozusagen eine autobiographische Erinnerung dar. Das hat weitreichende Konsequenzen für PatientInnen, denn solange die motorische Imagination, die die bewusst gemachte Bewegungsprogrammierung ist, pathologische Komponenten enthält, wird auch die Bewegungsausführung pathologisch bleiben.

Es gibt also eine direkte Wechselwirkung zwischen Bewegungsgefühl und Bewegungsausführung, die sowohl in positiver Richtung wirken kann, also zu einem stabilen Lernergebnis führen kann, aber auch zu einem negativen Kreislauf führen kann. Der positive Kreislauf ist dann gegeben, wenn ein korrektes Bewegungsgefühl zu einer korrekten Bewegungsausführung führt, die wiederum das korrekte Bewegungsgefühl verstärkt. Dadurch kann die nächste Bewegungsausführung leichter korrekt ausgeführt werden. Ein Teufelskreis, ein sogenannter *Circulus vitiosus*, entsteht dann, wenn das veränderte, pathologische Bewegungsgefühl dominiert und es den PatientInnen nicht ausreichend gelingt, sich die Handlung als flüssige, harmonische Bewegung vorzustellen. Dann wird die Handlung höchstwahrscheinlich pathologisch ausgeführt, was wiederum zu einer Verstärkung des ‚pathologischen‘ Bewegungsgefühls führt, welches die korrekte Ausführung der folgenden Bewegung wiederum erschwert. Die Frage lautet also, wie konstant können PatientInnen ein normales Bewegungsgefühl hervorrufen. Dies ist für einige PatientInnen ein sehr schwieriges Unterfangen, daher greifen sie oft auf das deklarative Wissen zurück und können so auf sehr bewusste Weise im Therapieraum die Bewegung korrekt oder annähernd korrekt ausführen, im Alltag aber nicht.

Das autobiographische Gedächtnis bietet diesbezüglich einen Vorteil zur klassischen motorischen Imagination. Durch die autobiographische Erinnerung ist es für PatientInnen leichter, ein normales Bewegungsgefühl zu aktivieren, da dieses Bewegungsgefühl in ein Netz aus Informationen und Assoziationen eingebettet ist. Auch wenn die Patientin bzw. der Patient die aktuell ausgeführte pathologische Bewegung als abgehackt, schwerfällig und mühsam erlebt, und dieses Gefühl sehr dominant ist, wird sie bzw. er in der aktivierten autobiographischen Erinnerung die Bewegung höchstwahrscheinlich als normal und angenehm empfinden, und damit auch die Bewegung korrekter planen und ausführen können.

Zurückkehrend zum Model von Jackson et al. bedeutet dies, dass es wahrscheinlich sehr viel leichter sein wird, die korrekten unbewussten Prozesse zu aktivieren, wenn die PatientInnen an eine passende Situation vor ihrer Erkrankung denken, wenn sie also eine motorische Imagination innerhalb eines autobiographischen Kontextes aktivieren.

Bezüglich des Modells von Jackson sind auch die Untersuchungen von Gabriele Wulf interessant. Sie beschreibt in ihrem Buch ‚Aufmerksamkeit und motorisches Lernen‘ die Ergebnisse ihrer veröffentlichten Studien. In diesen Studien, die bis in das Jahr 1998 zurückreichen, untersuchte sie die Bedeutung der Aufmerksamkeit auf den Lernprozess, beziehungsweise, welcher Aufmerksamkeitsfokus effektiver ist. Sie unterscheidet zwischen „internem Fokus“, also die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Körperteil, und „externem Fokus“. Dieser Ausdruck ist etwas irreführend, da nicht ein wirklich körper-externer Fokus gemeint ist, wie z.B. die Aufmerksamkeit auf einen akustischen Reiz. Sie versteht unter „externem Fokus“ die Aufmerksamkeit auf den Bewegungseffekt, also z.B. auf die Horizontalität eines Wackelbrettes oder den Schwung eines Golfschlägers. Bei fast allen ihren Untersuchungen wurde festgestellt, dass der „externe Fokus“ einen effektiveren Lernprozess hervorruft als der „interne Fokus“. (Vgl. Wulf 2009: 91ff.) Anders ausgedrückt, wenn die Aufmerksamkeit auf den Bewegungseffekt gerichtet ist, so ist der Fokus auf die Summe aller Körperinformationen gerichtet und nicht auf einzelne Körperinformationen. Der Fokus auf einzelne Körpersegmente erfolgt zwar sehr bewusst und gezielt, kostet aber sehr viel Aufmerksamkeit, die nicht andauernd aufrecht erhalten werden kann. Wird die Aufmerksamkeit auf die Summe aller Körperinformationen gelenkt, so wird sie im Grunde auf das Bewegungsgefühl gerichtet. Vergleicht man diese Erkenntnisse mit dem Modell von Jackson, so könnte man sagen, dass sich der „interne Fokus“ eher auf das „explizite Wissen“ bezieht, während der „externe Fokus“ eher die „unbewussten Prozesse“ aktiviert.

Auch Lorey und KollegInnen gehen in ihrer Erklärung über die Wirkweise der motorischen Imagination in dieselbe Richtung. Sie erläutern, dass man innerhalb der „Computational Neuroscience“ von sogenannten internen Modellen spricht, die die rechnerische Grundlage für die Bewegungsplanung und Bewegungskontrolle wären. Diese „forward models“, also vorausschauende Modelle, würden das Verhalten eines Körpersegmentes in Antwort auf den Bewegungsplan vorhersagen. Diese internen Modelle würden so das *Bewegungsbewusstsein* vermitteln. (Vgl. Lorey et al. 2011: 4)

Auch hinsichtlich der Sichtweise der „forward models“ bietet die autobiographische Erinnerung Vorteile zur herkömmlichen Imagination, denn je häufiger PatientInnen bedingt durch eine kortikale oder periphere Läsion einen Bewegungsablauf pathologisch ausführen, desto mehr verändern sich diese internen Modelle und damit auch die erwarteten Konsequenzen einer Bewegung. Die PatientInnen erwarten z.B. schon einen schweren Arm, ein klobiges Bein oder ein wackeliges Knie. Diese erwarteten Konsequenzen verändern natürlich die Ausführung der Bewegung, da, wie schon Lorey et al.

erläuterten, die internen Modelle die Grundlage für die Bewegungsplanung und Bewegungskontrolle sind. Die Praxis zeigt, dass sich diese internen Modelle sehr rasch Richtung Pathologie verändern. Jedoch wenn man PatientInnen auffordert, sich an eine Situation aus ihrem Leben zu erinnern, in der sie auch den zu erlernenden Bewegungsablauf gemacht haben, dann ist es viel wahrscheinlicher, wieder ein physiologisches Körper- und Bewegungsgefühl zu aktivieren, denn sie aktivieren ältere, aber noch abgespeicherte, interne Modelle.

Ob nun „unbewusste Prozesse“, „externer Fokus“ oder „interne Modelle“ genannt, so scheinen all diese Prozesse leichter hervorrufbar, wenn man an eine persönlich erlebte Situation denkt, als wenn man eine abstrakte Bewegungsvorstellung aktiviert. Zusammenfassend kann man also sagen, dass die autobiographische Erinnerung auch aus psychologischer Sicht Vorteile gegenüber der herkömmlichen motorischen Imagination bietet.

Im folgenden Kapitel wird ein Modell vorgestellt, das erläutert, wie die autobiographische Erinnerung als Lerntool in der Praxis eingesetzt werden könnte.

4.4 Mögliches Modell für die Praxisanwendung

Es ist eine Sache, zu wissen, welche günstigen Eigenschaften und Vorteile ein mentaler Prozess hinsichtlich des motorischen Lernens hat. Jedoch ist es eine ganz andere Sache, zu wissen, wie man dieses Lernmittel am effektivsten einsetzen könnte, denn dazu muss geklärt werden, in welchem Lernabschnitt man dieses Lernmittel einsetzt, wie man es dem Lernenden bzw. der Lernenden präsentiert, und welche Hilfestellungen man gibt, damit der Patient bzw. die Patientin den größten Gewinn daraus erzielen kann. Im Folgenden soll daher ein Modell vorgestellt werden, wie man die autobiographische Erinnerung in der neurologischen Rehabilitation einsetzen könnte. Dieses Modell wurde in der Praxis schon erprobt und hat sich als machbar und effektiv erwiesen, dennoch fehlt bis dato eine diesbezügliche Patientenstudie, sodass zukünftige wissenschaftliche Anstrengungen notwendig sein werden, um dieses Modell auch überprüfen zu können.

Erkenntnisse aus der Imaginationsforschung haben gezeigt, dass mentales Training positive Wirkung auf den motorischen Lernprozess hat und dass die Kombination aus mentalem und physischem Training zu einer größeren Leistungssteigerung führt als physisches Training alleine (vgl. Pascual-Leone et al. 1995: 1042f.). Auch Jackson et al. meinen, dass dieser „explizite Zugang“ zu sonst unbewussten Lernprozessen für

das Erlernen einer motorischen Fertigkeit am effektivsten sei, wenn diese Prozesse mit der physischen Ausführung und damit mit dem direkten Feedback vom ausführenden System kombiniert werden (vgl. Jackson et al. 2001: 1137ff.). Bei Sportlern ist dieses somatosensorische Feedback leicht durch die aktive Ausführung der Bewegung möglich. Wenn jedoch PatientInnen noch keine aktive Bewegungen ausführen können oder wenn die Bewegungen pathologisch ausgeführt werden, und sie dementsprechend ein verändertes somatosensorisches Feedback bekommen würden, empfiehlt Perfetti ein Feedback über geführte Bewegungen, auf die die PatientInnen ihre Aufmerksamkeit richten müssen, um bestimmte Körperinformationen mit geschlossenen Augen aufnehmen zu können, indem sie z.B. Positionen, Körperstellungen, Oberflächen, Formen oder Schwämme mit unterschiedlichen Härtegraden erkennen sollen (vgl. Perfetti 2008: 89f.). Auch Lotze und Halsband sprechen sich für ein Feedback über geführte Bewegungen aus und meinen, dass Bewegungsbeobachtung, somatosensorisches Feedback und Bewegungsvorstellung einen positiven Effekt auf das Training haben (vgl. ebd. 2006: 389f.).

Um einen optimalen Effekt aus der Kombination mentaler Erinnerungsprozesse und realer Bewegungsausführungen zu erzielen, wird daher folgende Reihenfolge in der Durchführung vorgeschlagen. Je nach Fähigkeit soll zu Beginn der Patient bzw. die Patientin mehrfach durch rein geführte, assistive oder aktive Bewegungen die oben genannten Informationen bei geschlossenen Augen einholen. Diese nach Perfetti benannten Übungen ersten, zweiten und dritten Grades haben zwei Vorteile (vgl. Perfetti 2008: 88ff.): einerseits wird, durch die Notwendigkeit bestimmte Körperinformationen einholen zu müssen, die Aufmerksamkeit auf den Körper gelenkt. Andererseits wird es durch die, an die jeweiligen Fähigkeiten angepasste, Hilfestellung der TherapeutInnen (geführte Bewegung oder assistive Bewegung) dem Patienten bzw. der Patientin ermöglicht, physiologische Bewegungen ausführen und damit auch ein physiologisches Bewegungsgefühl erfahren zu können. Damit wird wieder eine Gedächtnisspur für eine physiologische Bewegungsprogrammierung aufgebaut. Zudem ist dieses physiologische Bewegungsgefühl ein geeigneter Abrufhinweis, um eine passende autobiographische Erinnerung zu finden.

Der Patient bzw. die Patientin wird also nach dem Erleben der therapeutischen Übung aufgefordert, eine schöne, positive autobiographische Erinnerung zu suchen, die unter anderem gleiche oder ähnliche Bewegungskomponenten enthält, wie die gerade in der Übung erlebten Bewegungen. Da der „Cue“, also der Abrufhinweis, entscheidend dafür ist, welches neuronale Netzwerk aktiviert wird, muss darauf sehr viel Wert gelegt werden. Das heißt, zu Beginn einer bewussten Gedächtnissuche steht immer eine Infor-

mation, von der man ausgeht, der die Suche im Gedächtnis lenkt. Bei vielen Gedächtnisstudien ist der Hinweisreiz ein Wort, eine Frage oder Ähnliches (vgl. Pohl 2007: 35). In unserem Fall ist dieser Hinweisreiz ein Körpergefühl. Dies ist ein bedeutender Faktor, denn dadurch wird die Suche schon auf Erinnerungen gelenkt, die eine Bewegungskomponente enthalten. Neben den sehr wichtigen Körperinformationen als Abrufhinweise, sind auch die Worte des Therapeuten bzw. der Therapeutin ein wichtiger Faktor, um eine passende Erinnerung zu finden. Diese Worte sollen zwar dazu beitragen, dass PatientInnen Erinnerungen mit passenden Bewegungskomponenten aktivieren können, jedoch ist es noch wichtiger, dass PatientInnen im ersten Erinnerungsschritt positive, hoch emotionale und sehr lebendig erlebbare Erinnerungen finden. In einem zweiten oder dritten Abruf der gefundenen Erinnerung kann dann die Aufmerksamkeit verstärkt auf die Bewegungskomponente gelenkt werden.

Das Finden einer passenden Erinnerung hängt nicht nur vom Bewegungsgefühl, das in der Übung erlebt wurde, und von den unterstützenden Worten des Therapeuten bzw. der Therapeutin ab, sondern auch davon, wie viele strukturelle Gemeinsamkeiten zwischen Übung und Erinnerung bestehen. Pillemer betont diesbezüglich, dass die leitende Funktion von Erinnerungen dann am größten ist, wenn die vergangenen und die gegenwärtigen Umstände strukturelle Ähnlichkeiten aufweisen (vgl. ebd. 2003: 199). Das heißt, der Therapeut bzw. die Therapeutin sollte sich schon bei der Erstellung einer therapeutischen Übung überlegen, mit welcher autobiographischen Erinnerung der Patient bzw. die Patientin die Übung vergleichen könnte. Diese Überlegungen führen häufig dazu, dass die Aufgabenstellung etwas abgewandelt, die Informationsquelle verändert oder die Bewegungsausführung variiert wird. Das Ziel ist es, eine Übung zu kreieren, die Verbindungen zur Realität ermöglicht und die damit auch den Abruf von autobiographischen Erinnerungen erleichtert.

Wenn PatientInnen eine passende Erinnerung gefunden haben und eine solche auch sichtbar wiedererleben, kommt der dritte Anwendungsschritt zum Einsatz, der Vergleich. Dabei sollen die PatientInnen nochmals an das Bewegungsgefühl, das sie bei der Übung erlebt haben, zurückdenken und dieses Gefühl mit den Bewegungselementen der autobiographischen Erinnerung vergleichen. Es kommt also zu einem Vergleich von zwei motorischen Imaginationen. Durch diesen Vergleich soll es dem Patienten bzw. der Patientin möglich sein, noch eventuell vorhandene Unterschiede zu erkennen bzw. zu erspüren.

Dieser Prozess führt fließend zum vierten Anwendungsschritt. Dabei sollen die PatientInnen nochmals die Bewegung der Übung ausführen und dabei gleichzeitig an die au-

tobiographische Erinnerung denken, diese im besten Fall wiedererleben. Das Ziel ist erreicht, wenn nun die Bewegung physiologischer und flüssiger ausgeführt wird.

Der fünfte und letzte Anwendungsschritt kann sowohl während der Therapie, als auch im Alltag angewendet werden. Die PatientInnen sollen dabei *vor* der Handlung an die, in der Therapie aktivierte autobiographische Erinnerung denken, um so die Planung und damit auch die Ausführung der Handlung korrekter zu gestalten. In der Therapie wird man diesen Anwendungsschritt wählen, um schon gelernte Fertigkeiten zunehmend leichter aktivierbar zu machen und um letztendlich eine Automatisierung herbeizuführen. Diesen Lernschritt kann der Patient bzw. die Patientin aber auch alleine zu Hause anwenden. Das Aktivieren der autobiographischen Erinnerung im Alltag kann auch dann benutzt werden, wenn Schwierigkeiten auftauchen, wenn z.B. beim Gehen wieder ein unsicheres Gefühl auftaucht.

Diese fünf Anwendungsschritte „Durchführung der Übung“, „Suchen einer Erinnerung“, „Vergleich“, „neuerliche Durchführung der Bewegung bei gleichzeitiger Aktivierung der autobiographischen Erinnerung“ und „Benutzung der autobiographischen Erinnerung in der Therapie und im Alltag“ haben sich bei der bisherigen Anwendung bewährt. Jedoch sind zukünftige Patientenstudien notwendig, um die Effektivität dieser Anwendungsschritte zu bestätigen bzw. um ein eventuell noch effektiveres Anwendungsmodell zu entwickeln.

Das letzte Kapitel dieser Arbeit bietet eine Zusammenfassung aller Erkenntnisse dieser Arbeit und ermöglicht so ein Resümee. Es werden aber auch Hinweise für mögliche zukünftige Forschungsprojekte gegeben.

5 Resümee

Die Beschäftigung mit den unterschiedlichen Forschungsdomänen „autobiographische Erinnerung“ und „motorische Imagination“ hat die Erkenntnis gebracht, dass autobiographische Erinnerungen, die Bewegungselemente enthalten, sehr lebendige motorische Imaginationen sind und dass jede motorische Imagination auf alle Fälle eine persönliche Erinnerung ist, da der Inhalt aus dem Gedächtnis abgerufen wird.

Schon die herkömmliche motorische Imagination scheint als Lernmittel geeignet, da die Forschung gezeigt hat, dass die motorische Imagination ein identisches bzw. ähnliches neuronales Netzwerk aktiviert, wie die reale Ausführung der Bewegung, und dass das Hervorrufen einer motorischen Imagination, ähnlich wie die reelle Bewegung, nicht nur zu Veränderungen im vegetativen Nervensystem führt, sondern auch zu Veränderungen auf peripherer Ebene und auf zentraler Ebene. Jedoch hat die Anwendung der herkömmlichen motorischen Imagination in der Rehabilitation gezeigt, dass gerade PatientInnen mit pathologischen Bewegungsmustern Schwierigkeiten haben, sich eine physiologische Bewegung vorzustellen, da bei der herkömmlichen Anwendung der Imagination meist das jüngste und damit aktuelle, pathologische Bewegungsprogramm aus dem Gedächtnis abgerufen wird.

Die Anwendung der autobiographischen Erinnerung als besondere Form der motorischen Imagination kann dazu beitragen, diese Schwierigkeiten überwinden. Da gezielt Erinnerungen vor dem Geschehen (z.B. Schlaganfall, Blutungen, Knochenfraktur etc.) gesucht werden, sind innerhalb dieser Erinnerungen die Bewegungsabläufe noch physiologisch abgespeichert. Dies stellt einen der wertvollsten Vorteile der autobiographischen Erinnerung dar, denn so ist es den PatientInnen möglich, wieder ein physiologisches Bewegungsgefühl zu erleben.

Der größte phänomenologische Unterschied zwischen autobiographischer Erinnerung und herkömmlicher motorischer Imagination ist die hohe Emotionalität der persönlichen Erinnerungen, die einige Vorteile im Vergleich zur klassischen motorischen Imagination ermöglicht. Durch den hohen emotionalen Gehalt von autobiographischen Erinnerungen sind diese leichter abrufbar, sehr intensiv wiedererlebbar und sie verfügen über eine hohe Anzahl an Informationen, die auf vielfältige Weise miteinander vernetzt sind und daher als multimodale Einheit erlebt werden. Dank der hohen emotionalen Note im Moment der Einspeicherung zeichnen sich diese Erinnerungen zudem durch eine hohe Gedächtnisgenauigkeit und durch eine hohe Anzahl an körperinternen und körperexternen Relationen und Informationen aus. Innerhalb dieser multisensorischen Reprä-

sensation können bei einem neuerlichen Abruf unterschiedliche Anteile dieser Erinnerung bewusst gemacht werden, auch Informationen, die beim ursprünglichen Erleben nicht bewusst wahrgenommen wurden. Diese vormals impliziten Informationen, können für die jetzige Bewegungsplanung eine große Hilfe darstellen.

Die Forschung hat außerdem gezeigt, dass autobiographische Erinnerungen nicht nur ein sehr umfangreiches neuronales Netzwerk aktivieren, sondern dass dabei auch die für die Bewegungsplanung notwendigen Areale im ZNS aktiviert werden, wenn die Erinnerung auch Bewegungskomponenten enthält. Durch wiederholte Ekphorierung, also durch die Reaktivierung dieser gespeicherten Erinnerungen, und durch den Vergleich mit der momentanen, unterstützten Bewegungsausführung im Therapieraum, verändert sich einerseits die autobiographische Erinnerung, indem die bewegungsrelevanten Elemente innerhalb der Erinnerung bewusster werden. Andererseits verändert sich auch jenes Bewegungsprogramm, das die Bewegungen im Therapieraum ermöglicht, indem es durch den Vergleich mit der autobiographischen Erinnerung stärker vernetzt wird. Im optimalen Fall kommt es zu einer neuronalen „Verschmelzung“ der autobiographischen Erinnerung mit dem Bewegungsprogramm, das im Therapieraum erarbeitet wurde. Damit wird dieses Bewegungsprogramm leichter abrufbar und die dazugehörigen Bewegungen können dadurch auch im Alltag leichter aktiviert werden.

TherapeutInnen benötigen zwar eine gewisse Schulung und Erfahrung mit der autobiographischen Erinnerung, bis sie ihren PatientInnen in passender Weise helfen können, eine geeignete Erinnerung zu finden und bei einigen PatientInnen ist darauf zu achten, dass die Erinnerung auch wieder erlebt und nicht nur als semantische Erinnerung erzählt wird, aber dennoch scheint in Summe die autobiographische Erinnerung geeignet, um als Lernmittel eingesetzt zu werden.

Um das Lern-/Lehrmittel „autobiographische Erinnerung“ evidenzbasiert in die Rehabilitation einführen zu können, sollten Patientenstudien aber auch bildgebende Gehirnstudien folgen, damit die Effektivität quantifiziert wird und die Vorgänge im ZNS überprüft werden.

Abschließend darf ich berichten, dass ich als Therapeutin mehrfach erlebt habe, wie PatientInnen nach dem Gebrauch der autobiographischen Erinnerung und nach der mehrfachen Ausführung einer physiologischen und flüssigen Bewegung mit tränenerfüllten Augen geäußert haben: „Das ist schön! Das fühlt sich so normal an! So wie früher!“ Dies sind die Momente, in denen der motorische Lernprozess optimal gelungen ist. Das sind aber auch jene Momente, die zu schönen autobiographischen Erinnerungen werden.

6 Literaturverzeichnis

- Berthoz, Alain (1996): The role of inhibition in the hierarchical gating of executed and imagined movements. In: *Brain Res Cogn Brain Res* 3 (2), S. 101–113.
- Birbaumer, Niels; Schmidt, Robert F. (2010): *Biologische Psychologie*. 7. Auflage. Heidelberg: Springer Medizin Verlag.
- Bisiach, Edoardo; Luzzatti, Claudio (1978): Unilateral Neglect of Representational Space. In: *Cortex* 14, S. 129–133.
- Botzung, Anne; Rubin, David C.; Miles, Amanda; Cabeza, Roberto; Labar, Kevin S. (2010): Mental hoop diaries: emotional memories of a college basketball game in rival fans. In: *J. Neurosci.* 30 (6), S. 2130–2137.
- Cabeza, Roberto; St Jacques, Peggy (2007): Functional neuroimaging of autobiographical memory. In: *Trends in Cognitive Sciences* 11 (5), S. 219–227.
- Cavanna, Andrea E.; Trimble, Michael R. (2006): The precuneus: a review of its functional anatomy and behavioural correlates. In: *Brain* 129 (Pt 3), S. 564–583.
- Decety, Jean (1996): Do imagined and executed actions share the same neural substrate? In: *Brain Res Cogn Brain Res* 3 (2), S. 87–93.
- Decety, Jean; Jeannerod, Marc; Durozard, Daniel; Baverel, Gabriel (1993): Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. In: *J Physiol* 461, S. 549–563.
- Decety, Jean; Jeannerod, Marc; Germain, M.; Pastene, J. (1991): Vegetative response during imagined movement is proportional to mental effort. In: *Behav Brain Res* 42 (1), S. 1–5.
- Decety, Jean; Michel, François (1989a): Comparative analysis of actual and mental movement times in two graphic tasks. In: *Brain and Cognition* 11 (1), S. 87–97.
- Decety, Jean; Jeannerod, Marc; Prablanc, Claude (1989b): The timing of mentally represented actions. In: *Behav Brain Res* 34 (1-2), S. 35–42.
- Decety, Jean; Philippon, B.; Ingvar, D. H. (1988): rCBF landscapes during motor performance and motor ideation of a graphic gesture. In: *Eur Arch Psychiatry Neurol Sci* 238 (1), S. 33–38.
- Fink, Gereon R.; Markowitsch, Hans J.; Reinkemeier, Mechthild; Bruckbauer, Thomas; Kessler, Josef; Heiss, Wolf-Dieter (1996): Cerebral representation of one's own past: neural networks involved in autobiographical memory. In: *J Neurosci* 16 (13), S. 4275–4282.
- Fredrickson, Barbara L. (2001): The Role of Positive Emotions in Positive Psychology: The Broaden-and-Build Theory of Positive Emotions. In: *Am Psychol* 56 (3), S. 218–226.
- Guillot, Aymeric; Collet, Christian; Nguyen, Vo An; Malouin, Francine; Richards, Carol; Doyon, Julien (2008): Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. In: *NeuroImage* 41 (4), S. 1471–1483.
- Guillot, Aymeric; Collet, Christian; Nguyen, Vo An; Malouin, Francine; Richards, Carol; Doyon, Julien (2009): Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study. In: *Hum Brain Mapp* 30 (7), S. 2157–2172

- Habermann, Carola; Kolster, Friederike (Hg.) (2009): *Ergotherapie im Arbeitsfeld Neurologie*. 2. Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Héту, Sébastien; Grégoire, Mathieu; Saimpont, Arnaud; Coll, Michel-Pierre; Eugène, Fanny; Michon, Pierre-Emmanuel; Jackson, Philip L. (2013): The neural network of motor imagery: An ALE meta-analysis. In: *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 37 (5), S. 930–949.
- Ingvar, David H.; Philipson, L. (1977): Distribution of cerebral blood flow in the dominant hemisphere during motor ideation and motor performance. In: *Ann Neurol* 2 (3), S. 230–237.
- Jackson, Philip L.; Lafleur, Martin F.; Malouin, Francine; Richards, Carol; Doyon, Julien (2001): Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. In: *Arch Phys Med Rehabil* 82 (8), S. 1133–1141.
- Kosslyn, Stephen M. (1987): Seeing and imagining in the cerebral hemispheres: a computational approach. In: *Psychol Rev* 94 (2), S. 148–175.
- Kosslyn, Stephen M. (1988): Aspects of a Cognitive Neuroscience of Mental Imagery. In: *Science, New Series* 240 (4859), S. 1621–1626.
- Kuratorium für Verkehrssicherheit (2011): *Freizeitunfallstatistik 2010*. Verfügbar unter: <http://www.kfv.at/unfallstatistik> (Stand 2015-03-03).
- Levine, David N.; Warach, Stephen J.; Farah, M. (1985): Two visual systems in mental imagery: dissociation of "what" and "where" in imagery disorders due to bilateral posterior cerebral lesions. In: *Neurology* 35 (7), S. 1010–1018.
- Lorey, Britta; Pilgramm, Sebastian; Bischoff, Matthias; Stark, Rudolf; Vaitl, Dieter; Kindermann, Stefan et al. (2011): Activation of the parieto-premotor network is associated with vivid motor imagery--a parametric fMRI study. In: *PLoS ONE* 6 (5), S. e20368.
- Lotze, Martin; Halsband, Ulrike (2006): Motor imagery. In: *J Physiol Paris* 99 (4-6), S. 386–395.
- Maddock, Richard J.; Garrett, Amy S.; Buonocore, Michael H. (2001): Remembering familiar people: the posterior cingulate cortex and autobiographical memory retrieval. In: *Neuroscience* 104 (3), S. 667–676.
- Markowitsch, Hans J. (2002a): *Dem Gedächtnis auf der Spur. Vom Erinnern und Vergessen*. Darmstadt: Primus.
- Markowitsch, Hans J.; Welzer, Harald (2005): *Das autobiographische Gedächtnis. Hirnorganische Grundlagen und biosoziale Entwicklung*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Markowitsch Hans J. (2002b): Autobiographisches Gedächtnis aus neurowissenschaftlicher Sicht. In: *BIOS: Zeitschrift für Biographieforschung und Oral History* 15 (2), S. 187–201.
- Page, Stephen J.; Levine, Peter; Leonard, Anthony (2007): Mental practice in chronic stroke: results of a randomized, placebo-controlled trial. In: *Stroke* 38 (4), S. 1293–1297.
- Page, Stephen J.; Levine, Peter; Sisto, SueAnn; Johnston, Mark V. (2001): A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. In: *clin rehabil* 15 (3), S. 233–240.

- Pascual-Leone, Alvaro; Dang, Nguyet.; Cohen, Leonardo G.; Brasil-Neto, Joaquim P.; Cammarota, Angela; Hallett, Mark (1995): Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. In: *J Neurophysiol* 74 (3), S. 1037–1045.
- Perfetti, Carlo (2008): *Der hemiplegische Patient. Kognitiv-therapeutische Übungen*. 2. Aufl. München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Pflaum.
- Perfetti, Carlo (2007): *Rehabilitieren mit Gehirn. Kognitiv-therapeutische Übungen in Neurologie und Orthopädie*. München, Bad Kissingen, Berlin, Düsseldorf, Heidelberg: Pflaum.
- Pillemer, David B. (2003): Directive functions of autobiographical memory: the guiding power of the specific episode. In: *Memory* 11 (2), S. 193–202.
- Pohl, Rüdiger (2007): *Das autobiographische Gedächtnis. Die Psychologie unserer Lebensgeschichte*. 1. Aufl. Stuttgart: Kohlhammer.
- Porro, Carlo A.; Francescato, Maria P.; Cettolo, Valentina; Diamond, Mathew E.; Baraldi, Patrizia; Zuiani, Chiava; Bazzocchi, Massimo; di Prampero, Pietro E. (1996): Primary motor and sensory cortex activation during motor performance and motor imagery: a functional magnetic resonance imaging study. In: *J Neurosci* 16 (23), S. 7688–7698.
- Ranganathan, Vinoth K.; Siemionow, Vlodek; Liu, Jing Z.; Sahgal, Vinod; Yue, Guang H. (2004): From mental power to muscle power - gaining strength by using the mind. In: *Neuropsychologia* 42 (7), S. 944–956.
- Roland, P. E., Friberg L. (1985): Localization of cortical areas activated by thinking. In: *Journal of Neurophysiology* 53 (5), S. 1219–1243.
- Roland, P. E.; Larsen, B.; Lassen, N. A.; Skinhoj, E. (1980): Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man. In: *J Neurophysiol* 43 (1), S. 118–136.
- Schacter, Daniel L. (2001): *Wir sind Erinnerung. Gedächtnis und Persönlichkeit*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt-Taschenbuch-Verlag.
- Sharma, Nikhil; Pomeroy, Valerie M.; Baron, Jean-Claude (2006): Motor imagery: a backdoor to the motor system after stroke? In: *Stroke* 37 (7), S. 1941–1952.
- Statistik Austria (2007): *Österreichische Gesundheitsbefragung 2006/ 2007. Hauptergebnisse und methodische Dokumentation*. Verfügbar unter: <http://www.bmgfj.gv.at> (Stand 2015-03-03).
- Stinear, Cathy M.; Byblow, Winston D.; Steyvers, Maarten; Levin, Oron; Swinnen, Stephan P. (2006): Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. In: *Exp Brain Res* 168 (1-2), S. 157–164.
- Svoboda, Eva; McKinnon, Margaret C.; Levine, Brian (2006): The functional neuroanatomy of autobiographical memory: A meta-analysis. In: *Neuropsychologia* 44 (12), S. 2189–2208.
- Szameitat, André J.; Shen, Shan; Sterr, Annette (2007): Motor imagery of complex everyday movements. An fMRI study. In: *NeuroImage* 34 (2), S. 702–713.
- Trepel, Martin (2012): *Neuroanatomie. Struktur und Funktion*. 5. Aufl. München: Urban & Fischer in Elsevier.

- Ungerleider, Leslie G., Mishkin, Mortimer (1982): Two cortical visual systems. In: Ingle, David J., Goodale, Melvyn A., Mansfield, Richard J. (Hrsg.): Analysis of visual behavior. Cambridge, Mass., MIT Press, S. 549-586.
- Vandekerckhove, Marie M. P.; Markowitsch, Hans J.; Mertens, Markus; Woermann, Friedrich G. (2005): Bi-hemispheric engagement in the retrieval of autobiographical episodes. In: Behav Neurol 16 (4), S. 203–210.
- Vandell, Roland A.; Davis, Robert A.; Clugston, Herbert A. (1943): The Function of Mental Practice in the Acquisition of Motor Skills. In: The Journal of General Psychology 29 (2), S. 243–250.
- Wulf, Gabriele (2009): Aufmerksamkeit und motorisches Lernen. 1. Aufl. München: Elsevier, Urban & Fischer.
- Yue, G.; Cole, K. J. (1992): Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contractions. In: J Neurophysiol 67 (5), S. 1114–1123.

7 Anhang

Abkürzungsverzeichnis

BA	Brodmann Areal
EMG.....	Elektromyographie
fMRI	functional magnetic resonance imaging
KI	kinästhetische Imagination
KMI	kinästhetisch motorische Imagination
MI.....	motorische Imagination
M1.....	primär motorischer Kortex
OE.....	obere Extremität
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
rCBF	regional cerebral blood flow
S1	primär sensorischer Kortex
SMA.....	supplementär motorisches Areal
TMS	Transcranial Magnetic Stimulation
VI	visuelle Imagination
VMI	visuell motorische Imagination
ZNS.....	zentrales Nervensystem

Abkürzungen, die nur einmalig vorkommen und unmittelbar im Text erklärt werden, sind hier nicht angeführt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Rekonstruktionsprozesse autobiographischer Erinnerungen (Diagramm nach Cabeza/Jacques 2007: 226 (abgewandelt)).....	17
Abbildung 2: Das limbische System (Trepel 2012: 214)	18
Abbildung 3: Papez`sche Schaltkreis (Trepel 2012: 216)	19
Abbildung 4: Basolaterale limbische Kreis (Markowitsch 2002a: 22)	20
Abbildung 5: Die primären, sekundären und tertiären Aktivierungsareale des autobiographischen Gedächtnisses (nach Svoboda et al. 2006: 2192f.)	27
Abbildung 6: neuronales Netzwerk bei motorischer Imagination (nach Héту et al. 2013: 934)	60
Abbildung 7: Vergleich der beiden neuronalen Netzwerke: autobiographische Erinnerung (li) - motorische Imagination (re)	86

Eidesstattliche Erklärung Masterarbeit

Wopfner Susanne, Dipl. Physiotherapeutin

Matr. Nr. 1330003018

Masterstudiengang: Pädagogik in Gesundheitsberufen

2013/2015

Ich erkläre hiermit, dass ich die Masterarbeit zum Thema

**„Autobiographische Erinnerung und motorische Imagination als Lernmittel in
der Rehabilitation“**

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, sowie alle wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Texten entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Dies gilt für gedruckte Texte ebenso wie für dem Internet entnommene Texte, audiovisuelle Medien, Hörbücher und Bildnachweise.

Zirl, Mai 2015

Ort, Datum

Unterschrift der/des Studierenden