AUS DEM FACHBEREICH MEDIZIN AN DER PHILLIPS-UNIVERSITÄT MARBURG
KLINIK FÜR PSYCHIATRIE UND PSYCHOTHERAPIE
-Direktor: Prof. Dr. med. Tilo Kircher-

Skatebraining statt Gehirnjogging – Wie verändert sich das Gehirn durch Skateboardfahren?

BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Bachelor of Science
im Fach der Humanbiologie
mit dem Schwerpunkt Neurobiologie

vorgelegt von
Verena Krüger
Marburg, September 2016

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer
Erstgutachter: Prof. Dr. Andreas Jansen
Zweitgutachter: Prof. Dr. Susanne Knake
Vorgelegt am: 30.09.16

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst habe und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt und alle wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommenen Aussagen als solche gekennzeichnet habe. Ich erkläre weiterhin, dass die eingereichte Arbeit weder vollständig, noch in wesentlichen Teilen, Gegenstand eines anderen Prüfungsverfahren gewesen ist.

Ort, Datum

Verena Krüger

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG 1

2. EINLEITUNG 2

2.1 PLASTIZITÄT IM NERVENSYSTEM 3

2.1.1 STRUKTURELLE PLASTIZITÄT 4

2.1.2 FUNKTIONELLE PLASTIZITÄT 5

2.2 MOTORISCHE HIRNAREALE 5

2.2.1 PRIMÄRE MOTORCORTEX 8

2.2.2 SUPPLEMENTÄR-MOTORISCHE REGION 9

2.2.3 PRÄMOTORISCHE CORTEX 10

2.2.4 POSTERIORE PARIETALE KORTEX 10

2.2.5 CEREBELLUM 10

2.3 SPIEGELNEURONEN 11

2.4 ZIELSETZUNG DER ARBEIT 11

3. MATERIAL UND METHODEN 12

3.1 EINFÜHRUNG IN DIE PHYSIKALISCHEN GRUNDLAGEN 12

3.1.1 GRUNDLAGEN DER MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE 12

3.1.2 FUNKTIONELLE MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE 16

3.1.3 DIFFUSION-TENSOR-BILDGEBUNG 18

3.2 EXPERIMENTELLE DURCHFÜHRUNG 20

3.2.1 PROBANDENDATEN 20

3.2.2 EXPERIMENTELLES DESIGN 20

3.2.2.1 Grundlegender Aufbau eines fMRT-Experiments 20

3.2.2.2 Aufbau des durchgeführten fMRT-Experiments 21

3.2.3 EXPERIMENTELLER ABLAUF 23

3.3 DATENERHEBUNG 24

3.4 DATENAUSWERTUNG 24

3.4.1 ANALYSE DER FUNKTIONELLEN DATEN 25

3.4.1.1 Neuausrichtung („Realignment“) 25

3.4.1.2 Coregestration 25

3.4.1.3 Segmentierung 25

3.4.1.4 Normalisierung 25

3.4.1.5 Smoothing 26

3.4.1.6 Statistische Auswertung 26

3.4.2 ANALYSE DER GRAUEN SUBSTANZ (T_1-DATEN) 26

3.4.3 ANALYSE DER WEIßEN SUBSTANZ (DTI) 27

4. ERGEBNISSE 28

4.1 ERGEBNISSE DER STRUKTURANALYSE 28

4.2 ERGEBNISSE DER FUNKTIONELLEN DATEN 28

5. DISKUSSION 32

5.1 DISKUSSION DER STRUKTURANALYSE 32

5.2 DISKUSSION DER FUNKTIONELLEN ANALYSE 35

6. AUSBLICK 40

1. Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit wurde in der AG Brainimaging an der Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie am Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg verfasst. Es wurde eine Studie durchgeführt, in der die Magnetresonanztomographie (MRT) dazu benutz wurde um der Fragestellung nachzugehen, ob sich durch eine regelmäßige Betätigung des Skateboardfahrens eine Veränderung im Gehirn erfassen lässt. Hierfür wurde eine Aufnahme der grauen Substanz sowie eine Abbildung der kortikalen Faserbahnen mittels Diffusion Tensor Imaging (DTI) von Skateboardfahrern und Kontrollprobanden ohne Skateboard Erfahrung aufgenommen, um eine strukturelle Volumenveränderung zu dokumentieren.

Des Weiteren wurde eine Analyse mittels funktioneller MRT (fMRT) durchgeführt, hierbei wurden den Probanden Videostimuli dargeboten, in welchen Bewegungsabläufe (z.B. Skateboardtricks) zu sehen waren. Dies hatte zum Ziel eine mögliche veränderte Aktivierung in Hirnarealen von Skateboardfahrern bei bekannten Bewegungsabläufen wie Skateboardtricks zu untersuchen. Die Hypothese der vorliegenden Arbeit ist, dass sich die Aktivierungsmuster von Kontrollprobanden und Skateboardfahrern bei der Beobachtung von Skateboardtricks unterscheiden.

Durch die durchgeführte Studie konnten bei der Auswertung der grauen und weißen Substanz keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollprobanden und Skateboardfahrern in ihrer kortikalen Volumenverteilung gefunden werden. Die fMRT-Messung hingegen, ergab eine stärkere Aktivierung in Skateboardfahrern im Vergleich zu den Kontrollprobanden, bei der Beobachtung von Skateboardtricks. Die Aktivität unterschied sich in motorisch relevanten Arealen. Eine Hypothese über sogenannte Spiegelneuronen, welche bei der Beobachtung von Bewegungen aktiv sind konnte gestützt werden. Die Arbeit belegt die These, dass Sportexpertise zu einer Veränderung der funktionellen Aktivität des Gehirns führt.

2. Einleitung

„Die einzige Methode, gesund zu bleiben, besteht darin, zu essen, was man nicht mag, zu trinken, was man verabscheut, und zu tun, was man lieber nicht täte.“ – Mark Twain

Die Menschheit strebte schon immer nach Perfektion. Möglichst lange Gesund und Fit zu sein ist wohl eins der Ziele, dass viele zu erreichen versuchen. Hierfür haben unterschiedliche Individuen unterschiedliche Herangehensweisen, einer hört hierbei vielleicht auf den Rat seiner Großmutter und isst täglich Obst und Gemüse, ein anderer entdeckt einen waghalsigen Extremsport für sich. Doch Sinn und Zweck des Ganzen ist es, sein Leben in körperlicher und in mentaler Gesundheit zu verbringen. „Mach dich krass“-Fitnessprogramme erleben einen Boom in der heutigen Leistungsgesellschaft, aber diese Programme sind nicht für jeden etwas. Alternativ bieten sich Extremsportarten an oder ausgefallene Sportarten, die auch für Individualisten Platz bieten. Eine Sportart von denen sich vor allem Personen angesprochen fühlen die nicht die üblichen Mannschaftssportarten, wie Fußball ausüben möchten, ist das Skateboardfahren. Hierzu gehören Menschen die das Skateboardfahren als eine Art Lifestyle sehen, aber auch Personen die das Skateboardfahren entdeckt haben um für ein paar Stunden aus dem Alltag entfliehen zu können.
Wissenschaftliche Studien zu Sport und deren Auswirkungen auf das Gehirn sind häufig, doch gerade die Vielseitigkeit des Skateboardfahrens macht es zu einem interessanten Thema für die hier durchgeführte Studie. Ein Hilfsprogramm in Münster, gesponsert von Titus, mit dem Namen „Skaten statt Ritalin“, versucht Kindern, die unter dem Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Syndrom (ADHS) leiden, einen Weg anzubieten ihre Aktivität auszuleben. Hierbei treten nicht nur die offensichtlichen Pluspunkte des Programms ins Auge wie, dass die Kinder einer körperlichen Aktivität nach gehen und sich durch die Sportart Kameradschaften ausbilden. Durch das Skateboarden wird auch das Selbstbewusstsein gesteigert und das Frustrationsverhalten beziehungsweise dessen Toleranz trainiert, denn oft braucht es einige Anläufe bis ein Trick sitzt. Eine Stigmatisierung durch Gleichaltrige bleibt aus, wie sie etwa durch eine psychotherapeutische Behandlung entstehen hätte können. Dies ist besonders bei Kindern mit ADHS wichtig, da die krankheitsbedingte Hyperaktivität zu Problemen im allgemeinen Alltag führen kann und die betroffenen Kinder so schnell zu sozialen Außenseitern werden können. Dadurch das beim Skateboardfahren das Skateboard die Autoritätsperson ersetzt, erleben vor allem Pubertierende ein Freiheitsgefühl, da sie sich keiner Vorschrift beugen müssen.

Beobachtungen der Kinder, die an dem Programm teilnehmen, zeigten, dass sie eine Verbesserung im Alltag erfahren, sie nicht mehr so impulsiv sind und besser in der Schule zurecht kommen. Doch gibt es neben einer psychologischen Veränderung auch eine physiologische? Diese Bachelorarbeit soll einen Anfangspunkt für die Beantwortung dieser Frage darstellen.

Es wurde untersucht, ob die sportliche Aktivität, die die Skateboardfahrer ausüben hinreichend ist, eine Veränderung des Gehirns, z.B. in neuronalen Netzwerken oder der Gehirnstruktur hervorzurufen. Jene Veränderung könnte unter anderem durch die komplexen Bewegungsabläufe des Skateboardfahrens erzielt werden.

Um dieser Frage nachzugehen wurde eine Studie mittels MRT an Skateboardfahrern und Kontrollprobanden zur Analyse der funktionellen und strukturellen Plastizität durchgeführt. Als Einleitung in die Fragestellung wird zunächst die Theorie dargestellt, diese bezieht sich auf die grundlegenden Kenntnisse der Plastizität und der motorikrelevanten Gehirnareale. Darauf folgt das methodische Hintergrundwissen sowie die Darstellung der praktischen Durchführung zu der auch die Auswertung gehört. Anschließend werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert, wonach abschließend ein Ausblick bezüglich der ADHS Forschung folgt.

2.1 Plastizität im Nervensystem

Die Plastizität bildet den Grundbaustein der vorliegenden Untersuchung, weswegen diese folgend genauer erläutert wird. Die neuronale Plastizität beschreibt im Genaueren eine Form der Veränderung des Nervengewebes, wobei diese Veränderung in Abhängigkeit zur Nutzung geschieht. Diese Veränderung kann sich von einzelnen Synapsen, über Nervenzellen bis hin zu ganze Gehirnareale erstrecken. Durch die postnatale Plastizität sind wir im Stande neue Fähigkeiten zu erlernen, unsere physiologischen Vorgänge also so anzupassen, um mit den variablen Anforderungen der Umwelt zu recht zukommen.

Eine renommierte Studie, zu postnataler Plastizität, untersuchte in diesem Zusammenhang Pianisten und etwaige, durch das jahrelange Training bedingte, Plastizitätseffekte. Die durchführende Forschungsgruppe fand dabei heraus, dass sich durch das langjährige Training von Profimusikern eine strukturelle Vergrößerung des primär motorischen Cortex zeigte, welche im somatotopischen Areal zuständig für Handmotorik lokalisiert wurde (Amunts et al. 1997). Weitere Studien untersuchten unter anderem Balletttänzer, Jongleure und Golfer und zeigten weitere Evidenz auf, dass sich durch die regelmäßige Ausübung eines komplexen Bewegungsablaufes Veränderungen im Gehirn ergeben können (Bezzola et al. 2012; Gerber et al. 2014; Glaser et al. 2005). Da das Skateboardfahren ebenfalls einen hoch koordinativen

Bewegungsablauf erfordert, ist zu erwarten, dass sich auch hier Veränderungen im motorischen Cortex feststellen lassen.

Der gegenwärtige Kenntnisstand weißt darauf hin, dass die postnatale Plastizität zwar existiert, diese jedoch im Cortex limitiert ist und besonders in bestimmten Regionen auftritt. Im Gegensatz zur neuronalen Entwicklung und der damit verbundenen Plastizität erfolgt bei der postnatalen Plastizität keine Migration von Nervenzellen in neue Gebiete und es können keine neuen Konnektivitäten von Faserbahnen über lange Strecken entstehen.

Grundlage für die Veränderung des Nervengewebes ist dessen neuronale Nutzung. Die axonale Verbindung kann hierbei durch ein sogenanntes Langzeitpotential (LTP) verstärkt oder durch eine Langzeitdepression (LTD) geschwächt werden. Diese Vorgänge sind wichtige Bausteine des Lernens. Durch das LTP oder die LTD kommt es zu einer Veränderung der Genexpression und Transkription in der Zelle. Die Aktivierung von verschiedenen Signalkaskaden hat zur Folge, dass das Cytoskelett modifiziert wird, wodurch sich eine Formveränderung des dendritischen Spines ergibt. Bei einem LTP beispielsweise wird eine Verstärkung der Signaltransduktion dadurch erreicht, dass mehr N-Methly-D-Aspartat-Rezeptoren, die für den Ca^{2+}-Einstrom sorgen, durch Exocytose von Vesikeln an die Oberfläche der Postsynapse gelangen. (Schmidt et al. 2005: 61ff)

Um im Folgenden die Forschungsfrage und die methodische Anwendung besser nachvollziehen zu können, werden die Begriffe der strukturellen und funktionellen Plastizität erläutert und durch bisherige Erkenntnisse von Studien im Bereich Sport ergänzt. Der Vollständigkeitshalber muss hier erwähnt werden, dass eine dritte Form der neuronalen Plastizität die Neurogenese ist. Sie trägt zur Gedächtnisbildung bei und ist im Hippocampus nachgewiesen worden. Jedoch ist sie zum aktuellen Kenntnisstand für sportliche Studien eher irrelevant da man davon ausgeht, dass durch die verstärkte Nutzung bereits bestehende neuronale Konnektivitäten verändert werden. (Schmidt et al. 2005: 450ff)

2.1.1 Strukturelle Plastizität

Die Veränderung von der man bei der strukturellen Plastizität spricht, ist eine sichtbare Veränderung der Synapse und ihrer Kontaktfläche. Die Synapse wird hierbei entweder auf-, um- oder abgebaut. Folglich geht diese Art der Plastizität mit einer Volumenveränderung einher. Des Weiteren kann die strukturelle Plastizität auch Axone und Dendritenbäume beeinflussen. (Kapfhammer 2000: 1)

In der Untersuchung von Skateboardfahrern mittels MRT wäre daher eine Alternation von motorisch relevanten Arealen, durch ihre ausgeprägte Beanspruchung, erwartbar. Um auf das Beispiel der untersuchten Pianisten zu referieren, wäre es denkbar einen vergrößerten

somatotopischen Bereich des motorischen Cortexes im Bereich der unteren Extremitäten zu finden, da diese beim Skateboardfahren den Hauptakteur verkörpern.
Zu Erwarten wären darüber hinaus Ergebnisse wie sie die Studie von Gerber et al. (2014) fand. Die Forschergruppe untersuchte Jongleure und fanden im Vergleich zur Kontrollgruppe ein vergrößertes Volumen an grauer Substanz im Sulcus intraparietales im posterioren parietalen Cortex, welcher bei der Integration von sensorischen Informationen für die Planung und Ausführung von komplexen Bewegungen eine Rolle spielt. Jene Region die auch für das Skateboardfahren eine tragende Rolle spielt.

2.1.2 Funktionelle Plastizität

Bei der funktionellen Plastizität spricht man von der Veränderung der Übertragungsleistung durch Modifizierung der Synapse. Diese kann durch eine abgewandelte Ausschüttung von Neurotransmittern erlangt werden oder durch die veränderte Anzahl von Rezeptoren auf der Postsynapse. Diese Art der Plastizität ist unabhängig von einer Volumenveränderung, sie beschränkt sich auf die Effektivität der Signaltransduktion und ist sehr plastisch. (Kapfhammer 2000: 1)
Mittels der in dieser Studie verwendeten Methoden ist diese Art der Plastizität jedoch nicht direkt messbar. Sie könnte aber einen Einfluss auf die funktionelle MRT haben, da diese indirekt die Aktivierung von Gehirnarealen und den darin enthalten Neuronenverbänden misst. Bezogen auf die Fragestellung dieser Arbeit und auf bereits durchgeführten Studien wird jedoch davon ausgegangen, dass eine veränderte Aktivierung durch eine veränderte Verarbeitung von bekannten und unbekannten Bewegungsabläufen zustandekommt. (Schmidt et al. 2005: 100ff)

2.2 Motorische Hirnareale

Um einen besseren Einblick in das komplexe Thema der Bewegung und ihrer neuronalen Grundlagen zu gewinnen, werden folglich die motorischen Hirnareale und ihre Aufgaben näher beschrieben. Hierfür wird kurz die gesamte motorische Einheit skizziert, wobei anschließend genauer auf die, für die Studie relevanten, Areale eingegangen wird.
Jede Aktion und Reaktion unseres Körpers beruht auf einer Bewegung und ist das komplexe Zusammenspiel verschiedener motorischer Einheiten. So war der Beginn der Bewegungsforschung relativ simpel und effektiv. Mittels elektrischer Stimulation konnte Leyton und Sherrington (1917) an Primaten zeigen, dass eine Bewegung eines bestimmten Körperteils durch die Stimulation einer spezifischen kortikalen Region ausgelöst wird. Diese somatotopische Kartierung, welche sie auf dem primären motorischen Cortex entdeckten,

konnte durch die Arbeitsgruppe von Penfield in Menschen bestätigt werden. Ein weiterer wichtiger Meilenstein in der Entschlüsselung des Cortexs lieferte 1909 Korbinian Brodmann. Durch seine Arbeit mit dem Mikroskop teilte Brodmann den Cortex in verschiedene Areale auf, deren Zellschichten sich histologisch unterschieden. Diese Aufteilung entspricht den heute noch verwendeten Brodmann Arealen (BA). Er konnte zeigen, dass sich der Motorcortex in unterschiedliche Areale unterteilen lässt, den primären Motorcortex (BA 4) sowie die angrenzenden Zonen des prämotorischen Cortex (PMC) (BA6) und der supplementär-motorischen Region (SMA) (BA 6). (Chouinard et al. 2006)

Dies bildet den Grundstein für die heutige Motorikforschung, in welcher versucht wird die Aufgaben und Verschaltungen der einzelnen Gehirnareale besser zu verstehen. Hierfür werden Versuche mit Methoden wie der Elektroenzephalografie und der fMRT durchgeführt. Diese Methoden erlauben es die Gehirnaktivität nichtinvasiv zu beobachten, dies hat den Zweck herauszufinden, wann welche Areale für welche Prozesse des Bewegungsablaufs benötigt werden.

Der aktuelle Forschungsstand deutet darauf hin, dass das motorische System in einer hierarchischen Struktur angeordnet ist. Um eine Bewegung zu initiieren und auszuführen, müssen verschiedene Stationen der Verarbeitung durchlaufen werden. Hierbei sind die Ausgangspunkte der Bewegung die Assoziationsbereiche im Neocortex sowie die Baselganglien. Selbige werden auch als das übergeordnete motorische System bezeichnet. Weitere Bereiche des übergeordneten Systems sind der PMC, die zinguläre motorische Region und die SMA. Sie planen und initiieren die Bewegungsabläufe und werten relevante sensorische Informationen aus, zum Beispiel in welcher Lage sich der Körper aktuell befindet und wo das Ziel des geplanten Bewegungsablaufs ist. (Bear et al. 2008: 511ff)

Durch diese Kontrollstruktur können des Weiteren Reflexe von spinalen Neuronen unterbunden werden. Jedoch ist die Bewegung nicht ausschließlich von den kortikalen Strukturen abhängig. Dies zeigt das Beispiel des sogenannten „Central Pattern Generator“, welcher in der Lage ist simple Bewegungssequenzen, ohne externe Feedback-Signale, zu generieren. In der hierarchischen Anordnung der Strukturen wird deutlich, je niedriger die Rangordnung der Region ist, desto mehr Informationen müssen verarbeitet und weitergeleitet werden, sodass auf der letzten Ebene eine Information an jeden einzelnen Muskel gesendet wird. (Gazzaniga et al. 2002: 451ff)

Ein vereinfachtes Schema stellt die komplexen Zusammenhänge der Bewegungsinitiierung dar (siehe Abb. 1). Zu Beginn der Bewegung steht ein Grund diese Bewegung auszuführen, zum Beispiel, um ein bestimmtes Ziel wie die Zufuhr von Wasser zu regeln, in dem man ein

Glass mit Wasser trinkt. Dieser Wunsch kommt aus dem limbischen System, welches in diesem Beispiel bemerkt hat, dass der Wasserhaushalt dereguliert ist. Die Integration von den inneren Wünschen und externen Signalen erfolgt in einer Art Sammelstelle, dem präfrontalen Cortex. In dieser Sammelstelle wird darüber entschieden welche Verhaltensweise angemessen wäre, in unserem Beispiel also das Wasserglas zum Mund zuführen. Gleichzeitig hierzu werden im sensorischen Cortex externe Reize integriert, wie z.B. „Wo ist das Glas?“ und „Wo ist meine Hand?“.

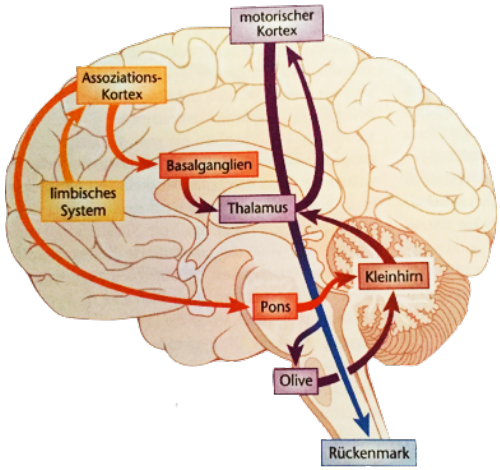


Abbildung 1: Ablauf einer Bewegungsinitiierung

Ausgehend vom Assotiationscortex müssen verschiedene kortikale Strukturen durchlaufen werden um eine Bewegung auszuführen. (Trepel 2012: 172)

Um die Bewegung nun auszuführen sind zwei Wege die vom Assoziationscortex abgehen wichtig. Der erste Weg führt zum Cerebellum. Hier wird die Feinabstimmung der Muskeln, die für den Bewegungsablauf notwendig sind durchgeführt und anschließend an den Thalamus weitergegeben. Der zweite Weg vom Assoziatonscortex führt zu den Basalganglien. Durch die Basalganglienschleife wird entschieden, ob und mit welcher Stärke der Bewegungsplan ausgeführt werden soll. Auch diese Information wird an den Thalamus weitergeleitet, wo die ankommenden Signale integriert werden und es zu einer Entscheidung, auf Grund des Inputs der Basalganglien kommt, ob der Bewegungsplan an den motorischen Cortex übermittelt wird. Geschieht dies, so wird der Motorplan via des Rückenmarks an die Muskeln gesendet. Ein kollateraler Teil der Pyramidenbahn, welcher über die Olive zum Kleinhirn verläuft, trägt dazu bei, während der Bewegungsausführung die Bewegung, beispielweise in Form der Kraftausübung, anzupassen. (Trepel 2012: 171f, 210f)

Die Verarbeitung der Bewegung verläuft jedoch nicht immer gleich. So gibt es bestimmte Regionen die besonders aktiv sind bei dem Erlernen von neuen Bewegungsabläufen, hierzu gehören der laterale präfrontale Cortex, der PMC, der parietale Cortex und das Cerebellum. Ist die Bewegung bereits bekannt weisen die Bereiche der SMA, des Hippocampus und der Okzipitalregion eine höhere Aktivierung auf. (Gazzaniga et al. 2002: 451ff)
Wichtige Kerngebiete für die durchgeführte Studie werden nun näher betrachtet, wobei vor allem ihr Aufgabenbereich beschrieben wird.

2.2.1 Primäre Motorcortex

Der primäre Motorcortex ist, wie bereits dargelegt, in eine somatotope Karte aufgeteilt. Das bedeutet, dass jedes Körperteil eines Individuums einem bestimmten Bereich des Cortex zugeordnet werden kann. Diese Karte stimmt dabei aber nicht mit der Oberflächengröße dieser Körperteile überein. Zonen, die in ihrer Bewegung besonders komplexe Aufgaben zu bewältigen haben, wie Beispielsweise die Hand, nehmen einen insgesamt größeren Bereich ein (siehe Abb.2).

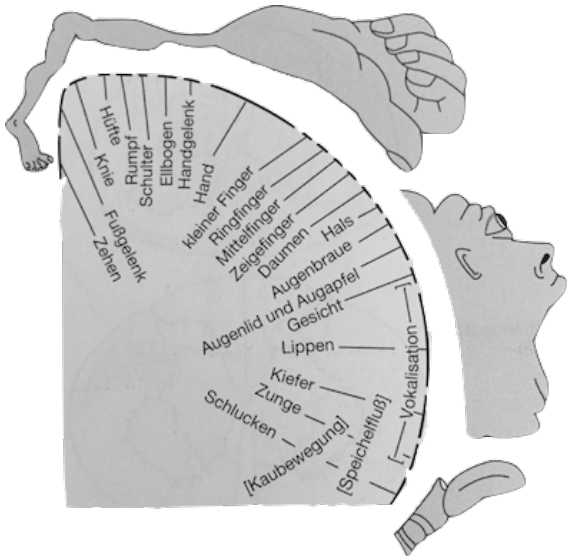


Abbildung 2 : Somatotope Gliederung des primären motorischen Kortex

Die Kartierung der Körperteile auf dem primären motorischen Kortex ist kontralateral angeordnet, das heißt die linke Hemisphäre repräsentiert die rechte Körperhälfte. (Kandel et al. 1995: 510)

Er ist die letzte kortikale Struktur, welche die Information die an das Rückenmark weitergeleitet wird verarbeitet, womit er für die direkte Bewegungsausführung zuständig ist. Der Bereich des primären Motorcortex scheint nur beim unmittelbaren Ausführen einer Bewegung aktiv zu sein, was die theoretische Annahme eines unmittelbaren Überträgers der

Bewegungsinformation stützen würde. Dies konnte eine Studie zeigen, in der die kortikalen Systeme bei der Vorstellung einer Bewegung und der Ausführung einer Bewegung verglichen wurden. (Dalla Volta et al. 2015)

2.2.2 Supplementär-motorische Region

Für die Bewegungsplanung ist die SMA zuständig, sie ist besonders vor der eigentlichen Bewegung aktiv. Man geht davon aus, dass die Region eine Art Speicher für komplexe Bewegungsabläufe ist, da die Aktivität der Region mit schwierigen Bewegungsabläufen korreliert. Genauer ist das Areal besonders aktiv, wenn komplexe Aufgabenstellungen zu bewältigen sind. Zudem werden Bewegungen, die durch ein intrinsisches Signal ausgelöst werden, über die SMA gesteuert. (Ashe et al. 1994)

Ist die SMA durch eine Läsion geschädigt, so kann es dazu kommen, dass Patienten Bewegungspläne unwillentlich ausführen. Man spricht dabei vom sogenannten „alien hand syndrom“. Da die intrinsischen Bewegungspläne entfallen, werden die Bewegungspläne des PMC ausgeführt, welche auf externen Stimuli basieren. Die Abstimmung der Bewegung zwischen den beiden Hemisphären erfolgt durch eine Projektion zwischen den beiden SMA Regionen, welche inhibitorisch aufeinander wirken. Dies hat zum Ziel, die Bewegung zielgerichtet nur in einer der beiden Hemisphären auszuüben, zum Beispiel eine Greifbewegung mit der Hand. Die Region weißt wie der primäre motorische Cortex eine somatotope Gliederung auf und steht neben dem primären motorischen Cortex und dem Kortikospinaltrackt, besonders mit dem präfrontalen Cortex und den Basalganglien in Verbindung. Diese Verbindung spiegelt die limbische Komponente wieder. (Gazzaniga et al. 2002: 451ff)

In Hinsicht auf die hier beschriebene Studie an Skateboardfahrern wird eine Volumenzunahme in dieser Region erwartet, da Skateboardtricks einen komplexen Bewegungsplan repräsentieren. Unklar ist jedoch noch, ob es bei einer reinen Beobachtung von Skateboardfahren, die einen Skateboardtrick ausüben, zu einer Aktivierung kommt.

Studien, die die Aktivierung von Gehirnarealen von Probanden während der Beobachtung von Bewegungsabläufen verfolgten, zeigten, dass für die Aktivierung der SMA eine bewegungsvorbereitende Komponente gezeigt werden muss (Glaser et al. 2005).

Diese Aussage würde für die funktionelle Aufgabe der SMA sprechen, da sie für die Bewegungsplanung zuständig ist.

2.2.3 Prämotorische Cortex

Im Gegensatz zur SMA, ist der PMC besonders bei Bewegungen aktiv, die durch visuelle Stimuli ausgelöst werden (Ashe et al. 1994). Genau wie die SMA ist auch er somatotopisch gegliedert und hat neben den Verbindungen zum Motorcortex und zum spinalen Trackt eine spezielle Innervation mit dem parietalen Cortex und dem Cerebellum (Gazzaniga et al. 2002: 451ff). Dank seines Inputs ist der PMC in der Lage sensorische und mechanorzeptive Informationen aus der Umwelt zu analysieren und so einen passenden Bewegungsplan mit zu entwerfen (Zilles et al. 1994: 299ff). So kann z.B. erklärt werden, warum Patienten mit einer Läsion des PMC Schwierigkeiten aufweisen eine Aufgabe mit visuellen Hinweisen zu erlernen (Chouinard et al. 2006).

Infolge dessen wäre es zu erwarten, dass bei Skateboardfahrern, da sie für das Ausführen von Tricks viele externe Signale integrieren müssen, eine Volumenzunahme des PMC vorliegt. Ein Beispiel hierfür wäre die Integration der Geschwindigkeit auf dem Skateboard, hierbei muss erkannt werden, welcher Geschwindigkeit es bedarf um einen bestimmten Skateboardtrick auszuüben. Eine Studie von Jäncke et al. (2009) konnte darlegen, dass geübte Golfer ein größeres Volumen des PMC im Vergleich zu Kontrollprobanden aufweisen.

2.2.4 Posteriore parietale Kortex

Um die räumliche Koordination mit der ausführenden Bewegung in Einklang zu bringen, ist der posteriore parietale Kortex notwendig. Es wird somit während der Ausführung der Bewegung diese immer wieder angepasst. Dies ist nicht nur im Alltag eine wichtige Komponente, um zum Beispiel Greifbewegungen richtig auszuführen zu können, sondern auch für Sportarten relevant. (Gazzangia 2002: 451ff)

Seine Funktion wird besonders deutlich in der Studie, welche Jongleure untersuchte und eine Vergrößerung von Teilen des posterioren parietalen Cortexs fanden (Gerber et al. 2014). Adäquat ist hierbei das Jonglieren insbesondere, weil es während der Durchführung einer konstanten Anpassung der Bewegungsplanung bedarf.

2.2.5 Cerebellum

Das Kleinhirn (Cerebellum) ist in drei Funktionseinheiten eingeteilt die verschiede Inputs erhalten und für unterschiedliche Aufgaben zuständig sind. So ist das Spinocerebellum zum Beispiel wichtig für die Feinabstimmung von gegenwärtigen Bewegungen der Extremitäten. Für das Körpergleichgewicht und die Koordination der Augenbewegung mit der Körperbewegung ist das Vestibulocerebellum zuständig. Ein wichtiges Gebiet für die Motorik ist das Cerebrocerebellum, das bei der Planung und Einleitung der Bewegung mitwirkt. Eine

besondere Rolle spielt das Cerebellum zudem in der Abstimmung des Timings von Bewegungen. (Gazzangia 2002: 485ff)
Dieser Aspekt ist speziell für die durchgeführte Studie wichtig, da in erster Linie das Timing für einen Skateboardtrick entscheidend ist. Jener Trainingseffekt kann durch eine Studie bekräftigt werden, welche Judo-Artisten untersuchte und einen trainingsinduzierten Effekt im Cerebellum fanden (Jacini et al. 2009).

2.3 Spiegelneuronen

Dank der sogenannten Spiegelneurone kann die Motorikforschung auch innerhalb eines MRTs durchgeführt werden, ohne dass eine eigenständige Bewegung des Probanden erfolgen muss. Die Spiegelneurone wurden als erstes im Affen entdeckt. Die Arbeitsgruppe von Rizzolatti stieß bei der Untersuchung von Affen zufällig darauf, dass in Affen die einen Menschen bei einer Bewegung, wie zum Beispiel das Greifen einer Traube, beobachten, die gleichen Gehirnareale eine Aktivierung aufweisen, wie wenn der Affe selbst diese Bewegung ausführen würde. Es wurde postuliert, dass jene Neurone dafür zuständig sind, die Bewegungsabläufe und so die Intention anderer Individuen zu verstehen (Gazzangia 2002:577).
Diese Aktivität der Spiegelneuronen soll im Experiment genutzt werden. Um dies zu erreichen werden im Experiment Videos abgespielt die Skateboardtricks zeigen, wodurch die Spiegelneuronen aktiv und ihre Aktivität indirekt mittels funktioneller MRT gemessen werden kann.
Zum parietal-frontalen Spiegelneuronen-System gehört der Lobulus parietals inferior, der ventrale Prämotor Cortex und der caudale Abschnitt des Gyrus frontalis inferior. Die Aktivität dieser Neurone ist besonders stark, wenn die ausgeführte Bewegung bekannt ist. (Fabbri-destro et al. 2008)

2.4 Zielsetzung der Arbeit

Ziel dieser Arbeit ist es zu untersuchen, ob es durch die komplexe sportliche Aktivität, die das Skateboardfahren insbesondere durch Skateboardtricks fordert, zu einer Veränderung im Gehirn kommt. Diese Veränderung wird sowohl auf der strukturellen Ebene untersucht, durch die Analyse von grauer Masse und Faserbahnen, als auch auf der funktionellen Ebene.
Da in vergleichbaren Studien bereits trainingskorrelierte Effekte gefunden wurden, ist die Annahme, dass auch durch das Skateboardfahren, welches ein hohes Maß an Geschick und Koordination beinhaltet, eine Veränderung sichtbar ist.

3. Material und Methoden

Nachfolgend werden die Methoden genauer beschrieben, welche notwendig waren um die Studiendaten zu generieren. Zunächst werden hierfür die Grundlagen der MRT skizziert, welche zum Verständnis der durchgeführten Bildgebung beitragen. Darauf folgend wird unter dem Punkt „Experimentelle Durchführung“ der genaue Aufbau und Ablauf der Studie wiedergegeben. Zusätzlich wird in der Datenauswertung dargestellt, welche Schritte anschließend zur Verarbeitung der gemessenen Daten durchgeführt wurden.

3.1 Einführung in die physikalischen Grundlagen

Ein besonderer Stellenwert, für die Durchführung der Studie, war das grundlegende Verständnis des MRTs und dessen verschiedene Bildgebungsarten. Zur Prüfung der Hypothese dieser Bachelorarbeit wurde die strukturellen Veränderungen mit einem T1-gewichtetes Bild und einer DTI Aufnahme untersucht. Durch das T1-Bild kann das Volumen der grauen Substanz untersucht werden, für die weiße Substanz ist ein DTI notwendig, hierdurch werden Nervenfasern zuverlässig dargestellt. Die funktionelle Alternation wurde mittels fMRT untersucht. Folglich wird in diesem Abschnitt genauer auf die verwendeten Bildgebungsmethoden und ihren Verwendungszweck eingegangen.

3.1.1 Grundlagen der Magnetresonanztomographie

Die MRT-Bildgebung ist heutzutage eine der wichtigsten medizinischen Analysemethoden, weil sie eine nichtinvasive Bildgebungsmethode darstellt, um innere Organe detailreich abzubilden. Das Verfahren ist zudem besonders schonend für Patienten, da diese keine gesundheitliche Beeinträchtigung erfahren, einzig die Lautstärke und die Enge des MRT-Geräts kann als unangenehm empfunden werden.

Das Messverfahren der MRT beruht auf einer Eigenschaft von Atomkernen, die durch ein äußeres Magnetfeld messbar gemacht werden können. Für die Untersuchung durch einen MRT sind nur Atomkerne geeignet, die einen magnetischen Moment aufweisen. Dieser entsteht durch eine ungerade Anzahl an Protonen und/oder Neutronen, wie z.B. in Wasserstoffatomen. Da das Wasserstoffatom nicht nur in großen Mengen gebunden an Wasser im Menschen vorhanden ist, sondern auch in fast allen anderen organischen Verbindungen vorliegt (zum Beispiel in Kohlenhydraten, Fetten, Proteinen), ist es für die Untersuchung des menschlichen Körpers durch MR-Bildgebung besonders geeignet.

Im folgenden Abschnitt werden zum besseren Verständnis die physikalischen Gegebenheiten am Wasserstoffproton dargestellt.

Physikalisch gesehen basiert die Methode der MRT auf dem Kernspin der Neurone und Protonen im Atomkern. Dieser Spin ist ein Eigendrehimpuls des Kernteilchens um seinen eigenen Schwerpunkt, ähnlich einem Kreisel der eine konstante Drehbewegung ausführt. Die Bewegung des Spins induziert einen magnetischen Moment. Vereinfacht kann man sich die Wasserstoffkerne als kleine Magneten vorstellen, die in der normalen Umwelt unausgerichtet vorliegen und sich so gegenseitig ausgleichen. Jedes Wasserstoffproton pendelt dabei in einer bestimmten Frequenz, der sogenannten Larmor-Frequenz, jene ist abhängig vom Magnetfeld. Die gyromagnetische Konstante (γ), welche bei einem Wasserstoffproton 42,58 MHz/T beträgt, ist eine stoffspezifische Konstante. (Weishaupt et al. 2014: 2ff)

$$\omega_0=\gamma*B_0$$

ω_0: Larmorfrequenz in [MHz]; γ: gyromagnetische Konstante, charakteristisch für jedes Element; B_0: Abhängig vom angelegten Magnetfeld in Tesla [T] (Weishaupt et al. 2014: 3)

Im MRT werden die Spins durch ein äußeres Magnetfeld ausgerichtet. Diese Ausrichtung ist entweder parallel oder antiparallel zur Richtung des Magnetfelds. Energetisch betrachtet wird die parallele Ausrichtung bevorzugt, da sie einen energieärmeren Zustand repräsentiert. Summiert man nun die Gesamtheit der Wasserstoffprotonen eines magnetisierten Körpers zusammen, so entsteht ein magnetischer Vektor, welcher, da die meisten Protonen in einem energiearmen Zustand vorliegen, parallel zum anliegenden Magnetfeld ausgerichtet ist. Hier spricht man auch von der longitudinalen Magnetisierung. In Form der Larmorfrequenz, die durch eine Radiospule ausgesendet wird, kann dem Kernteilchen (Proton/Neuron) Energie zugeführt werden, wodurch sich der Spin vom parallelen in den antiparallelen, dem energiereicheren Zustand, ändern kann. Durch die Spezifität der Lamourfrequenz, werden so nur die für die Untersuchung relevanten Spins angeregt. Geschieht dies bei genügend Kernteilchen, kommt es zu einer Änderung des summierten Vektors und die Ausrichtung des Vektors kippt um 90° in die Längsachse. Dieser Zustand wird als die transversale Magnetisierung bezeichnet. Um nun die Frage zu klären was das messbare MRT-Signal darstellt, muss die Auswirkung der Phasensynchronität der Spins näher betrachtet, die die Transversalmagnetisierung auslöst. Die Phasensynchronität ist eine zusätzliche Eigenschaft der Spins, welche sie nach der Einsendung der Larmorfrequenz aufweisen. Durch den Energietransfer laufen die Spins und deren Phasen, nach unmittelbarer Anregung, synchron zueinander. Durch die Bewegung der phasensynchronen Protonen kommt es zur Transversalmagnetisierung, wodurch in der Empfängerspule eine detektierbare

Wechselspannung induziert wird, welche der Lamorfrequenz der Wasserstoffprotonen entspricht. Verlieren die Protonen ihre Phasenkohärenz so heben sich die einzelnen Frequenzen gegenseitig auf, was zur Folge hat, dass kein Signal mehr abgegriffen werden kann (siehe Abbildung 3). Bei dem Verlust der Phasensynchronität spricht man auch von der T_2-Relaxation, hierbei kommt es zu keinem Energietransfer. (Weishaupt et al. 2014: 4ff)

Es ist zu beachten, dass der Energieunterschied zwischen den unterschiedlichen Ausrichtungen der Spins, parallel und antiparallel, abhängig von der Stärke des angelegten Magnetfelds ist. Hierbei gilt: je größer das angelegte Magnetfeld, desto größer ist der Energieunterschied. Mit der Zeit fallen die angeregten Protonen, nach Abgabe ihrer Energie, in ihren Grundzustand der parallelen Anordnung, zurück. Es kommt zur T_1-Relaxation (siehe Abbildung 3). Dieser Vorgang der Energieabgabe wird durch die unterschiedliche chemische Umgebung und Bindung der Wasserstoffprotonen beeinflusst, wodurch verschiedene Relaxationszeiten entstehen. Hieraus resultieren die späteren Kontrastunterschiede in der Bildaufnahme. (Weishaupt et al. 2014: 8ff)

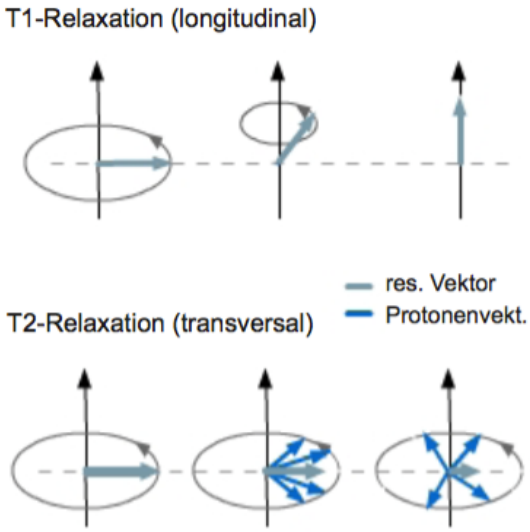


Abbildung 3: T1- und T2- Relaxation

Dargestellt ist die Veränderung des summierten Vektors. (Pabst 2013: 7)

Bei der klassischen Anwendung des MRTs werden strukturelle Bilder mit verschiedenen Kontrasten aufgenommen, diese können entweder T_1- oder T_2-gewichtet sein. Durch die Gewichtung des Bildes weisen verschiedene Gewebetypen unterschiedliche schwarz bis weiß Schattierungen auf. Beeinflusst wird die MRT-Bildgebung dabei von der T_R, der Repetitionszeit. Sie sagt aus wie schnell die nächste Radiofrequenz eingestrahlt wird. Ein

weiter Faktor spielt die T_E, die Echozeit. Selbige sagt aus zu welcher Zeit das MRT-Signal abgegriffen wird.

Spricht man von einem T_1-gewichteten Bild, so sind Strukturen wie Fettgewebe hell und wässrige Flüssigkeiten dunkel abgebildet. Dieser Kontrast kann durch eine kurze T_R und eine kurze T_E erreicht werden. Physikalisch entsteht der Kontrast dadurch, dass das Wasser die Energie länger bewahrt als das Fettgewebe. Dadurch hat das wiederholte Einstrahlen der Frequenz die Auswirkung, dass noch mehr Protonen in den antiparallelen Zustand gebracht werden, womit das Signal, das basierend auf der Transversalmagnetisierung gemessen wird, abnimmt. Im T_2-gewichteten Bild sind wässrige Flüssigkeiten wie Liquor hell dargestellt. Dies wird durch eine lange T_R und eine lange T_E erreicht. Der Liquor hat die Eigenschaft die Phasensynchronität lange beizubehalten, wodurch selbst nach einer langen T_E noch ein Signal gemessen werden kann. Um das Signal zu Rausch Verhalten möglichst gering zu halten wird meist ein intermediär-gewichtetes Bild benutzt. Selbige beinhalten eine lange T_R, aber eine kurze T_E. Dadurch wird erreicht, dass alle Gewebearten die Zeit dazu haben in den Grundzustand, durch eine T_1-Relaxation, zurück zu fallen und erneut angeregt werden können. (Weishaupt et al. 2014: 12ff)

Um nun das gemessene Signal einem Ort zuordnen zu können, wird die Eigenschaft der Spins ausgenutzt. Durch Änderung des Magnetfelds und damit der Larmorfrequenz, kann das gemessene Volumen in sogenannte Voxel eingeteilt werden. Für diese eindeutige Zuordnung des Signals innerhalb des Volumens ist es nötig, drei verschiedene magnetische Gradienten zu generieren (siehe Abbildung 4).

Der Z-Gradient, der entlang des gelagerten Körpers verläuft, dient der Selektion einer bestimmten Schicht. Um dies zu erreichen wird zum konstanten Magnetfeld mittels einer zusätzlichen Magnetspule ein Gradient gefahren. Hierdurch ist das Magnetfeld am Kopfbereich etwas stärker als es im Bereich der Füße der Fall ist. Resultierend daraus hat jede Schicht seine eigene Lamourfrequenz, mit der sie spezifisch angeregt werden kann. Aufgrund des Z-Gradienten wird die Schichtdicke bestimmt. Für eine geringe Schichtdicke wird ein starker Gradient benötigt. Eine geringe Schichtdicke ist zum Beispiel bei der Aufnahme von strukturellen Bildern relevant, da selbige detailreich sein sollen.

Zur weiteren Aufschlüsselung des zu messenden Volumens, wird ein kurzer Y-Gradient gefahren. Hierdurch wird die sogenannte Phasenkodierung erreicht. Durch den zusätzlichen Gradienten kommt es dazu, dass die oberen Protonen zum Zeitpunkt an dem der Gradient gefahren wird eine höhere Frequenz besitzen als dies im unteren Bereich der Fall ist. Es wird

eine Phasenverschiebung bewirkt, die auch nach dem der Y-Gradient nicht mehr aktiv ist und alle Protonen wieder die selbe Frequenz besitzen, vorhanden bleibt.

Der letzte Schritt ist die Frequenzkodierung, ein in der X-Richtung geschalteter und bei der Messung des MRT-Signals aktiver Gradient, welcher von rechts nach links zunimmt und die Lamourfrequenz der einzelnen Protonen nochmals verändert. Durch diesen Vorgang erhält man bei der Messung viele unterschiedliche Frequenzen, wobei die Schicht, die sich an der linken Seite des zu messenden Objektes befand, die höchste Frequenz aufweist. (Weishaupt et al. 2014: 22ff)

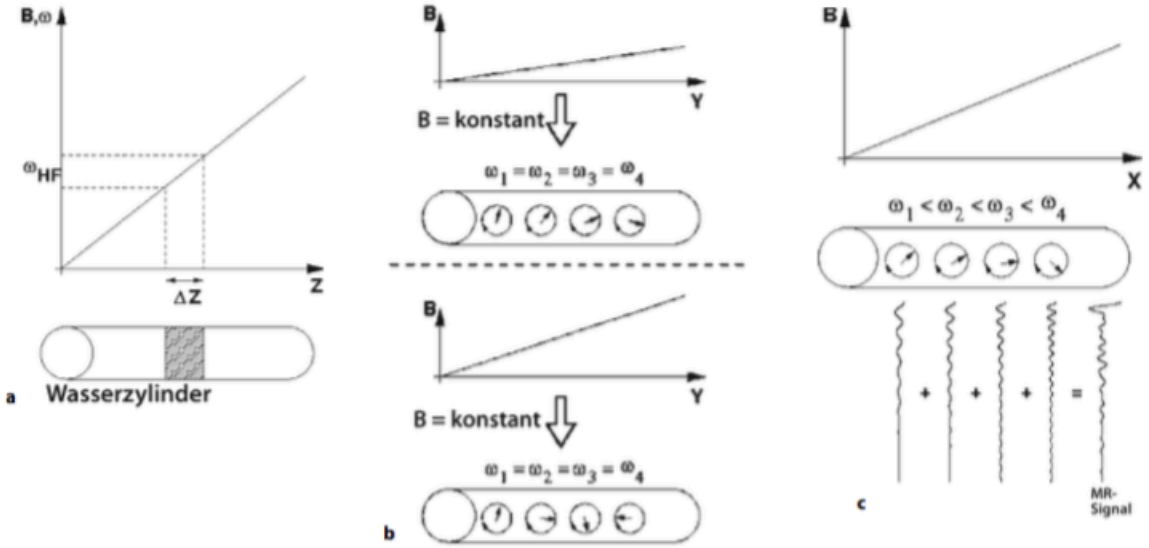


Abbildung 4: Die Ortskodierung des MRT

a) Die Schichtselektion erfolgt durch eine exklusive Anregung einer bestimmten Schicht durch eine auf den Gradienten angepasste Resonanzfrequenz b) Eine Phasenkodierung wird durch das kurze Einschalten eines Gradienten erreicht, der die synchron laufenden Spins, durch eine, durch das anliegende Magnetfeld, veränderte Frequenz dephasiert c) Während der Messung des MRT-Signals wird ein Magnetfeld geschalten, wodurch es zu einer ortsabhängigen Frequenzvariation kommt. (Schneider et al. 2013: 67)

3.1.2 Funktionelle Magnetresonanztomographie

Eine heutzutage übliche Erweiterung der grundlegenden MRT-Untersuchung bildet die fMRT. Eine Methode durch welche man in der Lage ist, die neuronale Aktivität indirekt zu messen. Im Gegensatz zur Elektroenzephalografie ist die zeitliche Auflösung zwar weniger gut, dafür kann die neuronale Aktivität aber auch in tieferen kortikalen Schichten gemessen werden.

Man beobachtet hierbei zum Beispiel eine Aktivierung die durch einen visuellen oder sensomotorischen Stimulus ausgelöst werden kann. Die Grundlage der fMRT bildet hierbei das desoxygenierte Blut. Genauer betrachtet man den sogenannten BOLD („blood-oxygen-level-dependent“) -Effekt. Es wird davon ausgegangen, dass wenn ein Gehirnareal aktiv ist, es vermehrt Sauerstoff verbraucht. Dabei werden die anliegenden Blutgefäße erweitert, um den Bedarf zu decken. Auf diese Weise kommt es jedoch zu einem Überschuss an Sauerstoff in Form von Hämoglobin. (Weishaupt et al. 2014: 92ff)

Das MRT-Signal wird dabei in einem T_2-gewichteten Bild dargestellt und entsteht durch die verschiedenen Auswirkungen der Sauerstoffsättigung auf den T_2-Wert des Wassers. Das desoxygenierte Blut, welches paramagnetisch ist, übt einen Effekt auf das umliegende Wasser aus, genauer verkürzt es dessen T_2-Wert. In einer aktiven Hirnregion liegt vermehrt oxygeniertes Hämoglobin vor, welches durch seine chemische Bindung keine freien Elektronen enthält und dadurch diamagnetisch ist, folglich hat es keine Auswirkung auf den T_2-Wert des umliegenden Wassers. (Weishaupt et al. 2014: 92ff)

Da der BOLD-Effekt ein Resultat der neuronalen Aktivierung ist, wird die eigentliche Aktivierung nur indirekt gemessen. Hieraus resultiert ein gemessenes Signal das zeitlich nicht mit der neuronalen Aktivierung auftritt. Tatsächlich ist das zu messende Signal um ca. 4 Sekunden verschoben (siehe Abbildung 5). (Schneider et al. 2013: 77)

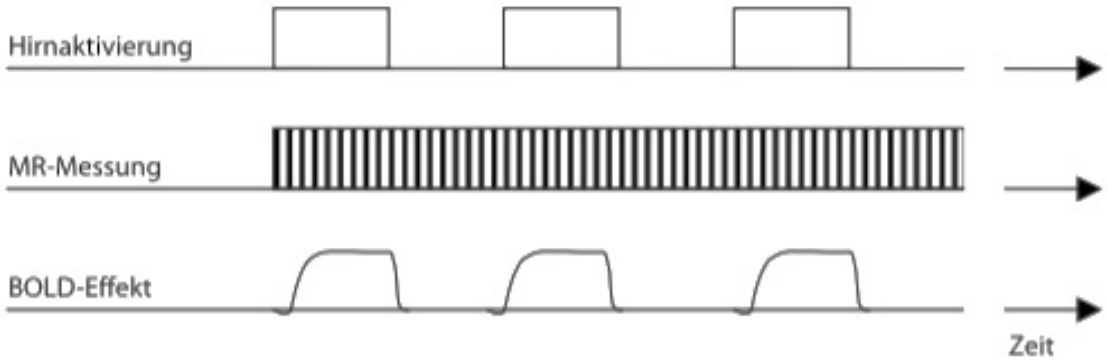


Abbildung 5: Verlauf der fMRT-Messung

Um das zur neuronalen Aktivität zeitlich versetzte BOLD-Signal zu erfassen erfolgt eine kontinuierliche MR-Messung. Für eine bessere Zuordnung der einzelnen Aktivierungen werden die Stimuli durch Ruhepausen getrennt. (Weishaupt et al. 2014: 93)

Um eine möglichst schnelle zeitliche Aufnahme zu ermöglichen wird das Echo-Planar-Imaging (EPI) durchgeführt. Hierbei ist die Auflösung des gemessenen Bildes zwar geringer,

jedoch kann das Gehirn innerhalb von weniger als 100 ms ganz abgebildet werden. Bei diesem Vorgang wird nach einer einmaligen Anregung der Protonen, einer Schicht, die Phasenkodierung und die Frequenzkodierung schnell, mehrmals hintereinander geschaltet. Die Auflösung ist dabei limitiert. Dies ist durch den T_2*-Abfall, also die Dephasierung der Spins bedingt. (Weishaupt et al. 2014: 58ff)

3.1.3 Diffusion-Tensor-Bildgebung

Das DTI ist ein Verfahren um kortikale Faserbahnen darzustellen. Das dafür benutze Konzept beruht auf der Diffusionseigenschaft von Wassermolekülen. Die Brown'sche Molekularbewegung sagt aus, dass Moleküle sich typischerweise frei in einem Raum bewegen. Würde man nun den Vektor dieser Bewegung beschreiben so wäre er in alle Richtungen gleich groß. Diese Art der Diffusion wird als isotrop beschrieben, wobei die Bewegungsrichtung, der Vektor der Bewegung, als Kugel dargestellt werden könnte. Dieser Zustand der isotropen Diffusion kann zum Beispiel im Liquor der Hirnventrikel gefunden werden. Für die DTI-Messung ist jedoch besonders der Wasseranteil interessant, welcher sich im intrazellulären und extrazellulären Raum befindet. Durch die Barrieren, wie Zellmembranen, an ihrer Diffusion gehinderten Wassermoleküle können sich nicht in alle Richtungen gleich schnell bewegen. Hierdurch verändert sich der Bewegungsvektor. Stellt man sich zum Beispiel vor, dass sich ein Wassermolekül in einem Axon befindet, so ist die Bewegung des Moleküls entlang des Axons deutlich schneller als die Diffusion über die Membran und die Myelinschicht. Diese Art der Bewegung wird als anisotrope oder richtungsabhängige Diffusion betitelt und entspricht graphisch dargestellt einer Ellipse. Da diese Bewegungsvektoren jedoch einzeln nur sehr klein sind, ist der Effekt häufig nur in parallel verlaufenden Fasern messbar, wodurch sich der Bewegungsvektor der einzelnen Wassermoleküle aufsummiert. (Weishaupt et al. 2014: 100f)

Um diese Bewegungsvektoren mit einem MRT zu messen wird die dafür spezialisierte Diffusionsmessung durchgeführt. Nach der Anregung der Wasserstoffprotonen durch eine Radiofrequenz werden zwei identische Gradienten geschalten (siehe Abbildung 6). Der erste Gradient hat eine dephasierende Auswirkung auf die Spins (Weishaupt et al. 2014: 101ff). Darauf folgt ein starker 180° Frequenzimpuls. Dieser bewirkt, dass die Spins, welche sich am schnellsten dephasiert haben, am stärksten verändern. Schneider et al. (2013:69) beschreiben es in *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* wie folgt: „Nimmt man an, dass alle Läufer mit unterschiedlichen, aber konstanten Geschwindigkeiten laufen und lässt sie nach der Zeit TE/2 die Richtung umkehren, so landen alle wieder exakt zeitgleich zum Zeitpunkt TE am Start. Dieser Vergleich ist nur bedingt richtig, da der 180°-Puls nicht die Orientierung

der Bewegung, sondern die der Spins ändert – übertragen auf das Beispiel würde das heißen, dass die Läufer von Geisterhand ihre Positionen genau so tauschen, dass aus jedem Vorsprung ein entsprechender Rückstand wird. Dies ist durch eine 180°-Drehung jedes Spins (bzw. Läufers) entlang einer Achse innerhalb der Rotationsebene der Spins (bzw. innerhalb der Laufbahn-Ebene) möglich“. Durch dieses Verfahren wird die unterschiedliche T_2-Relaxtionszeit ausgeglichen, um ein möglichst starkes Signal abzugreifen. Diesen Zweck erfüllt es auch in der beschriebenen Diffusionsmessung. (Schneider et al. 2013: 69f)
Jedoch wird das Signal hier zusätzlich durch einen weiteren Faktor beeinflusst und zwar den zweiten Gradienten. Im Gegensatz zur normalen Messung wurde durch den ersten Gradienten eine bewusste Dephasierung erreicht, welche durch die eingestrahlte 180° Frequenz und den zweiten Gradienten wieder zu einer Synchronisation der Spins führen sollte. Das eigentlich Interessante an diesem Verfahren ist dabei der Intensitätsverlust des gemessenen Signals. Denn nur wenn sich ein Wasserstoffproton nicht bewegt kann es wieder den für ihn passenden Gradienten erhalten. Je stärker also der Signalverlust desto stärker haben sich die Teilchen in dieser Umgebung bewegt, ein Beispiel hierfür ist, wie oben erwähnt, der Liquor. Selbiger verhält sich in den Ventrikel weitestgehend isotrop und ist damit im DTI-Bild dunkel dargestellt, da ein starker Signalverlust eintritt. (Weishaupt et al. 2014: 101ff)

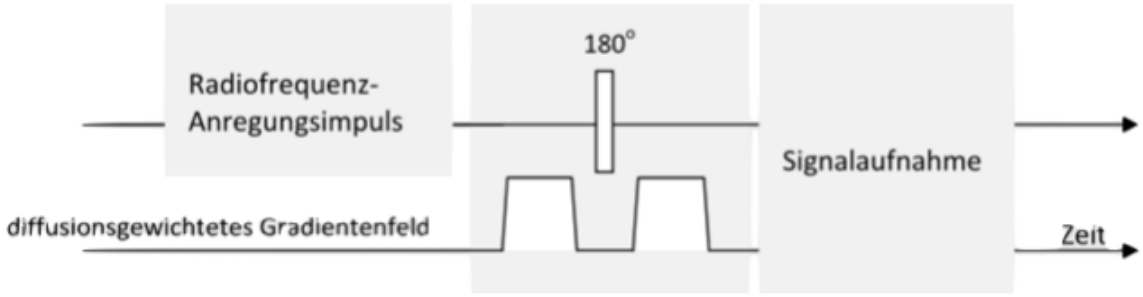


Abbildung 6: Verlauf der Diffusionsmessung

Nach einer absichtlichen Dephasierung der Spins durch den ersten Gradienten, wird mittels einem 180° Frequenz und dem identischen Gradienten eine Rephasierung durchgeführt. Diese funktioniert nur bei Wassermolekülen, die sich nicht bewegt haben. (Weishaupt et al. 2014: 102)

In der DTI-Messung wird dieser Vorgang mit mindestens sechs verschiedenen Richtungsvektoren variiert. Die verschiedenen Signalstärken geben dabei Aufschluss darüber wie die Geometrie der Strukturen, welche die Diffusion beeinflussen, aussehen könnte. Um die Art der Diffusion zu beschreiben wird häufig der FA(“fractional anisotropy“)-Wert benutzt. Dieser weißt einen Zahlenwert zwischen Null und Eins auf, ist er Null ist keine

gerichtete Diffusion vorhanden, also eine isotrope Diffusion. Ist der Zahlenwert Eins handelt es sich um eine Diffusion entlang nur einer Richtung. (Weishaupt et al. 2014: 103f)

3.2 Experimentelle Durchführung

Um einen besseren Überblick über das durchgeführte Experiment zu schaffen, wird hier der gesamte Versuchsablauf des Experiments „Skatebraining statt Gehirnjogging- Wie verändert sich das Gehirn durch Skateboardfahren?“ dargestellt. Die Untersuchung fand an der Klinik für Psychiatrie in Marburg statt und wurde von der Ethikkommission am 19. April 2016 bewilligt (Aktenkennzeichen 47/16). Unterstützt wurde die Durchführung von der Organisation SkateAid sowie von Alexander Kirk und Thomas Dirksen aus Münster, mit deren Kooperation die Skateboardvideos entstanden.

3.2.1 Probandendaten

An dem Versuch nahmen insgesamt 19 Probanden teil, zehn davon wurden der Kategorie Skateboardfahrer zugeordnet. Neun Probanden, ohne Skateboarderfahrung, bildeten die Kontrollgruppe. Die untersuchten Teilnehmer hatten im Durchschnitt das Alter von 25,9 Jahren mit einer Standardabweichung von 2,1 Jahren, unter ihnen war eine weibliche Person enthalten und 18 männliche. Des Weiteren wurden die Probanden mittels dem Olfield und Edinburgh Test auf ihre Händigkeit getestet. Es gab unter den Probanden zwei Linkshändler, je einer davon in einer der beiden Experimentalgruppen. Als Skateboardfahrer wurden Personen gewertet die mindestens ein Jahr Erfahrung im Skateboardfahren besaßen, wobei das Skateboardfahren jedoch nicht aktuell ausgeübt werden musste. Die Skateboarderfahrung variierte unter den Skateboardfahrern dabei zwischen 2 bis 15 Jahren, die durchschnittliche Erfahrung betrug 6,9 Jahre mit einer Standardabweichung von 4,3 Jahren.

3.2.2 Experimentelles Design

Um die Forschungsfrage, wie sich das Gehirn durch Skateboardfahren verändert, zu klären mussten verschiedene Messungen durchgeführt werden. Hierzu gehörte die Messung der grauen und weißen Substanz durch eine T1-Aufnahme und eine DTI, welche genauer im vorangehenden Abschnitt „Einführung in die physikalischen Grundlagen“ behandelt wurden. Zudem wurde ein fMRT durchgeführt, dessen Versuchsaufbau hier detailliert dargestellt wird. Abschließend wird die Durchführung des Experiments geschildert.

3.2.2.1 Grundlegender Aufbau eines fMRT-Experiments

Um die Gehirnaktivierung zu messen muss in einem fMRT-Versuch auf wichtige Eckpunkte geachtet werden. Da die Aktivierung nur im Vergleich zum Rauschverhältnis ermittelt wird

ist es wichtig, dass durch einen bestimmten Stimulus eine hinreichende Aktivierung ausgelöst wird. Hierzu werden viele Versuche in einem sogenannten Blockdesign aufgebaut. Das Blockdesign besteht aus einer festen Zeitfolge, in welchem die gleiche Stimuluskategorie über längere Zeit präsentiert wird. Die dabei entstandene Aktivierung wird über den Block hinweg gemittelt. Dies hat den Effekt, dass das Ergebnis statistisch mehr Signal aufweist. Jedoch kann es innerhalb des Blocks zu einer abnehmenden Aktivierung kommen, da die wiederholte Präsentation eines Stimulus einen Habituationseffekt auslösen kann. Genauer bedeutet das, dass sich der Proband, der dem Stimulus ausgesetzt ist, an den dargebotenen Reiz gewöhnt und die Aktivierung nicht mehr so stark ist wie zu Begin.

Ein weiterer Ansatz zur Messung der Aktivierung, welcher keinen Antizipationseffekt aufweisen soll, ist das „event related"-Design. Bei diesem Design ist die Reihenfolge der Stimuli so aufgebaut, dass Stimuli der gleichen Kategorie nie aufeinander folgen. Des Weiteren wird das „event related"-Design in der Literatur als „[...] Design, bei dem die Zeit des Auftretens eines Stimulus nicht festgelegt ist und bei dem die Stimulusvorgabe sehr kurz sind [...] sodass [...] der nächste Stimulus/ die nächste Aufgabe nicht vorhersagebar ist."(Schneider et al. 2013: 140). Das „event related"-Design besitzt damit eine gute zeitliche Auflösung, aber eine statistisch kleinere Power als das Blockdesign. (Schneider et al. 2013: 140ff)

3.2.2.2 Aufbau des durchgeführten fMRT-Experiments

Im Fall des durchgeführten fMRT-Experiments wurde der Aufbau eines Blockdesgins gewählt. Zur Ermittlung der veränderten Aktivität in Skateboardfahrern wurden Stimuli, die die Motorik der Skateboardfahrer aktivieren sollte, aufgenommen. Diese Stimuli entsprechen Videos mit unterschiedlichen Skateboardtricks (siehe Abbildung 7(a)). Insgesamt wurden 48 verschiedene Videos, in Kooperation mit Alexander Kirk, Thomas Dirksen und SkateAid aufgenommen. Die Skateboardtricks unterschieden sich in ihrer Schwierigkeit und in der Fußstellung, in welcher sie durchgeführt wurden. Die Fußstellung war hierbei wichtig um für jeden Skateboarder den richtigen Stimulus mit seiner Fußstellung abspielen zu können. Genauer beschreibt die Fußstellung ob sich der rechte oder der linke Fuß auf dem Skateboard vorne befindet. Aus den 48 Videos ergaben sich 24 Paare, bei denen es sich um den gleichen Trick mit beiden Fußstellungen handelte. Um die Videos untereinander möglichst konstant zu halten, wurden die Tricks nur von einer Person durchgeführt. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Richtung aus der der Skateboardfahrer in das Bild fuhr, ausgeglichen war. Die Videos begannen hierbei 23 mal mit einem Skateboardfahrer der von Rechts sowie 25 mal von der linken Bildhälfte kam. Auch die Zeit die beim Herein- und Herausfahren des

Skateboardfahrers in und aus dem Bild verging wurde aufeinander angepasst. Des Weiteren wurde konstant nur die untere Extremität der Person, die die Skateboardtricks ausführt, gezeigt. Auch die Farben des Videos wurden neutral gehalten. Da im Video jedoch noch viele weitere Störfaktoren vorhanden sind, wie zum Beispiel das Skateboard selbst (Kontrollbedingung (d)), welches im Gehirn Regionen für die Verarbeitung von Objekten aktiveren könnte, wurden Kontrollvideos aufgenommen. Dadurch ergaben sich insgesamt vier zusätzliche Experimentbedinungen: Person steht (siehe Abbildung 7(b)), Person die durch das Bild geht (siehe Abbildung 7(c)), Person die auf einem Skateboard steht (siehe Abbildung 7(d)) und eine Person die auf dem Skateboard durch das Bild fährt (siehe Abbildung 7(e)). Die Kontrollbedingung (c) und (e) werden im Experiment dafür genutzt um die Aktivität eines einfachen Bewegungsablaufs mit und ohne Objekt herauszurechnen. Wodurch ermittelt werden kann ob die Aktivität, bei einem Skateboardtrick, welcher einen komplexen Bewegungsablauf darstellt, stärker ist. Der Faktor Mensch wurde durch die Kontrollbedingung (b) abgedeckt.

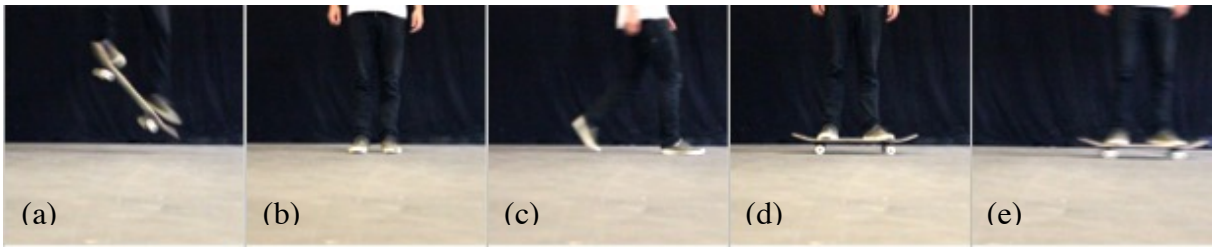


Abbildung 7: Bedingung des fMRT-Experiments

Aktivierungsbedingung: (a) Videos in denen Skateboardtricks ausgeführt werden. Kontrollbedingungen: (b) Ein Video mit einer stehenden Person. (c) Eine Person, die durch das Bild geht. (d) Eine auf dem Skateboard stehende Person. (e) Eine Person, die auf einem Skateboard durch das Bild fährt.

Die Videos wurden in einem Blockdesign aufgebaut. Hierfür werden jeweils vier Videos pro Block gezeigt. Im Versuch sind 12 Videoblöcke mit Skateboardtricks enthalten sowie insgesamt 20 Blöcke der Kontrollbedingungen (fünf Blöcke pro Kontrollbedingung). Jedes Video war drei Sekunden lang, wobei innerhalb des Blocks zwischen den vier Videos die Präsentation eines Fadenkreuzes für eine Sekunde erfolgte (siehe Abbildung 8). Ferner erfolgte zwischen den Videoblöcken eine Ruhephase durch die Präsentation eines Fadenkreuzes von jeweils vier Sekunden. Der Aufbau der Videos wurde mittels Presentation (Neurobehavioral System Inc., San Francisco, CA; http://www.neurobs.com/ presentation) programmiert und enthielt eine Zahlenfolge mit den Ziffern von eins bis fünf. Für die

Nummer eins wurden randomisiert zwei Videopaare aus den 24 Skateboardtricks gewählt, hierbei wurde darauf geachtet, dass die Videopaare der Skateboardtricks einen ähnlichen Schwierigkeitsgrad enthielten. Die Kontrollbedingungen wurden ebenfalls randomisiert den Nummern zwei bis fünf zugeordnet. Hierdurch wurde erreicht, dass die Videos möglichst randomisiert gezeigt wurden um einen Gewöhnungseffekt zu vermeiden.

Geräusche wurden in diesem Experiment nicht dargeboten, Grund hierfür war zum einen, dass keine passenden Kontrollgeräusche vorhanden waren. Des Weiteren konnte gezeigt werden, dass schon durch das Hören von sportspezifischen Geräuschen bestimmte kortikale Areale angeregt werden können (Cesari et al. 2014). Um sicher zu gehen, dass die Aktivierung nur von den visuell dargestellten Reizen kommt, wurden auf audiotorische Stimuli verzichtet.

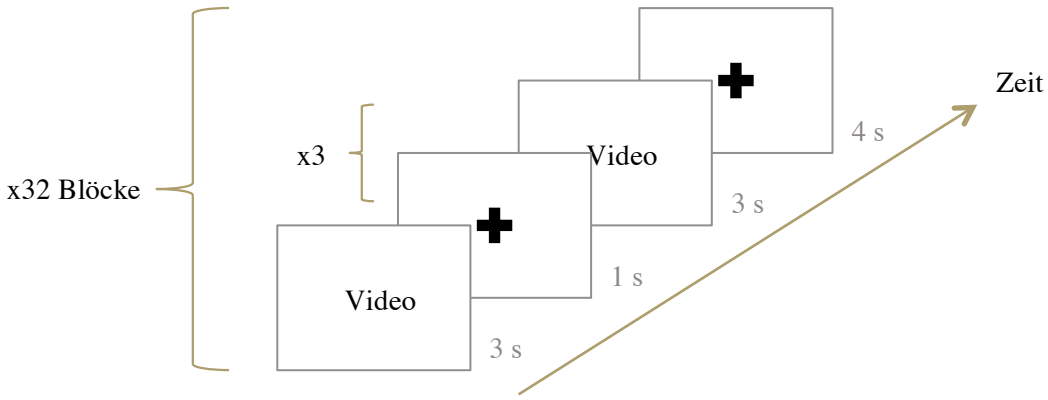


Abbildung 8: Schematischer Aufbau des fMRT-Experiments

Dargestellt ist ein Block einer Bedingung. Hierbei wurden vier Videos gezeigt zwischen welchen jeweils eine einsekündige Präsentation eines Fadenkreuzes erfolgte. Ein einzelner Block hat eine Dauer von 19 Sekunden. Insgesamt wurden 32 Videoblöcke gezeigt, 12 davon entsprachen den Skateboardtricks und 20 den Kontrollbedingungen.

3.2.3 Experimenteller Ablauf

In diesem Abschnitt wird der Ablauf des Experiments kurz skizziert. Für die Untersuchung der Hypothese, dass Skateboardfahren einen Effekt auf das Gehirn hat, durchliefen die Experimentallgruppe und die Kontrollgruppe den gleichen Versuchsablauf. Die vollständige Untersuchung eines Probanden nahm eine Dauer von eineinhalb Stunden ein, davon betrug die Zeit, die ein Proband im MRT verbrachte etwa 45 Minuten.

Zu Beginn des Experiments wurde jedem Probanden eine Instruktion ausgehändigt (siehe Anhang I), in welcher der Zweck der Untersuchung dargelegt und auf mögliche Risiken hingewiesen wurde. Des Weiteren wurden die Probanden über den Versuchsablauf aufgeklärt

sowie über die Aufgabe, welche durchzuführen war. Um zu gewährleisten, dass den Probanden keine gesundheitlichen Schäden widerfahren, wurden sie mittels einer Metallanamnese (Anhang II) voruntersucht. Anschließend folgte die MRT-Messung bei welcher die Patienten auf der MRT-Liege gelagert wurden. Um Bewegungsartefakte zu vermeiden wurde der Kopf der Probanden mit Schaumstoff gepolstert. Als Erstes wurde die strukturelle T_1-Messung durchgeführt. Hierauf folgte der fMRT-Teil, in welchem den Probanden zweimal die Skateboardsvideos, mittels einem Projektor über ein Projektor-Spiegel-System präsentiert wurden. Die Dauer der präsentieren Videos betrug jeweils 11 Minuten. Zwischen den zwei Durchgängen erhielten die Probanden eine einminütige Pause. Die letzte Untersuchung im MRT war die DTI-Messung, welche 13 Minuten in Anspruch nahm.

Nach der MRT-Messung wurde von den Probanden eine Aufgabe am Computer durchgeführt, in welcher sie sieben Videos einordnen mussten, ob sie diese bereits im Scanner gesehen hatten, oder ob es sich dabei um neue Videos handelte. Ziel war es die Aufmerksamkeit der Probanden zu testen. Abgeschlossen wurde die Untersuchung mit einer behavioralen Testung (Anhang III). Hierbei wurde die Händigkeit der Probanden sowie deren Skateboard- und Sporterfahrung erfasst. Für die Skateboardfahrer gab es einen zusätzlichen Fragebogen (Anhang IV), in dem erfragt wurde, welche der gezeigten Skateboardtricks sie selbst hätten durchführen können.

3.3 Datenerhebung

Die Messungen wurden an einem drei Tesla-Forschungs-MRT (Siemens Magneton TrioTim) durchgeführt. Die strukturelle T_1-Aufnahme wurde mit einer T_R von 1900 ms und einer T_E von 2,26 ms aufgenommen, wobei die Voxelgröße 1,0x1,0x1,0 mm betrug. Die Matrix hatte eine Größe von 256 mm und enthielt 176 Slices. Für die funktionellen Daten wurde mit einer T_2-gewichteten EPI-Sequenz gearbeitet, dessen T_R 1450 ms und T_E 25 ms betrug. Die Auflösung betrug 3,0x3,0x4,0 mm in einer Matrix von 192 mm. Als letztes wurden die Daten der DTI erstellt mit einer T_R von 7900 ms und einer T_E von 90 ms. Die Voxelgröße entsprach 2,0x2,0x2,0 mm mit einer Matrix von 256 mm.

3.4 Datenauswertung

Im Folgenden Abschnitt werden die Programme und ihre verschiedenen Verarbeitungsschritte, die für die Analyse der erhobenen Daten durchgeführt wurden, erläutert.

3.4.1 Analyse der funktionellen Daten

Die Analyse der funktionellen Daten wurde mit mittels des Softwarepakets SPM12 (Statistical Parametric Mapping, Wellcome Trust Centre for Neuroimaging, London) durchgeführt. Die durchgeführte Verarbeitung der Daten wird chronologisch behandelt. Um die erhobenen Daten der Probanden später miteinander vergleichen zu können, werden die Daten in einer Vorverarbeitung, dem sogenannten „Pre-processing, bearbeitet. Die auszuführenden Schritte werden hier dargestellt. Abschließend erfolgt eine Analyse der Daten auf Einzel- und Gruppenebene die unter dem Punkt „Statistische Auswertung" zusammengefasst sind.

3.4.1.1 Neuausrichtung („Realignment")

Bei einem „Realignment" werden die Aufnahmen eines Probanden aneinander angeglichen. Hierfür wird die erste Aufnahme als Referenz verwendet auf den alle folgenden Aufnahmen des Gehirns angepasst werden. Durch diesen Vorgang wird eine Bewegungskorrektur durchgeführt. Diese Bewegungskorrektur ist wichtig, da es trotz Polsterung des Kopfes zu kleineren Bewegungen des Probanden kommen kann. Dies ist wichtig, da die Aktivierung über die Zeit hinweg Ortsgebunden analysiert wird, erfolgt keine Bewegungskorrektur so kann es zu Verschiebungen kommen. Das heißt die gemessene Aktivierung kann durch die Bewegung in einem anderen Voxel liegen, als dies zuvor der Fall war.

3.4.1.2 Coregestration

Da die funktionellen Daten nur eine geringe strukturelle Auflösung bieten, werden die Daten in diesem Schritt mit dem anatomischen Bild der T_1-Aufnahme des Probanden verbunden. Dies hat den Vorteil, dass die Ortsauflösung der funktionellen Daten verbessert wird. Zudem verbessert sie die Segmentierung die als nächster Schritt erfolgt.

3.4.1.3 Segmentierung

Im folgenden Verarbeitungsschritt wird eine Berechnung mittels der Lage eines Voxels und dessen Intensität durchgeführt, um ihn einer Strukturen zu zuordnen. Hierbei wird die Aufnahme in den Liquor, der grauen und der weißen Substanz aufgeteilt.

3.4.1.4 Normalisierung

Für die Analyse der Probanden auf der Gruppenebene ist es notwendig die einzelnen Gehirne miteinander vergleichen zu können. Aus diesem Grund wird eine Normalisierung der Bilder durchgeführt. Die erhaltenen segmentierten Daten werden bei der Normalisierung an ein sogenanntes Standardgehirn angepasst.

3.4.1.5 Smoothing

Hierbei handelt es sich um eine Glättung der Daten. Die Voxel werden dabei mit ihrer Umgebung anhand einer dreidimensionalen Gauß-Verteilung verrechnet. Findet sich beispielsweise ein Voxel mit grauer Substanz umgeben von viel weißer Substanz so wird der Grauwert des Ausreißers beim Smoothing angepasst. Für die Daten wurde ein Glättungsfilter von 6 mm gewählt. (Schneider et al. 2013: 157)

3.4.1.6 Statistische Auswertung

Nach dem alle Daten die Vorverarbeitung durchlaufen haben, kommt es zu einer Auswertung der Daten auf der Einzelprobandenebene. Hier wurden vier T-Kontraste gesetzt: Trick vs. Gehen, Trick vs. Stehen, Trick vs. Fahren und Trick vs. Stehen auf dem Skateboard. Die Kontraste aus der Einzelprobandenebene zeigten, welche Hirnregionen aktiver waren bei der Beobachtung von Skateaboardtricks im Vergleich zu den Kontrollbedingungen.

In der Gruppenanalyse wurde anschließend ein Fixed-Effekt-Model mit den zuvor festgelegten Kontrasten aufgebaut. Hierfür wurde ein Flexibel Factorial Design verwendet, um den Haupteffekt korrekt zu schätzen. Dies war notwendig, da es sich in den Experimentallgruppen um eine ungleiche Anzahl an Probanden handelte. Durch das aufgebaute Flexibel Factorial Design, konnte der Haupteffekt betrachtet werden. Genauer ob Skateboardfahrer eine stärkere Aktivierung im Vergleich zu Kontrollprobanden, bei der Beobachtung von Skateboardtricks aufwiesen.

3.4.2 Analyse der grauen Substanz (T_1-Daten)

Die Volumenveränderung der grauen Substanz wurde mit mehreren Programmen analysiert. Hierzu gehörte VBM, eine Toolbox die in SPM8 implementiert ist, und CAT12 eine für SPM12 weiterentwickelte Toolbox. Beide Toolboxen durchlaufen dabei die gleichen Prozesse der Vorverarbeitung. Diese sind die Segmentierung der Daten sowie deren Glättung. CAT12 hat zudem eine Neuerung, das sogenannte TIV (total intracranial volume). Durch das Schätzen der TIV, also dem gesamten intrakraniale Volumen, soll eine bessere Anpassung der Größe und des Gehirnvolumens von Probanden in einer Gruppe erreicht werden (Gaser et al. 2016: 3ff).

Nachdem beide Programme, VBM und CAT12, die Vorverarbeitung der Daten beendet hatten, wurde das Ergebnis mittels einem two-sample T-Test ausgewertet. Hierfür wurde der Kontrast Experimentalgruppe gegen die Kontrollgruppe gesetzt.

3.4.3 Analyse der weißen Substanz (DTI)

Eine Auswertung der DTI Daten erfolgte durch das Programm FSL (the FMRIB Software Library, the Analysis Group, FMRIB, Oxford, UK), genauer über das implementierte TBSS (Tract-Based-Spatial-Statistics). Auch hier war es notwendig die Daten vor der Analyse vorzuverarbeiten.

Im ersten Schritt der Analyse wurden zwei identische Datensätze eines Probanden zusammengelegt. Dies hatte zur Folge, dass statistische Ausreiser minimiert wurden wodurch die erhaltenen Daten reliabler wurden. Der entstandene Datensatz des Probanden wurde anschließend vorverarbeitet, hierzu wurde das Gehirn zunächst aus dem Bilddaten extrahiert, in dem man einen passenden Schwellenwert setzte. Des Weiteren enthielt die Verarbeitung eine Bewegungs- und Artefaktkorrektur.

Nach dem die Vorverabeitungsschritte für alle Datensätze durchgeführt wurde, wurde eine Gruppenanalyse mit den entstandenen FA-Daten der Probanden durchgeführt. Hierfür wurde zunächst ein weiteres Preprocessing mit allen Datensätzen durchgeführt, welche dazu diente Ausreiser aus den Daten zu entfernen. Anschließend folgte eine nichtlineare Registrierung, bei der alle FA-Bilder auf einen 1x1x1 mm Standardgehirn ausgerichtet wurden. Um eine bessere Aussage über die Koordinaten machen zu können, werden in der Postregistrierung die, an das Standardgehirn angepassten, Daten in einen MNI152-Raum transformiert. Aus den entstandenen FA-Bildern der Probanden wird ein einzelnes 4D Bild fusioniert sowie ein gemitteltes Bild aller FA-Datensätzen. Aus diesem gemittelten FA-Bild wurde die mittlere Struktur der weißen Substanz, das sogenannte „mean skeleton“, errechnet. Im letzten Verarbeitungsschritt wurde ein Schwellenwert von 0.2 auf das mittlere FA-Skeleton angewendet. Aus der entstandenen Skeleton Maske wird eine „distance map“ abgeleitet, welche dazu benutzt wird um die FA-Werte der Probanden auf das Skeleton zu projizieren. Das entstandene Bild aus der Verarbeitung ist ein 4D-Bild, welches alle FA-Daten der Probanden abgebildet auf dem mittleren Skeleton aller Probanden enthält. (o.A. TBSS Userguide, 2013)

Abschließend wurde dieser Datensatz statistisch ausgewertet. Diese Auswertung wurde mittels two-sample T-Test auf Gruppenebene durch den Vergleich Skateboarder vs. Kontrollprobanden sowie Kontrollprobanden vs. Skateboarder durchgeführt.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die, durch die Studien erlangten, Ergebnisse abgebildet. Hierzu gehören die strukturellen sowie die funktionellen Daten. Zu Begin werden die Ergebnisse der Analyse der strukturellen Daten, betreffend der Veränderung der weißen und grauen Substanz im Hinblick auf die Gruppenunterschiede zwischen Skateboardern und Kontrollprobanden, kurz beschrieben. Woraufhin die Resultate der funktionellen Untersuchung aufgeführt werden.

4.1 Ergebnisse der Strukturanalyse

Hinsichtlich der Analyse von Skateboardfahrern verglichen mit Kontrollprobanden konnte keine signifikante Volumenveränderung festgestellt werden. Dieses Resultat bezieht sich sowohl auf die Daten der grauen Substanz, hervorgehend aus der T_1-Analyse, als auch für die Diffusionsdaten, in welcher die weiße Substanz analysiert wurde. Keine der Daten die durch FWE (family wise error) korrigiert wurden, wiesen einen signifikanten p-Wert von 0,05 auf (Ashburner 2016: 236).

4.2 Ergebnisse der funktionellen Daten

Die Resultate die sich aus der fMRT-Analyse ergaben zeigen, dass eine veränderte Aktivierung in Skateboardfahrern vorliegt. Es wurden mehrere Areale mit einer Aktivierung gefunden, deren Signifikanz, trotz Korrektur mit FWE, den p-Wert von 0,05 erreichen. Die Aktivierung die dabei stärker in Skateboardfahrern im Vergleich zu den Kontrollprobanden war, ist in Abbildung 9 zu erkennen. Um einen Überblick zu schaffen werden die Areale zusätzlich tabellarisch dargestellt. Die erste Tabelle zeigt dabei die Aktivierung von Skateboardfahrern vs. der Kontrollgruppe (siehe Tabelle 1). Die stärkste Aktivierung ist in Skateboardfahrern, mit einer Clustergröße von 2152 Voxel, im linken Gyrus supramarginalis zu finden. Ein weiteres Hauptsignal ist im linken Gyrus praecentralis mit 1182 Voxel zu finden, mit anderen Worten im PMC. Weitere starke Aktivierungen wurden im Lobulus parietalis superior gefunden sowie im Gyrus frontalis medius und dem Gyrus temporalis inferior. Betrachtet man die globale Aktivierung, so wird deutlich das besonders motorische Areale, wie der PMC sowie der Lobulus parietalis superior, eine starke Aktivierung aufweisen. Die kompletten Aktivierungen sind im Anhang hinterlegt (Anhang V). Zwei für die Studien sehr interessante Gehirnareale, der SMA und der Lobulus parietalis superior, sind in Abbildung 10 und 11 noch einmal detaillierter dargestellt.

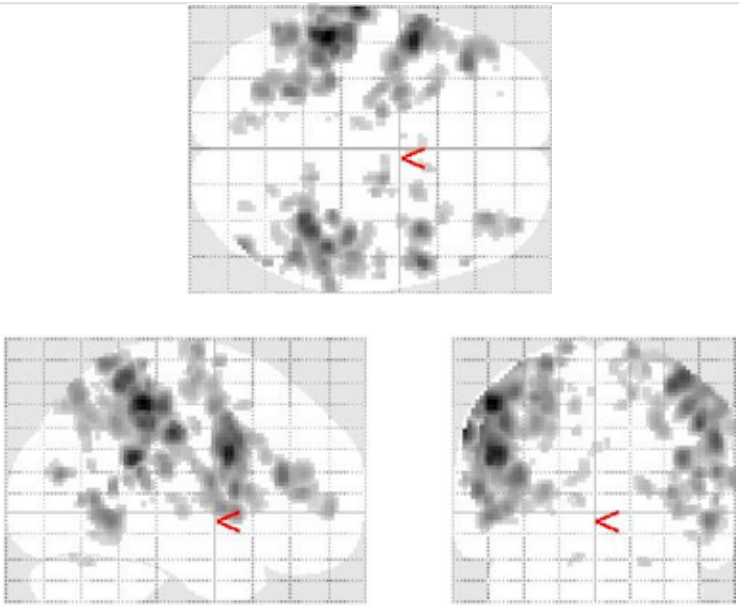


Abbildung 9: globale Aktivierung des fMRT-Experiments Skateboardfahrer gegen Kontrolle

Dargestellt ist die Aktivierung der Areale der Skateboardfahrer, die größer ist, als die Aktivierung der Kontrollprobanden. Die Aufnahme hat einen statistischer Schwellenwert von p=0,05 (FWE) sowie einen erweiterter Schwellenwert von k=0 Voxel.

Tabelle 1: Ergebnis der fMRT-Analyse Skateboardfahrer gegen Kontrollprobanden

Anatomische Region	Hem.	Voxel	T-Wert	x	y	z (mm)
Gyrus supramarginalis	L	2152	15.34	-50	-36	50
Gyrus praecentralis	L	1183	13.70	-48	4	26
Lobulus parietalis superior	R	1371	11.86	40	-44	62
Gyrus praecentralis	R	361	11.22	56	8	32
Gyrus frontalis medius	L	303	10.31	-38	30	16
Lobulus parietalis superior	L	97	10.03	-26	-54	68
Gyrus temporalis inferior	R	175	9.82	52	-52	-6
Gyrus temporalis superior	R	96	9.70	56	-38	18
Gyrus frontalis medius	L	195	9.64	-52	-54	-4
Gyrus occipitalis medius	R	37	9.23	48	-76	16
Gyrus frontalis medius (PMC)	L	273	8.95	-26	-2	48
Gyrus frontalis medius	R	180	8.70	34	40	8
Gyrus frontalis medius	R	31	8.55	48	-50	10
Gyrus frontalis superior (SMA)	R	102	8.51	16	-10	74
Putamen	L	102	8.28	-26	14	8

Hem. = Hemisphäre, R= rechts, L= links, Voxel = Clustergröße, x y z = MNI Koordinaten
statistischer Schwellenwert p=0,05 (FWE), erweiterter Schwellenwert k=0 Voxel

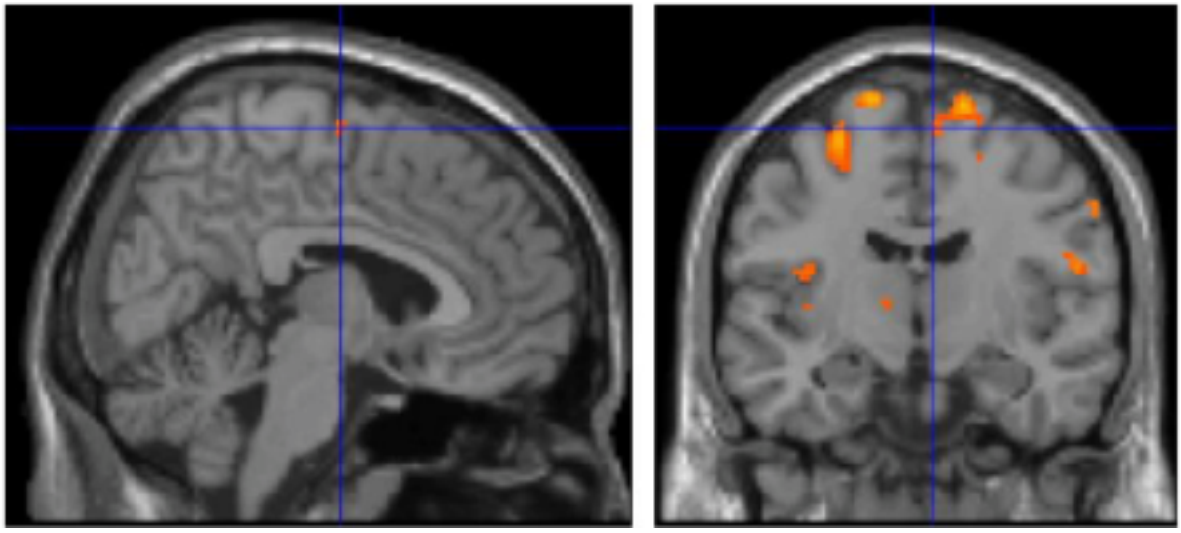


Abbildung 10: Aktivierung der SMA

Gezeigt ist die lokale Aktivierung der SMA in Skateboardfahrern im Vergleich zu Kontrollprobanden. Die Aufnahme hat einen statistischer Schwellenwert von p=0,05 (FWE) sowie einen erweiterter Schwellenwert von k=0 Voxel.

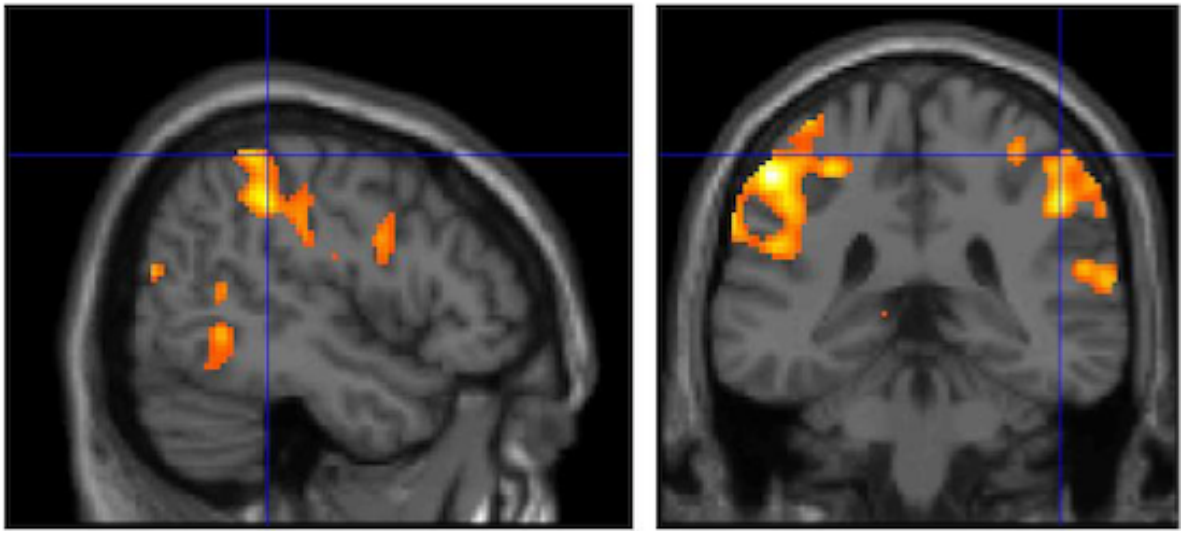


Abbildung 11: Aktivierung des Lobulus parietalis superior

Gezeigt ist die lokale Aktivierung des Lobulus parietalis superior in Skateboardfahrern im Vergleich zu Kontrollprobanden. Die Aufnahme hat einen statistischer Schwellenwert von p=0,05 (FWE) sowie einen erweiterter Schwellenwert von k=0 Voxel.

Anschließend erfolgt die Darstellung der Gehirnareale, die mehr Aktivität zeigten in der Kontrollgruppe im Vergleich zu Skateboardfahrern (siehe Tabelle 2). Ein Überblick der aktiven Gehirnareale bietet die Abbildung 12. Die für die Kontrollprobanden signifikanteste Änderung wurde im Areal des Lobulus parietalis superior gefunden, die Clustergröße beträgt 55 Voxel. Im Vergleich zu den Skateboardfahrern weisen die Kontrollprobanden eine viel

geringere globale Aktivierung auf (Anhang VI). Eine Aktivierung die nur in der Kontrollgruppe zu finden war, ist der Gyrus frontalis superior.

Die Zuordnung der Region fand durch die Anatomietoolbox von SPM12 statt sowie mittels einem Onlineatlanten von Yale, welcher die MNI-Koordinaten in Brodmann Areale konvertierte (http://sprout022.sprout.yale.edu/mni2tal/mni2tal.html).

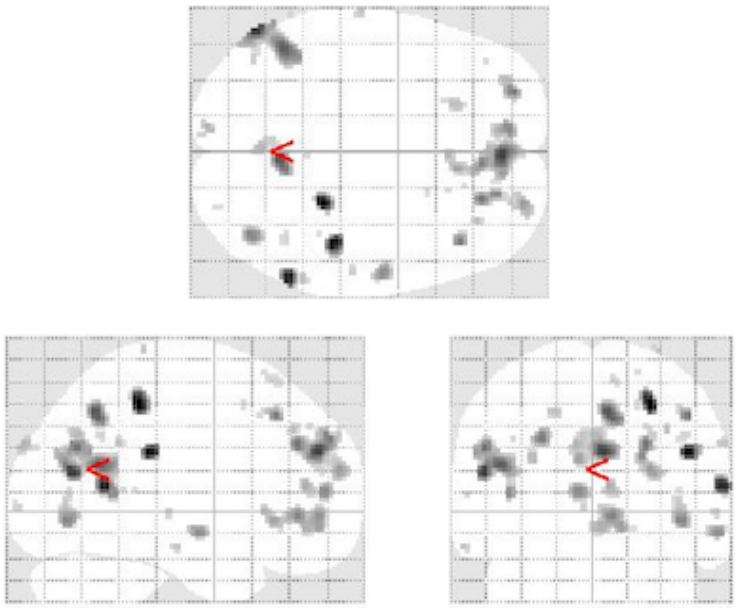


Abbildung 12: globale Aktivierung des fMRT- Experiments Kontrolle gegen Skateboardfahrer

Zu sehen sie die Aktivierung, welche in Kontrollprobanden stärker ist, als in Skateboardfahrern. Die Aufnahme hat einen statistischer Schwellenwert von p=0,05 (FWE) sowie einen erweiterter Schwellenwert von k=0 Voxel.

Tabelle 2: Ergebnis der fMRT-Analyse Kontrollprobanden gegen Skateboardfahrer

Anatomische Region	Hem.	Voxel	T-Wert	x	y	z (mm)
Lobulus parietalis superior	R	55	10.46	26	-38	50
Operculum parietale	R	41	9.84	44	-34	26
Gyrus temporalis medius	R	39	9.36	60	-56	10
Gyrus occipitalis medius	L	285	8.87	-54	-70	16
Gyrus frontalis superior	R	187	8.84	4	48	26
Percuneus	R	89	8.39	6	-60	46
Gyrus frontalis medius	R	105	7.79	24	38	30

Hem. = Hemisphäre, R= rechts, L= links, Voxel = Clustergröße, x y z = MNI Koordinaten
Statistischer Schwellenwert p=0,05 (FWE), erweiterter Schwellenwert k=0 Voxel

5. Diskussion

Abschließend werden die, durch die durchgeführte Studie erlangten, Resultate diskutiert und Vorschläge betreffend Verbesserungsmöglichkeiten wiedergegeben. Hierzu werden die Bereiche entsprechend untergliedert. Zu Beginn wird auf die Resultate der strukturellen Messung eingegangen, woraufhin der Teil der funktionellen Untersuchung folgen wird.

5.1 Diskussion der Strukturanalyse

Im durchgeführten Experiment konnte keine signifikanten Resultate, bezüglich der strukturellen Analyse, erzielt werden. Dies gilt für die weiße, als auch für die Analyse der grauen Substanz. Gründe hierfür könnte zum einen die zu kleine Gruppengröße des Experimentes sein, in welchem nur insgesamt 19 Personen gemessen wurden. Um eine Veränderung der weißen Substanz abzubilden hat, eine ähnliche Gruppe, welche Musiker untersuchte eine Versuchsgruppengröße von insgesamt 39 Probanden (Imfeld et al. 2009) genutzt. Gegen die Annahme, dass es sich um eine zu geringe Gruppengröße handelte spricht jedoch eine Studie die nur 20 Probanden beinhaltete. In dieser Studie wurden zehn Balletttänzer und zehn Kontrollprobanden untersucht, es ergaben sich signifikante Veränderung von weißer und grauer Substanz zum Beispiel im Bereich des PMC und SMA (Hänggi et al. 2010). Da das Balletttanzen eine ähnliche koordinative und präzise Verarbeitung benötigt wie das Skateboardfahren, kann die kleine Gruppengröße zwar nicht ausgeschlossen, aber angezweifelt werden.

Ein weiterer Faktor könnte die inhomogene Experimentalgruppe sein. Unter der Gruppe der Skateboardfahrer befanden sich zum Beispiel vier Probanden deren Fußstellung Goofy (rechter Fuß auf dem Skateboard vorne platziert) entsprach und sechs Probanden mit der Fußstellung Regular (linker Fuß auf dem Skateboard vorne platziert). Eine Hypothese ist, dass der hintere Fuß im Vergleich zum vorderen Fuß, bei der Ausführung von Skateboardtricks, unterschiedlich stark genutzt wird. Ähnlich der Händigkeit also eine Präferenz besteht, Aufgaben eher mit einem bestimmten Fuß zu verrichtet werden. Dies wiederum könnte ein Faktor sein, der das Ergebnis beeinflusst haben könnte. Dies wird auch deutlich durch den Fragebogen den die Probanden der Skateboardgruppe nach der Messung im MRT ausfüllten. Hier gaben sie an, welche Tricks sie selbst, mit welcher Fußstellung ausführen konnten. Nicht überraschend war das die Probanden mehr oder nur Tricks in der ihrer favorisierten Fußstellung durchführen konnten. Durch die unterschiedliche Nutzung der beiden Füße lässt

sich die Experimentalgruppe, also in zwei weitere Subgruppen unterscheiden, welche jedoch beide eine zu geringe Gruppengröße für eine Analyse aufweisen.

Ein Beleg für diese Behauptung kann unter dem Betracht angenommen werden, dass besonders feinmotorische Bewegungen wie das Schreiben stärker lateralisiert sind (Schmauder 1996: 32). Daraus geht hervor das Bewegungen, welche schnell und mit motorischem Geschick ausgeführt werden müssen, wie es bei Skateboardtricks der Fall ist, ebenfalls zu einer lateralisierten Verarbeitung kommen kann. Der Einfluss der Fußstellung der Skateboardfahrer könnte somit das erhaltene Ergebnis, welches keinen signifikanten Unterschied, der grauen und weißen Strukturen zwischen Skateboardfahrern und Kontrollprobanden feststellt, verfälschen.

Eine unpassende Kontrollgruppe könnte einen weitern Effekt auf das nicht erhaltene Ergebnis gehabt haben. Die Kontrollprobanden wurden aufgrund ihres Alter, Händigkeit und Geschlechts möglichst der Experimentalgruppe angepasst. Hierbei wurde im Versuch auch die sportliche Aktivität der Personen ermittelt. Insgesamt waren alle untersuchten Probanden sportlich sehr aktiv. Joggen wurde zum Beispiel von fast allen Probanden ausgeübt sowie andere Sportarten darunter Volleyball, Handball, Fußball und Fahrradfahren. Eine mögliche Hypothese, die sich daraus ergibt ist, dass die Areale die für das Skateboardfahren vermehrt genutzt werden, auch durch andere Sportarten wie die eben erwähnten, die einen großen Teil an Koordination der unteren Extremitäten beinhalten, gleich trainiert werden könnten. Der zumessende Effekt könnte somit also lediglich in einer unsportlicheren Kontrollgruppe ermittelt werden. Die Studie von Hänggig et al. (2010) wählte ihre Kontrollgruppe deutlich akkurater aus. Die Auswahlkriterien der Studie waren wie folgt: „Control subjects were only included in the study if they had no experience in dance, figure skating, gymnastics, synchronized swimming, equestrian vaulting, playing act, or doing any competitive sport.“ (Hänggi et al. 2010).

Vergleicht man die Studie an Skateboardfahrern mit der Studie die an Pianisten von Amuts et al. (1997) durchgeführt wurde so fällt auf, dass das untersuchte Gehirnareal bei Pianisten deutlich größer ist. Die Repräsentation der Hand, auf kortikaler Ebene, ist aufgrund ihrer feinmotorischen Fähigkeiten besonders ausgeprägt. Eine häufige und komplexe Benutzung der Hände könnte somit in einem größeren Areal zu Veränderungen führen und deswegen besser analysiert werden. Erwähnenswert sind hierfür Studien die ebenfalls Sportarten untersuchten, in welcher die Handmotorik vermehrt zum Einsatz kam, wie zum Beispiel die Studien die Jungloure oder Golfer untersuchten (Gerber et al. 2014; Jäncke 2009). Ein weiterer Unterschied ist, dass für das Skateboardfahren zwar ein hohes Maß an

Koordinationsfähigkeit notwendig ist, eine grazile, feinmotorische Bewegung, wie sie Beispielsweise Balletttänzer ausführen, jedoch nicht. Vielleicht reicht diese koordinative Mehrbelastung, durch das Skateboardfahren, nicht aus um eine strukturelle Veränderung zu erlangen.

Betrachtet man sich die untersuchte Experimentalgruppe der Skateboardfahrer noch einmal deutlicher so wird klar, dass ähnliche Studien weitaus mehr Expertise forderten. Die durchschnittliche Expertise der Skateboardfahrer betrug 6,9 Jahre. Zudem waren unter den zehn Skateboardfahrern nur vier Probanden die den Großteil der Tricks selber hätten ausführen können, die restlichen sechs Probanden beherrschten deutlich weniger Skateboardtricks, entsprechen somit also dem Bild eines durchschnittlichen Skateboardfahrers. Sportstudien setzten in ihren Untersuchungen immer auf Experten, die ihre Sportart auf Wettkampfniveau ausüben. Um die Unterschiede deutlicher hervorzuheben anbei zwei Studien, in welchen beide eine Erfahrung von mindestens zehn Jahren im ausgeübten Sport forderten sowie einer sportlichen Aktivität von mindestens fünf bis sechs Stunden pro Tag (Jacini et al. 2009; Wang et al. 2013). Im Vergleich hierzu hatten die Skateboardfahrer eine deutlich geringere Erfahrung, auch die Ausübung des Sportes betrug lediglich bei zwei Probanden mehr als sechs Stunden pro Woche. Dies könnte ein weiterer Grund für die nicht signifikanten Funde der durchgeführten Studie sein. Eine strengere Auswahl, in welcher eine höhere Expertise gefordert werden könnte wäre für eine zukünftige Studie anzuraten.

Eine interessante Hypothese ist zudem die Annahme, dass eine bereits angeborene Vergrößerung in Sportexperten in beanspruchten Gehirnarealen besteht (Amunts et al. 1997). Eine durchaus interessante These, die vielleicht einen Anhaltspunkt dafür bietet, wieso manche Menschen in Sportarten talentierter sind als andere. Auszuschließen ist diese natürlich vorkommende Alternation des Gehirns, außer durch das Durchführen einer longitudinalen Studie, nicht.

Aus diesem Punkt heraus kann die Annahme getroffen werden das eine longitudinale Studie, gerade bei sportlichen Aktivitäten, eine gute Möglichkeit bildet, auch ohne Profisportler, einen Effekt aufzuzeigen. Die Studie von Taubert et al. (2011) untersuchte Probanden die zu Balancieren lernten und konnte nach einem dreiwöchigen Training eine signifikante Volumenvergrößerung im Bereich der SMA zeigen.

Für eine zukünftige Studie an Skateboardfahrern wäre somit eine longitudinale Studie von Vorteil, hier wären die Gruppenunterschiede möglicherweise deutlicher zu erkennen, da jeder Proband auf seine individuellen anatomischen Veränderungen getestet wird.

5.2 Diskussion der funktionellen Analyse

Durch die Darbietung von Skateboardtricks konnte eine sich signifikant unterscheidende Aktivierung in Skateboardfahrern gefunden werden. Diese Aktivierung entsprach bereits bekannten motorischen Arealen wie zum Beispiel dem Lobulus parietalis superior und dem PMC. Überprüft wurde die Zuordnung des Weiteren mit einer Studie, welche die Lokalisation der motorischen Areale untersuchte (Mayka et al. 2006). Folgend werden die gefunden Gehirnareale von Skateboardfahrern gegenüber Kontrollen, als auch anders herum, dargestellt und ihre mögliche Funktion diskutiert. Woraufhin eine kritische Sicht auf die Ergebnisse und Verbesserungsmöglichkeiten folgen werden.

Betrachtet man die globale Aktivierung der Skateboardfahrer, so entspricht diese anderen motorischen Studien die gezeigt haben, dass die Aktivierung links intensiver ist (Glaser et al. 2005). Ferner ist die Gesamtaktivität deutlich ausgeprägter als bei Kontrollprobanden, dies geht daraus hervor, dass die Aktivierung im Gruppenunterschied sehr dominant ist. Dies bestätigt die Hypothese, dass die Aktivierung von Hirnarealen stärker ausfällt, wenn es sich dabei um einen für den Probanden bekannten Bewegungsablauf handelt.

Als Erstes wird die Aktivierung der SMA im Bereich des Gyrus frontalis superior genauer betrachtet. Die Aktivierung der SMA ist im Vergleich zu anderen Hirnregionen zwar vorhanden, aber nicht so deutlich ausgeprägt wie die Aktivierung des PMC. Diese Ergebnisse passen nicht zu den bereits gewonnenen Erkenntnissen, in welchen angenommen wird, dass der SMA bei bekannten Bewegungsabläufen stärker aktiv ist wie der PMC (Gazzaniga et al. 2002: 451ff). Eine Erklärung, wieso die Aktivierung der SMA geringer ist wie die des PMC, könnte sein, dass die Bewegungsmuster den Skateboardfahrern im Durschnitt zu unbekannt waren. Die Expertise der Skateboardfahrer im Hinblick auf die Ausführung der Tricks war durchschnittlich. Von den insgesamt zehn Probanden konnten nur vier Probanden die Mehrheit der gezeigten Skateboardtricks ausüben. Besonders bei komplexeren Tricks, welche eine verstärkte Aktivierung der SMA ergeben hätte, gab es nur wenig Probanden in der Experimentalgruppe, welche jene hätten ausführen konnten.

Eine weitere Hypothese, welche die Aktivierung der SMA beeinflussen könnte, ist die Abwesenheit einer Bewegungsvorbereitung wie es in der Studie von Glaser et al. (2005) der Fall ist. Vergleicht man die durchgeführte Studie, mit der Studie von Glaser et al. (2005), dessen Studienaufbau Ähnlichkeiten aufweist, so wird deutlich, dass jene Studie keine Aktivierung der SMA zeigen konnte. In der durchgeführten Studie hingegen, könnte man das Hereinfahren mit dem Skateboard, bereits als eine Vorbereitung auf die Bewegung sehen, was zu der gefundenen und deutlichen Aktivierung passen würde. Ein weiter Grund wieso die

Aktivierung im SMA weniger stark ausgeprägt ist, als im Bereich des PMC ist womöglich, dass im Lehrbuch ausgeführte Aktionen miteinander verglichen wurden, dies passt jedoch nicht zu der durchgeführten Studie. In der durchgeführten Studie wurde lediglich die Aktivität von Spiegelneuronen analysiert, die durch die Beobachtung von Bewegungen erfolgte. Die Aktivität der SMA zeigt, dass für den komplexen Bewegungsablauf wie Skateboardtricks, die Region benötigt wird. Das eine Aktivierung gefunden wurde spricht dafür, dass diese stärker ist, als es zum Beispiel bei weniger komplexen Bewegungen wie beim Gehen der Fall ist (Dalla Volta et al. 2015). Diese Erkenntnis kann geschlossen werden, da das Gehen als Kontrollbedingung vorlag. Dieses Ergebnis entspricht damit der Erwartung, dass die Aktivierung im SMA mit der Komplexität des Bewegungsablaufes zunimmt.

Die Aktivierung des PMC ist eine der größten Signale. Gefunden wurden drei Bereiche, welche dem Brodmann Areal 6 zugordnet werden konnten. Dazu gehören der rechte und linke Gyrus praecentralis sowie ein Teil des Gyrus frontalis medius. Das Signal war hierbei im linken PMC am deutlichsten mit einer Clustergröße von 1371 Voxel im Gyrus praecentralis und mit 273 Voxel im linken Gyrus frontalis medius. Der rechten PMC war, mit einer Clustergröße von 361 Voxel, weniger stark aktiviert. Das resultierende Ergebnis des aktivierten PMC passt zu den Erwartungen. Es zeigt, dass der PMC wie von Rizzolatti et al. (2008) postuliert, Spiegelneuronen aufweist und deswegen durch die Beobachtung von motorischen Abläufen, wie Skateboardtricks, aktiviert wurde. Die Aktivierung konnte ebenfalls von der Forschergruppe von Glaser et al. (2005) aufgezeigt werden.

Das stärkste Signal in Skateboardfahrern im Vergleich zu Kontrollprobanden wurde im linken Gyrus supramarginalis gefunden. Der Gyrus supramarginalis ist ein Teil des parietalen Kortex. In mehreren Studien konnte gezeigt werden, dass dieser Teil des Gehirns bei der Vorstellung von Bewegungen aktiv ist sowie bei der Beobachtung von Bewegungen (Rizzolatti et al. 2014; Hanakawa et al. 2008). Die Stärke der Aktivierung des Gyrus supramarginalis scheint zudem davon abhängig zu sein, ob die beobachtete Handlung der Erwartung entspricht oder nicht. Nahm die beobachtete Handlung einen unerwarteten Ausgang, zum Beispiel verschüttete die beobachtete Person den Wein, so kam es zu einer stärkeren Aktivierung im linken Gyrus supramarginalis (Rizzolatti et al. 2014). Überträgt man diese Erkenntnisse auf die durchgeführte Studie so könnte es sein, dass die Aktivierung auf der unerwarteten Handlung des Skateboardtricks beruhen. Im Versuch wurden insgesamt 48 verschiedene Skateboardtricks gezeigt. Diese können zu Begin der Ausführung jedoch nicht eindeutig eingeordnet werden. Ein Beispiel hierfür ist, dass es Tricks gibt die mit und ohne einer abschließenden 180 Grad Drehung des Skateboards enden können. Dem Beobachter ist

somit also bis zum Schluss nicht klar, welche Variante ihm dargeboten wird. Des Weiteren scheint der Abschnitt des Gyrus supramarginalis eine Rolle in der Translation zwischen Bewegungsvorstellung und Bewegungsausführung zu spielen, diese Funktion konnte durch eine Schädigung der Region abgeleitet werden (Rizzolatti et al. 2014). Die Aktivierung dient also als eine Art Vorbereitung auf die Bewegung. Um sich eine Bewegung vorzustellen ist es notwendig zu verstehen wie diese durchgeführt wird, besonders bei komplexen Bewegungsabläufen wie dies beim Skateboardfahren der Fall ist. Einem Beobachter, der keine Skateboarderfahrung hat, ist es nur schwer möglich einen Bewegungsablauf aus der reinen Beobachtung abzuleiten. Die Expertise der Skateboardfahrer könnte sich also in der Aktivierung des Gyrus supramarginalis wiederspiegeln. Die Skateboardfahrer sind in der Lage sich den Bewegungsablauf vorzustellen und den entsprechenden Bewegungsplan im SMA abzurufen. Die Spiegelneuronen im PMC verhelfen dabei die visuell dargebotenen Bewegungen zu imitieren und damit zu verstehen.

Der Lobulus parietalis superior wies eine bilaterale Aktivierung auf. Die Aktivierung in der rechten Hemisphäre war jedoch deutlicher ausgeprägt. Das Areal enthält wie der PMC Spiegelneurone (Glaser et al. 2005). Das die Aktivierung in Experten stärker ist, als in Kontrollprobanden kann mit einer Metaanalyse gestützt werden, welche 15 Studien zur Motorik untereinander verglich (Yang 2015). Die Forschergruppe von Buccino et al. (2001) untersuchte die Auswirkung der Bewegung von verschiedenen Körperteilen auf das Gehirn, dabei konnten sie nachweisen, dass eine Beobachtung von Bewegungen mit dem Fuß und einem Objekt zu einer Aktivierung im Lobulus parietalis superior führt. Das gefundene Ergebnis passt somit zur durchgeführten Studie. Die Aktivierung spricht für die Aktivität der Spiegelneurone, zusätzlich wurde die Bewegung mit den Füßen und einem Objekt, dem Skateboard, durchgeführt.

Das Brodmann Areal 46, im Bereich des Gyrus frontalis medius, zeigte eine bilaterale Aktivierung, wobei die linke Hemisphäre ein dominanteres Signal aufwies. Diese Aktivierung konnte in keiner der betrachteten Studien gefunden werden. Lediglich eine Studie in welcher unter anderem die Auswirkung der Komplexität einer Bewegung auf das Gehirn untersucht wurde, konnte einen Zusammenhang darstellen in, welchem das Areal 46 stärker aktiv war wenn es sich um eine komplexe Bewegung handelte (Moortele et al. 2006). Diese Aktivierung wurde jedoch nur in der rechten Hemisphäre gefunden, was mit der durchgeführten Studie inkohärent ist. Es lässt sich somit keine Aussage darüber machen, was für eine Funktion das Areal 46 in der durchgeführten Studie ausüben könnte.

Ein weiteres Ergebnis der durchgeführten Studie ist die Aktivierung des Gyrus fusiformis im Bereich des rechten Gyrus temporalis inferior sowie bilateral im Bereich des Gyrus frontalis medius. Die Aufgabe des Gyrus fusiformis ist das Erkennen von familiären visuellen Stimuli, welche in diesem Fall das Ausüben von Skateboardtricks ist (Glaser et al. 2005). Eine weitere Studie konnte zeigen, dass das Gehirnareal auch in der Vorstellung von Bewegung aktiviert wird (Hanakawa et al. 2008). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Aktivität von der Vertrautheit der Bewegungen herrührt, noch bestätigt werden, dass sich die Skateboardfahrer während des Beobachtens der Skateboardtricks unbewusst vorgestellt haben, den Trick selbst auszuführen. In der Studie von Hanakawa et al. (2008) wurden die Gehirnareale miteinander verglichen die während einer Bewegung und während einer Vorstellung einer Bewegung aktiv sind. Es stellte sich heraus, dass viele Hirnareale an beiden Prozessen beteiligt sind.
Weitere Signale in Skateboardfahrern wurden zum Beispiel im Gyrus temporalis superior (BA 22), dem Gyrus occipitalis medius (BA 19) und dem Putmanen gefunden.
Im Vergleich zu den Skateboardfahrern ist die globale Aktivierung, die durch den Kontrast Kontrollprobanden gegen Skateboardfahrer übrig bleibt, eher gering. Die Lokalisation des Signals ist eher frontal und parietal ausgerichtet.
Das stärkste Signal ist im Lobulus parietalis superior zu verzeichnen sowie im Operculum parietale (BA 40) und dem rechten Percuneus. Die Aktivierung der drei Signale konnte auch in der Metaanalyse von Yang et al. (2015) gezeigt werden. Alle weitern Signale im rechten Gyrus temporalis medius, im linken Gyrus occipitalis medius (BA 39) sowie im rechten Gyrus frontalis superior (BA 9) und medius (BA9) konnten in keine der motorischen Studien gefunden werden. Grund hierfür könnte auch sein das der Fokus der Studien vermehrt auf der Analyse der Experten lag. Nach Angaben von Yang et al (2015), eine Forschergruppe die eine Metanalyse durchführten, konnte jedoch keine der dort untersuchten Studien, bei denen eine Beobachtung von Bewegungen stattfand, eine stärkere Aktivierung in Kontrollprobanden gegenüber den spezifischen Sportexperten gefunden werden.
Insgesamt konnten viele der Aktivierungen, die in ähnlichen motorischen Studien gezeigt wurden bestätigt werden. Trotzdem stellt sich die Frage, ob die dargebotenen Videostimuli, die passenden Stimuli für die gemessene Experimentalgruppe waren. Viele der Probanden konnten nur die Hälfte der Skateboardtricks selbst ausführen. Die jedoch sehr starke globale Aktivierung gegenüber den Kontrollprobanden lässt vermuten, dass die Skateboardfahrer den Bewegungsablauf zwar oft nicht selbst ausführen konnten, jedoch trotzdem eine unterbewusste Vorstellung bestand wie dieser auszuführen war.

Um diesen Vorgang der Vorstellung einer Bewegung zu eliminieren, könnte man als weitere Kontrolle die Probanden auffordern sich die Bewegung nur vorzustellen. Es ist jedoch schwer das Ausmaß dieser Vorstellung mit passenden Kontrollstimuli zu versehen. Den oft werden in Vorstellungen auch Orte miteingebaut, wie zum Beispiel ein Skatepark. Des Weiteren überschneiden sich weite Teile der Hirnareale die für die Beobachtung und Vorstellung von Bewegung verantwortlich sind (Munzert et al. 2009). Das Gehirn macht somit also keine klare Unterscheidung, ob die Bewegung ausgeführt wird oder diese Bewegung nur in der Vorstellung besteht. Die stärkere Aktivierung von Hirnarealen in der Expertengruppe bei dem Beobachten sportspezifischer Bewegungen scheint auch konsistent zu sein, ob diese nun auf der Vorstellung einer Bewegung oder auf der Beobachtung einer Bewegung beruht (Wie et al. 2010). Dies führt zu der Annahme, dass die Kontrollstimuli basierend auf der Vorstellung einer Bewegung überflüssig sind, um einen Effekt der verstärkten Aktivierung aufgrund der Sportexpertise in Skateboardfahrern gegenüber Kontrollprobanden nachzuweisen.
Verbessern könnte man jedoch die bereits dargebotenen Kontrollstimuli, so gab es Stimuli die nur ein einziges Video enthielten, ein Beispiel hierzu ist das Video das eine stehende Person zeigt. Dieses Video wurde im Experiment 40 mal präsentiert. Um einen Habituationseffekt zu entgehen, könnte man verschiedene Videos auch in den Kontrollstimuli selbst zeigen. Ferner wäre ein Kontrollstimulus hilfreich, indem eine Person springt und ein Kontrollstimuli in welchem sich das Skateboard alleine bewegt. Hierdurch könnte man die Bewegungskomponente des Skatebaordtricks noch besser differenzieren, wodurch eine bessere Zuordnung der Areale, welche im Skateboardtrick aktiv sind, erlangt werden könnte. Abschließend kann jedoch gesagt werde, dass die durchgeführte Studie eine eindeutige Aktivierung aufgrund der sportlichen Erfahrung von Skateboardfahrern ermitteln konnte.

6. Ausblick

Die positive Auswirkung von sportlicher Aktivität auf die Gesundheit und das Gehirn wird immer besser verstanden. Da die Studie als Vorstudie für die Fragestellung diente, ob das Skateboardfahren einen physiologischen Einfluss auf das Gehirn hat und ob ADHS Patienten durch die Ausübungen des Sportes ähnliche Veränderungen erfahren die sich positiv auf ihr Krankheitsbild ausüben könnte, wird ein kurzer Ausblick gegeben wie der Stand der Kenntnisse ist und welche weiteren Untersuchungen notwendig sind.

ADHS ist ein Syndrom welches multimodale Auswirkung auf den Patienten hat, diese beziehen sich auf die soziale, kognitive und emotionale Funktionsfähigkeit, wodurch es durch das Syndrom zu Folgeerkrankungen wie zum Beispiel zu Essstörung wie Adipositas führen kann (Schlack et al. 2007). Die Krankheit ist mitunter eines der am häufigsten diagnostizierten Leiden in Kindern. In Deutschland liegt der Prozentsatz bei rund fünf Prozent, laut einer durch das Robert-Koch-Institut durchgeführten Studie (Schlack et al. 2007).

Das Sport sich auf viele Alltagsbereiche positiv auswirkt, wie beispielweise auf das allgemeine Körperempfinden und gegen Stressabbau sowie Depression hilft, ist allgemein bekannt. Folglich ist anzunehmen, dass diese positiven Attribute auch bei ADHS Patienten zu einer Besserung führen können. Passend zu dieser Annahme wurde eine Studie durchgeführt in welcher Kinder in der Altersgruppe von acht bis neun Jahren teilnahmen. Die Teilnehmer übten mindestens eine Stunde an fünf Tagen der Woche ein Fitnessprogramm aus. Das Resultat der Studie war, dass sich die Aktivität in frontalen Regionen veränderte und das sich ihre Aufmerksamkeit verbesserte (Chaddock-Heyman et al. 2013). Die verminderte kognitive Kontrolle, wie Steuerung der Aufmerksamkeit, entspricht einem Faktor unter dem Patienten mit ADHS besonders leiden.

In einer Studie von Archer et al. (2012) wurde des weiteren die molekularen Mechanismen der Krankheit genauer betrachtet, hier zeichnete sich ab, dass eine regelmäßige, physische Aktivität den BDNF (Brain-derived neurotrophic factor) erhöhen kann, welcher im Krankheitsbild ADHS eine Rolle spielt.

Es ist somit also anzunehmen, dass Programme wie SkateAid eine vielversprechende Unterstützung zu einer psychiatrischen Behandlung darstellen und sich positiv auf Körper und Psyche auswirken könnten. Um festzustellen, ob die Bewegungskomponente des Skateboardfahrens als sportliche Betätigung reicht, um eine physiologische Veränderung funktionell und strukturell zu bewirken, müssen weitere Studien durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

Amunts, K. et al., 1997. Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5(3), pp.206–215.

Archer, T. & Kostrzewa, R.M., 2012. Physical Exercise Alleviates ADHD Symptoms: Regional Deficits and Development Trajectory. *Neurotoxicity Research*, 21(2), pp.195–209. Available at: http://link.springer.com/10.1007/s12640-011-9260-0.

Ashburner et al. 2016: SPM12 Manual: The FIL Methods Group. *Functional Imaging Laboratory Wellcome Trust Centre for Neuroimaging Institute of Neurology, UCL, London:* http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/doc/manual.pdf (letzter Aufruf: 27.09.16)

Ashe, J. & Ugurbil, K., 1994. Functional imaging of the motor system. *Current Opinion in Neurobiology*, 4(6), pp.832–839. Available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0959438894901317.

Bear , M.F., Connors, B.W. & Paradiso, M. A., 2008. Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie, 3. Aufl., Heidelberg. *Spektrum Akademischer Verlag.*

Bezzola, L., Mérillat, S. & Jäncke, L., 2012. The effect of leisure activity golf practice on motor imagery: an fMRI study in middle adulthood. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(March), pp.1–9.

Buccino, G. et al., 2001. SHORT COMMUNICATION Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner : an fMRI study. , 13, pp.400–404.

Cesari, P. et al., 2014. Might as well jump: Sound affects muscle activation in skateboarding. *PLoS ONE*, 9(3), pp.1–9.

Chaddock-Heyman, L. et al., 2013. The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children : a randomized controlled intervention. , 7(March), pp.1–13.

Chouinard, P.A. & Paus, T., 2006. The Primary Motor and Premotor Areas of the Human Cerebral Cortex. , 12(2), pp.143–152.

Dalla Volta, R. et al., 2015. Walking indoors, walking outdoors: an fMRI study. *Frontiers in Psychology*, 6(October), pp.1–10. Available at: http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2015.01502.

Fabbri-destro, M. & Rizzolatti, G., 2008. The parieto-frontal mirror system in the monkey. , (38), pp.171–179.

Gazzaniga, M., Ivry, R.B. & Mangun,G.R., 2002. Cognitive neuroscience: the biology of the mind, 2. Aufl., New York. *Norton.*

Gaser, C, Kurth, F., 2016: Manual: Computational Anatomy Toolbox - CAT12. *Uni Jena:* http://www.neuro.uni-jena.de/cat12/CAT12-Manual.pdf (letzter Aufruf: 27.09.16)

Gerber, P. et al., 2014. Juggling revisited - A voxel-based morphometry study with expert jugglers. *NeuroImage*, 95, pp.320–325. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.04.023.

Glaser, D.E. & Gre, J., 2005. Action Observation and Acquired Motor Skills : An fMRI Study with Expert Dancers. , (August), pp.1243–1249.

Hanakawa, T., Dimyan, M.A. & Hallett, M., 2008. Motor Planning , Imagery , and Execution in the Distributed Motor Network : A Time- Course Study with Functional MRI. , (December), pp.2775–2788.

Hänggi, J. et al., 2010. Structural neuroplasticity in the sensorimotor network of professional female ballet dancers. *Human Brain Mapping*, 31(8), pp.1196–1206.

Imfeld, A. et al., 2009. White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: A diffusion tensor imaging study. *NeuroImage*, 46(3), pp.600–607. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.02.025.

Jacini, W.F.S. et al., 2009. Can exercise shape your brain? Cortical differences associated with judo practice. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(6), pp.688–690.

Jäncke, L., 2009. The Architecture of the Golfer's Brain. *PLoS ONE*, 101(11), pp.1435–1439.

Kandel, E., Schwartz, J. & Jessell, T., 1995. Neurowissenschaften eine Einführung, Heidelberg. Spektrum Akademischer Verlag

Kapfhammer, J.P., 2000. Plastizität im Nervensystem. *Spektrum:* http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/plastizitaet-im-nervensystem/9979 (letzter Aufruf: 26.09.16)

Mayka, M.A. et al., 2006. Three-dimensional locations and boundaries of motor and premotor cortices as defined by functional brain imaging: A meta-analysis. *Neuroimage*, 31(4), pp.1453–1474.

Moortele, P. Van De & Pochon, J., 2006. Motor control in basal ganglia circuits using fMRI and brain atlas approaches. , (February), pp.149–161.

Munzert, J., Lorey, B. & Zentgraf, K., 2009. Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Research Reviews*, 60(2), pp.306–326. Available at: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165017309000022.

o.A., 2013: TBSS/Userguide. *FMRIB Software Libary v. 5.0, created by the Analysis Group, FMRIB, Oxford, UK:* http://fsl.fmrib.ox.ac.uk/fsl/fslwiki/TBSS/UserGuide (letzter Zugriff 27.09.16)

Pabst, C., 2013. Magnetresonanztomographie: Lernskript für Mediziner; Grundlagen der Magnetresonanz Tomographie. *UKGM :* http://www.ukgm.de/ugm_2/deu/umr_rdi/Teaser/Grundlagen_der_Magnetresonanztomographie_MRT_2013.pdf (letzter Abruf: 26.09.16)

Rizzolatti, G. et al., 2014. Cortical Mechanisms Underlying the Organization of Goal-Directed Actions and Mirror Neuron-Based Action Understanding. *Physiological Reviews*, 94(2), pp.655–706. Available at: http://physrev.physiology.org/cgi/doi/10.1152/physrev.00009.2013.

Schlack, R. et al., 2007. Die Prävalenz der Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, 50(5-6), pp.827–835. Available at: http://link.springer.com/10.1007/s00103-007-0246-2.

Schmauder, M., 1996. Händigkeitsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle: IPA IAO-Forschung und Praxis 237., Berlin. *Springer Verlag.*

Schmidt, R.F. (Hrsg.) et al., 2005. Neuro- und Sinnesphysiologie, 5. Aufl., Berlin. *Springer Verlag*

Schneider, F., Fink, G.R. (Hrsg.), 2013. Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie, 2. Aufl., Berlin. *Springer Verlag*.

Trepel, M., 2012. Neuroanatomie: Struktur und Funktion, 5. Aufl., München. *Elservier, Urban & Fischer*

Wang, B. et al., 2013. Brain anatomical networks in world class gymnasts: A DTI tractography study. *NeuroImage*, 65, pp.476–487.

Wei, G. & Luo, J., 2010. Sport expert's motor imagery: Functional imaging of professional motor skills and simple motor skills. *Brain Research*, 1341, pp.52–62. Available at: http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2009.08.014.

Weishaupt, D., Köchli, V.D. & Marincek, B., 2014. Wie funktioniert MRI?: Eine Einführung in Physik und Funktionsweise der Magnetresonanzbildgebung, 7. Aufl., Berlin. *Springer Verlag.*

Yang, J., 2015. The influence of motor expertise on the brain activity of motor task performance: A meta-analysis of functional magnetic resonance imaging studies. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15(2), pp.381–394. Available at: http://link.springer.com/10.3758/s13415-014-0329-0.

Zilles, G. & Rehkämper G., 1994. Funktionelle Neuroanatomie: Lehrbuch und Atlas, 2. Aufl., Berlin. *Springer Verlag.*

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	*Abbildung*
ADHS	*Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Syndrom*
BA	*Brodmann Areal*
BDNF	*„Brain-derived neurotrophic factor“*
BOLD	*„blood oxygen level dependent“*
CAT	*„computational anatomy box“*
DTI	*Diffusion-Tensor Bildgebung*
EPI	*„echo planar imaging“*
FA	*fractional anisotropy*
fMRT	*funktionelle Magnetresonanztomographie*
FSL	*FMRIB Software Library*
FWE	*„family wise error“*
LTD	*Langzeit Depression*
LTP	*Langzeit Potenzierung*
Hem. (R,L)	*Hemisphäre (rechts, links)*
MNI	*Montreal Neurological Institut*
MR	*Magnetresonanz*
MRT	*Magnetresonanztomographie*
o.A.	*Ohne Autor*
PMC	*Prämotorischer Kortex*
SMA	*Supplementär-motorische Region*
SPM	*„Statisical Parametric Mapping“*
TBSS	*„tract based spatial statistics“*
TE	*„time of echo“*
TR	*„time of repetition“*
VBM	*„voxel based morphometric“*

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf einer Bewegungsinitiierung _____7

Abbildung 2 : Somatotope Gliederung des primären motorischen Kortex _____8

Abbildung 3: T1- und T2- Relaxation _____14

Abbildung 4: Die Ortskodierung des MRT _____16

Abbildung 5: Verlauf der fMRT-Messung _____17

Abbildung 6: Verlauf der Diffusionsmessung _____19

Abbildung 7: Bedingung des fMRT-Experiments _____22

Abbildung 8: Schematischer Aufbau des fMRT-Experiments _____23

Abbildung 9: globale Aktivierung des fMRT-Experiments Skateboardfahrer gegen Kontrolle _____29

Abbildung 10: Aktivierung der SMA _____30

Abbildung 11: Aktivierung des Lobulus parietalis superior _____30

Abbildung 12: globale Aktivierung des fMRT- Experiments Kontrolle gegen Skateboardfahrer_____31

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ergebnis der fMRT-Analyse Skateboardfahrer gegen Kontrollprobanden _____29

Tabelle 2: Ergebnis der fMRT-Analyse Kontrollprobanden gegen Skateboardfahrer _____31

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem Betreuer Prof. Dr. Andreas Jansen dafür bedanken, dass er es mir ermöglicht hat in der AG LMN (Laboratory for Multimodal Neuroimaging) meine Bachelorarbeit zu verfassen. Durch seine freundliche Art sorgte er dafür, dass ich mich in der AG sehr wohl gefühlt habe. Er verstand es auch komplizierte Sachverhalte, leicht verständlich zu machen.

Ebenso möchte ich mich bei Prof. Dr. Susanne Knake bedanken, dass sie sich dazu bereit erklärte meine Arbeit als Zweitkorrektor zu bewertet.

Des Weiteren möchte ich mich bei der gesamten AG bedankten, die mir bei der Durchführung der Bacheloarbeit mit kompetentem Rat bei auftretenden Fragen zur Seite standen. Durch die vielen Anregungen und Unterstützung die mir zuteil wurden, hat es mir besonders Spaß gemacht mich in das für mich neue Themengebiet einzuarbeiten.

Einen besonderen Dank möchte ich an Peer Herholz richten, der trotz meiner Menge an Fragen sich dazu bereit erklärte jede einzelne davon zu beantworten. Durch seine kompetente Betreuung, war es mir möglich viel über das neue Thema MRT zu lernen und zu verstehen.

Christoph Vogelbacher möchte ich dafür danken, dass er mich mit Informatikkenntnissen bereicherte und stets bei Fragen zur Verfügung stand.

Des Weiteren möchte ich Miriam Bauer, Verena Schuster und Roman Kessler dafür danken, dass sie mich bei dem Auswerten der Daten so unterstützt haben und jeder Zeit dazu bereit waren ihre wertvolle Zeit für mich zu opfern.

Einen Dank möchte ich auch an Mechthild Wallnig und Rita Werner aussprechen, die mir bei der Durchführung der MRT-Messung, stets mit guter Laune begegneten. Darüber hinaus möchte ich auch allen Versuchspersonen danken, die sich dazu bereiterklärten an der Untersuchung teilzunehmen und damit diese Arbeit ermöglichten.

Zu Letzt möchte ich meinem Freund und meiner Familie für ihre fürsorgliche Unterstützung danken.

Danke Mark Twain.

„Das Geheimnis des Erfolgs ist anzufangen.“ – Mark Twain

Anhang I: Probandeninformation und -einwilligung S. 48

Anhang II: Metallanamnese S. 54

Anhang III: Behaviorale Testung S. 55

Anhang IV: Skateboardtrickexpertise S. 58

Anhang V: Aktivierung von Skateboardfahrern vs. Kontrollprobanden S. 59

Anhang VI: Aktivierung von Kontrollprobanden vs. Skateboardfahrern S. 62

Philipps Universität Marburg

Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie, Rudolf-Bultmann-Straße 8, 35033 Marburg

Fachbereich Medizin
Klinik für Psychiatrie und Psychotherapie

Direktor: Prof. Dr. T. Kircher

Studienleiter:
Univ.-Prof. Dr. Andreas Jansen
Tel.: 06421/ 58-65273
Fax: 06421/ 58-68939

Probanden-Information für Forschungsvorhaben mit fMRT-Untersuchungen

zur Vorbereitung der mündlichen Aufklärung durch den Untersucher für die Studie:

„Skatebraining statt Gehirnjogging - Wie verändert sich das Gehirn durch Skateboardfahren?“

Sehr geehrte Frau, sehr geehrter Herr,

Wir möchten Sie bitten an unserer fMRT-Messung „Skatebraining statt Gehirnjogging - Wie verändert sich das Gehirn durch Skateboardfahren?“ teilzunehmen. In diesem Informationsblatt beschreiben wir die geplanten Untersuchungen, klären über mögliche Risiken auf, beschreiben den Umgang mit sog. „Zufallsbefunden“, konkretisieren den Umgang mit den erhobenen Daten und nennen abschließend Ausschlusskriterien für die Teilnahme an der Studie.

(1) Information zur geplanten Studie

Das Gehirn ist ein plastisches Organ das sich bis ins hohe Alter an gegebene Umweltreizen anpassen kann, man spricht hierbei von der sogenannten Plastizität des Gehirns. Diese kann sowohl funktional, als auch strukturell sein.

In der folgenden Studie gehen wir der Frage nach, wie sich Skateboardfahren auf das Gehirn auswirkt. Genauer betrachtet wird, ob es zu einer Volumenzunahme in bestimmten Gehirnarealen kommt oder ob sich ein spezifisches Aktivierungsmuster motorisch relevanter Areale bei Skateboardfahrern findet, wenn sie einen Skateboardtrick beobachten.

Es gibt bereits Studien die einen Effekt von sportlicher Aktivität auf das Gehirn gemessen haben, sowie die Auswirkung einer bestimmten Aktivität auf die Volumenzunahme. Ein Beispiel hierfür ist eine Studie die an Balletttänzern durchgeführt wurde, in dieser konnte gezeigt werden, dass es zu einer stärkeren neuronalen Aktivierung kommt wenn die Betrachter die Bewegung selbst durchführen konnten.

Wir wollen nun untersuchen, ob es diesen Effekt auch in SkateboardfahrerInnen gibt und ob dieser Übungseffekt die Struktur des Gehirns verändern kann.

Die Teilnahme an diesen Untersuchungen ist freiwillig, Sie können jederzeit und ohne Angabe von Gründen Ihre Einwilligung zurückziehen, ohne dass Ihnen daraus Nachteile entstehen. Für die Teilnahme an den Testungen erhalten Sie 10 € oder Versuchspersonenstunden. Auf Wunsch können sie stattdessen, als Aufwandsentschädigung, eine CD mit Bildern Ihres Gehirns erhalten.

(2) Versuchsablauf

Erster Teil: Vorbereitung

Im ersten Teil des Experiments werden Sie genauer über die Untersuchung unterrichtet, Sie erfahren was ihre Aufgaben sind und werden über mögliche Gefahren und Risiken, die durch die Untersuchung entstehen können, aufgeklärt. Es wird ihnen ein Fragebogen ausgehändigt, in welchem Sie auf mögliche Ausschlusskriterien überprüft werden. Zum Abschluss der Vorbereitung werden Sie gebeten eine Einwilligungserklärung zur Untersuchung abzugeben.

Zweiter Teil: Untersuchung im Kernspintomographen

Die Untersuchung im Kernspintomographen besteht aus mehreren Messblöcken. Die einzelnen Abläufe werden ihnen folglich erklärt:

Im ersten Messblock der Untersuchung wird ein anatomisches Bild ihres Gehirns aufgenommen. Hierfür müssen sie ca. 5 Minuten ruhig liegen bleiben.

Anschließend erfolgt eine kurze Instruktion, woraufhin Ihnen Videos mit verschiedenen Bewegungsabläufen über einen Bildschirm dargeboten werden. Diese Untersuchung ist in zwei Blöcke aufgeteilt. Jeder Block dauert ca. 11 Minuten und wird von einer einminütigen Pause unterbrochen, in der Sie sich entspannen können. Bitte schauen sie sich die Videos aufmerksam an. Ihre Aufgabe besteht darin, die, in den Videos durchgeführten, Bewegungen, nach der Kernspintomographieuntersuchung wiederzuerkennen. Hierfür werden sie nach dem Verlassen des Kernspintomographen, an einem Laptop gezeigte Videos in die Kategorie „neu“ oder „bekannt“ einordnen. Bevor der jeweilige Videoblock beginnt wird der Eye-Tracker eingestellt. Hierfür erscheinen schwarze Punkte auf dem Bildschirm, diesen bitte folgen und die Punkte fixieren.

Die letzte Untersuchung im Kernspintomographen ist eine Aufnahme der Faserbahnen ihres Gehirns. Hierfür müssen Sie erneut ca. 12 Minuten stillliegen, Sie können hierbei die Augen schließen und sich entspannen.

Die komplette Untersuchung im Kernspintomographen dauert ca. 45 Minuten.

Dritter Teil: Test am Laptop

Im Anschluss an die oben beschriebene Untersuchung im Kernspintomographen werden Sie an einem Laptop Videos von Bewegungsabläufen einordnen, in die Kategorien „neu“- falls Sie das Video noch nicht gesehen haben oder „bekannt“- falls Ihnen das Video während der Messung im Kernspintomographen gezeigt wurde.

Vierter Teil: Behaviorale Testung

Die behaviorale Untersuchung erfolgt mittels Fragebogen und umfasst zwei Aufgabenteile:

1.Händigkeitstest: Zur Evaluation der Stärke Ihrer der Rechtshändigkeit
2. Skateboardexpertise: Angaben Sport- und Skateboarderfahrung

(3) Ablauf der Kernspintomographieuntersuchung und mögliche Gefahren

Das menschliche Gehirn besteht aus einer Vielzahl von Molekülen, die jeweils spezifische magnetische Eigenschaften aufweisen (sog. Kernspinresonanz). Bei Anwendung von starken Magnetfeldern können diese gemessen und im Anschluss daran die Konzentration von Molekülen im Gehirn festgestellt werden. Auf diese Weise lässt sich die Durchblutung des Gehirns ermitteln, genauer die kontinuierlichen Veränderungen des Sauerstoffgehalts im Blut innerhalb weniger Sekunden. Diese Veränderungen ergeben spezifische Muster, je nachdem, welche Sinnesreize oder Vorstellungen die Versuchsperson während der Messung innerlich verarbeitet. Auf diese Weise können unterschiedliche Funktionen des Gehirns sichtbar gemacht werden. Man spricht hier von funktioneller Magnetresonanztomographie (fMRT).

Ablauf der Untersuchung: In dieser Untersuchung werden Sie gebeten sich Videos anzusehen. Um bei den Messungen im Gehirn verlässliche Ergebnisse zu erhalten, ist Ihre Kooperationsbereitschaft erforderlich.

Sie liegen während der Untersuchung auf einem Tisch, der Sie mit dem Oberkörper in die Öffnung des MR-Tomographen hineinfährt. Zusätzlich wird ein Magnetspulenrahmen, ähnlich einem Helm, um Ihren Kopf gelegt. Die kernspintomographische Untersuchung wird inklusive der Vorbereitungen ca. 60 Minuten in Anspruch nehmen.

Während der Messung entstehen unterschiedlich laute Geräusche des MR-Tomographen, die von elektrischen Umschaltvorgängen der Magnetfelder herrühren. Um deren Einfluss gering zu halten, tragen Sie einen Kopfhörer. Sie haben während der Untersuchung jederzeit die Möglichkeit, mit den Untersuchern über eine Wechselsprechanlage in Kontakt zu treten. Zusätzlich bekommen Sie einen gesonderten Alarmknopf für Notfälle, so dass sie auf Ihren Wunsch hin jederzeit aus dem MR-Tomographen herausgefahren werden können.

Mögliche Gefahren: Die MRT-Technologie ist für den Körper nach heutigem Erkenntnisstand unschädlich. Sie basiert auf mehr als 20 Jahren Erfahrung und wird täglich in allen größeren Kliniken eingesetzt. Bekannte Risiken ergeben sich ausschließlich durch metallische Gegenständen oder Stoffe mit magnetischen Eigenschaften, die sich am oder im Körper befinden. Diese können sich erhitzen und zu Verbrennungen führen. Lose Metallteile können durch das Magnetfeld beschleunigt werden und dann zu Verletzungen führen. Daher sind Personen von der Teilnahme an der Studie ausgeschlossen, die elektrische Geräte (z.B. Herzschrittmacher, Medikamentenpumpen) oder Metallteile (z.B. Spirale, Schrauben nach Knochenbruch) im oder am Körper haben.

Risiken unabhängig von den Genannten sind bislang nicht bekannt. Abgesehen von möglichen Unbequemlichkeiten, die vom stillen Liegen in der engen fMRT-Röhre resultieren, und der Lautstärke des Tomographen, sollten keine Beschwerden während der Untersuchung auftreten.

Wir möchten sie allerdings darauf hinweisen, dass über mögliche langfristige Risiken bei wiederholten MRT-Messungen bisher keine wissenschaftlich abgesicherten Ergebnisse vorliegen.

(4) Umgang mit Zufallsbefunden

Bei der Studie handelt es sich um eine Forschungsstudie. Eine neuroradiologische Befundung der MR-Bilder im Sinne einer klinisch orientierten Diagnostik findet daher nicht statt. Dennoch kann es vorkommen, dass in

den MR-Bildern Signalauffälligkeiten entdeckt werden, die eine mögliche klinische Relevanz haben („Zufallsbefund"). Falls sich bei der Untersuchung Anhaltspunkte für einen Zufallsbefund ergeben, die eine fachärztliche neuro-radiologische Diagnostik empfehlenswert erscheinen lassen, würde Sie der Versuchsleiter persönlich darüber informieren und Ihnen eine fachärztlich neuro-radiologische Diagnostik empfehlen. Falls Sie über einen Zufallsbefund nicht informiert werden wollen, stellt dies ein Ausschlusskriterium für die Teilnahme an der Studie dar.

(5) Datenschutz

Ihre personenbezogenen Daten werden maschinell gespeichert und weiterverarbeitet. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen ohne Namensnennung und setzt Ihre freiwillige Einwilligung voraus.

(6) Ausschlusskriterien

Die Anwendung von Magnetfeldern bei der MRT-Untersuchung schließt die Teilnahme von Personen aus, die elektrische Geräte (z.B. Herzschrittmacher, Medikamentenpumpen usw.) oder Metallteile (z.B. Schrauben nach Knochenbruch, „Spirale") im oder am Körper haben. Frauen, die schwanger sind, werden nicht als Probandinnen zugelassen. Probanden, die nicht über mögliche Zufallsbefunde informiert werden wollen, können ebenfalls nicht an der Studie teilnehmen.

Wenn weitere Fragen bestehen, werden diese gerne vom Untersuchungsleiter beantwortet.

VIELEN DANK!

Vorbereitung für das Experiment

Bitte nicht direkt vor dem Experiment Kaffee und/oder Alkohol konsumieren.
Falls Sie eine Sehhilfe (Brille bzw. Kontaktlinsen) benötigen, bringen Sie diese bitte zum Experiment mit.

Einwilligungserklärung zur Teilnahme an der Untersuchung

Bei Ihrer Bereitschaft zur Teilnahme bitten wir Sie, die Einwilligungserklärung vor der Untersuchung vollständig auszufüllen und zu unterschreiben.

Ich bestätige hiermit, dass ich durch den Untersucher, Herrn/Frau ..... über Wesen, Bedeutung, Risiken und Tragweite der beabsichtigten Untersuchung aufgeklärt wurde und für meine Entscheidung genügend Bedenkzeit hatte. Ich habe die Probandeninformation gelesen. Ich fühle mich ausreichend informiert und habe verstanden, worum es geht. Der Untersucher hat mir ausreichend Gelegenheit gegeben, Fragen zu stellen, die alle für mich ausreichend beantwortet wurden. Ich hatte genügend Zeit, mich zu entscheiden.

Ich wurde darauf hingewiesen, dass es sich bei der Studie um eine Forschungsstudie handelt. Eine neuroradiologische Befundung der MR-Bilder im Sinne einer klinisch orientierten Diagnostik findet daher nicht statt. Dennoch kann es vorkommen, dass in den MR-Bildern Signalauffälligkeiten entdeckt werden, die eine mögliche klinische Relevanz haben („Zufallsbefund“). Mir ist bekannt, dass der Versuchsleiter mich informieren würde, falls sich bei der Untersuchung Anhaltspunkte für einen Zufallsbefund ergeben, die eine fachärztliche neuro-radiologische Diagnostik empfehlenswert erscheinen lassen.

Ich habe verstanden, dass persönliche Daten und medizinische Befunde erhoben werden. Die Weitergabe, Speicherung und Auswertung dieser Daten erfolgt nach gesetzlichen Bestimmungen meine freiwillige Einwilligung voraus. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass erhobene Daten auf Fragebögen und elektronischen Datenträgern aufgezeichnet und ohne Namensnennung zum Zwecke wissenschaftlicher Auswertung analysiert werden.

Ich habe eine Kopie der Probandeninformation und dieser unterschriebenen Einwilligungserklärung erhalten. Meine Einwilligung, an dieser Messung als Proband teilzunehmen, erfolgt freiwillig. Ich wurde darauf hingewiesen, dass ich meine Einwilligung jederzeit ohne Angabe von Gründen und ohne Nachteile widerrufen kann.

Ich willige hiermit ein, als Proband an einer MRT-Messung teilzunehmen.

VOM PROBANDEN AUSZUFÜLLEN:

Name: ……..

Geburtsdatum: ……

Datum: …….. Uhrzeit: ……

Ort: …… Unterschrift: ……

VOM UNTERSUCHER AUSZUFÜLLEN:

Ich habe den Probanden mündlich über Wesen, Bedeutung, Reichweite und Risiken der Untersuchung aufgeklärt.

Datum: …….. Uhrzeit: ……

Ort: ……..

Untersucher: ……

NAME: **STUDIE:**
GEBURTSDATUM:
GEWICHT:
KÖRPERGRÖSSE:

Metallanamnese-Fragebogen

Frage	ja	nein
1. Tragen Sie einen Herzschrittmacher?		
2. Hatten Sie jemals einen chirurgischen Eingriff? Was wurde operiert?		
3. Sind Sie schwanger oder vermuten Sie schwanger zu sein?		
4. Sind Sie jemals durch einen metallenen Fremdkörper verletzt worden (Geschoß, Granatsplitter, Metallsplitter usw.)?		
5.Haben oder vermuten Sie Metallobjekte im Auge (z.B. Prothese, Metallsplitter)? Tragen Sie Kontaktlinsen?		
6. Haben Sie Metallclips nach Gefäßoperationen? Wenn ja, wo (Gehirn, Herzkranzgefäße, Aneurysma, Transplantatniere)?		
7. Haben Sie eine Herzklappe aus Metall? Wenn ja, welcher Typ? (Herzklappenpass)		
8. Tragen Sie implantierte, elektrische Stimulationsgeräte (Biostimulatoren, Neurostimulatoren)? Anus-Praeter?		
9. Tragen Sie implantierte Medikamentenpumpen oder Infusionssysteme (z.B. Infusionspumpe, Ports)?		
10. Haben Sie eine Mittelohrprothese oder Cochlea-Implantat?		
11. Wurden bei Ihnen metallene Fremdkörper in die Blutgefäße oder den Verdauungstrakt implantiert (z.B. Stents, Cava-Filter, Spiralen)?		
12. Tragen Sie Gelenkprothesen aus Metall?		
13. Wurde bei Ihnen Osteosynthesematerial eingesetzt (z.B. Metallplatten, -stäbe, oder -schrauben) nach Knochenverletzungen?		
14. Tragen Sie einen Intrauterin-Pessar ("Spirale") aus Metall?		
15. Haben Sie herausnehmbaren metallenen Zahnersatz?		
16. Waren Sie jemals als Metallarbeiter tätig?		
17.Haben Sie Tätowierungen, Permanentmakeup oder Piercings? Haben Sie Implantate (z.B. Brust, Bauch etc.) ?		
18.Tragen Sie einen nicht herausnehmbaren Retainer/ Zahnspange? Haben Sie Akupunkturnadeln?		
19.Tragen Sie ein Medikamenten-Pflaster oder einen Verband?		
20.Leiden Sie an anderen chronischen oder akuten Krankheiten? (falls ja, bitte auf Rückseite erläutern)		
21.Nehmen Sie derzeit Medikamente? (falls ja, bitte auf Rückseite erläutern)		

Ich habe die Fragen nach bestem Wissen und Gewissen beantwortet
Mir ist bewusst, dass falsche Angaben meine Gesundheit gefährden können!

! ! ! Ich bestätige mit meiner Unterschrift, dass ich alle metallischen Gegenstände abgelegt habe ! ! !

Marburg, den
Uhrzeit: .....
(Unterschrift)

Behaviorale Testung

Probandennummer:_____ **Datum:**
Geschlecht:_____ **Händigkeit (eigene Einschätzung):**_____
Alter:_____

A) Bestimmung der Händigkeit

Bitte kreuzen Sie an, mit welcher Hand Sie die unten aufgeführten Aktivitäten ausüben. Falls Sie immer (zu 95% oder mehr) eine Hand verwenden um die Aktivität durchzuführen, kreuzen Sie Ri oder Li an (Rechts immer oder Links immer). Falls Sie gewöhnlich (ca. 75% der Handlungen) mit einer Hand ausüben, kreuzen Sie Rn oder Ln an (Rechts normalerweise oder Links normalerweise). Falls Sie eine Aktivität gleichermaßen mit links oder rechts ausführen, kreuzen Sie Gl (Gleich oft) an.

		Li	**Ln**	**Gl**	**Rn**	**Ri**
1	Welche Hand nutzen Sie um den Lautstärkeregler am Radio zu bedienen?					
2	In welcher Hand halten Sie den Pinsel um eine Wand zu streichen					
3	In welcher Hand halten Sie den Löffel wenn Sie Suppe essen?					
4	Welche Hand nutzen Sie, wenn Sie auf etwas in der Entfernung zeigen möchten?					
5	Mit welcher Hand werfen Sie einen Dartpfeil?					
6	Mit welcher Hand nutzen Sie einen Radiergummi?					
7	In welcher Hand würden Sie einen Wanderstock tragen?					
8	Mit welcher Hand halten Sie das Bügeleisen um ein Shirt zu bügeln?					
9	Mit welcher Hand zeichnen Sie?					
10	In welcher Hand halten Sie eine volle Kaffeetasse?					
11	In welcher Hand halten Sie den Hammer um einen Nagel in die Wand zu schlagen?					
12	In welcher Hand halten Sie die Fernbedienung um den Fernseher zu bedienen?					
13	In welcher Hand halten Sie ein Messer um Brot zu schneiden?					
14	Mit welcher Hand schlagen Sie die Seiten eines Buches um?					
15	In welcher Hand halten Sie eine Schere um Papier zu schneiden?					
16	Mit welcher Hand machen Sie eine Tafel sauber?					
17	Mit welcher Hand benutzen Sie eine Pinzette?					
18	Welche Hand benutzen Sie um ein Buch aufzuheben?					
19	Mit welcher Hand tragen Sie einen Koffer?					
20	Welche Hand verwenden Sie um z.B. Kaffee in eine Tasse zu gießen?					
21	Mit welcher Hand bedienen Sie die Computermaus?					
22	Mit welcher Hand stecken Sie einen Stecker in eine Steckdose?					
23	Mit welcher Hand drehen Sie eine Münze um?					
24	In welcher Hand halten Sie die Zahnbürste beim Zähneputzen?					
25	Mit welcher Hand werfen Sie einen Ball?					
26	Mit welcher Hand betätigen Sie einen Türgriff?					
27	In welcher Hand halten Sie einen Stift beim Schreiben?					
28	Mit welcher Hand nehmen Sie ein Blatt Papier?					
29	In welcher Hand halten Sie eine Handsäge beim Sägen?					
30	Welche Hand verwenden Sie um mit einem Löffel etwas umzurühren?					
31	In welcher Hand tragen Sie einen geöffneten Regenschirm?					
32	In welcher Hand halten Sie die Nadel beim Nähen?					
33	In welcher Hand halten Sie ein Streichholz beim Anzünden?					
34	Mit welcher Hand betätigen Sie den Lichtschalter?					
35	Mit welcher Hand ziehen Sie eine Schublade auf?					
36	Mit welcher Hand tippen Sie die Zahlen auf einem Taschenrechner ein?					

37	Wurden Sie zum Rechtshänder umerzogen?	JA	NEIN
38	Gibt es irgendeine Ursache/Grund (z.B. einen Unfall), weshalb Sie Ihre Handpräferenz ändern mussten?	JA	NEIN
39	Haben Sie die Fähigkeiten einer Hand speziell erlernt? Zum Beispiel das Erlernen eines Musikinstruments?	JA	NEIN

40	Falls Sie Frage 37, 38 und/oder 39 mit Ja beantwortet haben, begründen Sie bitte:		

B) Händigkeit nach Oldfield

Bitte geben Sie an, welche Hand Sie bevorzugt zur Durchführung der genannten Aktivitäten benutzen, indem Sie ein + in die entsprechende Spalte schreiben. Wenn die Präferenz so stark ist, dass Sie die andere Hand nie benutzen würden, es sei denn, Sie wären dazu gezwungen, schreiben Sie ein ++ in die entsprechende Spalte. Wenn Sie bei einer Aktivität absolut keine Präferenz haben, so schreiben Sie in beide Spalten ein +. Einige der Aktivitäten erfordern beide Hände. In diesem Fall ist der Teil der Aufgabe oder des Objekts, für den die Handpräferenz erfragt wird, in Klammern angegeben.

	Links	**Rechts**
1. Schreiben	[ ]	[ ]
2. Zeichnen	[ ]	[ ]
3. Werfen	[ ]	[ ]
4. Schere	[ ]	[ ]
5. Zahnbürste	[ ]	[ ]
6. Messer (ohne Gabel)	[ ]	[ ]
7. Löffel	[ ]	[ ]
8. Besen (obere Hand)	[ ]	[ ]
9. Streichholz anzünden (Streichholz)	[ ]	[ ]
10. Kiste öffnen (Deckel)	[ ]	[ ]

C) Händigkeit in der Familie

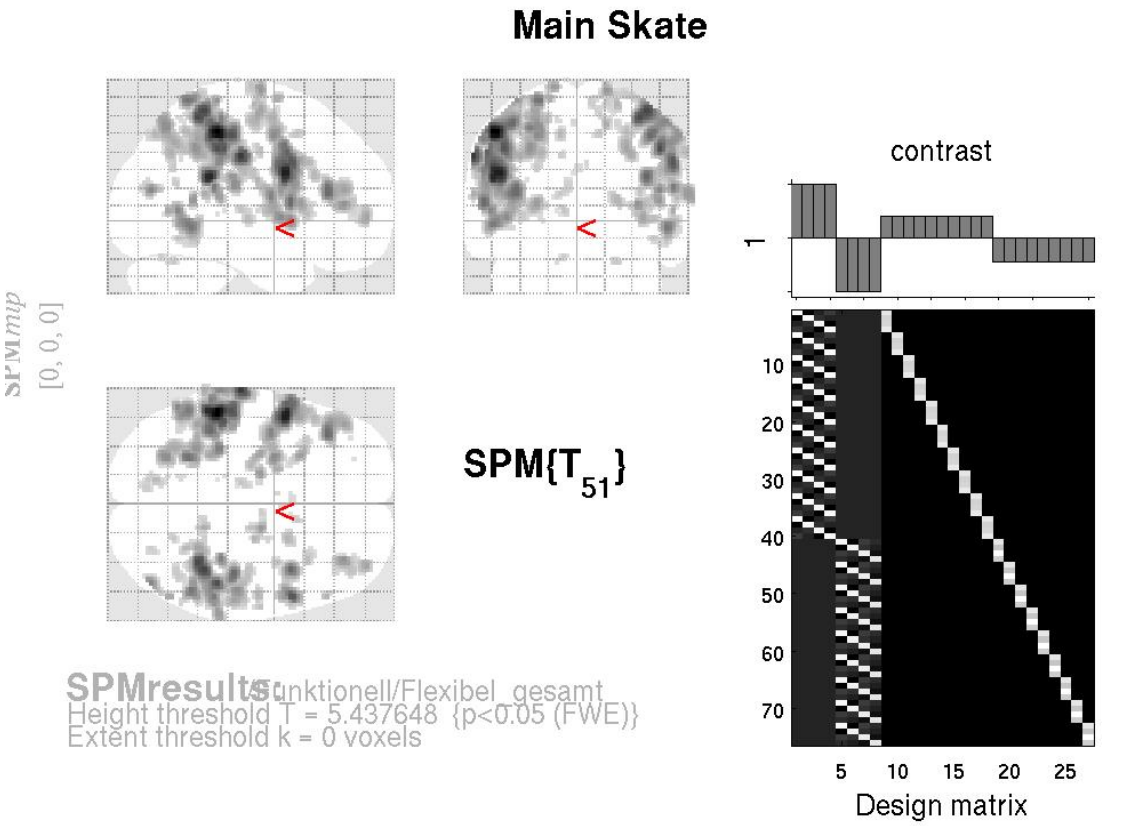
Bitte kreuzen Sie, falls bekannt, die zutreffende Händigkeit an:

	linkshändig	beidhändig	rechtshändig	umgeschulter Linkshänder	rückgeschulter Linkshänder
Mutter					
Vater					
Großmutter (mütterlicherseits)					
Großvater (mütterlicherseits)					
Großmutter (väterlicherseits)					
Großvater (väterlicherseits)					
Geschwister, wie viele?					
.... Schwester/n					
.... Bruder /Brüder					
Kinder, wie viele?					
... Tochter /Töchter					
... Sohn/ Söhne					

D) Skateboardexpertise

Skateboardexpertise	**JA**	**NEIN**
Sind sie schon einmal Skateboard gefahren?		
Fahren sie noch Skateboard? Wenn ja, seit wann fahren sie Skateboard? Wenn nein, wie lang sind sie Skateboard gefahren?		
Wie viele Stunden pro Woche fahren sie/ sind sie gefahren(bitte Ankreuzen)? weniger als 1 Stunde 1-2 Stunden 3-4 Stunden 5-6 Stunden mehr als 6 Stunden		
Üben sie eine andere Sportart aus und wenn ja, wie regelmäßig? -Snowboarden -Surfen -andere:		
Wie ist ihr Fußstellung beim Skateboardfahren? -linker Fuß vorn -rechter Fuß vorn		
Schauen sie Skateboardvideos? Wenn ja, wie häufig pro Woche?		

Skateboardexpertise	**JA**	**JA, MIT BEIDEN FUßSTELLUNGEN**	**NEIN**
Konnten Sie einen der gezeigten Skateboardtricks selbst durchführen? Wenn ja, welchen?			
Manual			
Nose Manual			
Ollie			
Nollie			
Front Side 180			
Back Side 180			
Nollie Front Side 180			
Nollie Back Side 180			
Front Side Shove it			
Nollie Front Side Shove it			
Nollie Pop Shove it			
Pop Shove it revert			
Blunt Powerslide Fakie			
Ollie One Foot			
Nollie One Foot			
Heelflip			
Kickflip			
Nollie Kickflip			
Front Side 180 Kickflip			
Nollie Big Spin			
Nollie Front Side Big Spin			
Nollie Varial Kickflip			
Varial Kickflip			
360 Flip			
Nollie 360 Flip			
Nollie 360			



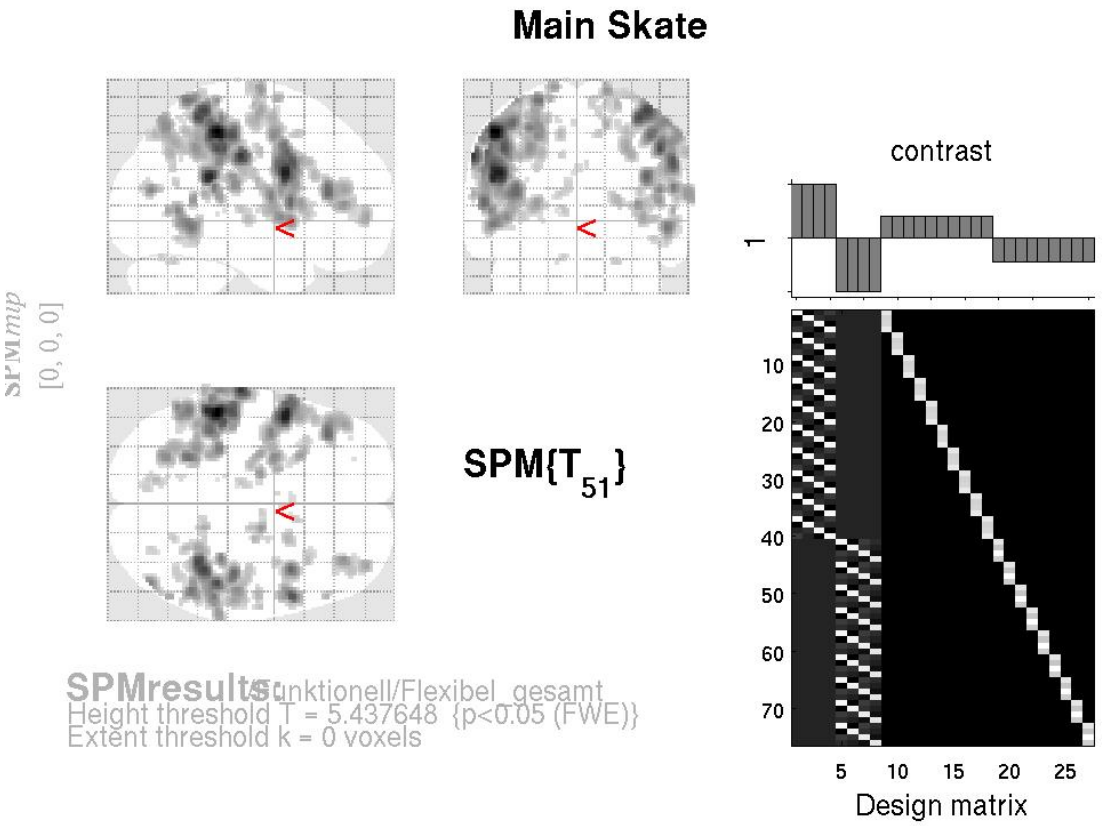
Statistics: ***p-values adjusted for search volume***

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	*c*	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	*T*	($Z_{\equiv}$)	p_{uncorr}			
0.000	**52**	**0.000**	**0.000**	**2152**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**15.34**	**Inf**	**0.000**	**-50**	**-36**	**50**
						0.000	0.000	13.36	Inf	0.000	-52	-40	24
						0.000	0.000	12.41	Inf	0.000	-64	-22	36
		0.000	**0.000**	**1183**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**13.70**	**Inf**	**0.000**	**-48**	**4**	**26**
						0.000	0.000	10.74	7.73	0.000	-56	6	38
						0.000	0.000	10.31	7.55	0.000	-58	8	10
		0.000	**0.000**	**1371**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**11.86**	**Inf**	**0.000**	**40**	**-44**	**62**
						0.000	0.000	11.61	Inf	0.000	48	-36	40
						0.000	0.000	10.30	7.54	0.000	42	-26	48
		0.000	**0.000**	**361**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**11.22**	**Inf**	**0.000**	**56**	**8**	**32**
						0.000	0.000	10.53	7.64	0.000	40	8	24
		0.000	**0.000**	**303**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**10.31**	**7.54**	**0.000**	**-38**	**30**	**16**
						0.000	0.001	8.05	6.44	0.000	-44	40	16
		0.000	**0.000**	**97**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**10.03**	**7.42**	**0.000**	**-26**	**-54**	**68**
		0.000	**0.000**	**175**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**9.82**	**7.33**	**0.000**	**52**	**-52**	**-6**
						0.002	0.058	6.46	5.49	0.000	44	-60	-12
		0.000	**0.000**	**96**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**9.70**	**7.27**	**0.000**	**56**	**-38**	**18**
						0.000	0.000	8.34	6.59	0.000	64	-36	14
		0.000	**0.000**	**195**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**9.64**	**7.24**	**0.000**	**-52**	**-54**	**-4**
						0.000	0.000	9.21	7.04	0.000	-54	-60	4
						0.012	0.265	5.92	5.14	0.000	-42	-60	-6
		0.000	**0.004**	**37**	**0.001**	**0.000**	**0.000**	**9.23**	**7.04**	**0.000**	**48**	**-76**	**16**
		0.000	**0.000**	**273**	**0.000**	**0.000**	**0.000**	**8.95**	**6.91**	**0.000**	**-26**	**-2**	**48**
						0.000	0.001	7.98	6.40	0.000	-26	-10	62
						0.000	0.003	7.49	6.12	0.000	-30	-4	58

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 5.44, p = 0.000 (0.050)
Extent threshold: k = 0 voxels
Expected voxels per cluster, <k> = 2.825
Expected number of clusters, <c> = 0.05
FWEp: 5.438, FDRp: 6.685, FWEc: 1, FDRc: 16

Degrees of freedom = [1.0, 51.0]
FWHM = 10.0 10.0 10.4 mm mm mm; 5.0 5.0 5.2 {voxels}
Volume: 1454672 = 181834 voxels = 1285.8 resels
Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 130.54 voxels)
Page 1



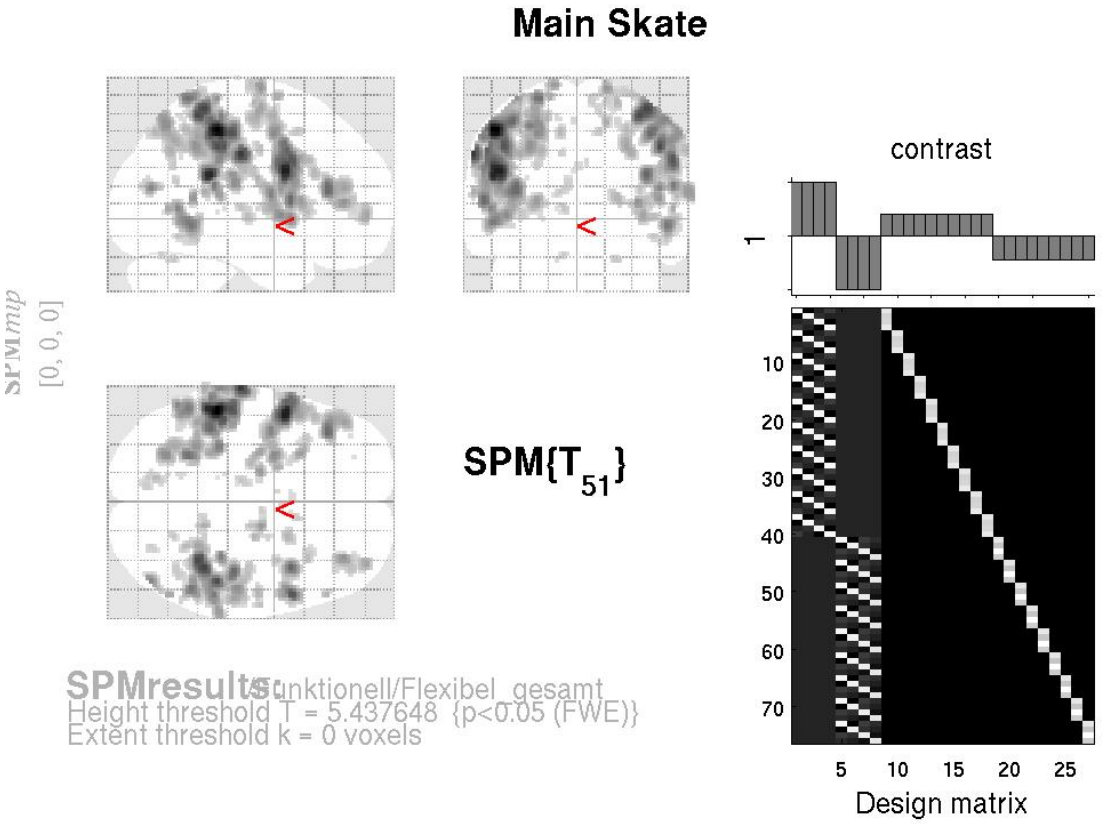
Statistics: ***p-values adjusted for search volume***

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	*c*	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	*T*	($Z_{=}$)	p_{uncorr}			
		0.000	0.000	180	0.000	0.000	0.000	8.70	6.78	0.000	34	40	8
						0.000	0.001	7.98	6.40	0.000	38	54	0
						0.012	0.269	5.91	5.13	0.000	42	36	12
		0.000	0.007	31	0.003	0.000	0.000	8.55	6.70	0.000	48	-50	10
		0.000	0.000	102	0.000	0.000	0.000	8.51	6.68	0.000	16	-10	74
						0.000	0.006	7.27	5.99	0.000	22	-14	66
						0.005	0.115	6.21	5.33	0.000	6	-10	66
		0.000	0.000	102	0.000	0.000	0.000	8.28	6.56	0.000	-26	14	8
						0.003	0.083	6.33	5.41	0.000	-34	18	2
		0.000	0.008	30	0.003	0.000	0.000	8.24	6.54	0.000	-16	-10	76
		0.003	0.092	10	0.060	0.000	0.001	7.72	6.26	0.000	56	-66	4
		0.001	0.041	16	0.021	0.000	0.002	7.66	6.22	0.000	-18	0	70
		0.001	0.034	18	0.016	0.000	0.002	7.55	6.16	0.000	-64	-44	14
		0.000	0.014	25	0.006	0.000	0.007	7.21	5.96	0.000	54	-12	22
		0.004	0.108	9	0.073	0.000	0.007	7.20	5.95	0.000	56	30	22
		0.000	0.003	41	0.001	0.000	0.007	7.18	5.94	0.000	22	6	10
		0.000	0.020	22	0.009	0.000	0.009	7.10	5.90	0.000	58	8	12
		0.001	0.023	21	0.010	0.000	0.011	7.01	5.84	0.000	-12	-74	48
		0.000	0.005	35	0.002	0.000	0.013	6.96	5.81	0.000	34	18	2
		0.000	0.013	26	0.005	0.001	0.017	6.86	5.75	0.000	44	-18	0
		0.001	0.041	16	0.021	0.001	0.029	6.69	5.65	0.000	36	0	16
		0.003	0.084	11	0.050	0.001	0.029	6.68	5.64	0.000	62	-10	40
		0.001	0.038	17	0.018	0.002	0.056	6.47	5.50	0.000	-10	-22	4
		0.002	0.073	12	0.042	0.002	0.058	6.45	5.49	0.000	12	12	50
		0.002	0.073	12	0.042	0.002	0.060	6.44	5.48	0.000	42	-60	20

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 5.44, p = 0.000 (0.050)
Extent threshold: k = 0 voxels
Expected voxels per cluster, <k> = 2.825
Expected number of clusters, <c> = 0.05
FWEp: 5.438, FDRp: 6.685, FWEc: 1, FDRc: 16

Degrees of freedom = [1.0, 51.0]
FWHM = 10.0 10.0 10.4 mm mm mm; 5.0 5.0 5.2 {voxels}
Volume: 1454672 = 181834 voxels = 1285.8 resels
Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 130.54 voxels)
Page 2



Statistics: ***p-values adjusted for search volume***

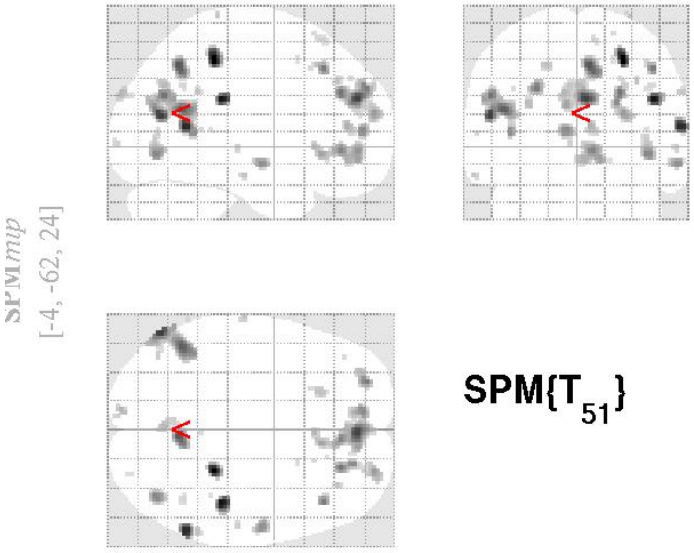
set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	*c*	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE\text{-}corr}$	$q_{FDR\text{-}corr}$	*T*	($Z_{\equiv}$)	p_{uncorr}			
		0.003	0.092	10	0.060	0.003	0.071	6.38	5.45	0.000	22	-62	-26
		0.000	0.004	36	0.001	0.003	0.087	6.31	5.40	0.000	-12	-78	14
		0.005	0.125	8	0.089	0.004	0.111	6.23	5.35	0.000	-12	-22	36
		0.002	0.065	13	0.035	0.005	0.124	6.18	5.32	0.000	28	-76	48
		0.007	0.186	6	0.136	0.006	0.150	6.11	5.27	0.000	-10	-70	-22
		0.003	0.092	10	0.060	0.008	0.181	6.05	5.23	0.000	22	-6	54
		0.019	0.433	2	0.383	0.014	0.310	5.86	5.10	0.000	32	16	36
		0.011	0.276	4	0.218	0.015	0.337	5.83	5.08	0.000	-10	-10	6
		0.011	0.276	4	0.218	0.018	0.389	5.78	5.05	0.000	4	4	32
		0.019	0.433	2	0.383	0.018	0.397	5.77	5.04	0.000	-4	0	56
		0.009	0.227	5	0.170	0.019	0.408	5.76	5.03	0.000	-14	-58	56
		0.019	0.433	2	0.383	0.020	0.438	5.74	5.01	0.000	28	-58	36
		0.005	0.125	8	0.089	0.021	0.442	5.73	5.01	0.000	0	8	30
		0.028	0.546	1	0.546	0.023	0.490	5.69	4.99	0.000	-14	-66	-26
		0.014	0.352	3	0.284	0.029	0.612	5.62	4.93	0.000	-24	0	0
		0.019	0.433	2	0.383	0.032	0.651	5.59	4.92	0.000	-24	46	4
		0.028	0.546	1	0.546	0.034	0.704	5.56	4.90	0.000	-36	44	14
		0.028	0.546	1	0.546	0.035	0.709	5.56	4.89	0.000	-12	-36	2
		0.028	0.546	1	0.546	0.042	0.858	5.49	4.85	0.000	-32	12	22
		0.028	0.546	1	0.546	0.044	0.887	5.48	4.84	0.000	-14	-32	4
		0.028	0.546	1	0.546	0.046	0.927	5.46	4.82	0.000	-8	-24	80

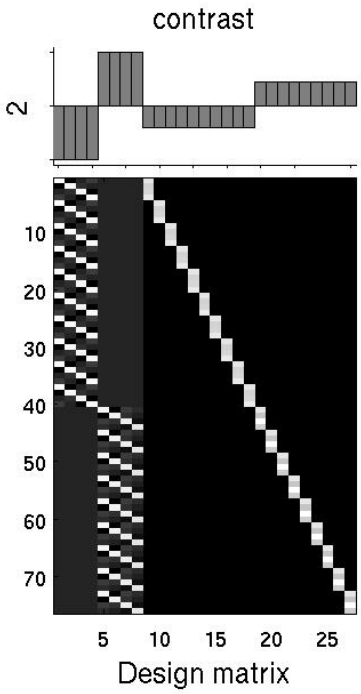
table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 5.44, p = 0.000 (0.050)
Extent threshold: k = 0 voxels
Expected voxels per cluster, <k> = 2.825
Expected number of clusters, <c> = 0.05
FWEp: 5.438, FDRp: 6.685, FWEc: 1, FDRc: 16

Degrees of freedom = [1.0, 51.0]
FWHM = 10.0 10.0 10.4 mm mm mm; 5.0 5.0 5.2 {voxels}
Volume: 1454672 = 181834 voxels = 1285.8 resels
Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 130.54 voxels)
Page 3/3

Main Control





SPM{T_{51}}

SPMresults: funktionell/Flexibel_gesamt
Height threshold T = 5.437648 {p<0.05 (FWE)}
Extent threshold k = 0 voxels

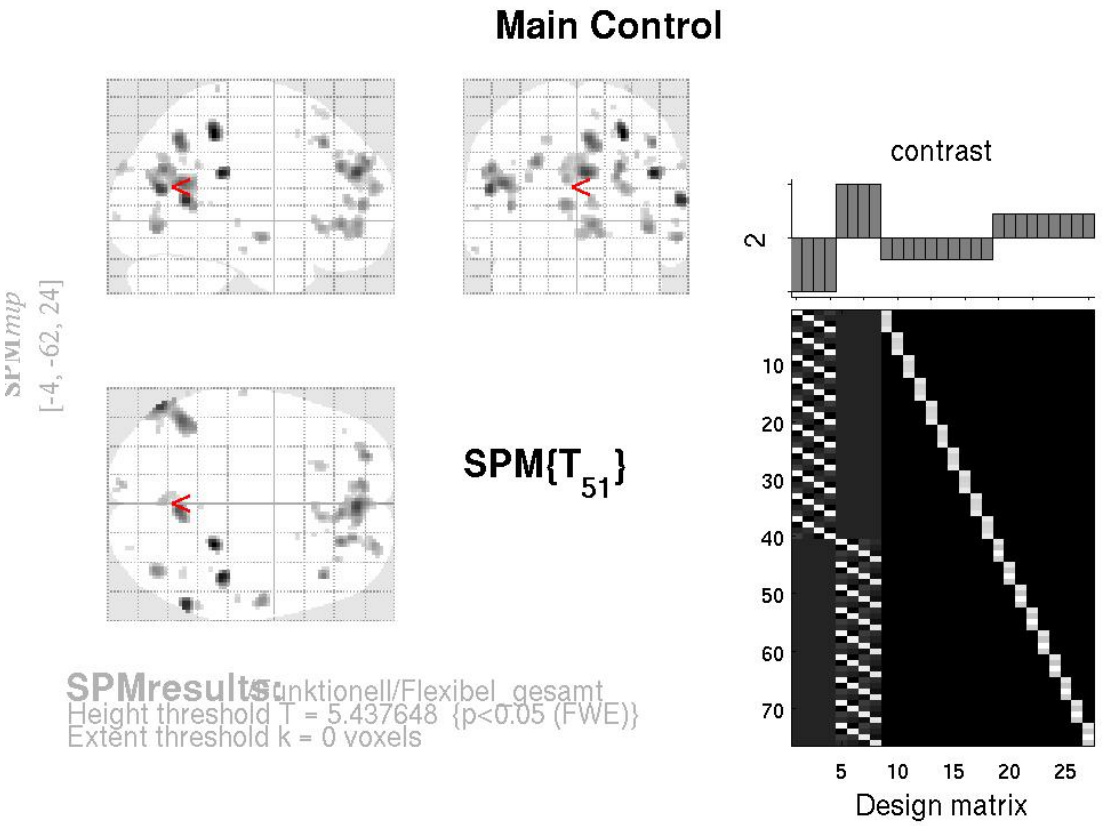
Statistics: *p-values adjusted for search volume*

set-level		cluster-level				peak-level					mm mm mm		
p	*c*	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	*T*	($Z_{\equiv}$)	p_{uncorr}			
0.000	38	0.000	0.001	55	0.000	0.000	0.000	10.46	7.61	0.000	26	-38	50
		0.000	0.004	41	0.001	0.000	0.000	9.84	7.34	0.000	44	-34	26
		0.000	0.004	39	0.001	0.000	0.000	9.36	7.11	0.000	60	-56	10
		0.000	0.000	285	0.000	0.000	0.000	8.87	6.87	0.000	-54	-70	16
						0.000	0.001	8.18	6.51	0.000	-46	-58	20
						0.000	0.004	7.74	6.27	0.000	-54	-68	28
		0.000	0.000	187	0.000	0.000	0.000	8.84	6.85	0.000	4	48	26
						0.001	0.048	6.68	5.64	0.000	-8	48	22
						0.009	0.274	6.01	5.20	0.000	-6	50	34
		0.000	0.000	89	0.000	0.000	0.001	8.39	6.62	0.000	6	-60	46
		0.000	0.000	105	0.000	0.000	0.004	7.79	6.29	0.000	24	38	30
						0.000	0.013	7.22	5.97	0.000	22	46	24
						0.001	0.034	6.85	5.74	0.000	26	58	18
		0.000	0.014	27	0.004	0.000	0.006	7.57	6.17	0.000	-26	54	32
		0.001	0.050	17	0.018	0.000	0.006	7.56	6.17	0.000	44	28	44
		0.000	0.000	185	0.000	0.000	0.008	7.43	6.09	0.000	8	38	-4
						0.000	0.020	7.04	5.85	0.000	6	48	-4
						0.001	0.042	6.74	5.67	0.000	10	26	-6
		0.000	0.001	57	0.000	0.000	0.011	7.33	6.03	0.000	40	-74	-6
		0.000	0.005	36	0.001	0.000	0.012	7.27	5.99	0.000	-8	52	8
		0.000	0.014	27	0.004	0.000	0.014	7.18	5.94	0.000	58	-10	-12
		0.000	0.022	23	0.007	0.003	0.107	6.40	5.46	0.000	6	42	10
		0.002	0.063	14	0.030	0.003	0.113	6.38	5.44	0.000	-10	-94	30
		0.001	0.054	16	0.021	0.004	0.165	6.23	5.35	0.000	0	-68	34
		0.002	0.063	14	0.030	0.005	0.165	6.22	5.34	0.000	-30	50	22

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 5.44, p = 0.000 (0.050)
Extent threshold: k = 0 voxels
Expected voxels per cluster, <k> = 2.825
Expected number of clusters, <c> = 0.05
FWEp: 5.438, FDRp: 6.682, FWEc: 1, FDRc: 17

Degrees of freedom = [1.0, 51.0]
FWHM = 10.0 10.0 10.4 mm mm mm; 5.0 5.0 5.2 {voxels}
Volume: 1454672 = 181834 voxels = 1285.8 resels
Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 130.54 voxels)
Page 1



Statistics: ***p-values adjusted for search volume***

set-level		cluster-level				peak-level					mm	mm	mm
p	*c*	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	k_E	p_{uncorr}	$p_{FWE-corr}$	$q_{FDR-corr}$	*T*	($Z_{=}$)	p_{uncorr}			
		0.001	0.060	15	0.025	0.006	0.220	6.12	5.27	0.000	-20	26	46
		0.009	0.282	5	0.170	0.007	0.249	6.07	5.24	0.000	34	36	36
		0.019	0.469	2	0.383	0.009	0.274	6.02	5.21	0.000	30	-36	74
		0.011	0.318	4	0.218	0.009	0.276	5.99	5.19	0.000	-64	-20	-18
		0.011	0.318	4	0.218	0.009	0.276	5.99	5.19	0.000	62	-48	30
		0.011	0.318	4	0.218	0.014	0.397	5.86	5.10	0.000	-42	-72	6
		0.009	0.282	5	0.170	0.016	0.443	5.82	5.07	0.000	28	54	34
		0.002	0.071	13	0.035	0.017	0.452	5.80	5.06	0.000	-4	-62	24
		0.014	0.372	3	0.284	0.017	0.452	5.80	5.06	0.000	58	-24	-2
		0.003	0.115	10	0.060	0.020	0.506	5.75	5.03	0.000	8	26	60
		0.014	0.372	3	0.284	0.021	0.532	5.72	5.00	0.000	-6	-96	0
		0.007	0.245	6	0.136	0.028	0.687	5.63	4.94	0.000	42	-56	34
		0.028	0.546	1	0.546	0.030	0.717	5.61	4.93	0.000	-62	-54	6
		0.028	0.546	1	0.546	0.032	0.728	5.59	4.92	0.000	-40	40	32
		0.028	0.546	1	0.546	0.032	0.728	5.59	4.91	0.000	4	-46	8
		0.028	0.546	1	0.546	0.033	0.739	5.58	4.90	0.000	24	44	38
		0.028	0.546	1	0.546	0.037	0.809	5.54	4.88	0.000	20	22	64
		0.014	0.372	3	0.284	0.039	0.822	5.52	4.87	0.000	20	12	50
		0.028	0.546	1	0.546	0.042	0.861	5.50	4.85	0.000	18	30	-10
		0.019	0.469	2	0.383	0.046	0.935	5.47	4.83	0.000	28	-90	28
		0.028	0.546	1	0.546	0.049	0.975	5.45	4.81	0.000	40	-40	8

table shows 3 local maxima more than 8.0mm apart

Height threshold: T = 5.44, p = 0.000 (0.050)
Extent threshold: k = 0 voxels
Expected voxels per cluster, <k> = 2.825
Expected number of clusters, <c> = 0.05
FWEp: 5.438, FDRp: 6.682, FWEc: 1, FDRc: 17

Degrees of freedom = [1.0, 51.0]
FWHM = 10.0 10.0 10.4 mm mm mm; 5.0 5.0 5.2 {voxels}
Volume: 1454672 = 181834 voxels = 1285.8 resels
Voxel size: 2.0 2.0 2.0 mm mm mm; (resel = 130.54 voxels)
Page 2/2