



universität
wien

Diplomarbeit

Körperliche Aktivität und Kognition: eine explorative EEG - Untersuchung

Verfasserin

Ulrike Müller

Angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, im Mai 2009

Studienkennzahl: 298

Studienrichtung: Psychologie

Betreuer: Univ.-Doz.Dr.Mag.rer.nat. Peter Walla PD

DANKSAGUNG

Einige Menschen haben ihren Teil zur Fertigstellung dieser Diplomarbeit beigetragen.

An erster Stelle möchte ich meinen Eltern, die mir während meiner Studienzeit immer zur Seite standen, tiefen Dank aussprechen. Ihr wart für mich da, wann immer ich euch brauchte.

Danke auch an meinen Bruder, der mir die Schönheit und Ruhe der Berge nahe brachte, wo ich die Kraft für diese Arbeit tanken konnte.

All meinen Versuchspersonen, welche im Hochsommer auf dem Ergometer schwitzten, möchte ich meinen Dank aussprechen. Ohne euren bereitwilligen Einsatz hätte diese Arbeit nicht zustande kommen können. Ich weiß, jeder einzelne hat das allein für mich getan und das bedeutet mir sehr viel!

Mein tiefster Dank gebührt nicht zuletzt auch meinem Betreuer Dr. Peter Walla, welcher mir, wann immer ich es brauchte mit Rat zur Seite stand und mir dennoch immer Freiheit für meine Gedanken ließ.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	2
Einleitung.....	6
I Theorie	9
1 Zur Arbeitsweise des Gehirns	10
1.1 Zur Rolle des Parietalkortex bei der Integration von Sensorik und Motorik.....	11
1.2 Zur Rolle des Frontalkortex bei der Integration von Sensorik und Motorik.....	13
2 Implizite und explizite Gedächtnisprozesse.....	14
2.1 Neuronale Substrate der Gedächtnissysteme	16
2.2 Implizite Gedächtnisspur im EEG	17
3 Bewegung und Sport.....	19
3.1 Begriffsbestimmung.....	19
3.1.1 Körperliche Aktivität	19
3.1.2 Exercise	20
3.1.3 Motorik	21
3.2 Motorische Kortexareale.....	21
3.2.1 Primär-motorischer Kortex (M1)	22
3.2.2 Supplementär-motorischer Kortex (MII, SMA)	23
3.2.3 Prämotorischer Kortex	23
3.2.4 Parietalkortex	23
3.2.5 Präfrontaler Kortex	24
3.2.6 Cerebellum	24
3.3 Zerebrale Aktivität beim Radfahren	25
3.4 Herzfrequenz.....	26
3.5 Körperliche Aktivität und ihre Effekte auf kognitive Prozesse ...	27
4 Herleitung der Forschungsfrage	33
II Methode	35
5 Durchführung des Experiments	36
5.1 Versuchsmaterial.....	36
5.1.1 WWET.....	36
5.1.2 Fahrradergometer	36
5.1.3 Pulsmessgerät.....	36
5.2 Experimentelles Design	37
5.3 Technische Details	39
5.4 Stimuluspräsentation.....	41

5.5 Stichprobe	41
6 Auswertung	42
6.1 EEG-Daten	43
6.1.1 Artefaktkontrolle.....	43
6.1.2 Averaging.....	43
6.1.3 Grand Mean	44
6.2 Maßzahlgewinnung	44
6.3 SPSS	44
6.4 sLORETA	46
7 Ergebnisse	47
7.1 Stichprobe	47
7.2 Grand Means	47
7.3 Gedächtnisleistung	50
7.4 EEG-Daten: Kondition-Haupteffekt	52
7.4.1 Linke Hemisphäre	52
7.4.2 Rechte Hemisphäre	53
7.5 EEG-Daten: Location X Kondition-Wechselwirkung	55
7.6 EEG-Daten: Location X Puls-Wechselwirkung	56
7.6.1 Linke Hemisphäre	56
7.6.2 Rechte Hemisphäre	58
7.7 EEG-Daten: Puls-Haupteffekt	60
7.8 Puls in sLORETA	61
7.8.1 Puls 140 vs. Ruhe	61
7.8.2 Puls 120 vs. Ruhe	62
7.9 Kondition in sLORETA	63
8 Diskussion	65
8.1 Gedächtnisleistung	65
8.2 Implizite Gedächtnisspur	66
8.2.1 Anteriorer cingulärer Kortex.....	67
8.2.2 Brodmann Areal 8	68
8.2.3 Brodmann Areale 6 und 10.....	68
8.3 Neuronale Korrelate sportlicher Betätigung	69
Zusammenfassung	74
Literaturverzeichnis	75
Abbildungsverzeichnis	82
Tabellenverzeichnis	83
Erklärung	83
Anhang	84

*„Der Läufer sucht die Weite,
um die Begegnung mit sich selbst zu haben.“*

Waldemar Cierpinski,
ehemaliger Marathonläufer

EINLEITUNG

Menschliches Denken und Problemlösen sind seit langem ein wichtiger Untersuchungsgegenstand für die psychologische Forschung, vor allem im Bereich der kognitiven Neurowissenschaften. In den meisten Fällen wird dabei von einem bewussten Prozess ausgegangen, erst in den letzten Jahren nimmt die Literatur über implizite, nicht-deklarative Informationsverarbeitung zu. Was schlummert unbewusst in unseren Köpfen und unter welchen Umständen können sich diese Informationen im Bewusstsein manifestieren?

Oftmals wird in diesem Zusammenhang auch Kreativität erwähnt. Kreativität kann nach Sternberg und Lubart (1996) als die menschliche Fähigkeit verstanden werden, Erfahrungen und Erlebnisse zu versprachlichen bzw. in Symbole zu fassen und so die Welt immer wieder neu wahrzunehmen und sich mit ihr in Bezug zu setzen. Die Fähigkeit zur Kreativität hängt nur zum Teil mit Intelligenz zusammen und kann deshalb nur bedingt mit herkömmlichen psychologischen Testverfahren festgestellt werden. Es geht vielmehr um schöpferisches Denken, die Produktion origineller Einfälle, die zum Erkennen und zur Lösung von Problemen führen. Weiters umfasst Kreativität die Fähigkeit zur Hervorbringung origineller, brauchbarer Problemlösungen, als Funktion von divergentem (umstrukturierendem, schöpferischem, eher intuitivem) Denken. Bestandteile der Kreativität sind Assoziationsfluss, Produktivität (Einfallsreichtum), Flexibilität und Problemsensitivität (Guilford, 1950). Zu kreativen Leistungen kommt es über verschiedene Phasen, in denen auch unbewusste Prozesse ablaufen. Kreative Lösungen entstehen nicht ohne Hintergrund, sondern basieren auf Erfahrungen, gelernten Informationen und der Fähigkeit, Probleme zu erkennen.

Dass uns gerade in Situationen, in welchen wir es am wenigsten erwarten, kreative (zumindest neuartige) Entscheidungs- oder Problemlösungsprozesse in den Sinn kommen, hat wohl jeder Mensch bereits erfahren dürfen. Auch Entscheidungen – besonders sehr komplexe – werden oft auf Basis eines intuitiven Gefühls getroffen. Intuitiv bedeutet, zu einer Überzeugung oder einem Glauben ohne logische bewusste Rechtfertigung zu gelangen.

In Situationen, in denen eine körperliche Tätigkeit verrichtet wird, wie z.B. beim Sport oder bei besonders repetitiven Tätigkeiten, fangen die Gedankenströme plötzlich an, wie von selbst zu „fließen“. Manche Sportler berichten auch von verstärktem Wohlbefinden, ja sogar Euphorie. Vielfach wird damit auch das Wort „Flow“ (Dietrich, 2004) in Zusammenhang gebracht.

Viele Sportler – vor allem bei körperlichen Aktivitäten im Ausdauerbereich, wie etwa Laufen, Schwimmen, Radfahren, Bergsteigen usw. – berichten, dass bei längerer Anstrengung (Fokussierung auf eine Tätigkeit) der Kopf frei wird, Alltagsbelastungen und -gedanken sowie Probleme fallen ab. Plötzlich kann der Punkt erreicht sein, an dem alles eindeutig und klar erscheint und Dinge ins Bewusstsein geraten, die vorher nur unbewusst vor sich hin geschlummert haben. Gerade aus diesem völligen Aufgehen in der Situation kann es zu völlig neuen Gedankengängen kommen. Es scheint demnach, als wäre es mitunter nötig, den Geist zu befreien, um dadurch etwaige Blockaden auf dem Lösungsweg aufzubrechen.

Auch persönliche Erfahrungen ließen in mir die Frage erwachen, was genau diese – vorsichtig formuliert – Begünstigung von Informationsverarbeitungsprozessen unter körperlicher Betätigung fördert? Handelt es sich dabei nur um ein subjektives Gefühl, welches durch verstärktes Wohlbefinden und gestärkte Selbstwirksamkeit erklärt werden könnte oder lassen sich tatsächlich Anhaltspunkte

finden, welche für dieses Empfinden eine psychophysiologische Grundlage bilden können?

Mit diesen Fragen möchte ich mich in dieser – größtenteils explorativen – Arbeit beschäftigen.

I

THEORIE

1 ZUR ARBEITSWEISE DES GEHIRNS

Grundsätzlich und rein physiologisch betrachtet kann das Gehirn als Organ definiert werden, welches in ständigem Austausch mit der Umwelt Informationen verarbeitet, um schließlich Verhalten hervorzubringen (Birbaumer & Schmidt, 1999). Diese Verhaltensproduktion bedarf dreier Schritte, welche in Abbildung 1 ersichtlich sind.

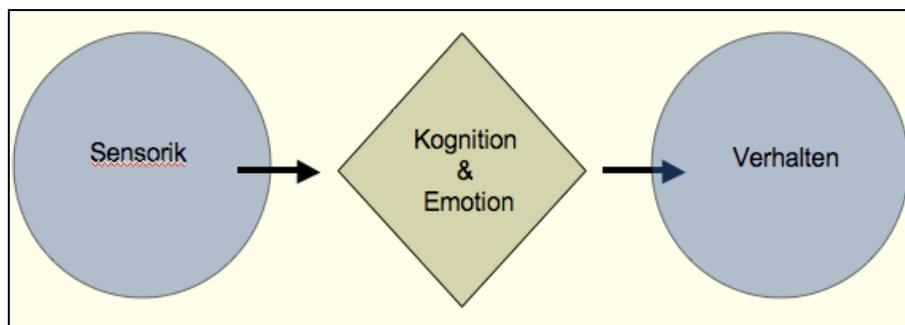


Abbildung 1: Modell der Funktionsweise des Gehirns

Kognitionen und Emotionen sorgen für eine optimale Anpassung von Verhalten an die Umwelt. Im Gehirn werden Informationen über die äußeren (wahrgenommen über die Sinne) und die inneren (wahrgenommen über die Propriozeption) Umstände zusammengetragen und mittels emotionaler und kognitiver Informationsverarbeitung adäquates Verhalten generiert. Das jeweilige Ergebnis dieses Prozesses wird über das motorische System in Form von Muskelkontraktionen exekutiert (Walla, 2008).

Während emotionale Informationsverarbeitung zu einer einfacheren, triebhafteren Art der Verhaltensanpassung führt, ist kognitive Informationsverarbeitung von komplexerer Natur. Sie hängt hauptsächlich von zwei bestimmten Gedächtnissystemen ab. Einerseits dem semantischen System, andererseits dem episodischen System. Hierauf wird in Punkt 2 (S. 15) näher eingegangen.

Evolutionsbiologisch erscheint diese Organisationsstruktur sinnvoll. Wird eine gefährliche Situation (wie z.B. ein angreifendes Mammut)

sensorisch wahrgenommen, kommt es nach Abgleich mit dem bisherigen Gedächtnisinhalt (kognitive Komponente: Mammuts sind gefährlich) und emotionalen Komponenten (Angst davor, niedergetrampelt zu werden) zu Fluchtverhalten (motorische Reaktion). Siehe dazu auch Abbildung 2.

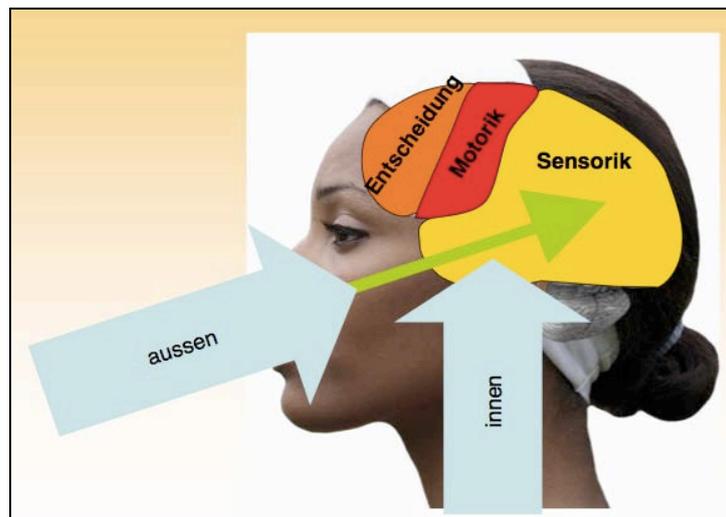


Abbildung 2: Arbeitsweise des Gehirns, entnommen aus Folien zu Walla (2008)

Was nun die vorliegende Forschungsarbeit betrifft, in welcher die Auswirkungen akuter sportlicher Aktivität auf das Gehirn untersucht werden sollen, kann Sport – im Sinne des oben beschriebenen Regelkreises – aufgrund des fehlenden zwingenden sensorischen Inputs als Motorik/Verhalten ohne dringliche Notwendigkeit angesehen werden. Daher stellt sich die Frage, was in diesem Fall mit dem sensorischen System bzw. mit den kognitiven Teilschritten in der Verarbeitung passiert. Stimulieren die motorischen Systeme die sensorischen bzw. die kognitiven mit, wenn sie aktiv sind?

1.1 Zur Rolle des Parietalkortex bei der Integration von Sensorik und Motorik

Nach Birbaumer und Schmidt (1999), kann der parietale Assoziationskortex als die Basis der sensorisch-kognitiven Funktionen angesehen werden. Ihm wird die Aufgabe zuteil, Informationen aus allen Sinnesmodalitäten zu integrieren und die

motorischen Bewegungsabläufe zu initiieren. Hierfür verfügt er über Afferenzen aus den Sinnesmodalitäten Sehen, Hören und Somatosensorik, aus den primären und sekundären Assoziationsarealen sowie aus dem Thalamus und dem Hypothalamus. Efferenzen – vor allem jene aus posterioren Regionen des Parietallappens – projizieren in die frontalen und temporalen Assoziationsareale, in den Thalamus, das Striatum, Mittelhirn und Rückenmark.

Der posteriore Parietalkortex (Assoziationskortex) – dies konnte in Affenstudien (Birbaumer & Schmidt, 1999) gezeigt werden – hat eine große Bedeutung bei der visuellen und taktilen Aufmerksamkeit. Gewisse Zellgruppen in dieser Region waren nur dann aktiv, wenn sich das Tier selektiv auf einen Reiz konzentrierte und andere ignorierte. Kommt es beim Menschen zu einer Läsion in parietalen Bereichen (vor allem rechtsseitig), führt dies zu einem sogenannten kontralateralen Neglekt. Dabei kann es sich um eine visuelle Perzeptions- bzw. Aufmerksamkeitsstörung handeln. Für eine Perzeptionsstörung würde sprechen, dass Patienten unabhängig von der Aufmerksamkeit das linke Gesichtsfeld vernachlässigen. Andererseits können aber auch Läsionen in anderen Gehirnbereichen zu Neglekten (z.B. präfrontale und cinguläre Läsionen, aber auch thalamoretikuläre Läsionen) führen. Dies spricht dafür, dass der Parietallappen an einem ausgedehnten kortiko-subkortikalen Aufmerksamkeitssystem beteiligt ist. Nach Birbaumer & Schmidt (1999) haben die parietalen Assoziationsareale dabei die Aufgabe, „ankommende Erregungsmuster mit gespeicherten und vorhandenen zu vergleichen und daraus die Signifikanz des Musters zu extrahieren“ (S. 705).

Die Ergebnisse dieses Abgleichs werden an temporale und frontale Regionen weitergeleitet, wo die Reaktion eingeleitet wird.

Des Weiteren können Läsionen aufgrund der Bedeutung des Parietalkortex für multisensorische Aufmerksamkeitsprozesse auch

zu Störungen im Kurzzeitgedächtnis führen, was für eine wichtige Rolle des Parietallappens bei Aufmerksamkeitsprozessen spricht.

1.2 Zur Rolle des Frontalkortex bei der Integration von Sensorik und Motorik

Der Frontalkortex umfasst grundsätzlich drei Regionen. Den lateralen und den medialen präfrontalen Kortex sowie den Orbitofrontalkortex, wobei alle Regionen an der Ausführung exekutiver Funktionen wie Planung und Regulierung von Verhalten sowie dem Finden von Lösungen für neuartige Probleme beteiligt sind. Zwischen Orbitofrontalkortex sowie medialem Präfrontalkortex und dem limbischen System (z.B. Amygdala und cingulärer Kortex) bestehen direkte Verbindungen. Die wohl wichtigste Aufgabe des präfrontalen Kortex liegt laut Kandel, Schwartz und Jesell (2000, S. 356) in der Abwägung der Konsequenzen zukünftiger Handlungen und der adäquaten Planung und Organisation derselben. Um dies zu gewährleisten, müssen frontale Regionen sensorische Informationen aus der Umwelt sowie aus dem Körper selbst integrieren. Die wichtigsten Funktionen des präfrontalen Assoziationsareals sind das sogenannte Arbeitsgedächtnis und Planung. Daher ist der Frontalkortex bei Aufgaben, welche eine Verzögerung zwischen einem Stimulus und der Reaktion darauf verlangen, stark involviert. Fuster und Alexander konnten 1971 (zitiert nach Kandel et al., 2000, S. 357) in einem Affen-Experiment feststellen, dass Neuronen des präfrontalen Kortex feuern, wenn ein visueller Stimulus geboten wird. Wird der Stimulus aus dem Gesichtsfeld entfernt, feuern diese Neuronen weiter und halten so vermutlich diesen Stimulus für eine spätere Reaktion im Arbeitsgedächtnis (Greifen oder Blickrichtung auf den Ort lenken, wo das Objekt zuvor dargeboten wurde). Hören diese Neuronen vor der verlangten Reaktion zu feuern auf, dann kann diese nicht durchgeführt werden. Der Affe hat also vergessen, wo der Stimulus geboten wurde. Diese und ähnliche Befunde (Jacobsen & Nissen, 1937, zitiert nach Kandel et al., 2000, S. 356) legen nahe,

dass die frontalen Assoziationsareale zur Ausführung komplexer motorischer Aufgaben notwendig sind, vor allem dann, wenn die notwendigen Hinweisreize zum Zeitpunkt des Abrufes nicht im Umfeld präsent sind und aus dem Arbeitsgedächtnis abgerufen werden müssen.

Bei Läsionen des präfrontalen Kortex kommt es bei intakter Intelligenz, Wahrnehmung und Langzeitgedächtnis zu einer verminderten Fähigkeit, alltägliche Handlungen und Aktivitäten zu planen und organisieren (Birbaumer & Schmidt, 1999).

2 IMPLIZITE UND EXPLIZITE GEDÄCHTNISPROZESSE

Die Unterscheidung zwischen explizitem und implizitem Gedächtnis ist einflussreich für die Kognitionsforschung (Gabrieli, 1998 und Squire, 2004). Das explizite Gedächtnis wird stark mit einem einhergehenden Bewusstsein, sich an etwas zu erinnern assoziiert. Erhoben wird es zumeist mithilfe von Aufgaben, welche sich spezifisch auf eine zuvor gelernte Information beziehen (Voss & Paller, 2008). Im Gegensatz dazu können implizite Gedächtnisprozesse auch ohne Bewusstsein darüber, Entscheidungen und Verhalten beeinflussen. Zumeist werden sie mittels Primingaufgaben erhoben und zeigen sich über eine Leistungssteigerung aufgrund einer vorherigen Exposition, welche entweder bewusst erinnert werden kann oder nicht. (Voss & Paller, 2008 und 2009).

Derzeit werden unterscheidbare neuronale Netzwerke als Grundlagen der beiden Gedächtnisprozesse angenommen (Squire, 2004 und Voss & Paller, 2009). Explizite Prozesse sollen dabei auf einer Verarbeitung im Hippokampus und Cerebralkortex beruhen, während implizite Prozesse auf einer wiederholungsbedingten Steigerung der Verarbeitungsgeschwindigkeit in kortikalen Netzwerken beruht, welche für die Wahrnehmung zuständig sind (Voss & Paller, 2009). Weitere stabile Hinweise für diese Differenzierbarkeit liefern Untersuchungen an amnestischen

Patienten (z.B. Gabrieli, 1998) und elektrophysiologische Studien (z.B. Rugg, Mark, Walla et al., 1998).

Explizite und implizite Prozesse laufen parallel und beeinflussen somit unser Verhalten in einem Zusammenspiel (Squire, 2004). Das bedeutet, dass implizite Prozesse die explizite Wiedergabe aus dem Gedächtnis beeinflussen können und umgekehrt. Insofern ist eine Unterscheidung der Prozesse aufgrund der Aufgabenstellung kritisch zu betrachten, da sie teilweise überlappend ablaufen (Voss & Paller, 2008).

Neben der Definition aufgrund der Bewusstheit über eine Erinnerung schlagen Schott, Henson, Richardson-Klavehn et al. (2004) eine Unterscheidung aufgrund der strategischen Kontrolle beim Abruf vor. Hierbei wird zwischen intentionalem und inzidentellem Abruf unterschieden. Intentional und inzidentell sollten sich aber vielmehr auf die Umstände beim Lernen beziehen. Auch Dietrich (2004) hat in seiner Arbeit eine Zusammenfassung der aktuellen Untersuchungen und Theorien zum impliziten und expliziten Gedächtnis vorgenommen. Demnach läuft inzidentelles Lernen größtenteils ohne bewusste Anstrengung ab. Als Beispiel kann das Erlernen einer Sprache im Kindesalter genannt werden. Im Gegensatz dazu funktioniert intentionales Lernen unter bewusster Anstrengung und willentlich (z.B. das Erlernen einer Fremdsprache im Erwachsenenalter).

Die Komplexität der Aufgabe bestimmt den Grad an Explizität bzw. Implizität. Je mehr Aspekte bei einer Aufgabe mitbedacht werden müssen, je komplexer, je multidimensionaler die Lösung der Aufgabe ist, desto schwerer ist der endgültige Lösungsweg verbalisierbar. Insofern erfolgen die Aufgabe und die Lösung implizit, auch durch motorisches Probieren, durch Versuchs-Irrtumslernen. Der Grund dafür ist am ehesten die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses. Waldron und Ashby konnten dies 2001 mittels eines Kategorisierungsexperiments zeigen. Implizite Prozesse

hingegen scheinen in ihrer Kapazität unlimitiert zu sein. Somit beziehen sich explizit und implizit also vielmehr auf die Umstände beim Abruf.

2.1 Neuronale Substrate der Gedächtnissysteme

Kandel et al. (2000) stellen fest, dass als wahrscheinliche Orte des expliziten Gedächtnisses bzw. seiner beteiligten Mechanismen hauptsächlich der mediale Temporalkortex (z.B. Hippocampus) und der präfrontale Kortex angenommen werden können. Für das implizite Gedächtnis hingegen lassen sich keine klar umschriebenen Gehirnstrukturen definieren. Laut Vidoni und Boyd (2007) kann man vielmehr drei grob definierte Regionen abgrenzen, welche als kritisch für inzidentelles Lernen angesehen werden können. Diese sind das Cerebellum, die Basalganglien und die sensomotorischen Kortexareale. Das Cerebellum – das Kleinhirn – ist dabei für die Koordination zwischen sensorischer Information und Bewegung zuständig. Dies kommt vor allem beim motorischen Lernen zu Tragen und somit ist das Cerebellum wichtig für die Optimierung von Bewegung. Die starken Verbindungen der Basalganglien mit den verschiedenen Gehirnregionen sorgen für die Integration vieler kognitiver Funktionen und modifizieren so mögliche Handlungspläne beim motorischen Lernen. Neben dem primären motorischen Kortex und dem prämotorischen Kortex stellt der supplementär-motorische Kortex eine interessante beteiligte Struktur dar. Mushiake, Inase und Tanji (1991, zitiert nach Vidoni & Boyd, 2007, S. 148) folgerten, dass der supplementär-motorische Kortex seine Aktivität erhöht, wenn in einer Aufgabenstellung wenig bis keine explizite Information zur Verfügung steht. Mushiake et al. schlossen auf eine Beteiligung des supplementär-motorischen Kortex an der Selektion einer Handlungsalternative, wenn die Wahl aufgrund impliziter Informationen getroffen werden muss. Toni, Krams, Turner und Passingham (1998, zitiert nach Vidoni & Boyd, 2007, S. 148) konnten

zeigen, dass sich die Aktivität des supplementär-motorischen Kortex erhöht, je weiter ein inzidenteller Lernvorgang fortschreitet.

2.2 Implizite Gedächtnisspur im EEG

Rugg et al. konnten 1998 im EEG mithilfe einer Wortwiedererkennungsaufgabe eine implizite Gedächtnisspur nachweisen. Sie verglichen die evozierten Potentiale (ERP) von neuen Worten mit jenen alter Worte (aus einer vorhergehenden Studierphase bereits bekannt), die fälschlicherweise als neu bezeichnet wurden. In diesem Fall würden die Unterschiede eine unterbewusste Erinnerung reflektieren. „Unterbewusst“ meint in diesem Fall, dass ein Gedächtnisinhalt potentiell bewusst werden kann, im Gegensatz zu unbewussten Inhalten. Rugg et al. (1998) stellten fest, dass die evozierten Potentiale der nicht wieder erkannten Wörter mehr den korrekt erkannten als den komplett neuen ähnelten. Am stärksten war dieser Effekt zwischen 300 und 500 ms nach Stimulus-Präsentation.

Außerdem waren die ERPs von frontalen Elektroden positiver für erkannte Worte als für neue oder fälschlicherweise als neu bezeichnete Worte. In parietalen Bereichen zeigte sich ein anderes Muster. Unabhängig von der Richtigkeit der Beurteilung produzierten alte Worte positivere Wellenformen als neue Worte. Dieser Effekt war auch unabhängig von der Tiefe der Verarbeitung. Rugg et al. (1998) folgerten, dass dies ein neuronales Korrelat von implizitem Gedächtnis darstelle. Sie konnten also zeigen, dass die neuronale Aktivität, die durch bereits bekannte (aber nicht bewusst erkannte) Worte hervorgerufen wird, unterschiedlich von der Aktivität ist, welche durch gänzlich neue Worte hervorgerufen wird.

Boehm, Sommer und Lueschow (2005) versuchten diese Ergebnisse anhand eines etwas veränderten Versuchsdesigns zu replizieren. Sie verwendeten einen modifizierten Sternberg-Task, bei dem sogenannte targets (Zielreize) und non-targets wiederholt präsentiert

wurden. Die targets stellten eine Möglichkeit für einen direkten Gedächtnistest dar, während die Präsentation der non-targets für die Aufgabe irrelevant war und somit einen indirekten Gedächtnistest ermöglichte. Sie fanden ebenfalls ein kleines positiv gerichtetes centro-parietales Korrelat impliziten Gedächtnisses. Aufgrund ihres Versuchsdesigns, welches eine Feststellung impliziten Gedächtnisses ohne Konfundierung mit fehlerhaften Antworten gewährleistete, konnten sie in ihrem Experiment auch eine etwaige Verunreinigung durch fehlerbedingte Gehirnaktivität ausschließen.

3 BEWEGUNG UND SPORT

3.1 Begriffsbestimmung

3.1.1 Körperliche Aktivität

Das U.S. Department of Health and Human Services definiert körperliche Aktivität in seinem 1996 erschienenen Bericht folgendermaßen:

Physical activity is defined as bodily movement produced by the contraction of skeletal muscle that increases energy expenditure above the basal level. Physical activity can be categorized in various ways, including type, intensity, and purpose. Because muscle contraction has both mechanical and metabolic properties, it can be classified by either property. This situation has caused some confusion. Typically, mechanical classification stresses whether the muscle contraction produces movement of the limb: isometric (same length) or static exercise if there is no movement of the limb, or isotonic (same tension) or dynamic exercise if there is movement of the limb. Metabolic classification involves the availability of oxygen for the contraction process and includes aerobic (oxygen available) or anaerobic (oxygen unavailable) processes. Whether an activity is aerobic or anaerobic depends primarily on its intensity. Most activities involve both static and dynamic contractions and aerobic and anaerobic metabolism. Thus, activities tend to be classified according to their dominant features. The physical activity of a person or group is frequently categorized by the context in which it occurs. Common categories include occupational, household, leisure time, or transportation. Leisure-time activity can be further subdivided into categories such as competitive sports, recreational activities (e.g., hiking, cycling), and exercise training. (S. 20)

Caspersen, Powell und Christensen (1985) definieren körperliche Aktivität als jede – durch die Skelettmuskeln verursachte – Bewegung des Körpers, die Energieverbrauch nach sich zieht. Weiters führen sie aus: „Everyone performs physical activity in order to sustain life; however, the amount is largely subject to personal choice and may vary considerably from person to person as well as for a given person over time” (Caspersen et al., 1985, S. 127).

3.1.2 Exercise

Im Deutschen existiert kein adäquater Begriff für das englische Wort *exercise*. Im Bericht des U.S. Department of Health and Human Services (1996) findet sich folgende Definition: "Exercise and physical activity have been used synonymously in the past, but more recently, exercise has been used to denote a subcategory of physical activity" (S. 20).

Caspersen et al. (1985) definieren (siehe dazu auch Abbildung 3):

Exercise, however, is not synonymous with physical activity: it is a subcategory of physical activity. Exercise is physical activity that is planned, structured, repetitive, and purposive in the sense that improvement or maintenance of one or more components of physical fitness is an objective. (S. 128)

ELEMENTS OF PHYSICAL ACTIVITY AND EXERCISE

PHYSICAL ACTIVITY

1. Bodily movement via skeletal muscle
2. Results in energy expenditure
3. Energy expenditure (kilocalories) varies continuously from low to high
4. Positively correlated with physical fitness

EXERCISE

1. Bodily movement via skeletal muscle
2. Results in energy expenditure
3. Energy expenditure (kilocalories) varies continuously from low to high
4. Very positively correlated with physical fitness
5. Planned, structured and repetitive bodily movement
6. An objective is to improve or maintain physical fitness component(s)

Abbildung 3: Elemente körperlicher Aktivität und Bewegung (nach Caspersen et al., 1985)

3.1.3 Motorik

Laut Birbaumer & Schmidt (1999) kann Motorik in Stütz- und Zielmotorik gegliedert werden. Die Stützmotorik dient der Aufrechterhaltung der Haltung und Stellung des Körpers im Raum, die Zielmotorik den nach außen gerichteten Bewegungen. Eine funktionierende Stützmotorik bildet somit die kritische Voraussetzung für zielgerichtete Lokomotion des Menschen.

Motorik ist die zusammenfassende Bezeichnung für die Bewegungsabläufe bei Tier und Mensch, welche von den motorischen Zentren der Hirnrinde gesteuert werden.

3.2 Motorische Kortexareale

Paul Cheney gibt in einem 1985 erschienenen Reviewartikel einen relativ umfassenden Überblick über die Rolle des cerebralen Cortex bei der Ausführung von freiwilligen Bewegungen.

Within the cerebral cortex, the general pattern of information flow from sensory input to motor output seems to be from the sensory systems to the parietal and temporal association areas to the prefrontal cortex to the supplementary motor area (SMA) and premotor area and finally to the motor cortex. In this organization, the temporal and parietal cortex are sites of converging input from the major sensory systems. Although this is the predominant organization that emerges from studying the interconnections of major cortical areas, other more direct routes to the motor cortex exist. For example, parietal area 5 projects directly to the motor cortex. In addition, frontal or parietal association areas can influence the motor cortex through either of two major reentrant loops—one involving the cerebellum and the other the basal ganglia. (Cheney, 1985, S. 626)

Nach Birbaumer & Schmidt (1999) dient MI (siehe Punkt 3.2.1) primär der Feinkontrolle von Bewegungen, vor allem an den distalen Muskeln, während MII (siehe Punkt 3.2.2) und prämotorischer Kortex

an der zentralen Generierung von Abfolgemustern komplex zusammengesetzter Bewegungsprogramme arbeiten.

3.2.1 Primär-motorischer Kortex (MI)

Ein anderer Name für dieses Areal ist Gyrus präcentralis (Brodmann-Areal 4). Seine interessanteste und hervorstechendste Eigenschaft ist seine somatotope Organisation, das heißt jedem Körperteil kann eindeutig ein Ort im primär-motorischen Kortex zugeordnet werden (siehe Abbildung 4).

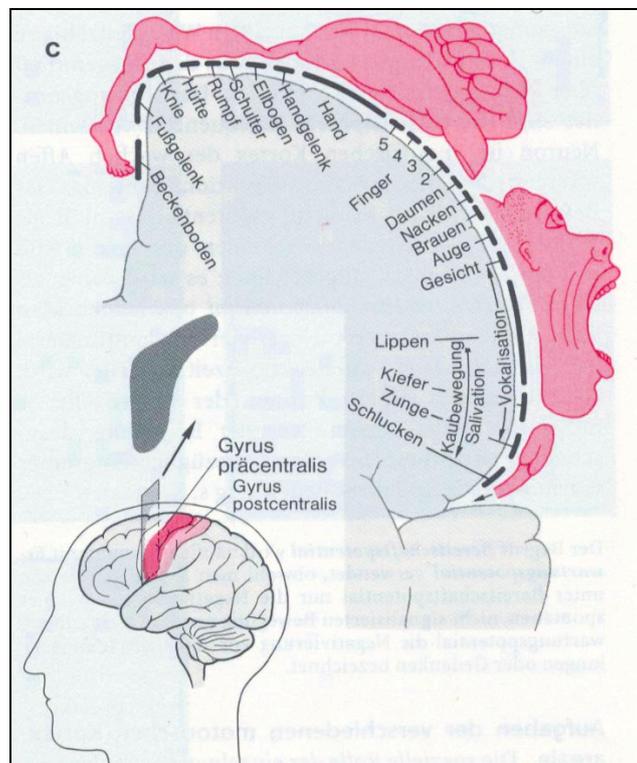


Abbildung 4: Somatotope Organisation des Gyrus präcentralis, entnommen aus Birbaumer & Schmidt, 1999, S. 472

Körperteile mit besonderen motorischen Fähigkeiten nehmen flächenmäßig größere Anteile ein. Dies sind z.B. Finger, Lippen oder Zunge. Der Gyrus präcentralis stellt die letzte supraspinale Station für die Umsetzung von Bewegungsentwürfen in Bewegungsprogramme dar, welche die Zielmuskeln dazu anhalten, zu kontrahieren oder zu entspannen und auch die Kraft und das Timing der Kontraktion weiterleiten. Des Weiteren stellt er die erste Station in jener Kette dar, welche für die Bewegungsausführung verantwortlich ist. Er informiert

außerdem andere Gehirnregionen, wie das Kleinhirn oder die Basalganglien, über die geplante Bewegung.

3.2.2 Supplementär-motorischer Kortex (MII, SMA)

Das Areal MII befindet sich in der Tiefe der Fissura interhemisphaerica etwas rostral des primär-motorischen Kortex. Laut Cheney (1985) ist der supplementär-motorische Kortex an folgenden zwei Funktionen beteiligt:

- 1) control of input-output coupling in motor cortex and 2) assembly of motor programs, specifically, the elaboration of motor subroutines for rapid sequences of movements, such as those involved in playing the piano, writing, and speaking. (S. 629)

Anhand von Studien, die den rCBF (regional cerebral blood flow) als indirektes Maß für die aktuelle Aktivität in einem Gehirnareal heranziehen, konnte gezeigt werden, dass das SMA vor allem bei Aufgaben aktiv wird, in welchen eine spezifische, geplante Sequenz abgerufen werden muss, wie z.B. komplizierte Bewegungsabläufe mit einem Finger (Roland, Skinhøj, Lassen & Larsen, 1980a und Roland, Larsen & Lassen, 1980b, beide zitiert nach Cheney, 1985, S. 630). Auch bei komplexen Armbewegungen zeigte sich Aktivität im SMA.

3.2.3 Prämotorischer Kortex

Die Rolle des prämotorischen Kortex ist schwierig zu determinieren. Roland et al. (1980a und 1980b, beide zitiert nach Cheney, 1985, S. 632) konnten jedoch eine Erhöhung der Aktivität während einer Labyrinth-Aufgabe feststellen, was dafür spricht, dass der prämotorische Kortex bei der Generierung neuer Bewegungsprogramme beteiligt ist, wie es bei der erwähnten Aufgabe der Fall war.

3.2.4 Parietalkortex

Vor allem zwei bestimmte Areale im Parietalkortex erscheinen an motorischen Abläufen beteiligt, nämlich Areal 5 und 7.

Area 5 is believed to be preferentially involved in guidance of exploratory limb movements by tactile stimuli, whereas area 7 is more involved in visual feedback guidance of eye and limb movements. (Cheney, 1985, S. 632)

Spezielle Neurone in der Area 5 (11% der dortigen Neurone) scheinen dabei nur bei Manipulation von Objekten mit motivationalem Charakter aktiviert zu sein (Lynch, Mountcastle, Talbot & Yin, 1977 und Motter & Mountcastle, 1961, beide zitiert nach Cheney, 1985, S. 632). Ähnliches gilt für die Neurone der Area 7.

3.2.5 Präfrontaler Kortex

The prefrontal cortex influences movement only indirectly [...] through projections to basal ganglia, cerebellum, and secondary cortical motor areas. It receives afferents from limbic structures (cingulate gyrus and amygdala), hypothalamus, thalamus, and brain stem. These inputs presumably convey to the prefrontal cortex information about the animal's motivation and internal state. In addition, the prefrontal cortex receives visual, auditory and somesthetic information indirectly through temporal and parietal association areas. Destruction of the entire prefrontal cortex bilaterally produces a loss of motivation, a generalized dulling of emotional behavior, and aimless hyperactivity. More restricted lesions limited to the dorsolateral prefrontal cortex, however, produce clear cognitive deficits in behavioral tests. These deficits consist primarily of disorders in attention to and short-term memory for task-related cues. (Cheney, 1985, S. 633)

3.2.6 Cerebellum

Nach Birbaumer & Schmidt (1999) dient das Kleinhirn in erster Linie dazu, die anderen motorischen Zentren bei ihrer Tätigkeit zu unterstützen und diese miteinander zu koordinieren. Im Besonderen betrifft dies die Steuerung und Korrektur der stützmotorischen Aspekte von Haltung und Bewegung (z.B. Tonus oder

Gleichgewicht), die Kurskorrektur langsamer zielmotorischer Bewegungen und deren Koordination mit der Zielmotorik sowie die reibungslose Durchführung der vom Großhirn entworfenen schnellen Zielmotorik. Für jede dieser Aufgaben sind unterschiedliche Teile des Cerebellums zuständig. Ein interessanter Aspekt ist, dass die beiden Kleinhirnhemisphären für die Durchführung der schnellen Zielmotorik zuständig sind. Viele zielmotorische Bewegungen sind derart schnell, dass eine Kontrolle über die somatosensorische Rückmeldung aus Zeitgründen nicht möglich wäre oder erst gar nicht notwendig ist, da sie ausreichend gelernt sind. Beispiele hierfür sind Sprechen, sakkadische Augenbewegungen oder das Spielen eines Musikinstrumentes. Diese Bewegungsabläufe können nur über intensives Training gelernt werden. Für ihre korrekte Ausführung sind beide Kleinhirnhemisphären, welche beim Menschen besonders ausgeprägt sind, von großer Bedeutung.

3.3 Zerebrale Aktivität beim Radfahren

Christensen, Johannsen, Sinkjaer et al. (2000) haben mittels einer PET-Studie untersucht, welche Hirnregionen beim Radfahren aktiviert werden. Als Indikator für Aktivierung zogen sie den regionalen Blutfluss (rCBF) heran. Sie ließen die Versuchspersonen, während sie im PET-Scanner lagen, in die Pedale eines Fahrrades treten, welches auf dem Scannerbett montiert war. Insgesamt untersuchten sie acht verschiedene Konditionen. Aktives Radfahren unter verschiedenen Frequenzen und Widerständen, Ruhe, imaginiertes Radfahren und auch passives Radfahren (Versuchsleiter bewegte die Pedale). Christensen et al. (2000) fanden, dass aktives Radfahren im Vergleich zur Ruhebedingung Regionen in beiden Hemisphären aktiviert, welche sich vom primären somatosensorischen Kortex bis zum prämotorischen Kortex erstrecken. Passives Radfahren aktivierte nahezu die gleichen Regionen. Beim Vergleich von passivem und aktivem Radfahren zeigte sich eine signifikant höhere Aktivität von M1 (primär motorischer Kortex) unter aktiver Bewegung.

Sabina, Fujimoto, Ishii et al. bestätigten 2004 in ihrer PET-Studie diese Befunde und fanden ebenfalls Aktivierungen motorischer, prämotorischer und sensorischer Areale bei Bewegung. Bei leichter sportlicher Aktivität zeigte sich die höchste Aktivität im superioren temporoparietalen Assoziationskortex, während bei mittlerer Belastung die höchste Aktivität im Cerebellum zu finden war. Intensive sportliche Belastung hingegen führte zu starken Aktivierungen im primären motorischen Kortex, im sensorischen Motorkortex sowie im Cerebellum. Am stärksten jedoch war die Aktivität im Frontallappen. Der supplementär-motorische Kortex war bei allen Intensitäten aktiviert. Der inferiore Frontalkortex war nur bei leichter sportlicher Betätigung aktiviert, während der mediale Frontalkortex erst bei stärkerer Belastung erhöhte Aktivität zeigte. Somit kann gesagt werden, dass die Hirnregionen, welche aktiv werden, von der Intensität der Anstrengung abhängen. Die stärkere präfrontale Aktivität bei leichter Belastung ließ Sabina et al. folgern, dass in diesen Fällen kognitive Aspekte noch teilhaben können, während bei stärkerer Anstrengung nur mehr die Konzentration auf die Aufgabe an sich vorherrscht.

3.4 Herzfrequenz

Birbaumer & Schmidt (1999) schreiben hierzu:

Bei dynamischer physischer Arbeit, z.B. auf einem Laufbandergometer oder einem Fahrradergometer, nimmt die Herzfrequenz in Abhängigkeit von der geforderten Leistung stetig zu, so daß diese unter diesen Bedingungen in der Regel ein *zuverlässiges Maß für die Beanspruchung* des Herz-Kreislauf-Systems ist. Während leichter, konstanter Leistung steigt die Herzfrequenz in kurzer Zeit auf ein Plateau an, das für die Gesamtdauer der körperlichen Arbeit beibehalten wird („Steady state“, *nicht ermüdende Arbeit*). Je größer die Beanspruchung, desto höher das Plateau. Wird kein Plateau erreicht, so ist dies ein Zeichen dafür, dass die geforderte Leistung den Organismus überfordert („*Ermüdungsanstieg*“).

Nach der körperlichen Arbeit kehrt die Herzfrequenz um so langsamer zum Ruhewert zurück, je anstrengender die Arbeit war. Die Anzahl der Pulsschläge, die in dieser *Erholungszeit* über dem Ruhewert liegen, ist ein Maß für die vorangegangene Beanspruchung. Sie wird als **Erholungspulssumme** bezeichnet [...]. Die Steigerung des Stoffwechsels während dynamischer körperlicher Arbeit erfordert eine erhöhte Sauerstoffaufnahme. Diese kann nur über ein erhöhtes Herzminutenvolumen erbracht werden, für das wiederum eine Steigerung der Herzfrequenz unabdingbar ist. (S. 284)

Grundsätzlich kann festgehalten werden, je schneller die Herzschlagfrequenz, umso höher die körperliche Belastung. Dadurch ist es möglich, die Intensität körperlicher Aktivität zu bestimmen (Dubbert, 2002).

3.5 Körperliche Aktivität und ihre Effekte auf kognitive Prozesse

1908 brachten Yerkes und Dodson erstmals die menschliche Leistungsfähigkeit in Zusammenhang mit der physiologischen Aktivierung. Ihr Yerkes-Dodson-Gesetz beschreibt einen umgekehrt u-förmigen Zusammenhang zwischen Aktivierungsgrad und

Leistungsfähigkeit. Bei geringer Aktivierung schöpft der Mensch seine Fähigkeiten nicht zur Gänze aus, es entsteht ein Leistungsdefizit. Bei einem mittleren Maß an Aktivierung erreicht die Leistungsfähigkeit ihren Spitzenwert, um bei einem zu hohen Erregungsniveau wieder abzusinken.

Es scheinen zum derzeitigen Zeitpunkt kaum Studien durchgeführt worden zu sein, in welcher ereigniskorrelierte Potentiale durch Ableitung während körperlicher Aktivität ermittelt wurden. Das übliche Vorgehen scheint oftmals die Ableitung nach sportlicher Betätigung zu sein. Zum Teil wurden die Variablen in den Studien, sowohl unabhängige als auch abhängige, sehr unterschiedlich operationalisiert. Nicht zuletzt deshalb kam es immer wieder zu sehr divergenten Ergebnissen.

Schon seit langem ist den Menschen bekannt, dass körperliche Ertüchtigung vielfältige, positive Auswirkungen nicht nur auf das körperliche Wohlbefinden sondern auch auf die Psyche hat (für einen ausführlichen historischen Überblick siehe U.S. Department of Health and Human Services, 1996, S 11-18). Bewegung und Sport haben vielerlei positive Effekte auf die körperliche Gesundheit (Dubbart, 2002) sowie auf Stimmung und Affekt und auf das allgemeine Wohlbefinden. Außerdem kommt es zu einer Reduzierung von Stress (und somit des Kortisolspiegels im Körper) sowie zu einer Reduzierung von Angst und Depressionen (Giacca, Shi, Marliss et al. 1994; Landers & Petruzzello, 1994; Nieman, Warren, Dotson et al. 1993, alle zitiert nach Stover, 2003, S. 2). Regelmäßig Sport treibende Menschen berichten oftmals von „changes in mental states during and after physical activity. Many exercisers report enhanced feelings of well being and euphoria, often referred to as a ‚runner’s high’ “ (Kamijo, Nishihira, Hatta et al. 2004, S. 305). Somit könnte auch die oft berichtete gesteigerte Kreativität (Blanchette, Ramocki, O'del & Casey, 2005) erklärt werden, die unter anderem durch die

Generierung neuer Ideen oder Zusammenhänge definiert wird (Sternberg & Lubart, 1996).

Trotz der langen Tradition dieser Denk- und Ansichtswiese brachten bisherige wissenschaftliche Studien kaum konsistente Hinweise auf bedeutsame Auswirkungen von Bewegung auf Kognitionen (Etnier, Nowell, Landers & Sibley, 2006). Dieser Umstand ist nur teilweise auf die unterschiedlichen Operationalisierungen und methodologische Mängel zurückzuführen.

In einem der ersten Versuche einer Metaanalyse fasste Clarke (1958, zitiert nach Blanchette et al. 2005, S. 260) sieben Studien zusammen und stellte fest, dass alle Ergebnisse den erwarteten, verbesserten kognitiven Fähigkeiten entsprachen. Tomporowski und Ellis (1986, zitiert nach Blanchette et al. 2005, S. 260) untersuchten 27 Studien und fanden, dass Bewegung zumindest kurzfristige positive Auswirkungen auf die Lösung kognitiver Aufgaben hat. Allerdings sind die Ergebnisse teils widersprüchlich.

Etnier, Salazar, Landers et al. (1997, zitiert nach Etnier et al., 2006, S. 120) fassten 200 Studien zusammen und stellten ebenfalls divergierende Ergebnisse fest. Sie kamen zu dem Schluss, dass einzelne Bewegungsaktivitäten weniger einflussreich sind, dass aber bei regelmäßiger Bewegung und Sport über einen längeren Zeitraum eine höhere Chance besteht, auch kognitiv davon zu profitieren. Tomporowski (2003) jedoch wies auf vielerlei Mängel in dieser Metauntersuchung hin, wie z.B. die Heterogenität der abhängigen und unabhängigen Variablen, sowie einen Auswahlbias der in das Review aufgenommenen Studien.

Etnier et al. (2006) befassten sich in ihrer Metaanalyse mit dem Zusammenhang zwischen Fitness (also dem Resultat langfristiger körperlicher Aktivität) und kognitiver Performance. Sie konnten mit ihren Ergebnissen die Schlussfolgerung unterstützen, dass Bewegung zumindest mit einer kleinen kognitiven Effektgröße in positiver Richtung einhergeht.

Dietrich und Sparling (2004) wiederum fanden Hinweise, dass während moderater körperlicher Aktivität die Leistung bei Tests, welche den präfrontalen Kortex stark involvieren, abnimmt. Zur selben Zeit bleiben Aufgaben, welche den präfrontalen Kortex kaum involvieren, unbeschadet. Dies bezeichneten Dietrich et al. (2004) als *transient hypofrontality hypothesis*.

Stover (2003) fand in ihrer Studie an älteren Personen positive Auswirkungen längerfristiger, regelmäßiger körperlicher Aktivität auf – vor allem – frontale Gehirnregionen. Allerdings wurde der Faktor körperliche Aktivität mittels Fragebogen erhoben.

Brisswalter, Collardeau und Arcelin (2002) fanden in ihrer Metaanalyse, dass eine mittlere Bewegungsintensität zu verbesserter kognitiver Leistungsfähigkeit bei Entscheidungsaufgaben führte. Selbst bei länger andauernder, intensiver Belastung konnte kein Einbruch in dieser Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Eine Schwäche dieser Metaanalyse ist allerdings, dass sie Studien enthält, welche elektrophysiologische Daten während körperlicher Aktivität sammelten als auch solche, die nur vor und nach dem Sport Daten sammelten.

Dass ein prinzipieller – üblicherweise positiver – Zusammenhang zwischen körperlicher Betätigung und kognitiven Leistungen besteht konnte also in der bisherigen Forschung zumindest nahegelegt werden. Wie dieser Zusammenhang aber zustande kommt und was dabei im Gehirn vorgeht, liegt größtenteils im Unklaren. Oftmals wird ein höheres physiologisches Arousal als Erklärung genannt, auch erhöhte Selbstwirksamkeit wird als Moderatorvariable angesehen. Des Weiteren können vermehrte Amine und Endorphine im Körper, veränderte Alpha-Aktivität oder die Neurochemie im Gehirn, ähnlich dem Effekt beim Lernen, als ursächlich angesehen werden (Etnier & Landers, 1995).

Der Hauptfokus der psychophysiologisch orientierten Studien zu diesem Thema lag darauf, mögliche Unterschiede in ereigniskorrelierten Potentialen als Funktion des Fitnessgrades aufzudecken. Bashore (1989, zitiert nach Etnier & Landers, 1995, S. 8) führte eine Literaturschau in diesem Bereich durch. In einer der darin beschriebenen Studien folgerten die Autoren, dass Bewegungstraining zu einer höheren Stoffwechselaktivität im Gehirn führt und dies der grundlegende Mechanismus für die kognitiven Verbesserungen sei. Dies zeigte sich dadurch, dass die Latenz der P300 (als Maßstab für Informationsverarbeitung) für ältere und weniger trainierte Versuchspersonen am längsten war – im Gegensatz zu jungen und besser trainierten Personen. Die Autoren deuteten die Ergebnisse so, dass der Grad an Fitness einen größeren Einfluss auf die Geschwindigkeit der neuronalen Aktivität in späteren Phasen des Informationsverarbeitungsprozesses hat als in früheren.

In einer ähnlichen Studie (Bashore, 1989, zitiert nach Etnier & Landers, 1995, S. 9) wurde die P300-Latenz bei jungen und älteren Männern, die jeweils als trainiert oder untrainiert eingestuft wurden, gemessen. Die Ergebnisse zeigten, dass bei jüngeren Personen die Reaktionszeiten prinzipiell schneller und die P300-Latenz kürzer waren als bei älteren. Jedoch hatten die älteren, als trainiert eingestuften Personen wiederum schnellere Reaktionszeiten und kürzere P300-Latenzzeiten als ihre untrainierten Altersgenossen.

Kamijo et al. (2004) beschäftigten sich in ihrer Studie mit den verschiedenen Auswirkungen körperlicher Aktivität auf die Informationsverarbeitung im zentralen Nervensystem. Das Experiment bestand aus einer Kontrollbedingung und drei Aktivitätsbedingungen (hohe, mittlere und niedrige Intensität). Jede der Bedingungen wurde an jeder Person an unterschiedlichen Tagen mit einer Ruhepause von zumindest vier Tagen zwischen den Testungen untersucht, um eine Habituation zu vermeiden. Das

Versuchsmaterial bestand aus einer „go/no-go“-Reaktionsaufgabe. Die Abfolge der Bedingungen wurde für jede Versuchsperson randomisiert, die Testung unter der Aktivitätsbedingung wurde jedoch nach Beendigung der körperlichen Aktivität (induziert durch Fahrradergometer) durchgeführt. Als Maß für die Informationsverarbeitung wurde ebenfalls die P300 herangezogen. Die Latenz der P300 stellt ein Maß für die Stimulusklassifikationsgeschwindigkeit oder -bewertungszeit, unabhängig vom (motorischen) Antwortselektionsprozess, dar (McCarthy und Donchin, 1981 und Pfefferbaum, 1983, zitiert nach Kamijo et al., 2004, S. 309).

Kamijo et al. (2004) fanden keinerlei Einfluss von Training auf Faktoren wie Stimulus-Evaluation-Zeit und Reaktionsgeschwindigkeit. In früheren Studien zeigte sich ein derartiger Effekt jedoch. Zwei Gründe für diese Differenzen könnten unterschiedliches Aufgabenmaterial und unterschiedliche Trainingstypen und -dauer sein.

Die Amplitude der P300 wird als eng verbunden mit der Intensität der Informationsverarbeitung angesehen und ist proportional zu den Aufmerksamkeitsressourcen, die einer Aufgabe zugeteilt werden (Kramer & Strayer, 1988, Schubert, Johannes, Koch et al., 1998, Wickens, Kramer, Vanasse & Donchin, 1983, zitiert nach Kamijo et al., 2004, S. 309). Bei Kamijo et al. (2004) ergab sich bei mittlerer Trainingsintensität eine größere P300-Amplitude als bei hoher Trainingsintensität oder unter der Ruhebedingung. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass nach moderater, körperlicher Beanspruchung mehr Aufmerksamkeit in eine Aufgabe investiert wird. Auch Hillman, Snook und Jerome (2003) fanden eine größere P300-Amplitude nach körperlicher Aktivität im Vergleich zur Baseline.

Auch das Selbstvertrauen, mit dem man an eine Aufgabe herangeht, äußert sich in einer Erhöhung der P300-Amplitude (Ragot, 1984; Ragot & Lesevre, 1986, Squires, Squires & Hillyard, 1975, zitiert nach

Kamijo et al., 2004, S. 309). Es kann demnach angenommen werden, dass nach einem Training bei mittlerer Intensität das Selbstvertrauen steigt.

Nakamura, Nishimoto, Akamatu et al. (1999, zitiert nach Kamijo et al., 2004, S. 310) zeigten in ihrer Studie ebenfalls, dass sich die P300-Amplitude nach gemütlichem Jogging bei selbst gewählter Geschwindigkeit erhöhte, was dafür spricht, dass Jogging zu einer Erleichterung von kognitiven Prozessen führt.

4 HERLEITUNG DER FORSCHUNGSFRAGE

Auf Basis aller angeführten theoretischen Grundlagen soll mittels dieser Untersuchung in einer neuen Herangehensweise (im Gegensatz zur weit verbreiteten Analyse der P300-Komponente) festgestellt werden, wie sich akute körperliche Aktivität auf kognitive Prozesse auswirkt.

Was passiert, wenn körperliche Aktivität ohne dringliche sensorische Notwendigkeit (siehe Punkt 1) durchgeführt wird? Gibt es hier möglicherweise rückwirkende Effekte der Motorik auf kognitive Faktoren?

In dieser Untersuchung sollen etwaige Effekte sportlicher Aktivität auf Vorgänge im Gehirn anhand einer Wortwiedererkennungsaufgabe exploriert werden.

Da ein großer Teil an Informationsverarbeitung ohne Bewusstsein darüber abläuft, lautet die Annahme, dass diese unterbewussten Gedächtnisinhalte unter körperlicher Aktivität eher an die Oberfläche gelangen bzw. wenn sie nicht verbalisierbar werden (durch sog. *hits*, siehe Abbildung 7), sich dann zumindest in den evozierten Potentialen eine „stärkere“ sogenannte implizite Gedächtnisspur zeigt (siehe Rugg et al. 1998). Dies würde bedeuten, dass sich die Amplitudendifferenzen noch deutlicher zeigen würden.

Insofern ergeben sich für diese Untersuchung zwei Haupthypothesen:

Hypothese 1:

H₁: Bei leichtem Ausdauertraining steigt die Gedächtnisleistung im Rahmen einer Wortwiedererkennungsaufgabe bei oberflächlicher Verarbeitung.

Hypothese 2:

H₁: Es ergibt sich eine signifikante Amplitudendifferenz zwischen *correct rejections* (richtig als neu eingestufte Wörter) und *misses* (nicht erkannte, alte Wörter).

Wenn H₁ angenommen werden kann, gibt es Unterschiede zwischen Bewegungsbedingung und Ruhebedingung?

Des Weiteren sollten die Effekte körperlicher Aktivität auf das Gehirn explorativ untersucht werden.

II

METHODE

5 DURCHFÜHRUNG DES EXPERIMENTS

5.1 Versuchsmaterial

5.1.1 WWET

Die Wörter für die Wortwiedererkennungsaufgaben wurden einer Liste von etwa 600 Wörtern samt ihrer Auftrittshäufigkeiten entnommen (WWET-Wortwiedererkennungstest), welche von Walla (1998) zusammengestellt wurde. Hierzu wurden 1256 Hauptwörter einem deutschen Wörterbuch entnommen und 60 Studenten hinsichtlich ihrer alltäglichen Auftrittshäufigkeiten zur Bewertung vorgelegt. Jene Wörter, deren mittlere Bewertung unter 2.2 lag (auf einer Skala von 1 für sehr selten bis 4 für sehr häufig) wurden in die endgültige Liste aufgenommen.

Es handelt sich durchwegs um nicht zusammengesetzte Hauptwörter der deutschen Sprache, die im Alltag eher selten verwendet werden und eine Länge zwischen 3 und 9 Buchstaben aufweisen.

5.1.2 Fahrradergometer

Körperliche Aktivität wurde mittels eines Fahrradergometers induziert, auf welchem die Versuchspersonen in den Abrufphasen bei einer bestimmten Herzfrequenz treten sollten. Die Herzfrequenz diente hierbei als Maß für die Intensität der Bewegung.

5.1.3 Pulsmessgerät

Die aktuelle Herzfrequenz wurde mittels einer Polar-Pulsuhr (Modell FS 1) und einem dazugehörigem Polar T31 Transmitter (siehe Abbildung 5) – welcher unterhalb des Brustansatzes angebracht, die jeweilige Herzfrequenz an die Pulsuhr rückmeldete – von den Versuchspersonen selbst überwacht. Hierzu wurde ein Zeitfenster, ein sogenannter Zonenalarm, in die Pulsuhr programmiert. Unter- oder überschritt der Puls einer Versuchsperson den kritischen Wert, gab das Gerät ein Geräusch von sich, welches den Versuchspersonen signalisierte, dass sie sich mehr oder weniger

anstrengen sollten (unterschiedliches Piepsen für zu hohen und zu niedrigen Puls). Hiermit sollte eine zu große Ablenkung von der eigentlichen Aufgabe vermieden werden, da die Pulserinnerung akustisch vermittelt wurde. Die Schwellenwerte lagen bei Puls 120 zwischen 119 und 130 bzw. bei Puls 140 zwischen 139 und 150.



Abbildung 5: Pulsmessgerät mit Transmitter-Brustgurt

5.2 Experimentelles Design

Grundsätzlich bestand das Experiment aus drei Versuchsblöcken zu jeweils zwei Teilen, welche jede Versuchsperson durchlief (siehe Abbildung 6).

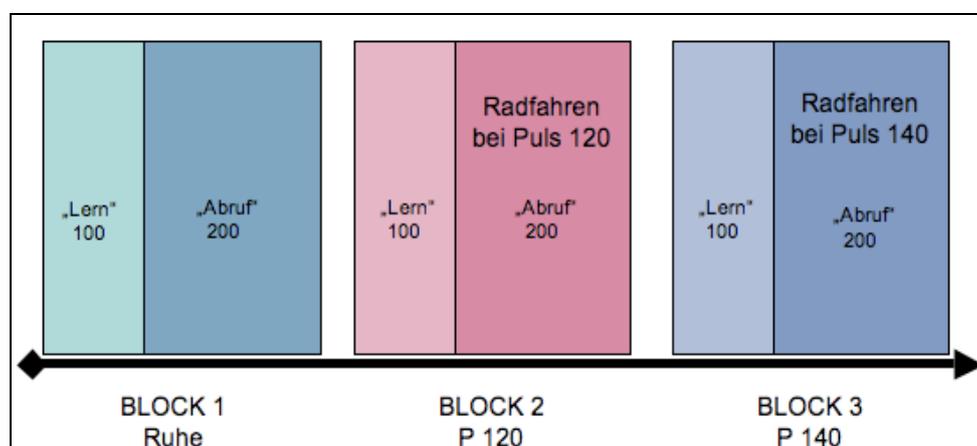


Abbildung 6: hypothetischer Versuchsablauf

Wichtig ist festzuhalten, dass die drei Pulsbedingungen Ruhe, P120 und P140 randomisiert vorgegeben wurden, um etwaige Abfolgeeffekte auszuschließen. In der Lernphase saßen die Versuchspersonen in einem abgedunkelten Raum – ohne sich zu bewegen – am Fahrradergometer und sahen 100 Worte aus der Vorgabeliste, welche für jeweils 300 ms auf einem Bildschirm präsentiert wurden. In dieser Phase sollte durch die kurze Darbietung und eine ablenkende Aufgabenstellung eine oberflächliche Verarbeitung der Wörter induziert werden. Die Frage (siehe auch Anhang: Instruktion) war, ob in dem eben gesehenen Wort der Buchstabe L vorkam. Mittels Tastendruck konnten die Personen mit Ja oder Nein antworten. Ein Tastendruck sollte in jedem Fall erfolgen. Ob in dem Wort wirklich ein L vorkam, war für die Aufgabe an sich völlig irrelevant. L wurde gewählt, da es relativ gleichmäßig über alle Wörter vorkam und so längere Nein-Perioden vermieden wurden. In der Testphase wurden die 100 bereits bekannten Wörter und 100 neue Wörter (insgesamt 200 in der Abrufphase) präsentiert. Die Versuchspersonen mussten mittels Knopfdruck beurteilen, ob das jeweilige Wort aus der Lernphase bekannt oder völlig neu war. Es konnten sich demnach folgende mögliche Konstellationen ergeben, welche Abbildung 7 zu entnehmen sind.

		Beurteilung →	NEU	ALT
Ruhe	TATSACHE	NEU	correct rejection	false recognition
		ALT	miss	hit
Puls 140		NEU	correct rejection	false recognition
		ALT	miss	hit
Puls 120		NEU	correct rejection	false recognition
		ALT	miss	hit

Abbildung 7: Versuchsschema mit den möglichen Konditionen

Während der Testphase (nicht aber in der Lernphase) traten die Versuchspersonen unter verschiedenen Herzfrequenzen auf dem Fahrradergometer. Die Testung erfolgte unter drei Bewegungsintensitäten, die mittels Herzfrequenz bestimmt wurden: unter Ruhepuls, einer Herzfrequenz um 120 und einer Herzfrequenz um 140, wobei Puls 120 einer leichten Aktivität und Puls 140 einer stärkeren Aktivität entsprach. Unter der Ruhebedingung gab es keine körperliche Aktivität seitens der Versuchspersonen.

Innerhalb eines Blocks ergab sich folgende Zeitverteilung:

- **7 min:** Studierphase (100 Wörter)
 - **3 min:** Pause
 - **5 min:** Eintreten auf die gewünschte Pulsfrequenz
 - **13 min:** Testphase (200 Wörter)
- ≈ 28 min/Block

Zwischen den einzelnen Blöcken wurde eine Pause von etwa 10 Minuten eingehalten, um zu gewährleisten, dass die Herzfrequenz wieder auf den Ausgangswert sinkt. Es ergab sich eine Netto-Versuchszeit von etwa einer Stunde, was mit Pausen etwa eineinhalb Stunden Gesamtdauer ergab. Die Reihenfolge der Pulsbedingungen wurde, wie bereits erwähnt, von Person zu Person variiert.

Die Zeitlinie pro einzelner, vorgegebenem Item (jedes Wort) kann Abbildung 8 entnommen werden.

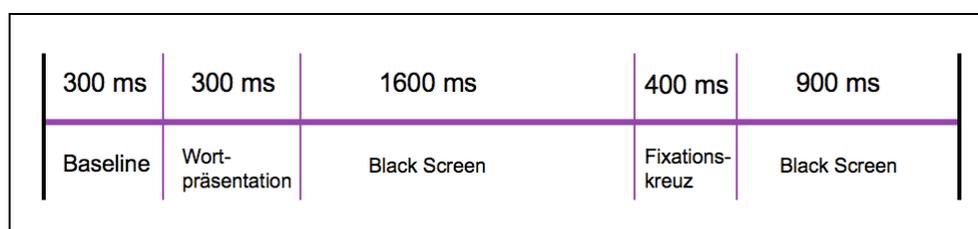


Abbildung 8: Zeitlinie, pro vorgegebenem Item

5.3 Technische Details

Die Ableitung der evozierten Potentiale erfolgte mithilfe eines Gleichspannungsverstärkers im Brain-Research-Lab der Universität

Wien, Arbeitsbereich für Biologische Psychologie, im Juni und Juli 2007. Die Datenaufzeichnungen erfolgten mit einer Samplingrate von 250 Hz auf 64 Kanälen. Die Elektroden wurden mittels EasyCap-Haube appliziert (siehe www.easycap.de). Diese lehnt sich am 10/20 Setting an (Jasper, 1958). Die desinfizierte Kopfhaut wurde mit einer Einwegkanüle angeritzt, um so die Leitfähigkeit zu erhöhen. Hierfür wurde das Einverständnis der Versuchspersonen schriftlich eingeholt. Die Elektroden wurden anschließend mit evakuiertem (von Luft befreitem) Elektrodengel – welches sich aus Stärke und Salz zusammensetzt – aufgefüllt, um den elektrischen Kontakt zwischen Kopfhaut und Elektrode herzustellen.

Im Versuchsraum wurden die Elektroden über eine sogenannte Elektrodenbrause an das Verstärkersystem angeschlossen. Die Spannungswerte wurden zunächst einer visuellen Kontrolle auf mögliche Drifts hin unterzogen. Weiters wurde überprüft, ob sie im Bereich zwischen -8000 mV und 8000 mV lagen. Um die Herzaktivität, welche ein starkes bioelektrisches Feld erzeugt, aus den Daten eliminieren zu können, wurden über dem rechten Sternoklavikulargelenk und dem 7. Halswirbel (vertebrae prominens) zwei Referenzelektroden angebracht. Die Herausrechnung erfolgte über die Gewichtung der beiden Referenzelektroden. Mittels Elektrokulogramm (2 Elektroden horizontal und 2 Elektroden vertikal) wurden vor der eigentlichen Messung standardisierte Augenbewegungen aufgezeichnet (roter Punkt springt zwischen links und rechts bzw. oben und unten hin und her, Versuchspersonen mussten diesen mit ihren Augen verfolgen). Daraus wurden später Korrekturparameter berechnet, welche die durch Lidschläge kontaminierten Daten bereinigen sollten (Blinkkorrektur).

Danach begann die eigentliche Aufgabenpräsentation und somit die EEG-Aufzeichnung.

5.4 Stimuluspräsentation

Die Versuchspersonen setzten sich in einem schalldichten, halb abgedunkeltem Raum auf ein Fahrradergometer. Die Sitzhöhe wurde jeweils individuell an die Personen angepasst, um den höchstmöglichen Komfort zu gewährleisten. An der rechten Lenkstange wurde ein Eingabegerät in einer Weise befestigt, welche eine angenehme Haltung beim Betätigen der Antworttasten ermöglichte und vermied, dass die Versuchspersonen eine zusätzliche Bewegung ausführen mussten, um die Tasten zu erreichen. Die Aufgaben wurden auf einem Computer-Bildschirm präsentiert, welcher auf einem Tisch vor den Versuchspersonen platziert wurde. Die Probanden wurden außerdem instruiert, neben dem Treten so wenig zusätzliche Bewegungen wie möglich durchzuführen. Vor allem ein sogenanntes Pumpen mit dem Oberkörper (starke Auf- und Abbewegung) sollte vermieden werden.

5.5 Stichprobe

An der vorliegenden EEG-Studie nahmen insgesamt 28, neurologisch unauffällige, rechtshändige weibliche und männliche Personen im Alter von 21 bis 35 Jahren teil. Aufgrund zu großer Verunreinigung aufgrund von Artefakten konnten jedoch die Daten von 10 Probanden nicht verwendet werden (siehe Punkt 6.1.1). Die Händigkeit der Versuchspersonen wurde mittels des im BRL als Standard verwendeten Händigkeitsfragebogens erhoben (siehe Anhang).

Das Geschlechterverhältnis betrug in der ursprünglichen Stichprobe 50:50. Es wurde darauf geachtet, dass die Gruppe der Probanden in ihrem Grad an Trainiertheit relativ homogen war. In diesem Fall war das zwar körperlich gesund und leistungsfähig, aber eher unregelmäßig Sport betreibend. Somit konnten etwaige Langzeit-Effekte durch regelmäßige sportliche Aktivität ausgeschlossen werden.

6 AUSWERTUNG

Die Gedächtnisleistung wurde durch Subtraktion der Anzahl der *false alarms* von der Anzahl der *hits* für jede Versuchsperson und jede Pulsbedingung errechnet. Danach wurde eine repeated measures ANOVA berechnet.

Bezüglich Haupthypothese 2 wurden die ERPs (event related potentials) der *correct rejections* (richtig als neu erkannt) mit jenen der *misses* (irrtümlich als neu klassifiziert) verglichen, denn Unterschiede, die sich hier ergeben, können darauf schließen lassen, dass in diesem Fall unbewusste Informationsverarbeitung stattgefunden hat, also eine Gedächtnisspur ohne Bewusstsein darüber vorhanden ist. Begründung hierfür ist, dass ein physiologischer Unterschied existiert, obwohl in diesem Fall kein psychologischer Unterschied zu erkennen ist (in beiden Fällen wird das Wort als neu qualifiziert). Rugg et al. (1998) fanden diesen Effekt am stärksten zwischen 300 und 500 ms nach Stimulus-Onset. Des Weiteren wurde der Frage nachgegangen, ob dieser Einfluss der Kondition (*correct rejection* oder *miss*) mit der Pulsfrequenz variiert, also ob die implizite Gedächtnisspur in den drei Pulsbereichen verschieden ausgeprägt ist. Analysiert wurde hierbei die durchschnittliche Amplitude der ERPs, die durch die verschiedenen Klassen an Wörtern hervorgerufen wurden. Die Amplitudenunterschiede wurden mittels repeated measures ANOVA ausgewertet. Mittels sLORETA wurde außerdem versucht, die Generatoren für diesen Effekt zu lokalisieren.

In weiterer Folge wurden die vorhandenen Daten explorativ untersucht, um generelle Effekte und Einflüsse sportlicher Betätigung auf Vorgänge und Aktivierungen im Gehirn aufzuzeigen.

6.1 EEG-Daten

6.1.1 Artefaktkontrolle

Als Artefakt wird jede im EEG auftretende Potentialveränderung bezeichnet, die auf extrazerebrale Ursachen zurückgeführt werden kann. Diese Potentialveränderungen haben nichts mit den eigentlichen Versuchsbedingungen zu tun und können daher einer sinnvollen Interpretation der Daten im Wege stehen. Daher wurden alle Elektrodenkanäle bzw. Trials visuell inspiziert und wenn notwendig von weiteren Berechnungen ausgeschlossen. Gründe für Artefakte können Augenbewegungen und sonstige Bewegungen, Elektrodendefekte oder -drifts, hochamplitudige und -frequente Veränderungen (starkes Schwitzen oder Ziehen an einer Referenzelektrode) sowie Beeinträchtigungen der Baseline sein. Artefakte, welche durch Blinzeln der Versuchsperson entstehen, konnten mittels eines Korrekturalgorithmus (Blinkkorrektur) aus den Daten herausgerechnet werden.

Aufgrund der Versuchsanordnung (sportliche Aktivität) war naturgemäß von stärker verunreinigten Daten auszugehen, weshalb bei der Artefaktkontrolle relativ streng vorgegangen werden musste, nicht zuletzt auch aufgrund der Tatsache, dass schlussendlich zwei Aktivitätsbedingungen mit einer Ruhebedingung verglichen werden sollten. Die meisten Artefakte bei dieser Untersuchung waren durch zu starkes Schwitzen oder zu starke Bewegungen mit dem Oberkörper („Pumpen“) beim Radfahren bedingt. Dadurch ergab sich auch der relativ große Verlust an Datensätzen (siehe Punkt 7.1).

6.1.2 Averaging

Die artefaktbereinigten EEG-Daten wurden danach für jede Versuchsperson, jede Pulsfrequenz und jede Kondition gemittelt, um ein optimiertes Signal-Rauschverhältnis zu erzielen. Jene Schwankungen, welche bei jedem Durchgang in gleicher Form als Reaktion auf den Reiz auftreten, werden durch dieses Vorgehen immer stärker hervorgehoben, während sich zufällige, variable

Veränderungen zunehmend nivellieren und somit das Rauschen abnimmt.

6.1.3 Grand Mean

Aus den Averages wurden Grand Means über alle Versuchspersonen für jede Kondition und Pulsbedingung berechnet. Beispiele für Grand Means können den Abbildungen 10 bis 15 entnommen werden (Stimulus-Onset liegt bei 300 ms, für die genauen Elektrodenpositionen, siehe Abbildung 9).

6.2 Maßzahlgewinnung

Um weitere Berechnungen in SPSS und sLORETA zu bewerkstelligen, wurden Zeitintervalle (Timeframes) festgelegt, für welche jeweils ein Mittelwert der Aktivität im entsprechenden Timeframe berechnet wurde. Dieses Vorgehen diente der Datenreduktion. Insgesamt wurden 14 überlappende, 100 ms lange Timeframes gebildet, deren genaue Festlegung Tabelle 1 entnommen werden kann.

T1:	0-100 ms
T2:	50-150 ms
T3:	100-200 ms
T4:	150-250 ms
T5:	200-300 ms
T6:	250-350 ms
T7:	300-400 ms
T8:	350-450 ms
T9:	400-500 ms
T10:	450-550 ms
T11:	500-600 ms
T12:	550-650 ms
T13:	600-700 ms
T14:	650-750 ms

Tabelle 1: Verwendete Timeframes (post-Stimulus)

6.3 SPSS

Mittels SPSS (statistical package for the social sciences) wurde die durchschnittliche Amplitude der ereigniskorrelierten Potentiale, die durch *correct rejections* und *misses* innerhalb der 14 Timeframes

(siehe Tabelle 1) hervorgerufen wurden, analysiert. Gemäß Literatur wurden frontale und parietale Elektroden für die Berechnungen ausgewählt. Rugg et al. (1998) verwendeten in ihrer Arbeit Elektroden F3, F4 und P3 und P4. Im EasyCap-Schema liegen diese Elektroden genau zwischen den grün und rot unterlegten Elektrodenpositionen (z.B. liegt F3 genau zwischen den Elektroden 41 und 37, siehe Abbildung 9).

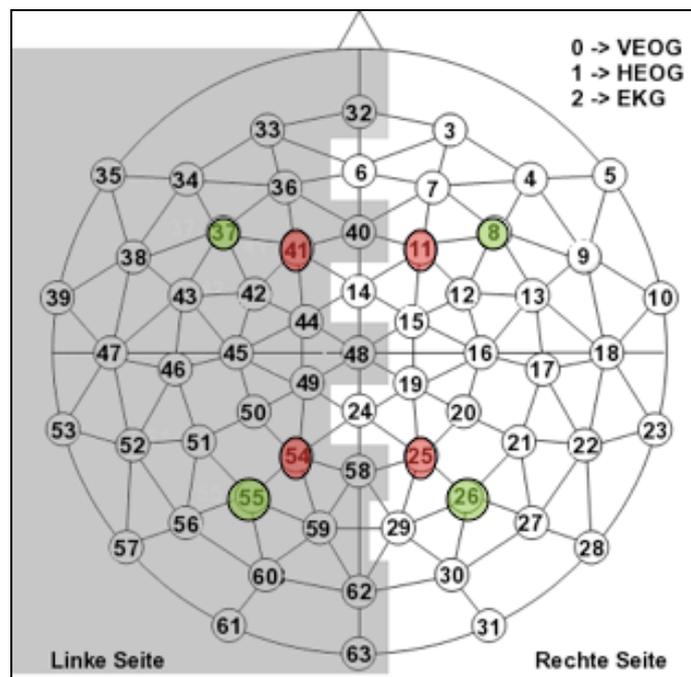


Abbildung 9: Für ANOVA verwendete Elektroden

Schlussendlich wurden aus praktischen Überlegungen die vier in Abbildung 9 mit grün markierten Elektroden verwendet, da sie jeweils weiter von den motorischen Arealen entfernt liegen – wenn auch nur minimal – um so etwaige Einflüsse dieser Regionen gering zu halten. Danach wurde für die linke und für die rechte Hemisphäre eine gesonderte repeated measures ANOVA berechnet, um etwaige Unterschiede in der Lateralität berücksichtigen zu können. Alle Berechnungen wurden mit z-transformierten Daten durchgeführt (McCarthy & Wood, 1985 und Ruchkin, Johnson & Friedman, 1999). Wo die für die repeated measures ANOVA notwendige Voraussetzung der Sphärizität verletzt war, wurden die Freiheitsgrade

mittels Greenhouse-Geisser-Verfahren korrigiert, außer es ist bei den Ergebnissen Gegenteiliges angegeben. Alle Daten wurden mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft.

6.4 sLORETA

Mittels standardisierter Transformationsmatrix wurden die EEG-Daten in sLORETA-Daten umgewandelt. sLORETA steht für “standardized low-resolution brain electromagnetic tomography”. Es ist ein Verfahren zur Erzeugung von Darstellungen der “standardized current density with zero localization error”. (Pascual-Marqui, 2002, S. 5).

Die statistische Überprüfung der von sLORETA berechneten t-Werte erfolgte über SnPM - Statistical non Parametrical Mapping (Nichols & Holmes, 2002).

7 ERGEBNISSE

7.1 Stichprobe

Nach Eliminierung der durch Artefakte verunreinigten Datensätze verblieben 18 Versuchspersonen zur weiteren Analyse. Davon waren 11 Männer und 7 Frauen im Alter von 24-35 Jahren, das mittlere Alter betrug 28.12 Jahre.

7.2 Grand Means

In den Abbildungen 10 bis 15 sind beispielhafte Grand Means für *correct rejections*, *misses* und *hits* dargestellt. Der Stimulus-Onset ist durch die gestrichelte, blaue Linie gekennzeichnet. Schon aus den Grand Means lässt sich eine prinzipielle unterschiedliche physiologische Reaktion auf die verschiedenen Klassen an Wörtern erkennen.

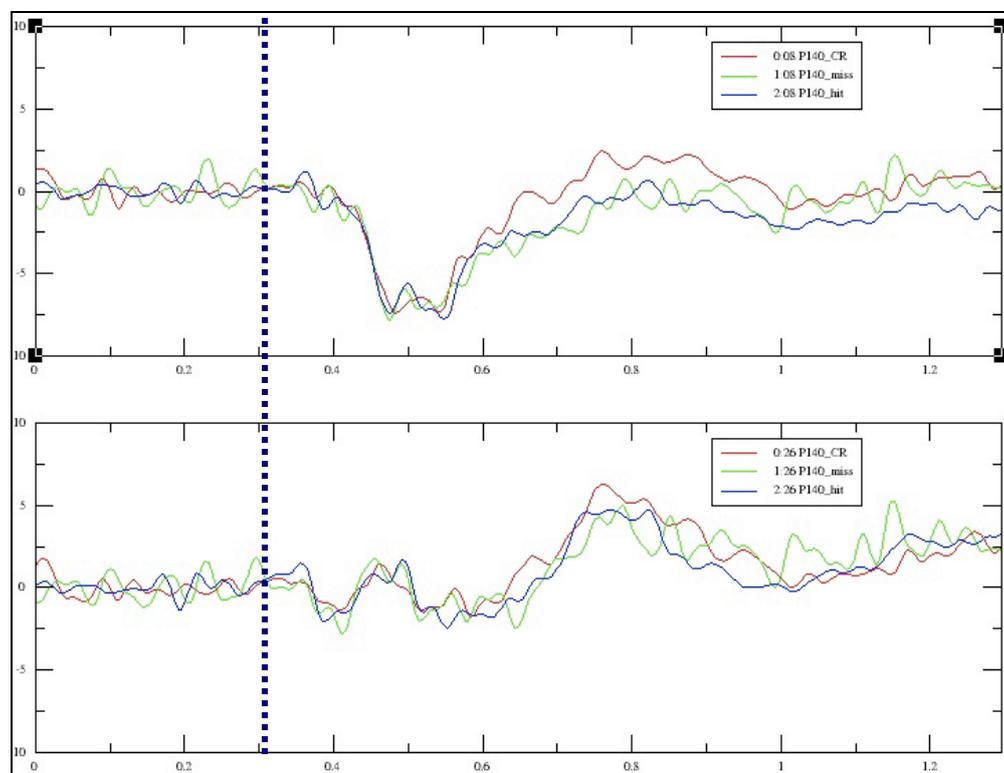


Abbildung 10: Grandmean für Elektroden 8 (frontal) und 26 (parietal) in der Ruhebedingung;

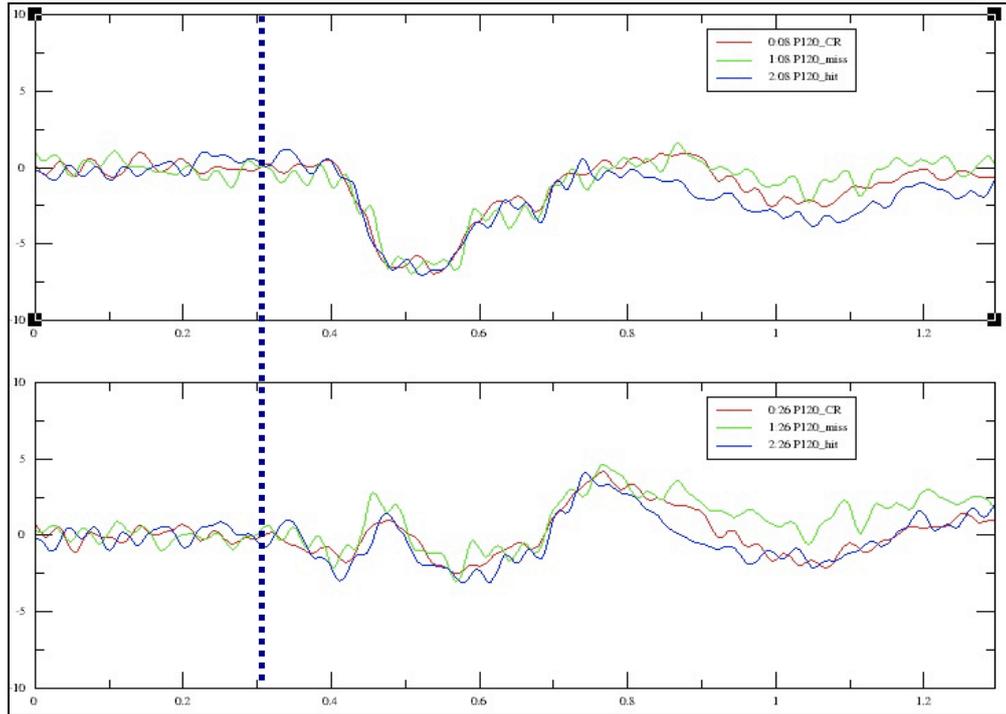


Abbildung 11: Grandmean für Elektroden 8 (frontal) und 26 (parietal) bei Puls 120

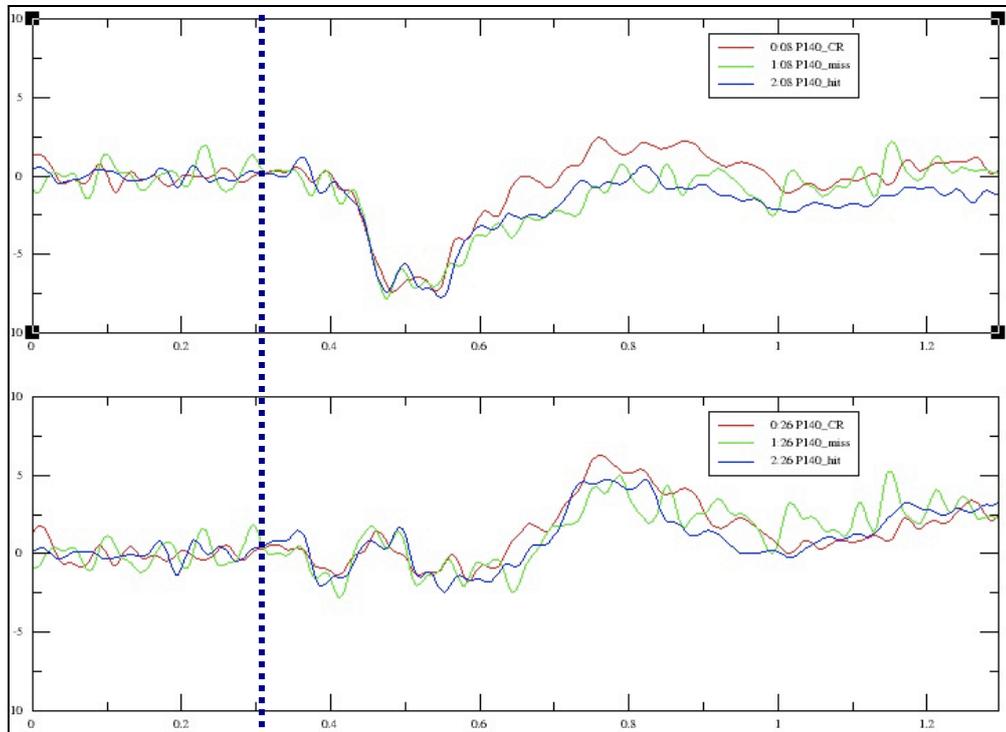


Abbildung 12: Grandmean für Elektroden 8 (frontal) und 26 (parietal) bei Puls 140

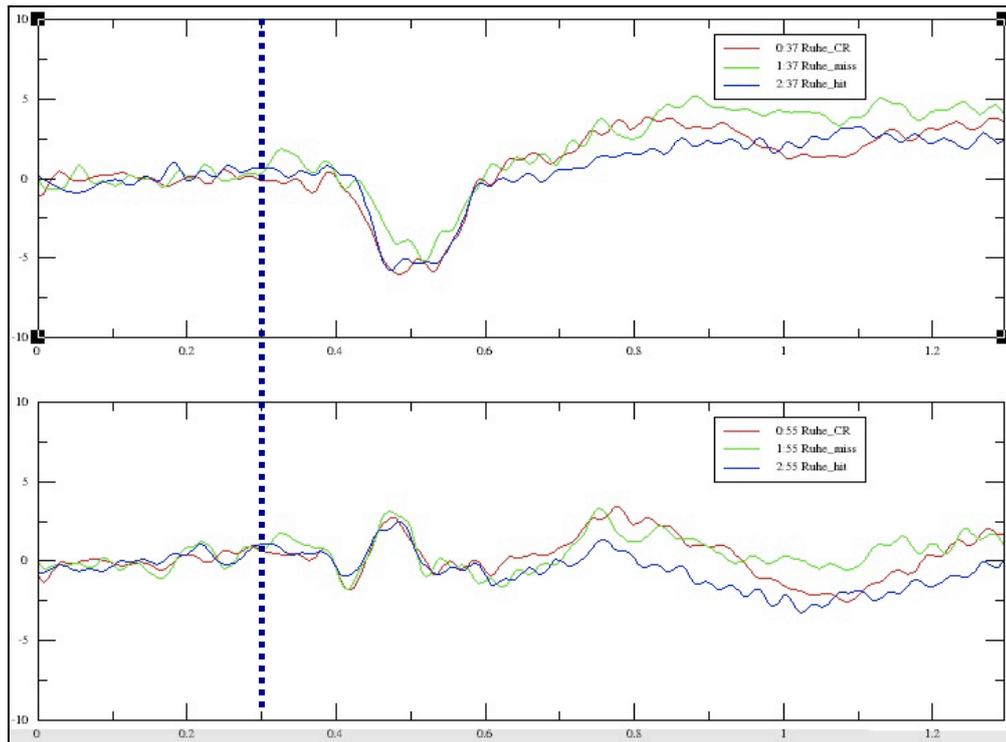


Abbildung 13: Grandmean für Elektroden 37 (frontal) und 55 (parietal) in der Ruhebedingung

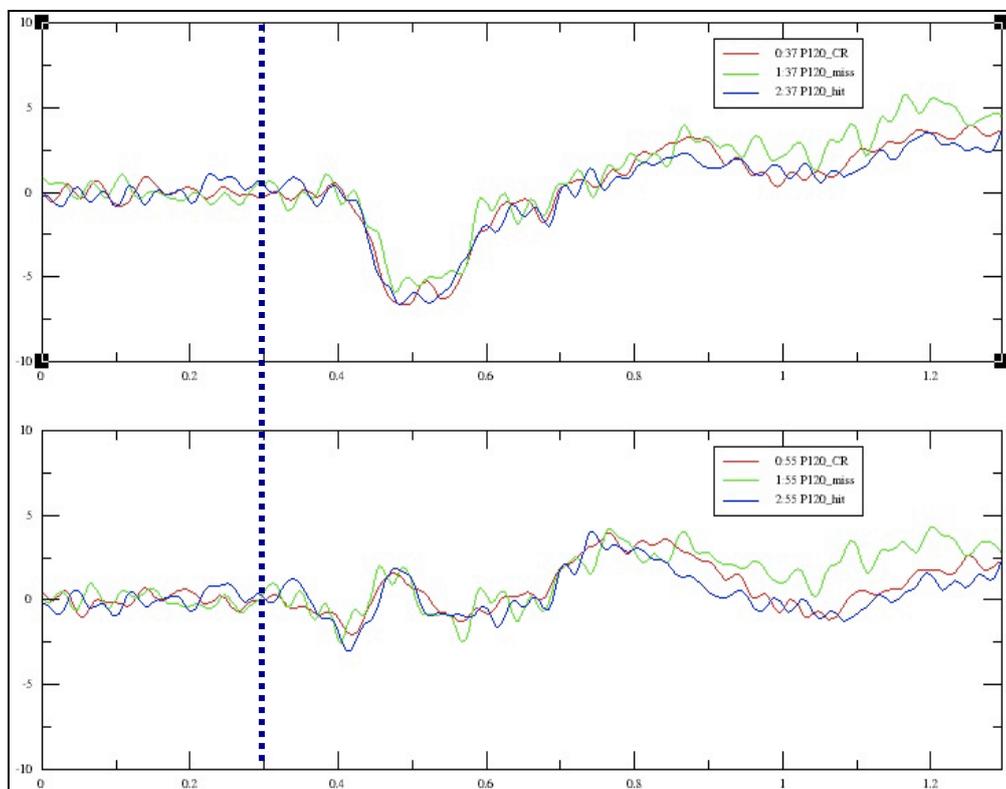


Abbildung 14: Grandmean für Elektroden 37 (frontal) und 55 (parietal) bei Puls 120

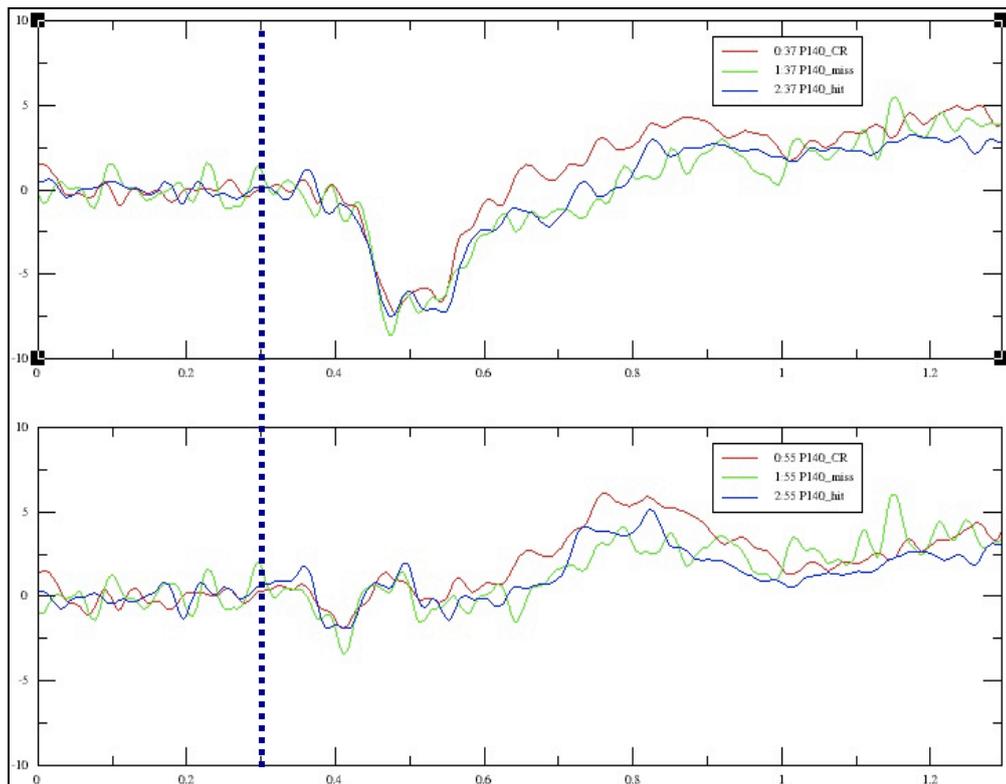


Abbildung 15: Grandmean für Elektroden 37 (frontal) und 55 (parietal) bei Puls 140

7.3 Gedächtnisleistung

Die Gedächtnisleistung wurde durch Subtraktion der Anzahl der *false alarms* von der Anzahl der *hits* für jede Versuchsperson und jede Pulsbedingung errechnet. Danach wurde mittels SPSS eine Varianzanalyse mit Messwiederholung (repeated measures ANOVA) berechnet. Die Rohdaten und genaue Anzahl der einzelnen Wortkonditionen können Tabelle 2 auf S. 52 entnommen werden.

Mauchly's Test auf Sphärizität ergab ein nicht signifikantes Ergebnis für den Effekt der unabhängigen Variable Puls. $\chi^2(2)=1.240$, $p=.538$. Daher konnten die unkorrigierten F-Werte verwendet werden.

Es ergab sich kein signifikanter Effekt der Pulsfrequenz auf die Gedächtnisleistung. $F(2,34)=1.320$, $p=.281$, einseitig (siehe Abbildung 16).

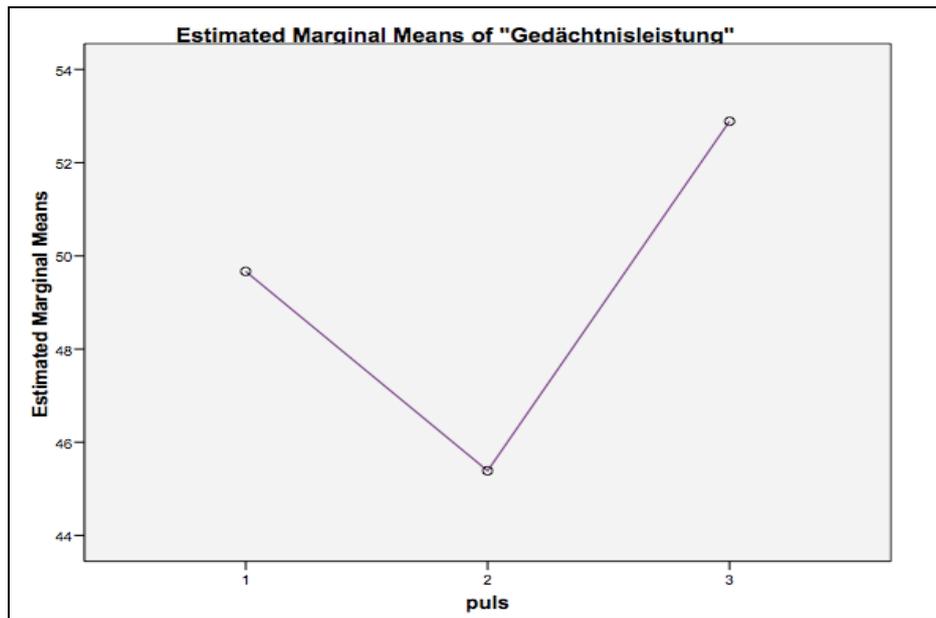


Abbildung 16: Plot für Gedächtnisleistung; Puls 1=Puls 120, Puls 2=Puls 140, Puls 3=Ruhe

Puls 120																		Σ	
Hits	63	71	66	39	52	67	75	88	50	63	71	74	61	59	69	82	44	62	1165
FA	21	10	33	8	20	8	10	2	16	25	5	26	19	25	16	4	1	13	252
Miss	37	29	29	61	46	33	24	12	49	35	28	24	39	38	31	17	56	37	625
CR	78	90	66	91	79	91	89	98	84	75	95	73	81	73	83	95	99	87	1527
Puls 140																		Σ	
Hits	81	56	41	48	50	75	70	51	45	82	59	65	76	63	66	80	60	49	1117
FA	13	19	5	8	24	11	42	3	22	41	18	32	10	32	13	8	27	23	351
Miss	19	44	57	52	49	25	30	49	55	17	39	35	24	36	34	20	39	51	675
CR	87	81	95	92	75	89	57	97	78	59	80	67	90	67	86	92	71	77	1440
Ruhe																		Σ	
Hits	78	73	52	72	61	47	78	80	64	88	77	61	76	74	89	69	54	81	1274
FA	12	12	8	14	22	10	25	8	14	38	6	24	17	16	12	15	14	4	271
Miss	22	27	48	28	39	53	22	20	36	12	23	39	24	26	11	31	46	19	526
CR	88	88	92	86	78	90	75	92	84	62	94	76	83	84	88	85	86	96	1527

Tabelle 2: Rohdaten: Anzahl der Konditionen

7.4 EEG-Daten: Kondition-Haupteffekt

7.4.1 Linke Hemisphäre

Signifikante Ergebnisse in Bezug auf den Kondition-Haupteffekt ergaben sich in der linken Hemisphäre (Elektrode 37 vs. Elektrode 55) 650-750 ms nach Stimulus-Onset, $F(1,17)=5.794$, $p=.028$, $r=.50$ (siehe Abbildung 17).

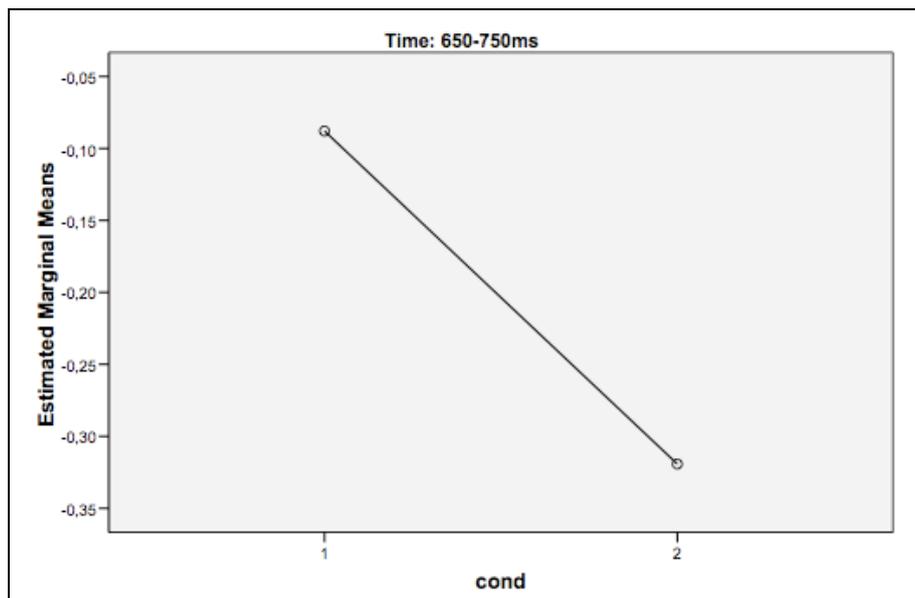


Abbildung 17: Plot für Kondition-Haupteffekt in der linken Hemisphäre, 1=correct rejection, 2=miss

7.4.2 Rechte Hemisphäre

In der rechten Hemisphäre (Elektroden 8 vs. 26) wird die Kondition, also der Einfluss der verschiedenen Antwortkategorien in 3 Timeframes signifikant (siehe Abbildungen 18 bis 20):

150-250 ms: $F(1,17)=5.152$, $p=.037$, $r=.48$

350-450 ms: $F(1,17)=5.148$, $p=.037$, $r=.48$

650-750 ms: $F(1,17)=7.546$, $p=.014$, $r=.55$

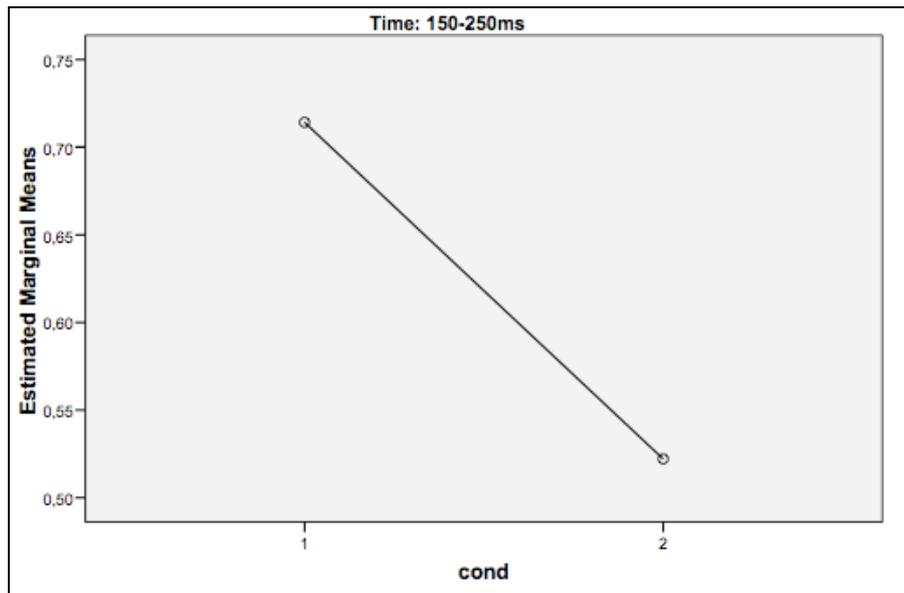


Abbildung 18: Plot für Kondition-Haupteffekt der rechten Hemisphäre in frühen Zeitbereichen, 1=correct rejection, 2=miss

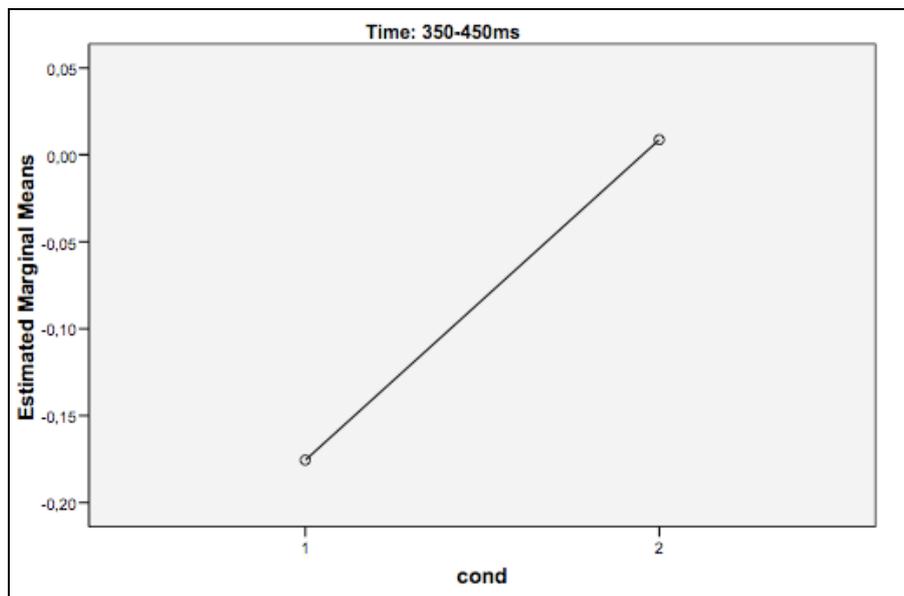


Abbildung 19: Plot für Kondition-Haupteffekt der rechten Hemisphäre in mittleren Zeitbereichen, 1=correct rejection, 2=miss

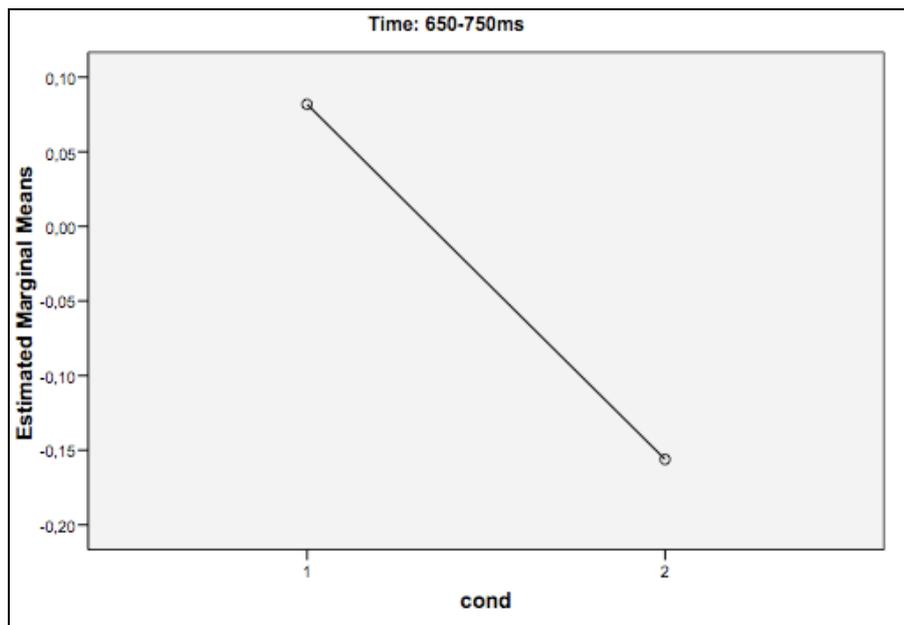


Abbildung 20: Plot für Kondition-Haupteffekt der rechten Hemisphäre in späteren Zeitbereichen, 1=correct rejection, 2=miss

7.5 EEG-Daten: Location X Kondition-Wechselwirkung

Eine signifikante Wechselwirkung zwischen frontalen bzw. parietalen Bereichen und der Kondition ergibt sich in der rechten Hemisphäre in zwei Timeframes.

150-250 ms: $F(1,17)=8.530$, $p=.01$

200-300 ms: $F(1,17)=8.290$, $p=.01$

Hierbei handelt es sich jeweils um große Effektstärken, $r=.58$ bzw. $r=.57$. Beispielhaft für eine Darstellung dieses Interaktionseffektes ist Abbildung 21.

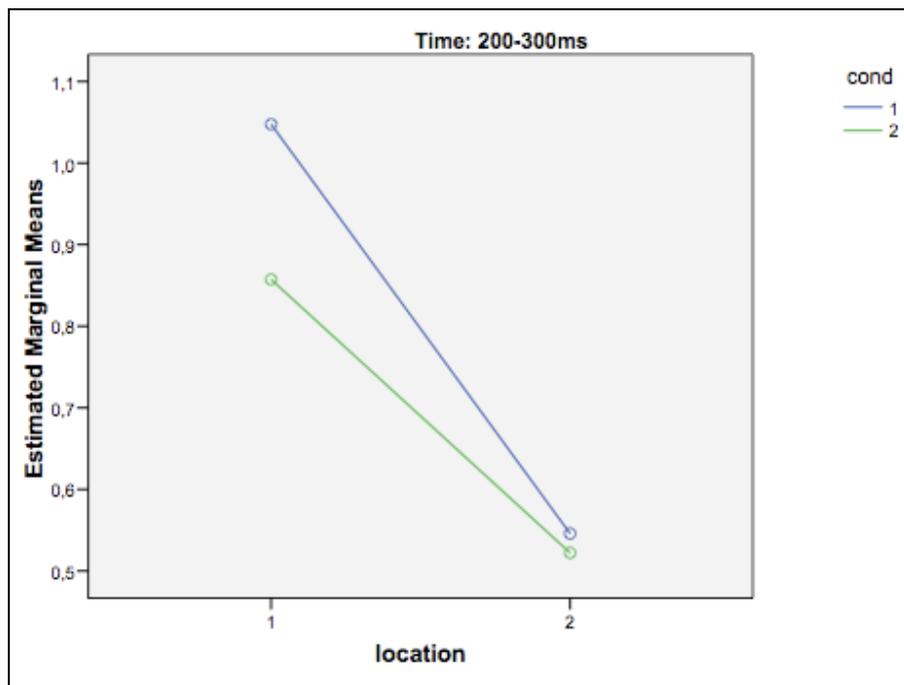


Abbildung 21: Plots für Location/Kondition-Wechselwirkung Location: 1=frontal, 2=parietal, Kondition: 1=correct rejection, 2=miss

7.6 EEG-Daten: Location X Puls-Wechselwirkung

Hier war die Voraussetzung der Sphärizität teilweise verletzt, teilweise gegeben. Dort wo sie gegeben war, konnten dementsprechend spezifische Kontraste berechnet werden. Es ergaben sich signifikante Wechselwirkungen zwischen Elektrodenposition und Pulsfrequenz in beiden Hemisphären.

7.6.1 Linke Hemisphäre

Signifikante Unterschiede ergaben sich in folgenden Zeitbereichen:

0-100 ms: $F(1,380,23.462)=49.064$, $p=.00$

50-150 ms: $F(2,34)=42.583$, $p=.00$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=64.765$, $p=.00$, $r=.89$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=101.926$, $p=.00$, $r=.92$.

100-200 ms: $F(2,34)=33.261$, $p=.00$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=43.290$, $p=.00$, $r=.85$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=66.673$, $p=.00$, $r=.89$.

150-250 ms: $F(2,34)=17.517$, $p=.00$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=15.373$, $p=.001$, $r=.69$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=42.444$, $p=.00$, $r=.84$.

200-300 ms: $F(2,34)=4.299$, $p=.022$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=8.361$, $p=.01$, $r=.57$. Bei Puls 120 ergab sich kein signifikanter Effekt.

400-500 ms: $F(1.398,23.758)=4.499$, $p=.033$

450-550 ms: $F(2,34)=5.289$, $p=.01$ → Sphärizität gegeben!

Auch hier ergaben spezifische Kontraste einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=8.912$, $p=.008$, $r=.59$. Bei Puls 120 ergab sich kein signifikanter Effekt.

500-600 ms: $F(2,34)=5.604$, $p=.008$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=4.524$, $p=.048$, $r=.46$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=8.631$, $p=.009$, $r=.58$.

550-650 ms: $F(1.456,24.754)=5.699$, $p=.015$

600-700 ms: $F(1.328,22.576)=4.946$, $p=.028$

650-750 ms: $F(1.502,25.532)=4.813$, $p<.025$.

7.6.2 Rechte Hemisphäre

Signifikante Unterschiede ergaben sich in folgenden Zeitbereichen:

0-100 ms: $F(1,409,23.958)=65.040$ $p=.00$

50-150 ms: $F(2,34)=35.344$ $p=.00$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=38.710$, $p=.00$, $r=.83$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=120.549$, $p=.00$, $r=.94$.

100-200 ms: $F(2,34)=15.258$ $p=.00$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=27.719$, $p=.00$, $r=.79$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=21.565$, $p=.00$, $r=.75$

150-250 ms: $F(2,34)=7.109$ $p=.003$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=12.217$, $p=.003$, $r=.65$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=11.353$, $p=.004$, $r=.63$.

550-650 ms: $F(2,34)=3.539$ $p=.040$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=5.445$, $p=.032$, $r=.49$. Bei Puls 120 ergab sich kein signifikanter Effekt.

600-700 ms: $F(2,34)=3.595$ $p=.038$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=6.547$, $p=.020$, $r=.53$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=5.545$, $p=.031$, $r=.50$

650-750 ms: $F(2,34)=4.168$ $p=.024$ → Sphärizität gegeben!

Spezifische Kontraste ergaben einen signifikant unterschiedlichen Effekt der Pulsfrequenz 120 im Gegensatz zur Ruhebedingung auf frontale und parietale Elektroden, $F(1,17)=7.486$, $p=.014$, $r=.55$, sowie der Pulsfrequenz 140 im Gegensatz zur Ruhebedingung, $F(1,17)=7.380$, $p=.015$, $r=.55$

Als beispielhaft für beide Hemisphären sollen hier Abbildungen 22 und 23 gelten.

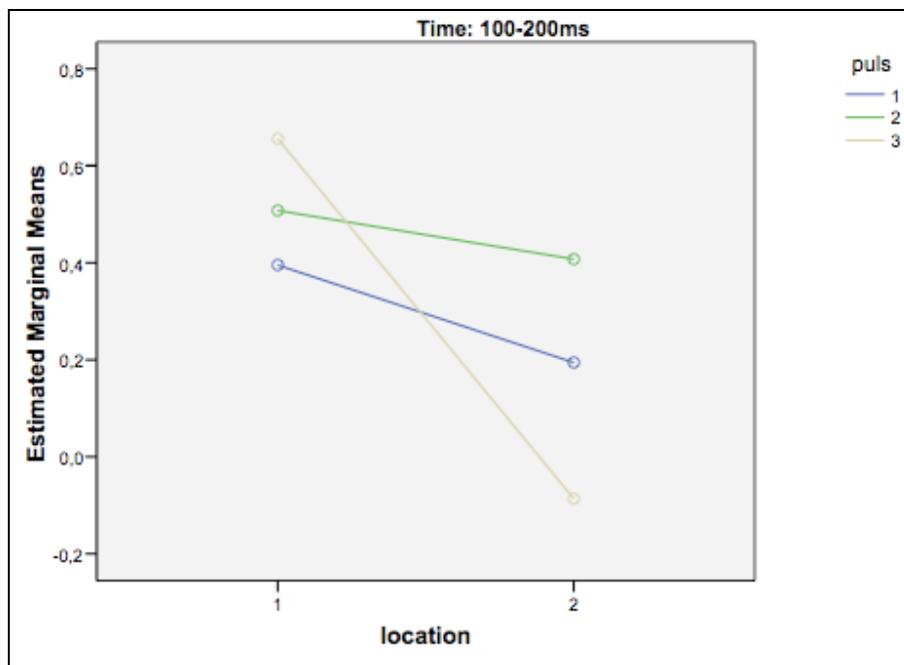


Abbildung 22: Plots für Puls X Location-WW in frühen Zeitbereichen; Puls 1 = 120, Puls 2 = 140, Puls 3 = Ruhe, Location: 1=frontal, 2=parietal

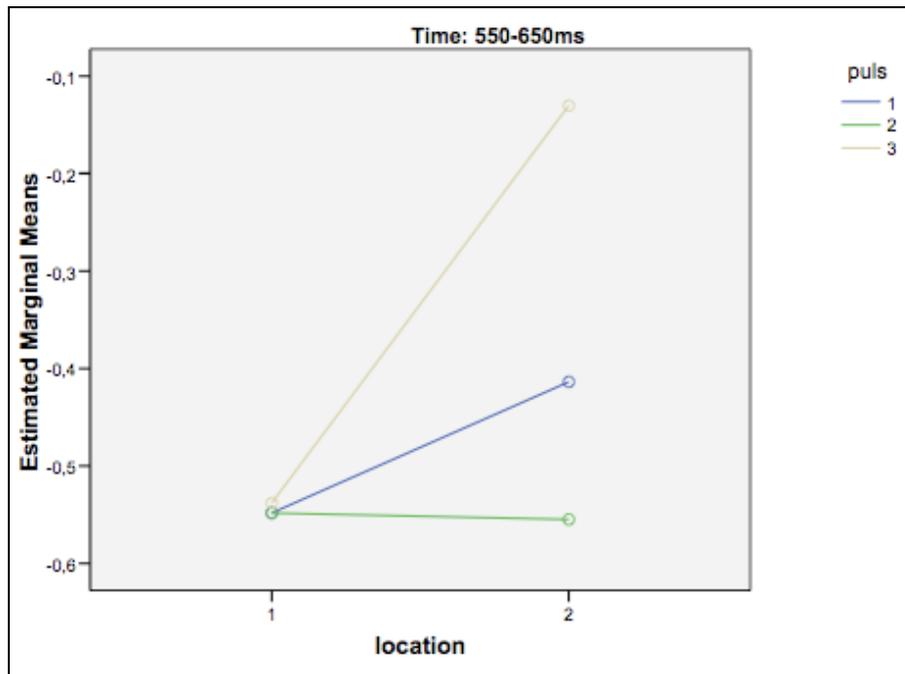


Abbildung 23: Plots für Puls X Location-WW in späten Zeitbereichen; Puls 1 = 120, Puls 2 = 140, Puls 3 = Ruhe, Location: 1=frontal, 2=parietal

7.7 EEG-Daten: Puls-Haupteffekt

Hierbei konnten die unkorrigierten Freiheitsgrade verwendet werden, da die Sphärizität nicht verletzt war, $\chi^2(2)=0.280$, $p=.869$. Ein signifikanter Haupteffekt der Pulsfrequenz ergab sich in einem Timeframe von 150 bis 250 ms in der rechten Hemisphäre, $F(2,34)=3.318$, $p=.048$. Bei Betrachtung der Kontraste fand sich ein signifikanter Unterschied zwischen Pulsfrequenz 140 und der Ruhebedingung, $F(1,17)=4.579$, $p=.047$, $r=.46$, nicht aber zwischen Pulsfrequenz 120 und der Ruhebedingung, $F(1,17)=0.165$, $p=.689$. Aufgrund der berechneten Effektstärke kann der Unterschied zwischen Puls 140 und der Ruhebedingung als mittelstarker Effekt bezeichnet werden. Weiters wurde auch ein polynomialer Kontrast berechnet, welcher einen quadratischen Trend ergab, $F(1,17)=6.852$, $p=.018$, $r=.54$. Die Reihenfolge der Pulsbedingungen war dabei 120, 140. Der berechnete Trend kann Abbildung 24 entnommen werden.

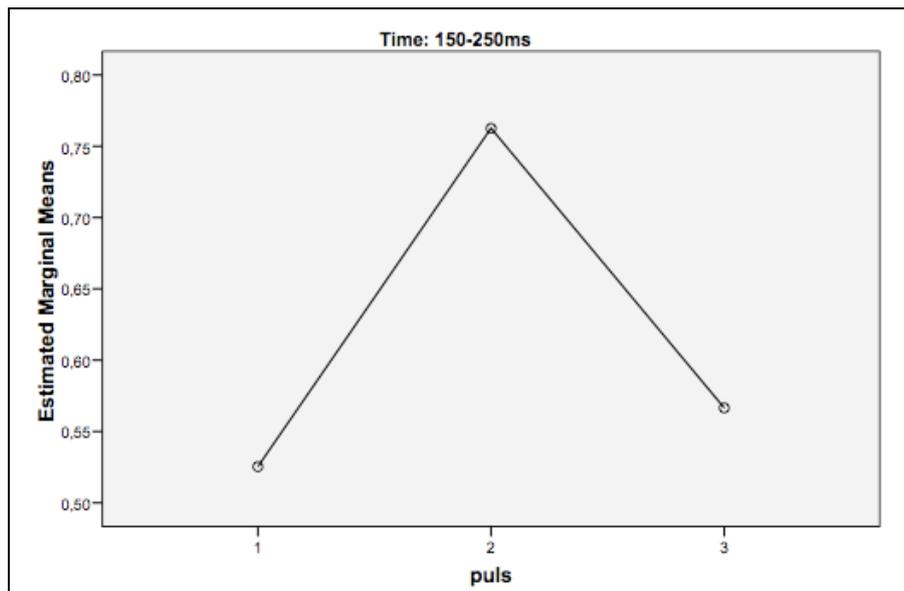


Abbildung 24: Plot für Puls-Haupteffekt, 1=Puls 120, 2=Puls 140, 3=Ruhe

7.8 Puls in sLORETA

7.8.1 Puls 140 vs. Ruhe

Beim Vergleich der Pulsbedingung 140 mit der Ruhebedingung ergab sich ab Timeframe 3 (ab 100 ms nach Stimulus-Onset) in allen Timeframes ein signifikanter Unterschied zwischen Puls- und Ruhebedingung. Die t-Werte in den dafür verantwortlichen Generatoren waren bei Puls 140 signifikant höher als in der Ruhebedingung bei einem t (.05, zweiseitig) = 5.187. Die dafür als verantwortlich gefundenen Brodmann-Areale sind in Tabelle 2 ersichtlich. Stellvertretend ist in Abbildung 25 Brodmann-Areal 10 im Timeframe 4 zu sehen.

	Brodmann Areal	T(X)	T(Y)	T(Z)	t
0-100 ms					
50-150 ms					
100-200 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	45	50	15	8.76
150-250 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	45	45	15	9.17
200-300 ms	BA 44 (Precentral Gyrus)	45	15	10	8.45
250-350 ms	BA 44 (Precentral Gyrus)	45	50	-5	7.93
300-400 ms	BA 42 (Superior Temporal Gyrus)	-60	-30	15	6.97
350-450 ms	BA 42 (Superior Temporal Gyrus)	-55	-35	15	7.87
400-500 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	35	55	-5	8.13
450-550 ms	BA 11 (Middle Frontal Gyrus)	40	55	-10	8.62
500-600 ms	BA 46 (Middle Frontal Gyrus)	-45	30	25	6.96
550-650 ms	BA 46 (Middle Frontal Gyrus)	-45	30	25	7.23
600-700 ms	BA 30 (Parahippocampal Gyrus)	15	-40	-10	6.83

Tabelle 3: Puls 140 vs. Ruhe; gefundene Aktivitätsmaxima

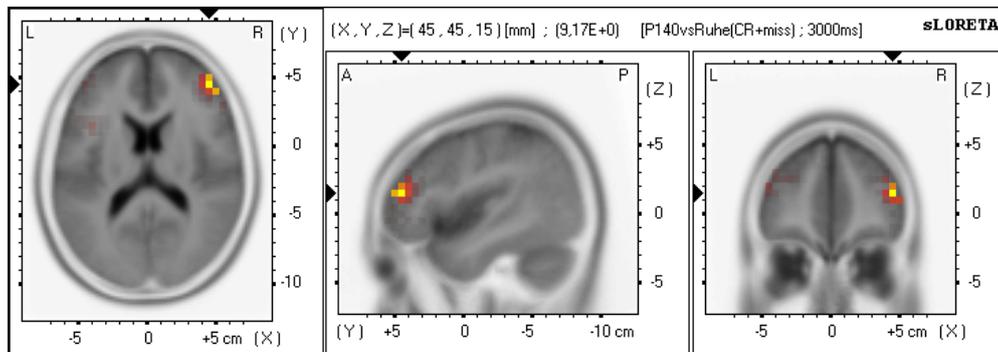


Abbildung 25: Brodmann Areal 10; signifikant erhöhte Aktivität bei Puls 140 in Timeframe 4

7.8.2 Puls 120 vs. Ruhe

Beim Vergleich der Pulsbedingung 120 mit der Ruhebedingung fanden sich ähnliche Ergebnisse. Signifikante Differenzen zeigten sich über alle Timeframes bei einem $t(.05, \text{zweiseitig}) = 5,165$. Die gefundenen Generatoren können Tabelle 3 entnommen werden.

	Brodmann Areal	T(X)	T(Y)	T(Z)	t
0-100 ms	BA 45 (Inferior Frontal Gyrus)	55	35	5	7.57
50-150 ms	BA 47 (Inferior Frontal Gyrus)	55	35	0	7.84
100-200 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	-30	60	5	6.29
150-250 ms	BA 45 (Inferior Frontal Gyrus)	55	30	15	6.43
200-300 ms	BA 44 (Precentral Gyrus)	-45	15	10	5.89
250-350 ms	BA 45 (Inferior Frontal Gyrus)	-50	20	15	7.50
300-400 ms	BA 45 (Inferior Frontal Gyrus)	-50	20	25	7.17
350-450 ms	BA 45 (Inferior Frontal Gyrus)	-50	20	15	5.56
400-500 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	35	60	0	5.85
450-550 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	35	60	0	6.01
500-600 ms	BA 13 (Insula)	-35	-25	5	6.87
550-650 ms	BA 41 (Superior Temporal Gyrus)	-40	-30	5	7.49
600-700 ms	BA 41 (Superior Temporal Gyrus)	-40	-30	5	6.99

Tabelle 4: Puls 120 vs. Ruhe; gefundene Aktivitätsmaxima

7.9 Kondition in sLORETA

Beim Vergleich aller *correct rejections* mit allen *misses* über alle Pulsfrequenzen zeigten sich in den Timeframes 1, 2, 3, 6, 8, 9, 10, 11, 12 und 14 die in Tabelle 4 aufgelisteten Generatoren für Differenzen als ursächlich. All diese Areale wiesen bei einem $t(.05, \text{zweiseitig}) = 4.941$ in der Kondition *miss* höhere t-Werte auf. Die Brodmann-Areale 6, 8 und 24 sind in den Abbildungen 26 bis 28 zu sehen.

	Brodmann Areal	T(X)	T(Y)	T(Z)	t
0-100 ms	BA 32 (Anterior Cingulate)	-5	30	30	-6.82
50-150 ms	BA 8 (Superior Frontal Gyrus)	-25	35	50	-5.82
100-200 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	30	60	5	-5.38
150-250 ms					
200-300 ms					
250-350 ms	BA 24 (Cingulate Gyrus)	-20	-20	40	-5.13
300-400 ms					
350-450 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	35	60	-5	-5.16
400-500 ms	BA 6 (Superior Frontal Gyrus)	10	-10	70	-5.13
450-550 ms	BA 6 (Superior Frontal Gyrus)	15	-10	55	-4.97
500-600 ms	BA 24 (Cingulate Gyrus)	15	-10	40	-5.37
550-650 ms	BA 6 (Superior Frontal Gyrus)	10	-10	65	-5.33
600-700 ms					
650-750 ms	BA 10 (Middle Frontal Gyrus)	25	55	25	5.04

Tabelle 5: Konditionen: correct rejection vs. miss; gefundene Aktivitätsmaxima

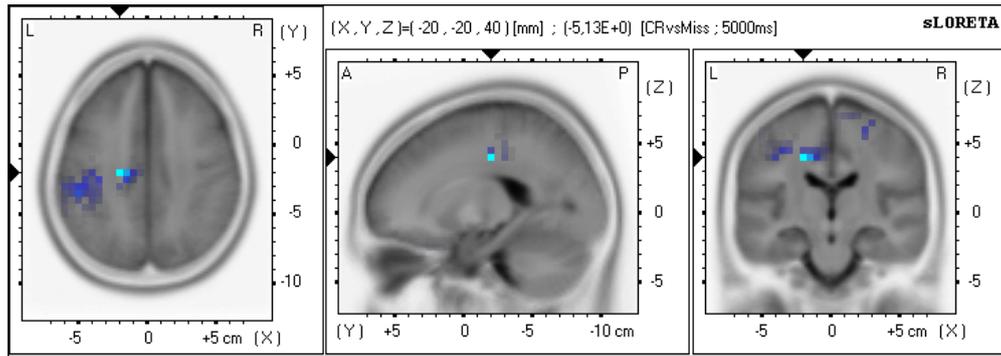


Abbildung 26: Brodmann-Areal 24, signifikant verringerte Aktivität in der Kondition „miss“ in Timeframes 6 und 11

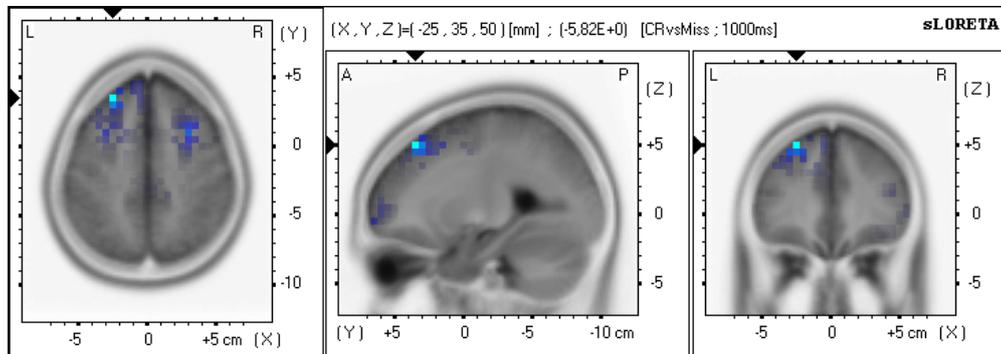


Abbildung 27: Brodmann-Areal 8, signifikant verringerte Aktivität in der Kondition „miss“ in Timeframe 2

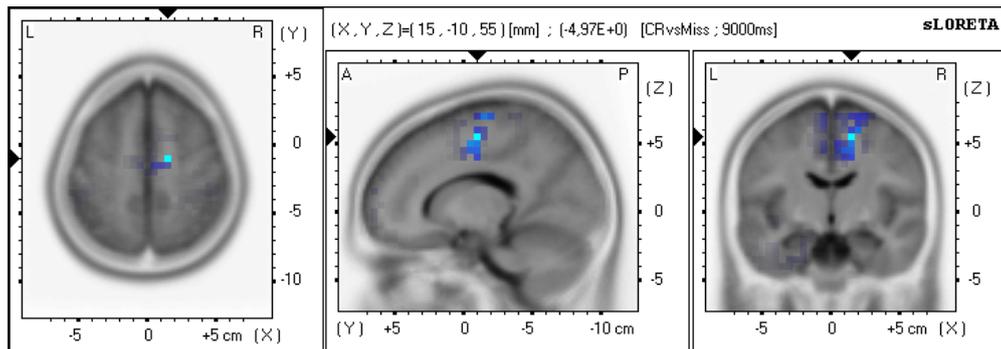


Abbildung 28: Brodmann-Areal 6, signifikant verringerte Aktivität in der Kondition „miss“ in Timeframes 9, 10 und 12

8 DISKUSSION

8.1 Gedächtnisleistung

In Bezug auf eine mögliche Verbesserung der unterbewussten Gedächtnisleistung unter mäßiger körperlicher Belastung, konnten keine signifikanten Effekte gefunden werden. Jedoch zeigte sich, dass sich die Leistung bei Puls 120 nicht derart verschlechtert wie bei Puls 140 (siehe Abbildung 16). Es ist ein prinzipieller Trend zu einer schlechteren Gedächtnisleistung festzustellen, je höher die körperliche Belastung wird. Überraschender ist aber vielmehr, dass die Abnahme in der Gedächtnisleistung bei Puls 140 gegenüber der Gedächtnisleistung in der Ruhebedingung nicht signifikant wurde. Die bisherigen Theorien und Arbeiten zu diesem Thema würden eher die Vermutung nahe legen, dass eine zu große Belastung, sowohl körperlicher als auch mentaler Natur, zu signifikant verschlechterten Leistungen in kognitiven Bereichen führt. Eine Annahme, die durch die hier präsentierten Ergebnisse nicht unterstützt werden kann. Einher gehen die gefundenen Ergebnisse mit Brisswalter et al. (2002), die zwar eine signifikant verbesserte Leistung unter moderater Anstrengung, jedoch keinen Abfall der Leistungsfähigkeit bei Entscheidungsaufgaben unter stärkerer Belastung fanden.

Die bisherigen Untersuchungen, welche die mögliche Verbesserung kognitiver Performance unter körperlicher Aktivität untersuchten, verwendeten größtenteils die P300-Komponente als Indikator. Die P300 wird mit Aufmerksamkeitsprozessen in Verbindung gebracht und ihr Ursprung wird im Parietallappen angenommen. Es kann festgehalten werden, dass die mit diesen Indikatoren gefundenen Ergebnisse der hier unternommenen Überprüfung mittels einer Gedächtnisaufgabe (Stover, 2003) nicht standhalten können. Es scheint wohl naheliegend, dass sich körperliche Aktivität auf Aufmerksamkeitsprozesse positiv auswirkt (darauf wird in Punkt 8.3 näher eingegangen), jedoch können sich diese nicht ohne weiteres

auf den Abruf aus dem Gedächtnis umlegen lassen. Andererseits ist diese Studie eine der wenigen, die den Gedächtnisabruf unmittelbar während kontrolliert induzierter körperlicher Aktivität untersucht hat. Durch das hier verwendete Itemmaterial ergaben sich allerdings sehr stringente Rahmenbedingungen, die sich nicht auf alle Bereiche kognitiver Performance ausweiten lassen können. Kreativität, Assoziationsvermögen oder divergentes Denken blieben in der vorliegenden Untersuchung völlig ausgeklammert. Trotz der Schwierigkeit, Itemmaterial für diese kognitiven Elemente zu konstruieren, wären Forschungsansätze in diese Richtung interessant. Auch die Einbeziehung von Reaktionszeiten könnte vielleicht mehr Licht in Aspekte der Verbesserung kognitiver Leistungsfähigkeit bringen.

Für Hypothese 1 muss die Nullhypothese beibehalten werden:

H₀: Bei leichtem Ausdauertraining steigt die Gedächtnisleistung im Rahmen einer Wortwiedererkennungsaufgabe bei oberflächlicher Verarbeitung nicht.

8.2 Implizite Gedächtnisspur

Eine implizite Gedächtnisspur im Sinne von Rugg et al. (1998) konnte repliziert werden. Es ergab sich ein signifikanter Haupteffekt der Kondition in etlichen Zeitbereichen, am stärksten war der Effekt in einem Zeitbereich von 650–750 ms nach Stimuluspräsentation. Des Weiteren waren Unterschiede in der rechten Hemisphäre häufiger als in der linken Hemisphäre zu finden. In diesen späten Zeitbereichen führt die Kondition *miss* zu verringerter Aktivität als die Kondition *correct rejection*. In der rechten Hemisphäre führen die Konditionen in frühen Zeitbereichen zur gleichen Aktivitätsverteilung. In mittleren Zeitbereichen jedoch dreht sich dieser Effekt um und die Kondition *correct rejection* führt zu verminderter Aktivität.

Eine Veränderung oder gar Verstärkung dieses Effekts unter den beiden Bewegungsbedingungen konnte mittels SPSS nicht dargelegt werden, da sich keine signifikante Wechselwirkung zwischen Puls

und Kondition zeigte. Es ergab sich eine signifikante Wechselwirkung zwischen Location und Puls. Dies kann dahingehend interpretiert werden, dass starke körperliche Aktivität (manchmal auch moderate Aktivität) für gleichmäßigere Aktivitätsverteilung im Gehirn sorgt, was zumindest die untersuchten parietalen und frontalen Bereiche betrifft. Der signifikante Interaktionseffekt zwischen Location und Kondition steht in Kontrast zu den Ergebnissen von Rugg et al. (1998), da der Unterschied nicht parietal sondern frontal zu liegen scheint.

Bei der Analyse mittels sLORETA konnten die Generatoren der Differenzen zwischen den Konditionen *correct rejection* und *miss* größtenteils in drei verschiedenen Bereichen gefunden werden.

Für alle in Folge erwähnten Brodmann-Areale siehe Abbildung 29, S. 66.

8.2.1 Anteriorer cingulärer Kortex

Die Brodmann Areale 24 (ventraler ACC) und 32 (dorsaler ACC) sind Teile des anterioren cingulären Kortex und unter anderem für die signifikanten Differenzen zwischen *correct rejections* und *misses* verantwortlich. Diese Bereiche sind jeweils in der *miss*-Kondition stärker aktiviert. Dem ACC werden vielerlei Aufgaben zugeschrieben, unter anderem emotionale Selbstkontrolle, fokussiertes Problemlösen oder Fehlererkennung. Der ACC wird besonders dann aktiv, wenn die Lösung einer Aufgabe viel Anstrengung verlangt, wie z.B. Lernen oder Problemlösen. Ein weiterer Aspekt, der im ACC vermutet wird, ist die sogenannte „Error detection“ (Allman, Hakeem, Erwin et al., 2001). Bei der *miss*-Kondition wird ein Fehler begangen (Wort wird nicht richtig erkannt). Die verstärkte Aktivität im anterioren cingulären Kortex könnte die Aktivität dieses Fehlererkennungssystem widerspiegeln.

Neben der Fehlererkennung, ist der ACC auch in Konfliktentscheidungen aktiv, also bereits in Situationen, in welchen allein die Möglichkeit besteht, einen Fehler zu begehen.

8.2.2 Brodmann Areal 8

BA 8 ist Teil des Frontalkortex und liegt anterior des prämotorischen Kortex (BA6). BA 8 aktiviert, wenn Menschen Unsicherheit verspüren. Je größer die verspürte Unsicherheit, desto größer wird auch die Aktivierung in diesem Areal.

8.2.3 Brodmann Areale 6 und 10

Vor allem in mittleren und späteren Zeitbereichen fand sich BA 10 als Generator für Unterschiede. Das heißt, auch hier sorgt die Kondition *miss* für verstärkte Aktivität. Dies könnte dahingehend interpretiert werden, dass durch den begangenen Fehler die Aufgabe länger im Arbeitsgedächtnis gehalten wird (für genauere Beschreibung des BA 10, siehe Punkt 8.3). Die vorhergehende *error-detection* würde dafür sprechen. Diese Unterschiede in späteren Zeitbereichen, decken sich auch mit den in SPSS gefundenen Ergebnissen, wo der Unterschied frontal zu vermuten war.

BA 6 entspricht dem prämotorischen Kortex und dem supplementär-motorischen Kortex. Beide werden durch nicht erkannte Worte in einem Zeitbereich von 400 bis 600 ms post-stimulus stärker aktiviert. BA 6 soll bei der Planung von komplexen, koordinierten Bewegungen involviert sein. Dies könnte eventuell eine Verunreinigung der Daten widerspiegeln.

Allgemein wird durch die hier gefundenen Ergebnisse nahegelegt, dass die Unterschiede, welche das Gehirn zwischen neuen und fälschlicherweise als neu bezeichneten Worten zu machen scheint, wohl stärker auf die Aktivität eines Fehlererkennungssystem, welches im anterioren cingulären Kortex angesiedelt ist bzw. auf die Verarbeitung dieses Fehlers im Arbeitsgedächtnis zurückführbar sind. Dies steht jedoch im Gegensatz zu bisherigen Ergebnissen (Rugg et al., 1998 und Boehm et al., 2005), welche die Lokalisation dieser Differenz eher centro-parietal annahmen.

Für Hypothese 2 kann die Alternativhypothese angenommen werden:

H_1 : Es ergibt sich eine signifikante Amplitudendifferenz zwischen *correct rejections* (richtig als neu eingestufte Wörter) und *misses* (nicht erkannte, alte Wörter).

Die Zusatzfrage nach etwaigen Unterschieden zwischen Bewegungsbedingung und Ruhebedingung muss negativ beantwortet werden.

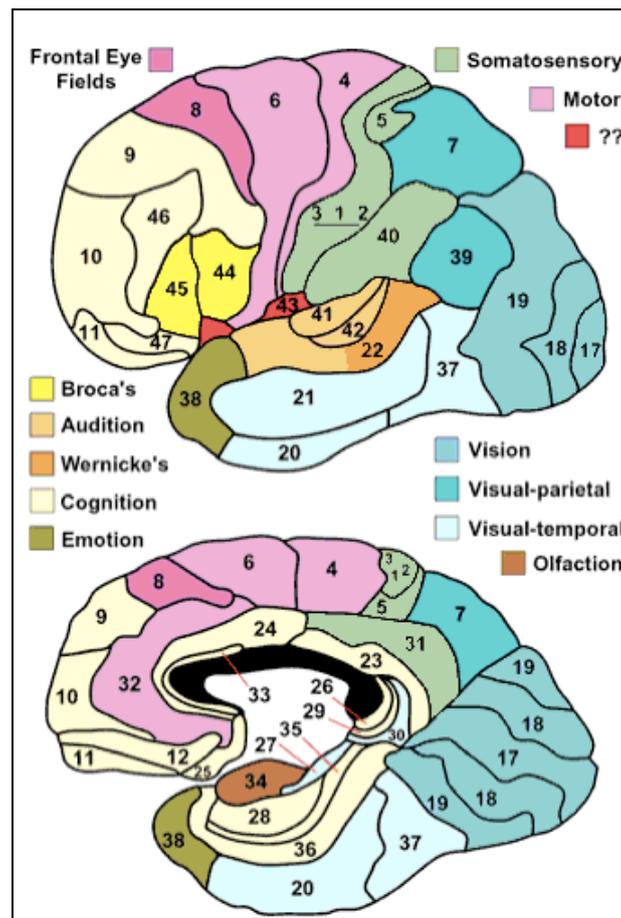


Abbildung 29: Brodmann-Areale, entnommen von <http://spot.colorado.edu/~dubin/talks/brodmann/brodmann.html>

8.3 Neuronale Korrelate sportlicher Betätigung

Sowohl bei Vergleich der Pulsbedingung 120 als auch der Pulsbedingung 140 mit der Ruhebedingung zeigten sich so gut wie alle Generatoren für unterschiedliche Aktivierungen über alle Zeitbereiche im präfrontalen Kortex.

Brodmann Areal 10 ist Teil des dorsolateralen präfrontalen Kortex, wo Aufmerksamkeitsfunktionen, Arbeitsgedächtnis und auch die

Ausbildung von Erwartungshaltungen vermutet werden (Birbaumer & Schmidt, 1999 und Kandel et al., 2000).

Die genaue Funktion von BA 10 ist nicht bekannt. Koechlin & Hyafil (2007) schlugen vor, dass das sogenannte "cognitive branching" die Kernfunktion des BA 10 ist. Dadurch soll eine früher begonnene kognitive Aufgabe auf Abruf gehalten werden können, bis eine neuere, nachher begonnene (eingeschobene) Aufgabe beendet ist.

Auch BA 46 ist Teil des dorsolateralen präfrontalen Kortex (DLPFC). Treten Läsionen am DLPFC auf, kommt es zu Beeinträchtigungen des Kurzzeitgedächtnisses, der Urteilsfähigkeit für Relevantes und Irrelevantes, und der Organisationsfähigkeit.

BA 44 ist im Gyrus präcentralis lokalisiert, jedoch ist es Teil des Broca Areal. Dies ist der einzig gefundene Generator, welcher in der Nähe von motorischen Arealen liegt.

BA 11 und 47 gehören zum orbitalen Frontalkortex, wo kognitive Prozesse wie Planung, logisches Denken und Entscheidungsfähigkeit vermutet werden. In BA 47 wird die Verarbeitung von Syntax angesiedelt.

BA 42 liegt im superioren temporalen Kortex und ist Teil des (sekundären) auditorischen Kortex. Hier werden aktuelle Höreindrücke mit Bekanntem verglichen, eingeordnet und bewertet. Dies geschieht überwiegend unbewusst.

Beim Vergleich von Puls 120 gegenüber Ruhe ergaben sich größtenteils ähnliche Ergebnisse. Alle Generatoren im waren im präfrontalen Kortex lokalisiert. Interessant war, dass in diesem Vergleich BA 45 als Generator in Erscheinung tritt. BA 45 gehört ebenfalls zum DLPFC und bildet gemeinsam mit BA 44 das Broca-Areal. Es ist an der semantischen Verarbeitung von Sprache beteiligt, wird aber auch bei Aufgaben aktiv, welche die Generierung neuer Wörter verlangen (semantic retrieval or semantic working memory processes).

Ein überraschendes Ergebnis war BA 41, welches in späteren Zeitbereichen als Generator aufschien. Dies ist Teil des primären auditorischen Kortex im superioren Temporallappen.

Ebenfalls nur in diesem Vergleich signifikant wurde BA 13 in einem späteren Zeitbereich. Es ist Teil der Insula und an Emotionen und Empfindungen beteiligt.

Auch Sabina et al. (2004) fanden bei starker körperlicher Beanspruchung die stärkste Aktivierung im Frontallappen. Hier zeigte der mediale Frontalkortex erst bei stärkerer Belastung erhöhte Aktivität. Sie interpretierten dies dahingehend, dass die stärkere präfrontale Aktivität bei leichter Belastung nahe legt, dass in diesen Fällen kognitive Aspekte noch teilhaben können, während bei stärkerer Anstrengung nur mehr die Konzentration auf die Aufgabe an sich vorherrscht. Dies geht Hand in Hand mit den in dieser Studie gefunden Resultaten.

In völligem Gegensatz dazu stehen Dietrich und Sparling (2004), welche den präfrontalen Kortex während körperlicher Aktivität sogar als vorübergehend inhibiert annahmen. (transient hypofrontality hypothesis). Stover (2003) jedoch fand ebenfalls positive Auswirkungen längerfristiger, regelmäßiger körperlicher Aktivität auf frontale Gehirnregionen.

Es ergaben sich also stärkere Aktivierungen in präfrontalen Regionen unter beiden Pulsbedingungen. Was bedeutet das? Läsionsstudien haben die Funktionen des präfrontalen Kortex aufgezeigt. Eine normale Verhaltensplanung ist bei Schädigungen im präfrontalen Kortex nicht mehr möglich. Ablenkende Reize können schwerer ausgeblendet werden, eine notwendige Voraussetzung, um ein begonnenes Verhalten zu Ende zu führen. Es kommt also zu stärkerer Ablenkbarkeit. Des Weiteren werden Verhaltensplanung, divergentes Denken (Spontaneität, Verhaltensstrategien), Reizkontrolle des Verhaltens (Reaktionshemmung, Risikofreude,

Assoziatives Lernen) und Sozialverhalten im präfrontalen Kortex vermutet (Birbaumer & Schmid, 1999 und Kandel et al., 2000).

Es scheint also bei der Ausübung von Sport oder von Bewegung zu einer Erleichterung kognitiver Prozesse zu kommen. Diese liegen aber mehr auf einer kreativen Ebene, wie z.B. divergentes Denken. Blanchette, Ramocki, O'del und Casey (2005) fanden solch einen positiven Einfluss körperlicher Aktivität auf das kreative Potential.

Auch die geringere Ablenkbarkeit scheint das Aufgehen in einer Aufgabe zu erklären, welches aber qualitativ vom Flow unterschieden werden muss, der auf der vorübergehenden Inhibierung frontaler Hirnregionen beruht (Dietrich, 2004). Es muss wohl eher von einer höheren Konzentrationsfähigkeit gesprochen werden.

Obwohl sich die kognitiven Effekte nicht auf einer Leistungsebene festmachen lassen, sind die positiven Auswirkungen nicht von der Hand zu weisen. Auch andere Untersuchungen, welche die langfristigen Auswirkungen regelmäßiger körperlicher Aktivität zum Inhalt haben (z.B. Stover, 2003), kamen zu dieser Conclusio.

Der Schluss liegt nahe, dass man körperliche Fitness (im Sinne von regelmäßiger Bewegung) eher in einen Zusammenhang mit „geistiger Regheit“ bringen kann, also der prinzipiellen Fähigkeit, adäquat auf Reize zu reagieren bzw. neue Inhalte zu generieren.

Eine Aufgabenstellung und ein Itemmaterial, welches kreatives Potential anstatt von Gedächtnisleistungen als Maß heranziehen würde, könnte zu interessanten Resultaten führen und der Grundidee dieser Studie gerechter werden.

Retrospektiv betrachtet wäre demnach eine weniger strikte Aufgabenstellung adäquater gewesen, mit welcher verstärkt Faktoren kreativer Prozesse angeregt werden. Operationalisierungen hierfür könnten z.B. Assoziationsaufgaben sein, deren Fokus stärker auf der Generierung neuer Inhalte und Ideen liegt. Unter Verwendung des

gleichen Itemmaterials (Wörter) könnte getestet werden, ob zu bereits präsentierten Worten mehr Assoziationen gebildet werden können und ob sich diese Leistung unter sportlicher Aktivität noch weiter verbessert. Somit könnte der Fokus verstärkt auf kreative Vorgänge gelenkt werden.

ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Untersuchung sollten mittels Wortwiedererkennungsaufgabe mögliche Effekte körperlicher Aktivität auf kognitive Prozesse und cerebrale Aktivierungen generell exploriert werden. Über ein Fahrradergometer wurde Aktivität unter drei Pulsbedingungen (120, 140, Ruhe) induziert, währenddessen sollten die Versuchspersonen die Tasks bearbeiten. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sich zwar keine signifikante Verbesserung einer unterbewusst orientierten Gedächtnisleistung ergab, jedoch präfrontale Hirnregionen unter den Bewegungsbedingungen deutlich stärker aktiviert waren als unter der Ruhebedingung. Dies deutet darauf hin, dass durch körperliche Aktivität zumindest die Basis für erhöhte Konzentrationsfähigkeit und verstärktes kreatives Potential gelegt werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

- Allan, K. & Rugg, M. (1997). An event-related potential study of explicit memory on tests of cued recall and recognition. *Neuropsychologica*, 24 (3), 276-286.
- Allman, J., Hakeem, A., Erwin, J., Nimchinsky, E. & Hof, P. (2001). The Anterior Cingulate Cortex The Evolution of an Interface between Emotion and Cognition. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 935, 107-117.
- Bauer, H. (1998). Slow potential topography. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 30 (1), 20–33.
- Birbaumer, N. & Schmidt, R. (1999). *Biologische Psychologie*. Berlin: Springer.
- Blanchette, D., Ramocki, S., O'del, J. & Casey, M. (2005). Aerobic Exercise and Cognitive Creativity: Immediate and Residual Effects. *Creativity Research Journal*, 17 (2&3), 257-264.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., Arcelin, R. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, 32, 555-566.
- Boehm, S., Sommer, W., Lueschow, A. (2005). Correlates of implicit memory for words and faces in event-related brain potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 55, 95-112.
- Carlsson, I., Wendt, P., Risberg, J. (2002). On the neurobiology of creativity. Differences in frontal activity between high and low creative subjects. *Neuropsychologia*, 38, 873-885.
-

- Caspersen, C., Powell, K. & Christensen, G. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100, 126–131.
- Cheney, P. (1985). Role of cerebral cortex in voluntary movements. A review. *Physical Therapy*, 65 (5), 624-635.
- Christensen, L., Johannsen, P., Sinkjaer, T., Petersen, N., Pyndt, H. & Nielsen, J. (2000). Cerebral activation during bicycle movements in man. *Experimental Brain Research*, 135 (1), 66-72.
- Dietrich, A. (2004). Neurocognitive mechanisms underlying the experience of flow. *Consciousness and Cognition*, 13, 746-761.
- Dietrich, A. & Sparling, P. (2004). Endurance exercise selectively impairs prefrontal-dependent cognition. *Brain and Cognition*, 55, 516-524.
- Dubbert, P. (2002). Physical Activity and Exercise: Recent Advances and Current Challenges. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 70, 526-536.
- Etnier, J. & Lander, D. (1995). Brain function and exercise. *Sports Medicine*, 19, 81-85. [Online]. URL: <http://www.guilderlandschools.org/guidel/PTA/Playground/Learning%20Study/BrainFunction.pdf> [13.10.06]
- Etnier, J., Nowell, P., Landers, D., Sibley, B. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, 52, 119-130.
- Field, A. (2005). *Discovering statistics using SPSS*. London: Sage
-

- Fuchs, M., Kastner, J., Wagner, M., Hawes, S. & Ebersole, J. (2002). A standardized boundary element method volume conductor model. *Clinical Neurophysiology*, 113, 702-12.
- Gabrieli, J. (1998). Cognitive neuroscience of human memory. *Annual Review of Psychology*, 49, 87–115.
- Gevins, A., Leong, H., Smith, M., Le, J. & Du, R. (1995). Mapping cognitive brain function with modern high-resolution electroencephalography. *Trends in Neuroscience*, 18 (10), 429-436.
- Gevins, A. (1996). High resolution evoked potentials of cognition. *Brain Topography*, 8 (3), 189-199.
- Guilford, J. (1950). Creativity. *American Psychologist*, 5, 444–454.
- Hansen, A., Johnsen, B., Sollers, J., Stenvik, K. & Thayer, J. (2004). Heart rate variability and its relation to prefrontal cognitive function: the effects of training and detraining. *European Journal of Applied Physiology*, 93, 263-272.
- Hillman, C., Snook, E., Jerome, G. (2003). Acute cardiovascular exercise and executive control function. *International Journal of Psychophysiology*, 48, 307-314.
- Jasper, H. (1958). The ten–twenty system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., Kuroiwa, K. (2004). Differential influences of exercise intensity on
-

information processing in the central nervous system. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 305-311.

Kandel, E., Schwartz, J., Jesell, T. (Hrsg.). (2000). *Principles of neural science*. New York: McGraw-Hill.

Koechlin, E. & Hyafil, A. (2007). Anterior prefrontal function and the limits of human decision-making. *Science*, 318, 594-598.

McCarthy, G. & Wood, C. (1985). Scalp distribution of event-related potentials: an ambiguity associated with analysis of variance models. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 62, 203-208.

Nichols, T. & Holmes, A. (2002). Nonparametric permutation tests for functional neuroimaging: a primer with examples. *Human Brain Mapping*, 15, 1-25.

Pascual-Marqui, R. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and findings in experimental and clinical pharmacology*, 24, 5-12.

Picton, T. Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S., Johnson, J., Miller, G., Ritter, W., Ruchkin, D., Rugg, M. & Taylor, M. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37, 127-152.

Ruchkin, D., Ray Johnson, J. & Friedman, D. (1999). Scaling is necessary when making comparisons between shapes of event-related potential topographies: A reply to Haig et al. *Psychophysiology*, 36, 832-834.

Rugg, M., Fletcher, P., Frith, C., Frackowiak, S. & Dolan, R. (1996). Differential activation of the prefrontal cortex in successful and unsuccessful memory retrieval. *Brain*, 119, 2073-2083.

Rugg, M., Mark, R., Walla, P., Schloerscheidt, A., Birch, C. & Allan, K. (1998). Dissociation of the neural correlates of implicit and explicit memory. *Nature*, 392, 595-598.

Sabina, K., Fujimoto, T., Ishii, K., Yamaguchi, K., Watanuki, S., Miyake, M., & Itoh, M. (2004). Metabolic Correlations Between Muscle and Brain at Exercise. *CYRIC Annual Report, 2003*, 180-184. [Online]. URL: <http://www.cyric.tohoku.ac.jp/english/report/repo2003/8-5Sabina.pdf> [21.01.07].

Schott, B., Henson, R., Richardson-Klavehn, A., Becker, C., Thoma, V., Heinze, H., Düzel, E. (2005). Redefining implicit and explicit memory: the functional neuroanatomy of priming, remembering, and control of retrieval. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (4), 1257-1262.

Squire, L. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. *Neurobiology of Learning and Memory*, 82, 171-177.

Sternberg, R. & Lubart, T. (1996). Investing in creativity. *American Psychologist*, 7, 677-688.

Stover, H. (2003). *Exercise and the aging brain: a neuroimaging study of frontal lobe function during executive challenge in older men and women who varied in physical activity participation*. Thesis: University of Maryland, College Park.

- Talairach, E. & Tournoux, P. (1988). *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart: Thieme.
- Tomporowski, P. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112, 297-324.
- U.S. Department of Health and Human Services. (1996). *Physical activity and health: a report of the surgeon general*. [Online]. URL: <http://www.cdc.gov/nccdphp/sgr/sgr.htm> [15.3.2009]
- Vidoni, E. & Boyd, L. (2007). Achieving Enlightenment: What do we know about the implicit learning system and its interaction with explicit knowledge? *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 31, 145-154.
- Voss, J & Paller, K. (2008). Brain substrates of implicit and explicit memory: The importance of concurrently acquired neural signals of both memory types. *Neuropsychologia*, 46, 3021-3029.
- Voss, J & Paller, K. (2009). An electrophysiological signature of unconscious recognition memory. *Nature Neuroscience*, 12 (3), 349-355.
- Waldron, E. & Ashby, F. (2001). The effects of concurrent task interference on categorization learning. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 168-176.
- Walla, P. (1998). *Neurophysiologie menschlicher Gedächtnisfunktionen*. Dissertation: Universität Wien.
- Walla, P. Endl, W., Lindinger, G., Deecke, L., & Lang, W. (1999a). Implicit memory within a word recognition task: an event-related
-

potential study in human subjects. *Neuroscience Letters*, 269, 129-132.

Walla, P. Endl, W., Lindinger, G., Lalouschek, W., Deecke, L., & Lang, W. (1999b). Early occipito- parietal activity in a word recognition task: an EEG and MEG study. *Clinical Neurophysiology*, 110, 1378-1387.

Walla, P. Endl, W., Lindinger, G., Deecke, L., & Lang, W. (2000). False recognition in a verbal memory task: an event-related potential study. *Cognitive Brain Research*, 9, 41-44.

Walla, P. (2008). *Symposium "Homo Neurobiologicus"*. Eingeladener Vortrag im Rahmen der Wiener Vorlesungen.

Yerkes, R. & Dodson, J. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of Comparative Neurology and Psychology*, 18, 459-482.

<http://spot.colorado.edu/~dubin/talks/brodmann/brodmann.html>
[Online, 19.01.09].

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: MODELL DER FUNKTIONSWEISE DES GEHIRNS	10
ABBILDUNG 2: ARBEITSWEISE DES GEHIRNS, ENTNOMMEN AUS FOLIEN ZU WALLA (2008)	11
ABBILDUNG 3: ELEMENTE KÖRPERLICHER AKTIVITÄT UND BEWEGUNG (NACH CASPERSEN ET AL., 1985).....	20
ABBILDUNG 4: SOMATOTOPE ORGANISATION DES GYRUS PRÄCENTRALIS, ENTNOMMEN AUS BIRBAUMER & SCHMIDT, 1999, S. 472.....	22
ABBILDUNG 5: PULSMESSGERAT MIT TRANSMITTER-BRUSTGURT	37
ABBILDUNG 6: HYPOTHETISCHER VERSUCHSABLAUF	37
ABBILDUNG 7: VERSUCHSSCHEMA MIT DEN MÖGLICHEN KONDITIONEN	38
ABBILDUNG 8: ZEITLINIE, PRO VORGEgebenEM ITEM.....	39
ABBILDUNG 9: FÜR ANOVA VERWENDETE ELEKTRODEN	45
ABBILDUNG 10: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 8 (FRONTAL) UND 26 (PARIETAL) IN DER RUHEBEDINGUNG;	47
ABBILDUNG 11: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 8 (FRONTAL) UND 26 (PARIETAL) BEI PULS 120.....	48
ABBILDUNG 12: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 8 (FRONTAL) UND 26 (PARIETAL) BEI PULS 140.....	48
ABBILDUNG 13: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 37 (FRONTAL) UND 55 (PARIETAL) IN DER RUHEBEDINGUNG	49
ABBILDUNG 14: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 37 (FRONTAL) UND 55 (PARIETAL) BEI PULS 120.....	49
ABBILDUNG 15: GRANDMEAN FÜR ELEKTRODEN 37 (FRONTAL) UND 55 (PARIETAL) BEI PULS 140.....	50
ABBILDUNG 16: PLOT FÜR GEDÄCHTNISLEISTUNG.....	51
ABBILDUNG 17: PLOT FÜR KONDITION-HAUPTEFFEKT IN DER LINKEN HEMISPHERE	53
ABBILDUNG 18: PLOT FÜR KONDITION-HAUPTEFFEKT DER RECHTEN HEMISPHERE IN FRÜHEN ZEITBEREICHEN	54
ABBILDUNG 19: PLOT FÜR KONDITION-HAUPTEFFEKT DER RECHTEN HEMISPHERE IN MITTLEREN ZEITBEREICHEN.....	54
ABBILDUNG 20: PLOT FÜR KONDITION-HAUPTEFFEKT DER RECHTEN HEMISPHERE IN SPÄTEREN ZEITBEREICHEN.....	55
ABBILDUNG 21: PLOTS FÜR LOCATION/KONDITION-WECHSELWIRKUNG LOCATION	56
ABBILDUNG 22: PLOTS FÜR PULS X LOCATION-WW IN FRÜHEN ZEITBEREICHEN.....	59
ABBILDUNG 23: PLOTS FÜR PULS X LOCATION-WW IN SPÄTEN ZEITBEREICHEN	60
ABBILDUNG 24: PLOT FÜR PULS-HAUPTEFFEKT	61

ABBILDUNG 25: BRODMANN AREAL 10; SIGNIFIKANT ERHÖHTE AKTIVITÄT BEI PULS 140 IN TIMEFRAME 4	62
ABBILDUNG 26: BRODMANN-AREAL 24, SIGNIFIKANT VERRINGERTE AKTIVITÄT IN DER KONDITION „MISS“ IN TIMEFRAMES 6 UND 11	64
ABBILDUNG 27: BRODMANN-AREAL 8, SIGNIFIKANT VERRINGERTE AKTIVITÄT IN DER KONDITION „MISS“ IN TIMEFRAME 2	64
ABBILDUNG 28: BRODMANN-AREAL 6, SIGNIFIKANT VERRINGERTE AKTIVITÄT IN DER KONDITION „MISS“ IN TIMEFRAMES 9, 10 UND 12	64
ABBILDUNG 29: BRODMANN-AREALE, ENTNOMMEN VON HTTP://SPOT.COLORADO.EDU/~DUBIN/TALKS/BRODMANN/BRODMANN.HTML	69

TABELLENVERZEICHNIS.....

TABELLE 1: VERWENDETE TIMEFRAMES (POST-STIMULUS)	44
TABELLE 2: ROHDATEN: ANZAHL DER KONDITIONEN.....	51
TABELLE 3: PULS 140 VS. RUHE; GEFUNDENE AKTIVITÄTSMAXIMA	62
TABELLE 4: PULS 120 VS. RUHE; GEFUNDENE AKTIVITÄTSMAXIMA	63
TABELLE 5: KONDITIONEN: CORRECT REJECTION VS. MISS; GEFUNDENE AKTIVITÄTSMAXIMA	63

ERKLÄRUNG

Ich versichere, dass ich die Diplomarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen angefertigt habe, und dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen hat. Alle Ausführungen der Arbeit, die wörtlich oder sinngemäß übernommen wurden, sind als solche gekennzeichnet.

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

Wien, den 19. Mai 2009

ANHANG

INSTRUKTION

Es geht im folgenden Experiment um den Zusammenhang zwischen sportlicher Aktivität und Informationsverarbeitung.

Insgesamt durchläufst du **3 Versuchsblöcke**:

Einmal in Ruhe, einmal bei einer mittleren Pulsfrequenz und einmal bei einer höheren Pulsfrequenz.

Jeder Versuchsblock besteht aus 2 Teilen:

Teil 1:

Du siehst einige Wörter für kurze Zeit am Bildschirm und sollst dann so schnell wie möglich per Tastendruck beantworten, ob in dem soeben gesehenen Wort der Buchstabe L vorkommt (auch mehrmals gilt, also z.B. „Lamelle“ wäre JA).

Tastenbelegung:

Rechts (Mittelfinger): JA

Links (Zeigefinger): NEIN

Nach jedem Wort erscheint ein Kreuz am Bildschirm --> zu dieser Zeit bitte blinzeln (wenn es nötig ist), ansonsten bitte bemühen auf Blinzeln zu verzichten, sonst zerstört das die gesammelten Daten und die Mühe war umsonst.

Dieser Teil dauert etwa 6 Minuten.

Dazwischen:

Mindestens **3 Minuten Pause** --> Eintreten auf die jeweilige Pulsfrequenz.

Wichtig wäre es, diese Zeit (vor Start von Teil 2) dafür zu nutzen, ein Gefühl für die notwendige Tretfrequenz und -stärke zu entwickeln.

Wenn Pulsuhr piepst, dann entweder zu niedrig oder zu hoch --> d.h. kurz auf die Uhr schauen und Tretfrequenz anpassen.

Schwellenwerte bei 120 = 119 - 130

Schwellenwerte bei 140 = 139 - 150

Teil 2:

Dieser Teil dauert etwa doppelt solange. Du siehst wieder Wörter am Bildschirm, wobei manche bereits aus Teil 1 bekannt sein werden. Genau dies gilt es nun zu beurteilen.

Tastenbelegung:

Rechts (Mittelfinger): JA, das Wort kommt mir aus Teil 1 bekannt vor.

Links (Zeigefinger): NEIN, das Wort habe ich glaub ich noch nicht gesehen.

Triff deine Entscheidung bitte intuitiv aus dem Bauch heraus und rasch!!

!!! Keine Angst, es geht hier nicht um die Messung der absoluten Gedächtnisleistung, du wirst sicherlich einige Fehler machen, aber das ist bei diesem Versuch ausdrücklich erwünscht !!

WICHTIG:

Auch in Teil 2 gilt allgemein wieder: Bitte NUR blinzeln, wenn das Kreuz am Bildschirm erscheint, ansonsten weitestgehend vermeiden, sonst sind die Daten verunreinigt

Danke fürs Mitmachen!

Fragebogen zur Händigkeit

Welche Hand verwenden Sie gewöhnlich (linke Hand oder rechte Hand), **wenn Sie die folgenden Tätigkeiten ausführen?**

Anleitung: Stellen Sie sich für die Fragebeantwortung die auszuführende Tätigkeit ganz intensiv und lebhaft vor. Sie können sich dabei auch mit Bewegungsandeutungen behelfen, um die Fragen möglichst genau zu beantworten.

Welche Hand verwenden Sie gewöhnlich, wenn Sie ...

1.) ... einen Brief leserlich schreiben wollen ? *(Zutreffendes bitte ankreuzen!)*

linke rechte unentschieden

2.) ... einen Ball werfen, um ein Ziel zu treffen ?

linke rechte unentschieden

3.) ... ein Tennis-, Squash- oder Badmintonracket halten ?

linke rechte unentschieden

4.) ... ein Streichholz anzünden ? (Welche Hand hält das Streichholz ?)

linke rechte unentschieden

5.) ... mit einer Schere schneiden ?

linke rechte unentschieden

6.) ... einen Faden durch ein Nadelöhr fädeln ? (Welche Hand hält den Faden ?)

linke rechte unentschieden

7.) ... mit einem langstieligen Besen aufkehren ? (Welche Hand ist weiter oben ?)

linke rechte unentschieden

8.) ... mit einer Schaufel Kies oder Sand schaufeln ? (Welche Hand ist weiter oben ?)

linke rechte unentschieden

9.) ... Spielkarten austeilen ? (Welche Hand gibt aus ?)

linke rechte unentschieden

10.) ... mit einem Hammer einen Nagel einschlagen ? (Welche Hand hält den Hammer ?)

linke rechte unentschieden

11.) ... eine Zahnbürste benutzen ?

linke rechte unentschieden

12.) ... den Deckel eines Einmachglases aufschrauben ?

linke rechte unentschieden

Wie schwer ist es Ihnen gefallen, sich die oben gefragten Tätigkeiten vorzustellen ?

sehr leicht eher leicht eher schwer sehr schwer

LEBENS LAUF

Name: Ulrike Müller

Geburtsdatum: 11. Juni 1980

Geburtsort: Klosterneuburg, NÖ

1986 - 1990: Volksschule St. Andrä-Wördern, NÖ

1990 - 1998: BG / BRG Klosterneuburg, NÖ

Juni 1998: Matura mit ausgezeichnetem Erfolg

1998 - 1999: Studium der Medizin, Publizistik &
Kommunikationswissenschaften und
Musikwissenschaften an der Universität Wien

seit 1999: Studium der Psychologie an der Universität Wien

seit 2003: Gruppenbetreuerin in der Wohnstätte des
Autistenzentrum Arche Noah des Vereins ZASPE in
Strasshof an der Nordbahn, NÖ

2005-2006: Praktikum bei der Österreichischen Autistenhilfe

2005 - 2007: Certificate of Percussion Artist am Percussion
Institut, Klosterneuburg

2007 - 2009: Ausbildung in Rhythmustherapie / Elementare
musikalische Percussion am Percussion Institut,
Klosterneuburg
